

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL USANDO TECNOLOGÍAS  
ALTERNATIVAS Y ANÁLISIS ECONÓMICO

Trabajo de graduación en modalidad de Megaproyecto presentado por:

Francisco José Bocanegra Recinos, Ilse María Noack Sierra y Hugo  
Roberto Oliveros Guerra para optar al grado académico de Licenciados  
en Ingeniería Química;

María Fernanda Chavarría Barrios para optar al grado académico de  
Licenciada en Ingeniería en Ciencias de la Administración; y

Erika Yarlyeny Esquinca Hernandez para optar al grado académico de  
Licenciada en Ingeniería Industrial.

Guatemala,

2014



PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL USANDO TECNOLOGÍAS  
ALTERNATIVAS Y ANÁLISIS ECONÓMICO

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL USANDO TECNOLOGÍAS  
ALTERNATIVAS Y ANÁLISIS ECONÓMICO

Trabajo de graduación en modalidad de Megaproyecto presentado por:

Francisco José Bocanegra Recinos, Ilse María Noack Sierra y Hugo  
Roberto Oliveros Guerra para optar al grado académico de Licenciados  
en Ingeniería Química;

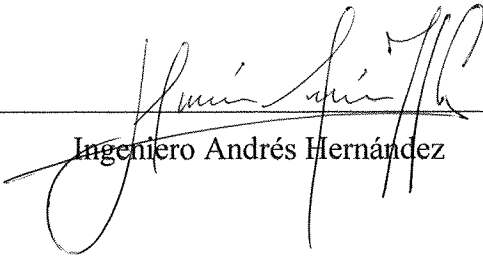
María Fernanda Chavarría Barrios para optar al grado académico de  
Licenciada en Ingeniería en Ciencias de la Administración; y

Erika Yarlyeny Esquinca Hernandez para optar al grado académico de  
Licenciada en Ingeniería Industrial.

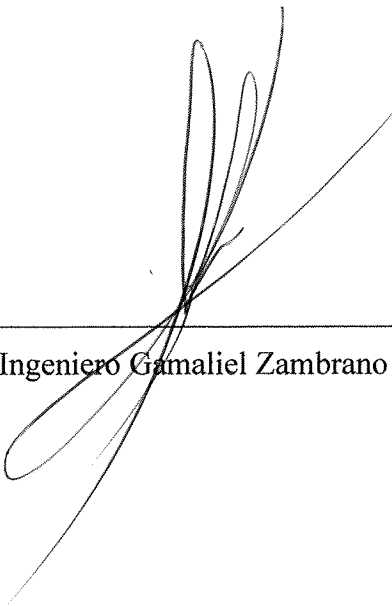
Guatemala,

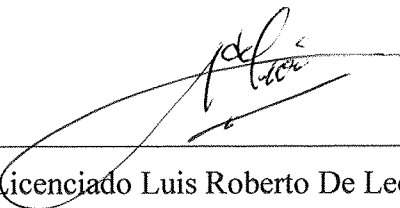
2014


Vo. Bo. :

(f)   
Ingeniero Andrés Hernández

Tribunal examinador:

(f)   
Ingeniero Gamaliel Zambrano

(f)   
Licenciado Luis Roberto De León

(f) 

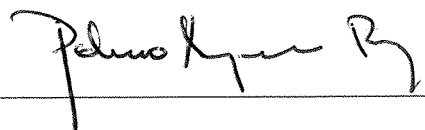
Ingeniero Celso Cerezo

(f) 

Licenciado Raúl Dacaret

(f) 

Ingeniero Estuardo Sierra

(f) 

Ingeniero Pedro Arguedas

Fecha de aprobación: Guatemala, 21 noviembre de 2014

# ÍNDICE

Índice .....	viii
Lista de tablas .....	xi
Lista de figuras .....	xviii
Resumen .....	xxiii
I. Introducción.....	1
II. Objetivos.....	4
A. Objetivo general.....	4
B. Objetivos específicos .....	4
III. Justificación .....	7
IV. Marco teórico.....	9
A. Biodiésel.....	9
1. Etapas de producción de biodiésel .....	12
2. Ventajas y desventajas del biodiésel.....	23
3. Biocombustibles en Guatemala. ....	24
4. Perspectivas de los biocombustibles a futuro.. ....	26
B. Método de ultrasonido – Sonoquímica.....	28
1. Ultrasonido. ....	28
2. Cavitación generada por el ultrasonido.....	31
3. Rendimientos alcanzados por el método de ultrasonido. ....	32
C. Glicerina. ....	34
1. Subproductos: .....	35
E. FODA y estrategias.....	52
F. Estudio de mercado.....	53
G. Sobre inversiones de modernización por la vía del reemplazo. ....	54
H. Sobre la demanda y la oferta.....	55
I. Estudio del proyecto en forma técnica. ....	56

J. Sobre los costos y beneficios .....	58
1. Comportamiento de los costos.....	58
2. Maximización de los beneficios.....	58
K. Cálculo de beneficio de proyecto.....	58
L. Análisis de costo beneficio incremental.....	59
M. Análisis del valor presente. ....	60
N. Análisis del valor anual.....	60
O. Análisis de tasa de rendimiento. ....	61
P. Análisis del periodo de recuperación. ....	61
V. Metodología.....	63
VI. Resultados.....	66
A. Producción de biodiésel con etanol por el método de ultrasonido. ....	66
B. Caracterización, recuperación y tratamiento de agua en el proceso de lavado de biodiésel. ...	75
C. Producción de propilenglicol a partir de la glicerina residual.....	81
D. Producción microbiana de aceite a partir de la glicerina residual. ....	86
E. Evaluación económica de la producción de biodiésel utilizando ultrasonido y sin ultrasonido con tratamiento de agua de lavado.....	92
F. Evaluación económica de la producción de propilenglicol y aceite de origen microbiano a partir de la glicerina obtenida de la producción de biodiésel.....	93
VII. Discusión de resultados .....	94
VIII. Conclusiones .....	114
IX. Recomendaciones .....	118
X. Bibliografía.....	121
XI. Anexo.....	125
A. Producción de biodiésel usando ultrasonido .....	125
B. Caracterización, recuperación y tratamiento de agua en el proceso de lavado de biodiésel ..	136
C. Producción de propilenglicol a partir de la glicerina residual.....	138

D. Producción microbiana de aceite .....	139
E. Evaluación económica de la producción de biodiésel utilizando ultrasonido y sin ultrasonido con tratamiento de agua de lavado.....	141
F. Evaluación económica de la producción de propilenglicol y aceite de origen microbiano a partir de la glicerina obtenida de la producción de biodiésel.....	142
G. Detalle de los servicios de electricidad y agua .....	151
H. Detalle del precio promedio por metro cuadrado del terreno.....	152
I. Detalle de costos del proceso de producción de aceites de origen microbiano.....	152
J. Detalle de la maquinaria para la producción de aceite de origen microbiano .....	158
K. Detalle de cotizaciones .....	160
L. Detalle del costo de incineración del residuo.....	167
XII. Anexo II.....	168
XIII. Glosario.....	287
XIV. Abreviaturas .....	291

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas de biodiésel (B100), según ASTM.....	11
Tabla 2. Equipos de una planta de biodiésel .....	18
Tabla 3. Estructura de algunos ácidos grasos comuns.....	19
Tabla 4. Producción mundial de biodiésel 2004 a 2010.....	26
Tabla 5. Principales productores de biodiésel en el mundo.....	27
Tabla 6. Resultados de varios estudios de producción de biodiésel a partir de distintos aceites utilizando sonoquímica .....	33
Tabla 7. Otros resultados de experimentos de producción de biodiésel a partir de aceites empleando sonoquímica y metanol.....	33
Tabla 8. Propiedades físicas del propilenglicol .....	38
Tabla 9. Efecto de la cantidad de catalítico en la formación de propilenglicol a partir de glicerina. ....	42
Tabla 10. Efecto de la temperatura de reacción en la formación de propilenglicol a partir de glicerina. ....	43
Tabla 11 Efecto de la presión en la formación de propilenglicol a partir de glicerina. ....	43
Tabla 12. Características principales de cada fase (Fany, 2014). ....	51
Tabla 13. Resultados obtenidos de la síntesis de biodiésel utilizando ultrasonido .....	66
Tabla 14. Resultados de la síntesis de subproductos del biodiésel usando ultrasonido .....	66
Tabla 15. Producción de biodiésel usando ultrasonido en función de la agitación .....	67
Tabla 16. Producción de biodiésel usando ultrasonido en función de la temperatura .....	68
Tabla 17. Producción de biodiésel usando ultrasonido en función de la amplitud utilizada .....	69
Tabla 18. Composición de biodiésel producido expresado como los resultados del análisis cromatográfico .....	71
Tabla 19. Propiedades de la materia prima utilizada .....	73
Tabla 20. Composición del aceite utilizado, como resultado del proceso de derivatización.....	74
Tabla 21. Media de los porcentajes de biodiésel recuperado a partir de la emulsión de agua-biodiésel durante el proceso del lavado de biodiésel para pruebas de laboratorio .....	75
Tabla 22. Media de jabones en porcentaje presentes en agua acidificada proveniente del proceso del lavado del biodiésel para pruebas de laboratorio.....	75
Tabla 23. Costo promedio de análisis de laboratorio para la separación de biodiésel y jabones provenientes del agua del lavado de biodiésel.....	75
Tabla 24. Pruebas piloto para el tratamiento de agua del proceso del lavado de biodiésel .....	75

Tabla 25. Costo de tratamiento de agua recuperando biodiésel de emulsión agua-biodiésel proveniente del proceso de fabricación de biodiésel .....	76
Tabla 26. Medición promedio para el análisis de sulfatos en agua proveniente del proceso de separación de emulsión por acidificación.....	76
Tabla 27. Pruebas de reducción de dureza de agua por precipitación de calcio con EDTA para el agua proveniente del proceso de precipitación de jabones .....	76
Tabla 28. Medición promedio de turbidez de agua antes y después de filtración por carbón activado y filtro de 5micrones para agua proveniente del proceso de precipitación de jabones .....	76
Tabla 29. Dimensiones para tanque de separación de emulsión por acidificación para el agua proveniente del proceso de lavado de biodiésel .....	77
Tabla 30. Dimensiones para tanque de separación de jabones por precipitación para el agua proveniente del proceso de lavado de biodiésel .....	77
Tabla 31. Dimensiones para tanque de almacenamiento para para el agua proveniente del proceso de tratamiento de agua .....	77
Tabla 32. Caracterización de glicerina tratada, muestra 1*.....	81
Tabla 33. Caracterización de glicerina tratada, muestra 2.....	81
Tabla 34. Caracterización de glicerina tratada, muestra 3 .....	82
Tabla 35. Caracterización de glicerina tratada, muestra 4.....	82
Tabla 36. Especificaciones de equipo para la propuesta de la figura 7 .....	84
Tabla 37. Especificaciones de válvulas para la propuesta de la figura 7 .....	85
Tabla 38. Especificaciones de corrientes para la propuesta de la figura 7.....	85
Tabla 39. Biomasa total producida (g/L) y rendimiento en la producción de Biomasa respecto al sustrato glucosa 2% ( $Y_{x/s}$ ) y rendimiento en la producción de aceite aparente ( $Y_{p/x}$ ) para las muestras con diferentes proporciones de glicerina.....	86
Tabla 40. Rendimiento en la producción de aceite aparente ( $Y_{p/x}$ ) para la fermentación con 1.25% de glicerina recuperada utilizada como sustrato en el medio de cultivo. ....	86
Tabla 41. Cantidad total de glicerina recuperada de glicerina cruda, proporción, pureza y pH. ....	86
Tabla 42. Resultado de la cromatografía líquida de alto desempeño (HPLC) realizado a la glicerina recuperada de los productos residuales de la producción de biodiésel. ....	87
Tabla 43. Cajetín de equipo para el diagrama de flujo. ....	90
Tabla 44. Cajetín de corrientes para el diagrama de flujo. ....	91
Tabla 45. Evaluación económica de la producción de biodiésel .....	92

Tabla 46. Evaluación económica de la producción de aceite de origen microbiano .....	93
Tabla 47. Parámetros de operación del cromatógrafo de gases - admisión .....	133
Tabla 48. Parámetros de operación del cromatógrafo de gases – columna .....	134
Tabla 49. Parámetros de operación de cromatógrafo de gases – horno.....	134
Tabla 50. Parámetros de operación del cromatógrafo de gases – inyector.....	134
Tabla 51. Resumen de pruebas realizadas con sus condiciones .....	135
Tabla 52. Variaciones en el tratamiento de glicerina .....	139
Tabla 53. Resultados de pruebas variando la cantidad de insumos - Producción de aceite de origen microbiano.....	146
Tabla 54. Precio del servicio de la electricidad con aporte a tarifa social INDE de EEGSA .....	151
Tabla 55. Precio del servicio del agua de empagua.....	151
Tabla 56. Promedio de precio por metro cuadrado de terrenos ubicados en zona 16 de la Ciudad de Guatemala.....	152
Tabla 57. Balance de insumos – Producción de Aceite de origen Microbiano .....	152
Tabla 58. Balance de equipo – Producción de Aceite de origen Microbiano.....	153
Tabla 59. Balance de obras físicas – Producción de Aceite de origen Microbiano.....	154
Tabla 60. Balance de personal – Producción de Aceite de origen Microbiano .....	154
Tabla 61. Costos Directos – Producción de Aceite de origen Microbiano.....	154
Tabla 62. Costos Indirectos de Fabricación – Producción de Aceite de origen Microbiano .....	156
Tabla 63. Producción de Aceite mensual - Producción de Aceite de origen Microbiano .....	156
Tabla 64. Precio según costo de producción - Producción de Aceite de origen Microbiano.....	157
Tabla 65. Margen de contribución - Producción de Aceite de origen Microbiano.....	157
Tabla 66. Presupuesto de inversión - Producción de Aceite de origen Microbiano .....	157
Tabla 67. Maquinaria para la Producción de Aceite de origen Microbiano .....	158
Tabla 68. Datos tomados para la densidad del aceite .....	168
Tabla 69. Datos tomados para la viscosidad del aceite .....	168
Tabla 70. Datos tomados para preparar la solución de KOH .....	168
Tabla 71. Datos tomados para la estandarización de la solución de KOH .....	169
Tabla 72. Datos tomados para la determinación de la acidez del aceite.....	169
Tabla 73. Datos tomados para la densidad del etanol.....	172
Tabla 74. Datos tomados para la humedad del NaOH.....	172
Tabla 75. Datos tomados para la preparación del etóxido de sodio.....	172

Tabla 76. Datos tomados para la gravedad específica del etóxido de sodio .....	173
Tabla 77. Datos de la calibración para la agitación .....	173
Tabla 78. Datos obtenidos en las pruebas de producción de biodiésel usando ultrasonido .....	175
Tabla 79. Datos obtenidos para la densidad del biodiésel .....	176
Tabla 80. Datos obtenidos para determinar la viscosidad del biodiésel .....	178
Tabla 81. Datos calculados de la materia prima .....	189
Tabla 82. Datos promedio de la materia prima .....	189
Tabla 83. Datos calculados para la viscosidad del biodiésel .....	190
Tabla 84. Datos calculados para las densidades del biodiésel .....	191
Tabla 85. Generador de ultrasonido .....	193
Tabla 86. Balanza analítica .....	193
Tabla 87. Balanza de humedad.....	194
Tabla 88. Estroboscopio .....	194
Tabla 89. Estufa con agitación .....	194
Tabla 90. Botella de gravedad específica .....	195
Tabla 91. Viscosímetro para aceite .....	195
Tabla 92. Viscosímetro para biodiésel .....	195
Tabla 93. Reactivos utilizados para limpieza de glicerina.....	213
Tabla 94. Equipo utilizado para la limpieza de glicerina .....	213
Tabla 95. Proceso de producción de biodiésel y tratamiento de agua .....	231
Tabla 96. Clasificación de costos directos e indirectos de la producción de biodiésel con ultrasonido a nivel laboratorio. ....	233
Tabla 97. Resultado de pruebas variando frecuencia, agitación y temperatura .....	234
Tabla 98. Balance de equipos de la producción de biodiésel con ultrasonido a nivel laboratorio.....	235
Tabla 99. Balance de obra física de la producción de biodiésel con ultrasonido a nivel laboratorio. ....	235
Tabla 100. Inversión de la producción de biodiésel con ultrasonido a nivel laboratorio.....	235
Tabla 101. Balance de personal de la producción de biodiésel con ultrasonido a nivel laboratorio.....	235
Tabla 102. Balance de insumos de la producción de biodiésel con ultrasonido a nivel laboratorio. ....	236
Tabla 103. Costo de la producción mensual de biodiésel con ultrasonido a nivel laboratorio. ....	236
Tabla 104. Resultados por corrida de la producción de biodiésel con ultrasonido a nivel laboratorio.....	236
Tabla 105. Clasificación de costos directos e indirectos del tratamiento de agua de lavado a nivel laboratorio. ....	237

Tabla 106. Resultados de pruebas de laboratorio para tratamiento de agua de lavado.....	238
Tabla 107. Promedio de resultados de pruebas de laboratorio para tratamiento de agua de lavado.....	238
Tabla 108. Balance de equipo del tratamiento de agua de lavado a nivel laboratorio.....	239
Tabla 109. Balance de obra física del tratamiento de agua de lavado a nivel laboratorio.....	239
Tabla 110. Inversión del tratamiento de agua de lavado a nivel laboratorio.....	239
Tabla 111. Balance de personal del tratamiento de agua de lavado a nivel laboratorio.....	239
Tabla 112. Balance de insumos del tratamiento de agua de lavado a nivel laboratorio.....	240
Tabla 113. Costo de producción del tratamiento de agua de lavado a nivel laboratorio.....	240
Tabla 114. Resultados por corrida del tratamiento de agua de lavado a nivel laboratorio.....	240
Tabla 115. Clasificación de costos directos e indirectos del tratamiento de agua de lavado a nivel planta.....	241
Tabla 116. Resultado de prueba piloto para tratamiento de agua de lavado.....	242
Tabla 117. Balance de equipos del tratamiento de agua de lavado a nivel planta.....	242
Tabla 118. Balance de obras físicas del tratamiento de agua de lavado a nivel planta.....	243
Tabla 119. Inversión del tratamiento de agua de lavado a nivel planta.....	243
Tabla 120. Balance de personal del tratamiento de agua de lavado a nivel planta.....	243
Tabla 121. Balance de insumos del tratamiento de agua de lavado a nivel planta.....	243
Tabla 122. Costo de producción del tratamiento de agua de lavado a nivel planta.....	244
Tabla 123. Balance de equipo del tratamiento de agua y producción de biodiésel a nivel planta.....	244
Tabla 124. Inversión reutilizando taque y mismo espacio a nivel planta para el tratamiento de agua y producción de biodiésel.....	244
Tabla 125. Balance de insumo del tratamiento de agua de lavado a nivel planta.....	245
Tabla 126. Costo de producción utilizando mismo personal para el tratamiento de agua y producción de biodiésel.....	245
Tabla 127. Resultado por corrida a nivel planta para el tratamiento de agua y producción de biodiésel.....	245
Tabla 128. Clasificación de costos directos e indirectos de la producción de biodiésel con ultrasonido a nivel planta.....	246
Tabla 129. Balance de equipos de la producción de biodiésel con ultrasonido a nivel planta.....	247
Tabla 130. Balance de obra física de la producción de biodiésel con ultrasonido a nivel planta.....	247
Tabla 131. Inversión de la producción de biodiésel con ultrasonido a nivel planta.....	247
Tabla 132. Balance de personal de la producción de biodiésel con ultrasonido a nivel planta.....	247
Tabla 133. Balance de insumos de la producción de biodiésel con ultrasonido a nivel planta.....	248
Tabla 134. Costo de producción de la producción de biodiésel con ultrasonido a nivel planta.....	248

Tabla 135. Resultados por corrida de la producción de biodiésel con ultrasonido a nivel planta. ....	248
Tabla 136. Clasificación de costos directos e indirectos de la producción de biodiésel sin ultrasonido a nivel planta. ....	250
Tabla 137. Balance de equipos de la producción de biodiésel sin ultrasonido a nivel planta. ....	251
Tabla 138. Balance de obra física de la producción de biodiésel sin ultrasonido a nivel planta. ....	251
Tabla 139. Inversión de la producción de biodiésel sin ultrasonido a nivel planta. ....	251
Tabla 140. Balance de personal de la producción de biodiésel sin ultrasonido a nivel planta. ....	251
Tabla 141. Balance de insumos de la producción de biodiésel sin ultrasonido a nivel planta.....	252
Tabla 142. Costo de producción de biodiésel sin ultrasonido a nivel planta. ....	252
Tabla 143. Resultados de la producción de biodiésel sin ultrasonido a nivel planta.....	252
Tabla 144. Diferencia de costos entre producción de biodiésel con ultrasonido y la producción de biodiésel sin ultrasonido. ....	254
Tabla 145. Producción mensual de Biodiésel por el método de ultrasonido y sin ultrasonido.....	254
Tabla 146. Comparación de los métodos de producción de biodiésel y tratamiento de agua.....	256
Tabla 147. Comparación de precios de los métodos de producción de biodiésel y tratamiento de agua ...	256
Tabla 148. Comparación de los métodos de producción de biodiésel y tratamiento de agua compartiendo equipo y personal.....	257
Tabla 149. Comparación de precios de los métodos de producción de biodiésel y tratamiento de agua compartiendo equipo y personal.....	258
Tabla 150. Análisis de sensibilidad de la producción de biodiésel sin ultrasonido .....	259
Tabla 151. Análisis de sensibilidad de los insumos para la producción de biodiésel sin ultrasonido .....	260
Tabla 152. Datos de análisis de tiempo de retorno de inversión para la producción de biodiésel con ultrasonido y tratamiento de agua.....	262
Tabla 153. Flujo de efectivo para la producción de biodiésel usando ultrasonido y tratamiento de agua ...	263
Tabla 154. Datos de análisis de tiempo de retorno de inversión para la producción de biodiésel sin ultrasonido y tratamiento de agua.....	266
Tabla 155. Flujo de efectivo para la producción de biodiésel sin utilizar ultrasonido y tratamiento de agua .....	266
Tabla 156. Análisis costo/beneficio incremental de la producción de biodiésel utilizando ultrasonido y sin ultrasonido. ....	268
Tabla 157. FODA de producción de biodiésel con ultrasonido.....	270
Tabla 158. FODA de producción de biodiésel sin ultrasonido.....	271

Tabla 159. Análisis FODA – Servicio de recolección de desechos.....	273
Tabla 160. Análisis FODA – Producción de aceite de origen microbiano (usando levaduras).....	274
Tabla 161 .Costos según su variabilidad – Producción de aceite de origen microbiano (usando levaduras).....	275
Tabla 162. Costos según su imputación – Producción de aceite de origen microbiano (usando levaduras).....	275
Tabla 163. Costo de inversión – Producción de aceite de origen microbiano (usando levaduras).....	275
Tabla 164. Costo de producción – Producción de aceite de origen microbiano (usando levaduras).....	276
Tabla 165. Datos de análisis de tiempo de retorno de inversión - Producción de Aceite de origen Microbiano .....	276
Tabla 166. Flujo libre de efectivo - Producción de Aceite de origen Microbiano.....	277
Tabla 167. Determinación de la TMAR para la producción de aceite de origen microbiano.....	280
Tabla 168. Flujo de efectivo para VPN - Producción de Aceite de origen Microbiano .....	281
Tabla 169. Análisis costo beneficio - Producción de Aceite de origen Microbiano.....	282
Tabla 170. Producción de Aceite mensual - Producción de Aceite de origen Microbiano.....	284

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Gráfica de las emisiones generadas por la combustión de biodiésel a distintas proporciones .....	10
Figura 2. Mecanismo de reacción de transesterificación básica para la producción de biodiésel .....	12
Figura 3. Conversión de aceite en biodiésel en función del tiempo para la transesterificación.....	13
Figura 4. Saponificación de una grasa.....	14
Figura 5. Diagrama de una planta de biodiésel.....	18
Figura 6. Clasificación de alcoholes según la unión carbono-hidroxilo.....	20
Figura 7. Métodos más comunes de producción de alcoholes.....	20
Figura 8 .Efecto de un catalizador en la energía de activación de una reacción.....	22
Figura 9. Reacción de desprotonación de etanol empleando NaOH .....	23
Figura 10. Rangos de frecuencia de los sonidos.....	28
Figura 11. Propagación del sonido en un líquido .....	29
Figura 12. Diagrama de fases.....	31
Figura 13. Cavitación en un medio líquido de dos fases .....	32
Figura 14. Usos comunes del propilenglicol .....	35
Figura 15. Mecanismo de reacción propuesta para la conversión de glicerina a propilenglicol. Mecanismo propuesto por Montassier <i>et. al.</i> 1988.....	37
Figura 16. Efecto de la temperatura en la reducción previa del catalítico para la formación de propilenglicol a partir de glicerina.....	41
Figura 17. Mecanismo global de reacción para la producción de propilenglicol a partir de glicerina. ....	44
Figura 18. Mecanismo de reacción para la deshidrogenación de glicerol a acetol. ....	45
Figura 19. Mecanismo de reacción para conversión de acetol en propilenglicol. ....	45
Figura 20. Esquema general del proceso de anabolismo y catabolismo. ....	47
Figura 21. Curva de crecimiento microbiano en función del tiempo. ....	50
Figura 22. Producción de biodiésel usando ultrasonido en función de la agitación .....	67
Figura 23. Producción de biodiésel usando ultrasonido en función de la temperatura.....	68
Figura 24. . Producción de biodiésel usando ultrasonido en función de la temperatura, ampliada .....	69
Figura 25. Producción de biodiésel usando ultrasonido en función de la amplitud utilizada .....	70
Figura 26. Producción de biodiésel usando ultrasonido en función de la amplitud utilizada, ampliada .....	70
Figura 27. Plano para construcción de tanque agitado para acidificación de emulsión proveniente del lavado del biodiésel .....	78

Figura 28. Plano para construcción de tanque agitado para proceso de precipitación de jabones para el agua proveniente del proceso del lavado de biodiésel .....	79
Figura 29. Plano para construcción de tanque para almacenamiento de agua proveniente del tratamiento de agua del proceso de lavado del biodiésel.....	80
Figura 30. Diagrama de flujo para la propuesta de la producción de propilenglicol a partir de glicerina. ...	83
Figura 31. Rendimiento en la producción de biomasa para los distintos medios variando la proporción de glicerina, en una fermentación de 168h utilizando <i>Lipomyces starkeyi</i> .....	87
Figura 32. Rendimiento de la producción de aceite aparente para los distintos medios variando la proporción de glicerina, en una fermentación de 168h utilizando <i>Lipomyces starkeyi</i> .....	88
Figura 33. Diagrama de para la producción de aceite aparente de origen microbiano en escala de laboratorio.....	89
Figura 34. Esquema de viscosímetros utilizados .....	127
Figura 35. Sistema de ultrasonido ensamblado .....	131
Figura 36. Rango por consumo del servicio del agua de empagua.....	151
Figura 37. Autoclave 8000-DSE .....	158
Figura 38. Campana horizontal LABCONCO .....	158
Figura 39. Incubador New Brunswick.....	158
Figura 41. Balanza Analítica .....	159
Figura 42. Extractor de aceites SOXLETH .....	159
Figura 43. Kit de destilación .....	159
Figura 47. Precio de etanol.....	160
Figura 48. Precio de metanol.....	160
Figura 49. Precio de Hexano .....	161
Figura 50. Precio de materia prima para la producción de aceite origen microbiano.....	162
Figura 51. Precio de reactivos .....	163
Figura 52. Precio de mascarilla .....	164
Figura 53. Precio de mesa de acero inoxidable .....	164
Figura 54. Precio de productos de laboratorio.....	164
Figura 55. Precio de planta de biodiésel.....	165
Figura 56. Precio de accesorios de laboratorio CV .....	165
Figura 57. Precio de combustibles.....	166
Figura 58. Precio de terrenos en zona 16 cimentados .....	166

Figura 59. Cotización del precio/kilo por la incineración de residuos. ....	167
Figura 60. Cromatograma de la derivatización del aceite .....	170
Figura 61. Cromatograma de la derivatización del aceite (tabla) .....	171
Figura 62. Curva de calibración de la agitación usando aceite.....	173
Figura 63. Curva de calibración de la agitación usando agua .....	174
Figura 64. Cromatograma obtenido para la prueba A1 .....	179
Figura 65. Cromatograma obtenido para la prueba A1 (tabla) .....	181
Figura 66. Aceite y etóxido de sodio empleados (Prueba G1) .....	196
Figura 67. Mezcla de reacción previo a comenzar la reacción (B1).....	197
Figura 68. Experimentación empleando ultrasonido (Prueba A2).....	197
Figura 69. Separación del biodiésel producido (Prueba A2) .....	198
Figura 70. Lavados de biodiésel obtenido usando agua (Prueba D2, primera y quinta lavada) .....	198
Figura 71. Secado de biodiésel empleando calor (Prueba D2) .....	199
Figura 72. Prueba gelatinizada (B1, B2, F1 y F2) .....	199
Figura 73. Jabón obtenido después de lavar y calentar el biodiésel (Prueba A1 y C1) .....	200
Figura 74. Balance de masa cualitativo para proceso de producción y lavado de biodiésel.....	200
Figura 75. Cromatograma de muestra de biodiésel de prueba piloto 3 .....	201
Figura 76. Cuantificación de áreas para cromatograma de análisis de biodiésel de prueba piloto 3 (página 1).....	202
Figura 77. Cuantificación de áreas para cromatograma de análisis de biodiésel de prueba piloto 3 (página 2).....	204
Figura 78. Simulación 3D de planta para tratamiento de agua proveniente del proceso del lavado del biodiésel de agua del proceso del lavado del biodiésel.....	205
Figura 79. Diagrama de tanque agitado para el uso de ecuaciones de diseño de tanques .....	206
Figura 80. Cotización ácido clorhídrico 37% .....	207
Figura 81. Cotización ácido sulfúrico 95%-97% .....	208
Figura 82. Equipo de seguridad utilizado para tratamiento de agua del proceso del lavado de biodiésel.....	209
Figura 83. Recuperación de agua del proceso del lavado de biodiésel.....	210
Figura 84. Adición de agua emulsionada a tanque de tratamiento .....	210
Figura 85. Recuperación de fase acuosa del proceso de acidificación .....	211
Figura 86. Adición de óxido de calcio a agua acidificada .....	212

Figura 87. Planta de filtración para el agua proveniente del proceso de lavado de biodiésel.....	213
Figura 88. Acidificación de glicerina para la separación de fases de glicerina y ésteres. ....	214
Figura 89. Proceso de neutralización de glicerina .....	214
Figura 90. Glicerina neutralizada .....	215
Figura 91. Separación de fases de glicerina y ésteres y jabones.....	215
Figura 92. Decantación de la fase para obtener glicerina ya tratada. ....	216
Figura 93. Estándares y muestras diluidas con etanol para la columna de cromatografía. ....	217
Figura 94. resultados de cromatografía para la primera muestra.....	217
Figura 95. Resultados de cromatografía para la segunda muestra.....	218
Figura 96. Resultados de cromatografía para la tercera muestra .....	219
Figura 97. Resultados de cromatografía para la cuarta muestra.....	220
Figura 98. Tiempo de retención de glicerina para la muestra No. 1 .....	222
Figura 99. Tiempo de retención de glicerina para la muestra No. 2.....	222
Figura 100. Tiempo de retención de glicerina para la muestra No. 3.....	222
Figura 101. Tiempo de retención de glicerina para la muestra No. 4.....	222
Figura 102. Resultado de la cromatografía líquida realizada a la glicerina recuperada. ....	224
Figura 103. Sabouroud 2%, peptona de caseína y peptona de carne pesados.....	225
Figura 104. Incubadora agitado de medio controlado. ....	225
Figura 105. Preparación del medio compuesto de saboudoud 2%, peptona de caseína y peptona de carne y glicerina. ....	225
Figura 106. Medio fermentado por 168h con proporción del 1.25%, 2.50% y 5.00% en volumen de glicerina. ....	226
Figura 107. Biomasa húmeda producida durante la fermentación del medio con 2.50% de volumen constituido de glicerina, luego de centrifugarse y drenar el sobrenadante. ....	226
Figura 108. Biomasa húmeda producido durante la fermentación de medio con 1.25% en volumen de glicerina, luego a centrifugarse y drenar el sobrenadante. ....	226
Figura 109. Biomasa húmeda producida durante la fermentación del medio con 2.00% de volumen constituido de glicerina, luego de centrifugarse y drenar el sobrenadante. ....	227
Figura 110. Biomasa y sobrenadante obtenidos de la centrifugación de una alícuota de 10.00±0.05 mL del fermentado con 5.00% de glicerina en volumen.....	227
Figura 111. Biomasa seca de 7 muestras de 10.00±.05mL de fermentado utilizada para determinar la producción de biomasa total según el medio y la proporción de glicerina contenido. ....	227

Figura 112. Biomasa obtenida producto de la fermentación con levadura <i>Lipomyces starkeyi</i> posterior a un proceso de secado y deshidratado. ....	228
Figura 113. Sistema armado para extracción de aceite aparentes utilizando un extractor por solvente soxhlet, una estufa y accesorios. ....	228
Figura 114. Aceite obtenido luego de evaporar por completo el solvente, producto de la fermentación de la muestra con 1.25% en volumen de glicerina con levadura <i>Lipomyces starkeyi</i> . ....	228
Figura 115. Sistema de destilación para la recuperación de solvente (hexano) en la extracción de aceite aparente. ....	229
Figura 116. Reactivos, equipo, cristalería y accesorios auxiliares utilizados en la recuperación de aceite aparente. ....	229
Figura 117. Análisis de sensibilidad.....	260
Figura 118. Análisis de sensibilidad de los insumos del biodiésel.....	261
Figura 119. Periodo de recuperación para la producción de biodiésel utilizando ultrasonido. ....	264
Figura 120. Periodo de recuperación para la producción de biodiésel sin utilizar ultrasonido.....	267
Figura 121. Flujo libre de efectivo acumulado - Producción de Aceite de origen Microbiano.....	280
Figura 122. Precio de la presentación de Aceite Olmeca.....	285
Figura 123. Precio de la presentación de Aceite Regia.....	285

## RESUMEN

El objetivo principal de esta investigación fue evaluar la implementación de métodos alternativos en la producción de biodiésel utilizando un método de ultrasonido, el aprovechamiento de glicerina para la producción de aceite aparente y el desarrollo de una propuesta para un nuevo proceso en la producción de propilenglicol; así como el tratamiento de aguas residuales obtenidas del lavado de biodiésel, realizando un análisis económico de los procesos, para determinar la viabilidad por medio de un estudio de costo beneficio.

En este trabajo se presenta la evaluación de la producción de biodiésel utilizando aceite de fritura reciclado y etanol por medio del método de ultrasonido. Para ello se evaluó el efecto al variar la agitación mecánica, temperatura y amplitud de onda a la mezcla reaccionante. Los experimentos consistieron en realizar una reacción de transesterificación, y el biodiésel obtenido se lavó con agua y se analizó para determinar la masa y densidad. Se determinó que la agitación es la variable más importante evaluada, pues el rendimiento de biodiésel aumentó en todos los experimentos. En cuanto que la amplitud de onda al 50% y sin agitación de no proporciona la suficiente energía de activación a la reacción; y el aumento de la temperatura, disminuye el rendimiento debido a una competencia entre mecanismos de reacción.

El análisis y cuantificación de contaminantes presentes en el agua obtenida del lavado de biodiésel obtuvo como resultado el diseño de un proceso de tratamiento de agua, obtenido al caracterizar y evaluar el agua utilizada antes y después del lavado de biodiésel para poder reutilizarse en el proceso o descartarse a las fuentes pluviales adecuadamente. La investigación se realizó con tres pruebas de laboratorio y cuatro pruebas a nivel piloto en las que se obtuvo que un agua tratada que contiene 80ppm de sulfatos con un valor máximo aceptable de 400ppm. En las pruebas piloto se recuperó hasta un 24% de biodiésel lo que permitió que el costo de operación de la planta de tratamiento de agua se mantuviera entre Q. 4.00.

Del proceso de biodiésel se obtiene glicerina cruda, por lo que se diseñó un proceso para la producción de propilenglicol por medio de la hidrogenación de la glicerina recuperada y evaluó la producción de aceite aparente de origen microbiano. Para la propuesta de propilenglicol se caracterizó la glicerina recuperada por medio de una cromatografía HPLC, ya que su composición afecta el rendimiento del proceso. La segunda parte consistió en hacer una propuesta de un nuevo proceso de producción de propilenglicol, con ayuda del reactor de hidrogenación con el fin de aumentar el porcentaje de conversión de glicerina a propilenglicol. La propuesta consta de: un reactor con agitación, tubos de enfriamiento con ayuda de aceite térmico y en la parte

superior un condensador conectado a un compresor para convertir la glicerina en acetol líquido y luego pasarse al reactor de hidrogenación y obtener como producto propilenglicol.

Como otra propuesta para utilizar la glicerina, se produjo aceite aparente de origen microbiano, a través de un proceso de fermentación utilizando la cepa de levadura *Lipomyces starkeyi*, utilizando proporciones con 0.00%, 1.25%, 2.50% y 5.00% de glicerina USP como sustrato en las muestras de 125mL. La proporción de 1.25% con el mayor rendimiento en la producción de aceite se escaló a 1 litro utilizando glicerina recuperada del proceso de la producción de biodiésel, la cual obtuvo un rendimiento del  $9.40 \pm 0.02\%$  en la producción de aceite aparente.

Se realizó un análisis costo-beneficio al proceso de tratamiento de agua, producción de biodiésel por el método de ultrasonido y la producción de aceite aparente para determinar los costos, la inversión, recuperación de inversión y un análisis costo beneficio para determinar la viabilidad de la aplicación de este proceso. Junto con ello se utilizaron herramientas que proveen información del mercado en conjunto y un análisis FODA. El proceso elegido al ser más económicamente viable, presentando un índice costo beneficio mayor, amigable con el ambiente, mayores beneficios, un retorno de inversión más pronto y con precio más competitivo es el proceso de producción de biodiésel sin ultrasonido.

Mediante el análisis financiero, se determinó que el proyecto de producción de aceites no es viable económicamente. El retorno de la inversión del proyecto sería de 34 años, por lo que rebasa el tiempo máximo de vida útil del equipo y se tendría que realizar una reinversión cuando no se ha recuperado la inversión inicial indicando que el proyecto no es viable. Mediante la estimación del valor presente neto se obtuvo un resultado de -Q182,960.60 confirmando que el proyecto no es viable económicamente.

# I. INTRODUCCIÓN

La producción e investigación de los combustibles renovables ha tenido un auge en las últimas décadas debido al precio fluctuante e incremental del petróleo y sus derivados, a una disminución en las reservas de petróleo en el mundo, a las crecientes consecuencias del calentamiento global y a la creación de una conciencia ambiental en las personas. Entre los combustibles renovables estudiados se encuentra el biodiésel, producido a partir de aceites vegetales y grasas animales a través de una reacción de transesterificación empleando un alcohol como metanol o etanol. Las ventajas del biodiésel son la capacidad de producirlo a partir de aceites vírgenes o reciclados de procesos de fritura, lo que permite reducir el impacto ambiental por las malas disposiciones del aceite, la reducción de emisión de gases de efecto invernadero como productos de la combustión del biodiésel en los motores diésel, su efecto lubricante para el motor y la capacidad de mezclarse con diésel derivado de petróleo para mejorar el poder calorífico del combustible.

La producción de biodiésel ha tomado importancia porque en los últimos 15 años, debido al elevado uso de combustibles fósiles y la emisión de gases de efecto invernadero, se considera como una forma alternativa de producción de energía. El biodiésel es considerado como una energía limpia y eficiente por la reducción en la emanación de los gases de efecto invernadero.

Entre las investigaciones existentes de la producción de biodiésel se han expandido los métodos de producción convencionales hasta llegar a procesos no convencionales como el empleo de ultrasonido y microondas como fuentes de energía para la reacción, los que han llevado a reducir el tiempo de reacción de varias horas (generalmente 3 horas) a 60 minutos o menos. Las investigaciones que se han realizado sobre el método de ultrasonido emplean como materia prima aceites de diversas fuentes como jatropha, Babassu, soya, de fritura, etc. la mayoría empleando metanol como alcohol y ninguna empleando etanol y aceite de fritura reciclado.

En la producción de biodiésel se utiliza agua durante el proceso de lavado, la cual se contamina con distintos productos, como: jabones, hidróxido de sodio, metanol, glicerina y biodiésel lo que evita su fácil descarte. Por ello es necesario realizar un tratamiento previo de las aguas del lavado que permita asegurar el descarte del agua de una forma adecuada.

Como todo proceso, la producción de biodiésel tiene subproductos los cuales no son utilizados debido a que necesitan un tratamiento previo para poder ser utilizados como materia prima en otros procesos. Uno de estos subproductos es la glicerina. Esta glicerina está compuesta por residuos de reactivos en exceso tal como son metanol y agua, así como compuestos formados en la reacción de transesterificación que no son deseados

en la composición de biodiésel, siendo estos: jabones y sales inorgánicas, por lo que los productores de biodiésel simplemente desechaban la glicerina o se mandan a incinerar. Existen distintos métodos de tratamiento de glicerina, ya que al ser un subproducto, resulta ser un desecho contaminante si no se trata adecuadamente. Al tener una glicerina limpia, esta puede ser utilizada en distintos procesos como materia prima.

Uno de esos procesos en los que puede ser utilizada la glicerina es en la producción de propilenglicol por medio de una reacción de hidrogenación. El propilenglicol tiene diversas aplicaciones en la industria, como por ejemplo, en plásticos térmicos, ropa, pinturas de látex, vidrio y limpiadores de superficies esmaltadas, anticongelantes/refrigerantes de automóviles, fluidos de transferencia de calor, fluidos de deshielo de aeronaves, tratamiento de gas natural, líquidos de procesos químicos, fluidos hidráulico, papel y embalaje, adhesivos, plastificantes, pesticidas, tintas de impresión, cosméticos, productos farmacéuticos, alimentos y electrónica.

Basado en investigaciones previas realizadas por el Ingeniero Oscar Armando Maldonado Ordóñez en el Informe Evaluación de la producción microbiana de aceites a partir de la glicerina o glicerol proveniente de la producción de biodiésel, se seleccionaría la cepa de levadura que obtuvo un mayor rendimiento en la producción de aceite microbiano, se realizaría un estudio en el que se utiliza como sustrato en un proceso de fermentación, el subproducto glicerina obtenido de la producción de biodiésel en el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad del Valle de Guatemala.

El desarrollo de ésta tecnología, y la obtención de un aceite de origen microbiano, ayudaría a esclarecer si es posible la optimización de la producción de biodiésel, el beneficiando de la reducción de los costos, disminución del impacto ambiental causado por los gases de combustión generados por el uso de combustibles de origen fósil y el rendimiento de la producción del biocombustible al utilizarse un aceite menos contaminado en comparación con el aceite reciclado usado actualmente. Además, de encontraría una potencial solución al subproducto más significativo del proceso, pudiéndose aplicar en el proceso de la planta misma.

Por lo que el objetivo principal de esta investigación fue evaluar la implementación de métodos alternativos en la producción de biodiésel utilizando un método de ultrasonido, el aprovechamiento de glicerina para la producción de aceite aparente y el desarrollo de una propuesta para un nuevo proceso en la producción de propilenglicol; así como el tratamiento de aguas residuales obtenidas del lavado de biodiésel, realizando un análisis económico de los procesos, para determinar la viabilidad por medio de un estudio de costo beneficio.

Para lograr el objetivo de investigación, se dividió en partes, siendo estas: la producción de biodiésel a partir de ultrasonido, el diseño y construcción de un proceso complementario para la Planta de Biodiésel del Laboratorio de Operaciones Unitarias en la Universidad del Valle de Guatemala, involucrando la caracterización y evaluación del agua utilizada antes y después del lavado en la producción de biodiésel, para que esta pueda ser reutilizada en el proceso o descartada a las fuentes pluviales adecuadamente. Así como la propuesta para la utilización de la glicerina residual del proceso de biodiésel. Dicha propuesta consiste en la producción de propilenglicol a partir de glicerina tratada. Como otra propuesta para el aprovechamiento de esta glicerina encontramos la producción de aceite de origen microbiano usando glicerina como sustrato, por medio de un proceso de fermentación microbiana utilizando la cepa de levadura *Lipomyces starkeyi*, realizando una evaluación del proceso y rendimiento para implementarlo en el proceso de producción de biodiésel.

En el siguiente trabajo podrán observar fundamentos necesarios para realizar el análisis económico de la producción de biodiésel usando tecnologías alternativas, que en este caso es el uso de ultrasonido dentro del proceso y el análisis económico de la producción de biodiésel sin el uso de ultrasonido (producción actual). Dentro del análisis se incluirá el análisis económico del tratamiento de agua de lavado del proceso de producción de biodiésel, esto con el fin de regresar al ambiente un agua limpia sin tóxicos que perjudiquen al medio ambiente o a la salud de las personas. Se podrán observar análisis de costos, precios, flujos de efectivo, análisis de recuperación de inversión, análisis de costo beneficio y un análisis FODA que nos da perspectiva del entorno (mercado) del biodiésel. Al final del informe se puede observar la toma de decisión más conveniente tomando en cuenta los análisis de mercado (FODA) como los análisis financieros.

Se espera que el presente trabajo sea de su agrado y beneficio para seguir con investigaciones respecto a dicho tema y poderlo implementarlo en un futuro.

## II. OBJETIVOS

### A. OBJETIVO GENERAL:

Evaluar la implementación de métodos alternativos en la producción de biodiésel utilizando un método de ultrasonido, el aprovechamiento de glicerina para la producción de aceite aparente y el desarrollo de una propuesta para un nuevo proceso en la producción de propilenglicol; así como el tratamiento de aguas residuales obtenidas del lavado de biodiésel, realizando un análisis económico de los procesos, para determinar la viabilidad por medio de un estudio de costo-beneficio.

### B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Comparar el rendimiento de etil ésteres empleando el método de ultrasonido auxiliado con agitación mecánica (400 rpm) y sin agitación para evaluar el efecto de la cavitación generada en el rendimiento de la reacción.
2. Comparar el rendimiento de etil ésteres empleando calentamiento (60°C) y a temperatura ambiente (25°C) para evaluar el efecto de la temperatura en la producción de biodiésel usando ultrasonido.
3. Comparar el rendimiento de etil ésteres variando la amplitud de la onda de ultrasonido a 90% y 50% para determinar el efecto de la potencia requerida en la producción de biodiésel usando ultrasonido.
4. Diseñar y construir un proceso de tratamiento de agua para la Planta de Biodiésel del Laboratorio de Operaciones Unitarias en la Universidad del Valle de Guatemala, involucrando la caracterización y evaluación del agua utilizada antes y después del lavado en la producción de biodiésel, para que esta pueda ser reutilizada en el proceso o descartada a la fuentes pluviales adecuadamente

5. Caracterizar y cuantificar los agentes contaminantes en el agua proveniente del proceso de lavado de biodiésel de la planta piloto del Laboratorio de Operaciones Unitarias en la Universidad del Valle de Guatemala.
6. Establecer el tratamiento de agua más conveniente para el agua proveniente del proceso de lavado de biodiésel para su reutilización en la planta piloto del Laboratorio de Operaciones Unitarias en la Universidad del Valle de Guatemala o su descarte adecuado a las fuentes pluviales.
7. Establecer un método de separación líquido-líquido, evaluando su viabilidad económica para la recuperación de biodiésel del agua proveniente del proceso de lavado de biodiésel de la planta piloto del Laboratorio de Operaciones Unitarias en la Universidad del Valle de Guatemala
8. Diseñar el módulo adicional de la planta de biodiésel para el tratamiento de agua
9. Proponer un nuevo proceso para la producción de propilenglicol a partir de la glicerina residual del proceso de elaboración de Biodiésel, mediante una reacción de hidrogenación utilizando un catalítico metálico, con el fin de aprovechar dicho subproducto.
10. Generar tecnología de reacciones catalíticas con aprovechamiento de subproductos de otras tecnologías empleadas, utilizando la glicerina residual del proceso de biodiésel para generar propilenglicol.
11. Llevar a cabo la reacción catalítica con las condiciones de presión y temperatura adecuadas para obtener como único producto propilenglicol.
12. Comprobar la eficiencia de un catalizador metálico utilizando como catalizador cromita de cobre y la glicerina residual del proceso de biodiésel para llevar a cabo la hidrogenación de la glicerina.
13. Evaluar la cinética de la reacción catalizada de glicerina para la conversión a glicoles mediante la eficiencia obtenida en la reacción de hidrogenación de la glicerina residual con el catalizador cromita de cobre.
14. Realizar un análisis costo/beneficio del proceso de producción de biodiésel utilizando ultrasonido para demostrar la fiabilidad económica de dicho proceso al compararlo con los beneficios del proceso actual de producción de biodiésel, incluyendo el costo del tratamiento de agua de dicha producción.
15. Identificar diferencias entre los costos del proceso de producción de biodiésel por ultrasonido y el de la producción actual al clasificarlos por costos directos, indirectos y gastos.
16. Establecer un precio de venta por competencia que esté relacionado con los costos de producción, siempre teniendo presente la economía en escala.

17. Realizar un análisis costo/beneficio para calcular y comparar el margen de contribución del proceso de producción de biodiésel con ultrasonido y del actual, analizando los costos y las posibles ventas de cada proceso.

18. Realizar un análisis financiero de retorno de inversión proyectando el tiempo en que se recuperará la inversión inicial de ambos procesos de producción, para analizar la fiabilidad económica del proceso de producción de biodiésel utilizando ultrasonido sobre la del proceso actual.

19. Realizar un análisis de costos para el tratamiento de aguas como parte del proceso de producción de biodiésel.

20. Realizar un FODA (fortaleza, oportunidades, debilidades y amenazas) del proceso de producción de biodiésel viable económicamente para analizar el mercado del sector de agrocombustibles versus los combustibles fósiles.

21. Evaluar económicamente la producción de propilenglicol y aceites (usando levaduras) a partir de la glicerina residual del proceso de biodiésel, mediante un análisis costo-beneficio incremental comparado con el servicio de recolección de desechos.

22. Determinar y analizar los costos de producción de cada uno de los dos procesos alternativos para el aprovechamiento del residuo (glicerina) de la producción de biodiésel.

23. Realizar un FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas) del proceso de producción de cada uno de los procesos alternativos para el aprovechamiento del residuo (glicerina) de la producción de biodiésel para analizar la situación de cada uno comparado con el servicio de recolección de desechos.

24. Realizar un análisis financiero para cada una de las alternativas.

### III. JUSTIFICACIÓN

En los últimos años el precio del barril de petróleo ha experimentado un comportamiento descontrolado por tendencias al alza hasta llegar a 145.31US\$/barril en julio de 2008 y por tendencias a la baja hasta llegar a 33.98 US\$/barril en febrero de 2009, según el Ministerio de Energía y Minas (MEM). Este precio influye directamente a los precios que presentan los diversos productos derivados del petróleo que se utilizan como combustibles en el mundo siendo los principales la gasolina, el diésel, el gas licuado de petróleo (GLP) y el búnker. El precio del diésel en enero del año 2005 era de Q25.90/galón y en octubre de 2013 fue de Q31.00/gal presentando un incremento del 19.69%, según datos del MEM.

Junto al incremento de los precios de los combustibles se ha incrementado la demanda de los mismos en Guatemala llegando a 1,600 millones de galones anuales, esto debido al incremento del parque vehicular de 1 millón de vehículos en el 2005 a 2.5 millones en mayo de 2013, según la Superintendencia de Administración Tributaria (SAT).

