

## **ÍNDICE GENERAL,**

<b>DEDICATORIAS.</b>	iii
<b>AGRADECIMIENTOS.</b>	iv
<b>ÍNDICE GENERAL.</b>	v
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.</b>	ix
<b>ÍNDICE DE TABLAS.</b>	xii
<b>INTRODUCCIÓN.</b>	1
<b>CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES.</b>	4
1.1 Bioenergía.	4
1.2 Historia de los combustibles derivados de aceites vegetales.	6
1.3 Uso de los aceites como combustibles.	9
1.3.1 Dilución de los aceites vegetales.	10
1.3.2 Microemulsiones.	11
1.3.3 Pirólisis o craqueo térmico.	12
1.4 Biodiesel.	14
1.4.1 Aceites vegetales vírgenes y residuales como materia prima para la producción de biodiesel.	18
1.4.2 Alcohol.	19
1.4.3 Catalizador.	22
1.4.3.1 Catalizadores homogéneos.	22
1.4.3.2 Catalizadores heterogéneos.	24
1.4.3.3 Catalizadores enzimáticos.	26
1.5 Reacción de transesterificación.	28
1.5.1 Mecanismo de reacción de la transesterificación.	28

<b>1.6 Factores que afectan la reacción de transesterificación.</b>	<b>31</b>
1.6.1 Efecto del agua y los ácidos grasos libres.	31
1.6.2 Efecto de la relación molar.	31
1.6.3 Efecto del catalizador.	33
1.6.4 Efecto del tiempo de reacción.	34
1.6.5 Efecto de la temperatura de reacción.	35
<b>1.7 Reactores y procesos utilizados en la producción de biodiesel.</b>	<b>36</b>
1.7.1 Reactores.	36
1.7.2 Proceso por lotes (batch).	38
1.7.3 Proceso continuo.	40
1.7.4 Procesos para materias primas con alto contenido de ácidos grasos libres.	41
1.7.5 Proceso de transesterificación con la utilización de un co-solvente.	43
1.7.6 Proceso supercrítico.	44
<b>1.8 Calidad del Biodiesel.</b>	<b>45</b>
1.8.1 Glicerol libre y total.	48
1.8.2 Número de acidez.	48
1.8.3 Alcohol residual y catalizador residual.	50
1.8.4 Número de cetano.	50
1.8.5 Viscosidad del biodiesel.	52
<b>1.9 Comparación entre biodiesel y diesel convencional.</b>	<b>54</b>
1.9.1 Ventajas y desventajas del biodiesel.	54
1.9.2 Balance neto de energía.	55
1.9.3 Balance neto de emisiones de gases de efecto invernadero.	56
<b>1.10 Factibilidad económica del biodiesel.</b>	<b>58</b>
<b>1.11 Producción y comercialización del biodiesel.</b>	<b>60</b>

<b>CAPÍTULO 2 HIPÓTESIS, JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.</b>	63
2.1 Hipótesis.	63
2.2 Justificación.	63
2.3 Objetivos.	64
2.3.1 Objetivo General.	64
2.3.2 Objetivos Particulares.	64
<b>CAPÍTULO 3 MATERIALES Y MÉTODOS.</b>	65
3.1 Materiales.	65
3.1.1 Materia prima.	65
3.1.2 Reactivos.	65
3.2 Metodología.	66
3.2.1 Descripción de la metodología.	67
3.2.1.1 Síntesis del biodiesel.	67
3.2.1.2 Procedimiento para la síntesis de biodiesel a nivel laboratorio.	68
3.3 Medición de la densidad.	69
3.4 Medición del número de acidez.	69
3.4.1 Método 1.	69
3.4.2 Método 2.	69
3.5 Medición de la viscosidad.	70
3.6 Análisis cromatográfico.	71
3.6.1 Cromatografía en capa fina.	71
3.6.2 Cromatografía de gases.	71
3.6.3 Cromatografía de gases con espectrometría de masas.	72
3.7 Construcción de la planta piloto.	72
3.8 Síntesis de biodiesel a nivel planta piloto.	78

<b>CAPÍTULO 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.</b>	81
4.1 Resultados.	81
4.1.1 Análisis de la materia prima.	81
4.1.2 Determinación de las condiciones adecuadas para la síntesis de biodiesel a nivel laboratorio.	82
4.1.3 Características del biodiesel sintetizado a nivel piloto.	85
4.1.4 Análisis cromatográfico.	87
4.1.5 Funcionamiento de la planta piloto.	90
<b>CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS.</b>	91
5.1 Conclusiones.	91
5.2 Perspectivas.	92
<b>BIBLIOGRAFÍA.</b>	93
<b>ANEXOS.</b>	105
Anexo 1. Preparación de soluciones.	105
Preparación del ácido fosfomolíbdico.	105
Preparación de fenolftaleina.	105
Anexo 2. Espectros de masas de los componentes del biodiesel.	106

<b>CAPÍTULO 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.</b>	81
4.1 Resultados. ....	81
4.1.1 Análisis de la materia prima. ....	81
4.1.2 Determinación de las condiciones adecuadas para la síntesis de biodiesel a nivel laboratorio. ....	82
4.1.3 Características del biodiesel sintetizado a nivel piloto. ....	85
4.1.4 Análisis cromatográfico. ....	87
4.1.5 Funcionamiento de la planta piloto. ....	90
<b>CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS.</b>	91
5.1 Conclusiones. ....	91
5.2 Perspectivas. ....	92
<b>BIBLIOGRAFÍA.</b>	93
<b>ANEXOS.</b>	105
Anexo 1. Preparación de soluciones. ....	105
Preparación del ácido fosfomolibdico. ....	105
Preparación de fenolftaleina. ....	105
Anexo 2. Espectros de masas de los componentes del biodiesel. ....	106