

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**OBTENCIÓN DE BIODIESEL A PARTIR DE ACEITE VEGETAL
USADO**

Por:

JOSÉ AUGUSTO CASTILLO ORTEGA

**Proyecto de grado “Investigación Aplicada” presentado a consideración de la
“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito
para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química.**

Octubre del 2019

TARIJA-BOLIVIA

V°B°

M. Sc. Ing. Ernesto Álvarez Gozalvez

DECANO

M. SC. Ing. Elizabeth Castro F.

VICEDECANA

APROBADO POR:

TRIBUNAL:

Ing. Ernesto Evaristo Caihuara Alejandro

Ing. Rene Emilio Michel Cortes

Ing. Weimar Soliz Gutiérrez

“El tribunal calificador del presente proyecto, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo ellos únicamente responsabilidad del autor”.

Dedicatoria:

“El esfuerzo de todos estos años de estudio y el haber alcanzado este logro más en mi vida, están dedicados a las personas que me criaron, educaron y amaron al igual que a un hijo, mis abuelos Gonzalo Castillo y Pascuala Castillo”.

Agradecimientos:

A Dios, por su amor infinito, por darme salud y permitiré alcanzar mis metas como persona.

A mis padres, por darme la vida, guiar mis pasos, y por todo el sacrificio que hicieron para que pueda culminar esta etapa de mi vida.

A mi familia, por el cariño que me demostraron, por creer en mí y apoyarme siempre.

ÍNDICE

	Página
CAPITULO I INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	1
OBJETIVOS.....	8
Objetivo general.....	8
Objetivos específicos.....	8
JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	9
Justificación ambiental.....	9
Justificación tecnológica	9
Justificación social	10
Justificación económica	10
Justificación personal	10
CAPITULO II MARCO TEÓRICO	11
2.1 Biodiesel.....	11
2.2 Historia del biodiesel.....	12
2.3 Ventajas y desventajas del biodiesel.....	13
2.4 Métodos de obtención de biodiesel.....	14
2.5 Pirolysis	14
2.6 Transesterificación	15
2.6.1 Cinética de la reacción de transesterificación	16
2.6.2 Catálisis básica	18
2.6.3 Catálisis ácida.....	18
2.6.4 Catálisis heterogénea	18
2.7 Materias primas	19
2.7.1 Aceites y grasas	19
2.7.2 Triglicéridos	19
2.7.3 Aceite vegetal usado.....	20
2.8 Alcohol.....	21
2.9 Metodología del estudio	21

2.9.1 Descripción de la metodología	21
2.9.2 Caracterización fisicoquímica de la materia prima	23
2.9.3 Caracterización del producto: Biodiesel	24
2.9.4 Selección del método de obtención de biodiesel a partir de AVU	25
2.10 Parámetros que afectan la producción de biodiesel	30
CAPITULO III DESARROLLO EXPERIMENTAL	34
3.1 Introducción	34
3.2 Recolección de la materia prima	34
3.3 Caracterización fisicoquímica de la materia prima	34
3.3.1 Determinación del índice de acidez	34
3.3.2 Determinación de la densidad	36
3.3.3 Determinación de la viscosidad	37
3.3.4 Determinación del porcentaje de humedad y volátiles	38
3.4 Determinación de las cantidades de reactivos	39
3.5 Metanol	39
3.6 Catalizador (NaOH)	42
3.7 Preparación de la materia prima	43
3.8 Transesterificación	43
3.9 Decantación	45
3.10 Purificación del biodiesel	46
3.11 Caracterización fisicoquímica del producto obtenido	47
3.11.1 Determinación del porcentaje de humedad y volátiles	47
3.11.2 Determinación de la densidad	48
3.11.3 Determinación de la viscosidad	52
3.11.4 Determinación del índice de acidez	53
3.12 Descripción de equipos, materiales y métodos utilizados	55
3.12.1 Estufa	55
3.12.2 Balanza Analítica	55
3.12.3 Balanza	56
3.12.4 Viscosímetro	56

3.12.5 Calentador con agitador magnético	57
3.12.6 Bomba de vacío	57
3.13 Sustancias/Reactivos empleados	58
3.14 Materiales/Equipos empleados.....	58
3.15 Métodos empleados.....	59
3.16 Diseño Experimental.....	60
3.16.1 Pasos para determinar el diseño factorial.....	61
3.16.2 Elección de la variable a medir (variable respuesta)	61
3.16.3 Elección de las variables de operación (Factores)	62
3.16.4 Planificación de experimentos	62
CAPITULO IV DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	64
4.1 Análisis del rendimiento	64
4.2 Resultados del diseño factorial.....	65
4.3 Balance de materia y energía	69
4.3.1 Balance de materia	69
4.3.2 Balance de energía	73
4.4 Costo del estudio propuesto	74
4.5 Costo del producto obtenido	75
CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	77
5.1 Conclusiones	77
5.2 Recomendaciones	78
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:.....	80