Por esto mismo en el megaproyecto *Producción de Biodiésel usando Tecnologías Alternativas y Análisis Económico* se desea proponer una nueva alternativa de producción de biodiésel; haciendo énfasis que el biodiésel es un biocombustible que reduce las emisiones de gases de combustión al mismo tiempo que representa una fuente renovable de energía. Por lo mismo, se propone un método alternativo de producción de biodiésel, siendo este el método de ultrasonido.

El método de ultrasonido se ha caracterizado por tener una mayor eficiencia en la reacción de transesterificación, al reducir los rendimientos de las reacciones en competencia (como la saponificación, donde se forman los jabones). Además de que dicho método nos permite la utilización de etanol como materia prima, provocando beneficios como siendo un químico con menor toxicidad para el ser humano, mayor punto de ebullición etc.

El proceso de producción de biodiésel produce subproductos tales como la glicerina y jabones, que junto al agua de lavado son los residuos del proceso de producción.

Parte de los objetivos del megaproyecto es realizar distintos tratamientos para los subproductos producidos durante el proceso. Se tratará el agua de lavado para regresar un agua limpia al ambiente y por su importancia como fuente de vida. Debido a que el biodiésel utiliza una gran cantidad de agua en su proceso (alrededor del 50% del peso del aceite en agua) se quiere buscar una forma alternativa para reducir o reutilizar

el agua. Es por esto que se trata de buscar una forma para que el agua utilizada en el proceso pueda ser reutilizada, realizando una caracterización y tratamiento del agua y así evitar focos de contaminación en fuentes de aguas pluviales.

Por otro lado se quiere buscar una alternativa para que esta glicerina pueda utilizarse en otros procesos con el fin de aprovecharla y hacer de la planta de producción más rentable. Una de las alternativas es la producción de propilenglicol. La propuesta de propilenglicol surgió debido a que es un producto utilizado en procesos Farmacéuticos, cosméticos, en áreas de aseo personal y alimentos. El mercado del propilenglicol a nivel mundial según estudios realizados por Dasari et. al. tiene un tamaño de 1.6 toneladas métricas al año con un precio promedio de \$1500/ tonelada métrica el cual representa un total de \$2400 millones/ año. Por otro lado también se propone la producción de aceite basándose en la glicerina producida, con el fin de crear un ciclo de producción y hacer más eficiente el proceso.

Para realizar los análisis antes descritos es de suma importancia cuantificarlos en una forma financiera, es decir, realizando análisis de costos, inversiones, tiempo de recuperación y costo beneficio. Esto con el fin de encontrar una producción viable económicamente para llevar a cabo un proyecto eficiente y con beneficios altos.

Los análisis económicos se realizarán en dos áreas, el análisis económico de producción de biodiésel con ultrasonido comparándolo con la producción actual y por otro lado se realizará los análisis del tratamiento de los subproductos. Con esto se determinará cuál es la mejor alternativa económicamente viable para la producción de biodiésel y cuánto incrementaría su costo de producción al realizar el tratamiento de agua como parte del proceso. Además, el análisis del tratamiento de la glicerina se realizará comparándolos con la incineración de la misma, esto debido a que se desea encontrar un tratamiento que sea posible realizarlo con todas las bases financieras necesarias y realizando la optimización de la producción de biodiésel mediante la reutilización de sus residuos y la disminución del impacto ambiental.

## IV. MARCO TEÓRICO

### A. BIODIÉSEL.

La idea de utilizar combustibles provenientes de la biomasa en motores surgió desde los orígenes de la fabricación de motores diésel. Todo comenzó en la feria de París en 1900 en donde se presentó un motor diésel funcionando con aceite de cacahuete. (Castro, 2007)

Sin embargo, existieron algunas complicaciones técnicas que impidieron el uso de los biocombustibles directamente en motores diésel, especialmente en los de inyección directa. Esto debido principalmente a la alta viscosidad y baja volatilidad de los biocombustibles. La elevada viscosidad de los aceites dificulta el proceso de atomización del corcho. El elevado punto final de la curva de destilación y la pobre atomización del combustible conduce a evaporación incompleta y a proceso de mezclado y combustión deficientes. Las altas temperaturas alcanzadas en la cámara de combustión hacen que el aceite pueda experimentar descomposición térmica, lo cual contribuye a la formación de depósitos en inyectores, cámara, pistones y válvulas. (Castro, 2007)

Para resolver dichos problemas, se han propuestos diferentes alternativas para solucionarlos, sin embargo, dado a que pueden presentarse dificultades similares, la opción más recomendada ha sido la transformación del aceite, de tal modo que se obtenga un combustible con propiedades parecidas a las del combustible diésel convencional. Para realizar dicha transformación de aceites se han planteado varias alternativas como: la descomposición térmica de aceite o pirólisis, la preparación de microemulsiones, transformación de los triglicéridos en mezclas de ésteres simples o monoalquilésteres de ácidos grasos (transesterificación). (Castro, 2007)

El biodiésel es un biocombustible líquido a condiciones ambientales (25°C y 1 atmósfera) que se produce a partir de los triacilgliceroles provenientes de los aceites vegetales y grasas animales a través de una reacción de transesterificación. La definición que proporciona la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM, por sus siglas en inglés) es “un combustible compuesto de ésteres mono-alcalinos de ácidos grasos de cadenas largas, derivados de aceites vegetales o grasas animales denominado B100 y que cumplen con los requerimientos de la ASTM D6571”. El biodiésel es utilizado como combustible alternativo y renovable para el diésel en los motores de diésel que es un derivado del petróleo obtenido de la destilación fraccionada del crudo. (Knothe, Gerhard, G. Jon Van y J. Krahl. , 2005)

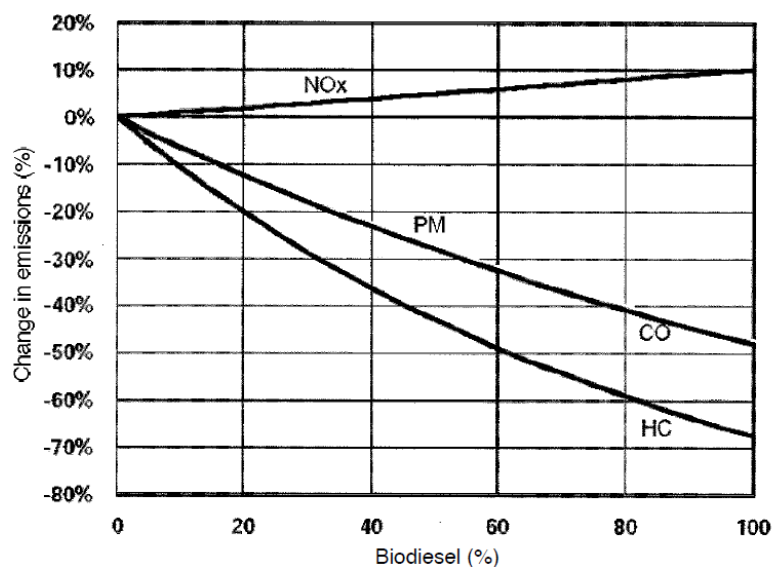
Tardó varios años para que el biodiésel se desarrollara en la industria. Austria fue el país pionero en la producción de biodiésel y en el desarrollo de estándares de calidad. La primera planta de biodiésel se construyó en Austria en 1991 utilizando aceite de colza como materia prima; en ese mismo año el

Instituto Austriaco de Estandarización publicó el primer estándar de calidad para metilésteres de ácidos grasos. Según Knothe el término biodiésel fue utilizado por primera vez en la literatura científica en un artículo chino en el año 1988. (Castro, 2007)

La característica más importante del biodiésel es la capacidad de producirlo a partir de fuentes naturales y renovables como lo son los aceites vegetales y grasas animales. Pero con esta característica viene en contraposición el argumento de la seguridad alimentaria para los países productores de biodiésel, puesto que el aceite vegetal es de consumo humano. Para contrarrestar este factor que podía impedir el desarrollo del biodiésel aparecieron las soluciones de utilizar aceite de plantas no comestibles como lo es la *jatropha* y el uso de aceite de cocina residual de los procesos de frituras. Al usar los aceites de cocinas residuales de los procesos de fritura se está reduciendo los residuos de los procesos, la posible contaminación de cuerpos acuíferos provocada por el desecho de los aceites al desagüe. (Knothe, Gerhard, G. Jon Van y J. Krahl, 2005)

El biodiésel tiene la característica de que al ser quemado con oxígeno en la cámara de combustión del motor de diésel produce una menor cantidad de gases de combustión que son considerados gases de efecto invernadero. Los motores de diésel producen altas cantidades de óxidos de nitrógeno totales (NOx) y partículas de residuo, mientras que producen en niveles más bajo monóxido de carbono (CO) e hidrocarburos totales (THC, por sus siglas en inglés) como se muestra en la Figura 1. (Knothe, Gerhard, G. Jon Van y J. Krahl, 2005)

Figura 1. Gráfica de las emisiones generadas por la combustión de biodiésel a distintas proporciones



Resumen de la Agencia de Protección Ambiental de los USA (EPA, por sus siglas en inglés) sobre la evaluación de los efectos de biodiésel en las emisiones contaminantes de motores. (extraído de Knothe, 2005: 164)

Las propiedades fisicoquímicas del biodiésel producido están reguladas por la ASTM en la norma ASTM D6571, la cual proporciona los parámetros y las especificaciones máximas que el biocombustible puede presentar para la operación óptima en el motor. Entre las propiedades más importantes se encuentra el número de cetano (CN, por sus siglas en inglés), viscosidad, cloud point, flash point, agua y sedimentos, azufre, corrosión de cobre, glicerina total, etc. A continuación se presentan algunos parámetros y los límites propuestos por la ASTM.

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas de biodiésel (B100), según ASTM

Propiedad	Método ASTM	Límites	Unidades
Punto de inflamación (Flash point)	D93	130 Min.	Grados C
Agua y sedimentos	D2709	0.050 Max.	% volumen
Viscosidad cinemática, 40°C	D445	1.9-6.0	mm <sup>2</sup> /seg
Ceniza sulfatada	D674	0.020 Max.	% masa
Sulfuro	D5453		
S 15		15 Max.	Ppm
S 500		500 Max.	Ppm
Corrosión de cobre	D130	No. 3 Max.	
Índice de Cetano	D613	46 Min.	
Punto de turbidez (Cloud point)	D2500	Depende	Grados C
Residuo de carbón, muestra 100%	D4530	0.050 Max.	% masa
Número ácido	D664	0.50 Max.	mg KOH/g
Glicerina libre	D6584	0.020 Max.	% masa
Glicerina total	D6584	0.240 Max.	% masa
Contenido de fósforo	D4951	0.001 Max.	% masa
Sodio/potasio	UOP391	5 Max. Combinados	Ppm

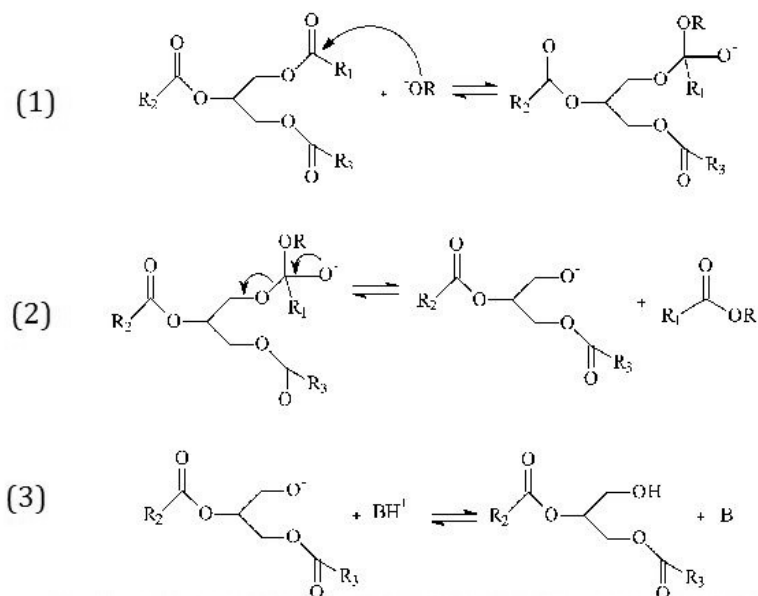
Fuente: ASTM

## 1. Etapas de producción de biodiésel

Transesterificación. El biodiésel tradicionalmente es obtenido mediante transesterificación de aceites o grasas, haciendo reaccionar un alcohol de cadena corta (metanol) en presencia de un catalizador (NaOH). Las materias primas más frecuentes para la producción de biodiésel son los aceites de las oleaginosas de producción mundial como girasol, soja, palma africana y otros. (Castro, 2007)

La reacción de transesterificación es una reacción de sustitución de un grupo alcóxido de una molécula de éster por otro grupo alcóxido diferente. Existen dos mecanismos por los que puede ocurrir la reacción de transesterificación, los cuales son la reacción catalizada por una base o catalizada por un ácido. Si el número ácido presente en el aceite o grasa es mayor al 5%, se debe utilizar catálisis ácida como tratamiento previo a los ácidos grasos libres para evitar la formación de jabones que dificultan la separación de glicerina y el biodiésel por la formación de emulsiones en el lavado con agua. En general, suele ser más rápida la conversión por catálisis básica a comparación de la catálisis ácida. Los mecanismos de ambas reacciones se muestran en la siguiente figura. (Wade, 2004)

Figura 2. Mecanismo de reacción de transesterificación básica para la producción de biodiésel

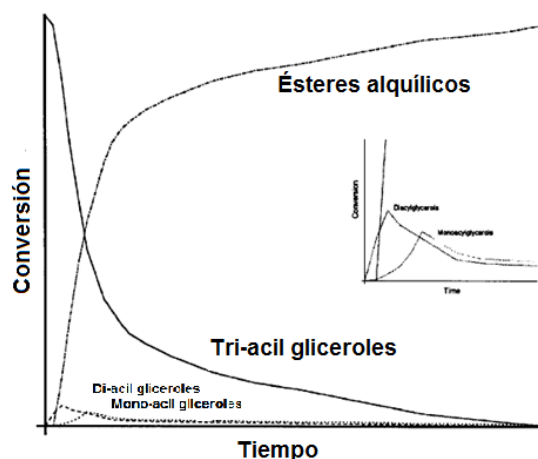


R1, R2, R3: cadena carbonada de ácidos grasos. R: grupo alquilo del metanol. -OR: CH<sub>3</sub>O-. B: KOH. BH<sup>+</sup>: [K(OH)H]<sup>+</sup>. Extraído de: Fang, 2012:187

Los parámetros que son sumamente importantes a tomar en cuenta en las reacciones de transesterificación son la temperatura de la reacción, la relación molar de alcohol/aceite, la relación molar de catalizador/aceite y el tiempo de reacción. La temperatura de reacción es importante debido a que, como en

toda reacción, existe una energía de activación, que según Wade se define como “la energía cinética mínima que deben tener las moléculas para vencer las repulsiones entre sus nubes de electrones cuando colisionan”. (Wade, 2009:139) Por su parte el tiempo de reacción es importante debido a que como las reacciones se dan por choques intermoleculares y la transesterificación es una reacción de equilibrio es necesario mantener el contacto entre las moléculas para que choquen y ocurra la reacción. Por otra parte, la relación molar del alcohol/aceite se debe a que la reacción no es completamente eficiente y puesto que la molécula de triacilglicerol tiene tres cadenas carbonadas distintas, las cuales deben ser transesterificadas para la producción de biodiésel, se utiliza un exceso de 6:1 en relación molar para aumentar la probabilidad de un choque efectivo que produzca la transesterificación del triacilglicerol. Y por último, la relación molar catalizador/aceite es importante debido a que el catalizador promueve que la reacción se produzca más rápidamente. Un esquema de la conversión del aceite en biodiésel se muestra en la Figura 3. (Knoethe, 2005: 37)

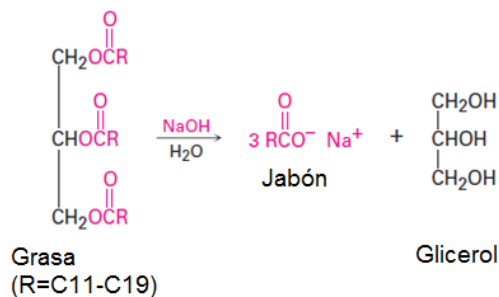
Figura 3. Conversión de aceite en biodiésel en función del tiempo para la transesterificación



La cantidad de triacilgliceroles corresponde al aceite, los alquí ésteres corresponden al biodiésel. (Extraído de Knoethe, 2005)

Una razón para la disminución del rendimiento de la reacción de transesterificación es la formación de jabones. Los jabones se producen por una reacción de saponificación que ocurre entre acilgliceroles e hidróxido de sodio en presencia de agua y calor. Según Wade, la saponificación es la hidrólisis, promovida por una base, de las uniones éster de las grasas y aceites. Uno de los productos es el jabón, una sal sódica o potásica de un ácido graso. La reacción se presenta en la siguiente figura. Por este motivo es que la cantidad de hidróxido de sodio utilizado como catalizador, así como la cantidad de agua presente en el medio, son sumamente importantes para el rendimiento de la reacción de transesterificación. (Wade, 2009:1166)

Figura 4. Saponificación de una grasa



Extraído de McMurry, 2008

Homogenización de los reactivos. Esto se da ya que el aceite es inmisible con el metanol, lo que indica que la reacción debe ser homogeneizada de alguna manera. La agitación mecánica de los componentes es el método de homogeneización más comúnmente usado, ya que permite el contacto íntimo de los reactivos con buenos resultados en el proceso batch y en continuo. Otra forma de homogenizar ha sido la agitación con ultrasonido, esta induce la cavitación de gotas asimétricas para colapsar en la interfase alcohol- aceite mezclando diminutas gotas de un líquido en el otro. (Castro, 2007)

Separación de fases. Después de la transesterificación ocurre una separación espontánea de fases debido a su inmiscibilidad; entre ellas el glicerol (fase inferior) debe ser retirado y se puede hacer por simple decantación o centrifugado. (Castro, 2007)

Purificación del biodiésel. Al ser realizada la separación de fase, cada una debe lavarse para purificarse y alcanzar la mayor concentración de metilésteres. El metanol es recuperado por calentamiento de la fase éster. Por otro lado las tazas de glicerol y catalizador pueden ser eliminadas por lavados con agua acidulada o agua pura hasta neutralizar. (Castro, 2007)

Ya que tanto el glicerol como el alcohol son solubles en agua, el lavado con agua es una forma efectiva de remover ambos contaminantes del biodiésel. Asimismo con este método se pueden remover sales de sodio y jabones. Una de las desventajas de este método es que la el tiempo y costo de producción son elevados. Además de esto, al utilizar este método se pierde una parte del producto y se contamina el líquido (Sarin, 2012)

1) Contaminación en el agua. La contaminación se puede concebir como la entrada de contaminantes a un ambiente natural que provocan inestabilidad o daño a un ecosistema. Los contaminantes puede ser sustancias introducidas o bien, contaminantes naturales.

La contaminación es un problema mundial, pues tiene una influencia en la salud de los seres humanos, plantas y animales (Gupta & Ali, 2013, p.4).

La contaminación de aguas es un problema global y se ha sugerido que es la principal causa de enfermedades y muertes a nivel mundial. La contaminación del agua causa la muerte a más de 14 mil personas al día. El agua se considera contaminada cuando tiene agentes contaminantes como consecuencia de acciones antropogénicas, lo que limita su uso para el ser humano (Gupta & Ali, 2013, p.5).

a) Los contaminantes en el agua se categorizan como orgánicos, inorgánicos y biológicos, de acuerdo a su naturaleza y origen.

b) Los contaminantes orgánicos incluyen (Gupta & Ali, 2013, p.6):

c) Los desechos de alimentos procesados como aceites y grasas.

d) Hidrocarburos de petróleo, como combustibles y subproductos de su combustión y lubricantes.

e) Compuestos orgánicos volátiles, como solventes industriales.

f) Insecticidas y herbicidas

g) Disolventes clorados

Los contaminantes inorgánicos se encuentran en la naturaleza, sin embargo por acciones antropogénicas estos contaminantes se concentran y se descartan. Los contaminantes inorgánicos principales son: cadmio, cobre, plomo, zinc, nitrógeno, fósforo, nitrato, nitrito, amonio y fosfatos (Gupta & Ali, 2013, p.10).

Los contaminantes biológicos incluyen bacterias, mohos, virus, animales, polen, restos vegetales. Todos los seres humanos estamos expuestos a los contaminantes biológicos; sin embargo, sus efectos pueden variar entre individuos. Algunas personas pueden presentar reacciones alérgicas o infecciones ante estos agentes. De acuerdo a la cantidad de estos contaminantes es la reacción que puede ocasionar en el ser humano (Gupta & Ali, 2013, p.12).

2) Tratamiento agua. El crecimiento de la población, urbanización no planificada, la rápida industrialización y la utilización desmedida de los recursos hídricos a conducido a la disminución de la calidad del agua en muchos lugares del mundo. Debido a la concentración elevada de sustancias tóxicas

en el agua, se hace necesario que se desarrollen procesos rentables y amigables con el ambiente que permitan remover estos contaminantes. Existen varios métodos que permiten remover los contaminantes del agua.

El tratamiento de aguas se ha clasificado en base a principios físicos, químicos, eléctricos, térmicos y biológicos. Estos métodos incluyen la detección, centrifugación y filtración, micro y ultrafiltración, sedimentación, cristalización y la separación por gravedad, precipitación, flotación, oxidación, evaporación, coagulación, extracción con disolvente, destilación, intercambio iónico, ósmosis inversa, electrólisis, adsorción, electrodiálisis, entre otros. De estos métodos el intercambio iónico, ósmosis inversa, electrólisis y desorción son métodos eficientes. Sin embargo su costo es elevado, oscila entre 10 y 450 dólares por metro cúbico de agua tratada. Por otro lado, el método de adsorción puede variar desde 5 a 200 dólares por metro cúbico, siendo ventajoso por su eficiencia, facilidad de operación y costo. El método de adsorción también es considerado como el tratamiento de agua universal, pues puede ser aplicado para la eliminación de compuestos orgánicos, inorgánicos y biológicos que son solubles o insolubles en agua. Además se considera que este método tiene un 99% de eficiencia de eliminación de contaminantes (Gupta & Ali, 2013, p.30).

Adsorción se le conoce a la deposición de un componente particular entre dos fases. En este procesos hay dos componentes; el contaminante que se adhiere a la superficie del compuesto adsorbente. La capacidad de adsorción puede variar según la temperatura, la naturaleza del contaminante y del adsorbente, pH y la concentración del contaminante. La presencia de partículas suspendidas, aceites o grasas también afectan la capacidad de adsorción, por lo que muchas veces es indispensable una pre filtración (Gupta & Ali, 2013, p.31).

El carbón activado fue utilizado como adsorbente en la industria del agua hasta 1940. Se utilizó para la recuperación de aguas residuales e industriales. El uso del carbón activado es efectivo debido a su alta capacidad de adsorción, que se debe principalmente al tamaño pequeño de la partícula y a sus valencias libres. A escala comercial este proceso es poco rentable debido al alto costo del carbón activado. Por otro lado, el carbón activado es difícil de regenerar puesto que se requiere de químicos costosos (Gupta & Ali, 2013, p.33).

### 3) Análisis fisicoquímico del agua

a) Apariencia. Se refiere al color, olor y sabor del agua, lo que se denomina propiedades organolépticas o determinables por los sentidos. No suelen ser una medida precisa del nivel de contaminación, aunque es importante cuando se trata del agua que será ingerida. En cuanto al color, no existe una relación directa entre color y grado de contaminación, pues es un parámetro influido por interferencias con otras sustancias coloreadas. La determinación del color se debe realizar en las veinticuatro horas posteriores a que se toma una muestra y esta debe ser conservada a bajas temperaturas. La

determinación del color se efectúa empleando luz diurna difusa sobre fondo blanco, o mediante el uso de un espectrofotómetro visible (Aznar y Alonso, 2000, p.3).

El olor del agua es producido generalmente por sustancias volátiles o gaseosas y se deben a materia orgánica en descomposición o productos químicos producidos o empleados en la industria. El sabor está muy relacionado con el olor. Su determinación se efectúa, al igual que el olor, por dilución hasta determinar el umbral de percepción y sólo se realiza con muestras que sean sanitariamente aptas para consumo humano (Aznar y Alonso, 2000, p.4).

b) Turbidez. La turbidez del agua se da por la presencia de partículas insolubles de diferente origen, que impiden el paso de la luz a través del agua. El método nefelométrico es uno de los métodos que se puede utilizar para medir turbidez y se fundamenta en la comparación entre la intensidad de la luz dispersada por una muestra de agua y la de una suspensión patrón de polímero formazina (Zumaeta, 2004, p.98).

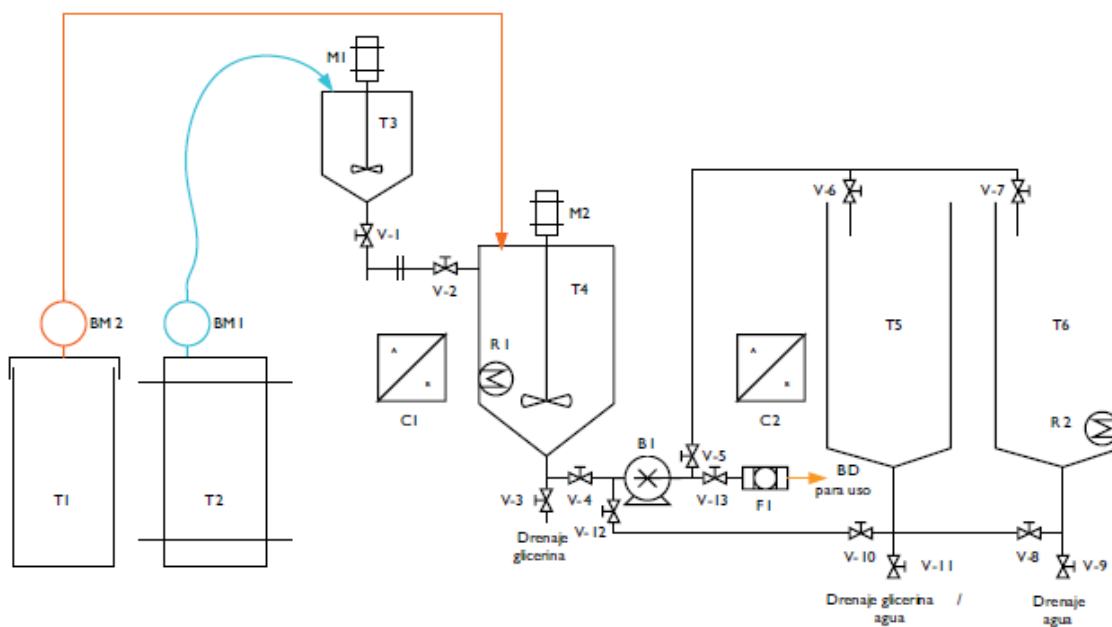
c) Dureza Es otra forma de indicar el contenido iónico de un agua, refiriéndolo a la concentración total de iones calcio, magnesio, estroncio y bario, aunque se debe fundamentalmente a los dos primeros. La presencia de este tipo de iones en el agua suele ser de origen natural, y raramente antrópica (Aznar y Alonso, 2000, p.8).

d) Sulfato. El fundamento de la determinación turbidimétrica de sulfatos es la reacción entre el ion sulfato y el catión bario para formar un producto insoluble que con ayuda de una suspensión de goma arábica, permanece en disolución el tiempo suficiente para su análisis turbidimétrico mediante medidas espectrofotométricas a una longitud de onda de 425 nm; también se puede medir mediante cromatografía iónica (Marín, 2003, p.280).

Secado y almacenaje. Una vez lavado el biodiésel, debe ser secado a 110 grados Celsius con una agitación suave para eliminar el agua remanente. El agua puede presentarse disuelta en el biodiésel o en forma de gotas en superficie. (Castro, 2007)

En las siguientes figuras se puede observar un esquema del proceso de producción de biodiésel y un esquema de los equipos básicos que forman una planta de biodiésel.

Figura 5. Diagrama de una planta de biodiésel



La identificación de los distintos equipos se muestra a continuación:

Tabla 2. Equipos de una planta de biodiésel

Código	Descripción	Cantidad	material
T1	Tanque de aceite	1	Acero o HDPE
T2	Tanque de metanol	1	Acero o HDPE
T3	Tanque de metóxido	1	Acero inoxidable 304
T4	Reactor	1	Acero inoxidable 304
T5	Decantador	1	Acero
T6	Tanque de lavado/secado	1	Acero
BM1	Bomba manual metanol	1	Fierro
BM2	Bomba manual aceite	1	Fierro
B1	Bomba de transferencia	1	Fierro
F1	Filtro	1	HDPE, celulosa
C1,C2	Panel eléctrico	2	Metal
V1-V13	Válvulas	13	Acero inoxidable 304
M1,M2	Motor para agitadores	2	Acero

Extraído de: Acosta, 2008

Insumos para la producción de biodiésel:

1) Aceites vegetales. Los lípidos son sustancias químicas poco solubles en agua y tienen la característica de que se pueden extraer de células y tejidos a través del uso de disolventes orgánicos no polares. Los aceites vegetales y las grasas animales son lípidos que se encuentran abundantemente en la naturaleza. Estos aceites y grasas son triacilgliceroles o triésteres de glicerol con tres ácidos grasos, como se muestra en la figura 5. (McMurry, 2008:1060)

Los ácidos grasos por lo general tienen cadenas de carbonos compuesta por un número par de átomos de carbono que varían en el rango de 12 a 20 carbonos. Estos compuestos pueden tener insaturaciones o dobles enlaces a lo largo de la cadena de carbonos, lo que les disminuye su punto de fusión. Los ácidos grasos más comunes se muestran en la siguiente tabla. (McMurry, 2008: 1062)

Tabla 3. Estructura de algunos ácidos grasos comunes

Nombre	No. Carbonos	Punto de fusión (°C)	Estructura
Saturados			
Láurico	12	43.2	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CO}_2\text{H}$
Mirístico	14	53.9	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{12}\text{CO}_2\text{H}$
Palmítico	16	63.1	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{CO}_2\text{H}$
Esteárico	18	68.8	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{CO}_2\text{H}$
Araquívico	20	76.5	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{18}\text{CO}_2\text{H}$
Insaturados			
Palmitoléico	16	-0.1	$(Z)\text{-CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$
Oléico	18	13.4	$(Z)\text{-CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{CO}_2\text{H}$
Linoléico	18	-12	$(Z,Z)\text{-CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_2(\text{CH}_2)_6\text{CO}_2\text{H}$
Linolénico	18	-11	$(\text{todos } Z)\text{-CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_3(\text{CH}_2)_6\text{CO}_2\text{H}$
Araquidónico	20	-49.5	$(\text{todos } Z)\text{-CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_4\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CHO}_2\text{H}$

Extraído de McMurry, 2008

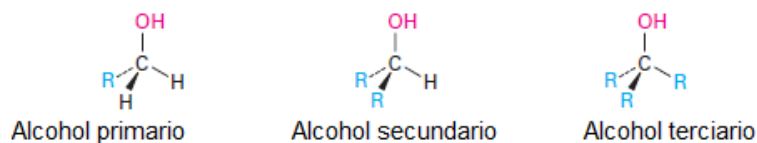
2) Aceites de fritura usados. La búsqueda por reducir los costos de producción de biodiésel ha llevado a los productores a buscar fuentes de aceite baratos y así fue como se inició el uso de aceite de fritura usado para la producción de biodiésel. Según la Administración de Información de Energía (EIA, por sus siglas en inglés) de USA han estimado que en este país se produce 100 millones de galones de aceite usado al año y en Europa es aproximadamente 255 millones de galones anuales. Estos aceites usados son una fuente de materia prima amigable al ambiente puesto que no hay que invertir en

producirlo y además, se está evitando la posible contaminación por mala disposición de los mismos. (Gnaneswar, 2013)

Los aceites de fritura usados han experimentado una reacción de hidrólisis debido a las altas temperaturas a las que fueron expuestos durante el proceso de fritura. Como producto de estas reacciones se tienen altas cantidades de ácidos grasos libres, que pueden llegar a perjudicar el rendimiento de la reacción de transesterificación para producir biodiésel, por lo que sería necesario realizar tratamientos previos con catálisis ácida. (Bladt, 2011)

3) Alcoholes. Los alcoholes son compuestos orgánicos que contienen el grupo hidroxilo (-OH) enlazado a una cadena carbonada. Estos compuestos se encuentran en la naturaleza y son ampliamente utilizados en la industria, así como en el hogar. Los alcoholes se pueden clasificar de acuerdo al tipo de átomo de carbono al que están unido: si está unido a un carbono primario, el alcohol es primario; de la misma manera para los secundarios y terciarios. Un carbono primario es aquel que está unido a un solo carbono, mientras que un terciario es aquel que está unido a tres carbonos. Esta clasificación se muestra en la siguiente figura. (Wade, 2010:421-423)

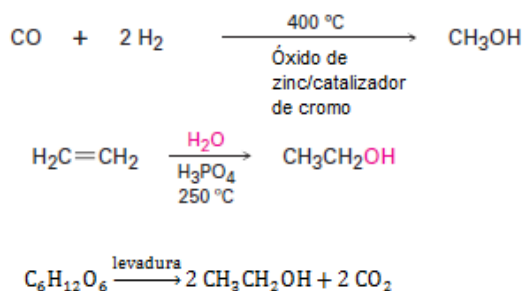
Figura 6. Clasificación de alcoholes según la unión carbono-hidroxilo



Extraído de McMurry, 2008:621

Los alcoholes se producen a partir de una gran cantidad de métodos entre los más importantes están las reacciones de hidratación a través de la adición de agua a compuestos insaturados (doble enlace entre carbonos), la ruta biológica a través de fermentaciones utilizando levaduras y bacterias que consumen glucosa u otras fuentes de carbono, etc. (McMurry, 2008:620-634)

Figura 7. Métodos más comunes de producción de alcoholes



Extraído de McMurry, 2008

Los alcoholes más comunes para realizar la transesterificación son el metanol y el etanol, aunque también se pueden usar alcoholes de bajo peso molecular como el propanol. De esta manera, el biodiésel, desde el punto de vista de la química orgánica es un éster que, dependiendo del alcohol con el que se produjo, recibe el nombre de etil o metil éster. Para que la reacción tenga una máxima conversión a biodiésel es necesario que el alcohol utilizado se encuentre anhidro (sin humedad), debido a que si tiene presencia de agua se propicia las condiciones para que haya una reacción de hidrólisis del biodiésel formado. (Knoethe, 2005: 37)

a) Metanol. El metanol, alcohol metílico o alcohol de madera es un alcohol que está compuesto por un solo átomo de carbono, que posee la fórmula química  $\text{CH}_3\text{OH}$ . El metanol se deriva del gas natural y es un alcohol incoloro, polar e inflamable, miscible en agua, ésteres y en la mayoría de solventes orgánicos. Tiene la característica de ser ligeramente soluble en grasas y aceites, con un punto de ebullición de  $64.7^\circ\text{C}$ . El metanol se produce usando un proceso catalítico a partir de gas natural y vapor. El gas de síntesis es pasado a altas presión y temperatura en presencia de un catalizador metálico para convertirlo en metanol crudo que es separado por destilación hasta concentraciones comerciales. El metanol se utiliza como precursor para otros productos químicos y productos de uso diario. Además, el metanol se puede utilizar como anticongelante para limpiar parabrisas, combustible, tratamiento de agua residuales y producción de biodiésel. (Methanex, 2006:2)

El metanol se utiliza comúnmente para la producción de biodiésel debido a su bajo costo, solamente en Brasil se utiliza etanol pues es más barato. Sin embargo, el metanol es más tóxico para la salud humana que el etanol. Entre los riesgos que presenta el metanol son quemaduras por contacto de vapores con los ojos y la inhalación de los vapores puede causar somnolencia. Pero el peor peligro es cuando se ingiere por la boca pues puede llegar a causar la muerte. (Methanex, 2006: 22)

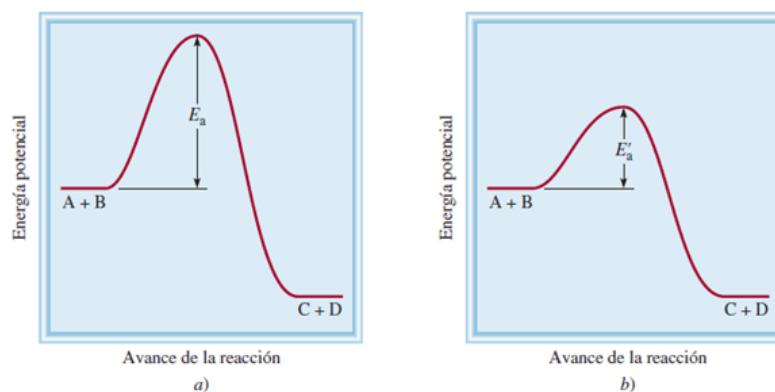
b) Etanol. El etanol, alcohol etílico o simplemente alcohol es un alcohol compuesto por dos átomos de carbono, que posee la fórmula química  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$  y punto de ebullición de  $78.3^\circ\text{C}$ . El etanol se obtiene a partir de fermentación de azúcares por levaduras, síntesis por hidratación de etileno y por síntesis a partir de carbón o gas natural. El etanol se utiliza en bebidas como whisky, vino, ron, etc. También se utiliza como precursor para una gran cantidad de compuestos químicos como adhesivos, detergentes, explosivos, tintas, cremas para manos, plásticos, pinturas, tñers, vinagres, solvente de extracción, etc. (Equistar, 2003:11)

El etanol tiene la característica que, a presión atmosférica (1 atmósfera) forma un azeótropo con el agua a una concentración de 95%. Un azeótropo ocurre cuando una mezcla de dos o más líquidos, a una cierta concentración, no se puede separar por destilación. Una de las formas utilizadas para aumentar la concentración de etanol es la destilación empleando un tamiz molecular que adsorbe el agua restante del etanol deshidratando hasta una concentración de 99.99% de etanol. (Equistar, 2003: 12)

Las consideraciones de seguridad para el etanol son menos drásticas que para el metanol. Los efectos del etanol son similares a los del metanol, pues afecta principalmente al sistema nervioso. El etanol es ligeramente tóxico por inhalación de vapores, por absorción cutánea y por absorción bucal; sin embargo los efectos pasan después de unos minutos en aire fresco. (Equistar, 2003: 103)

4) Catalizador. Para aumentar la velocidad de una reacción se puede utilizar un catalizador. Un catalizador es una sustancia que disminuye la energía de activación de una reacción y permite que la misma ocurra con una mayor rapidez. Los catalizadores pueden reaccionar con uno de los reactivos para formar un intermediario que permite una mejor reacción y tienen la característica que se regenera y por lo tanto no se consume en la reacción. El uso de catalizador acelera la reacción al producir reacciones por etapas con cinéticas más favorables que la reacción original. En la siguiente figura se muestra el efecto de un catalizador en una reacción hipotética. (Chang, 2010:595)

Figura 8 .Efecto de un catalizador en la energía de activación de una reacción



Comparación entre la barrera de la energía de activación de una reacción sin catalizar (a) y la misma reacción con un catalizador (b). El catalizador hace descender la barrera energética pero no afecta la energía real de los reactivos o de los productos.

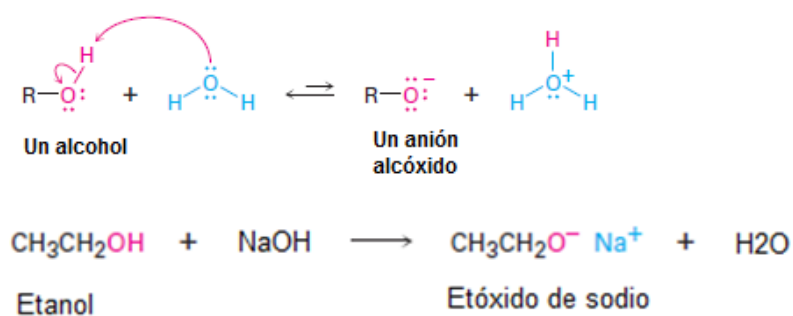
Chang, 2010: 595

Los catalizadores pueden ser denominados heterogéneos, homogéneos y enzimáticos dependiendo de la fase en la que se encuentren respecto al medio de reacción. En la catálisis homogénea los reactivos y el catalizador están en una sola fase que generalmente es líquida y las más comunes son la catálisis ácida y la básica. La catálisis enzimática ocurre por el uso de enzimas que son catalizadores biológicos (una proteína) que son altamente eficientes. La catálisis heterogénea es la más común de las tres en la industria química y consiste en que el catalizador está en estado sólido mientras que los reactivos son gases o líquidos. (Chang, 2010: 594-601)

a) **Hidróxido de sodio.** El hidróxido de sodio (NaOH), o soda cáustica, es un reactivo químico altamente corrosivo ampliamente utilizado en la industria química. El hidróxido de sodio es una base fuerte formada a partir de sodio metálico y agua o por hidrólisis de la sal común (NaCl). Es utilizado en la fabricación de jabón y de otros compuestos orgánicos e inorgánicos y se vende industrialmente en forma de pellets con grado reactivo o grado industrial y en solución con concentraciones de 25%, 50% o 75% en peso. (PPG Industries, 2008: 6)

El hidróxido de sodio funciona como un catalizador heterogéneo en la reacción de transesterificación de aceite para la producción de biodiésel. El hidróxido de sodio reacciona con el alcohol utilizado para formar el alcóxido (alcohol desprotonado) debido a que los alcoholes se comportan como ácidos débiles. El alcóxido formado es una base más fuerte que tiene mayor eficiencia que el alcohol para reaccionar con el aceite, permitiendo que la reacción ocurra de manera más rápida. (McMurry, 2008:623-626)

Figura 9. Reacción de desprotonación de etanol empleando NaOH



Extraído de McMurry, 2008: 626

2. **Ventajas y desventajas del biodiésel.** Entre las ventajas del biodiésel se puede mencionar que los motores no deben de ser modificados para que puedan funcionar con este biocombustible. Adicionalmente, el biodiésel es una energía renovable y eficiente. Este combustible se puede obtener a partir de agro cultivos o de recursos reciclados. El biodiésel se considera un producto amigable con el ambiente por sus bajas emisiones de gases de efecto invernadero. Adicionalmente, no contiene azufre y es un combustible biodegradable (Sarin, 2012).

A pesar de las ventajas ya mencionadas, el uso de biocombustibles tiene también impactos ambientales negativos. Algunos expertos no consideran a los biocombustibles como una fuente de energía no contaminante, ni como una energía verde. Algunos indican que el balance neto de emisiones de dióxido de carbono por el uso de biocombustibles es nulo debido a que la planta, mediante fotosíntesis, captura durante su crecimiento el CO<sub>2</sub> que será emitido en la combustión del biocombustible. Sin embargo, es importante

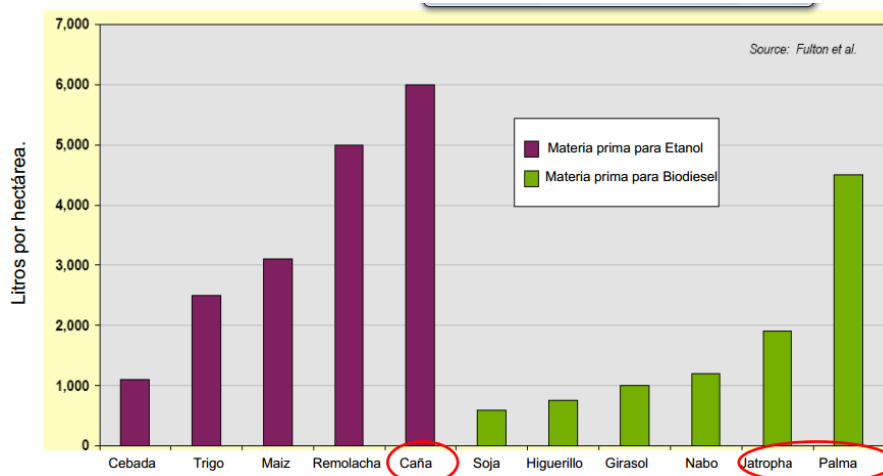
resaltar que muchas operaciones realizadas para la producción de biocombustibles, como el uso de maquinaria agrícola, la fertilización o el transporte de productos y materias primas, actualmente utilizan combustibles fósiles y, en consecuencia, el balance neto de emisiones de dióxido de carbono es positivo (Rodríguez, 2007).

Adicionalmente, el impacto ambiental en la producción de estos combustibles es alto, pues se ha incrementado la deforestación de bosques nativos, desplazamiento de cultivos alimentarios y ganadería, destrucción del ecosistema y la biodiversidad (Hurtado, 2009).

3. Biocombustibles en Guatemala. El Diésel es un competidor indirecto del biodiésel, ya que posee prácticamente las mismas propiedades, por lo que los transportes que utilizan diésel pueden utilizar biodiésel en lugar de este sin hacer ninguna modificación a nivel motor de su vehículo. La demanda anual de diésel en Guatemala es de 8.9 millones de barriles (1,400 millones de litros) al año lo que hace una venta estimada en US\$724 millones al año.

En Guatemala se cuenta con 8 plantas de producción de biodiésel, teniendo una capacidad total de unos 4000 galones por día.

Gráfica 1: Rendimiento de materia prima para producción de biocombustibles en Guatemala.



Gráfica 2: Áreas para *Jatropha Curcas*

En Guatemala se identificaron más de 600 mil hectáreas con posibilidad para el cultivo de *Jatropha Curcas* para la producción de biodiésel, estas tierras poseen ciertas características que las hacen aptas para dichos cultivos: (MEM, 2014)

- Tierra ociosa/subutilizadas
- No son áreas protegidas
- No sustituirán cultivos
- Con condiciones apropiadas
- Precipitación
- Tipo de suelo

4. Perspectivas de los biocombustibles a futuro. Hace diez años había unos cuantos países produciendo biocombustibles, hacia el 2006 existen una gran cantidad de países alrededor del mundo produciendo combustibles a gran escala. Las proyecciones para el mercado de biodiésel a futuro suelen ser muy óptimas ya que todo tipo de países, desarrollados y en vía de desarrollo están implementando o planeando implementar políticas para promover un mayor uso de biocombustibles. Por medio de estas proyecciones se espera que la capacidad de producción aumente.

De acuerdo a International Energy Agency IEA(2004), con la entrada en vigencia del Protocolo de Kyoto2 y la meta para el primer período bajo la Directiva sobre biocomustibles de la Unión Europea (UE) para diciembre 2005, se espera que la producción mundial se cuadruplicue a más de 120,000 ML hacia el 2020, dando cuenta para entonces del 6 por ciento del uso mundial de petróleo para motores y 3 por ciento de la energía total en el transporte vial. Las estimaciones más recientes de la IEA incrementaron este número al 10 por ciento del uso mundial de combustible para transporte hacia el 2025.

Es de suma importancia tener en cuenta que los biocombustibles no reemplazarán en su totalidad a los combustibles fósiles en el sistema de transporte, sino simplemente son una alternativa o complemento. (Avellaneda, 2010)

Tabla 4. Producción mundial de biodiésel 2004 a 2010

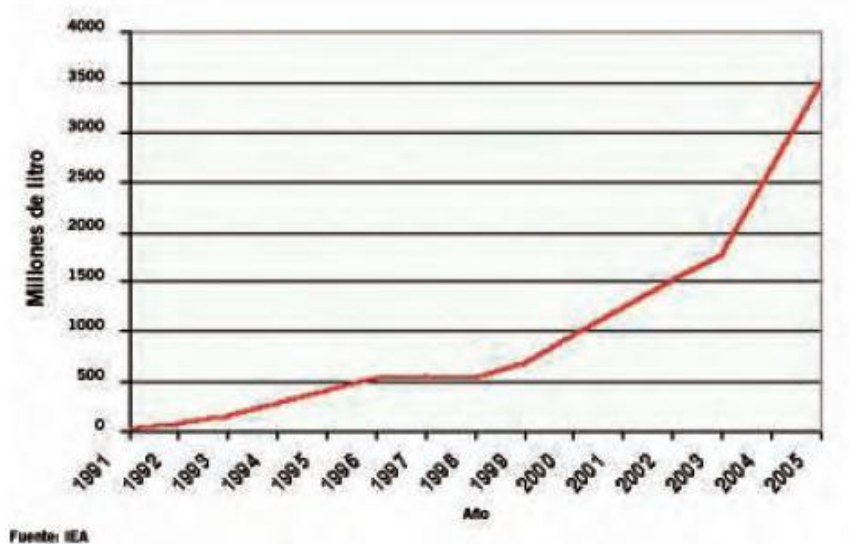
País	2004 (Miles de Ton, Mets)	2010 (Miles de Ton. Mets)	Var. 2004-2010 (%)	Participación al 2010 (%)
UE	1,400	6,000	329	77
EE.UU.	125	750	500	10
Brasil	25	750	2,900	10
Otros	50	250	400	3
<b>Total</b>	<b>1,600</b>	<b>7,750</b>	<b>384</b>	<b>100</b>

La producción mundial de biodiésel ha ido aumentando considerablemente ya la producción de biodiésel a nivel mundial en el año 2004 era de 1,600 miles de toneladas y en el 2010 fueron de 7,750 miles de toneladas; teniendo una varianza del 384%, por lo que se puede ver que la producción ha ido en alzas considerables en los últimos años, y por lo tanto, seguirá aumentando en los años próximos. (Avellaneda, 2010)

Tabla 5. Principales productores de biodiésel en el mundo

<b>País</b>	<b>Año</b>	<b>Producción (Millones)</b>	<b>Insumos utilizados</b>
Alemania	2005	1920	Calza, girasol, aceite de cocina
Francia	2005	511	Calza, girasol, aceite de cocina
Estados Unidos	2005	290	Soya, grasas amarillas, aceites
Italia	2005	227	Girasol, aceite de cocina reciclado
China	2004	138	Colza, semilla de algodón, aceite de cocina
República checa	2002	63	Colza, semilla de algodón, aceite de cocina
Australia	2004	36	Aceite de cocina reciclado
Austria	2005	30	Colza, semilla de algodón, aceite de cocina
España	2002	7	Girasol, aceite de cocina reciclado
Dinamarca	2002	5	Colza, girasol, aceite de cocina
Reino Unido	2002	5	Aceite de cocina reciclado y colza
Suecia	2002	3	Colza
Suiza	2002	1	Colza
Eslovaquia	2002	1	Colza, girasol, aceite de cocina

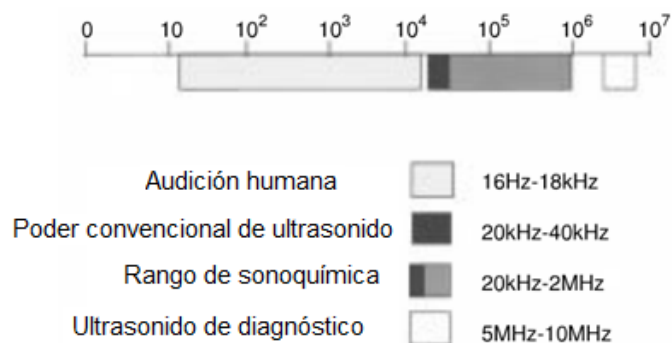
Gráfica 3. Producción mundial de biodiésel (1991-2005)



## B. MÉTODO DE ULTRASONIDO – SONOQUÍMICA.

1. Ultrasonido. El ultrasonido se define como un sonido a una frecuencia diferente a la que los humanos pueden escuchar (16 Hz a 18 kHz) estando entre los 20 kHz hasta 100 MHz, como se muestra en la siguiente Figura 10. (Mason, 1997:443)

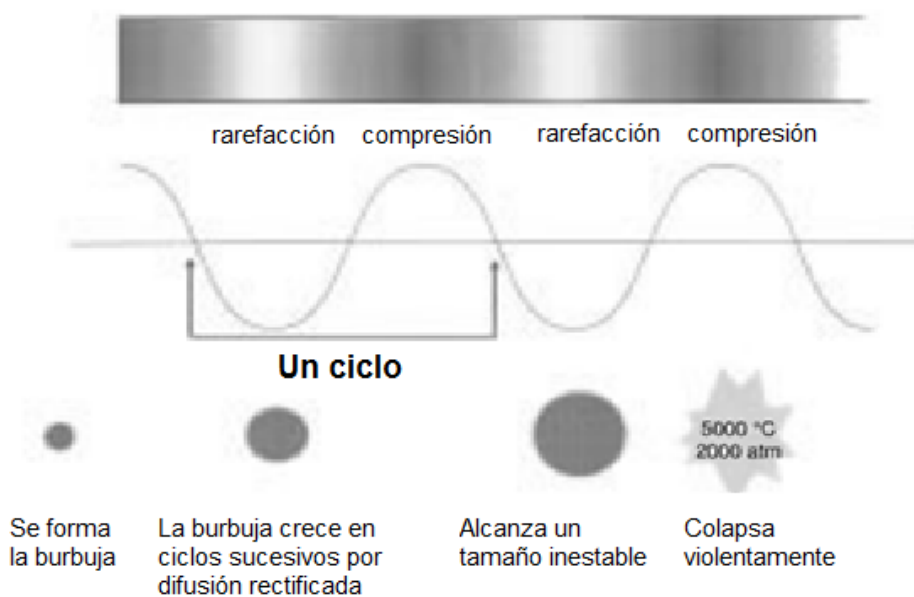
Figura 10. Rangos de frecuencia de los sonidos



Extraído de Mason, 1997.

El ultrasonido se propaga a través de una serie de compresiones y ondas de rarefacción inducidas en las moléculas del medio en el que se transporta. A una potencia suficientemente alta, el ciclo de rarefacción es mayor que las fuerzas de atracción molecular del líquido y forma burbujas de cavitación. Estas burbujas crecen en varios ciclos tomando gas o vapor del medio (difusión rectificada) hasta llegar a un tamaño de equilibrio que iguala la frecuencia de resonancia de la burbuja con la frecuencia del sonido aplicada. El campo acústico que experimenta la burbuja no es estable por la interferencia de otras burbujas que se forman y resuenan alrededor de ella. Como resultado de esto, algunas burbujas se expanden hasta un tamaño inestable y colapsan, formando cavidades que cuando colapsan genera energía para efectos químicos y mecánicos. Este proceso se muestra en la Figura 11. (Mason, 1997:443)

Figura 11. Propagación del sonido en un líquido



Extraído de Mason, 1997.

Entre los factores importantes a tomar en cuenta al aplicar ultrasonido están la frecuencia y la intensidad de la onda de ultrasonido, de las características del solvente y de la temperatura del experimento. Al aumentar la frecuencia, la producción de cavitación en el líquido disminuye puesto que como se reduce el tiempo de ciclo no permite que la burbuja crezca a un tamaño suficiente para que altere el líquido. Por otra parte, la intensidad aumenta directamente con los efectos de la sonoquímica puesto que la producción de burbujas de cavitación – que inicialmente son difíciles de crear a frecuencias altas por los cortos ciclos de rarefacción – se vuelven posibles e incluso aumentan la violencia con que cavitan y por lo tanto aumentan la presión y temperatura a la que lo hacen. (Mason, 2002:56)

La formación de cavidades en el líquido requiere de una presión negativa en la región de rarefacción que supere las fuerzas de atracción de las moléculas del líquido. Al tener un fluido muy viscoso o con alta tensión superficial se necesita una intensidad más alta; como producto del colapso de las burbujas se obtiene una mayor temperatura y presión resultantes. Por último, incrementar la temperatura permite que la cavitación sea producida a menor intensidad. Este fenómeno ocurre por el incremento en la presión de vapor al calentar el líquido. De esta manera, se recomienda que para maximizar los beneficios de utilizar ultrasonido se debe utilizar un solvente con baja presión de vapor y a una temperatura baja. (Mason, 2002:57)

La aplicación de energía acústica a procesos químicos se ha desarrollado en los últimos años, campo que recibe el nombre de sonoquímica. La sonoquímica se ha vuelto un área de mucha importancia en la investigación y se enfoca en el rango de potencia de 20 a 50 kHz que provee la energía suficiente para afectar la reactividad de los procesos químicos. La cavitación generada permite romper enlaces químicos. (Chen, 2012: 546)

Entre las ventajas del uso de la sonoquímica están el incremento de la velocidad de reacción o la reducción de las condiciones que alteran el equilibrio, la reducción en los períodos de inducción, reducción de la cantidad de reactivos, reducción de pasos de reacción y, en algunos casos, la reacción puede seguir diferentes rutas. Gracias a estas ventajas, la sonoquímica se ha utilizado en reacciones de mezclas homogéneas y heterogéneas, polimerización, síntesis enzimáticas, reacciones organometálicas, etc. (Chen, 2012: 546)

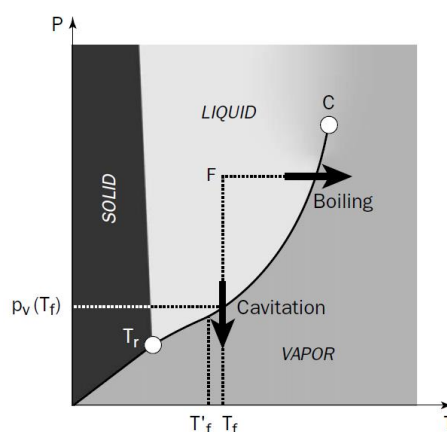
a. Transesterificación de aceites usando ultrasonido. La reacción de transesterificación en aceites vegetales para producir biodiésel es una de las reacciones industriales más estudiadas con la aplicación de sonoquímica. La síntesis de biodiésel se puede realizar utilizando catalizadores homogéneos (básico o ácido) o por catalizadores heterogéneos a través de la reacción de transesterificación. Los principales problemas de esta síntesis son la baja cinética de la reacción y la mala transferencia debido a la formación de dos fases (aceite y alcohol). (Chen, 2012: 546)

La energía de activación necesaria para comenzar la reacción y la energía mecánica para mezclar las fases puede ser producida por un sistema de ultrasonido. Se ha demostrado que la aplicación de ultrasonido de baja frecuencia permite mejorar la transesterificación catalizada por base y se tienen ventajas económicas como reducción de tiempo y menor consumo de energía. Como explica Chen “Entre los resultados obtenidos a escala laboratorio están la reducción de cuatro veces el tiempo de reacción utilizando una relación molar 6:1 alcohol/aceite. La cantidad de catalizador fue reducida de dos a tres veces con ultrasonido a una frecuencia de 28 a 40 kHz a temperatura ambiente”. Como la producción industrial de biodiésel se realiza a 60°C, la posibilidad de realizar la síntesis a temperatura ambiente puede identificarse como una ventaja principal del procedimiento utilizando ultrasonido en términos de consumo de energía. Entre las transesterificaciones estudiadas a escala laboratorio se encuentran aceite de soya, aceite de fritura, de pescado y trioleína teniendo rendimiento superior al 88% cuando se aplicó ultrasonido con baños o sondas por un período de 10 a 60 minutos a 25 o 60°C. (Chen, 2012: 546)

2. Cavitación generada por el ultrasonido. La cavitación es un fenómeno definido como el colapso de un medio líquido a bajas presiones. Este fenómeno puede ocurrir tanto en medios fluidos estáticos o en movimiento. Cuando se aplica un campo de presión oscilante, con una amplitud suficientemente amplia, sobre una superficie libre de un líquido contenido en un recipiente se generan burbujas de cavitación dentro del líquido. Este tipo de cavitación se conoce como cavitación acústica. (Franc, 2005: 1)

La cavitación en un líquido puede ocurrir si se disminuye la presión a una temperatura constante, y es similar a la ebullición, como se muestra en la siguiente figura donde  $P_v$  es la presión de vapor. En algunos casos, la vaporización en una fase dada ocurre a una temperatura ( $T'$ ) que es menor a la temperatura ambiente ( $T$ ); esta diferencia de temperaturas ( $T-T'$ ) recibe el nombre de retardo térmico de la cavitación. (Franc, 2005: 2)

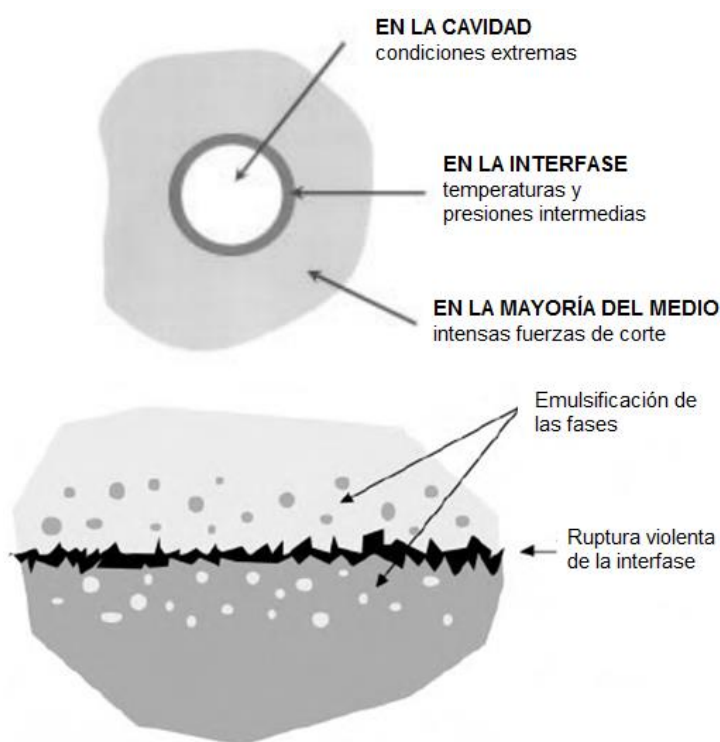
Figura 12. Diagrama de fases



Extraído de Franc, 2005: 2

Cada burbuja generada por cavitación actúa como un microreactor que, en sistemas acuosos, genera temperaturas de varios miles de grados y presiones cercanas a mil atmósferas; además, generan efectos mecánicos producidos por el rápido colapso de las burbujas. Cuando una burbuja colapsa en o cerca de una interfase de dos líquidos inmiscibles produce una ruptura de la misma provocando un mezclado de las fases y como resultado se forman emulsiones muy finas, como se muestra en la figura 12. Estas finas emulsiones proveen un área de contacto enorme entre los líquidos inmiscibles lo que permite una mejor reacción entre las fases. (Mason, 1997:443)

Figura 13. Cavitación en un medio líquido de dos fases



Extraído de Mason, 1997

3. Rendimientos alcanzados por el método de ultrasonido. Entre los estudios publicados sobre el uso de ultrasonido en la transesterificación a nivel laboratorio se encuentran condiciones de operación a baja y alta temperatura, con etanol y con metanol, con aceite de fritura usado, con aceite de jatropa, de soya, de maíz, etc. Algunos resultados se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 6. Resultados de varios estudios de producción de biodiésel a partir de distintos aceites utilizando sonoquímica

No.	Aceite utilizado	Alcohol utilizado	Relación molar Alcohol: Aceite	Catalizador utilizado	Relación (p/p)	Temperatura (°C)	Agitación mecánica	Tiempo de reacción (min)	Rendimiento (%)	Autor(es)
1	Babassu oil	etanol	6:1	ambos	1%	30	mecánica y ultrasonido	10	99	Mendes de Paiva
2	jatropha	etanol	6:1	NaOH	1%	30	ultrasonido	30	93	Hoang Duc Hanh
3	maíz	etanol	4.5:1	NaOH	1%	28	ultrasonido	30	62.9	Fernandes
4	soya	etanol	10.2:1	NaOH	0.35%	29	ultrasonido	30	92	Rodrigues
5	jatropha	metanol	9:1	NaOH	1%	50	ultrasonido	30	93	Vyas
6	waste cooking	metanol	9:1	NaOH	0.50%	30	ultrasonido	2	90	Gnaneswar
7	waste cooking	metanol	6:1	KOH	1.00%	30	mecánica y ultrasonido	30	96	Babajide

Tabla 7. Otros resultados de experimentos de producción de biodiésel a partir de aceites empleando sonoquímica y metanol

Ultrasonic effect	Feedstock and reaction composition	Temperature	Yield (%) / time (min)	Optimum conditions; yield (%) / time (min)	Ref
20 kHz, 500 W	WCO; methanol 4.5:1, 9:1, 13.5:1; NaOH/0.5, 1.25, 2.0% (by wt.)	Uncontrolled	88–90/1–2	WCO; methanol 9:1, 0.5% NaOH; 100% power; Amp 3; 90/1.5	This study
24 kHz/400 W	Beef tallow; methanol 6:1; KOH/0.5% (by wt.)	60	70 s	Power 100%	[29]
20 kHz/150 W, 200 W and 250 W	WCO; methanol 4:1, 5:1, 6:1; KOH/0.5, 0.75, 1.0, 1.25% (by wt.)	35, 45, 55	46–89.5/40	6:1, 1% KOH 45C, 200 W/40	[27]
20 kHz, total power 2200 W	Soybean oil; Methanol 5:1; NaOH/1% (by wt.)	40	87–96/2.5	Amplitude 120 $\mu\text{m}_{pp}$ in the pulse mode; 95/1.5	[15]
20 kHz; 14.5 W	Soybean oil; methanol 3:1, 4.5:1, 6:1, 9:1; KOH/ 1.5, 2.2% (by wt.)	25, 40, 60	82–92/3	6:1, 40°C, 1% KOH; 99.4/15	[21]
Pulse frequency: 0.4, 0.7, 1.0; 100, 150, 200 W	Soybean oil; methanol 3:1, 5.5:1, 6:1; NaOH, KOH/na	25, 35, 45	69–100/30	Pulse frequency 1.0, 100 W, 6:1, 45°C	[16]
<sup>a</sup> 28 and 40 kHz, 60% power (720 W)	Vegetable oil, commercial edible oil; methanol 6:1; NaOH/0.5, 1.0, 1.5 KOH/0.5, 1.0, 1.5	36 $\pm$ 2	75–98/10–40	92–96/20–40 40 kHz, 0.5% NaOH 40 kHz, 0.5% KOH, 98/20, 96/20	[14]

<sup>a</sup> Indirect sonication.

Extraído de Gude, 2013

Entre las conclusiones más importantes están que la relación molar de etanol/aceite es uno de los factores más importantes a tomar en cuenta como lo explica Paiva: "...debido a la existencia de un equilibrio dinámico entre los productos, se concluye que el exceso de alcohol incrementa la conversión de aceite en ésteres". En su estudio, Paiva encontró que una relación de 6:1 produce mejores resultados (90% de conversión) frente a una relación de 4:1 etanol/aceite (65% de conversión) utilizando aceite de Babassu. (Paiva, 2011)

Al igual que Paiva, Hoang Duc Hanh y colaboradores llegaron a la conclusión de que el uso de una relación molar 6:1 etanol/aceite es la óptima, pero ellos además optimizaron la concentración de catalizador (NaOH) a un 1% en peso y un tiempo de irradiación de 30 minutos a 30°C utilizando aceite de *Jatropha curcas*. (Hoang Duc Hanh, 2010). Por otra parte, Ganeswar y Grant evaluaron el uso de aceite de fritura reciclado para la producción de biodiésel utilizando metanol. Sus conclusiones principales se resumen en que a bajas temperaturas, la alta viscosidad dificulta la formación de burbujas, por lo que el rango de temperatura óptimo para la reacción de transesterificación está en el rango de 45-60°C. También concluyeron que el método de ultrasonido puede utilizarse en reactores pequeños y puede ayudar a mejorar la eficiencia energética en el proceso completo. (Ganeswar, 2013)

### C. GLICERINA.

El glicerol como un alcohol trivalente, líquido viscoso claro higroscópico de color del agua, y de sabor dulce a temperatura ambiente por encima de su punto de fusión. El glicerol se descubrió por primera vez en 1779 por Scheele, que calienta una mezcla de litargirio y aceite de oliva, y se extrajo con agua. El glicerol se produce naturalmente en forma combinada como glicéridos en todas las grasas y aceites animales y vegetales, y se recupera como un subproducto cuando estos aceites se saponifican en el proceso de fabricación de jabón, cuando los aceites o grasas se dividen en la producción de ácidos grasos, o cuando los aceites o grasas están esterificados con metanol (u otro alcohol) en la producción de metil (alquil) ésteres. Desde 1949, también se ha producido comercialmente por síntesis a partir de propileno [115-07-1]. Esta última representa en la actualidad aproximadamente 25 % de la capacidad de producción de EE.UU. y ~ 12.5 % de la capacidad a nivel mundial. (Knothe, Gerhard, G. Jon Van y J. Krahl. , 2005)

El uso del glicerol en la actualidad se divide en grandes cantidades para el uso de la fabricación de fabricación de medicamentos, cosméticos, pastas de dientes, espuma de uretano, resinas sintéticas, y las gomas éster. Procesamiento del tabaco y los alimentos también consumen grandes cantidades, ya sea como glicerol o glicéridos. (Knothe, Gerhard, G. Jon Van y J. Krahl. , 2005)

El glicerol se produce en forma combinada en todas las grasas, aceite animal y vegetal. Rara vez se encuentra en estado libre en estas grasas, sino que normalmente está presente como un triglicérido en combinación con tales ácidos grasos, y estos son generalmente mezclas o combinaciones de glicéridos de

varios ácidos grasos. El glicerol también se produce de forma natural en todas las células animales y vegetales en la forma de lípidos, tales como lecitina y cefalina. Estas grasas complejas difieren de las grasas simples en que invariablemente contienen un residuo de ácido fosfórico en lugar de un residuo de ácido graso. Varios grados de glicerina están disponibles comercialmente. Ellos difieren un poco en su contenido de glicerol y en otras características tales como impurezas de color, olor, y traza. (Knothe, Gerhard, G. Jon Van y J. Krahl, 2005)

#### 1. Subproductos:

Propilenglicol. Propilenglicol ( $\text{CH}_3\text{CHOHCH}_2\text{OH}$ ), también denominado como 1,2 propanodiol, es un átomo de carbono de tres diol con dos grupos hidroxilo en el carbono 1 y 2. Es un importante producto químico básico que algunos de usos típicos como propilenglicol son las resinas de poliéster insaturado, fluidos funcionales (anticongelante, de deshielo, y la transferencia de calor), productos farmacéuticos, alimentos, cosméticos, detergentes líquidos, humectantes, tabaco, sabores y fragancias, para el cuidado personal, pinturas y alimentos para animales. El gráfico mostrado en la Figura 1 muestra el desglose de los muchos usos de propilenglicol. Como se muestra 23% o aproximadamente 300 millones de libras de mercado está dedicado a los fluidos funcionales, tal como es el caso de los anticongelantes.

A diferencia de glicol de etileno, el propilenglicol no es tóxico cuando se ingiere. (Dasari, M. 2003).

Actualmente, la ruta comercial para producir glicol de propileno es por la hidratación del óxido de propileno obtenida de propileno ya sea por el proceso de clorhidrina o el proceso de hidroperóxido. En el mercado de anticongelante, glicol de propileno producido a partir de glicerol sería una producción nacional y no tóxico alternativa sostenible, al glicol de etileno. (Dasari, M. 2003).

Figura 14. Usos comunes del propilenglicol

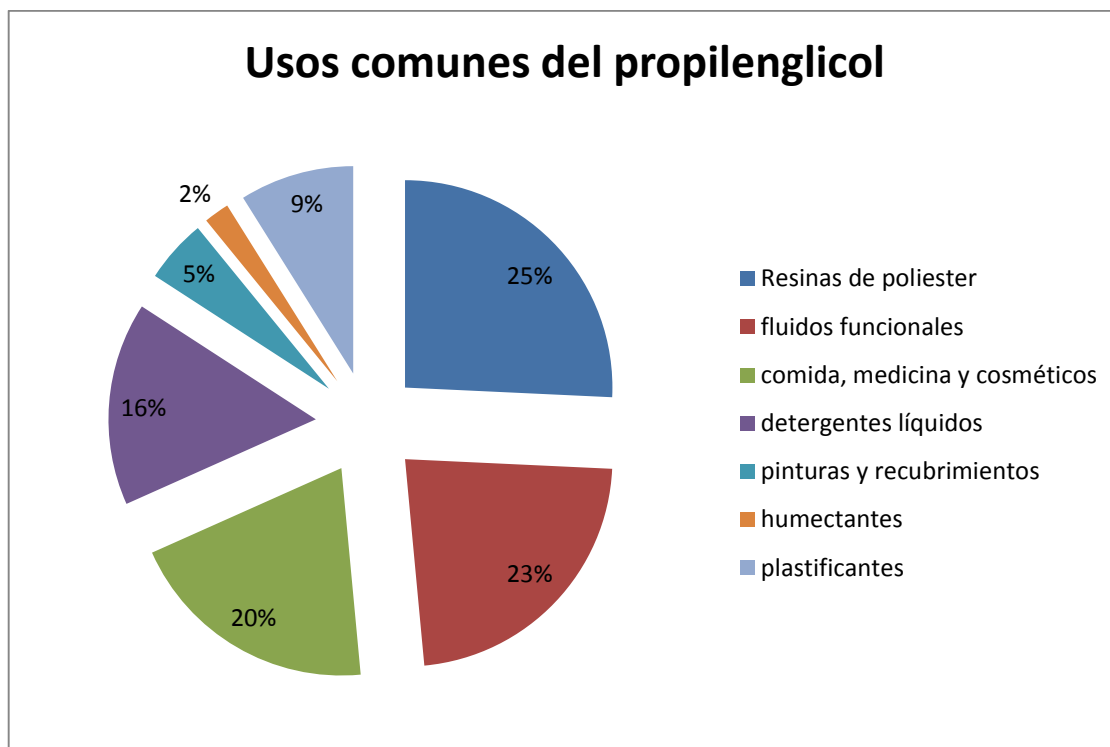


Figura tomada de (Dasari et. al. 2005:28)

Mejora de procesos para convertir glicerol a propilenglicol. Un obstáculo clave para esta transformación es que sea un costo competitivo con la ruta actual de petróleo. Una vez más, Una nueva ruptura de enlaces (hidrogenólisis) dará lugar a la formación de una serie de valiosos productos intermedios. Propilenglicol y 1,3-propanodiol son prometedoros derivados potenciales que podrían producirse a partir de glicerol por el desarrollo de sistemas catalíticos adecuados. 1,3-propanodiol se puede producir a través de fermentación aerobia, sin embargo, una ruta directa de la glucosa a 1,3-propanodiol (Dupont) es probable que sea más rentable. La conversión a propilenglicol sería a través de la catálisis química. (Dasari, M. 2003).

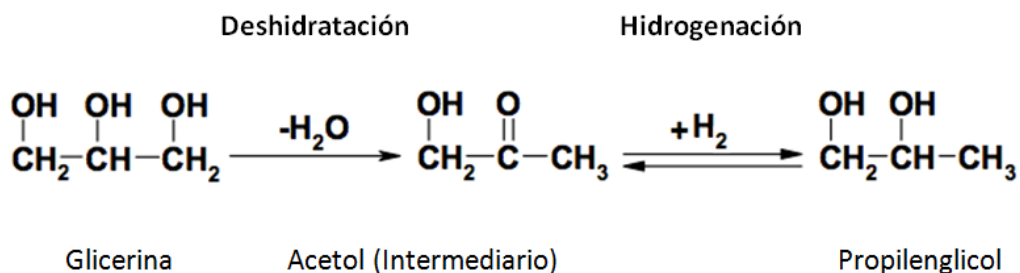
La hidrogenólisis de glicerol al glicol de propileno ha sido siempre conocida. El procesamiento convencional de glicerol al glicol de propileno utiliza catalizadores metálicos y de hidrógeno. Sin embargo, existen preocupaciones relacionadas con la viabilidad comercial, por ejemplo, altas temperaturas y altas presiones, la baja eficiencia de la producción usando soluciones diluidas de glicerol, baja selectividad al glicol de propileno, y alta selectividad al glicol de etileno y otros subproductos (Dasari, M. 2003).

Los beneficios de la conversión altamente selectiva a glicol de propileno van más allá de la reducción del costo de la materia prima de alimentación de glicerol. La literatura de patentes informa de mezclas que producen típicamente contienen al menos 1 parte de etilenglicol (u otro glicol) por cada tres partes de propilenglicol. Estas grandes cantidades de subproducto dictan que la capacidad de destilación adicional debe ser añadida al proceso para purificar el glicol de propileno a las especificaciones del mercado. La separación

de glicol de propileno y glicol de etileno es costosa y difícil debido a la estrecha proximidad de sus puntos de ebullición. Este proceso de separación adicional aumenta los costos de capital y disminuye la rentabilidad del proceso. (Dasari, M. 2003).

En un trabajo anterior el mecanismo de reacción novedoso para la conversión de glicerol al glicol de propileno a través de un intermedio reactivo se propuso como se muestra en la Figura 1. Acetol relativamente puro se aisló a partir de la deshidratación de glicerol como el intermedio transitorio indica que el proceso de reacción para la producción de glicerol de propileno con alto rendimiento y selectividad se puede hacer en dos pasos. El primer paso en este mecanismo de reacción propuesto es una reacción irreversible de glicerol a acetol. Se espera que, el segundo paso de la reacción (acetol a propileno glicol) tenga un equilibrio limitado. (Dasari, M. 2003).

Figura 15. Mecanismo de reacción propuesta para la conversión de glicerina a propilenglicol. Mecanismo propuesto por Montassier *et. al.* 1988



La tecnología se ha desarrollado hasta el punto de viabilidad comercial para la conversión de glicerol al glicol de propileno basado en la catálisis de cromita de cobre y una síntesis de dos etapas que implica destilación e hidrogenación. El método preferido para esta reacción incluye una reacción en fase de vapor sobre un catalizador de cromita de cobre en un reactor de lecho compacto. En presencia de hidrógeno, el enfoque de reacción en fase vapor permite glicerol para ser convertido al glicol de propileno en un único reactor. (Dasari, M. 2003).

La oxidación selectiva de glicerol conduce a una amplia familia de derivados que sirvan de nuevos productos químicos intermedios, o como componentes de nuevos poliésteres ramificados o nylon. Estos productos podrían abordar grandes mercados de productos químicos. Poliésteres focalizados tienen mercados de 2-3 billones de libras/año, con valores entre \$ 1.00 - 3.50/lb. Obstáculos técnicos para la producción de estos materiales incluyen la necesidad de desarrollar la tecnología de oxidación catalítica selectiva que puede operar en una molécula polifuncional tales como glicerol. Los procesos también tendrán que utilizar oxidantes simples, como el oxígeno o aire, para llevar a cabo las transformaciones necesarias. (Proctor&Gamble, 2003).

Un obstáculo clave para esta transformación es que sea un costo competitivo con la ruta actual de petróleo. Una vez más, una importante barrera técnica es la necesidad de desarrollar catalizadores selectivos para llevar a cabo estas transformaciones, específicamente, catalizadores que pueden diferenciar entre los enlaces CC y CO. (Proctor&Gamble, 2003).

Propiedades del propilenglicol. El glicol de propileno o 1,2-propanodiol, ( $\text{CH}_3\text{CHOHCH}_2\text{OH}$ ) es un líquido transparente, incoloro, viscoso, prácticamente inodoro y sin sabor. El glicol de propileno es compuesto orgánico alifático que tiene dos grupos hidroxilo por molécula y tiene propiedades intermedias entre alcoholes, con un solo grupo hidroxilo y glicerol con sus tres grupos hidroxilo. Del mismo modo, las características de solubilidad de este glicol tienden a estar entre los de los alcoholes simples y glicerol. Las propiedades físicas de glicol de propileno se dan en la siguiente tabla. (Monick, J. A, 1968).

Tabla 8. Propiedades físicas del propilenglicol

Punto de ebullición	187.3°C
Punto de flasheo	107°C
Punto de congelación	-60°C
Calor de vaporización a 1 atm	165 cal/g
Índice refractivo	1.4329 nD
Gravedad específica a 20°C	1.0363
Calor específico a 25°C	0.59Cal/g
Tensión superficial a 25°C	0.37dinas/cm
Presión de vapor a 20°C	0.05mmHg
Viscosidad a 20°C	60.5Cp

(Dasari *et. al.* 2005:28)

1) Punto de congelación. La adición de agua a un glicol produce una solución con un punto de congelación por debajo de la del agua. Esto ha llevado a la amplia utilización de soluciones de glicol y agua como disolventes, medios de comunicación a temperaturas considerablemente por debajo del punto de congelación del agua. En lugar de tener puntos de congelación afilados, soluciones de glicol y

agua se convierten en medio derretido durante la congelación. A medida que desciende la temperatura, el lodo se vuelve más y más viscoso y, finalmente, deja de fluir. (Chuang-Wei Chiu. 2006).

2) Protección en tuberías. Muchos líquidos se expanden en volumen tras el enfriamiento. Esta expansión de volumen puede causar tuberías y otros sistemas cerrados que contienen un líquido a la ruptura o explosión cuando se expone a condiciones de baja temperatura. Se necesita la protección de ráfaga para proteger las tuberías y otros sistemas cerrados cuando están inactivos, ya que podría romperse debido a la expansión de una mezcla de hielo o aguanieve en condiciones de baja temperatura, tales como el clima frío. Fluidos a base de glicol proporcionan dicha protección en soluciones de agua, debido a sus puntos de congelación bajos. (Chuang-Wei Chiu. 2006).

3) Solubilidad. El glicol de propileno, como todos los alcoholes de bajo peso molecular, es soluble en todas las proporciones en agua. Además, muchos materiales inmiscibles en agua se pueden realizar en soluciones de agua clara por medio de la acción de acoplamiento de glicoles. Como regla general, propilenglicol es un mejor disolvente para aceites y productos químicos orgánicos que glicol de etileno. (Chuang-Wei Chiu. 2006).

4) Higroscopicidad. El propilenglicol es altamente higroscópico y en conjunción con baja toxicidad goza de una posición única como humectante para aplicaciones alimentarias. (Chuang-Wei Chiu. 2006).

5) Viscosidad. Las viscosidades de glicoles varían inversamente con la temperatura. Glicoles calientes fluyen libremente, pero sus viscosidades aumentan a medida que se enfrían hasta que finalmente se establecen y no fluyen. Los glicoles son más fluidos que muchos solventes y plastificantes alto punto de ebullición. Por esta razón, a menudo se emplean solos o con la adición de varios aditivos, para reducir las viscosidades de la composición. (Chuang-Wei Chiu. 2006).

6) Calor específico. El calor específico es la cantidad de calor necesaria para elevar una unidad de peso de sustancia de un grado en la temperatura. La adición de agua a un glicol aumenta el calor específico. Esto es importante cuando se consideran soluciones de glicol para su uso como medios de transferencia de calor. (Chuang-Wei Chiu. 2006).

7) Toxicidad. El propilenglicol es un considerado prácticamente no tóxico y está permitido como aditivo alimentario. Propilenglicol (PG) su toxicidad es especialmente baja a este respecto; estudios en los que se proporcionaron ratas con agua potable que contiene tanto como 10 % de glicol de propileno durante un período de 140 días no mostraron efectos adversos aparentes. Otras

investigaciones han puesto de manifiesto que las ratas pueden tolerar hasta un 4,9 % de PG en la dieta durante períodos de 24 meses sin efecto significativo sobre la tasa de crecimiento. La mayoría de los glicoles comunes tienen un bajo grado de toxicidad excepto por etilenglicol. En cuanto a la toxicidad, tan poco como 2 onzas de etilenglicol puede ser fatal para un ser humano adulto. (Chuang-Wei Chiu. 2006).

El etilenglicol es más ampliamente utilizado anticongelante. Sin embargo, las preocupaciones con respecto a su toxicidad han conducido al uso de propilenglicol como un reemplazo. (Chuang-Wei Chiu. 2006).

Catalizador. La cromita de cobre es una compleja composición inorgánica cuya fórmula molecular es  $\text{Cu}_2\text{Cr}_2\text{O}_5$ . A menudo contiene óxido de bario, el cual se utiliza para catalizar ciertas reacciones de síntesis orgánica. El catalizador fue desarrollado en América del Norte por Homero Burton y Wilbur Arthur en parte a través de interrogación a científicos alemanes después de la Segunda Guerra Mundial en relación al proceso Fisher-Tropsch. (Suppes, G. 2004)

El cobre es un catalítico que potencialmente es buen catalítico para esta hidrogenación. Se sabe que debido a que tiene una actividad de muy pobre hidratación frente al enlace C-C y una catálisis eficiente frente al enlace C-O para la deshidratación. (Montassier, 1988).

Se utilizan cantidades pequeñas del catalizador ya que los requerimientos de temperatura y presión de la reacción catalizada son elevados. (Suppes, G. 2004)

Actualmente se está tendiendo a utilizar mezclas de catalíticos de cobre y otro metal como en el caso de la utilización Cu-ZnO variando la relación de Cu/Zn habiendo determinado que la relación es 50:50 es altamente reactiva a bajas concentraciones de  $\text{H}_2$ . (Suppes, G. 2004)

Estas mezclas catalíticas son altamente selectivas a 1,2 propanodiol (etilenglicol) hasta en un 93%. (Suppes, G. 2004)

Según un reporte de Rasika Mane et al, se prepararon algunos nano catalíticos de Cu:Al los cuales muestran alta selectividad a 1,2 propanodiol (hasta 91%) a temperaturas de 493K y presión de hidrógeno de 7MPa en 5 horas de operación. También se han utilizado catalíticos de platino Pt en una base Hbeta,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  MgO e hidrotalcita. Un catalítico con base de hidrotalcita Pt alcanzó un grado del 93% de selectividad hacia 1,2 propanodiol con una conversión de 92.1% el cual puede operar a baja presión y puede reciclarse simplemente por filtración. (Suppes, G. 2004)

Adriana Marinoiu et al, reportan haber alcanzado con catalíticos de níquel Ni, una alta selectividad hacia propilenglicol (mayor del 98%) con una conversión del 30% de glicerol bajo condiciones moderadas de 200°C 20-25 bar de presión de hidrógeno, 5% en peso de catalítico y un tiempo de reacción de 8 horas. También en el trabajo de Randy Magliano se obtuvo buenos resultados en la producción de etanol (10.4%)

y propilenglicol (33.2.% mol) cuando se emplea un catalítico de nickel raney en un proceso termoquímico sin suministro de hidrógeno externo. (Suppes, G. 2004)

Eberhardt et al, también reportan que mediante reacciones biológicas han logrado conversiones de glicerol proveniente de la producción de biodiésel a 1,3 propanediol, empleando diversas enterobacterias y clostridios. (Suppes, G. 2004)

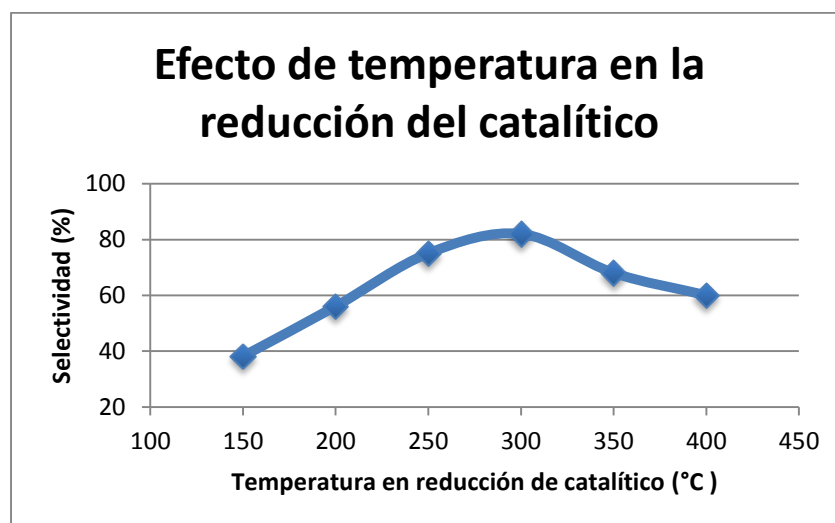
También se investigó la reacción utilizando Ni Raney y Cromita de cobre con rangos de temperatura de 95-200°C y presiones de 2-5 atm sin ninguna conversión de glicerol. (Suppes, G. 2004)

Para cromita de cobre al aumentar la temperatura de 180-200°C en operación semi-continua se logró aumentar de 2.9 a 4.7 veces la conversión con tiempos de operación de 4 y 8 horas. (Suppes, G. 2004)

Se puede concluir que existe una tendencia a buscar nuevos catalíticos, especialmente de mezclas de metales como cobre, níquel, platino, zinc y otros los cuales tienen mayor selectividad a la conversión de propilenglicol. Las conversiones alcanzadas son extremadamente altas, y en algunos de los casos, se han tenido tiempos muy largos de reacción (5-8 horas), los cuales no son los esperados en este tipo de reacciones catalizadas. (Suppes, G. 2004).

Efecto de la temperatura en la reacción previa del catalítico. Para un mejor funcionamiento de la cromita de cobre obtenida en forma de óxido se reduce total o parcialmente para aumentar su actividad. El estudio realizado por Dasari et. al. Muestra pruebas para la reducción previa del catalítico a diferentes temperaturas para incrementar la actividad en la superficie. Obtuvo los siguientes resultados. (Dasari *et. al.*, 2005:229)

Figura 16. Efecto de la temperatura en la reducción previa del catalítico para la formación de propilenglicol a partir de glicerina.



(Dasari *et. al.*, 2005:229)

Efecto en la cantidad del catalítico. En la misma investigación de Dasari *et. al.* La cantidad del catalítico utilizado, cromita de cobre, tiene un efecto directo en los resultados de la síntesis. La actividad del catalítico se pierde antes de que la reacción se complete. El catalítico se puede regenerar lavándolo con solventes polares y reduciéndolo en una corriente de hidrógeno en algunos casos se debe reemplazar con catalítico intacto. Para reducir los costos del reemplazo del catalítico, se determinó una cantidad viable para su utilización. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos por Dasari *et. al.*

Tabla 9. Efecto de la cantidad de catalítico en la formación de propilenglicol a partir de glicerina.

% peso catalítico	% Conversión	% Rendimiento	% Selectividad
1	28.3	17.9	63.3
2.5	33.5	26.2	78.2
5	54.8	46.6	85.0
10	58	45	77.6
15	70.1	45.2	64.5
20	78.5	48.7	62.0

Todas las  
fueron

reacciones  
analizadas

a 200°C y 200psi de hidrógeno durante 24h (Dasari *et. al.*, 2005:229)

Efecto en la temperatura de reacción. Continuando con las investigaciones de Dasari la temperatura tiene un efecto significativo en el rendimiento del propilenglicol en la reacción. En dicha investigación se probaron varias temperaturas para observar el efecto. A continuación se muestra una tabla con resultados. (Dasari *et. al.*, 2005:229)

Tabla 10. Efecto de la temperatura de reacción en la formación de propilenglicol a partir de glicerina.

Temperatura	% de conversión	% rendimiento	% selectividad
150	7.2	2.3	31.9
180	28	9.8	35.1
200	54.8	46.6	85
230	72	35.1	48.7
260	87	7.7	8.8

Todas las reacciones fueron realizadas a 200°C y 200 psi de hidrógeno durante 24 hrs. (Dasari. *et. al.*, 2005:230)

Efectos de la presión de hidrógeno. Dasari *et. al.* Trabajó también para encontrar las presiones óptimas de hidrógeno para lograr un rendimiento alto. Las reacciones fueron realizadas entre 50-500 psi a una temperatura de 200°C para determinar el efecto en la reacción global. La siguiente tabla muestra los resultados. (Dasari *et. al.*, 2005:230)

Tabla 11 Efecto de la presión en la formación de propilenglicol a partir de glicerina.

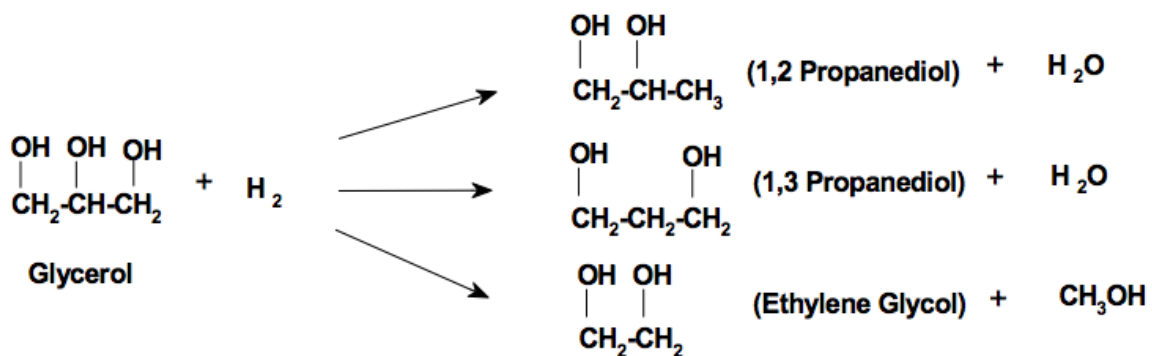
Presión (psi)	% de conversión	% rendimiento	% selectividad
50	25	9.1	36.4
100	37	15.7	42.4
150	44	22.3	50.7
200	54.8	46.6	85
300	65.3	58.5	89.6

Todas las reacciones fueron realizadas a 200°C y 200 psi de hidrógeno durante 24 hrs. (Dasari. *et. al.*, 2005:230)

Usos del propilenglicol. Puesto que el propilenglicol puede someterse a reacciones químicas en uno o ambos grupos hidroxilo, es importante como intermediario químico. El Propilenglicol juega un papel importante en la industria debido a su amplia gama de aplicaciones prácticas. Se encuentra en diversos productos y aplicaciones como conjunto plásticos térmicos, ropa, pinturas de látex, vidrio y limpiadores de superficies esmaltadas, anticongelantes/refrigerantes de automóviles, fluidos de transferencia de calor, fluidos de deshielo de aeronaves, tratamiento de gas natural, líquidos de procesos químicos, fluidos hidráulico, papel y embalaje, adhesivos, plastificantes, pesticidas, tintas de impresión, cosméticos, productos farmacéuticos, alimentos y electrónica. Todas estas aplicaciones utilizan glicol de propileno, ya sea como una parte integral del producto o como un facilitador en su producción. (Jungermann, E. 1991)

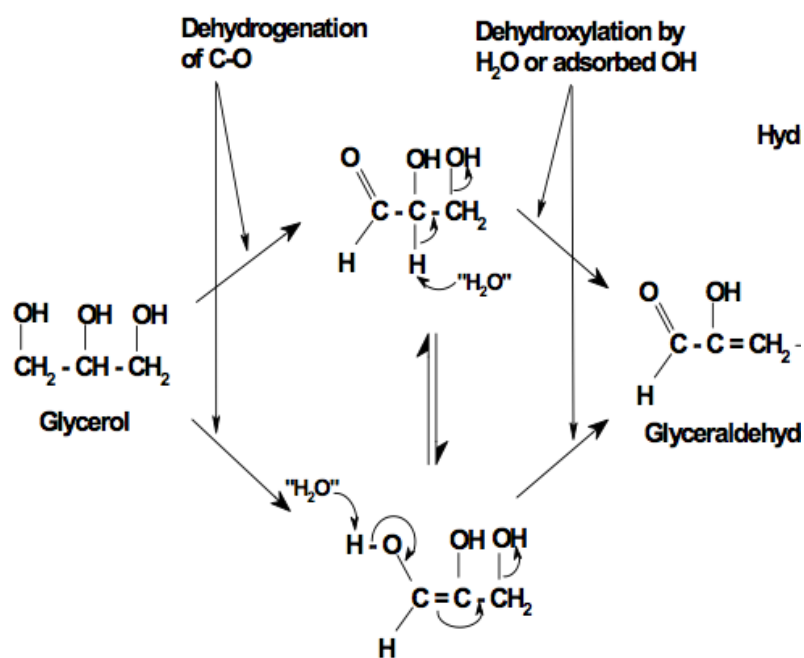
#### Mecanismo de reacción

Figura 17. Mecanismo global de reacción para la producción de propilenglicol a partir de glicerina.



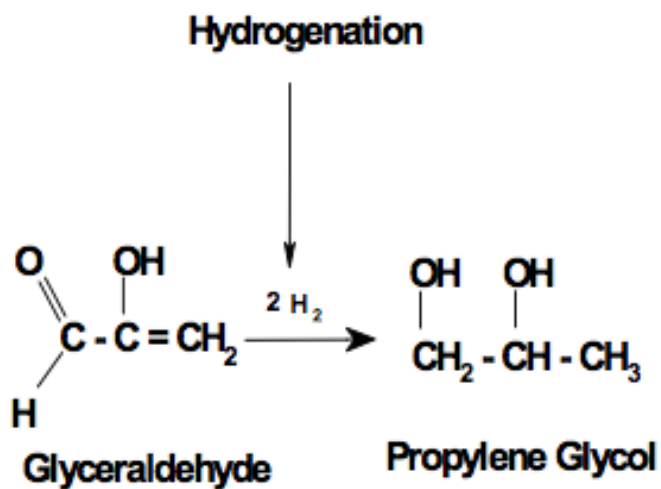
Mecanismo propuesto por Dasari *et. al.*, 2005:226

Figura 18. Mecanismo de reacción para la deshidrogenación de glicerol a acetol.



Mecanismo de reacción propuesto por Montassier *et. al.* 1988

Figura 19. Mecanismo de reacción para conversión de acetol en propilenglicol.



Mecanismo de reacción propuesto por Montassier *et. al.* 1988

#### D. PROCESO DE OBTENCIÓN DE ACEITE DE ORIGEN MICROBIANO (USANDO LEVADURAS).

Proceso de fermentación. Para llevar a cabo un proceso de fermentación es necesario contar con un microorganismo que procese los nutrientes provistos por un medio de cultivo rico en fuentes orgánicas y otros elementos y por medio de ello establecer y controlar el desarrollo de la fermentación. Como producto de la fermentación se obtiene una transformación del medio de cultivo produciendo metabolitos y biomasa. Al mismo tiempo que la concentración del microorganismo va aumentando de manera exponencial hasta que la fuente de energía y nutrientes se agota, siguiendo las cuatro fases típicas de crecimiento: fase de latencia, fase logarítmica, fase estacionaria y fase de muerte (Maldonado, 2013)

Para realizar el proceso de fermentación, se trabajará con la levadura *Lipomyces Starkey* la cual según Maldonado, ha presentado el rendimiento en la producción de aceite más alto de 29.64% en las pruebas de laboratorio. El medio es caldo Sabouraud el cual es usado para el aislamiento y cultivo de hongos y levaduras. Este caldo está compuesto por peptonas de carne (5g/L) y Caseína (5g/L) para de esta manera suministrar las fuentes de nitrógeno y carbono para el crecimiento de bacterias y hongos. Además, incluye glucosa (30g/L) como fuente de energía. Al mezclarse en un litro de agua se distribuye y esteriliza en autoclave a 121°C por 15 minutos (Maldonado, 2013).

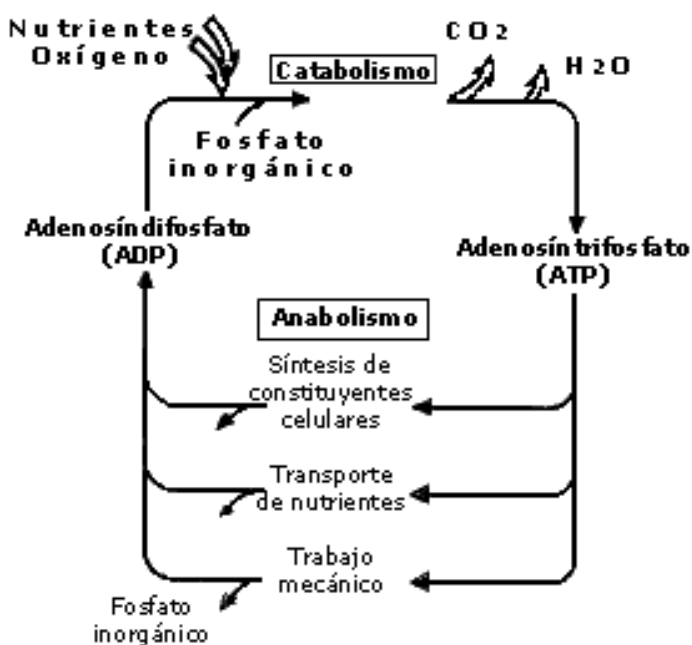
Un proceso normal de fermentación cuenta de cuatro etapas. En la primera etapa, propagación de cultivos, en la cual se realiza una activación de la cepa de interés en un recipiente con material microbiológico para aumentar la población del mismo. En la siguiente etapa, fermentación, se realiza la preparación del inóculo en un volumen mucho mayor, generalmente un reactor industrial. Seguido se realizan los procesos de separación y purificación de los productos, en el que se obtiene el producto aislado como resultado final. La última etapa es el tratamiento de efluentes, el cual descarta finalmente un residuo no contaminante (Maldonado, 2013).

1. Aceite de origen microbiano. La producción de aceites se da por medio del crecimiento microbiano que hace referencia al aumento del número de microorganismos a lo largo del tiempo y no al aumento de tamaño de un microorganismo. El aumento del número de microorganismos permite la formación de colonias o de poblaciones. Es por eso que en microbiología, el crecimiento se estudia por poblaciones y no en microorganismos individuales. Las bacterias se reproducen por fisión binaria y el resultado de tal proceso es la obtención de dos células hijas (Piña, 2011)

Continuamente por la transformación dentro del organismo que se trata de una transferencia compleja, es una red de reacciones enzimáticas de varios tipos, de óxido-reducción, oxidativas, de síntesis, de producción de energía, etc. El microorganismo durante su crecimiento produce numerosas macromoléculas complejas a partir de 100 unidades de monómeros. En las rutas bioquímicas, para llevar a cabo estas transformaciones, intervienen alrededor de 1000 enzimas diferentes. El metabolismo bioquímico es dividido

en dos rutas generales: rutas anabólicas (para la síntesis de moléculas complejas y los precursores de los intermediarios) y rutas catabólicas (que aportan la energía necesaria para los procesos anabólicos. Estas dos actividades divergentes están estrechamente ligadas, la cual es un esquema del entramado de red de reacciones que ocurren durante la transformación microbiana. (Alcón, 1999)

Figura 20. Esquema general del proceso de anabolismo y catabolismo.



Fuente: (Biblioteca Digital del Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa, ILCE).

La red de reacciones que se ilustra en la Figura 3 es complicada de determinar el elevado número de especies químicas, cuyo análisis permitirá conocer la evolución de las concentraciones que podrán ser descritas a través de un modelo cinético. La complejidad de los modelos cinéticos para describir el cambio producido dentro de la célula durante una transformación microbiana puede ser muy amplia. Se han propuesto numerosos modelos cinéticos, descritos en la Tabla #4 (Alcón, 1999).

Tabla 12: Clasificación de modelos cinéticos.

Modelo cinético	Concepto
NO ESTRUCTURADO –NO SEGREGADO–	La biomasa se considera como un único componente. Se considera una célula media como representativa del cultivo.
METABÓLICO	Normalmente no estructurado-no segregado. Se describen las rutas metabólicas como una red de reacciones empleando un esquema simplificado de reacción, con relaciones estequiométricas definidas.
ESTRUCTURADO (ó de CÉLULA)	La descripción de la biomasa se realiza considerándola formada por varias especies. Se tienen en cuenta los componentes intracelulares.
QUÍMICAMENTE ESTRUCTURADO	Se considera a la biomasa formada por varias especies y también un metabolismo simplificado (una red de reacciones).
SEGREGADO	En la descripción del microorganismo se considera la distribución de alguna propiedad. No se considera un microorganismo medio.