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla II-1 Propiedades del biodiesel vs. Diesel de petróleo.	12
Tabla II-2 Ventajas y desventajas del biodiesel.	13
Tabla II-3 Composición %p/p del aceite de soja.	20
Tabla II-4 Propiedades fisicoquímicas de los aceites de fritura usados.	24
Tabla II-5 Requerimientos del biodiesel según la Norma Europea EN 14214.	25
Tabla II-6 Comparación entre los métodos de obtención de biodiesel.	26
Tabla II-7 Factores a evaluar y valores de ponderación.	27
Tabla II-8 Matriz de decisión para el proceso de pirolisis.	27
Tabla II-9 Matriz de decisión para el proceso de transesterificación.	28
Tabla II-10 Ventajas y desventajas de la catálisis ácida y básica.	28
Tabla II-11 Factores a evaluar y valores de ponderación en la selección del catalizador.	29
Tabla II-12 Matriz de decisión para catálisis básica.	29
Tabla II-13 Matriz de decisión para catálisis ácida.	30
Tabla III-1 Composición ácidos grasos del aceite vegetal usado.	40
Tabla III-2 Porcentaje de humedad de muestras de biodiesel.	48
Tabla III-3 Densidad de muestras de biodiesel.	51
Tabla III-4 Viscosidad dinámica y cinemática de muestras de biodiesel.	53
Tabla III-5 Índice de acidez de las muestras de biodiesel.	55
Tabla III-6 Características de la Estufa utilizada.	55
Tabla III-7 Características de la balanza analítica.	56
Tabla III-8 Características de la balanza.	56
Tabla III-9 Características del viscosímetro.	57
Tabla III-10 Características del agitador magnético.	57
Tabla III-11 Características del agitador magnético.	58
Tabla III-12 Factores y dominio experimental.	62
Tabla III-13 Matriz de experimentos, plan de experimentación y respuesta medida.	63
Tabla IV-1 Datos de rendimiento de la producción de biodiesel.	64
Tabla IV-2 Datos experimentales de Tiempo, Temperatura, Relación molar, Rendimiento.	65
Tabla IV-3 Datos para el cálculo del análisis de varianza.	66
Tabla IV-4 Factores inter-sujetos.	66
Tabla IV-5 Análisis de varianza (ANVA) para el proceso de obtención de biodiesel.	67
Tabla IV-6 Resumen del modelo ^b	67
Tabla IV-7 ANOVA ^b	67
Tabla IV-8 Coeficientes ^a	68

Tabla IV-9 Resultado del balance materia.	72
Tabla IV-10 Balance en el proceso de lavado.	73
Tabla IV-11 Resumen del balance de materia.	73
Tabla IV-12 Estimación de costos del proyecto.	75

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1- 1 Bolivia: Producción de Diesel.	2
Figura 1- 2 Evolución de la importación de diesel.	3
Figura 1- 3 Importación de diesel, según país.	3
Figura 2- 1 Mecanismo de la reacción de transesterificación.	15
Figura 2- 2 Representación esquemática del proceso para la obtención de biodiesel.	22
Figura 3- 1 Determinación del índice de acidez del AVU	36
Figura 3- 2 Determinación de la viscosidad del AVU	37
Figura 3- 3 Esquema del proceso de filtración a vacío	43
Figura 3- 4 Equipo de obtención de biodiesel.	44
Figura 3- 5 Separación de la glicerina del biodiesel	45
Figura 3- 6 Lavado del biodiesel.	46
Figura 3- 7 Estufa utilizada para determinación de humedad	47
Figura 3- 8 Equipo para la determinación de la viscosidad dinámica.	52
Figura 3- 9 Titulación ácido base del biodiesel.	54
Figura 3- 10 Representación gráfica DOE	61
Figura 4- 1 Comparación de valores corregidos con valores experimentales.	68
Figura 4- 2 Diagrama genérico de bloques del proceso de obtención de biodiesel	69

GLOSARIO

Abreviatura	Significado	Unidades
ASTM	Sociedad Americana de Ensayos y Materiales	
INE	Instituto Nacional de Estadística	
AVU	Aceite Vegetal Usado	
DQO	Demanda Química de Oxígeno	
EIA	Energy Information Administration	
US\$	Dólares Estado Unidos	
SRL	Sociedad de responsabilidad limitada	
CIAT	Centro de Investigación Agrícola tropical	
OAP	Observatorio Agroambiental y productivo	
IBCE	Instituto Boliviano de Comercio exterior	
Mt	Megatón	Mt
EPA	Environmental Protection Agency	
HC	Hidrocarburos	
HAPs	Hidrocarburos aromáticos policíclicos	
MP	Material Particulado	
Bs	Bolivianos (Moneda boliviana)	
FAME	Fatty Acid Methyl Ester	
PCI	Poder Calorífico Inferior	kJ/kg
kg	kilogramo (unidad de masa)	kg
ml	Mililitro	ml
l	Litro	l
TAG	Triacilgliceroles	
TG	Triglicéridos	
DG	Diglicéridos	
MG	Monoglicéridos	
AG	Ácidos grasos	
AGL	Ácido graso libre	
cSt	Centistokes	cSt
cg	Centigramos	cg
mg	Miligramo	mg
g	Gramo	g
EN	Norma Europea	
ISO	International Organization for Standardization (Organización internacional para la estandarización)	
AOCS	American Oil Chemists' Society (Sociedad americana de químicos petroleros)	
EEUU	Estados Unidos	
%p/p	porcentaje peso/peso	
mm	Milímetros	mm
nm	Nanómetro	nm
m	Metro	m
ANP	Agencia nacional de petróleo	

h	Hora	h
min	Minutos	min
POFF	Punto de obstrucción de filtro frio	
LOU	Laboratorio de operaciones unitarias	
DPIBA	Departamento de Procesos Industriales Biotecnológicos	
NB	Norma Boliviana	
CEANID	Centro de Análisis y Desarrollo	
I_a	Índice de acidez	
N	Normalidad	Eq-g/l
M	Molaridad	mol/l
PET	Polietileno	
μ	Viscosidad dinámica	Pa.s
ν	Viscosidad cinemática	m^2/s
eq-g	Equivalente gramo	
kW	Kilowatt	kW
rpm	revoluciones por minuto	rpm
DOE	diseño de experimentos	
η	Rendimiento	
ANVA	Análisis de varianza	
C_p	Capacidad calorífica	J/K
Pza	Pieza	