Además se apoya por un método de recuperación, en la cual consiste en recuperar el aceite a partir de la biomasa microbiana derivada de un caldo de fermentación pasteurizado, en el que la biomasa se somete a extrusión para formar partículas granulares, se seca extrayéndose posteriormente el aceite de los gránulos secos utilizando un disolvente adecuado por medio de la extracción Soxhlet. La extracción consiste en el lavado de una mezcla sólida con un determinado solvente que va extrayendo de la mezcla el componente más soluble en él. Para realizar las extracciones a partir de mezclas sólidas se utiliza el equipo del mismo nombre. De acuerdo al componente que se desea extraer, deberá seleccionarse adecuadamente el solvente de acuerdo a la selectividad, baja toxicidad, inflamabilidad, facilidad, en este caso el utilizado será el hexano. (Maldonado O. , 2013)

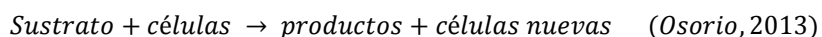
a. Extracción de aceite por método Soxhlet. Además se apoya por un método de recuperación, en la cual consiste en recuperar el aceite a partir de la biomasa microbiana derivada de un caldo de fermentación pasteurizado, en el que la biomasa se somete a extrusión para formar partículas granulares, se seca extrayéndose posteriormente el aceite de los gránulos secos utilizando un disolvente adecuado por medio de la extracción Soxhlet. La extracción consiste en el lavado de una mezcla sólida con un determinado solvente que va extrayendo de la mezcla el componente más soluble en él. Para realizar las extracciones a partir de mezclas sólidas se utiliza el equipo del mismo nombre. De acuerdo al componente que se desea extraer, deberá seleccionarse adecuadamente el solvente de acuerdo a la selectividad, baja toxicidad, inflamabilidad, facilidad, en este caso el utilizado será el hexano. (Maldonado O. , 2013)

b. Obtención de la glicerina. El Departamento de Ingeniería Química inició en el año 2007 investigaciones con referencia a la producción de biodiésel. En la actualidad, el laboratorio cuenta con una planta con la capacidad de procesar 230 litros de aceite de los cuales se obtiene como subproducto 46 litros de glicerina. Dicha glicerina será utilizada en el desarrollo de esta investigación con la autorización del departamento y su director, Ingeniero Gamaliel Zambrano.

c. Cinética del crecimiento microbiano. El crecimiento microbiano hace referencia al aumento del número de microorganismos a lo largo del tiempo y no al aumento de tamaño de un microorganismo. El aumento del número de microorganismos permite la formación de colonias o de poblaciones. Es por eso que en microbiología, el crecimiento se estudia por poblaciones y no en microorganismos individuales. Las bacterias se reproducen por fisión binaria y el resultado de tal proceso es la obtención de dos células hijas (UNAD, 2011).

El intervalo de tiempo que transcurre para la formación de dos células a partir de la célula madre se llama tiempo de generación o tiempo generacional y al igual que la tasa de crecimiento, varía en dependencia de las condiciones genéticas de las bacterias y de los factores nutricionales (UNAD, 2011).

Los microorganismos pueden crecer bajo una gran variedad de condiciones físicas, químicas y nutricionales. En un medio ideal, los microorganismos extraen nutrientes del medio y los convierten en compuestos biológicos. Los nutrientes, entonces, se emplean para la producción de energía y para la biosíntesis y formación de productos. Como resultado la masa microbiana aumenta con el tiempo y puede ser descrita como:



El crecimiento microbiano es un excelente ejemplo de una reacción auto catalítica. La tasa de crecimiento está directamente relacionada a la concentración celular, y la reproducción auto catalítica. La tasa de crecimiento está directamente relacionada a la concentración celular, y la reproducción celular es un

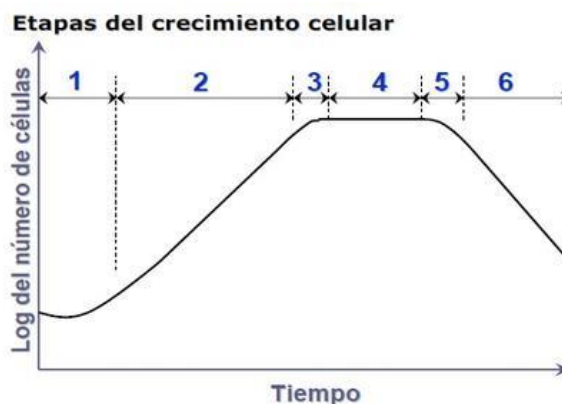
resultado de dicha reacción. La tasa de crecimiento microbiano se caracteriza por una tasa específica de crecimiento ( $\mu$ ) definida como:

$$\mu = \frac{1}{X} \frac{dX}{dt} \quad (\text{Osorio, 2013})$$

En donde X es la concentración másica celular (g/L), t es el tiempo (h) y  $\mu$  es la tasa específica de crecimiento (h<sup>-1</sup>).

El crecimiento se puede ilustrar a través de una curva que representa la relación entre el número de microorganismos y el tiempo, como se observa en la Figura #4. La curva de crecimiento microbiano tiene seis etapas claramente diferenciables (Fany, 2014).

Figura 21. Curva de crecimiento microbiano en función del tiempo.



En donde,

1) Fase lag. Durante esta etapa la arazón de crecimiento es nula. La fase lag ocurre inmediatamente después de la inoculación y es un período de adaptación de las células a su nuevo ambiente. En esta etapa, la célula puede llegar a crecer un poco, sin incrementar en lo absoluto el número de células. Cuando el inóculo es pequeño y tiene una fracción numérica celular viable baja, puede existir una fase pseudo-lag, la cual no se debe a la adaptación sino al mal estado del inóculo. Bajas concentraciones de algunos materiales y la falta de factores de crecimiento pueden prolongar la fase lag. Así mismo, la edad del inóculo tiene una gran repercusión en la duración de la fase lag: generalmente, a mayor edad del inóculo, mayor será el tiempo de la fase lag. La fase lag no ocurre cuando el inoculo se encuentra en un estado metabólico de crecimiento exponencial durante su transferencia (Osorio, 2013).

2) Fase de crecimiento acelerado. En esta etapa, la tasa de crecimiento aumenta gradualmente, alcanzando un máximo nivel al final de la etapa. Los factores que afectan esta etapa, son comúnmente, los mismos que afectan la fase Lag (Osorio, 2013)

3) Fase de crecimiento exponencial. Durante esta etapa, las células se han adaptado al nuevo entorno. Después del período de adaptación (fase Lag), las células pueden multiplicarse rápidamente y la masa y la densidad celular aumentan de manera exponencial con el tiempo, es un período de crecimiento balanceado en el que todos los componentes celulares crecen a la misma velocidad. Durante este crecimiento balanceado, la tasa específica de crecimiento determinada por el número de células o masa celular será igual. Como la concentración de nutrientes es elevada, la tasa de crecimiento es independiente de la concentración de nutrientes, el crecimiento exponencial se vuelve de primer orden:

$$\frac{dX}{dt} = \mu X, \quad X = 0 \text{ a } t = 0 \quad (\text{Osorio, 2013})$$

4) Fase de crecimiento retardado. Esta fase empieza cuando uno de los sustratos esenciales se vuelve limitante o se acumulan subproductos tóxicos generados durante la etapa de crecimiento. Durante esta etapa, la tasa de crecimiento específico depende de la concentración del sustrato limitante. En esta etapa de desaceleración se produce un crecimiento desbalanceado (Osorio, 2013).

5) Fase estacionaria. En esta etapa el crecimiento neto es cero o igual a la tasa de muerte. A pesar de que el crecimiento sea cero, durante ésta las células continúan metabolizando activamente y produciendo metabolitos secundarios en etapas de no crecimiento. La producción de metabolitos secundarios, en procesos biotecnológicos específicos, se estimula voluntariamente durante esta etapa. Durante la fase estacionaria, las células catabolizan reservas celulares para la construcción de nuevos bloques y generación de energía (metabolismo endógeno). La razón para la culminación del crecimiento es por abatimiento de nutrientes y/o acumulación de sustancias tóxicas; si productos inhibidores se acumulan a cierto nivel, el crecimiento cesará por inhibición (Osorio, 2013).

6) Fase de declinación o muerte. Inicialmente después de la fase estacionaria, ocurre la fase de muerte, debido a que ya en la etapa estacionaria existe muerte celular, la distinción precisa del momento en que sucede la fase de declinación, no es clara. La tasa de muerte usualmente ocurre como una cinética de primer orden:

$$\frac{dX}{dt} = -k_d X \quad (\text{Osorio, 2013})$$

Durante la fase de muerte, las células pueden o no efectuar lisis, y el restablecimiento de cultivo puede ser desarrollado durante una etapa temprana de la fase de decline, si las células son transferidas a un medio rico en nutrientes (Osorio, 2013).

Tabla 13. Características principales de cada fase

Parte de la curva	Fase	Tasa de Crecimiento
1	Adaptación (Lag)	Cero
<u>2</u>	<u>Aceleración</u>	<u>Creciente</u>
<u>3</u>	<u>Exponencial</u>	<u>Constante</u>
4	Crecimiento retardado	Decreciente
5	Estacionaria	Cero
6	Declinación	Negativa

(Fany, 2014).

## E. FODA Y ESTRATEGIAS.

La matriz FODA es una herramienta que permite analizar y puede ser aplicada a cualquier situación, individuo, producto y empresa, que esté actuando como objeto de estudio en un momento determinado en el tiempo permitiendo obtener un diagnostico que permite tomar decisiones acordes con los objetivos y políticas formulados. (Anónimo, Matriz FODA, 2011)

Es como si se tomara una fotografía de la situación puntual de lo que se está estudiando. Las variables analizadas y lo que ellas representan en la matriz son particulares en el momento del estudio. Después de analizarlas y ver las variables que influyen, se deben de tomar decisiones estratégicas para mejorar y dar solución para mejorar la situación actual. (Anónimo, Matriz FODA, 2011)

El objetivo principal de este análisis consiste en obtener conclusiones sobre la forma en que la el estudio será capaz de afrontar los cambios y las turbulencias en el contexto (oportunidades y amenazas), a partir de sus fortalezas y debilidades internas. Para lograr este objetivo se debe determinar las estrategias a seguir basándose en las siguiente: (Anónimo, Matriz FODA, 2011)

1. Fortalezas: se le llaman fortalezas a los puntos fuertes a aquellas características propias del estudio que faciliten o favorecen el logro de los objetivos.
2. Oportunidades: son aquellas situaciones que se presentan en el entorno del estudio y que podrían favorecer al logro de los objetivos.
3. Debilidades: son aquellas características propias que constituyen obstáculos internos al logro de los objetivos.

4. Amenazas: son las situaciones que se presentan en el entorno de la empresa y que podrían afectar negativamente las posibilidades de logro de los objetivos.

## F. ESTUDIO DE MERCADO.

El estudio del mercado, en cualquier tipo de proyecto, constituye una fuente de información de primera importancia tanto para estimar la demanda como para proyectar los costos y definir precios, aunque es frecuente, sin embargo, incurrir en el error de considerarlo únicamente como un análisis de la demanda y de los precios del producto que se fabricará o del servicio que se ofrecerá. (Sapag, 2007)

Para una correcta formulación y preparación del proyecto se deben de considerar cuatro estudios de mercado: (Sapag, 2007)

1. Del proveedor: Abastecimiento de los insumos para funcionar. En el mercado de los proveedores se deben estudiar tres aspectos fundamentales: los precios de los insumos, la disponibilidad y la calidad. El precio de los insumos determinará una parte de los costos del proyecto e influirá en el monto de las inversiones, tanto de activos fijos como de capital operativo. La disponibilidad de insumos se deduce del estudio de la existencia de capacidad productiva en toda la cadena de abastecimiento y determinará en definitiva el costo al cual podrá adquirirlo el proyecto. Si hay disponibilidad de materias primas, el precio al que se podrá comprar será inferior al que se lograría si no existiese disponibilidad. (Sapag, 2007)

2. Del competidor: Son abastecidos con los insumos necesarios para funcionar. El estudio del mercado competidor tiene la doble finalidad de permitir conocer el funcionamiento de empresas similares para ayudar a definir una estrategia comercial competitiva con ellas. Además de conocer al competidor con el objetivo de evaluar la posibilidad de captar a nuevos consumidores. (Sapag, 2007)

3. Del distribuidor: Son quienes proveen el producto final. Si el canal es muy grande, probablemente se llegará a más clientes, aunque con un mayor precio final, debido a los costos y márgenes de utilidad agregados en la intermediación. El que los precios se vean aumentados por este canal de distribución, no significa que la empresa vea aumentado sus ingresos finales, pero sí vea afectados sus niveles de venta, puesto que el aumento en el precio final podría hacer caer la cantidad demandada del producto. (Sapag, 2007).

4. Del consumidor: es el usuario o el cliente del producto constituyente. La información obtenida en esta parte es la más importante para el proyecto. Conocer la mente del consumidor es de suma importancia para el proyecto, la decisión del consumidor para adoptar una tecnología, comprar un producto o demandar un servicio tiene componentes tanto racionales como emocionales. Entre los emocionales se encuentra los gustos, preferencias y modas y entre los racionales se destacan la comparación en precios,

formas, calidad. Por otra parte, entre los factores objetivos o racionales se destacan la comparación de precios, formas y condiciones de crédito o la antigüedad y prestigio de la empresa. (Sapag, 2007)

Es importante saber que al ingresar a un mercado, la oferta del producto aumentará, siendo lo más probable que no aumente el consumo por el solo hecho de producir más, lo que obligaría al inversionista a optar por:

- a) Bajar los precios para ser más competitivo.
- b) Aumentar el gasto en publicidad para atraer a los consumidores de la competencia o para crear una nueva demanda.

Invertir en un sistema de distribución diferente, más amplio y más atractivo.

## G. SOBRE INVERSIONES DE MODERNIZACIÓN POR LA VIA DEL REEMPLAZO.

Es importante tener en cuenta que un reemplazo postergado más tiempo del razonable puede elevar los costos de producción, perder competitividad ante empresas que se modernizan o incumplir con plazos de entrega. Por otro lado, un reemplazo que se anticipa puede ocasionar el desvío de recursos que pudieran tener otras prioridades con mayor impacto positivo para la empresa, además del costo de oportunidad que implica no trabajar con estructuras y costos óptimos.

La necesidad de sustituir activos en la empresa se originan por:

1. Capacidad insuficiente de los equipos existentes para enfrentar un crecimiento en la empresa.
2. Por crecimiento en los costos de operación y mantenimiento de equipos en niveles ineficientes, al ser comparados con un nuevo equipo.
3. Por productividad decreciente
4. Por obsolescencia o envejecimiento económico observada comparativamente en el mejoramiento continuo por cambios tecnológicos que tengan menos costos de operación o mayor eficiencia en la producción
5. Por la destrucción física total asociada con averías irreparables o que al ser reparadas tengan un costo muy alto.

Dentro de los proyectos de reemplazo, existen tres tipos de opciones.

- a. Opción de sustitución de activos sin cambios en el nivel de operación, ni por lo tanto, en el nivel de ingresos: cuando un reemplazo no tiene impacto sobre los ingresos estos pasan a ser irrelevantes para la toma de decisión. Por lo que se debe elegir la opción de menor valor actual de los costos proyectados. Por medio de este análisis se debe realizar por el mínimo costo, ya que los ingresos no serán modificados, sin embargo los costos se podrían elevar al reemplazar los activos o no reemplazarlos;

por lo tanto, la decisión se deberá guiar por el beneficio neto (la mayor utilidad neta), es decir los ingresos no modificados menos los costos.

b. Sustitución de activos con cambios en los niveles de producción, ventas o ingresos: al momento en que el reemplazo hace que se modifiquen los niveles de producción o genera nuevos ingresos debido a cambios en la calidad y precio del producto o del aprovechamiento de las nuevas posibilidades comerciales. Al cambiar los ingresos, la solución de mínimo costo podría no ser siempre la más conveniente.

c. Imprescindencia de la sustitución de un activo con o sin cambio en el nivel de operación: esto es cuando una empresa debe hacer el reemplazo de algún equipo.

Se debe tener en cuenta que en las dos primeras opciones la situación con reemplazo es mejor que la situación actual, sin embargo, siempre hay que considerar un tercer escenario el cual sería mejorar la situación base, esto es lo que comúnmente se denomina situación base óptima. Como también es importante reconocer que en las tres opciones la vida útil de los activos pueden variar, lo cual es otra variable importante a analizar. (Sapag, 2007)

## H. SOBRE LA DEMANDA Y LA OFERTA.

1. Comportamiento de la demanda. Al buscar satisfacer las necesidades que tiene los consumidores se conoce como demanda del mercado. Por el contrario los bienes y servicios que los productores libremente desean ofertar para responder a la demanda se denominan oferta del mercado. En el mercado, donde se vinculan esta oferta y demanda se determina equilibrio de mercado representado en una relación entre un precio y una cantidad acorde para cada producto o servicio.

Para que el cliente satisfaga sus necesidades debe existir un ingreso, por ello los clientes buscarán distribuir sus ingresos en todas sus necesidades. Siendo el cliente un individuo, una empresa o un país; todos ellos toman decisiones acerca de cómo asignar sus recursos basándose en sus necesidades principales.

Debido a la multiplicidad de necesidades y limitaciones de recursos el consumidor las jerarquiza definiendo una relación entre la cantidad que está dispuesto a comprar y los diferentes niveles de precio que puede asumir. Al subir el precio los consumidores tienen a disminuir la cantidad demandada y por ende al disminuir el precio aumenta la cantidad demandada.

Una serie de factores pueden afectar el comportamiento de la demanda como: ingreso de los consumidores, cantidad de consumidores, precio de los bienes complementarios, precio de los bienes sustitutos, gustos y preferencias y expectativas.

2. Comportamiento de la oferta. La oferta del mercado corresponde a la conducta de los

empresarios. Los principales elementos que condicionan la oferta son el costo de producción del bien o servicio, el grado de flexibilidad en la producción que tenga la tecnología, las expectativas de los productores, la cantidad de empresas en el sector y el nivel de barreras a la entrada de nuevos competidores, el precio de bienes relacionados y la cantidad adquisitiva de los consumidores. (Sapag, 2007)

## I. ESTUDIO DEL PROYECTO EN FORMA TÉCNICA.

El objetivo del estudio técnico se hace dentro de la viabilidad económica de un proyecto es netamente financiero. Es decir, calcula los costos, inversiones y beneficios derivados de los aspectos técnicos o de la ingeniería del proyecto. En este estudio se busca determinar las características de la composición óptima de los recursos que harán que la producción de un bien o servicio se logre eficaz y eficientemente. Para lograr esto se deberá examinar las opciones tecnológicas posibles de implementar, así como sus efectos sobre las futuras inversiones, costos y beneficios. (Sapag, 2007)

Un proceso productivo que sea bien definido determinará los requerimientos de obras físicas, maquinaria y equipo, su vida útil, recursos humanos y recursos materiales, lo que deberá ser cuantificado monetariamente para proyectar los flujos de caja que posibilitarán las evaluaciones posteriores. Las cantidades de estos activos e insumos determinará la cuantía de la inversión inicial y de reposición, y los costos de operación directos e indirectos. (Sapag, 2007)

Por otro lado, el término costo tendrá el concepto de ser la totalidad de egresos ocasionados por una alternativa, ya sea que se derive de una inversión, un gasto de operación o un costo de oportunidad (corresponde al beneficio dejado de percibir cuando se abandona la opción de usar los recursos en otra oportunidad de negocio de la empresa). Como este proyecto es la creación nueva de productos, se hace conveniente calcular el efecto económico de cada componente que permitirá hacer funcionar al proyecto. Una forma de recolectar esta información es recurriendo a unos formularios especiales denominados balances. Estos se definen a continuación: (Sapag, 2007)

1. Balance de equipo. La primera inversión que se debe calcular incluye a todos los activos físicos necesarios para asegurar el correcto funcionamiento operativo, administrativo y comercial del proyecto. En dicha etapa no importa si se comprará al contado, por crédito o se rentará el equipo ya que su objetivo es recolectar información; ahora si existen distintas alternativas tecnológicas se deberá realizar estados diferentes para estas. (Sapag, 2007)

Con dicho balance se determinará el total de inversiones previas a la puesta en marcha. Este balance tomará en cuenta el artículo necesario, la cantidad que se requiere de dicho artículo, su costo unitario, costo total, vida útil, precios de liquidación unitaria y el ingreso por la venta de estos activos. Para realizar el balance de equipo se debe realizar un calendario de inversiones de reposición que evaluará el horizonte económico del proyecto. (Sapag, 2007)

Es importante que para realizar el balance de equipos se considere una serie de variables para asegurar una selección adecuada del equipo y del proveedor: (Sapag, 2007)

- a. La identificación de todos los posibles proveedores.
- b. Las características y dimensiones de los equipos para determinar su viabilidad técnica
- c. Las capacidades de diseño (evitar cuello de botella)
- d. El grado de flexibilización del uso de los equipos para adecuarse al nivel de operación y proceso.
- e. El nivel de especialización y calificación del personal.
- f. La tasa de crecimiento de sus costos, mantenimiento y operación y su vida útil.
- g. La necesidad de equipos auxiliares
- h. El costo de instalación y puesta en marcha
- i. Las garantías y el servicio técnico de posventa.

2. Balance de obra física. Al conocer la cantidad de equipos y su distribución física más adecuada, se pueden determinar los requerimientos de espacio para su instalación. Para dicho balance se debe tomar en cuenta el ítem de construcción, la unidad de medida, especificaciones técnicas, tamaño, costo unitario y el costo total. Al sumar los costos totales corresponderá a la inversión estimada en obras físicas o construcción. Si en caso se arrienda y no se construye esto no se incluye en el balance sino que es parte de los gastos operacionales del proyecto. (Sapag, 2007)

3. Balance de personal. La forma más eficiente de calcular el costo del recurso humano es desagregando al máximo las funciones y tareas que se deben realizar en la operación del proyecto, con el objeto de definir el perfil de quienes deben ocupar cada uno de los cargos identificados y calcular la cuantía de las remuneraciones asociadas con cada puesto de trabajo. Para esto, lo usual es especificar todas las actividades productivas. Dependiendo de la magnitud del proyecto, podrá ser necesario desagregar cada una de estas clasificaciones hasta tener la certeza de haber minimizado el error en su estimación. (Sapag, 2007)

Es importante tener en cuenta que mientras más tecnológico sea el proyecto, menos cantidad de personal se requerirá, aunque probablemente mayor remuneración recibirá. El balance de personal incorpora las estructuras de remuneraciones fijas, incluyendo gratificaciones, leyes sociales, bonos de alimentación y movilización y costos de turnos especiales. Este balance consta de cuatro columnas que deben explicitar el cargo, la cantidad de puestos en cada cargo, la remuneración fija anual unitaria de cada puesto y la remuneración fija anual total. La suma de los valores de la última columna corresponde a la proyección de los costos en remuneraciones estimadas para un año con un nivel de actividad predeterminado. (Sapag, 2007)

4. Balance de insumos. La estimación de los costos de los insumos que se utilizarán en el proceso de producción, y venta, tiene la dificultad de depender de la configuración de los tipos y de la cantidad de productos que se pronostique elaborar. Los insumos utilizados son la materia prima utilizados para la elaboración de los distintos productos que son directamente proporcionales a la cantidad de producto que se va a producir. (Sapag, 2007)

La construcción de un balance de insumos debe construirse de manera tal que posibiliten determinar el costo de los elementos empleados en la elaboración del proyecto, esta tabla debe contener el insumo, la cantidad, costo unitario y el costo total; la suma del costo total representara el costo de la materia prima a utilizar en para llevar a cabo el proyecto. (Sapag, 2007)

Todos estos balances tienen la misma estructura y se componen de tres partes principales: (Sapag, 2007)

- a. la identificación de cada ítem, su cantidad y costo;
- b. la vida útil que permita estimar las inversiones de reposición de cada activo; y
- c. el valor de liquidación de cada activo al final de su vida útil.

## J. SOBRE LOS COSTOS Y BENEFICIOS.

1. Comportamiento de los costos. La forma tradicional de clasificar los costos de operación de un proyecto es la diferencia entre costos fijos y variables. Los costos fijos totales son costos en que se deberá incurrir en un período determinado, independientemente del nivel de producción. (Sapag, 2007)

Los costos variables totales son los que dependen directamente del nivel de producción. La suma de ambos costos dará el costo total del período. Teniendo en cuenta que dentro de esta clasificación existen los costos directos e indirectos de fabricación, entre los cuales se encuentra mano de obra directa e indirecta, materia prima directa e indirecta y otros costos indirectos de fabricación. (Sapag, 2007)

2. Maximización de los beneficios. La empresa maximiza el beneficio neto total en el nivel de producción en el que la diferencia entre el ingreso total y el costo total se hace máxima. (Sapag, 2007)

## K. CÁLCULO DE BENEFICIO DE PROYECTO.

La rentabilidad que se estime para cualquier proyecto dependerá de la magnitud de los beneficios netos que la empresa obtenga a cambio de la inversión realizada en su implementación, sean estos obtenidos tanto mediante la agregación de ingresos o la creación de valor a los activos de la empresa como mediante la

reducción de costos.

1. Ingresos, ahorro de costos y beneficios. Estas son variables que impacta positivamente en el resultado de una inversión a los ingresos, la reducción de costos y el aumento de eficiencia, a los beneficios que no son ingresos, pero que incrementan la riqueza del inversionista o de la empresa.

2. Ingresos por venta de producto o servicios. La mayoría de las inversiones que realiza la empresa se justifica por el incremento futuro de los beneficios monetarios. Las empresas intentan, mediante distintos proyectos, ganar las preferencias del consumidor por medio de una estrategia basada en la diferenciación del producto ofertado, para que sea percibido como deseable y por lo tanto, se esté dispuesto a pagar por ello. Esto se logra, según Martín de Holan, mediante tres vías:

a. Ofertar un producto que le parezca al consumidor tanto distinto de las otras opciones que no sea posible comparación alguna.

b. Ofertar un producto que, aunque sea percibido como similar, haga al consumidor estimar que posee características adicionales a las de la mayor opción.

c. Ofertar un producto percibido como similar, pero a un precio inferior.

3. Ahorro de costos. Gran parte de los proyectos que se evalúan en empresas en marcha no modifican los ingresos operacionales de la empresa, sino estos son evaluados por comparación de costos.

4. Cálculo de valores de desecho. Un beneficio que no constituye ingreso pero debe ser incluido en el flujo de caja. El valor desecho es a cuánto se puede vender un activo al finalizar el tiempo de horizonte al que se evaluó. La teoría ofrece tres formas para determinar el valor de desecho. Dos de ellas valorando los activos y una tercera valorando el proyecto por su capacidad de generar flujos positivos de caja a futuro. La valoración de activos se puede realizar por medio del método contable, el cual consiste en el valor en libros de los activos. Como también se puede realizar por medio del método comercial que depende del valor de mercado y el efecto tributario. Por otro lado para hacer la valoración de flujos se realiza por el método económico el cual consiste en el valor actual de un flujo anual perpetuo. (Sapag, 2007)

## L. ANÁLISIS DE COSTO BENEFICIO INCREMENTAL.

Es una técnica de análisis que tiene como objetivo proporcionar una medida de la rentabilidad del proyecto, mediante la comparación de los costos previstos con los beneficios esperados en la realización del mismo. Esta técnica se utiliza para comparar varias alternativas para la toma de decisión de saber cuál es la mejor económicamente. (Blank & Anthony, 2006)

La razón B/C incremental se determina al utilizar los cálculos de VP, VA o VF, y la alternativa de costo extra se justifica si dicha razón B/C es igual o mayor que 1.0. La regla de elección será la siguiente: (Blank & Anthony, 2006)

Si  $B/C \text{ incremental} \geq 1.0$ , se elige la alternativa de mayor costo, debido a que el costo adicional es justificable en términos económicos.

Si  $B/C \text{ incremental} \leq 1.0$ , se elige la alternativa de menor costo.

El análisis costo-beneficio, permite definir la factibilidad de las alternativas planteadas o de un proyecto a ser desarrollado. La utilidad de la presente técnica es la siguiente:

1. Para valorar la necesidad y oportunidad de la realización de un proyecto.
2. Para seleccionar la alternativa más beneficiosa de un proyecto.
3. Para estimar adecuadamente los recursos económicos necesarios, en el plazo de realización de un proyecto.

#### M. ANÁLISIS DEL VALOR PRESENTE.

Es un método de evaluación de proyectos de inversión. Consiste en determinar el valor presente de los flujos de fondos de un proyecto, utilizando la tasa de descuento acorde al rendimiento mínimo esperado. (Blank & Anthony, 2006)

Una cantidad futura de dinero convertida a su valor equivalente ahora tiene un monto de valor presente (VP) siempre menor que el flujo de efectivo real, debido a que para cualquier tasa de interés mayor que cero, todos los factores PIF tienen un valor presente menor que 1.0. Por tal razón, con frecuencia se hace referencia a cálculos de valor presente con la denominación de flujo de efectivo descontado (FEO). En forma similar, la tasa de interés utilizada en la elaboración de los cálculos se conoce como tasa de descuento. Otros términos utilizados a menudo para hacer referencia a los cálculos de valor presente son valor presente (VP) y valor presente neto (VPN). (Blank & Anthony, 2006)

#### N. ANÁLISIS DEL VALOR ANUAL.

Es un método que se emplea para analizar alternativas de inversión bajo certezas riesgo e incertidumbre con vidas útiles iguales y diferentes. El VA significa que todos los ingresos y desembolsos son convertidos en una cantidad anual uniforme equivalente de fin de periodo, que es la misma cada periodo. La ventaja principal de éste método sobre todos los demás radica en que en este no se requiere hacer comparación sobre el mínimo común múltiplo de los años cuando las alternativas tienen vidas útiles diferentes, es decir, el VA de la alternativa se calcula para un ciclo de vida únicamente, porque como su nombre lo indica, el valor anual, es un valor anual equivalente sobre la vida del proyecto. Si el proyecto continúa durante más de un ciclo, se

supone que el valor anual equivalente durante el siguiente ciclo y todos los ciclos posteriores es exactamente igual que para el primero, siempre y cuando todos los flujos de efectivo actuales sean los mismos para cada ciclo. (Blank & Anthony, 2006)

El método de valor anual para comparar alternativas es probablemente el más simple a realizar. La alternativa seleccionada tiene el costo equivalente más bajo o el ingreso equivalente más alto. Tal vez la regla más importante de recordar al hacer las comparaciones VA es la que plantea que sólo debe de considerarse un ciclo de vida de cada alternativa, lo cual se debe a que el VA será el mismo para cualquier número de ciclos de vida que para uno. (Blank & Anthony, 2006)

El término valor anual significa una serie uniforme anual de sumas de dinero durante un cierto período, cuyo importe es equivalente al de un programa de fechas de ingresos y/o desembolsos en estudio. Este método también se aplica para determinar la conveniencia económica que ofrezca un proyecto o para comparar las ventajas económicas de dos o más proyectos. Definitivamente este método es el más fácil y práctico de todos los que se emplean para evaluar alternativas de inversión, ya que su enfoque y criterios financieros se adaptarán a cualquier tipo de proyecto donde la comparación se efectúa para la vida de servicio de cada uno de ellos sin importar que sean diferentes. (Blank & Anthony, 2006)

## O. ANÁLISIS DE TASA DE RENDIMIENTO.

Aunque la medida de valor económico citada más frecuentemente para un proyecto o alternativa es la tasa de rendimiento (TR), su significado se malinterpreta con facilidad, y los métodos para determinarla muchas veces se aplican de forma incorrecta. (Blank & Anthony, 2006)

La TR se conoce con muchos otros nombres: tasa interna de rendimiento (TIR), retorno sobre la inversión (RSI) e índice de rentabilidad (IR), sólo por mencionar algunos. La determinación de la TR se consigue utilizando un proceso de ensayo y error o, de forma más rápida, mediante funciones en una hoja de cálculo. En algunos casos, más de un valor de TR puede satisfacer la ecuación de VP o VA. De manera alternativa, es posible obtener un solo valor de TR empleando una tasa de reinversión que se establezca de manera independiente a los flujos de efectivo del proyecto. (Blank & Anthony, 2006)

## P. ANÁLISIS DEL PERIODO DE RECUPERACIÓN.

El periodo de recuperación mide en cuánto tiempo se recuperará el total de la inversión realizada para llevar a cabo un proyecto a valor presente. Así mismo es utilizado para medir la viabilidad de un proyecto. Este basa sus fundamentos en la cantidad de tiempo que debe utilizarse, para recuperar la inversión, sin tener en cuenta los intereses. Es decir, que si un proyecto tiene un costo total y por su implementación se espera obtener un ingreso futuro, identifica el tiempo total en que se recuperará la inversión inicial. Normalmente es utilizado para medir la viabilidad de un proyecto. (Díaz, 2009)

Este método selecciona aquellos proyectos mutuamente excluyentes cuyos beneficios permiten recuperar más rápidamente la inversión, es decir, cuanto más corto sea el periodo de recuperación de la inversión mejor será el proyecto, o bien, la decisión de invertir se toma comparando este período de recuperación con algún estándar predeterminado. Proporcionando una medición de la liquidez del proyecto o de la velocidad con que el efectivo invertido es reembolsado. (Diaz, 2009)

El periodo de recuperación  $n$  es el tiempo estimado, generalmente en años, que tomará para que los ingresos estimados y otros beneficios económicos recuperen la inversión inicial y una tasa de rendimiento establecida.

Para realizar dicho cálculo, se debe restar la inversión inicial al flujo de efectivo el cual es ingresos menos desembolso. Para esto se debe tener en cuenta que el  $n$  que se encuentre debe ser menor a la vida útil del equipo ya que si no es así, esto nunca se recuperará.

El periodo de recuperación deberá calcularse utilizando un rendimiento requerido que sea mayor al 0%. Sin embargo, en la práctica, el periodo de recuperación a menudo se determina con un requerimiento de no rendimiento ( $i=0\%$ ), para depurar inicialmente el proyecto y determinar si garantiza mayor consideración. (Blank & Anthony, 2006)

Después de  $n$  años, el flujo de efectivo habrá recobrado la inversión y un rendimiento de  $i\%$ . Si, en realidad, el activo o la alternativa se utilizan para más de  $n$  años, puede darse un mayor rendimiento; pero si la vida útil es menor que  $n$  años, no habrá tiempo suficiente para recuperar la inversión inicial ni el rendimiento  $i\%$ . Es importante notar que en el análisis de recuperación todos los flujos de efectivo neto que ocurran después de  $n$  años se depreciarán. (Blank & Anthony, 2006).

## V. METODOLOGÍA

Para poder desarrollar la producción de biodiésel usando tecnologías alternativas y realizar un análisis económico del mismo, es necesario conocer acerca de los distintos procesos de producción para poder llevar a cabo el proyecto. Las investigaciones que se han realizado sobre los procesos de producción son del método de producción de biodiésel empleando ultrasonido, tratamiento de las aguas del lavado, producción de subproductos a partir de la glicerina residual obteniendo propilenglicol y aceite de origen microbiano.

Se comenzó por la producción de biodiésel con el método de ultrasonido empleando aceite de fritura usado al que se le determinó viscosidad, densidad, composición a través de cromatografía e índice de acidez por titulación. Se preparó una solución de etóxido de sodio disolviendo pellets de hidróxido de sodio (NaOH) en etanol. Se mezcló el aceite y el etóxido de sodio en un Erlenmeyer donde se puso a reaccionar por 30 minutos. Las condiciones variadas fueron: agitación mecánica a 0 rpm y 400 rpm, temperatura de reacción a 23°C (ambiente) y a 60°C y la amplitud de ultrasonido (50 y 90%). Posteriormente se dejó que la glicerina decantara en una ampolla de decantación para luego separarla del biodiésel. El biodiésel se lavó empleando agua para eliminar jabones y luego se eliminó el agua residual a través de calentamiento. Al biodiésel obtenido se le determinó la masa, la densidad, la viscosidad y su composición por cromatografía este proceso de producción se amplía en anexos.

Para tratar el agua proveniente del proceso de producción se trabajó de la siguiente forma, a continuación se presenta un breve resumen y los pasos seguidos se detallan en los anexos. La primera fase consistió en la identificación de contaminantes en el agua, se realizaron pruebas volumétricas para identificación de hidróxido de sodio, prueba de turbidez, pruebas de sulfatos y metanol. También por decantación se separó y cuantificó la cantidad de biodiésel presente en el agua. Por precipitación se realizaron cuantificación de jabones presentes en el agua. La segunda fase fue la experimentación en pruebas piloto, para ello se utilizó un tanque de acero inoxidable y toda el agua recuperada del proceso del lavado. Se realizaron pruebas de acidificación para separar y recuperar biodiésel, neutralización y precipitación de jabones para llevar el agua a un pH neutro. También se realizaron pruebas de filtración y pruebas complejométricas para reducir la dureza del agua. Con los datos obtenidos se realizó un diseño para una planta piloto de tratamiento de agua.

Luego se trabajó con la glicerina residual obtenida de la producción de biodiésel, donde se propusieron dos alternativas para ser tratada, la producción de propilenglicol y la producción de aceite de origen

microbiano ampliadas sus metodologías en anexos. La producción de propileglicol no pudo llevarse a cabo por lo que se propuso un nuevo proceso, mediante una reacción de hidrogenación utilizando un catalítico metálico, con el fin de aprovechar dicho subproducto. Así mismo realizar una caracterización de la glicerina residual del proceso de elaboración de Biodiésel, con el fin de conocer la cantidad de glicerina presente en la mezcla de subproductos provenientes de la producción de biodiésel. Para el tratamiento de la glicerina contaminada proveniente de la producción de biodiésel se tomaron muestras a las que se le agregaron ácido fosfórico para llevar a un pH medio con una acidez suave, para medir la variación de pH, trabajando en un rango de temperatura con agitación constante para neutralizarla. Seguidamente se dejó reposar para la separación de las fases y se calentó para eliminar cualquier otro residuo presente en la glicerina. Para producir aceite de origen microbiano, se realizó un proceso de fermentación utilizando la cepa de levadura *Lipomyces starkeyi* con distintas proporciones de glicerina USP como sustrato en el medio de cultivo. Posteriormente se recuperó glicerina obtenida de la producción de biodiésel y se utilizó en un escalamiento con la proporción que obtuvo mayor rendimiento en la fermentación utilizando glicerina USP.

Seguido de los procesos experimentales de cada alternativa se realizó un estudio económico de la producción de la producción de biodiésel con ultrasonido comparándola con la producción actual y el estudio económico del tratamiento de glicerina para producir propilenglicol o aceite de origen microbiano al compararlo con la incineración; consistirá en un análisis mutuamente excluyente ya que se realizará una de las dos producciones y un tratamiento de glicerina. El análisis económico se realizará con un objetivo de inversión que garantice un proyecto de modernización que tenga como finalidad un proceso de reemplazo que produzca mayores beneficios; es decir, reducir costos para obtener mayor utilidad. El análisis del tratamiento de agua de lavado consistirá en un proyecto de mejora que posee un valor agregado, siendo este un beneficio ambiental.

El análisis correspondiente que se llevará a cabo para verificar la viabilidad del proyecto será por medio de un análisis costo/beneficio; en donde se clasificarán los costos en sus respectivas categorías costos directos: Mano de obra y materia prima y costos indirectos: CIF (costos indirectos de fabricación). Los montos totales de costos e inversión inicial se realizarán por medio de balances de equipos, obras físicas, personal y de insumos. Con estos datos se establecerá un precio de venta estimado, el cual se realizará teniendo en cuenta los precios de la competencia como también los costos de producción. Es importante para un proyecto de inversión estimar el tiempo de recuperación de la misma, por lo que se realizará también un análisis de retorno de inversión para garantizar que la misma se recupere en un lapso de tiempo corto que nos permita obtener mayor utilidad y que por ende el proyecto sea más rentable.

Por otro lado, se realizará un análisis FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas) para conocer y compara el entorno, es decir, el mercado de agro combustibles y combustibles fósiles como competencia directa del biodiésel y del aceite; esto con el fin de predecir el posicionamiento a futuro que puede tener el dichos productos en el mercado.

## VI. RESULTADOS

### A. PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL CON ETANOL POR EL MÉTODO DE ULTRASONIDO.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en cuanto a la producción de biodiésel y glicerina en cada una de las pruebas realizadas.

Tabla 14. Resultados obtenidos de la síntesis de biodiésel utilizando ultrasonido

Prueba	Agitación (rpm)	Masa de aceite (g)	Desv. (g)	Masa de biodiésel (g)	Desv. (g)	Rendimiento (%)	Desv.(%)	Temperatura (°C)	Amplitud ultrasonido (%)
A	0	85.0130	0.0527	54.3474	2.2795	70.04	2.94	24.0	90%
C	400	85.0119	0.0039	59.6974	5.4482	76.94	7.02	23.0	90%
B	0	85.0267	0.0194	0	0	0.00	0.00	21.0	50%
D	400	85.0256	0.0063	59.0251	2.7673	76.07	3.57	21.0	50%
E	0	85.0776	0.0222	53.6466	0.3937	69.14	0.51	60.0	90%
G	400	85.0668	0.0292	54.6254	1.9762	70.40	2.55	52.0	90%
F	0	85.0607	0.0029	0.0000	2.1966	0.00	2.83	60.0	50%
H	400	85.0256	0.0127	53.1469	0.0000	68.50	0.00	60.0	50%

\*con ciclo de ultrasonido 0.8/0.2 (seg on/seg off)

Tabla 15. Resultados de la síntesis de subproductos del biodiésel usando ultrasonido

Prueba	Frecuencia ultrasonido (%)	Agitación (rpm)	Temperatura (°C)	Masa de aceite (g)	Desviación (g)	Masa glicerina (g)	Desviación (g)
A	90%	0	24.0	85.0130	0.0527	27.5772	7.8529
B	50%	0	21.0	85.0119	0.0039	Gelatinizó	
C	90%	400	23.0	85.0267	0.0194	24.2104	0.9541
D	50%	400	21.0	85.0256	0.0063	26.6731	4.0862
E	90%	0	60.0	85.0776	0.0222	30.9360	4.9412
F	50%	0	60.0	85.0668	0.0292	Gelatinizó	
G	90%	400	52.0	85.0607	0.0029	32.4191	0.7677
H	50%	400	60.0	85.0256	0.0127	33.5595	0.6755

\*con ciclo de ultrasonido 0.8 (seg on/seg off)

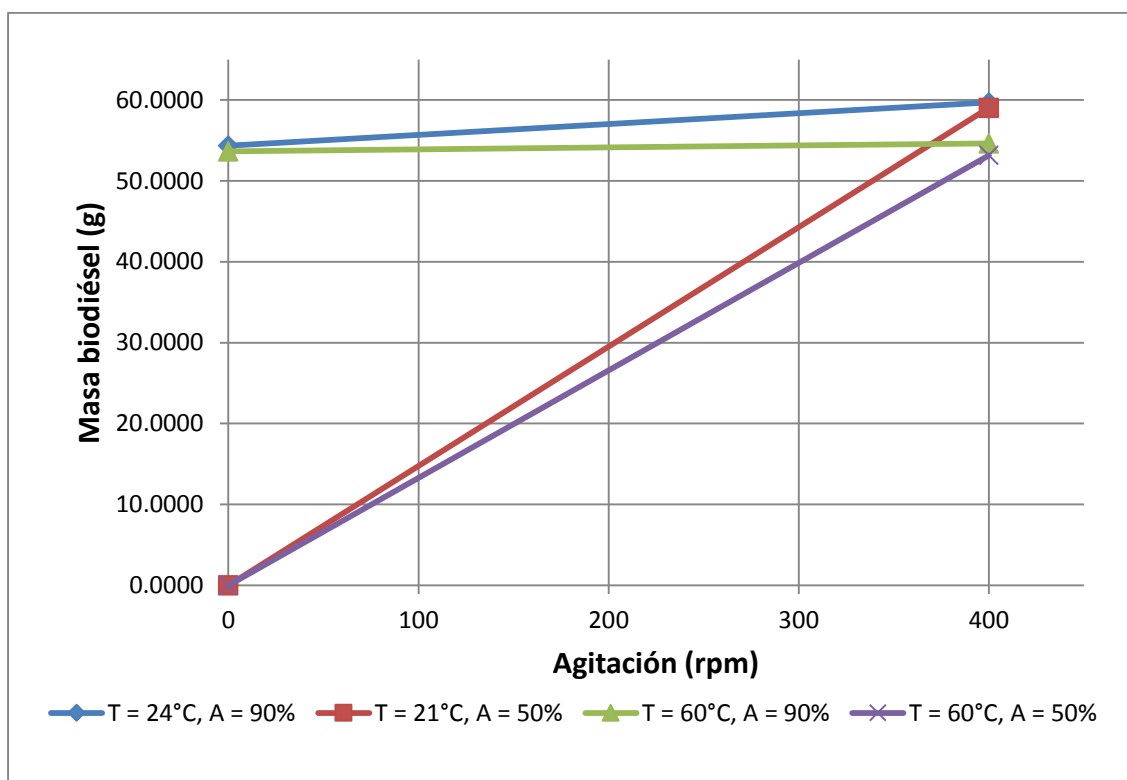
Ahora, analizando según las variables en estudio:

Tabla 16. Producción de biodiésel usando ultrasonido en función de la agitación

Prueba	Agitación (rpm)	Masa de biodiésel (g)	Desv. (g)	Rendimiento (%)	Desv.(%)	Temperatura (°C)	Amplitud ultrasonido (%)
A	0	54.3474	2.2795	70.04	2.94	24.0	90%
C	400	59.6974	5.4482	76.94	7.02	23.0	90%
B	0	0	0	0.00	0.00	21.0	50%
D	400	59.0251	2.7673	76.07	3.57	21.0	50%
E	0	53.6466	0.3937	69.14	0.51	60.0	90%
G	400	54.6254	1.9762	70.40	2.55	52.0	90%
F	0	0.0000	2.1966	0.00	2.83	60.0	50%
H	400	53.1469	0.0000	68.50	0.00	60.0	50%

\*con ciclo de ultrasonido 0.8/0.2 (seg on/seg off)

Figura 22. Producción de biodiésel usando ultrasonido en función de la agitación



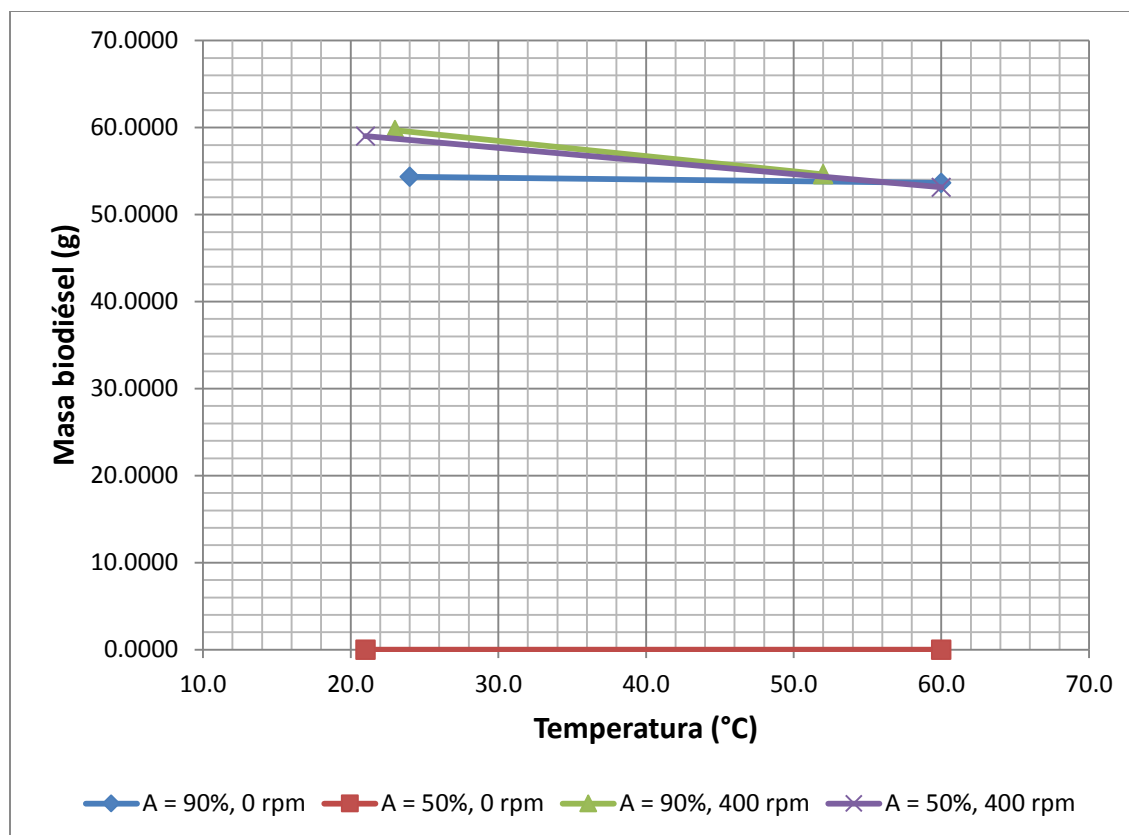
Donde T es temperatura y A es amplitud.

Tabla 17. Producción de biodiésel usando ultrasonido en función de la temperatura

Prueba	Temperatura (°C)	Masa de biodiésel (g)	Desv. (g)	Rendimiento (%)	Desv. (%)	Agitación (rpm)	Amplitud ultrasonido (%)
A	24	54.3474	2.2795	70.04	2.94	0.0	90%
E	60	53.6466	0.3937	69.14	0.51	0.0	90%
B	21	0	0	0.00	0.00	0.0	50%
F	60	0.0000	0.0000	0.00	0.00	0.0	50%
C	23	59.6974	5.4482	76.94	7.02	400.0	90%
G	52	54.6254	1.9762	70.40	2.55	400.0	90%
D	21	59.0251	2.7673	76.07	3.57	400.0	50%
H	60	53.1469	2.1966	68.50	2.83	400.0	50%

\*con ciclo de ultrasonido 0.8/0.2 (seg on/seg off)

Figura 23. Producción de biodiésel usando ultrasonido en función de la temperatura



Donde A es amplitud y (0 y 400) rpm es la agitación

Figura 24. 1. Producción de biodiésel usando ultrasonido en función de la temperatura, ampliada

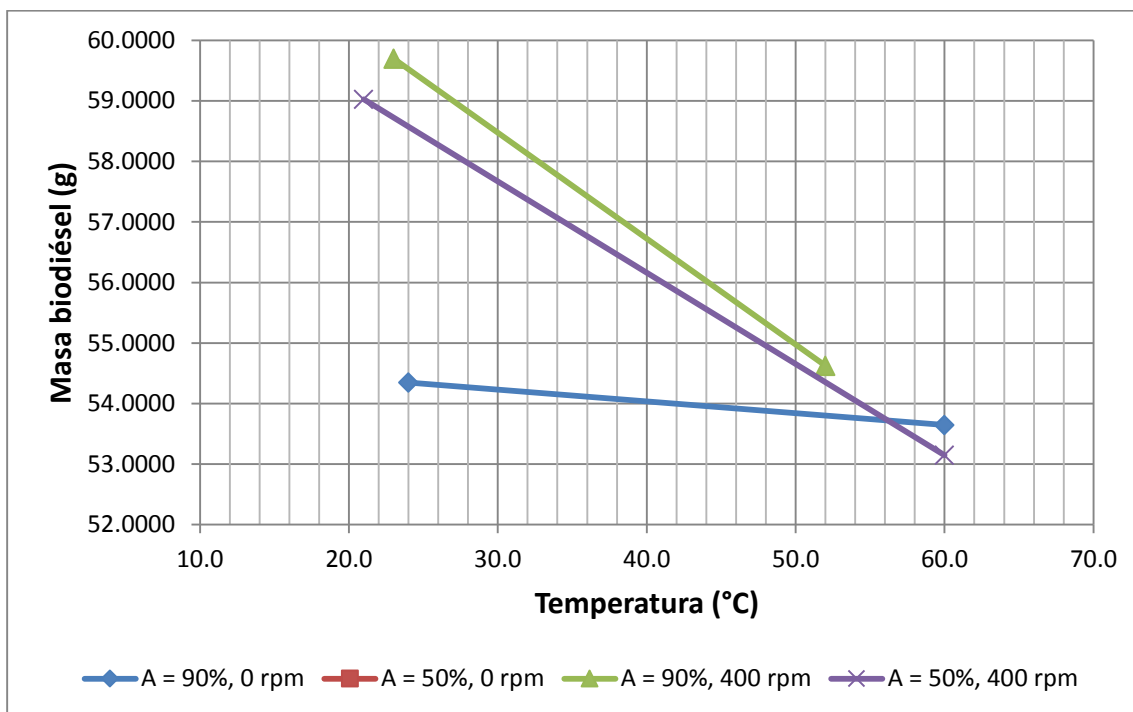


Tabla 18. Producción de biodiésel usando ultrasonido en función de la amplitud utilizada

Prueba	Amplitud ultrasonido (%)	Masa de biodiésel (g)	Desv. (g)	Rendimiento (%)	Desv. (%)	Temperatura (°C)	Agitación (rpm)
A	90%	54.3474	2.2795	70.04	2.94	24.0	0
B	50%	0.0000	0.0000	0.00	0.00	21.0	0
C	90%	59.6974	5.4482	76.94	7.02	23.0	400
D	50%	59.0251	2.7673	76.07	3.57	21.0	400
E	90%	53.6466	0.3937	69.14	0.51	60.0	0
F	50%	0.0000	0.0000	0.00	0.00	60.0	0
G	90%	54.6254	1.9762	70.40	2.55	52.0	400
H	50%	53.1469	2.1966	68.50	2.83	60.0	400

\*con ciclo de ultrasonido 0.8/0.2 (seg on/seg off)

Figura 25. Producción de biodiésel usando ultrasonido en función de la amplitud utilizada

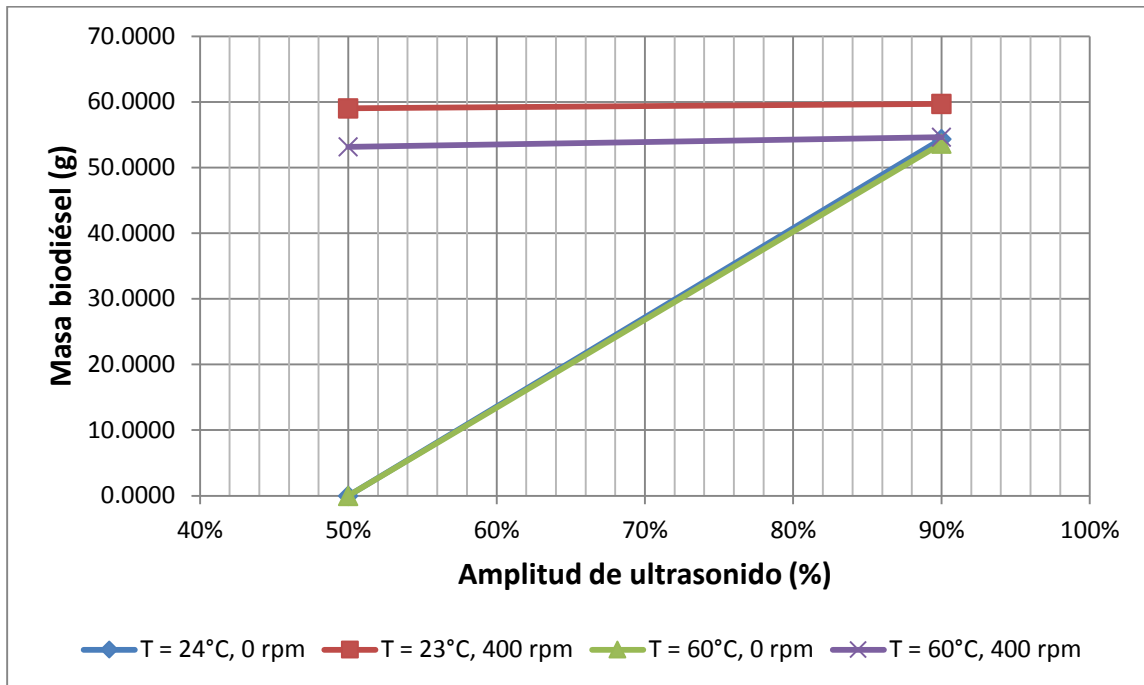
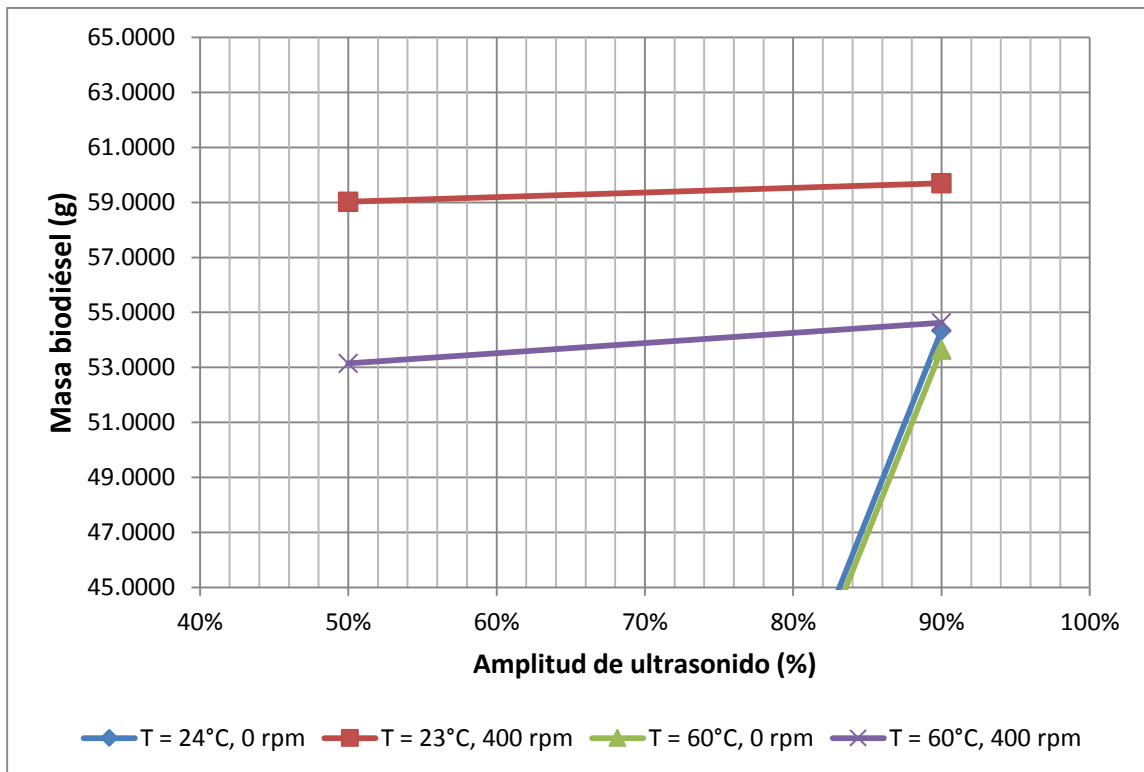


Figura 26. Producción de biodiésel usando ultrasonido en función de la amplitud utilizada, ampliada



La caracterización del biodiésel producido, utilizando el método cromatográfico mencionado, se muestra a continuación:

Tabla 19. Composición de biodiésel producido expresado como los resultados del análisis cromatográfico

Prueba	RT	Área (%)	Compuesto	CAS #	Calidad
A1	31.578	18.05	Ácido hexadecanóico, etil éster	000112-39-0	98
	34.999	38.21	Etil oleato	000112-62-9	99
	36.227	35.05	Ácido linoléico, etil éster	002462-85-3	99
	37.028	7.37	(Z,Z,Z)-9,12,15-ácido octadecatrienóico, etil éster	000463-40-1	99
A2	31.633	18.05	Ácido hexadecanóico, etil éster	000112-39-0	98
	34.985	37.24	Etil oleato	000112-62-9	99
	36.213	36.5	Ácido linoléico, etil éster	002462-85-3	99
	37.009	7.22	(Z,Z,Z)-9,12,15-ácido octadecatrienóico, etil éster	000463-40-1	99
A3	31.597	17.57	Ácido hexadecanóico, etil éster	000112-39-0	98
	34.972	37.44	Etil oleato	000112-62-9	99
	36.209	36.97	Ácido linoléico, etil éster	002462-85-3	99
	37.005	7.23	(Z,Z,Z)-9,12,15-ácido octadecatrienóico, etil éster	000463-40-1	99
C1	31.615	17.52	Ácido hexadecanóico, etil éster	000112-39-0	98
	34.967	37.44	Etil oleato	000112-62-9	99
	36.195	36.97	Ácido linoléico, etil éster	002462-85-3	99
	36.987	7.23	(Z,Z,Z)-9,12,15-ácido octadecatrienóico, etil éster	000463-40-1	99
C2	31.601	17.14	Ácido hexadecanóico, etil éster	000112-39-0	98
	35.208	36.34	Etil oleato	000112-62-9	99
	36.063	39.67	Ácido linoléico, etil éster	002462-85-3	99
	36.891	6.64	(Z,Z,Z)-9,12,15-ácido octadecatrienóico, etil éster	000463-40-1	99

(Continuación de tabla)

Prueba	RT	Área (%)	Compuesto	CAS #	Calidad
D1	31.592	17.63	Ácido hexadecanóico, etil éster	000112-39-0	98
	35.281	36.79	Etil oleato	000112-62-9	99
	36.095	38.52	Ácido linoléico, etil éster	002462-85-3	99
	36.923	6.85	(Z,Z,Z)-9,12,15-ácido octadecatrienóico, etil éster	000463-40-1	99
D2	31.606	17.49	Ácido hexadecanóico, etil éster	000112-39-0	98
	34.967	37.59	Etil oleato	000112-62-9	99
	36.2	35.43	Ácido linoléico, etil éster	002462-85-3	99
	36.991	7.26	(Z,Z,Z)-9,12,15-ácido octadecatrienóico, etil éster	000463-40-1	99
E1	31.647	17.92	Ácido hexadecanóico, etil éster	000112-39-0	98
	35.058	38.42	Etil oleato	000112-62-9	99
	36.273	34.75	Ácido linoléico, etil éster	002462-85-3	99
	37.05	7.24	(Z,Z,Z)-9,12,15-ácido octadecatrienóico, etil éster	000463-40-1	99
E2	31.656	18.16	Ácido hexadecanóico, etil éster	000112-39-0	98
	35.113	38.66	Etil oleato	000112-62-9	99
	36.304	32.9	Ácido linoléico, etil éster	002462-85-3	99
	37.06	7.25	(Z,Z,Z)-9,12,15-ácido octadecatrienóico, etil éster	000463-40-1	99
G1	31.592	17.53	Ácido hexadecanóico, etil éster	000112-39-0	98
	34.944	36.91	Etil oleato	000112-62-9	99
	36.168	36.36	Ácido linoléico, etil éster	002462-85-3	99
	36.955	7.44	(Z,Z,Z)-9,12,15-ácido octadecatrienóico, etil éster	000463-40-1	99
G2	31.619	17.43	Ácido hexadecanóico, etil éster	000112-39-0	98
	34.872	36.31	Etil oleato	000112-62-9	99
	36.095	38.21	Ácido linoléico, etil éster	002462-85-3	99
	35.905	6.82	(Z,Z,Z)-9,12,15-ácido octadecatrienóico, etil éster	000463-40-1	99

(Continuación de la tabla)

Prueba	RT	Área (%)	Compuesto	CAS #	Calidad
H1	31.647	18.09	Ácido hexadecanóico, etil éster	000112-39-0	98
	35.131	39.06	Etil oleato	000112-62-9	99
	36.318	32.72	Ácido linoléico, etil éster	002462-85-3	99
	37.082	7.27	(Z,Z,Z)-9,12,15-ácido octadecatrienóico, etil éster	000463-40-1	99
H2	31.647	18.09	Ácido hexadecanóico, etil éster	000112-39-0	98
	35.131	39.06	Etil oleato	000112-62-9	99
	36.318	32.72	Ácido linoléico, etil éster	002462-85-3	99
	37.082	7.27	(Z,Z,Z)-9,12,15-ácido octadecatrienóico, etil éster	000463-40-1	99

Las propiedades de la materia prima utilizada se muestran a continuación:

Tabla 20. Propiedades de la materia prima utilizada

Propiedad	Promedio	Desviación	Materia prima
Densidad @26°C (g/mL)	0.9250	0.0007	Aceite de fritura usado
Viscosidad @40°C (cSt/s)	63.4432	0.3793	
Acidez (% Ácido oléico p/p)	6.473	0.830	
Densidad @26°C (g/mL)	0.7890	0.0012	Etanol

Tabla 21. Composición del aceite utilizado, como resultado del proceso de derivatización

RT	Área (%)	Compuesto	CAS #	Calidad
16.286	0.13	Ácido tridecanóico, metil éster	001731-88-0	64
27.494	0.26	Ácido tetradecanóico, 12-metil-, metil éster	005129-66-8	89
30.596	15.61	Ácido hexadecanóico, metil éster	000112-39-0	98
33.448	4.94	Ácido octadecanóico, metil éster	000112-61-8	98
34.025	28.53	Ácido 9-(Z)-octadecanóico, metil éster	000112-62-9	99
34.990	45.59	Ácido 9,12-octadecanóico, metil éster	002462-85-3	99
36.090	4.38	Ácido (Z,Z,Z)-9,12,15-octadecatrienóico, metil éster	000463-40-1	94

Tabla 22. Composición del aceite utilizado, como resultado del proceso de derivatización

Compuesto	CAS #	Calidad	Ácido graso original	No. Lípido
Ácido tridecanóico, metil éster	001731-88-0	64	Ácido tridecílico	13:0
Ácido tetradecanóico, 12-metil-, metil éster	005129-66-8	89	n/d	14:0
Ácido hexadecanóico, metil éster	000112-39-0	98	Ácido palmítico	16:1
Ácido octadecanóico, metil éster	000112-61-8	98	Ácido esteárico	18:0
Ácido 9-(Z)-octadecanóico, metil éster	000112-62-9	99	Ácido oleico	18:1
Ácido 9,12-octadecanóico, metil éster	002462-85-3	99	Ácido linoleico	18:2
Ácido (Z,Z,Z)-9,12,15-octadecatrienóico, metil éster	000463-40-1	94	Ácido alfa linolénico	18:3

## B. CARACTERIZACIÓN, RECUPERACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUA EN EL PROCESO DE LAVADO DE BIODIÉSEL.

Tabla 23. Media de los porcentajes de biodiésel recuperado a partir de la emulsión de agua-biodiésel durante el proceso del lavado de biodiésel para pruebas de laboratorio

Prueba	pH inicial	pH final	ml HCl (0.1M) utilizado	Biodiésel recuperado (g)	H <sub>2</sub> O recuperada (g)	%Biodiésel
1	10.063± 0.051	2.117± 0.102	26.1	9.43± 0.072	90.57± 0.072	9.43± 0.072
2	11.043± 0.060	2.103± 0.057	27.3	9.99± 0.123	90.01± 0.123	9.99± 0.012
3	10.957± 0.213	2.260± 0.036	27.4	9.44± 0.100	90.56± 0.100	9.49± 0.010

Tabla 24. Media de jabones en porcentaje presentes en agua acidificada proveniente del proceso del lavado del biodiésel para pruebas de laboratorio

Prueba	Masa H <sub>2</sub> O (g)	CaCl <sub>2</sub> agregado (g)	Masa sólido recuperado (g)	Jabones separados	Masa agua recuperada	%Jabones
1	90.570± 0.072	0.537± 0.021	0.927± 0.011	0.390± 0.032	90.180± 0.104	0.431± 0.036
2	90.010± 0.123	0.510± 0.010	0.924± 0.012	0.414± 0.009	89.596± 0.119	0.460± 0.010
3	90.563± 0.100	0.560± 0.020	0.927± 0.011	0.367± 0.022	90.196± 0.101	0.405± 0.024

Tabla 25. Costo promedio de análisis de laboratorio para la separación de biodiésel y jabones provenientes del agua del lavado de biodiésel

Costo separación biodiésel	Costo separación jabones	Costo HCl 37% 1l	Costo CaCl <sub>2</sub> 1kg
GTQ 0.01	GTQ 0.56	GTQ 256.56	GTQ 350.00

Tabla 26. Pruebas piloto para el tratamiento de agua del proceso del lavado de biodiésel

Prueba piloto	pH inicial	pH final	Masa H <sub>2</sub> O (kg)	ml H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Biodiésel Recuperado (kg)	H <sub>2</sub> O recuperado (kg)	CaO agregado (g)	%Biodiésel	%Jabones Separados
1	10.020	2.090	18.36	215	8.88	8.90	100	48.37	3.16
2	10.567	2.131	15.43	220	3.61	10.84	150	23.40	6.35
3	10.867	2.043	50	340	12.40	35.16	350	24.80	4.88
4	10.824	2.123	39.5	300			300	25.46	

Tabla 27. Costo de tratamiento de agua recuperando biodiésel de emulsión agua-biodiésel proveniente del proceso de fabricación de biodiésel

Prueba piloto	Volumen de biodiésel recuperado (l)	Costo de acidificación y separación de jabones	Costo de biodiésel recuperado	Costo real de tratamiento de agua
1	7.63	GTQ 75.81	GTQ 57.58	GTQ 18.23
2	3.10	GTQ 55.01	GTQ 23.41	GTQ 31.60
3	10.664	GTQ 85.01	GTQ 80.40	GTQ 4.61
4				

Tabla 28. Medición promedio para el análisis de sulfatos en agua proveniente del proceso de separación de emulsión por acidificación

Concepto	Sulfatos presentes (ppm)
Sulfatos iniciales	0
Sulfatos finales	80

Tabla 29. Pruebas de reducción de dureza de agua por precipitación de calcio con EDTA para el agua proveniente del proceso de precipitación de jabones

ml EDTA agregados (0.01M)	Dureza inicial (ppm)	Dureza final (ppm)
23.75± 4.79	1020± 54	23.75± 11.09

Tabla 30. Medición promedio de turbidez de agua antes y después de filtración por carbón activado y filtro de 5micrones para agua proveniente del proceso de precipitación de jabones

Concepto	Turbidez (NTU)
Turbidez inicial	32.21± 6.16
Turbidez Final	10.58± 2.54

Tabla 31. Dimensiones para tanque de separación de emulsión por acidificación para el agua proveniente del proceso de lavado de biodiésel

Concepto	Dimensión (m)
Radio	0.26
Altura	0.39
Altura deflector	0.35
Ancho deflector	0.04
Diámetro hélice	0.17
Alto aspa hélice	0.03
Ancho aspa hélice	0.04
Altura cono de descarga	0.12
Distancia hélice del fondo del tanque	0.17

Tabla 32. Dimensiones para tanque de separación de jabones por precipitación para el agua proveniente del proceso de lavado de biodiésel

Concepto	Dimensión (m)
Radio	0.23
Altura	0.47
Altura deflector	0.42
Ancho deflector	0.04
Diámetro hélice	0.16
Alto aspa hélice	0.03
Ancho aspa hélice	0.04
Altura cono de descarga	0.12
Distancia hélice del fondo del tanque	0.16
Distancia del fondo del tanque a tubería de descarga	0.08

Tabla 33. Dimensiones para tanque de almacenamiento para para el agua proveniente del proceso de tratamiento de agua

Concepto	Dimensión (m)
Radio	0.27
Altura	0.53

Figura 27. Plano para construcción de tanque agitado para acidificación de emulsión proveniente del lavado del biodiésel

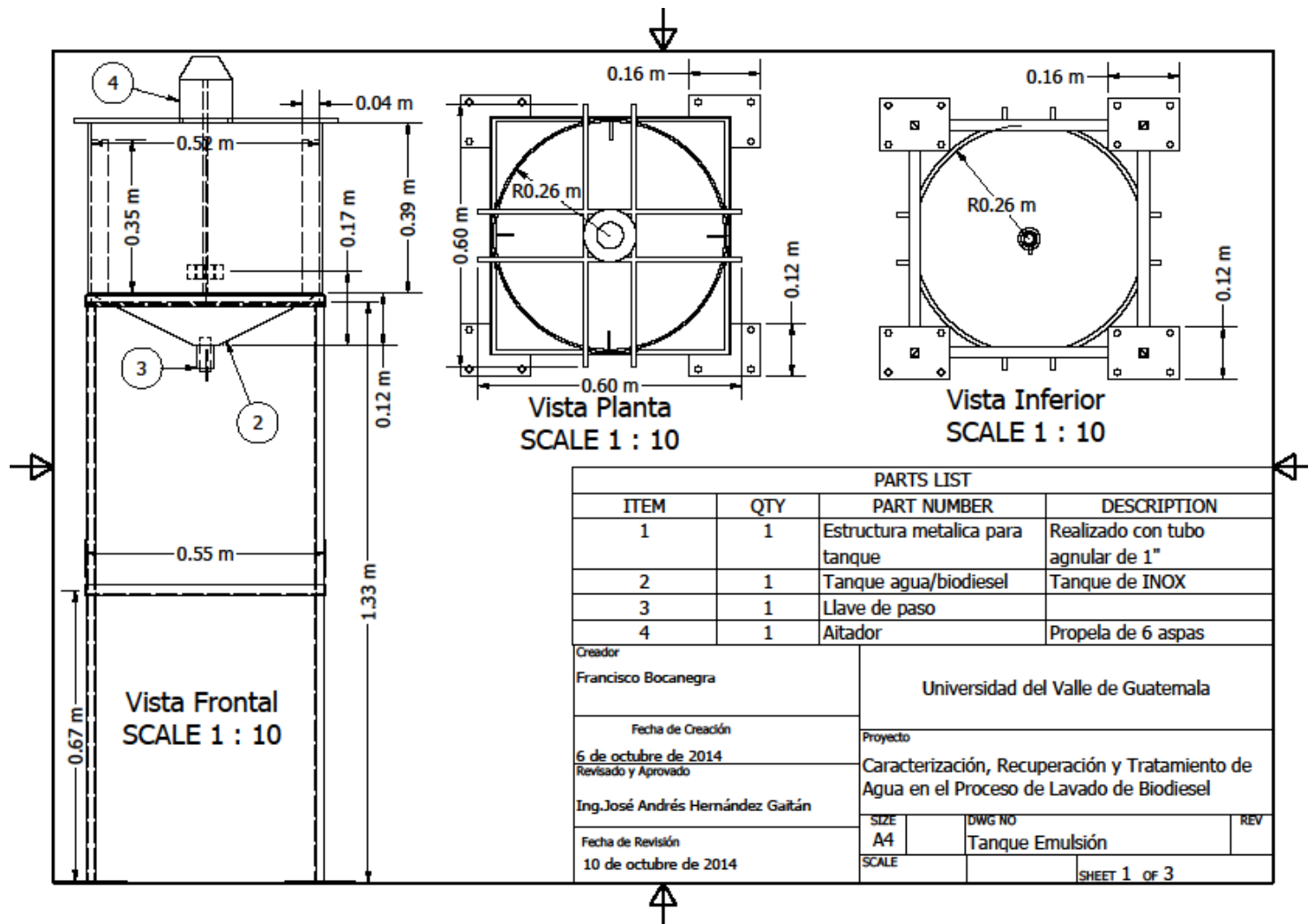


Figura 28. Plano para construcción de tanque agitado para proceso de precipitación de jabones para el agua proveniente del proceso del lavado de biodiésel

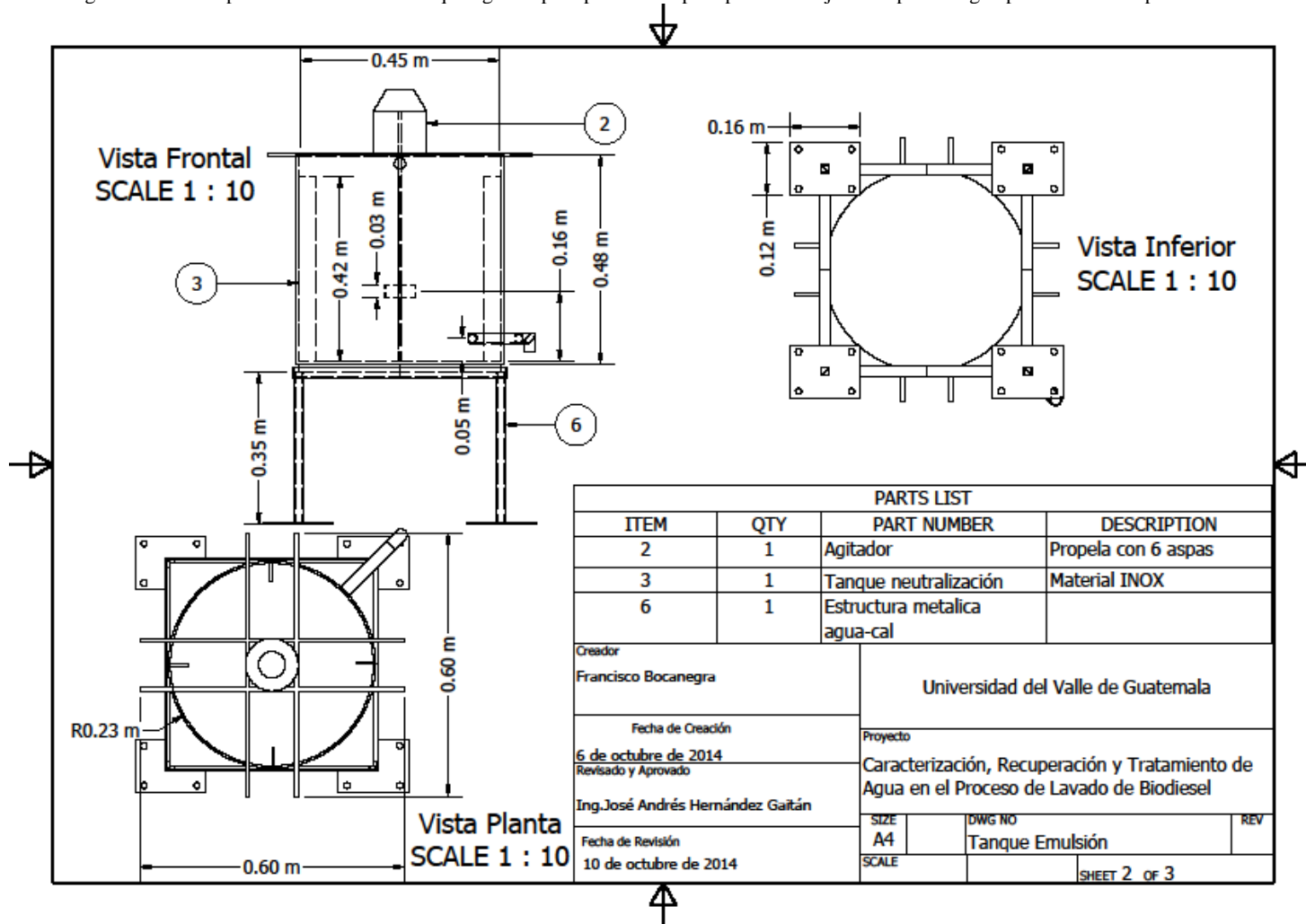
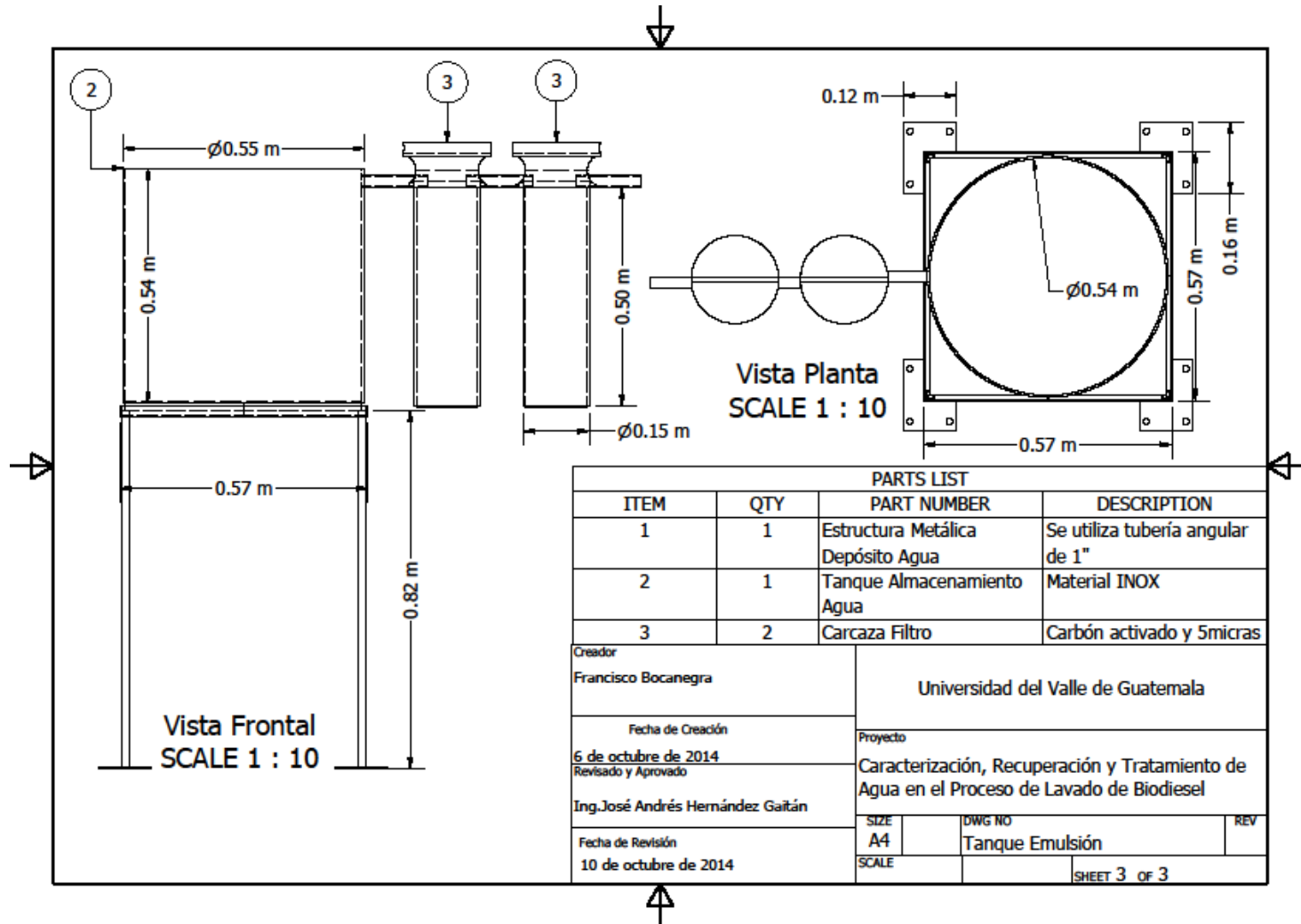


Figura 29. Plano para construcción de tanque para almacenamiento de agua proveniente del tratamiento de agua del proceso de lavado del biodiésel



## C. PRODUCCIÓN DE PROPILENGLICOL A PARTIR DE LA GLICERINA RESIDUAL

Tabla 34. Caracterización de glicerina tratada, para la muestra filtrada una vez

Compuesto	Porcentaje (%)
Etanol, 1,1-dietoxi	2.23
Propilenglicol	2.21
Ciclohexano	0.30
Glicerina	93.18
Ácido hexadecanoico, metil éster	0.27
Ácido 9,12-octadecadienoico, metil éster	0.72
Ácido 9-octadecenoico, metil éster	0.77
Ácido hexanedioico	0.32

Tabla 35. Caracterización de glicerina tratada, para la muestra filtrada dos veces

Compuesto	Porcentaje (%)
Etanol, 1,1-dietoxi	1.25
Glicerina	97.37
Ácido hexadecanoico, metil éster	0.22
Ácido 9,12-octadecadienoico, metil éster	0.51
Ácido 9-octadecenoico, metil éster	0.06
Ácido hexanedioico	0.09

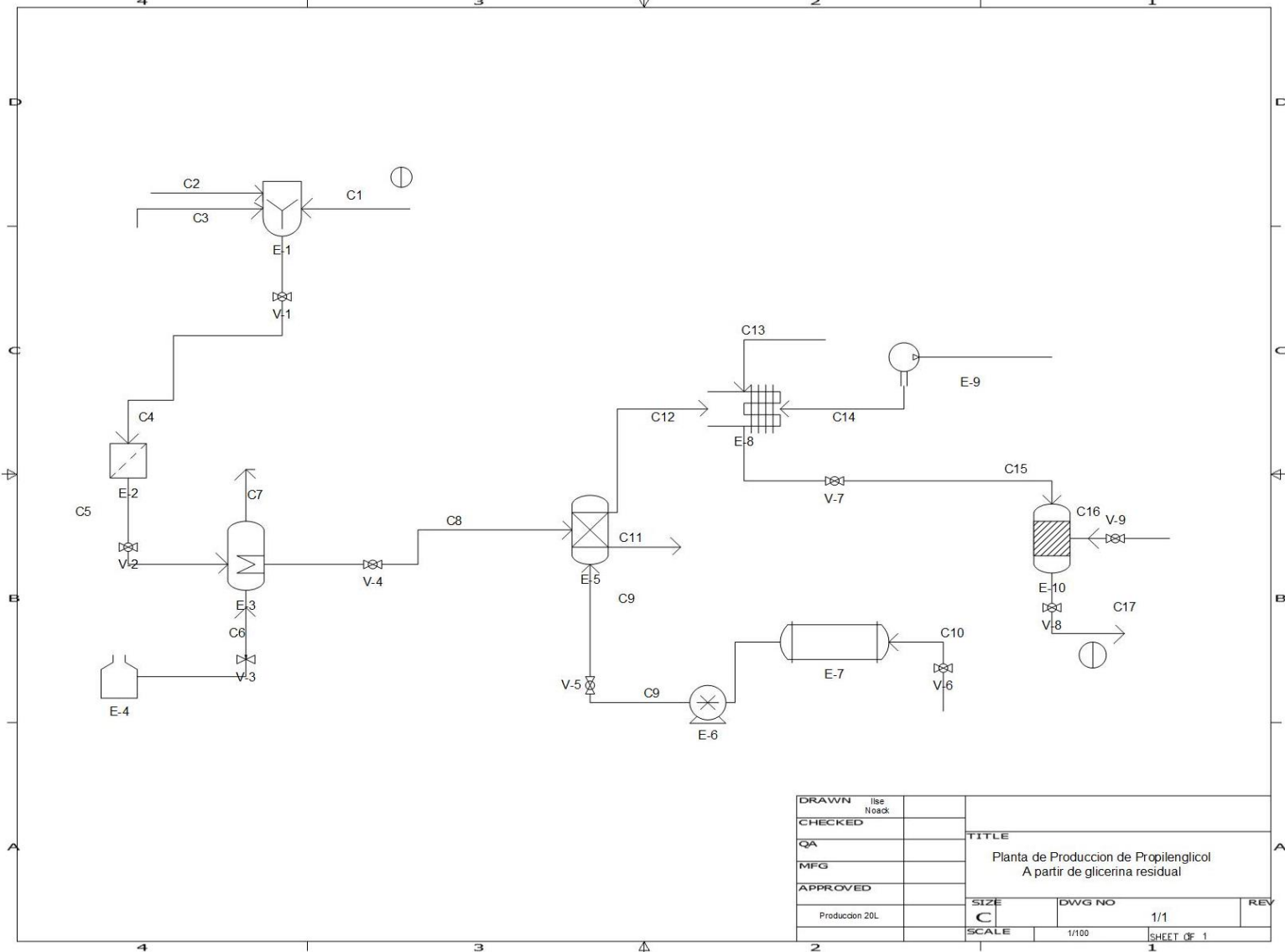
Tabla 36. Caracterización de glicerina tratada, para la muestra filtrada tres veces

Compuesto	Porcentaje (%)
Etanol, 1,1-dietoxi	0.82
Glicerina	98.67
Ácido pentadecanoico, metil éster	0.08
Ácido 9,12-octadecadienoico, metil éster	0.17
Ácido 9-octadecenoico, metil éster	0.18
Ácido hexanedioico	0.08

Tabla 37. Caracterización de glicerina tratada, para la segunda muestra filtrada tres veces

Compuesto	Porcentaje (%)
Etanol, 1,1-dietoxi	0.27
Glicerina	99.63
Ácido 9,12-octadecadienoico, metil éster	0.04
Ácido 9-octadecenoico, metil éster	0.03
Ácido hexanedioico	0.02

Figura 30. Diagrama de flujo para la propuesta de la producción de propilenglicol a partir de glicerina.



DRAWN	Jls			
	N0802			
CHECKED		TITLE		
QA		Planta de Produccion de Propilenglicol		
MFG		A partir de glicerina residual		
APPROVED		SIZE	DWG NO	REV
		C	1/1	
		SCALE	1/100	SHEET OF 1

Tabla 38. Especificaciones de equipo para la propuesta de la Figura 30

ID	Equipo	Tipo	Especificaciones	Condiciones de operación
E-1	Tanque	cilíndrico	Material: acero inoxidable	Agitación
E-2	Filtro	De aire	Poros 0.01um, Acero inoxidable, Explotion proof.	
E-3	Evaporador	Simple efecto	Capacidad: 15L, material: acero inoxidable.	T= 150°C
E-4	Caldera	pirotubular	Presión vapor 150 psi 1255000 btu/h 30 BHP 230 V	T= 250°C
E-5	Reactor	Tubos concéntricos	Acero inoxidable, tubos internos 1/4"	T= 240°C
E-6	Bomba	Peristáltica	Diámetro de tubería 1/4" capacidad 0-185 mL/min.	
E-7	Intercambiador de calor	Eléctrico	Capacidad 0-10 L/min potencia 3kW 110/220 V.	T= 220°C
E-8	Condensador	Tubos concéntricos	Material: acero inoxidable,	
E-9	Compresor	Centrífugo	Presión de salida 3kpa Potencia 0.25 hP.	
E-10	Reactor	Hidrogenación	Volumen: 10L, Acero inoxidable 1/4" 250 psig. T <sub>máx</sub> 250°C	T=230°C

Tabla 39. Especificaciones de válvulas para la propuesta de la figura 30

ID	Equipo	Tipo	Especificaciones
V-1	Válvula	Globo	Material: acero inoxidable diámetro 1/4" conexión a proceso roscado
V-2	Válvula	Globo	Material: acero inoxidable diámetro 1/4" conexión a proceso roscado
V-3	Válvula	Globo	Material: acero inoxidable diámetro 1/4" conexión a proceso roscado
V-4	Válvula	Aguja	Material: acero al carbón diámetro 1/4" conexión a proceso roscado
V-5	Válvula	Aguja	Material: acero al carbón diámetro 1/4" conexión a proceso roscado
V-6	Válvula	Globo	Material: acero inoxidable diámetro 1/4" conexión a proceso roscado
V-7	Válvula	Globo	Material: acero inoxidable diámetro 1/4" conexión a proceso roscado
V-8	Válvula	Globo	Material: acero inoxidable diámetro 1/4" conexión a proceso roscado
V-9	Válvula	Globo	Material: acero inoxidable diámetro 1/4" conexión a proceso roscado

Tabla 40. Especificaciones de corrientes para la propuesta de la figura 30

ID	Corriente	Condiciones de operación
C-1	Glicerina cruda	
C-2	Hidróxido de sodio	10 M
C-3	Ácido fosfórico	25 ml/150 g de glicerina
C-4	Glicerina neutralizada	T=35°C
C-5	Glicerina filtrada	T= 32°C
C-6	Vapor de agua	T= 200°C
C-7	Agua + metanol	Fase: Vapor T: 130°C
C-8	Glicerina tratada	
C-9	Aceite Térmico	T= 220°C
C-10	Aceite Térmico	T=25°C
C-11	Lodos	T= 60°C
C-12	Acetol + agua	Fase: Vapor / T= 220°C
C-13	Agua	T= 25°C
C-14	Aire comprimido	P= 3 kPa
C-15	Acetol	Fase: líquido
C-16	Hidrógeno	Fase: gaseosa / T= 198°C
C-17	Propilenglicol	Fase: líquido

## D. PRODUCCIÓN MICROBIANA DE ACEITE A PARTIR DE LA GLICERINA RESIDUAL.

Tabla 41. Biomasa total producida (g/L) y rendimiento en la producción de Biomasa respecto al sustrato glucosa 2% ( $Y_{x/s}$ ) y rendimiento en la producción de aceite aparente ( $Y_{p/x}$ ) para las muestras con diferentes proporciones de glicerina.

Muestra	Biomasa (g/L)	Rendimiento producción biomasa $Y_{x/s}$ (%)	Aceite Aparente (g/L)	Rendimiento producción aceite aparente ( $Y_{p/x}$ )
Control (0% Glicerina USP)	5.9056±0.0007	19.69±0.01 %	3.4642±0.0004	58.66±0.04%
1.25% glicerina USP	20.5292±0.0023	68.43±0.16 %	6.9922±0.0008	34.06±0.08%
2.50% glicerina USP	27.4624±0.0031	91.54±0.28 %	6.0967±0.0007	22.20±0.07%
5.00% glicerina USP	26.2408±0.0029	87.47±0.26 %	6.8856±0.0008	26.24±0.08

Tabla 12. Rendimiento en la producción de aceite aparente ( $Y_{p/x}$ ) para la fermentación con 1.25% de glicerina recuperada utilizada como sustrato en el medio de cultivo.

Muestra	Rendimiento producción Aceite aparente ( $Y_{p/x}$ )
1.25% glicerina Recuperada	9.40±0.02%

Tabla 43. Cantidad total de glicerina recuperada de glicerina cruda, proporción, pureza y pH.

Glicerina recuperada (g)	Proporción de glicerina	Pureza	pH
314.2±0.1	41.89±0.1%	99.63%	7.00±0.01

Tabla 44. Resultado de la cromatografía líquida de alto desempeño (HPLC) realizado a la glicerina recuperada de los productos residuales de la producción de biodiésel.

Pico No	Tiempo de retención (min)	Area%	Componente
1	3.662	0.27	Etanol
2	14.502	99.63	Glicerina
3	23.545	0.04	9,12-octadecenoic acid
4	23.590	0.03	7-octadecenoic acid 8-octadecenoic acid 9-octadecenoic acid
5	26.187	0.02	Hexanedioic acid Diisooctyl Adipate

Figura 31. Rendimiento en la producción de biomasa para los distintos medios variando la proporción de glicerina, en una fermentación de 168h utilizando *Lipomyces starkeyi*.

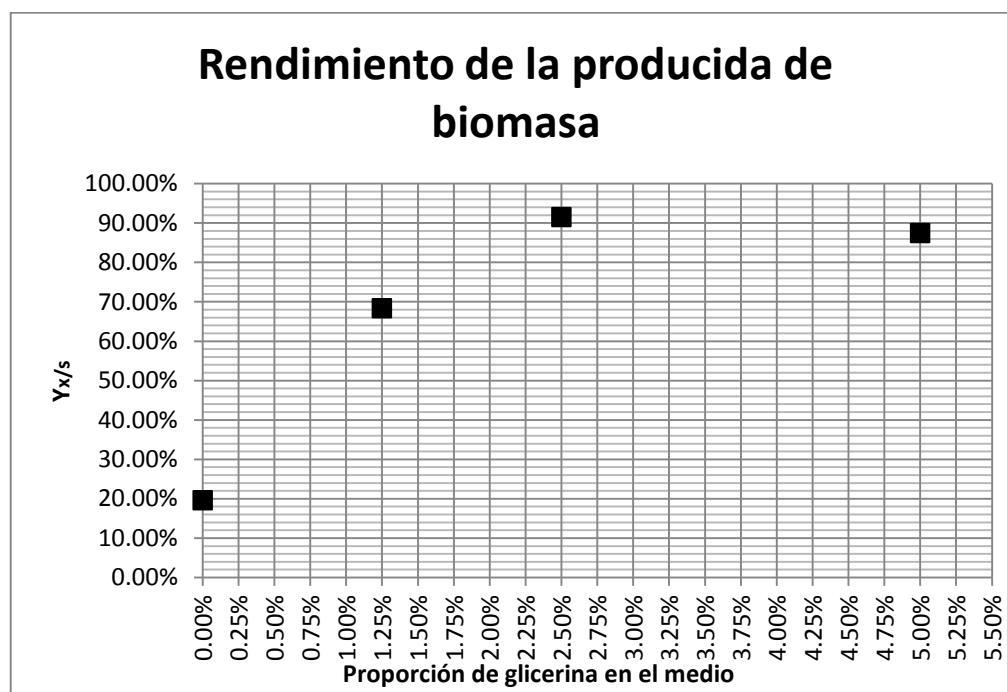


Figura 32. Rendimiento de la producción de aceite aparente para los distintos medios variando la proporción de glicerina, en una fermentación de 168h utilizando *Lipomyces starkeyi*

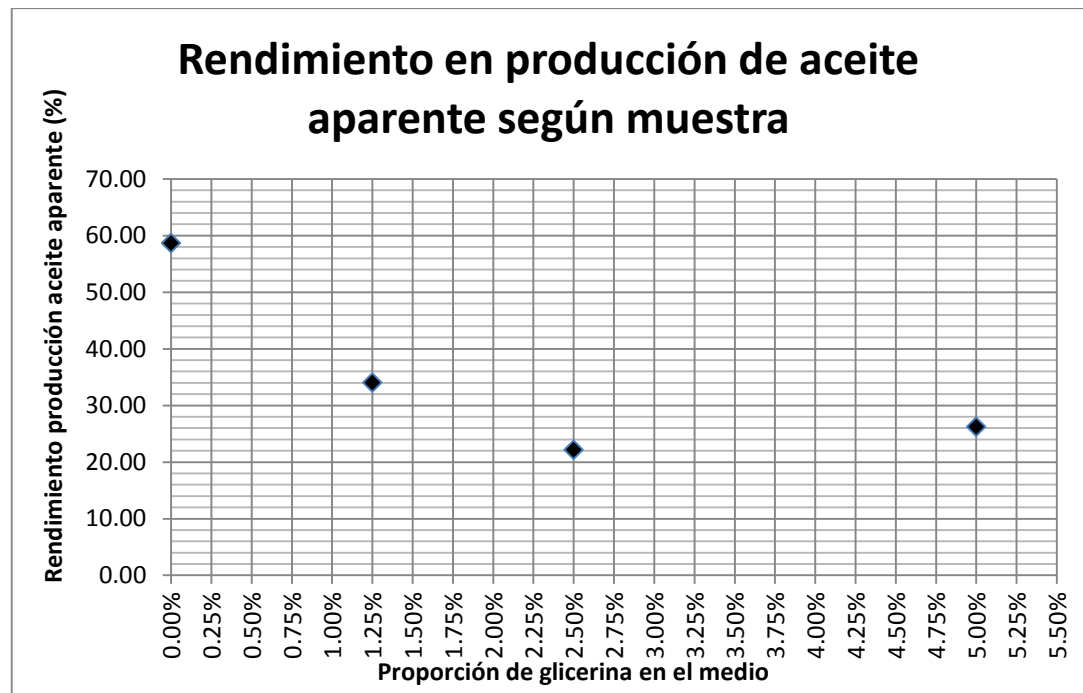


Figura 33. Diagrama de para la producción de aceite aparente de origen microbiano en escala de laboratorio.

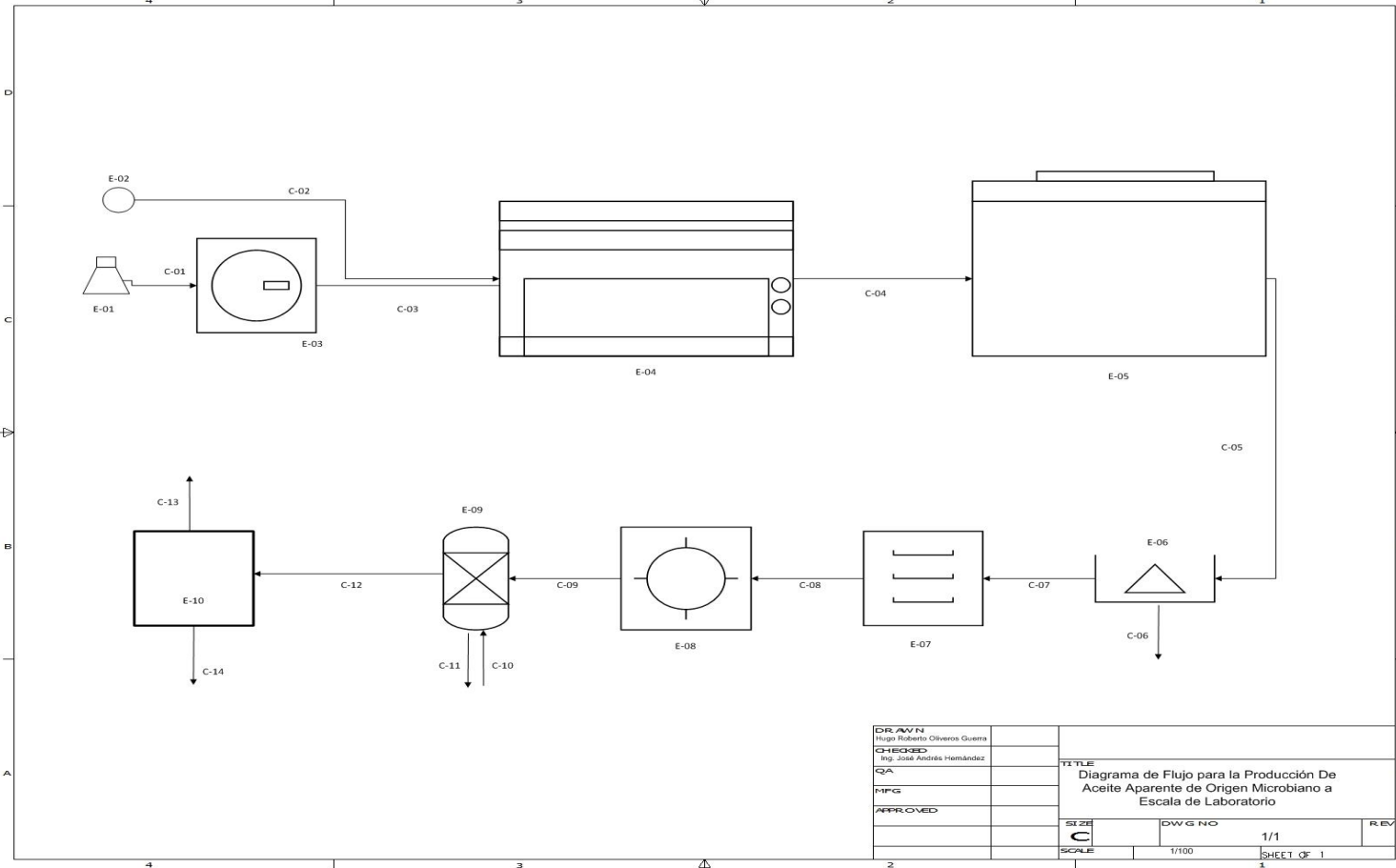


Tabla 45. Cajetín de equipo para el diagrama de flujo.

Código	Equipo de Proceso	Marca	Especificaciones
E-01	Erlenmeyer		0.125 L de medio de cultivo con 30g/L Sabouraud 2%
E-02	Cepa de levadura		Cepa de levadura <i>Lipomyces starkeyi</i> .
E-03	Campana extracción de gases horizontal	LABCONCO Purifier series	Para inoculación estéril del medio de cultivo con la cepa de levadura. En 0.1 horas. Potencia 746W
E-04	Autoclave	NAPCO Model 8000-DSE	Temperatura 120°C por 0.5 horas. Potencia 1750W
E-05	Incubador Agitado	New Brunswick Scientific series 25	Temperatura controlada a 30°C, 250 rpm por 168 horas. Potencia 1440W.
E-06	Centrifugadora	Eppendorf Centrifuge 5804 R	Temperatura controlada a 20°C, 5000rpm, por 0.1 horas. Potencia 1800W.
E-07	Secadora	Lab Line Imperial III Incubator	Temperatura controlada a 60°C, por 48 horas. Potencia 864 W.
E-08	Trituración		Macerado manual.
E-09	Soxhlet	INS	Temperatura controlada a 250°C, 8 reflujos. Potencia 600W.
E-10	Kit Destilación Simple	Pyrex	Temperatura a 100°C, por un tiempo de 0.3 horas. Potencia 600W.

Tabla 46. Cajetín de corrientes para el diagrama de flujo.

Código	Corriente	Descripción
C-01	Medio de Cultivo	5g/L de Sabouraud 2%. V = 0.125L
C-02	Levadura	Cepa de levadura <i>Lipomyces starkeyi</i> .
C-03	Medio de cultivo Estéril	Esterilizado en autoclave a 120°C por 0.5 horas.
C-04	Medio de cultivo inoculado	Inóculo levadura <i>Lipomyces starkeyi</i> .
C-05	Fermentado	Producto amarillento, con espuma y sólidos suspendidos. V=0.125mL
C-06	Sobrenadante	Producto de la centrifugación, se descarta.
C-07	Biomasa húmeda	Producto de la centrifugación.
C-08	Biomasa Seca	Se seca en un horno.
C-09	Biomasa triturada	Se macera manualmente.
C-10	Hexano	Solvente para extraer aceite aparente. V=200mL.
C-11	Biomasa residual.	Producto de la extracción de aceite aparente.
C-12	Solvente con aceite aparente	Producto de la extracción.
C-13	Solvente	Recuperado por destilación simple. V=200mL
C-14	Aceite aparente	Aceite aparente extraído de biomasa producto de fermentación.

## E. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL UTILIZANDO ULTRASONIDO Y SIN ULTRASONIDO CON TRATAMIENTO DE AGUA DE LAVADO.

Tabla 47. Evaluación económica de la producción de biodiésel

Datos	Producción de Biodiésel con ultrasonido	Producción de biodiésel sin ultrasonido
Inversión de tratamiento de agua	Q88.32	Q88.32
Costo de tratamiento de agua	Q1,669.76	Q1,669.76
Inversión	Q74,786.64	Q44,164.24
Costo de producción	Q7,420.66	Q7,195.93
Inversión total	Q74,874.96	Q44,252.56
Costo total	Q9,090.42	Q8,865.69
Costo de venta	Q20.18	Q19.68
Precio de biodiésel	Q28.25	Q27.55
Margen de contribución	29%	29%
VP del flujo de efectivo	Q335,714.96	Q356,186.64
Tiempo en que se recupera la inversión (años)	2.68	1.49
B/C	4.48	8.05
B/C incremental	-0.66851949	

## F. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PRODUCCIÓN DE PROPILENGLICOL Y ACEITE DE ORIGEN MICROBIANO A PARTIR DE LA GLICERINA OBTENIDA DE LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL.

Tabla 48. Evaluación económica de la producción de aceite de origen microbiano

Datos	Proceso de producción de aceite de origen microbiano
Costos según su variabilidad mensual	
- Costo variable	Q3,389.77
- Costo fijo	Q2,530.00
Costos según su forma de imputación mensual	
- Costo Directo	Q4,586.97
- Costo Indirecto	Q1,332.80
Costo de inversión	Q235,407.56
Costo de producción mensual (155.56 ml)	Q5,919.77
Precio del aceite	
- Precio según costo por ml	Q38.06
- Precio de venta por ml	Q41.86
Margen de contribución	Q3,122.16
Tiempo de retorno de inversión	34 años
TMAR	10.5%
Valor presente neto	-Q182,960.60
Razón B/C	-0.78
Selección de alternativa según razón B/C	Alternativa de incinerar la glicerina por medio del servicio de recolección de desechos

\*El proceso de producción de propilenglicol no pudo ser evaluado económicamente debido a que el proceso no se llevó a cabo experimentalmente

## VII. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El objetivo principal del estudio fue producir biodiésel a partir de aceite de fritura usado y etanol utilizando el método de ultrasonido para evaluar el rendimiento de la producción de etil ésteres. Para cumplir el objetivo general se realizó una serie de pruebas en las que se hizo reaccionar aceite de fritura usado de tipo canola con etanol anhidro en un Erlenmeyer que actuó como reactor. A estos experimentos se les mantuvo constante la cantidad de aceite (85.0000g) y la cantidad de etanol con hidróxido de sodio, llamado etóxido, (26.000g) y se estudió el efecto de tres variables (agitación, temperatura de la reacción y amplitud de onda de ultrasonido) para determinar el efecto de cada una sobre el rendimiento de biodiésel producido.

Los niveles que se establecieron para el estudio de cada variable fueron: para la agitación se estudió una agitación de 400rpm como nivel alto y 0 rpm (sin agitación) como nivel bajo; para la temperatura se tomó 60°C como nivel alto y temperatura ambiente (22-25°C) como nivel bajo; y por último, para la amplitud de ultrasonido se tomó 90% como nivel alto y 50% como nivel bajo. La razón de seleccionar estas condiciones se basa en que se está buscando una reacción de transesterificación más eficiente y eficaz, a través de la reducción de consumo energético (electricidad, aire comprimido y vapor) al mismo tiempo que se busca realizarlo en un menor tiempo, con un menor consumo de materia prima, de manera más limpia, etc. aprovechando al máximo los recursos que intervienen en el proceso de producción de biodiésel.

La razón de seleccionar estas condiciones se basa principalmente en que la agitación es una operación que requiere consumo de energía eléctrica, ya sea directamente en forma de un agitador mecánico o de forma indirecta a través de un agitador neumático que a su vez requiere de un compresor para generar el aire utilizado para movilizar el agitador y que a su vez consume energía eléctrica. Además, se deseaba comprobar si la agitación era un factor determinante en la producción de biodiésel por el método de ultrasonido. Por su parte, la temperatura es una fuente de energía de activación y para la reacción de transesterificación del ácido graso (aceite), la temperatura óptima es de 60°C, razón por la que se seleccionó como nivel superior para el experimento y la condición opuesta era una reacción a temperatura ambiente; esta selección de nivel inferior corresponde a que a temperatura ambiente no se necesita el uso de energía eléctrica (o vapor en caso de una planta industrial) como fuente de energía para la reacción y se deseaba determinar si la energía que provee la onda de ultrasonido generada es suficiente para que la reacción ocurra.

Por último, la amplitud de la onda de ultrasonido se seleccionó para analizar el efecto de la densidad energética que se provee al aplicar la onda al medio de reacción; los niveles se determinaron de manera arbitraria.

El tiempo de reacción se estableció en 30 minutos debido a que en estudios anteriores se ha determinado que este período de tiempo es suficiente para que la transesterificación alcance un grado de conversión adecuado para el análisis directo del biodiésel producido. En algunos estudios, como el realizado por Gude y Grant, se ha utilizado un período de operación de 150 segundos o 2.5 minutos con una conversión de 90%; sin embargo, no se tomó al tiempo de reacción como una variable a evaluar en el estudio debido a que la complejidad incrementaría demasiado y deberían de realizarse evaluaciones más profundas, además de que en el estudio se busca incrementar la eficiencia del proceso reduciendo el consumo energético y de recursos, en un tiempo fijo. Posterior a la reacción, se eliminó la fuente de calor para la reacción y se dejó que enfriara a temperatura ambiente sin aplicación de un proceso de enfriamiento. Simultáneamente al enfriamiento, se realizaba el proceso de separación de la glicerina y del biodiésel producidos.

El tiempo que se esperaba para la separación fue variable. Inicialmente se esperaba 3 horas a que separara y si no se formaban las fases, se esperaba una noche para darle más tiempo. El período más largo que se tomó para la separación fue de 7 días. Esta es una variable que se recomienda manejar de manera más estricta puesto que dependiendo del tiempo, si no se consigue una separación completa, la masa de biodiésel producida puede verse alterada por presencia de glicerina en la fase de biodiésel. Este fue el caso de varias muestras que en el proceso de lavado de la fase de biodiésel, se separó una capa de glicerina; esto se debió a que el proceso de separación no había sido completo. Esta dificultad de separación se debió principalmente a la presencia de una alta cantidad de jabones, productos de la reacción competitiva de saponificación, que forman una emulsión con la mezcla de reacción dificultando la separación de las fases, y a su vez redujeron el rendimiento de la reacción de transesterificación. Este factor es muy importante ya que el tiempo de separación es bastante más grande que el tiempo de reacción, por lo que el tiempo de espera podría afectar los costos de la producción de biodiésel por este método.

La separación de biodiésel se pudo haber visto dificultada por la presencia de una emulsión biodiésel-glicerina y hasta incluso biodiésel-glicerina-aceite. Otro factor que pudo alterar la fuerza de la emulsión es la presencia de jabones, producto de la reacción de saponificación de los aceites. Además de dificultar la separación de la capa de biodiésel-glicerina se tiene la reducción en la eficiencia del biodiésel porque parte del aceite que debía convertirse en biodiésel reaccionó por saponificación y produjo los jabones.

El lavado de biodiésel se realizó utilizando 5 alícuotas de 20 mL de agua para eliminar jabones y restos de catalizador. La cantidad de 20 mL se determinó con base en los volúmenes recomendados por la

metodología de extracción líquido-líquido propuesta por Pavia en su libro “Introducción a técnicas de laboratorio”. Pese a que se utilizó 100 mL de agua para lavar, el biodiésel todavía mostró presencia de jabones al momento de eliminar el agua restante del lavado por medio de calentamiento directo. La presencia de jabones se identificó en forma de una sustancia espesa y pegajosa que se formaba en el biodiésel cuando se estaba calentando a 100°C por 30 minutos. Estos jabones se separaban del biodiésel al filtrar el producto con una manta de filtración de tela. La identidad de los jabones se comprobó ya que se disolvieron en agua fácilmente y se confirmó con un espectro de la absorción en la región infrarroja (espectro IR) ya que se obtuvo un pico ancho con dos protuberancias en la región de 3000cm<sup>-1</sup> que corresponde a un grupo carboxilo (-COOH) y un pico delgado y largo en 1740cm<sup>-1</sup> que corresponde a un grupo ceto (C=O).

Los principales resultados muestran que la amplitud de onda de ultrasonido es una variable importante debido a que al utilizar el nivel más bajo (50%) en dos experimentos no se logró obtener una reacción adecuada y por tanto no se obtuvo biodiésel. Por lo tanto, se puede decir que el principal factor que afecta es la fuerza con la que la onda de ultrasonido llega a la interfase alcohol-aceite. En el caso de las dos pruebas que se utilizó el nivel de 50% y no se utilizó agitación los resultados (prueba B y F) fueron los mismos ya que no se llevó a cabo la reacción. Este fenómeno se debió a que la fuerza con la que el ultrasonido se propagaba a través del medio de reacción – que consistía en dos fases inmiscibles compuestas por etanol e hidróxido de sodio (fase menos densa) y el aceite (fase más densa) – no era suficiente para romper la interfase. Esto se podía observar con el movimiento de la capa de etanol ya que con la aplicación del ultrasonido se generaba una microcorriente del etanol que traspasaba sin romper la interfase y parte de la fase de aceite. De esta manera, la agitación que proporcionaba el ultrasonido no era suficiente para que se diera la reacción. Por otra parte, como resultado de estas pruebas se obtuvo una masa gelatinosa que consistía en aceite y parte del etanol. Esta masa gelatinosa se identificó como jabones puesto que al agregarle agua se disolvía formando una solución turbia que producía burbujas al ser agitado.

En general, para los resultados en función de la amplitud de ultrasonido utilizada, se logró observar que a mayor amplitud de onda de ultrasonido aplicada se obtiene un mayor rendimiento, lo que se puede observar en las figuras 22 y 23. Sin embargo, esta variación no es muy significativa puesto que para las pruebas en las que se utilizó agitación a una temperatura de 23°C (C y D) se obtuvo una masa de 59.6974±5.4482 g de biodiésel que corresponde a un 76.94±7.02% de rendimiento, frente a un 59.0251±2.7673 g de biodiésel que corresponde a un 76.07±3.57% de rendimiento, respectivamente. La diferencia entre estas masas es de 0.6 g y de 0.87% en función del rendimiento, cantidad que pudo haberse perdido al manipular la muestra a lo largo del proceso de separación y limpieza del biodiésel. Analizando las pruebas a 60°C sin agitación, se observa que hay un aumento de rendimiento considerable ya que para las pruebas que utilizaron el 90% de la amplitud

(prueba E) se obtuvo una producción de biodiésel de  $53.6466 \pm 0.3937$  g de biodiésel frente al resultado de la prueba F (0 g – gelatinizó). Estos resultados demuestran que la agitación natural promovida por el colapso de burbujas generadas por la aplicación de la onda de ultrasonido dentro del medio de reacción es suficiente para romper la interfase etanol-aceite y permitir que ocurran choques intermoleculares con la suficiente energía para pasar la energía de activación y que ocurra la reacción.

Por su parte, para las pruebas en las que se utilizó el nivel bajo de ultrasonido correspondiente al 50% de la amplitud de la onda combinado con la agitación mecánica a 400 rpm se obtuvo resultados positivos. Estos resultados consistieron en la producción de biodiésel ( $59.0251 \pm 2.7673$  g para la prueba D y  $53.1469 \pm 2.1966$ g para la prueba H) frente a un producto gelatinizado sin biodiésel de las pruebas B y F. Estos resultados muestran que la agitación es el siguiente factor más importante.

Para los resultados enfocados a la agitación, al variar la agitación de 0 rpm a 400 rpm, se obtuvo un incremento en la producción de biodiésel para todas las pruebas realizadas; como se muestra en la Figura 19. El impacto más significativo que tuvo la agitación fue permitir que la reacción se diera completa cuando se utilizaba una amplitud de ultrasonido de 50%. La razón de que se aumentara la producción de biodiésel consistió en la energía añadida y el contacto creado entre fases. Esta energía junto al mecanismo de ultrasonido aplicado logró vencer la energía de activación de la reacción de transesterificación y de esta manera lograr la producción de biodiésel. Esto es sumamente significativo, puesto que incluso junto al nivel bajo de ultrasonido (50% de amplitud de la onda) logró romper la barrera de la energía de activación. Además está la agitación mecánica que proporcionó la suficiente turbulencia para que se lograra romper la interfase etanol-aceite y lograra que todas las moléculas del alcohol y del aceite estuvieran en contacto entre sí y se pudiera realizar la reacción.

Por último, analizando los rendimientos obtenidos en función de la temperatura, se puede observar que a mayor temperatura se obtiene una menor producción de biodiésel, como se muestra en las figuras 20 y 21. Esto se debió a que la reacción de transesterificación es una reacción de sustitución nucleofílica bimolecular ya que involucra el choque entre una molécula de etóxido (etanol desprotonado utilizando el hidróxido de sodio) y una molécula de aceite específicamente en un grupo carbonilo. Para que se lleve a cabo la reacción se requiere que la molécula de etóxido ataque al carbonilo y forme un intermediario tetraédrico a partir del cual, por resonancia de electrones y por probabilidad, se elimina el grupo éster y se forme el etil éster o biodiésel deseado. Para las reacciones de sustitución nucleofílica bimolecular el factor temperatura afecta el mecanismo de la reacción ya que a mayor temperatura se facilita el mecanismo de reacción de sustitución nucleofílica unimolecular o incluso un mecanismo de eliminación, lo que produciría productos diferentes al etil éster o biodiésel deseado. Esto se ve reflejado en la disminución de 4 o 5 g de biodiésel para las pruebas

de mismas condiciones de agitación y ultrasonido a las que se varía la temperatura. Por ejemplo para la reacción D y H en las que se trabajó a 21 y 60°C respectivamente, se obtuvo una producción de  $59.0251 \pm 2.7673$  g frente a  $53.1469 \pm 2.1966$  g de biodiésel, respectivamente. De igual manera ocurrió para las pruebas C y G en las que se trabajó a 23 y 52°C respectivamente, se obtuvo una producción de  $59.6974 \pm 5.4482$  g frente a  $54.6254 \pm 1.9762$  g de biodiésel respectivamente. De esta manera se puede observar que el aumento a la temperatura disminuye la producción de biodiésel.

Por otra parte, es importante mencionar que el calentamiento no fue completamente homogéneo puesto que la fuente de calor era una plancha sobre la que estaba ubicado el Erlenmeyer que actuaba como reactor. Para las pruebas que se utilizaba agitación, este factor no era tan importante debido a que la agitación promovía la homogenización de la mezcla, sin embargo para las pruebas en las que no se contaba con agitación sí se convertía en un factor determinante ya que la transferencia de calor se daba más lentamente y se obtenía una mezcla de reacción no homogénea. Debido a estas observaciones, se recomienda realizar las pruebas utilizando un baño de agua autoregulado como fuente de calor.

Los análisis hechos por el cromatógrafo de gases mostraron que el aceite presentaba principalmente los ácidos hexadecanoico (palmítico), octadecanoico (esteárico), 9-(Z)-octadecanoico (oleico), 9,12-octadecanoico (linoleico) y el (Z,Z,Z)-9,12,15-octadecatrienoico (alfa linolénico). Por su parte en los cromatogramas obtenidos para las diferentes pruebas del biodiésel se obtuvo los respectivos etil ésteres para cada uno de los ácidos grasos mencionados en relativamente la misma proporción. Estos resultados se muestran en la Tabla 16 para el biodiésel y la Tabla No. 18 para el aceite. La importancia de las cromatografías reside en la capacidad de determinar la composición de las muestras tanto de aceite como del biodiésel para corroborar qué tipo de ácidos grasos componen el aceite y qué proporción se convirtieron en biodiésel (etil ésteres), así como poder determinar si hubo presencia de algún otro compuesto extraño – caso que no ocurrió con ninguna prueba. En la tabla se muestra el tiempo de retención (RT) que corresponde al tiempo que tarda en llegar el compuesto analizado desde que es inyectado y pasa por toda la columna (con un recubrimiento específico) hasta llegar al detector. El tiempo de retención es característico para cada compuesto en función del método cromatográfico empleado que incluye la rampa de temperatura a la que opera, el tipo de columna que emplea, la velocidad del gas acarreador, etc. En base al método cromatográfico empleado y al tiempo de retención obtenido para cada compuesto, se compara en la biblioteca digital del equipo (NIST) y se obtiene un calidad de la comparación que corresponde a la calidad presentada en la tabla. Por su parte, el área en porcentaje que se muestra en la tabla indica la proporción en que se encuentra el compuesto en la composición porcentual de la muestra (aceite o biodiésel). Es importante mencionar que la suma de las áreas presentadas en la tabla no suman el 100%, esto se debe a que se omitieron las áreas

correspondientes a heptano (solvente), y otros ácidos que se encontraban a bajas concentraciones (menores a 0.7%) como el ácido octanóico, ácido linoleico y ácido hexadecanóico.

En la actualidad la planta piloto para la fabricación de biodiésel ubicada en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala abastece de combustible al pick-up de investigación y a la caldera del laboratorio. La planta ha tenido mejoras en cuanto a capacidad, instrumentación y procedimientos de manufactura lo que ha llevado a que el proceso de fabricación del biodiésel sea más eficiente en cuanto a su conversión pudiendo así tener una mayor cantidad de biodiésel y menos subproductos en el proceso. Para eliminar todos los subproductos de la reacción de transesterificación con la que se produce biodiésel es necesario utilizar agua que lave el producto. Se han realizado diferentes experimentaciones para reducir la cantidad de agua utilizada, pero aún se necesitan alrededor de un 45% a un 50% de agua con relación de la masa de biodiésel que se espera obtener. Esta agua elimina el hidróxido de sodio y metanol sin reaccionar, jabones producidos, ácidos grasos que no reaccionan y restos de glicerol. Actualmente el agua de lavado no tiene un tratamiento adecuado antes de ser descartada a las fuentes pluviales. Debido a que en el proceso de lavado se forma una emulsión (agua-biodiésel), los contaminantes son mayores y se pierde parte del producto valioso. Para la experimentación se analizaron y cuantificaron los contaminantes que pueden afectar al agua del lavado del biodiésel. Con los resultados obtenidos se diseñó un proceso de tratamiento de agua que eliminara todos estos contaminantes y el agua pudiera ser reutilizada en nuevos procesos de fabricación de biodiésel o pudiera ser descartada a las fuentes pluviales sin que esta fuera un problema para las plantas de tratamiento final de la Municipalidad de Guatemala.

A continuación se detallan los análisis realizados al agua recuperada del lavado, también se detallan los procesos para eliminar los contaminantes del agua y el diseño de equipos para cada etapa del tratamiento.

#### A. Cuantificación de Biodiésel e Hidróxido de Sodio.

Para la cuantificación de biodiésel e hidróxido de sodio se tomaron tres muestras de 100ml del agua proveniente de los lotes de biodiésel, analizando un total de tres lotes. Para el hidróxido de sodio se utilizó un método volumétrico con ácido clorhídrico y fenolftaleína. Realizando la experimentación se observó que el agua emulsionada al llegar a un pH menor a 2.5 se separa en dos fases. La fase orgánica se sometió primero a una prueba 3:27 para identificación cualitativa de biodiésel, la prueba 3:27 es una prueba cualitativa donde se agregan 3 mililitros de biodiésel a 27 mililitros de metanol. Si no existe la formación de precipitado es que el producto analizado es biodiésel, ya que el biodiésel por contener un grupo funcional  $-OH$  libre es soluble en metanol, al observarse una disolución total de los 3ml de biodiésel en los 27ml de metanol, se prosiguió a realizar una prueba de cromatografía de gases para determinar la cantidad de esteres presentes. Los cromatogramas muestran que el material orgánico recuperado es biodiésel y puede ser utilizado pero debe

ser sometido a un proceso de calentamiento para eliminar cualquier traza de agua que pudo ser arrastrada en el proceso de decantación, no ocasionando problemas en motores, se pueden observar, en la sección de anexos figura 6,7 y 8. En los resultados de la tabla 1 se observa que alrededor de un 9.5% a 10% de biodiésel masa/masa puede ser recuperado de la emulsión si se somete a una acidificación.

#### B. Cuantificación de jabones.

Para la cuantificación de jabones producidos por la reacción de transesterificación se utilizó el agua de las pruebas de cuantificación de biodiésel, con el agua ya separada de la fase orgánica se agregó cloruro de calcio para forzar a que los jabones se precipitarán. Se utilizó cloruro de calcio ya que los jabones de sodio y potasio realizan un intercambio iónico con el calcio del cloruro, formando cloruro de sodio o potasio y un precipitado no soluble en agua de jabones de calcio. Para recuperar los jabones precipitados se hizo pasar el agua por un filtro Watman de 5micrones previamente pesado. Los jabones fueron secados y posteriormente pesados. Los jabones constituyen entre un 0.40% a un 0.46% de los contaminantes que contiene el agua.

#### C. Cuantificación de metales y metanol.

Para la cuantificación de metanol se realizó una destilación a escala laboratorio, para ello se utilizó el agua la que previamente se separó el biodiésel y jabones. Las pruebas se realizaron por una hora. Se observó que no se recuperó metanol, esto se debió a que durante los procesos previos el metanol al tener una presión de vapor relativamente baja se evapora a la atmosfera durante el paso del tiempo. Es por esto que no constituye un contaminante que se deseché a las fuentes pluviales. Para el análisis de metales se tenía previsto una cuantificación por absorción atómica, al realizar un balance de masa, que se encuentra en la sección de anexos Figura 74, se observa que no hay presencia de metales contaminantes por lo que las pruebas no fueron realizadas para no incurrir en gastos innecesarios.

#### D. Pruebas piloto para el tratamiento de agua.

Con los resultados obtenidos en las pruebas de laboratorio se pasó a realizar pruebas piloto para cuantificar la cantidad de biodiésel que se podía recuperar de la emulsión e iniciar con el proceso adecuado para el descarte del agua a las fuentes pluviales. El agua recuperada y tratada no fue re utilizada en el proceso de lavado de biodiésel ya que no se contaba con un lugar adecuado para su almacenamiento y el largo periodo de tiempo de fabricación entre lotes de biodiésel podía ocasionar la formación de algas u otros microorganismos. Para el proceso piloto se realizaron las siguientes modificaciones con respecto a las pruebas de laboratorio realizadas:

1. Cambió de ácido clorhídrico por ácido sulfúrico para la acidificación del agua, esto se realizó para evitar que los vapores del ácido clorhídrico entrarán en contacto con el operador y pudiera sufrir una intoxicación de las vías respiratorias. También se realizó el cambio debido a que el ácido sulfúrico se encuentra a una pureza del 97% y tiene un valor de Q250.00, a diferencia del ácido clorhídrico con una

concentración del 35% con un valor de Q200.00. Se decidió el uso del ácido sulfúrico para utilizar menor cantidad de reactivos y alcanzar el pH 2 deseado en la acidificación del agua.

2. Cambio de di cloruro de calcio por óxido calcio (cal viva). Esto se realizó para reducir los costos del tratamiento de agua y que elevaran el precio del biodiésel. El costo de un kilogramo de di cloruro de calcio es de Q350.00 y el costo de un kilogramo de cal es de Q1.75.

Con las pruebas piloto se pudo realizar el procedimiento adecuado para el tratamiento de agua. En las pruebas piloto 1 y 2 se observó que el biodiésel recuperado contenía una gran cantidad de aceite, esto como lo demostraron análisis de conversión de aceite a biodiésel, se debió a que la conversión no alcanzó un rango de entre 80% y 90%. Esto ocasionó que la emulsión agua-biodiésel fuera más difícil de romper y se requiriera del uso de mayor ácido sulfúrico para su acidificación.

Con las pruebas piloto 3 y 4 la conversión a biodiésel si llego a los niveles deseados por lo que la emulsión estaba formada únicamente por biodiésel. En las pruebas se observa que se puede recuperar entre un 20% a un 25% de biodiésel del agua. Al recuperar el biodiésel del agua los costos de operación de la planta piloto disminuyen significativamente y no eleva considerablemente el precio del biodiésel. Como se observa en la Tabla #24 y Tabla #25 se logró la recuperación de entre 10 y 12 litros de biodiésel lo que representó un ahorro de entre Q80.00 y Q85.00 al proceso de tratamiento de aguas.

Debido a la utilización de ácido sulfúrico para el proceso de acidificación se produjeron sulfatos de sodio, al ser estos un contaminante que debe ser controlado, se realizaron pruebas de cuantificación obteniendo como se observa en la Tabla #6 valores de 80ppm., Según el Reglamento Técnico Centroamericano los sulfatos no deben exceder un valor de 400ppm, por lo que el resultado se mantiene en un rango aceptable y no afecta las características de nuestra agua tratada.

Para la remoción de jabones se utilizó un método de precipitación, para ello se agregó oxido de calcio al agua previamente separada del biodiésel, se observó que al agregar el óxido de calcio se precipitaron los jabones y reguló el pH del agua, después de la acidificación se alcanzó un pH de 2.00, al agregar el óxido de calcio se llegó a un pH de 7.100. La cal formó un lodo en el fondo del tanque que fue utilizado nuevamente, este lodo sirvió como filtro para los jabones ya que estos se quedaron atrapados, la cal reacciona con los jabones de sodio y potasio por medio de un intercambio iónico donde el calcio es intercambiado por el ion sodio o potasio, teniendo como productos cloruro de sodio o cloruro de potasio y jabones no solubles en agua de calcio. Se recuperó un agua sin jabones y biodiésel. Como principal problema de la utilización de óxido de calcio para la precipitación de jabones y regulación de pH se tuvo el aumento en la dureza del agua, según el balance de masa al inicio se contaba con una dureza de alrededor de 10ppm y luego de la precipitación la dureza alcanzó las 1000ppm. Debido a que el agua no puede ser utilizada con esta dureza para el proceso de

lavado de biodiésel y no puede ser pasado por un suavizador de agua ya que este sufriría una saturación rápidamente, elevando los costos de operación de la planta. Para evitar estos problemas se trabajó en un método complejométrico que precipitara el calcio y fuera sencillo de separar por un método de filtración con cartuchos de 5micrones. Como se muestra en la tabla 7 se utilizó EDTA 0.01M para reducir la dureza, la dureza disminuyó de un promedio de 1020ppm a un promedio de 23ppm, con estos valores el agua puede ser pasado por un suavizador si fuera necesario reducir más la dureza. El agua fue pasada por un filtro de 5 micrones y un filtro de carbón activado lo que redujo el olor y la turbidez significativamente como se observa en la Tabla # 8. El EDTA queda atrapado en el cartucho de 5 micrones que luego puede ser descartado a los rellenos sanitarios sin causar problemas ambientales.

E. Diseño e implementación de planta de tratamiento de agua para el agua proveniente del lavado del biodiésel.

Con los resultados obtenidos de las pruebas piloto se diseñó un sistema de varios tanques y sistemas de filtrado para que el proceso pueda ser realizado con facilidad y que un operador no tenga contacto con reactivos, agua no tratada y contaminantes. El sistema se ideó para un lote de biodiésel de 120 litros. Se utilizaron las ecuaciones de diseño para tanques agitados propuestas por el autor McCabe W. en su libro Operaciones Unitarias en ingeniería Química séptima edición. Las ecuaciones pueden ser consultadas en la sección de Anexos división de ecuaciones. En la sección de anexos se observa un diagrama simulado en 3D de la configuración final de la planta.

El primer tanque para acidificación de agua emulsionada se diseñó para un volumen de agua de 80 litros, esto tomando como referencia el resultado mayor de 50 litros de agua recuperada del lavado más un 10% más por cualquier variación que el proceso de producción de biodiésel pudiera sufrir. Para favorecer la separación de las fases después de la acidificación al tanque se le agregó una sección cónica, esta sección permite que la separación de fases se dé con mayor facilidad. Al tanque se le agregó una hélice de seis aspas planas, esto debido a que se requiere una mezcla homogénea del ácido sulfúrico en toda la emulsión para que se dé una separación total del biodiésel. Se le agregaron deflectores de 4 cm de ancho para evitar la formación de vórtices que puedan ocasionar salpicaduras o una mezcla no homogénea del producto. Para el material del tanque se consultó el Manual del Ingeniero Químico \_\_6 edición. Debido a que se trabaja con ácido sulfúrico se recomienda la utilización de polietileno para evitar el desgaste del material por corrosión, pero debido a que en la separación de biodiésel no es recomendable la utilización de este tipo de polímeros ya que deshace el polímero. Es por ello que se utilizó como material de diseño acero inoxidable con un 17% de cromo, aunque el ácido sulfúrico corroe el material a un ritmo de 0.005cm por año, se utilizó ya que no es dañado

por el biodiésel y al no estar en contacto por más de 24 horas y tener una concentración menor a 0.01M el daño se espera que sea menor.

Para el tanque de precipitación de jabones fue diseñado para un volumen de 60 litros. El tanque cuenta con un fondo plano que permite la deposición de los lodos de la cal y jabones. Los lodos del óxido de calcio depositados en la parte inferior sirven también para la filtración de los jabones precipitados en futuros lotes. En el diseño del tanque se tomó la altura máxima que podría alcanzar los lodos del óxido de calcio, como se muestra en la figura 3 la altura de salida del agua está 5 cm por encima del fondo del tanque, esto permite que el agua limpia se desplaza con facilidad y no acarree residuos de jabón u óxido de calcio. El tanque fue diseñado de igual forma con un agitador de hélice de 6 aspas planas ya que es necesario que el óxido de calcio entre en contacto uniformemente con el agua antes de ser sedimentado en el fondo, esto permite que haya un mayor tiempo de contacto con los jabones del agua y los precipite con mayor facilidad. De igual forma se le agregaron 4 deflectores de 4cm de ancho para evitar la formación de vórtices. El agua saliente del tanque es bombeada hacia el tanque de almacenamiento por medio de una bomba centrífuga. Antes de ingresar al tanque de almacenamiento el agua pasa por dos filtros de cartucho, el primero de 5 micrones que atrapa residuos de óxido de calcio o jabón que el agua pudo acarear y el segundo de carbón activado para atrapar olores, sabores y colores que pudieron quedar en el proceso. El material elegido para el tanque es acero inoxidable, esto para evitar la oxidación del material por el contacto con el agua.

Por último el tanque que se utilizará para almacenamiento fue diseñado para un volumen de 120 litros, esto para tener una reserva de agua y evitar que si se necesita más agua para lavar el biodiésel no sea limitada. El tanque cuenta con una tapadera plana para evitar que ingresen insectos u otros materiales contaminantes. En este punto será agregado el EDTA para precipitar el calcio proveniente del proceso de la precipitación de jabones. Este tanque está conectado directamente con el reactor de biodiésel. Antes de ingresar al reactor de biodiésel el agua es bombeada por una bomba centrífuga por un filtro de cartucho de 5 micrones, esto permite que el calcio precipitado se quede y el agua tenga la dureza adecuada para el proceso. El material elegido para el tanque fue de acero inoxidable para evitar la corrosión por el extenso contacto con el agua.

El objetivo principal de la investigación para el proceso de producción del propilenglicol fue proponer un nuevo proceso a partir de la glicerina derivada del proceso de producción de biodiésel, mediante una reacción de hidrogenación utilizando un catalítico metálico, con el fin de aprovechar dicho subproducto. Así también realizar una caracterización de la glicerina residual del proceso de elaboración de biodiésel, con el fin de conocer la cantidad de glicerina presente en la mezcla de subproductos provenientes de la producción de biodiésel.

En la primera fase, se realizó una caracterización de la glicerina residual con el fin de conocer la cantidad de glicerina presente en los subproductos provenientes del proceso de producción de biodiésel. Para poder separar la glicerina de residuos de reactivos, jabones y contaminantes, se eligió un tratamiento que tuviera un porcentaje de separación efectivo. Dicho tratamiento consta primero de una acidificación de la glicerina, la cual es realizada con ácido fosfórico puro, utilizando 25 mL por cada 150 g de glicerina.

La acidificación tiene una duración de 24 horas, esto se hace debido a que la glicerina contiene restos de jabones y contaminantes y estos tienen un pH alto, por lo que al disminuir su pH habrá una separación de fases: glicerina y jabones que se formaron en la reacción del biodiésel. Luego de las 24 horas, se observó la separación de las fases, esto se pudo determinar gracias a la diferencia de densidades y el color característico de cada una de ellas, las cuales eran café claro y oscuro. Por las densidades de la glicerina ( $1.26 \text{ g/cm}^3$ ) y la del aceite ( $0.8 \text{ g/cm}^3$ ) se sabía que la fase de glicerina era la fase inferior, por lo que se extrajo para poder seguir con el tratamiento. Debido a que ahora la glicerina tiene un pH ácido, debe llevarse a un pH neutro, por lo que se utilizó hidróxido de sodio 10M para llevarlo a un pH de 7.

Al llegar a un pH de 7, la muestra estaba a temperatura de  $34^\circ\text{C}$ , esto se aprovechó para poder filtrar la muestra, ya que la glicerina a esta temperatura es menos viscosa, por lo que se pudo separar los jabones que aún estaban presentes en la muestra. Luego de la filtración se utilizó un embudo de decantación, con el fin separar cualquier fase de aceite o jabón que haya quedado en la glicerina. En la mayoría de las muestras, al pasar por el embudo de decantación, se formaba una capa de aceite, facilitando dicha separación.

Al finalizar con la decantación la glicerina se calienta a  $250^\circ\text{C}$ , con el fin de evaporar el agua que aún contiene la muestra así como restos de metanol. Es importante que el calentamiento se realice en tiempo adecuado (20 minutos), ya que se debe lograr la evaporación de la mayor cantidad de agua y metanol contenido en la glicerina, con el fin que la glicerina ya tratada no tenga residuos ni contaminantes que puedan influir en los procesos que se le den posteriormente. Al tener la glicerina ya tratada, se analizó 4 muestras de glicerina obtenida del proceso de producción de biodiésel. La primera muestra se filtró una sola vez, pero al seguir con el procedimiento, se encontraban restos de jabón, por lo que en las siguientes muestras se filtraron 2 y 3 veces respectivamente. Para poder caracterizar la glicerina tratada, se utilizó una cromatografía de gases.

Se utilizó como fase móvil etanol, ya que este es soluble con la glicerina y la columna del Cromatógrafo logra caracterizar de manera eficiente con dicho compuesto. Se hicieron 5 soluciones estándar de glicerina-etanol a concentraciones de 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 g/mL, las cuales fueron hechas con glicerina UHP. Esto se hace con el fin de hacer una curva de calibración y observar la tendencia de las muestras hacia los picos característicos de la glicerina.

Las muestras se tenían que diluir para poder ser analizadas en el Cromatógrafo, por lo que se hicieron a una concentración de 0.3g/mL. Primero se hizo la curva de calibración para determinar los picos característicos y determinar el tiempo de retención de las muestras. Para la primera muestra el tiempo de retención en minutos fue de 1.256, para la segunda 1.306, para la tercera 1.318 y la cuarta muestra 1.563. Los tiempos de retención nos aseguran la presencia de alta concentración de glicerina en la muestra. Luego se procedió a una segunda corrida en el Cromatógrafo para lograr la caracterización. En las 4 muestras analizadas se encontró un porcentaje en área de glicerina de 93.18%, 97.37%, 98.67% y 99.63% respectivamente.

En las tablas de resultados, de la Tabla 32 a la Tabla 35, se pueden observar los compuestos encontrados en la caracterización siendo en su mayoría ácidos grasos y alcoholes. Con esta caracterización se puede determinar que el método de tratamiento de glicerina es efectivo, y las trazas de ésteres y alcoholes se debe a que el metanol es un reactivo en exceso, por lo que parte de este no reacciona y se queda en la glicerina, debiendo pasar por calentamiento y agitación para lograr la evaporación. Los porcentajes de glicerina encontrada fueron en aumento, esto se debe a que al observar las trazas de aceite y jabones se filtraron más veces las muestras y se calentaron con una temperatura más alta (230°C) y en mayor tiempo (20 minutos). En conclusión, se obtuvieron los resultados esperados, ya que la concentración de glicerina en las muestras trabajadas son altas (96-99% el cual entra en el rango de aceptación para que se pueda utilizar la glicerina según estudios hechos por Montassier *et. al.*), por lo que el método de tratamiento para la limpieza y purificación de la glicerina, es efectivo, y esta glicerina puede ser utilizada como materia prima para otros procesos, tal y como es el caso de propilenglicol, a fin de aprovechar este subproducto, y hacer del proceso del biodiésel más eficiente y rentable, ya que se pueden tener otros productos a base de esta glicerina en vez de incinerarla.

En la segunda parte de la investigación, se diseñó una propuesta para un nuevo proceso para la producción de propilenglicol a partir de glicerina. En el laboratorio de operaciones unitarias se cuenta con un reactor de hidrogenación, sin embargo en estudios anteriores como el proyecto FODECYT 029-2009 se ha obtenido porcentajes de conversión a propilenglicol, menores al 3%, ya que el método utilizado se basaba en trabajar directamente con la glicerina tratada, sin que esta pasara por la etapa de deshidrogenación de glicerina para obtener acetol, por lo que al utilizar este método directo, se tenía poca conversión a acetol y formación de compuestos no deseados como etilenglicol. Con esta conversión no es rentable implementar dicho procedimiento, como una alternativa de aprovechamiento de la glicerina obtenida en la producción de biodiésel.

Para poder hacer una propuesta para un nuevo proceso de producción de propilenglicol a partir de glicerina obtenida del proceso de producción de biodiésel, se estudió el mecanismo de reacción, en el que se determinó que la conversión sucede en dos etapas. La primera etapa es la formación de acetol a partir de la deshidratación de la glicerina. Para llevar a cabo esta reacción, se utiliza cromita de cobre como catalizador, ya que potencialmente es un buen catalítico para esta reacción teniendo alta selectividad hacia el acetol, teniendo una actividad muy pobre para la hidratación frente al enlace C-C y una catálisis eficiente frente al enlace C-O para la deshidratación. Y la segunda etapa es la hidrogenación del acetol para obtener como producto, propilenglicol.

En la primera etapa, en ausencia de hidrógeno, el glicerol puede ser deshidratado a acetol a través de una técnica de destilación reactiva. Se elige esta técnica ya que va eliminando el agua obtenida de la reacción y removiendo el acetol para que la reacción favorezca a la conversión de este y no de glicerol, esto con el fin de tener una deshidratación más eficiente.

Para lograr esta destilación reactiva, se necesitan condiciones específicas en el reactor, siendo estas, un condensador de tubos concéntricos en la parte superior, ya que la reacción se da a 240°C, y el punto de ebullición del acetol es de 145.6°C, por lo que se trabajará con la fase vapor. Al condensador llega como productos acetol y agua por lo que los condensados del acetol se obtendrán utilizando agua como fluido refrigerante, y en serie al condensador se tendrá un compresor el cual creará un vacío de 3kPa para que en la fase de condensados se obtenga únicamente acetol. El reactor debe tener agitación constante, y tubos de enfriamiento para controlar la temperatura de reacción.

Es importante mantener las condiciones de reacción (240°C) en el equipo, y debido a que la reacción es muy exotérmica ( $H_{rxn} = -8542\text{kJ}$ ), tanto la velocidad de reacción como la temperatura van a aumentar significativamente, por lo que se debe tener un baño con aceite térmico a 220°C, para que los tubos de enfriamiento dentro del reactor, logren mantener las condiciones específicas para que se de la conversión de glicerol en acetol. Por lo que se tendrá un intercambiador de calor eléctrico, el cual trabajará con aceite térmico como fluido, el cual será bombeado al reactor a una temperatura de 220°C. Del reactor se tiene una salida de lodos, el cual estará compuesto por la cromita de cobre, glicerina que no reaccionó y el agua agregada durante la alimentación.

En la alimentación del reactor, junto a la glicerina ya tratada, debe ir un 5% de agua destilada, esto es debido a que el catalizador (cromita de cobre) puede polimerizar o degradarse dentro del reactor, por lo que el agua evita que se dé esta polimerización, y también se utiliza para disminuir la acumulación de residuos. Debe tenerse cuidado con la cantidad de agua a agregar, ya que esta debe ser menor a 5%, debido a que agua en gran cantidad disminuye la conversión a glicerol y se tiene glicerol arrastrado en el destilado.

El porcentaje de cromita de cobre es también importante, ya que éste tiene un efecto directo en los resultados de la síntesis. La actividad del catalítico se pierde antes que se complete la reacción. La cantidad de catalítico a utilizar debe ser del 2.5%, ya que al tener mayor cantidad de catalítico, el porcentaje de rendimiento y conversión disminuyen.

Del condensador se obtiene acetol en fase líquida el cual debe ser hidrogenado para poder obtener propilenglicol. Es en esta parte del proceso donde se utiliza el reactor de hidrogenación con el que ya se cuenta en el laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala, el cual no necesita de ninguna modificación, ya que al tener el acetol líquido, este mediante hidrógeno puro a 180°C y reacción de 1 hora logra hacer la conversión de acetol a propilenglicol.

Para conocer la cantidad de propilenglicol obtenida de la hidrogenación, se debe realizar una cromatografía de gases, la cual será herramienta necesaria para conocer el porcentaje de conversión y de rendimiento del proceso.

Al conocer las condiciones necesarias, el proceso propuesto para la producción de propilenglicol a partir de glicerina residual, consta de: un tanque con agitación en el que se va a llevar a cabo la acidificación y neutralización de la glicerina cruda utilizando ácido fosfórico (25mL/150g glicerina) e hidróxido de sodio 10M. Al tener la glicerina neutralizada, esta es llevada a un filtro para eliminar los jabones. Cuando se da dicha separación, la glicerina es llevada a un evaporador de simple efecto a temperatura de 150°C para eliminar cualquier traza de metanol y agua aún presentes en la muestra, así lograr su purificación. El vapor que será utilizado para el evaporador, vendrá de la caldera pirotubular a una temperatura de 200°C.

La glicerina tratada con el 5% de agua pasa al reactor de tubos concéntricos, en el que sucederá la deshidrogenación de la muestra para obtener acetol. Se utiliza un intercambiador de calor eléctrico el cual bombeará al reactor mediante una bomba peristáltica, aceite térmico a 220°C para mantener la temperatura de 240°C dentro del reactor mediante los tubos concéntricos, y no modificar la velocidad y temperatura de reacción.

El acetol obtenido de la reacción, en estado vapor, pasa a un condensador que utiliza agua como fluido de enfriamiento. Dicho vapor es una mezcla de acetol y agua, por lo que se utilizara un compresor para crear un vacío de 3 kPa así eliminar el agua para asegurar que en los condensados se tenga únicamente acetol.

Y por último, el acetol pasa al reactor de hidrogenación en el que sucederá la hidrogenación para la conversión a propilenglicol. Se utiliza hidrógeno a 180°C hasta llegar a una temperatura de 230°C. Dicha reacción se llevará a cabo por una hora. Es importante mencionar que se debe realizar una cromatografía de

gases para conocer el porcentaje de propilenglicol obtenido así determinar el porcentaje de conversión del proceso.

Para poder tener dicha implementación se recomienda hacer el dimensionamiento del reactor a utilizar, así como el evaporador e intercambiador de calor. Es importante también conocer los flujos de entrada y salida del reactor, esto se logra realizando un balance de masa en el reactor y el dimensionamiento adecuado a la cantidad de glicerina obtenida en la planta de producción de biodiésel del laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala. Al tener el dimensionamiento se puede realizar un estudio económico para obtener la rentabilidad del proceso para poder un aprovechamiento de los subproductos de la producción de biodiésel y que esta no sea incinerada.

El objetivo de producir aceite de origen microbiano es utilizar glicerina residual de la producción de biodiésel, por medio de un proceso de fermentación microbiana utilizando la cepa de levadura *Lipomyces starkeyi*, para realizar una evaluación del proceso y el rendimiento.

Se utilizó glicerina obtenida del proceso de producción de biodiésel, como sustrato para realizar un proceso de fermentación con la cepa *Lipomyces starkeyi*, para determinar la producción de biomasa y el rendimiento de aceite aparente en función de la proporción de glicerina en el medio de cultivo. Esto se realiza con el propósito de comparar el tratamiento actual para desecho de la glicerina, la cual es incinerada. Se seleccionó la cepa *Lipomyces starkeyi* en base a los resultados obtenidos en estudios anteriores en la cual presentó un rendimiento mayor en la producción de aceite aparente del 29.64% en un medio de cultivo con sabouraud al 2% y sin glicerina. Además se analizó el rendimiento en la producción de glicerina utilizando un 2% de glicerina sin tratar como sustrato para la fermentación (Maldonado *et al*).

El medio de cultivo está constituido por: Sabouraud 2%, peptona de carne, peptona de caseína y glicerina. Para lo cual se determinó realizar una serie de fermentaciones con glicerina USP en distintas proporciones, analizando los resultados de variar la proporción de glicerina en el medio dentro de un rango de 0% al 5%. Debido a la limitación en la disponibilidad de tiempo, la duración del proceso de fermentación, el tiempo que toma realizar la extracción de aceite aparente y estudios realizados anteriormente, se seleccionaron cuatro proporciones comprendidas por 0.00% (control), 1.25%, 2.50% y 5.00% de glicerina USP en el medio.

De las pruebas realizadas con glicerina USP, el proceso de fermentación con una proporción del 1.25% de glicerina USP obtuvo el rendimiento de producción de aceite aparente ( $Y_{p/x}$ ) más alto en comparación con las demás muestras, obteniendo un  $34.06 \pm 0.08\%$ . La muestra control por su parte, obtuvo un rendimiento del  $58.66 \pm 0.04\%$  al no utilizarse glicerina como sustrato. La fermentación se realizó por 168 horas a una

temperatura de 30°C y agitación continua a 250rpm dentro del incubador, tiempo suficiente en el que las levaduras consumen a cabalidad el sustrato en el medio.

Se pudo observar un aumento en la obtención de aceite aparente al incrementar la proporción de glicerina, donde se obtuvo un rendimiento de la producción de biomasa del  $19.69 \pm 0.01\%$  para la muestra control,  $68.43 \pm 0.16\%$  para la proporción del 1.25% de glicerina,  $91.54 \pm 0.28\%$  para la muestra con 2.5% y  $84.47 \pm 0.26\%$  en la muestra del 5.00%.

Los resultados del incremento de glicerina indican que en concentraciones pequeñas de glicerina se favorece la obtención de aceites aparentes, lo cual se ve reflejado en los rendimientos  $Y_{p/x}$  en la producción de aceite aparente obteniendo un  $34.06 \pm 0.08\%$  para la muestra con proporción del 1.25% de glicerina USP,  $22.20 \pm 0.07\%$  para una proporción del 2.50% y  $26.24 \pm 0.08\%$  para la muestra con 5.00%. En base a estos resultados se observa que la producción de aceite aparente intracelular es inhibido con el aumento de glicerina en el medio de cultivo.

Con base en los resultados discutidos anteriormente se decidió escalar a un litro la muestra con 1.25% de glicerina, la cual obtuvo el rendimiento más alto en la producción de aceite aparente. Para esta prueba experimental se utilizó glicerina recuperada del proceso de producción de biodiésel en vez de la glicerina USP como sustrato para el proceso de fermentación y observar las variaciones en la producción de biomasa y aceites aparentes.

El desarrollo de la metodología para recuperar glicerina del producto residual resultado de la producción de biodiésel, es de los resultados con mayor alcance significativo debido a que estudios anteriores utilizaban glicerina cruda que contiene trazas de aceites sin reaccionar, alcohol, catalizador (NaOH) y biodiésel. La glicerina cruda representa un 20% en masa de la producción de biodiésel.

El procedimiento para la recuperación de glicerina consistió en tomar 5 muestras con  $150.00 \pm 0.0001\text{g}$  de glicerina cruda. Cada muestra se llevó a un pH de 4.5 utilizando ácido octofosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) al 85% (v/v) para realizar la separación de glicerina, aceites y grasas. Este proceso es lento por lo que se dejó reposar por 24 horas permitiendo la separación completa de las fases. Una vez obtenida la separación de fases se decanta lentamente la fase más densa compuesta por glicerina, metanol y ácido octofosfórico.

La fase más densa es neutralizada con una solución de hidróxido de sodio (NaOH) 10.0M hasta alcanzar un pH de  $7.00 \pm 0.01$ . Como resultado de la neutralización se observa la generación de agua debido a la reacción de neutralización y la precipitación de sales inorgánicas producto de los catalizadores utilizados. Se deja reposar por media hora y se realiza la primera filtración en la que se separan los sólidos de la fase móvil.

Finalmente, para evaporar trazas de metanol, se calienta la fase recuperada a 200°C para fomentar la evaporación de tal componente. En este proceso la solución se vuelve turbia y se forman pequeñas partículas de jabones que después de 20 minutos de calentamiento con agitación fuerte, se filtra para separarse de la otra fase. Al realizar el filtrado se observa que los sólidos formados tienen una consistencia pastosa y al mezclarse con agua se observa la generación leve de espuma, por lo que los jabones se formaron debido a la presencia de trazas de ácidos grasos, hidróxido de sodio y agua, que al ser calentado se da lugar a una saponificación, permitiendo por medio del filtrado separar el jabón y obtener únicamente la glicerina. Para eliminar totalmente los contaminantes se realiza un segundo calentamiento y una tercera filtración, lo que permite obtener un líquido más claro, translúcido y viscoso. La glicerina recuperada se utilizó en el escalamiento a un litro, utilizándose en una proporción del 1.25% como sustrato en el medio.

Como resultado de la fermentación de un litro con 1.25% de glicerina recuperada realizada bajo las mismas condiciones de temperatura, tiempo de fermentación y agitación que las pruebas con glicerina USP, se obtuvo un rendimiento de  $9.40 \pm 0.02\%$ , lo que representa una disminución considerable comparado a las pruebas realizadas en un menor volumen. Tal disminución pudo haber sido causada por las trazas determinadas por la cromatografía líquida realizada a la glicerina cruda, en la que se determina que contiene un 0.27% de etanol, y otras trazas contaminantes detectadas, las cuales inhiben el crecimiento de biomasa de levadura. Se determinó de igual forma que la glicerina recuperada tiene una pureza del 99.63% cercana a la glicerina USP, por lo que para mejorar la producción de aceite aparente, es importante controlar el pH del medio a 6.5 durante la fermentación.

De acuerdo con la cantidad de glicerina residual obtenida de la producción de biodiésel, sería necesario realizar fermentaciones de altos volúmenes utilizando glicerina recuperada, siendo necesario el dimensionamiento de equipo con altas capacidades para tratar un volumen más grande debido a los resultados del rendimiento aumentaron al utilizar pequeñas proporciones de glicerina recuperada.

De acuerdo a la “Revista Brasileña de Biociencias”, en el artículo escrito por Jandora Severo, *et al.* “*Fatty acid methyl esters produced by oleaginous yeast Yarrowia lipolytica QU21: an alternative for vegetable oils*”, se discute la capacidad de otras cepas de obtener un porcentaje de hasta 70% respecto a su peso celular seco. Por lo tanto, no solo es importante aumentar la cantidad de biomasa, sino también diseñar una metodología experimental sustituyendo los nutrientes del medio y la extracción de aceite para que el porcentaje de aceite aparente intracelular incremente.

Las levaduras oleaginosas podrían aumentar su rendimiento de aceite aparente al restringir la fuente de nitrógeno y aumentar cantidad presente de carbohidratos, sustituyendo el caldo sabouroud por fécula de maíz o almidón. La exclusión casi total de peptona de caseína y peptona de carne, limitaría la disponibilidad

de nitrógeno, promoviendo el desarrollo bacteriano pero no favorece la producción de aceite intracelular. El incremento del rendimiento de producción de aceite aparente podría incrementar y mejorar la viabilidad económica para continuar con el desarrollo de posibles estudios.

Con base en lo anterior, puede realizarse un proceso de fermentación dividido en dos etapas: en la primera etapa aumentar la producción de biomasa y segundo, aumentar la concentración de aceite intracelular. El objetivo de la primera etapa es producir la máxima cantidad posible de biomasa. Y segundo, restringir la fuente de nitrógeno, pero no la de carbono, permitiendo que la levadura no muera, y al mismo tiempo en un esfuerzo de supervivencia por parte de los microorganismos generen aceite que utilizarían como una reserva de energía y ser esta la que posteriormente se recupere para la producción de biodiésel. Resulta importante determinar el tiempo exacto en el que la concentración de aceite intracelular es la más alta, para obtener la máxima eficiencia en la extracción de dichos aceites en la segunda etapa.

Se utilizó el término “aceite aparente” en esta investigación debido a que no se pudo recuperar una muestra significativa para realizar pruebas fisicoquímicas del producto y determinar su composición en cuanto a la cantidad y tipos de ácidos grasos se refiere. Por lo que no se puede concluir que toda la muestra obtenida sea únicamente lípidos.

Las fuentes de error se pueden atribuir a dos razones: la primera es la incertidumbre del equipo utilizado como balanzas, potenciómetro y hornos de secado; y segundo, el error humano durante la toma de mediciones realizadas durante la experimentación.

Después de realizar todos los procesos experimentales de las distintas alternativas de la producción de biodiésel se realizaron los respectivos análisis económicos. Al realizar los análisis de costos de producción e inversión entre el proceso de producción de biodiésel por medio de ultrasonido y de la producción actual, incluyendo el proceso de tratamiento de agua de lavado como un proceso independiente; es decir, comprando un equipo y obras físicas aparte del ya existente en la planta de biodiésel para el tratamiento de agua, como también, no compartiendo el personal. Se obtuvo un margen de contribución solamente del 9% proponiendo un precio de venta de Q28.37 y de Q27.82 para el proceso de producción con ultrasonido y sin ultrasonido respectivamente. Proponiendo dicho precio para no sobrepasar el precio del biodiésel (dado en julio del 2014) de Q28.50. con un margen de contribución solamente del 9% hace que el precio no sea tan elástico para poder variarlo en tiempos de bajas o alzas de precios del mercado, por lo tanto se realizó el análisis de las producciones con el tratamiento de agua como un proceso dependiente, es decir, compartiendo el equipo, obras físicas y personal. Al realizar dicho análisis se obtuvo un costo de venta de Q20.18 y de Q19.68 para el proceso de producción con ultrasonido y sin ultrasonido. Permittiéndonos colocar un margen de

contribución del 29% con un precio de venta sugerido de Q28.25 y de Q27.55 respectivamente. Esto provoca que el precio tenga mayor elasticidad para las bajas y altas de del precio del mercado.

Por lo tanto se tomó la decisión de trabajar con los procesos de producción junto con el tratamiento de agua de forma dependiente ya que nos permite un mayor margen de contribución. Con esto se realizaron los análisis financieros de retorno de inversión teniendo un resultado con la producción de biodiésel utilizando ultrasonido de 2.68 años y de 1.49 años para la producción sin ultrasonido. Esto nos indica que la producción sin ultrasonido tiene una recuperación de inversión más pronta. Además de dicho análisis se calculó un costo beneficio por cada producción siendo este de 4.48 para la producción con ultrasonido y de 8.05 para la producción sin ultrasonido. Sabiendo que para aprobar un índice costo beneficio debe ser mayor a 1, sin embargo, ambos procesos tienen índices favorables por lo que se realizó un análisis costo beneficio incremental para rechazar uno de los dos proyectos, recordando que es un análisis de reemplazo. Al realizar dicho cálculo se obtuvo un índice negativo (siendo el retador la producción con ultrasonido y el defensor la producción sin ultrasonido) el cual indica que se debe rechazar al retador y aceptar el defensor.

Con los resultados antes mostrados se realizó un análisis FODA de ambos procesos, los cuales mostraron que las fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades de ambos procesos son semejantes, variando únicamente en la ventaja que presenta el proceso sin ultrasonido, teniendo un precio más elástico y una inversión menor, lo que ayuda a tener una ventaja competitiva en el mercado de agro combustibles, provocando así que la inversión se recupere en un menor tiempo y obteniendo mayores beneficios que con la producción con ultrasonido. Se debe tener en cuenta que la producción con ultrasonido es un proyecto viable económicamente y que nos permite la utilización de etanol que es un químico menos tóxico que el metanol utilizado en la producción de biodiésel sin ultrasonido. Sin embargo, el metanol es un producto amigable con el ambiente que nos permite mayores ventajas competitivas.

Se debe tener en cuenta que los cambios en el precio del metanol, ácido sulfúrico y del aceite quemado nos pueden producir altas o bajas significativas en beneficio presente. Por lo que se debe tener controlados dichos precios y cantidades utilizadas. Negociar contratos con precios que nos beneficien para prever los cambios negativos que nos puede representar bajas utilidades.

Al realizar las distintas evaluaciones del proceso de producción del aceite de origen microbiano, primero se seleccionó el método más eficiente para ser evaluado a una escala de producción de 20 L mensuales. Esta selección sirvió para poder realizar el análisis financiero de la alternativa y saber su viabilidad económica.

Mediante la estimación de los costos por medio de la realización de los distintos balances se pudieron clasificar los costos y estimar el costo de la producción mensual del aceite de origen microbiano. Este dato nos indica los gastos necesarios para poder mantener en funcionamiento el proyecto mes con mes. Y poder establecer un precio de venta según la cantidad de aceite que se puede producir mensualmente. Así mismo se sugiere un precio de venta con el fin de obtener un 10% de ganancia para determinar un flujo de efectivo y no encarecer demasiado el producto que ya se obtiene. La producción del aceite se ve limitada por la baja eficiencia del equipo y el tiempo que tarda para cada proceso. El proceso de fermentación es el cuello de botella, ya que el producto tarda una semana en fermentar y este solo puede realizarse únicamente 4 veces por mes.

Al saber que la cantidad máxima que se obtiene por mes es de 155.56 ml de aceite se realizó un análisis de retorno de inversión con el fin de medir en cuanto tiempo se recuperaría la inversión produciendo a máxima capacidad. Este análisis se realizó estimando los flujos con requerimiento del de no rendimiento para depurar rápidamente el proyecto y saber si este merecía una mayor consideración. Desde este punto de vista el proyecto deja de ser viable económicamente debido al largo tiempo que transcurriría para el retorno de inversión debido a que rebasa el tiempo de vida útil máxima del equipo.

Así mismo se realizó la estimación del valor presente neto con el fin de justificar la viabilidad del proyecto. Para poder realizar la estimación se determinó una TMAR del 10.5% con el fin de evaluar la alternativa. Obteniendo una VPN negativa que nos indica que tal valor se encuentra por debajo de la tasa de descuento y que los ingresos son inferiores a la inversión por lo que tomaría bastante tiempo para poder recuperar tal inversión.

De los datos obtenidos de la estimación del valor presente neto se pudo realizar el análisis de costo-beneficio para justificar finalmente la viabilidad del proyecto. De este análisis se obtuvo una razón B/C negativa indicándonos que el proyecto no es viable económicamente ya que su valor se encuentra por debajo de 1 según lo que indica la teoría. El proyecto pudo haber tenido alguna consideración si la inversión inicial no hubiese sido tan elevada y la cantidad de aceite producida mensualmente no fuera tan poca, ya que produciendo a esta capacidad no se podría suplir en una mayor parte con la cantidad de aceite que se necesita para llevar a cabo la producción de biodiésel porque solo representa un 0.15% de aceite.

## VIII. CONCLUSIONES

- A. La agitación mecánica empleada fue el factor más importante debido a que para todas las parejas comparativas, la prueba que incluía agitación mecánica presentaba un incremento en la masa de biodiésel producido.
- B. Las pruebas realizadas que empleaban una amplitud de onda de ultrasonido de 50% y no empleaban agitación mecánica no fueron efectivas debido a que se produjo una gelatinización del aceite y no ocurrió reacción de transesterificación.
- C. El nivel bajo de amplitud de ultrasonido (50%) no presentaba la suficiente fuerza al propagarse por el medio de reacción lo que provocó que no se rompiera la interfase etanol-aceite y que no se lograra realizar la reacción.
- D. El nivel de amplitud de la onda de ultrasonido empleada fue una variable cuya aplicación aumentaba la masa y el rendimiento del biodiésel producido pero en menor proporción que la agitación, y al utilizar ambas juntas se obtuvieron los mejores resultados.
- E. En las pruebas pareadas comparadas se observa un incremento en la masa de biodiésel producida al aumentar la amplitud de la onda de ultrasonido en todas las pruebas. A tal punto en que la aplicación de ultrasonido a 90% y con ausencia de agitación mecánica se logró producir biodiésel.
- F. La temperatura fue un factor negativo para la producción de biodiésel puesto que en las pruebas pareadas al aumentar la temperatura se obtuvo una reducción en la masa de biodiésel producida.
- G. Al aumentar la temperatura de la reacción se redujo la masa de biodiésel producida debido al incremento en la competencia de mecanismos que podía seguir la reacción (sustitución nucleofílica bimolecular, sustitución nucleofílica unimolecular y eliminaciones).
- H. Se estableció que el proceso más adecuado para el tratamiento del agua proveniente del proceso del lavado de biodiésel es, una acidificación donde se elimina y recupera biodiésel de la emulsión formada por el lavado, precipitación de jabones por medio de la adición de óxido de calcio. La adición de óxido de calcio precipita en su totalidad los jabones presentes en el agua. Por último, se estableció la adición de EDTA y el uso de un método de filtración con cartuchos de 5 micrones y carbón activado para disminuir la dureza de 1000ppm a 23ppm y quitar cualquier olor, color o sabor que el agua pudo acarrear.

I. El agua proveniente del proceso de lavado de biodiésel tiene como contaminantes biodiésel (24%-25%) jabones (0.5%-1%) y un pH de 11.00. Luego del proceso de tratamiento de agua se eliminó por completo el biodiésel y los jabones. También se disminuyó el pH a 7.100.

J. Se estableció que el método más adecuado para la separación de la emulsión es la adición de ácido sulfúrico para disminuir su pH a 2. Por medio de la decantación se puede recuperar entre un 24%-25% de biodiésel limpio que reduce el costo de operación de la planta piloto a Q4.00-Q5.00.

K. Para el diseño del tanque de acidificación se utilizó acero inoxidable con un 17% de cromo, esto para evitar la corrosión y desgaste del material por el ácido sulfúrico. Se estableció que las dimensiones más apropiadas para el área de trabajo son de un radio de 0.26m y 0.39m de altura, al sistema se le agregó un cono de altura 0.12m para facilitar la decantación. Se le agregó un sistema de agitación con hélice plana de 6 aspas para que la mezcla de ácido sea uniforme en todo el líquido.

L. Para el diseño del tanque de precipitación de jabones se utilizó como material acero inoxidable. Se estableció que las dimensiones más apropiadas para el área de trabajo son de un radio de 0.23m y 0.47m de altura. Se le agregó un sistema de agitación con hélice plana de 6 aspas para que la mezcla de óxido de calcio sea uniforme en todo el líquido y los jabones sean precipitados por completo.

M. Se determinó que la composición de la mezcla de glicerina tratada obtenida del proceso de biodiésel para la primera muestra es: 93.18% glicerina, 2.23% etanol, 2.21% propilenglicol, 0.50% ciclohexano, 0.27% ácido hexadecanoico, 0.72% ácido 9,12-octadecadienoico, 0.77% ácido 9-octadecenoico y 0.32% ácido hexanedioico .

N. Se determinó que la composición de la mezcla de glicerina tratada obtenida del proceso de biodiésel para la segunda muestra es: 97.37% glicerina, 1.25% etanol, 0.22% ácido hexadecanoico, 0.51% ácido 9,12-octadecadienoico, 0.06% ácido 9-octadecenoico y 0.09% ácido hexanedioico.

O. Se determinó que la composición de la mezcla de glicerina tratada obtenida del proceso de biodiésel para la tercera muestra es: 98.67% glicerina, 0.08% ácido pentadecanoico, 0.17% ácido 9,12-octadecadienoico, 0.18% ácido 9-octadecenoico y 0.08% ácido hexanedioico .

P. Se determinó que la composición de la mezcla de glicerina tratada obtenida del proceso de biodiésel para la cuarta muestra es: 99.63% glicerina, 0.27% etanol, 0.04% ácido 9,12-octadecadienoico, 0.03% ácido 9-octadecenoico y 0.02% ácido hexanedioico.

Q. Las trazas de dichos compuestos fueron encontradas debido a que no se calentó el tiempo adecuado el cual era de 20 minutos para que metanol y restos de compuestos sin reaccionar se evaporaran por lo que es importante controlar las condiciones de calentamiento así como la decantación para obtener una separación efectiva.

R. La propuesta realizada para la conversión de glicerina a propilenglicol consiste en dos etapas, la deshidrogenación de glicerina que se realiza mediante destilación reactiva en un reactor con agitación y tubos de enfriamiento a una temperatura de 240°C y un condensador del que se obtiene acetol en fase líquida, el cual pasa al reactor de hidrogenación para poder ser hidrogenado a temperatura de 220°C durante una hora para obtener como producto propilenglicol.

S. El método desarrollado para la producción de aceite aparente mediante la fermentación la cepa *Lipomyces starkeyi* a una temperatura de 30°C y 250rpm, durante 168 horas, utilizando como sustrato glicerina recuperada. El resultado del escalamiento de la muestra con proporción del 1.25% de glicerina recuperada fue del 9.40+0.02%.

T. Para las muestras utilizando glicerina USP como sustrato en el proceso de fermentación el rendimiento en la producción de aceite aparente obtenido es del 34.060+0.002% para el medio con 1.25% de glicerina y un rendimiento del 58.66+0.016% para la muestra control sin glicerina.

U. Los costos de la producción de biodiésel por ultrasonido y de la producción actual varían ya que el etanol tiene un precio más elevado que el metanol. Por otro lado la inversión es mayor la de ultrasonido por la compra del mismo.

V. El precio de venta sugerido con un margen de contribución de 29% es de Q28.25 y de Q27.55 para el proceso de producción de biodiésel con ultrasonido y sin ultrasonido respectivamente; siendo un precio competitivo en el mercado.

W. Teniendo un margen de contribución de 29% igual para ambos procesos respecto al precio de venta propuesto, se obtuvo un índice de costo beneficio de 4.48 y de 8.05 para el proceso de producción de biodiésel con ultrasonido y sin ultrasonido respectivamente.

X. Al realizar el análisis financiero de retorno de inversión se obtuvo un retorno de inversión en aproximadamente 3 años para el proceso de producción de biodiésel con ultrasonido y de aproximadamente 2 años para el proceso de producción de biodiésel sin ultrasonido.

Y. El costo de tratamiento de agua de lavado se incluyó en todos los análisis, ya que es una responsabilidad social con la que se debe cumplir; además de que el costo es aproximadamente un 18% del costo total de producción siendo este de Q1,669.76 para el proceso de producción de biodiésel con ultrasonido y sin ultrasonido.

Z. Por medio del análisis FODA se llegó a la conclusión que el mercado reacciona de una forma positiva con el biodiésel producido con metanol ya que este es amigable con el ambiente a pesar de que el etanol es menos tóxico. La ventaja competitiva entre las producciones es el etanol utilizado con ultrasonido, sin embargo, la producción de biodiésel sin ultrasonido sigue siendo amigable con el ambiente además de que presenta un precio menor y más competitivo.

AA. El proceso elegido al ser más económicamente viable, presentando un índice costo beneficio mayor, amigable con el ambiente, mayores beneficios, un retorno de inversión más pronto y con precio más competitivo es el proceso de producción de biodiésel sin ultrasonido.

BB. Mediante el análisis de costo / beneficio las alternativas de producción de propilenglicol quedan descartadas al no poder ser analizadas por no llevarse a cabo la experimentación del proceso. La alternativa de producción de aceites de origen microbiano quedo descartada ya que el resultado nos indica que no es viable económicamente. Seleccionando como mejor alternativa el servicio de recolección de desechos.

CC. El costo de producción de aceite se obtuvo mediante la sumatoria de los balances de insumo y personal dando un total de Q.5, 919.77 por 155.56 ml producidos mensualmente.

DD. De la realización del análisis FODA se concluyó que al ser tratada la glicerina se le da una reutilización al sobrante de la producción de biodiésel pero el costo producción es muy elevado y se ve afectado por la baja eficiencia del equipo debido al tiempo que tarda para la fermentación por lo que es más viable en cuanto a costos la incineración del producto aunque su contribución con el medio ambiente no sea muy positiva. Así mismo se evaluó la alternativa y se determinó que el punto crítico es el precio según el costo de producción por la cantidad de ml de Q.38.06 por ml producidos.

EE. Mediante el análisis financiero, se determinó que el proyecto de producción de aceites no es viable económicamente. Este se justifica mediante el análisis del retorno de inversión, la estimación del valor presente neto y el análisis de costo/beneficio. El retorno de la inversión del proyecto sería de 34 años, por lo que rebasa el tiempo máximo de vida útil del equipo y se tendría que realizar una reinversión cuando no se ha recuperado la inversión inicial indicando que el proyecto no es viable. Mediante la estimación del valor presente neto se obtuvo un resultado de -Q182,960.60 confirmando que el proyecto no es viable económicamente.

## IX. RECOMENDACIONES

- A. Realizar pruebas de eliminación de agua de lavado para el biodiésel utilizando agentes secantes como sulfato de magnesio anhidro para evitar el uso de calor y que se produzca cualquier reacción indeseable para biodiésel.
- B. Realizar un análisis para el procedimiento de lavado del biodiésel con agua para determinar el volumen mínimo de agua para realizar el lavado de forma adecuada.
- C. Se recomienda realizar un estudio de la separación de biodiésel-glicerina para determinar el tiempo óptimo de separación y los factores que afectan el mismo, ya que es este tiempo puede tener un impacto mayor en la eficiencia de la producción de biodiésel y en el costo de producirlo.
- D. Se recomienda acidificar el medio de reacción después de cumplido el tiempo de reacción en estudio para detener la reacción de transesterificación y asegurar que el rendimiento obtenido corresponde exclusivamente al tiempo de reacción.
- E. Se recomienda evaluar el proceso de lavado utilizando agua atomizada para maximizar la eficiencia de lavado y reducir el consumo de agua.
- F. Se recomienda seguir con las pruebas de síntesis de biodiésel a diferentes condiciones de ultrasonido, agitación y temperatura de reacción para optimizar las condiciones mencionadas respecto a la producción de biodiésel, aumentando los valores evaluados para cada parámetro y determinar las condiciones óptimas para producir biodiésel.
- G. Es recomendable realizar un análisis en donde el factor ambiental y la salud de las personas sean factores que afecten la decisión sobre elegir invertir en un proyecto de producción de biodiésel con ultrasonido o invertir en la producción de biodiésel sin ultrasonido.
- H. Si se desea realizar una inversión que engloba la responsabilidad social (al no contaminar y perjudicar a la salud), se recomienda invertir en la producción de biodiésel con ultrasonido.
- I. Realizar la producción de biodiésel con ultrasonido a una escala mayor a la realizada, ya que esto puede llegar a reducir el costo marginal por galón (economía a escala).
- J. Se recomienda la implementación de la planta de producción de biodiésel ya que es un producto no tan perjudicial para el ambiente en comparación al diésel que es un combustible fósil que ayuda en gran parte a la contaminación ambiental.

- K. Se recomienda realizar una serie de experimentos para determinar la cinética de reacción experimental de la síntesis de biodiésel a partir de aceite usado por el método de ultrasonido.
- L. Se recomienda mantener constante el tiempo de separación de fases biodiésel-glicerina antes de separar por decantación para que este factor no influya en los resultados obtenidos.
- M. Se recomienda la implementación de sistemas de controles electrónicos para evitar la manipulación de operadores. Esto con el objetivo de disminuir los accidentes o derrames de ácido sulfúrico y cal. Se propone utilizar sistemas de conductividad en el tanque de acidificación para el proceso de separación de fases, esto permitirá una mayor recuperación de biodiésel. También se propone la utilización de la conductividad para la adicción de ácido sulfúrico y óxido de calcio.
- N. Realizar todos los procedimientos para el tratamiento de agua del biodiésel con equipo de protección adecuado, bata de nitrilo para la manipulación del ácido sulfúrico, guantes de nitrilo para la manipulación del ácido sulfúrico, óxido de calcio y el agua saliente del reactor. También utilizar lentes de seguridad para evitar que los reactivos entren en contacto con los ojos y mascarillas N-95 de 3M para evitar que los vapores del ácido sulfúrico y los vapores generados con el óxido de calcio lleguen a las vías respiratorias.
- O. Realizar el proceso de tratamiento de agua siguiendo el procedimiento establecido en el apéndice. Si se realiza de manera errónea puede producir subproductos no deseados que serán de mayor complejidad separarlos y tratarlos. En la experimentación se trabajó agregando óxido de calcio antes del proceso de acidificación lo que ocasionó formación de precipitados que no se pudieron tratar adecuadamente, el biodiésel recuperado no se pudo utilizar por la contaminación de estos precipitados.
- P. Ya que la producción de propilenglicol es una propuesta teórica, se recomienda hacer el diseño y dimensionamiento del reactor, para poder hacer un estudio económico de la rentabilidad de implementar este proceso para utilizar los subproductos del proceso de producción de biodiésel.
- Q. Determinar los flujos de operación en la entrada y salida del reactor, mediante un balance de masa para la producción de propilenglicol e implementar el tratamiento para recuperación de la cromita de cobre, para aprovecharlo como catalítico y para controlar su toxicidad.
- R. Realizar pruebas a nivel planta piloto con la propuesta de producción de propilenglicol con ayuda del reactor de hidrogenación del laboratorio de Operaciones Unitarias de la universidad del Valle de Guatemala para determinar si se tiene un porcentaje mayor de conversión de propilenglicol.
- S. Llevar la reacción de hidrogenación a condiciones requeridas, es decir, temperatura de 220°C, con el fin que la fase gaseosa se vea beneficiada así tener selectividad hacia el propilenglicol

- T. Se debe de considerar realizar un estudio económico para la propuesta de producción de propilenglicol utilizando el reactor de hidrogenación y la propuesta de modificación al procedimiento para conocer la rentabilidad del proceso y poder implementarlo como posible solución para aprovechar la glicerina residual del proceso de producción de biodiésel para futuras investigaciones.
- U. Realizar un proceso de fermentación ajustando el pH con ácido en bajas concentraciones para no afectar considerablemente las condiciones del medio.
- V. Sustituir el caldo de Sabouraud 2% como fuente de carbono principal por almidón de papa dulce, regulando la relación carbono nitrógeno (C:N), limitando la existencia de Nitrógeno en el medio. realizando una experimentación de laboratorio con distintas relaciones de carbono nitrógeno en medios de cultivo.
- W. Realizar un escalamiento del resultado significativo a un fermentador batch, realizando una curva de crecimiento microbiano que permita establecer el tiempo máximo de fermentación antes de agotar por completo el sustrato fuente de carbono.
- X. Aumentar las proporciones de glicerina en los medios de fermentación.
- Y. Tomar muestras y realizar una cromatografía de gases con detección de masas, para verificar la presencia de ácidos grasos y su proporción en el aceite aparente obtenido producto de la fermentación.
- Z. Realizar un estudio económico de prefactibilidad de la puesta en marcha de una planta piloto para la producción de aceite aparente de origen microbiano, con capacidad proporcional a la glicerina obtenida en la producción de biodiésel.
- AA. Se recomienda que continúen con las investigaciones para la elaboración de aceite de origen microbiano con nuevos métodos de producción debido a que el proceso de fermentación para la producción de aceite de origen microbiano tarda mucho tiempo y no genera suficiente ganancia.
- BB. Se recomienda adquirir un fermentador con mayor capacidad para la elaboración del aceite debido a que este proceso es un cuello de botella.

## X. BIBLIOGRAFÍA

- al., J. J. (2006). Preparation of biodiésel with the help of ultrasonic and hydronynamic cavitation. *Ultrasonics*, 411-414.
- Alcón, A. (1999). Desarrollo de Modelos Cinéticos para Bioprocesos: Aplicación a la producción de Xantano. Madrid, Complutense, España.
- Anonimo. (2000). *The Dow Chemical Company*. Recuperado el 27 de 09 de 2014, de [http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh\\_003b/0901b8038003bfb7.pdf?filepath=propyleneglycol/pdfs/noreg/117-01143.pdf&fromPage=GetDoc](http://msdssearch.dow.com/PublishedLiteratureDOWCOM/dh_003b/0901b8038003bfb7.pdf?filepath=propyleneglycol/pdfs/noreg/117-01143.pdf&fromPage=GetDoc)
- Anonimo. (2011). *Matriz FODA*. Recuperado el 23 de 09 de 2014, de <http://www.matrizfoda.com/>
- Anonimo. (2011). *Ministerio de Energia de Chile*. Recuperado el 30 de 09 de 2014, de [http://antiguo.minenergia.cl/minwww/export/sites/default/05\\_Public\\_Estudios/descargas/estudios/Informe\\_Final\\_Modelos\\_Biogas\\_Abril\\_2011.pdf](http://antiguo.minenergia.cl/minwww/export/sites/default/05_Public_Estudios/descargas/estudios/Informe_Final_Modelos_Biogas_Abril_2011.pdf)
- Anonimo. (2014). *Comision Nacional de Energía Eléctrica* . Recuperado el 30 de 09 de 2014, de <http://www.cnee.gob.gt/Calculadora/Index.php>
- Anónimo. (s.f.). *Bioenergía Agrícola*. Recuperado el 27 de 09 de 2014, de <http://www.bioenergia-agricola.es>
- Avellaneda, F. (2010). *Producción y caracterización de biodiésel de palma y de aceite reciclado mediante un proceso Batch y un proceso continuo con un reactor helicoidal*. Universitat Rovira I Virgili.
- Ávila, A. D. (12 de 04 de 2012). *Quimiart*. Recuperado el 29 de 09 de 2014, de [http://quimiart.files.wordpress.com/2012/04/1-3-propanodiol-de-origen-petroquc3admico-u-obtenido-vc3ada-catc3a1lisis-quc3admica-y-o-bioquc3admica-diferentes-productos-obtenidos-por-medio-catalc3adtico-o-un-bioproseso.pdf](http://quimiart.files.wordpress.com/2012/04/1-3-propanodiol-de-origen-petroqu3admico-u-obtenido-vc3ada-catc3a1lisis-quc3admica-y-o-bioquc3admica-diferentes-productos-obtenidos-por-medio-catalc3adtico-o-un-bioproseso.pdf)

- Babajide, O., & al., e. (2009). Low-cost feestock conversion to biodiésel via ultrasound technology. *Energies*, 1691-1703.
- Blank, L., & Anthony, T. (2006). *Ingeniería Económica*. Mexico: McGraw-Hill.
- Camey, W. (02 de 2012). *Biblioteca Url*. Recuperado el 2014 de 09 de 30, de <http://biblio3.url.edu.gt/Tesis/2012/06/03/Camey-Willian.pdf>
- Castro, P. (2007). *Opciones para la producción y uso del biodiésel en el Perú*. Peru: Soluciones Prácticas.
- Chaín, N. S. (2007 ). *Proyecto de inversión. Formulación y Evaluación*. México : Pearson Educación .
- Chand, P. e. (2010). Enhancing biodiésel production from soybean oil using ultrasonics. *Energy fuels*, 2010-2015.
- Chang, R. (2010). *Química*. México: McGraw Hill.
- Chen, D., Sharma, S., & Mudhoo, A. (2012). *Handbook on applications of ultrasound sonochemistry for sustainability*. USA: CRC Press.
- Díaz, M. C. (18 de 09 de 2009). *Dirección General de Planeación y Desarrollo en Salud*. Recuperado el 30 de 09 de 2014, de [http://www.dgplades.salud.gob.mx/descargas/dhg/PERIODO\\_RECU.pdf](http://www.dgplades.salud.gob.mx/descargas/dhg/PERIODO_RECU.pdf)
- Empagua. (2014). *MuniGuate*. Recuperado el 25 de 09 de 2014, de <http://www.muniguate.com/index.php/empagua/25-temas/1714-consumoservicioagua>
- Fernandes, F. e. (2012). Ultrasound assisted transesterification of corn oil with ethanol. *Latin American Applied Research*, 193-196.
- Fran, J.-P., & Michel, J.-M. (2005). *Fundamentals of cavitation*. USA: Kluwer Academic Publishers.
- Gude, V., & Grant, G. (2013). Biodiésel from waste cooking oils via direct sonication. *Applied Energy*, 135-144.
- Hanh, H. e. (2010). Biodiésel production from jatropha curcas oil under ultrasonic irradiation condition. *7th Biomass Asia Workshop*, 1-6.

- He B. Van Gerpen, J. (s.f.). Application of ultrasonication in transesterification process for biodiésel production. *Biofuels*, 479-488.
- Herrera, C. G. (2010). *Grasas y Aceites*, CSIC. . Recuperado el 30 de 09 de 2014, de <http://grasasyaceites.revistas.csic.es/>
- Hingsu, S., Gogate, P., & Rathod, V. (2010). Synthesis of biodiésel from waste cooking oil using sonochemical reactors. *Ultrason Sonochem*, 827-832.
- Kiefer, K. (1997). Derivatization of corn oil for analysis by GC. *Sigma Aldrich*.
- Knothe, Gerhard, G. Jon Van y J. Krahl. . (2005). *The Biodiésel Handbook*. Champaign, Illinois: Aocs Press.
- Maldonado, O. (03 de 2013). Evaluación de la Producción Microbiana de Aceites a Partir de la Glicerina o Glicerol Proveniente de la Producción de Biodiésel. Guatemala, Guatemala.
- Maldonado, O., Zambrano, G., & Rolzs, C. (2010). Producción de Biodiésel: Estrategias y Tecnología. *Revista 21 de la Universidad del Valle de Guatemala*, 11.
- Mason, T., & Lorimer, J. (2002). *Applied sonochemistry, uses of power ultrasound in chemistry and processing*. USA: Wiley-VCH.
- McMurry, J. (2012). *Organic chemistry*. Canadá: Cengage Learning.
- MEM. (2014). *Biocombustibles en Guatemala*. Guatemala.
- Paiva, E. (2011). Evaluation of biodiésel production from babassu oil and ethanol applying alkaline transesterification under ultrasonic technology. *World Renewable Energy Congress 2011*, 303-310.
- Piña, C. (2011). UNAD. Recuperado el 27 de 09 de 2014, de <http://datateca.unad.edu.co/contenidos/201504/contLinea/index.html>
- PPG Industries, I. (2008). *NaOH, Caustic Soda*. Canadá: PPG.
- R, G. (2008). Hallan bacteria que reduce caontaminación del biodiésel. . *UN Periodico, Bogota*.
- Rodrigues, S. (2009). Optimization of production of ethyl esters by ultrasound assisted reaction of soybean oil and ethanol. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 361-366.

- Sapag, N. (2007). *Proyecto de inversión. Formulación y Evaluación*. México: Pearson Educación.
- Vyas, A. (2011). Effects of molar ratio, alkali catalyst concentration and temperature on transesterification of jatropha oil with methanol under ultrasonic irradiation. *Advances in Chemical Engineering and Science*, 45-50.
- Wade, L. (2004). *Química orgánica*. Madrid: Person Educación, S.A.

## XI. ANEXO

Detalle de las metodologías para realizar los distintos análisis de la producción de biodiésel usando tecnologías alternativas y análisis económico.

### A. PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL USANDO ULTRASONIDO

#### 1. Materiales y equipo

##### Materiales

- 1) 1 beaker de vidrio con capacidad de 400 mL
- 2) 1 beaker de vidrio con capacidad de 50 mL
- 3) 1 embudo de decantación de vidrio con capacidad de 125 mL
- 4) 4 erlenmeyer de vidrio con capacidad de 125 mL
- 5) 1 probeta de vidrio con capacidad de 100 mL
- 6) 1 probeta de vidrio con capacidad de 50 mL
- 7) 1 termómetro de mercurio de 100°C
- 8) 1 agitador magnético de 3 cm de longitud

##### Equipo

- 1) 1 estufa con agitación Cimarec de Thermo Scientific
- 2) 1 balanza analítica Boeco con rango de 0-220g,  $\pm 0.0001$ g
- 3) 1 balanza de humedad Boeco BMO35
- 4) 1 picnómetro Blaubrandde 25 cm<sup>3</sup>
- 5) 1 estroboscopio Monarch Instrument con rango de 100-8000 $\pm$ 1FPM
- 6) 1 viscosímetro Cannon con rango de 20-100 mm<sup>2</sup>/s (cSt)
- 7) 1 viscosímetro Cannon con rango de 2-20 mm<sup>2</sup>/s (cSt)
- 8) 1 cromatógrafo de gases marca Agilent Technologies modelo 6850 Network GC system.
- 9) 1 columna marca HP Agilent 112-88A7E HP-88
- 10) 1 espectrofotómetro de masas marca Agilent Technologies modelo 5970 VL MSD con detector de triple eje.

## 2. Análisis de materia prima

a. Aceite. El aceite que se usa es aceite de fritura previamente utilizado por un hotel de la Ciudad de Guatemala. Las condiciones de fritura fueron a temperatura de ebullición del aceite durante 15 minutos; cada lote de aceite se utilizó 4 veces y los alimentos freídos fueron vegetales y pollo. El aceite fue transportado en canecas de 20 L hasta la Universidad del Valle de Guatemala, donde se filtra a través de manta de tela para eliminar partículas suspendidas. El aceite se calienta en baño de agua a 40°C para facilitar la filtración. Posteriormente el aceite se almacenado en botellas PET de 2 litros de capacidad.

b. Densidad. Para determinar la densidad se utiliza un picnómetro de gravedad específica marca Blaubrand con capacidad de 25.2098±0.0100 cm<sup>3</sup>. Primero se lava con agua y jabón para eliminar cualquier impureza. Se agrega 1 mL de acetona grado industrial y se seca con aire.

El picnómetro se pesa vacío en la balanza analítica. Luego se llena con el aceite hasta el borde superior, se introduce el termómetro y luego se ubica la tapadera sobre el brazo del picnómetro. El picnómetro se introduce a una refrigeradora con temperatura de 4°C durante 1 minuto, para luego pesar en la balanza analítica. A continuación se descarta el aceite y se lava el picnómetro como se mencionó anteriormente. Se repite el procedimiento llenando el picnómetro con agua. La densidad del aceite se calcula con la siguiente fórmula:

Ecuación 1: densidad de aceite usando picnómetro

$$\text{densidad}_{\text{aceite}} = \frac{\text{masa picnómetro con aceite} - \text{masa picnómetro vacío}}{\text{masa picnómetro con agua} - \text{masa picnómetro vacío}} * \text{densidad}_{\text{agua}}$$

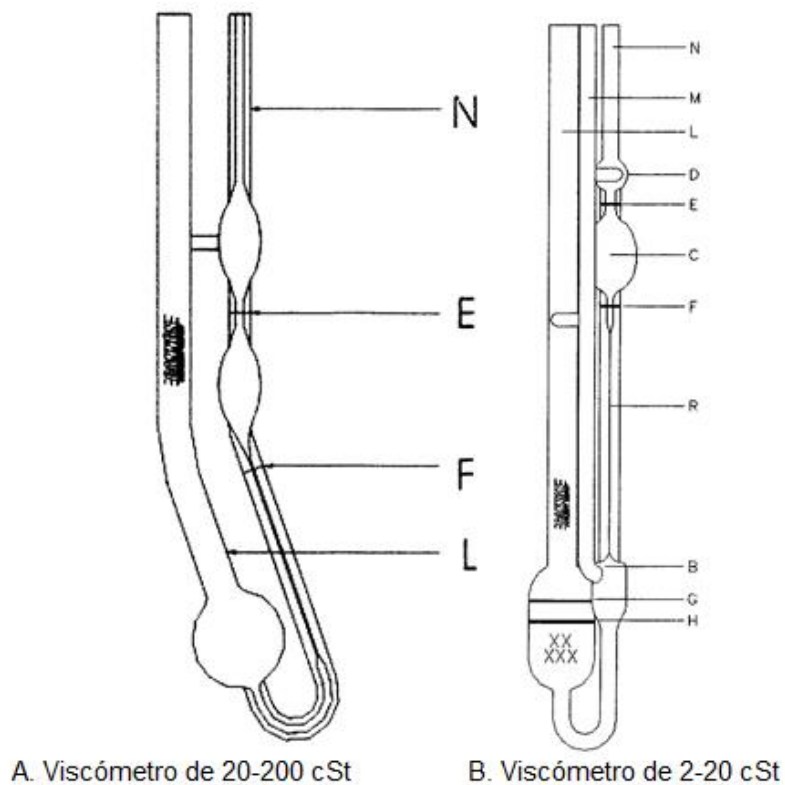
c. Viscosidad cinemática. Para determinar la viscosidad cinemática se utiliza un viscosímetro marca Cannon tamaño 200 y número de serie T144.

Primero se llena un beaker de 4 L con agua y se calienta a 40°C usando una estufa con agitación. Se llena el viscosímetro con aceite hasta el nivel inferior marcado como F en la figura 17 (lado izquierdo) y se sumerge en el agua hasta el nivel del receptáculo superior. Se deja 15 minutos para que equilibre la temperatura del sistema. Se succiona el aceite hasta llegar al nivel superior marcado como E en la figura 17 (lado izquierdo) y se deja fluir libremente por el viscosímetro. Se toma el tiempo (en segundos) que tarda en descender el fluido desde la marca E a la marca F de la figura 17. Se repite el procedimiento 5 veces. La viscosidad cinemática del aceite se calcula con la siguiente fórmula:

Ecuación 2: viscosidad cinemática usando viscosímetro

$$\text{Viscosidad cinemática [cSt]} = \text{Tiempo de flujo [seg]} * 0.09572 \left[ \frac{\text{cSt}}{\text{seg}} \right]$$

Figura 34. Esquema de viscosímetros utilizados



(Viscosímetro Cannon, 2012)

d. Índice de acidez. Para determinar el índice de acidez del aceite se utiliza una solución de éter dietílico y etanol anhidro en proporción 1:1 preparado al momento del análisis, una solución etanólica de hidróxido de potasio 0.2 M estandarizada y una solución de fenolftaleína en etanol (10g/L de solución). El equipo utilizado fue una balanza analítica, un Erlenmeyer de 250 mL y una bureta de 50 mL.

Para la preparación de la solución de éter dietílico y etanol anhidro se mezcla 25 mL de cada compuesto en un balón aforado de 50 mL. Se agita vigorosamente la mezcla hasta tener una mezcla homogénea.

Para la preparación de la solución etanólica de hidróxido de potasio 0.2 M se disuelven 8.8083 g de hidróxido de sodio y se afora a 50 mL con etanol anhidro. Se agita vigorosamente hasta que se disuelvan completamente las pellets.

Para la estandarización se pesan 0.0400 g de ftalato ácido de potasio (KHP) con pureza de 99.9% en un Erlenmeyer de 250 mL, se disuelve en 50 mL de agua destilada y se titula con la solución etanólica de

hidróxido de sodio recién preparada. La estandarización se realiza en triplicado. Para determinar la concentración real de la solución etanólica de hidróxido de sodio se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 3: valoración de solución de KOH con KHP.

$$\%Acidez = \frac{(mL \text{ de solución } KOH)(Molaridad \text{ de solución } KOH) \left( \frac{282g \text{ Ac. Oléico}}{1 \text{ mol Ac. Oléico}} \right)}{10 * (\text{Peso de la muestra de aceite, g})}$$

Para realizar la prueba se pesa 0.1900 g de aceite en un Erlenmeyer de 125 mL y se disuelve en 50 mL de mezcla éter-etanol (1:1). Se agregan 4 gotas de fenolftaleína y se valora, con agitación constante, utilizando la solución etanólica de hidróxido de potasio 0.2 M en una bureta de 10mL hasta el viraje del indicador (coloración rosa pálido que permanece por al menos 30 segundos). Se anota el volumen utilizado y se determina el porcentaje de acidez en peso de ácido oleico usando la siguiente ecuación:

Ecuación 4: porcentaje de acidez en aceite

$$\%Acidez = \frac{(mL \text{ de solución } KOH)(Molaridad \text{ de solución } KOH) \left( \frac{282g \text{ Ac. Oléico}}{1 \text{ mol Ac. Oléico}} \right)}{10 * (\text{Peso de la muestra de aceite, g})}$$

e. Derivatización para determinar tipos de ácidos grasos presentes. Para la derivatización del aceite se colocan 20 gotas del aceite en un balón de 25 mL y se agregan 5 mL de NaOH 0.5 M aforado con metanol. Se coloca en una estufa y se calienta a 70°C por 10 minutos hasta que saponifica totalmente. Se agregan 3 mL de trifluoruro de boro (BF<sub>3</sub>) en metanol al 20%, se agregan 5 mL de heptano y se afora con una solución saturada de cloruro de sodio (NaCl). La capa superior que contiene heptano y ácidos grasos se trasvasa a un vial de 4 mL con 0.5 g de sulfato de sodio anhidro.

El equipo utilizado para la derivatización del aceite es un Cromatógrafo de gases acoplado a un Espectrofotómetro de masas. La columna utilizada es una columna SPB-5 (30m x 0.53 mm di x 1 microm), usando nitrógeno a 43 psi como gas acarreador con una condición de Split de 94:1, a 2.4 mL/min, a 2 psi en la columna. El inyector utilizado está a 245°C con un detector FID de ionización de llama a 260°C (usando H<sub>2</sub> a 13 psi y aire a 36 psi). El horno se encuentra a 100°C con una rampa de temperatura de 10°C/min hasta 250°C y mantiene por 10 minutos. El sistema cromatográfico a utilizar es el HP 5890II/ChemStation. Se inyectan 0.4 µL.

f. Etanol. El etanol utilizado fue comprado a Distribuidora Mario Bathen, S.A. con pureza de 100° G.L. (absoluto) sin desnaturalizar.

g. Densidad. Para determinar la densidad del etanol, se realiza el mismo procedimiento utilizado para el aceite.

h. Hidróxido de sodio. El hidróxido de sodio utilizado era de marca Merck con 99% de pureza.

i. Humedad. La humedad del hidróxido de sodio se mide utilizando una balanza de humedad marca Boeco Germany modelo BM035. Para determinar la humedad se enciende la balanza de humedad, se tara un platillo de papel aluminio. Se agrega una pellet de hidróxido de sodio y se baja la tapadera. Se selecciona la modalidad de pérdida de peso 0-100% en la balanza. Se presiona el botón de enter y se deja el tiempo necesario hasta que la balanza marque en la pantalla “estable” y se anota el porcentaje de masa final; para calcular la humedad del pellet se utiliza la siguiente fórmula. El procedimiento se repite 5 veces para determinar el promedio.

Ecuación 5: porcentaje de humedad de NaOH

$$\text{Humedad}(\%) = 100 - \text{Valor medido}$$

### 3. Calibración de equipo

a. Agitación. La estufa a utilizar es de marca Cimarec™ Stirring Hot plate 10x10”.

Para calibrar la agitación se utiliza un estroboscopio marca Monarch Instrument modelo Nova-Strobe BB con rango de 100 a 8,000 flashes por minuto (FPM) con una incertidumbre de  $\pm 1$  FPM. El procedimiento utilizado consiste en conectar la estufa y ubicar un agitador magnético de 3 cm en su centro. Encender la agitación y llevarlo a nivel 10; con el estroboscopio se ilumina el agitador y se busca la velocidad de FPM a la cual el agitador magnético se observaba estático. Se anota el valor marcado en la pantalla del estroboscopio y esa es la velocidad de rotación. Se repite el procedimiento para los niveles de agitación de la estufa del 9 al 4.

El procedimiento se repite usando el agitador magnético de 3 cm sumergido en un beaker con 125 mL de agua y en un beaker con 125 mL de aceite. Posteriormente se tabulan los datos en Microsoft Excel® y se construye una curva de calibración con el nivel de agitación de la estufa en las abscisas (eje x) y con la velocidad de giro en FPM en las ordenadas (eje y). Se realiza una regresión lineal para los datos y se determina los parámetros de la recta (intersección, pendiente y coeficiente de correlación o  $R^2$ ).

#### 4. Preparación de solución de etóxido de sodio

**a.** Solución de etóxido de sodio utilizando 25 g de etanol/85 g de aceite. Para la preparación de la solución de etóxido de sodio que utiliza 25 g de etanol por cada 85 g de aceite se pesan 20.5305 g de hidróxido de sodio (previamente analizado) en un beaker de 400 mL, y 558.4723 g de etanol en beaker de 400 mL. Se agregan las pellet de hidróxido de sodio a un balón aforado de 1 L y luego se trasvasa el etanol pesado. Al balón aforado se le introduce un agitador magnético de 3 cm de largo y se agita con calentamiento a 46°C hasta disolución completa del hidróxido de sodio (aproximadamente 75 minutos).

Posteriormente se tapa con un tapón de hule adecuado que no permita fugas ni entrada de humedad ni vapores, se cubre la boquilla con papel parafilm y se cubre todo el balón con papel aluminio. La solución se almacena en refrigeración a 4°C.

## 5. Producción de biodiésel con ultrasonido

a. Ensamblaje de sistema de ultrasonido. Para ensamblar el sistema de ultrasonido se inserta el soporte vertical en la base, se enrosca hasta que se encuentra completamente adentro y se ajusta la tuerca hasta que ya no se puede mover. Después, se ubica la base del soporte en la mesa y se ajusta la altura del nivel hasta que está completamente recto y no se balancea. Sobre la base se ubica la estufa con agitación para las pruebas que requieren utilizar agitación o calentamiento. En la siguiente figura se muestra el sistema de ultrasonido ensamblado.

Figura 35. Sistema de ultrasonido ensamblado



(Hielscher, 2002)

Pesaje de aceite y solución de etóxido de sodio. La solución de etóxido refrigerada se saca del refrigerador y se espera a que llegue a temperatura ambiente ( $23\text{-}25^{\circ}\text{C}$ ) en aproximadamente 1 horas.

Se pesan 85.0000g de aceite en un Erlenmeyer de 125 mL (que se utiliza como reactor). Para las pruebas C, D, G Y H (ver tabla 10) se agrega un agitador magnético de 3 cm al Erlenmeyer que contiene el aceite y se ubica en el centro de la estufa con agitación. A continuación se pesan 26.1818g de solución de etóxido de sodio preparado con 25g de etanol/85 g de aceite en un beaker de 50 mL. La solución se agrega lentamente, asegurando que resbale por las paredes al Erlenmeyer que contiene el aceite previamente pesado.

c. Reacción de transesterificación utilizando ultrasonido. Se introduce la punta del generador de ultrasonido 5 mm por debajo de la superficie superior de la fase de etóxido (fase superior). Se ajusta las

condiciones del ultrasonido a las requeridas por el experimento (ver tabla 10). Por último se ajustan las condiciones de la estufa con agitación, de ser requeridas.

Para comenzar la reacción de transesterificación, se presiona el botón de on/off del generador de ultrasonido e inmediatamente se presiona el botón de HOLD, para que se mantenga trabajando. El tiempo de reacción es de 30 minutos. Al término de los 30 minutos, se presiona nuevamente el botón de ON/OFF del generador de ultrasonido para detener su funcionamiento.

d. Separación de fases. Para la separación de las fases, se trasvasa el medio de reacción del Erlenmeyer hacia un embudo de decantación de 125 mL. Se deja reposar durante 1 noche para que se separen las fases de biodiésel (fase superior) y glicerina (fase inferior). Posteriormente, se decanta la fase de glicerina a una probeta de 50 mL previamente pesada. La fase de biodiésel se deja en el embudo para ser lavada posteriormente.

e. Análisis de glicerina. La fase de glicerina obtenida se pesa para determinar la masa de glicerina producida y posteriormente se determina su densidad utilizando el mismo método utilizado para medir la densidad del etanol y del aceite (ecuación No. 1). Si el volumen de glicerina producido no es el suficiente para llenar el picnómetro ( $25.2098 \pm 0.0100 \text{cm}^3$ ), se mide el volumen directamente de la probeta de 50 mL y la densidad se determina por una división de la masa entre el volumen de glicerina.

f. Tratamiento de biodiésel. La fase de biodiésel que se mantiene en el embudo de decantación se lava con 5 alícuotas de agua destilada, de 20 mL cada una para eliminar los jabones, restos de hidróxido de sodio y etanol presentes. El procedimiento del lavado consiste en agregar por las paredes la primera alícuota de agua destilada, poner el tapón del embudo y agitar suavemente (para no formar una emulsión) 5 veces, liberando presión cada 2 agitaciones. Después se deja 5 minutos y se decanta el agua. El lavado se repitió 5 veces.

Después del quinto lavado, se decanta el biodiésel producido a un Erlenmeyer de 400 mL, se le agrega un agitador magnético de 3 cm de longitud y se calienta en una estufa con agitación hasta que llegue a ebullición. Al llegar a ebullición, se mantiene por 1 hora el calentamiento y posteriormente se deja enfriar 10 minutos (hasta poder sostener el beaker con la mano) y se pasa por una manta de filtrado para eliminar cualquier material sólido. El biodiésel filtrado y lavado se recibe en un recipiente rotulado y previamente pesado. Después se pesa el biodiésel producido y se prosigue a realizar los análisis que se mencionan a continuación.

## 6. Análisis de biodiésel

Densidad. Para determinar la densidad del biodiésel producido se sigue el mismo procedimiento utilizado para el aceite y etanol (ecuación No. 1). Viscosidad. Para determinar la viscosidad del biodiésel producido se utiliza un viscosímetro marca Cannon Instrument, tamaño 1, con número de serial L831 con una constante de 0.009896 cSt/s, que mide en el rango de 2 a 10 cSt con una incertidumbre de 0.156%.

El procedimiento es el mismo que para el aceite, a diferencia del viscosímetro utilizado. El nivel al que se eleva el biodiésel está marcado con la letra D en la figura 17 y se toma el tiempo que tarda en bajar desde ese punto hasta el punto F. Para determinar la viscosidad se utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 6: viscosidad usando viscosímetro de 2-10cSt

$$\text{Viscosidad cinemática [cSt]} = \text{Tiempo de flujo [seg]} * 0.009896 \left[ \frac{\text{cSt}}{\text{seg}} \right]$$

Cromatografía. El procedimiento de cromatografía sirve para determinar la pureza del biodiésel producido. Para realizar este análisis se utiliza un Cromatógrafo de gases marca Agilent Technologies modelo 6850 Network GC system acoplado a un Espectrofotómetro de masas marca Agilent Technologies modelo 5970 VL MSD con detector de triple eje.

Tabla 49. Parámetros de operación del cromatógrafo de gases - admisión

<b>Admisión</b>	
Modo:	split
Temperatura inicial:	250°C
Presión:	42.94 psi
Split ratio:	50:1
Split flow:	99.9 mL/min
Total flow:	104.7 mL/min
Gas saver:	on
Saver flow:	20.0 mL/min
Saver time:	2 min
Gas utilizado:	helio

Tabla 50. Parámetros de operación del cromatógrafo de gases – columna

<b>Columna</b>	
Tipo de columna:	capilar
Modelo:	Agilent 112-88A7E HP-88
Temperatura máxima:	250°C
Longitud nominal:	100 m
Diámetro nominal:	250.00 µm
Grosor nominal:	0.20 µm
Modo:	flujo constante
Flujo inicial:	2.0 mL/min
Presión interna nominal:	42.96 psi
Velocidad promedio:	28 cm/s
Fuente:	Admisión
Salida:	MSD
Presión de salida:	vacío

Tabla 51. Parámetros de operación de cromatógrafo de gases – horno

<b>Horno</b>	
Temperatura inicial:	50°C
Temperatura máxima:	250°C
Rampa de temperatura:	5.00°C
Duración de rampa:	20.0 min
Temperatura final de la rampa:	250°C
Tiempo de duración:	60 min

Tabla 52. Parámetros de operación del cromatógrafo de gases – inyector

<b>Inyector GC</b>	
Inyector frontal	
Lavado con la muestra (Sample washes):	3
Bombeo de muestras (Sample pumps):	6
Volumen de inyección:	0.20 $\mu\text{L}$
Tamaño de jeringa:	10.0 $\mu\text{L}$
Lavado de pre inyección:	3
Lavado de post inyección:	3
Plunger speed:	fast
Delay de viscosidad:	0 seg

Tabla 53. Resumen de pruebas realizadas con sus condiciones

<b>ID</b>	<b>Masa de aceite (g)</b>	<b>Masa de etóxido (g)</b>	<b>Temperatura de reacción (°C)</b>	<b>Agitación de reacción (rpm)</b>	<b>Amplitud de onda (%)</b>	<b>Frecuencia de aplicación de ultrasonido (seg on/seg off)</b>
A	85	26.1818	23	0	90	0.8
B	85	26.1818	23	0	50	0.8
C	85	26.1818	23	400	90	0.8
D	85	26.1818	23	400	50	0.8
E	85	26.1818	60	0	90	0.8
F	85	26.1818	60	0	50	0.8
G	85	26.1818	60	400	90	0.8
H	85	26.1818	60	400	50	0.8

\*Todas las pruebas se realizaron en duplicado, salvo la prueba A que se realizó en triplicado.

Análisis Económico de la producción de biodiésel utilizando ultrasonido y la del tratamiento de agua de lavado.

## B. CARACTERIZACIÓN, RECUPERACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUA EN EL PROCESO DE LAVADO DE BIODIÉSEL

1. Cuantificación de hidróxido de sodio. Se realizó una titulación volumétrica ácido base. Se utilizaron 100ml de muestra de agua y tituló con una solución de ácido clorhídrico s 0.01N.

Fue importante cuantificar la cantidad de base presente en el agua ya que esto permitió saber qué cantidad de ácido es necesario agregar para la acidificación y separación de biodiésel de la emulsión. Cuantificación biodiésel. Debido a las propiedades oleaginosas del biodiésel existe una formación de emulsión luego del lavado del mismo. Para la recuperación de biodiésel es necesario realizar una acidificación del medio, esto permite la formación de dos fases. Para la acidificación se utilizaron entre 25 y 40 ml de ácido clorhídrico con una concentración de 0.01N, se llevó a un pH 2.00. Por medio de una decantación se separará la capa acuosa de la capa oleaginoso. Se calentó la muestra a 110°C para eliminar trazas de agua que pudieron ser arrastradas en la decantación. Se realizó una prueba cualitativa 3:27 para determinar si era biodiésel. La prueba 3:27 consiste en agregar 3ml de la muestra y 27ml de metanol, si la muestra se disuelve en su totalidad es que es biodiésel, si la muestra no se se disuelve es aceite sin reaccionar en el proceso de transesterificación básica. Se realizó una prueba de cromatografía de gases para con ayuda del departamento de investigación de la Universidad del Valle de Guatemala.

2. Cuantificación de metanol. Por medio de una destilación fraccionada se pudo determinar la cantidad de metanol presente en el agua. Para ello se trabajó con un kit de destilación a micro escala, se tomaron 100g de agua, ya separada de la emulsión de biodiésel, como muestra y calentó hasta alcanzar una temperatura de vapor de 75°C, esto dio lugar a la separación de metanol del agua. Posteriormente se pesó para saber la cantidad de metanol presente en la muestra.

3. Cuantificación de jabones. Para la determinación de jabones se tomó una muestra de 100g de agua, ya separada de la emulsión de biodiésel, y se le agregó cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ) para formar un precipitado, el precipitado fue filtrado y secado. Posteriormente se pesaron para determinar la cantidad de jabones presentes en la muestra, esto se realizó con la finalidad de determinar cuánto  $\text{CaCl}_2$  será necesario agregar al agua proveniente de la planta piloto para su tratamiento total.

4. Pruebas planta piloto. Se realizaron 4 pruebas a nivel piloto derivadas de las pruebas de cuantificación de contaminantes a escala laboratorio. Para ello se trabajó de la siguiente forma para todas las pruebas:

a. Pruebas de acidificación: se agregó ácido sulfúrico concentrado al agua proveniente del lavado de biodiésel. Se estableció que es necesario agregar para 50kg de agua 300ml de ácido sulfúrico. Se dejó reposar por un periodo de 24 horas para una separación total de la emulsión. Se decantó y recupero el biodiésel para su reincorporación al proceso de fabricación. Se realizó un cambio de reactivo de ácido

clorhídrico a ácido sulfúrico para reducir costos de operación y evitar accidentes y daños respiratorios por los vapores del ácido clorhídrico.

b. Pruebas de neutralización y precipitación de jabones: Se agregó óxido de calcio para la precipitación de jabones, se agregaron 300g para un lote de 50kg de agua. Se dejó reposar por un periodo de 12 horas, los lodos provenientes de pruebas anteriores se utilizaron como un medio filtrante para evitar que sólidos suspendidos fueran arrastrados en el agua. Se recuperó el agua y almacenaron los lodos. Se realizó el cambio de reactivo, con respecto a las pruebas de laboratorio, de cloruro de calcio a óxido de calcio esto para reducir costos de operación.

c. Medición de sulfatos y dureza en el agua: con ayuda de un kit complejométrico de MERCK® se realizó la medición de la dureza causada por el hidróxido de calcio agregado. Se realizó una medición de sulfatos con el equipo HATCH y su kit de medición de sulfatos totales.

d. Pruebas de reducción de dureza: al agua previamente acidificada y neutralizada se le agregó EDTA para la precipitación de los iones de calcio disueltos en el agua. Se realizaron pruebas a escala laboratorio con 100 ml de agua de muestra. Se realizaron mediciones de dureza nuevamente para corroborar la disminución de calcio en el agua.

e. Pruebas con filtros: Con el sistema de filtración del Laboratorio de Operaciones Unitarias en la Universidad del Valle de Guatemala, se hizo pasar por un filtro de 5 micrones y un filtro de carbón activado el agua previamente tratada para eliminar trazas de esteres y sólidos suspendidos que pudieron ser acarreados en las pruebas de tratamiento de agua.

f. Diseño de planta. Con los datos obtenidos se realizaron los cálculos necesarios para diseñar los tanques de agua. Se diseñó el tanque para acidificación con fondo cónico. Luego el tanque de neutralización con fondo plano y por último el sistema de filtración y almacenamiento de agua. Los tanques fueron diseñados en base a reglas gruesas obtenidas en el libro de Operaciones Unitarias séptima edición de Warren L. McCabe.

## C. PRODUCCIÓN DE PROPILENGLICOL A PARTIR DE LA GLICERINA RESIDUAL

El proyecto se llevará a cabo en el laboratorio de Operaciones Unitarias, de la Universidad del Valle de Guatemala, en el Edificio E, Salón E109.

Equipo utilizado:

A. Reactor catalítico de Hidrogenación No. de inventario FOD 29-09 001BCA9F ubicado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias.

B. Planta piloto de producción de biodiésel ubicada en el laboratorio de Operaciones Unitarias

C. Cromatógrafo HP 5890 II (Cromatógrafo de gases de alta resolución con Software HP Chem Station) ubicado en el laboratorio de Instrumental Avanzado.

La glicerina obtenida de la producción de biodiésel, es una glicerina sucia que contiene diferentes contaminantes y es de un color oscuro. Entre los principales contaminantes se encuentran, jabones y alcohol (en este caso el alcohol utilizado que fue metanol)

### 1. Tratamiento de glicerina

- a. Se tomó una muestra de 500 gramos de glicerina cruda proveniente de la producción de biodiésel de aceite quemado de la planta del laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.
- b. Se agregaron por cada 150 gramos de glicerina cruda, 25 mL de ácido fosfórico para llevar a un pH de 4.5, midiendo la variación de pH con un potenciómetro Fisher Scientific, utilizando un electrodo accumet, trabajando en un rango de temperatura de 33-35°C con agitación constante.
- c. Luego se hace una neutralización de la glicerina con NaOH 10 M. Hasta llevarlo a un pH de 7.
- d. Se decantó la glicerina en un embudo de decantación de 250 mL. Se dejó reposar por 20 minutos para la separación de las fases.
- e. Se calentó la glicerina en una estufa con agitación a 150°C, para poder evaporar el agua y metanol aún presentes en la muestra. Se calentó por 20 minutos.
- f. Se realizaron 4 variaciones en el tratamiento de glicerina:

Tabla 54. Variaciones en el tratamiento de glicerina

muestra	cantidad de filtrados
1	1
2	2
3	3
4	3

## D. PRODUCCIÓN MICROBIANA DE ACEITE

1. Localización. El trabajo experimental se realizará por completo en el Campus Central de la Universidad del Valle de Guatemala, específicamente en el Laboratorio de Operaciones Unitarias del Departamento de Ingeniería Química, Edificio E y el Laboratorio de Bioingeniería Edificio II.

### 2. Parámetros seleccionados para el proceso de fermentación

- a. La cepa de levadura *Lipomyces Starkeyi*
- b. Temperatura de fermentación a 30°C

### 3. Parámetros seleccionados para la extracción

- a. Solvente hexano grado industrial
- b. Una cantidad de 8 reflujos por extracción.

### 4. Variables independientes

- a. Concentración de glicerina en los cultivos de fermentación

### 5. Variables dependientes

- a. Rendimiento de aceite de origen microbiano.
- b. Composición del aceite obtenido.

6. Pruebas experimentales. Se realizarán cuatro pruebas, una sin glicerina USP y tres con glicerina USP en distintas proporciones como sustrato en cada muestra. La muestra con mayor rendimiento se replicará en un en un proceso de fermentación idéntico pero con mayor volumen, permitiendo la obtención de mayor biomasa y por lo tanto un volumen mayor de aceite.

a. Preparación del Medio de cultivo. Esta prueba se realizará con el fin de determinar en qué proporción de sustrato-nutrientes se obtiene mayor rendimiento en la producción de aceite de origen microbiano. Las pruebas en frascos de cultivo se realizan en triplicado en un medio constituido por peptona de carne, peptona de caseína con caldo Sabouraud 2% y Glicerina USP en distintas proporciones (1.25%, 2.50% y 5.00%) inoculado con levadura *Lipomyces starkeyi*. Al determinar el cultivo con mayor rendimiento en la producción de aceite microbiano, se escalará para realizarse el mismo procedimiento en un volumen de 1L con glicerina recuperada de la producción de Biodiésel.

b. Escalamiento a 1 litro. Tomar la proporción de nutrientes-glicerina con mayor rendimiento obtenido, reproducir el proceso de fermentación escalado a 1L, por un lapso igual que las pruebas realizadas en los frascos de cultivo.

#### 7. Metodología para proceso de fermentación

a. Preparación de caldo de cultivo. Se preparó un caldo de cultivo el cual contiene 30 gramos de Sabouraud 2% por litro, 5 gramos por litro de peptona de caseína y 5 gramos por litro de Peptona de carne.

b. Preparación de frascos. Se prepararon dos muestras de 125mL con proporciones de glicerina grado USP de 1.25%(v/v), 2.50% (v/v) y 5.00% (v/v) y una muestra de 125mL para la prueba control sin glicerina.

En el escalamiento a 1L se utilizó la proporción 1.25% (v/v) utilizando glicerina tratada obtenida de la producción de biodiésel.

c. Esterilización. Se esteriliza en una autoclave por un lapso de 15 minutos a 120°C para esterilizar los frascos y el cultivo y evitar contaminación futura durante el proceso de fermentación que puedan afectar los resultados.

d. Incubación. Incubar las muestras durante un lapso de 168 horas a una temperatura controlada de 30°C y 250rpm. La fermentación se realiza durante este lapso para asegurar el consumo total de los nutrientes en el medio y obtener la mayor cantidad de biomasa posible.

e. Centrifugación. Para separar la biomasa de la fase líquida, se centrifuga el fermentado por un tiempo de 5 minutos a 500rpm y una temperatura controlada de 20°C. Una vez separadas ambas fases se desecha el sobrenadante.

f. Secado. Permitir el secado de biomasa al menos por 48 horas a una temperatura de 60°C y evaporar los restos líquidos en ella y determinar el peso seco obtenido.

## E. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL UTILIZANDO ULTRASONIDO Y SIN ULTRASONIDO CON TRATAMIENTO DE AGUA DE LAVADO.

La metodología a seguir para realizar el estudio económico de la producción de biodiésel utilizando ultrasonido y de la producción actual de biodiésel se basa en un proyecto mutuamente excluyente; ya que se realizará la producción de biodiésel con ultrasonido o la actual, no se podrán realizar ambas de forma paralela ya que una tendrá mayor viabilidad económica que la otra. La finalidad del estudio económico del proceso con ultrasonido es demostrar la rentabilidad del proyecto, por lo que el objetivo de inversión es garantizar un proyecto de modernización que tenga como finalidad un proceso de reemplazo que produzca mayores beneficios; es decir reducir costos para obtener mayor utilidad.

El análisis correspondiente que se llevará a cabo para verificar la viabilidad del proyecto será por medio de un análisis costo/beneficio; en donde se clasificarán los costos en sus respectivas categorías costos directos: Mano de obra y materia prima y costos indirectos: CIF (costos indirectos de fabricación) , como también se identificarán los gastos del proceso de producción de biodiésel utilizando ultrasonido y del proceso actual; los montos totales de costos y gastos se realizará por medio de balances de equipos, obras físicas, personal y de insumos. Con estos datos se puede establecer un precio de venta estimado del biodiésel el cual se realizará teniendo en cuenta los precios de la competencia (diésel) como también los costos de producción. Al obtener el precio de venta y ya habiendo clasificado costos y gastos se puede obtener la utilidad bruta como también la utilidad de operación de cada proceso de producción. Con esto se compararán utilidades de ambos proyectos como los costos de los mismos para poder realizar un análisis de proceso y verificar cuál puede tener mayor viabilidad económica. Dentro del análisis de costo de producción de biodiésel con ambos métodos, se incluirá el costo del tratamiento de agua, ya que será un proceso que se realizará en ambos procesos.

Como también se llevará a cabo un análisis financiero en donde se proyectará el tiempo en el que la inversión inicial se recuperará; para esto se debe tener en cuenta el monto de la inversión que se necesitará como los costos de producción, gastos y los ingresos promedio del biodiésel (precio de venta\*demanda) que se percibe tener durante los años a analizar. Al obtener por medio de cálculos el

tiempo en que la inversión inicial se recuperará se realizará una comparación entre los distintos procesos de producción para establecer qué método recuperará la inversión inicial en el menor tiempo posible.

Al conocer el proceso de producción que representará mayores ganancias siempre teniendo un estándar de calidad alto, se realizará un análisis FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas) para conocer y compara el entorno, es decir, el mercado de agrocombustibles y combustibles fósiles como competencia directa del biodiésel, esto con el fin de predecir el posicionamiento a futuro que puede tener el biodiésel en el mercado.

## F. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PRODUCCIÓN DE PROPILENGLICOL Y ACEITE DE ORIGEN MICROBIANO A PARTIR DE LA GLICERINA OBTENIDA DE LA PRODUCCION DE BIODIÉSEL

1. Evaluación de la situación actual de los procesos alternativos. La evaluación de la situación actual por medio de investigaciones bibliográficas se realizó con el fin de conocer más acerca de cada proceso producción para la reutilización de la glicerina obtenida de la producción de biodiésel. Esta ayuda a conocer el mercado y a estimar los precios de venta de los productos que serán obtenidos.

### a. Análisis de precios de residuos de biodiésel a partir de la glicerina

1) Propilenglicol. El propilenglicol es uno de los productos derivados de la industria petroquímica, el cual es de alto valor en la industria, debido a su uso como monómero para polímeros como fibras, resinas de poliésteres, anticongelante, antiespumante, solvente entre otros. De la refinación del petróleo se obtiene el propileno el cual se oxida para obtenerse el óxido de propileno: propanodiol. Anualmente, en el mundo se producen cerca de 900 millones de libras (409 mil toneladas métricas) a través de procesos químicos, que hacen su precio de venta elevado. En un análisis realizado se encontró que un galón de propilenglicol, producido por vía química a partir de petróleo, puede costar desde Q.416.36, mientras que produciéndolo por vía tecnológica puede llegar a costar menos. (Anónimo, The Dow Chemical Company, 2000)

El mercado del propilenglicol (PDO) es variado tanto así que la compañía Dow Chemical es uno de los principales proveedores de PDO como refrigerante en el mundo y ha anunciado el incremento en el precio de este producto, que podría deberse a su gran demanda o a que escasea por ser un derivado del petróleo. (Ávila, 2012)

En definitiva el PDO obtenido vía petroquímica es muy usado en diversos sectores pero con el reciente consumo de petróleo puede llegar a acabarse su materia prima base, por lo que se ha empezado a tomar en

cuenta los bioprocesos que replacen este producto, en este caso la alternativa diferente es la glicerina como materia prima, y con la demanda del biodiésel se puede producir gran cantidad de excedente de glicerina que bien puede reducir el precio comparado al que se vende normalmente. La universidad obtiene aproximadamente un 20% de residuo obtenido de una corrida 100 litros que en grandes cantidades podría valorarse el proceso, tomarlo en cuenta para futuras investigaciones y reutilizarlo debido a que es un producto muy utilizado en la industrial y posee muy buena demanda.

2) Aceites de origen microbiano (Usando levaduras). Actualmente resulta difícil saber el precio de venta del aceite obtenido de la producción microbiana, ya sea por bacterias, hongos, levaduras y micro algas, aunque cuenta con una base de conocimientos científicos. Sin embargo, los factores económicos son los que indican el interés y precio de producción industrial de este tipo de aceites.

El límite inferior previsible para el costo de instalación y funcionamiento de una planta industrial destinada a este tipo de procesos fermentativos señala para los aceites microbianos un precio muy superior al que hoy rigen para los aceites procedentes de plantas oleaginosas comercializados. Cabe prever que estos aceites vegetales nunca serán reemplazados por los aceites de origen microbiano (Herrera, 2010)

También resulta indiscutible que la posibilidad actual de obtener condiciones óptimas para desarrollos de cultivos microbianos, junto con la capacidad de modificar genéticamente microorganismos productores de aceites, permiten prever el establecimiento de una metodología que conduzca a la comercialización de un aceite microbiano cuando este ofrezca un valor añadido importante como consecuencia de su empleo en una aplicación específica importante, en medicina, cosmética, alimentación, etc. (Herrera, 2010).

Aunque el precio se puede ver afectado por los principales problemas de producción del aceite microbiano que están relacionados con: (Maldonado, Zambrano, & Rolzs, 2010)

- a.) La adecuada identificación de cepas capaces de almacenar significativas cantidades de compuestos grasos en su biomasa.
- b.) La adecuada selección de los nutrientes para lograr un crecimiento rápido y abundante de la biomasa microbiana.
- c.) El diseño del sistema de producción que incluye las etapas del crecimiento y de la recuperación de los sólidos de la biomasa microbiana del medio líquido.

## 2. Investigación bibliográfica de procesos similares

a. Propilenglicol. Esta investigación no se pudo realizar debido a que el proceso de producción no se llevó a cabo experimentalmente.

Aceites de origen microbiano (Usando Levaduras). La experimentación de obtener de obtener aceite de origen microbiano se ha realizado en otras ocasiones. La Universidad del Valle de Guatemala, cuenta con el informe del Ing. Oscar Armando Maldonado Ordoñez, quien realizó una investigación de la Evaluación de la Producción Microbiana de Aceites a Partir de la Glicerina o Glicerol Proveniente de la Producción de Biodiésel. La investigación presenta resultados y conclusiones obtenidos de desarrollar tecnología local para la producción de aceites de origen microbiano a partir de glicerina proveniente de biodiésel por vía fermentación. En el informe que él realiza lo experimento para 4 distintas cepas: *Yarrowia lipolytica*, *Rhodospiridium toruloides*, *Rhodotorula glutinis* var *glutinis* y *Lipomyces Starkey*, con el mismo método de producción.

## 3. Investigación del mercado potencial para cada producto en Guatemala

a. Propilenglicol. El propilenglicol es un producto muy utilizado, preferido en las industrias cosméticas, alimenticia y farmacéutica. El propilenglicol en el ámbito farmacéutico y alimenticio es utilizado como saborizante para una gran gama de productos comestibles y es conservante para mantener el alimento adecuado para el uso prolongado, para hacer cremas faciales, lociones corporales, desodorantes y muchos artículos de productos cosméticos y de cuidado personal, también actúa como portador de activos en vacunas, jarabes para la tos de socorro o cápsulas de gel para ayudar a entregar esta sustancia en el cuerpo para el tratamiento y prevención de enfermedades. En cuanto al ámbito industrial este puede ser utilizado como anticongelante, se utiliza en las pinturas y recubrimientos, como solvente para tintas, para detergentes líquidos, y puede ser utilizado para máquinas de humo y humectante de tabaco.

La amplia gama de utilización del propilenglicol proporciona un mercado prometedor ya que pueden ser bastantes los posibles clientes pero su a su vez se presentan grandes competidores por lo que se debe de ser innovador ofreciendo un producto que tiene un valor añadido por ser un proceso biotecnológico. Este es un subproducto industrial importante debido a que por su necesidad en el mercado tiene una oportunidad de negocio. Entre las empresas que utilizan dicha materia se encuentra la Casa de Saborizantes que a través de su producto el propileglicol se utiliza en distintos productos, Dorosa en la gran gama de productos que ofrecen, Lacfo, Aceite Ideal, Industria Alimenticia San Antonio entre otras.

b. Aceites de origen microbiano (Usando levaduras). Actualmente resulta indiscutible admitir que la producción microbiana de aceites, por bacterias, hongos, levaduras y micro algas, cuenta con una firma base de conocimientos científicos. Es por ello que la producción de aceites de origen microbiano está comenzando a surgir. El mercado del aceite obtenido normalmente es muy amplio y prometedor pero este tipo de producto es nuevo y no sería utilizado como alimento si no se utilizaría como

materia prima para la producción de biodiésel. Actualmente en Guatemala se cuentan con dos plantas de producción de biodiésel, una planta está ubicada carretera a Escuintla y la otra se encuentra en Antigua Guatemala, Sacatepéquez. Estas dos plantas de producción necesitan como materia prima aceite para poder producir combustible, es así como surge la necesidad de obtener esta materia por eso este medio podría ayudar a tener más insumo para la producción. Al obtener este insumo por este medio se estaría reutilizando la glicerina en lugar de desecharla y la producción sería un ciclo cerrado. La planta que se encuentra en Antigua Guatemala tiene la capacidad de producir 80 galones por hora y normalmente en el proceso para la obtención se obtienen aproximadamente un 20% de residuo que bien puede ser tratado y al ser tratado, suponiendo que, se obtiene un 5% de aceite, este estaría disminuyendo la cantidad de materia prima y así continuamente

Así mismo, la Universidad produce biodiésel por lo que le estarían dando un uso provechoso a tal residuo porque serviría a para producir más combustible y podría llegar a ser más limpio que el aceite que normalmente utilizan.

4. Realización de Matriz FODA. Este análisis permite conocer cada proceso de producción de los tres procesos alternativos (Este análisis se pudo realizar únicamente para el proceso de producción del aceite debido a que los otros proceso de producción no se llevaron a cabo) para el aprovechamiento del residuo de la glicerina comparado con el servicio de recolección de desechos dependiendo de ciertos factores internos y externos, con el propósito de evaluar su situación. (Ver Tabla # 2 y Tabla #3)

5. Análisis financiero. Para poder realizar el análisis financiero, clasificar los costos y establecer el costo de producción mensual de la producción de aceite de origen microbiano primero se eligió el mejor método a utilizar. Para saber qué proceso era el más eficiente y tenía mejor rendimiento se realizaron 3 pruebas distintas a escala laboratorio. En estas pruebas se variaban ciertas características como lo es la cantidad de glicerina versus la cantidad de sabouroud, peptona de caseína, peptona de carne y agua. A continuación se verán las pruebas realizadas:

Tabla 55. Resultados de pruebas variando la cantidad de insumos - Producción de aceite de origen microbiano

	1.25%		2.50%		5.00%	
	g	Incertidumbre	G	Incertidumbre	g	Incertidumbre
<b>Caja Pietri</b>	14.6584	0.0001	15.3491	0.0001	7.6542	0.0001
<b>C/Biomasa</b>	16.0516	0.0001	17.2128	0.0001	9.435	0.0001
<b>Biomasa</b>	5.13234280 1	0.0001	6.86559523 3	0.0001	6.56020389 1	0.0001
<b>Balón Plano</b>	108.8501	0.0001	108.8501	0.0001	108.3804	0.0001
<b>Balón y aceite</b>	110.5981	0.0001	110.3744	0.0001	110.102	0.0001
<b>Aceite</b>	1.748	0.0001	1.5243	0.0001	1.7216	0.0001
<b>Rendimiento</b>	34.06%	0.002%	22.20%	0.001%	26.24%	0.002%

Esto servirá para poder calcular los costos mensuales de producción a una escala mayor, según la capacidad máxima del equipo para la producción de aceite. Base que sirvió para proseguir con la realización numérica y determinar la viabilidad económica de la alternativa comparada con la incineración del residuo.

Los distintos porcentajes indica la cantidad de glicerina que se utilizó comparado con la cantidad de agua, sabouroud, peptona de caseína y peptona de carne. Lo que se observa de la tabla anterior es que las pruebas realizadas con 1.25% de glicerina obtenida como residuo de la producción de biodiésel tiene un rendimiento de 34.06%, la prueba de 2.50% de glicerina tiene un rendimiento del 22.20% y la prueba de 5% tiene un rendimiento del 26.24%; siendo así la cantidad de aceite que se obtiene por prueba realizada.

Por lo tanto, el método que mejor rendimiento tuvo fue la primera utilizando 1.25% de glicerina mientras que las otras tuvieron un rendimiento más bajo por lo que quedan descartadas para la prueba de mayor escala, ya que de este método es de donde se obtendrá mayor cantidad de aceite echo para una cantidad de 250ml .Fue por ello que los costos están calculados para este tipo de rendimiento escalado a 5l para poder calcular la inversión del proceso de producción.

Cotizaciones. Las cotizaciones realizadas se hicieron con el fin de recolectar la información necesaria para estimar y establecer el precio de los distintos servicios, materiales, mobiliario y equipo para llevar a cabo las distintas producciones.

1) Producción de aceite de origen microbiano. Para la realización de los balances de insumo del proceso de producción de aceites de origen microbiano se cotizaron los materiales en la empresa Merck, S.A. (Ver Tabla #17) (Ver Ilustración #13 e Ilustración #14) y se cotizaron los distintos servicios en cuanto a la energía eléctrica y agua para realizar los cálculos pertinentes. (Ver Tabla #14 y Tabla #15).

Los costos del mobiliario y equipo necesario se cotizaron en distintas empresas, encargadas de suministrar equipos para laboratorios químicos, para poder llevar a cabo el proceso de producción. Durante las cotizaciones se encontraron precios en USD (dólares estadounidenses) por lo que se utilizó el tipo de cambio vigente al 25 de septiembre del 2014 encontrado en el Banco de Guatemala a Q.7.72 por \$1.00. (Ver Tabla #18)

Para poder llevar a cabo el balance de obra física se cotizaron terrenos ubicados en la cercanía de la universidad y así saber el promedio del m<sup>2</sup> de terreno para poder estimar el valor según la cantidad de m<sup>2</sup> necesitados para el área de trabajo para la producción de aceite de origen microbiológico. (Ver Tabla #16)

Estimación y clasificación de costos. La estimación y clasificación de los costos se realiza para indicar el origen y el efecto que los mismos tendrán sobre el resultado final del proyecto. Los costos se clasificaron en tres formas: según su forma de imputación o de fabricación, según su variabilidad y según la inversión que se necesita para llevar a cabo el proyecto, que se definirán a continuación para el proceso de producción de aceite de origen microbiano (usando levaduras). Los costos totales se realizaron por medio de balances, que sirven para establecer un precio de venta según los costos de producción. Estos datos servirán para poder realizar un análisis del proceso y verificar su viabilidad económica.

Análisis y clasificación de costos según su variabilidad. Para poder llevar a cabo el análisis económico se realizó el análisis y clasificación de los costos que se ven incurridos para la producción de aceite de origen microbiano. Estos costos se dividen en dos componentes Costos Fijos y Costos Variables. Este análisis se realizó a una escala de 5L por semana acoplada a la capacidad del equipo, por lo que el análisis de costos se realizó mensualmente proyectándolos para calcular un precio anual.

Costos Variables. Este costo se obtuvo mediante el balance de insumos utilizados y se consideran costos variables debido a que los materiales y servicios se consumen dependiendo del nivel de la producción. Estos están calculados para una producción de 20 L mensuales. (Ver Tabla #4 y Tabla #17)

Costos Fijos. Los costos fijos se obtuvieron mediante el balance de personal ya que este no está directamente relacionado con el nivel de producción, es decir, que si se produce o no este costo siempre va existir y se debe de pagar. Para la realización del balance de personal se estableció el salario mínimo vigente para el año 2014 para el área no agrícola en Guatemala. (Ver Tabla #4 y Tabla #20)

Análisis y Clasificación de costos según su forma de imputación o de fabricación. Los costos de imputación o de fabricación son aqueos que se clasifican como costos directos y costos indirectos; el primero está conformado por los costos de mano de obra y materiales directos, el segundo está conformado por la mano de obra y materias indirectas, servicios y seguros. A continuación se realiza su clasificación que será útil para continuar con los siguientes análisis.

Costos Directos. Los costos directos son aqueos que se utilizaron para formar el producto final que en este caso es el aceite. Este también tomo en cuenta las labores necesarias para su manipulación y transformación final. (Ver Tabla #21 y Tabla #5)

Costos Indirectos de Fabricación:. Estos son aqueos que se utilizaron para acumular los materiales indirectos, y los demás costos indirectos de fabricación que no pueden identificarse directamente con el aceite. (Ver Tabla #22 y Tabla #5)

Costo de inversión. El costo de inversión se calculó mediante la sumatoria de los balances de equipo y obra física.

El balance de equipo se realizó del listado de equipo cotizado. Este es considerado la inversión inicial del proyecto, ya que es la primera inversión para poder llevar a cabo el proyecto y son todos los activos físicos

para poder asegurar el correcto funcionamiento operativo que pueden ser líquidos en un cierto plazo. (Ver Tabla #18)

El balance de obra física es considerado parte de la inversión inicial ya que se necesita un espacio para poder colocar todo el equipo y con un espacio asegurado se resguarda y se asegura el correcto funcionamiento operativo. (Ver Tabla #19)

Estos datos son utilizados para el análisis de retorno de inversión y análisis costo-beneficio.

1. Determinación del precio de venta. Con todos los datos obtenidos de la estimación de costos de la producción de aceites de origen microbiano se puede establecer un precio de venta estimado.

2. Cálculo del precio por mililitro según costo de producción. El precio es un valor pecuniario en que se estima un bien. Mensualmente de la producción de aceite de origen microbiológico se obtiene una cantidad de 155.56 ml. Se obtiene dicha cantidad ya que el proceso de fermentación del producto tarda una semana y puede realizarse únicamente 4 veces por mes. (Ver Tabla #23)

Este precio se obtiene mediante la división del costo de producción partida la cantidad que se obtiene mensualmente. Así mismo se sugiere un precio de venta con el fin de obtener un 10% de ganancia para ser utilizado más adelante y determinar un flujo de efectivo. (Ver Tabla #24)

3. Cálculo del margen de contribución. El margen de contribución nos indica los beneficios que se pueden obtener mediante la producción de aceite que se realizara. Este se obtiene mediante la diferencia entre el precio de venta menos los costos variables. (Ver Tabla #25)

En este caso el margen de contribución queda positivo por lo que esto nos indica que el precio de venta está cubriendo los costos fijos y está generando una utilidad de Q.592.16 mensual. Esto quiere decir que se está permitiendo absorber el costo fijo y se está generando un margen para la utilidad según lo sugerido. El margen de contribución permite observar que este producto está contribuyendo para la producción de aceites. Por lo que se puede identificar que el precio cumple con los costos, pero no se justifica por la cantidad de ml que se producen a un costo muy elevado comparado con el precio al que se encuentra en el mercado según la cantidad de ml.

4. Análisis de retorno de inversión. El análisis de retorno de inversión se realizó para medir en cuanto tiempo se recuperaría la inversión realizada para llevar a cabo el proyecto y se utilizó para medir la viabilidad del proyecto.

Esto análisis se realizó estimando el flujo libre de efectivo para identificar cuanto equivale el proyecto actualmente, este se realizó con la ayuda de la función VNA de Microsoft Excel. Sin embargo, en la práctica,

el periodo de recuperación se determinó con un requerimiento de no rendimiento ( $i=0\%$ ), para depurar inicialmente el proyecto y determinar si garantiza mayor consideración.

5. Determinación de la tasa mínima atractiva de retorno del proyecto. La tasa mínima de retorno del proyecto se determinó con el objetivo de evaluar las alternativas, que se utilizó en la determinación del valor presente neto. Este es superior a la tasa que ofrece un banco o alguna inversión segura que implique un riesgo mínimo.

Esta tasa se calculó considerando la tasa de inflación igual al 0%, ya que al tomarla como parámetro se asegura que el capital invertido no perderá su valor adquisitivo; y se consideró una tasa de riesgo por invertir en el proyecto, en este caso la tasa es igual al 6% tomada como referencia de la empresa Alicorp. La empresa Alicorp ofrece productos de aceites y grasas comestibles entre otros.

Además, se consideró la tasa líder igual al 4.5%. Esta tasa se obtuvo del Banco de Guatemala vigente al 28 de octubre de 2014. (Ver Tabla #10)

6. Estimación del valor presente neto. El valor presente neto se determinó con el objetivo de identificar el valor del flujo efectivo del proyecto actualmente y verificar la viabilidad del proyecto. Para poder realizarlo se utilizó la función VNA de Microsoft Excel.

7. Análisis Costo-Beneficio incremental. Para poder llevar a cabo el análisis B/C incremental, se listaron las alternativas a analizar. Esto nos indicara la alternativa que es viable económicamente aunque tenga un costo extra pero media vez se justifique. Este análisis se llevó a cabo de los datos obtenidos de la estimación de costos y del análisis del retorno de inversión para establecer los costos incurridos y de los beneficios que se generarían. Para ser comparado con el servicio de incineración de residuos.

8. Módulo de negocio. El objetivo del módulo de negocio es proporcionar elementos conceptuales y herramientas para cualificar y cuantificar la inversión de las alternativas para reutilizar el residuo de la glicerina, para minimizar riesgos de fracaso y optimizando al máximo los recursos. Esto se hizo mediante diferentes estudios bibliográficos, experimentales y sistemas de evaluación, determinación de puntos críticos, presupuesto de inversión, e información técnica.

## G. DETALLE DE LOS SERVICIOS DE ELECTRICIDAD Y AGUA.

Tabla 56. Precio del servicio de la electricidad con aporte a tarifa social INDE de EEGSA

<b>Electricidad *</b>	
<b>Cargo fijo por usuario</b>	Q9.98
<b>Costo de energía kWh</b>	Q1.70
<b>Aporte tarifa social INDE</b>	-
<b>IVA</b>	12%
<b>Tasa Municipal</b>	13%

Tabla 57. Precio del servicio del agua de empagua

<b>Agua*</b>	
<b>Alcantarillado</b>	20%
<b>Cargo fijo</b>	Q16.00
<b>IVA</b>	12%

Nota: El precio por metro cúbico de agua varía según el consumo por metro cúbico. (Ver figura 36)

Figura 36. Rango por consumo del servicio del agua de empagua

### **Precio del servicio de agua por rangos de consumo**

<b>Rango de consumo por metro cúbico</b>	<b>Precio del metro cúbico (No incluye IVA)</b>	<b>(+) Alcantarillado sobre total de consumo</b>	<b>(+) CARGO FIJO (No incluye IVA)</b>
1 a 20	Q 1.12	20%	Q 16.00
21 a 40	Q 1.76	20%	Q 16.00
41 a 60	Q 2.24	20%	Q 16.00
61 a 120	Q 4.48	20%	Q 16.00
121 a más	Q 5.60	20%	Q 16.00

## H. DETALLE DEL PRECIO PROMEDIO POR METRO CUADRADO DEL TERRENO.

Tabla 58. Promedio de precio por metro cuadrado de terrenos ubicados en zona 16 de la Ciudad de Guatemala.

TERRENOS EN ZONA 16				
PRECIO TOTAL	TERRENO	UNIDAD	PRECIO POR m2	PRECIO POR m2
\$165,000.00	502	m2	\$328.69	Q2,537.45
\$120,000.00	375	m2	\$320.00	Q2,470.40
\$300,000.00	1063	m2	\$282.22	Q2,178.74
<b>PROMEDIO PRECIO POR m2</b>				<b>Q2,395.53</b>

## I. DETALLE DE COSTOS DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE ACEITES DE ORIGEN MICROBIANO.

### 1. Detalle de Balances

Tabla 59. Balance de insumos – Producción de Aceite de origen Microbiano

BALANCE DE INSUMOS					
Insumos	Cantidad	Unidades	Costo Unitario	Costo Mensual	Costo Anual
Hexano	1400	MI	Q 0.13	Q 187.96	Q 2,255.57
Glicerina	250	MI	Q -	Q -	Q -
Sabouroud	1452.8	G	Q 1.00	Q 1,458.73	Q 17,504.73
Peptona	214.4	G	Q 1.50	Q 322.49	Q 3,869.90
Caseína	214.4	g	Q 1.21	Q 259.46	Q 3,113.50
Agua*	0.2	m3	Q 1.12	Q 16.30	Q 195.55
Electricidad*	520.34475	kWh	Q 1.69	Q 1,116.71	Q 13,400.55
Guantes de Nitrilo	4	Guante	Q 0.71	Q 16.00	Q 192.00
Mascarilla	1	Mascarilla	Q 3.03	Q 12.12	Q 145.44
<b>Total:</b>				<b>Q 3,389.77</b>	<b>Q 40,677.23</b>

Tabla 60. Balance de equipo – Producción de aceite de origen microbiano

<b>BALANCE DE EQUIPOS</b>					
<b>ÍTEM</b>	<b>Cant.</b>	<b>COSTO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>	<b>COSTO TOTAL Q.</b>	<b>VIDA ÚTIL</b>
<b>Autoclave Model 8000-DSE</b>	1	\$ 4,478.00	\$ 4,478.00	Q 34,570.16	15
<b>Campana horizontal LABCONCO</b>	1	\$ 6,792.25	\$ 6,792.25	Q 52,436.17	15
<b>Incubador NEW BRUNSWICK</b>	1	\$ 4,650.00	\$ 4,650.00	Q 35,898.00	15
<b>Centrifugadora EPENDORF</b>	1	\$ 6,970.00	\$ 6,970.00	Q 53,808.40	15
<b>Incubadora ISOTEMP FISHER SCIENTIFIC</b>	1	\$ 2,890.00	\$ 2,890.00	Q 22,310.80	15
<b>Centrifugadora FISHER SCIENTIFIC</b>	1	\$ 495.00	\$ 495.00	Q 3,821.40	15
<b>BALANZA ANALÍTICA OHAUS PIONEER</b>	1	\$ 1,900.00	\$ 1,900.00	Q 14,668.00	15
<b>Extractor de aceites SOXLETH</b>	1	\$ 239.50	\$ 239.50	Q 1,848.94	15
<b>Kit de destilación PYREX</b>	1	\$ 116.10	\$ 116.10	Q 896.29	5
<b>Estufa eléctrica CIMAREC</b>	1	\$ 301.00	\$ 301.00	Q 2,323.72	15
<b>Tubos para centrifugar grandes</b>	24	\$ 13.40	\$ 321.60	Q 2,482.75	5
<b>Earlenmayer 250mL marca PYREX</b>	7	\$ 5.65	\$ 39.55	Q 305.33	5
<b>Pipeta graduada 10mL</b>	5	\$ 1.00	\$ 5.00	Q 38.60	5
<b>Beaker 250 mL PYREX</b>	4	\$ 4.65	\$ 18.60	Q 143.59	5
<b>Base de metal</b>	2	\$ 13.95	\$ 27.90	Q 215.39	5
<b>Mangueras de 1/4"</b>	3	\$ 2.50	\$ 7.50	Q 57.90	5
		<b>Total:</b>	<b>\$ 29,252.00</b>	<b>Q 225,825.44</b>	

Tabla 61. Balance de obras físicas – Producción de aceite de origen microbiano

<b>BALANCE DE OBRAS FÍSICAS</b>					
<b>ÍTEM</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>	<b>ESPECIFICACIÓN TÉCNICA</b>	<b>TAMAÑO</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
<b>Espacio para pruebas y almacenamiento de equipo</b>	m2	Área plana, cimentada	4	Q2,395.53	Q 9,582.12

Tabla 62. Balance de personal – Producción de aceite de origen microbiano

<b>BALANCE DE PERSONAL</b>				
		<b>REMUNERACIÓN MENSUAL</b>		
<b>CARGO</b>	<b>No DE PUESTOS</b>	<b>UNITARIA</b>	<b>TOTAL</b>	
<b>Encargado de laboratorio</b>	1	Q 84.33	Q	2,530.00

## 2. Detalle de costos según su forma de imputación o de fabricación

Tabla 63. Costos directos – Producción de aceite de origen microbiano

<b>Glicerina</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es un alcohol con tres grupos hidroxilos.</li> <li>• Este se presenta en forma líquida, es higroscópico e inodoro.</li> <li>• Posee un coeficiente de viscosidad alto.</li> </ul> <p>Este se utiliza como materia prima para la elaboración del subproducto</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esta materia no tiene ningún costo debido a que se obtiene de la producción de biodiésel.</li> </ul>
<b>Sabouraud</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sabouraud es una fuente de carbono utilizada en la experimentación.</li> <li>• Este se utiliza como materia para la elaboración del subproducto.</li> <li>• Es un caldo con glucosa 2% para microbiología.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esta materia se compró en Merck, S.A.</li> <li>• El precio del mismo es de Q.500 un envase de 500g.</li> </ul>

Tabla 64. Costos directos – Producción de aceite de origen microbiano (continuación)

Peptona de Carne	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La peptona de carne es una fuente de nitrógeno.</li> <li>• Este se utiliza como materia para la elaboración del subproducto.</li> <li>• Es un ingrediente base para medios de cultivos.</li> <li>• La utilizada es peptona de carne por digestión pancreatina granulado para microbiología</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esta materia se compró en Merck, S.A.</li> <li>• El precio del mismo es de Q. 1504.16 en un envase de 1KG</li> </ul>
Peptona de Caseína	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La pepetona de caseína es una fuente de nitrógeno.</li> <li>• Este se utiliza como materia para la elaboración del subproducto.</li> <li>• Mezclas de péptidos y amino ácidos.</li> <li>• La utilizada es peptona de caseína por digestión pancreatina granulado para microbiología</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esta materia se compró en Merck, S.A.</li> <li>• El precio del mismo es de Q. 1210.16 en un envase de 1KG</li> </ul>
Agua	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utilizada como móvil.</li> <li>• El agua es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrogeno y uno de oxígeno.</li> <li>• Esta es utilizada en forma líquida y en estado gaseoso denominada vapor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El precio del agua se define según la cantidad utilizada, ver Tabla #5. (Empagua, 2014)</li> </ul>
Auxiliar de laboratorio	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Persona encargada en realizar el proceso de producción del aceite de origen microbiano.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El auxiliar tiene un sueldo de Q. 2530.00 por ley.</li> </ul>

Tabla 65. Costos indirectos de fabricación – Producción de aceite de origen microbiano

N- Hexano	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es un líquido incoloro, fácilmente flamable y con un olor característico a disolvente. Es poco soluble en agua, pero se mezcla bien con disolventes orgánicos apolares.</li> <li>• Para este caso el N-hexano se utilizó para para realizar la extracción de Soxhlet el cual consiste en el lavado de la mezcla que va extrayendo de la mezcla el componente más soluble, en este caso el aceite.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esta materia se compró en Merck, S.A.</li> <li>• El precio del mismo es de Q.537.04 un envase de 4 galones.</li> </ul>
Electricidad	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La electricidad se utiliza para la realización de todo el proceso, esta funciona en todo el proceso por intervalos de tiempo según el equipo utilizado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La electricidad la suministra la empresa eléctrica EEGSA</li> <li>• El precio de la electricidad depende de la cantidad consumida, ver Tabla # 4.</li> </ul>
Guantes	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se utilizan como sistema de seguridad para el auxiliar de laboratorio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El precio del mismo es de Q. 0.71 c/u.</li> </ul>
Mascarilla	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se utiliza como sistema de seguridad para el auxiliar de laboratorio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El precio del mismo es de Q. 3.01 c/u.</li> </ul>

### 3. Detalle de precio de la producción de aceite de origen microbiano

Tabla 66. Producción de aceite mensual - Producción de aceite de origen microbiano

MÉTODO	Producción de Aceite mensual (mL)
Origen Microbiano	155.56

Tabla 67. Precio según costo de producción - Producción de aceite de origen microbiano

MÉTODO	Inversión	Costo producción	Precio según costo(ml)	Precio de venta con ganancia de 10%
Origen Microbiano	Q235,407.56	Q5,919.77	Q38.06	Q41.86

Tabla 68. Margen de contribución - Producción de aceite de origen microbiano

Precio de venta sugerido por los 155ml	Costo variable	Margen de contribución
Q6,511.93	Q 3,389.77	Q3,122.16

#### 4. Detalle del presupuesto de inversión de la producción de Aceite de origen microbiano

Tabla 69. Presupuesto de inversión - Producción de aceite de origen microbiano



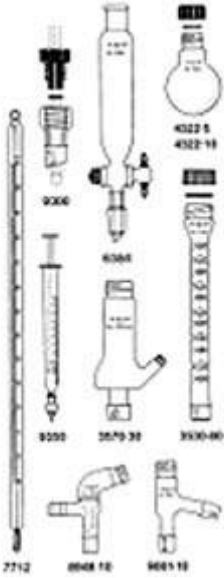
	Costo
Equipo	Q 225,825.44
Obra física	Q 9,582.12
Personal	Q 2,530.00
Insumos	Q 3,389.77
<b>Total</b>	<b>Q 241,327.33</b>

## J. DETALLE DE LA MAQUINARIA PARA LA PRODUCCIÓN DE ACEITE DE ORIGEN MICROBIANO.

Tabla 70. Maquinaria para la producción de aceite de origen microbiano

ÍTEM	
Autoclave Model 8000-DSE	<p>Figura 37. Autoclave 8000-DSE</p>  <p>A white and black laboratory autoclave with a circular door and a control panel on the right side. A tray of glass bottles containing yellow liquid is placed in front of it.</p>
Campana horizontal LABCONCO	<p>Figura 38. Campana horizontal LABCONCO</p>  <p>A white horizontal biosafety cabinet with a glass front and a control panel on the right side, mounted on a metal stand.</p>
Incubador NEW BRUNSWICK	<p>Figura 39. Incubador New Brunswick</p>  <p>A white, rectangular laboratory incubator with a handle on the front and a control panel on the top right.</p>
Estufa eléctrica CIMAREC	<p>Figura 40. Estufa eléctrica</p>  <p>A yellow and white laboratory electric stove with a red glass beaker on top and a control panel on the front.</p>

Tabla 71. Maquinaria para la producción de aceite de origen microbiano (continuación)

ÍTEM	
BALANZA ANALÍTICA OHAUS PIONEER	<p>Figura 40. Balanza Analítica</p> 
Extractor de aceites SOXLETH	<p>Figura 41. Extractor de aceites SOXLETH</p> 
Kit de destilación PYREX	<p>Figura 42. Kit de destilación</p> 

K. DETALLE DE COTIZACIONES.

1. Precio de etanol

Figura 43. Precio de etanol

**DISTRIBUIDORA MARIO BATHEN, S.A.** FACTURA SERIE "A"  
 No. 5171

Se Avenida Corona Metalsa(25-42) Zona 11 Tels: 2476-2071, 2476-0017 Fax: 2476-0748  
 ALCOHOLÉS INDUSTRIALES, BARRILES, GOMALAGA Y SOLVENTES  
 Puntos de Contacto No. 38007 APT. 1277419-4

Guatemala 15 de MARZO de 2013

Señor: \*\* UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA \*\* NIT: 1751758-3  
 Dirección: 11 calle 15-79 Zona 15, Vista Hermosa III

SWIFT No. 06154 Letra No. CANCELADO/15 ORDEN DE COMPRA No. 31947

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR
515	Litros de alcohol a 100° G.L. (Absolutos SIN DESHIDRATACION a Q 11.25 c/litro.	Q. 9,180.00
<b>CANCELADO</b>		
LISTO PARA ENTREGAR EN		
<b>TOTAL: NUEVE MIL CIENTO OCHENTA QUINCE QUETUALES EXACTOS**</b>		Q. 9,180.00

San Pedro 15000-1 San Pedro No. 011-0117 08 201201 2 12:00:00 hora 20-10-12 Impreso en Guatemala, Guatemala S.A.

2. Precio de metanol

Figura 44. Precio de metanol

**DISTRIBUIDORA MARIO BATHEN, S.A.** \*\*\* COTIZACION \*\*\*  
 Atención: Gris Heliza Paredes  
 Tel No. 23540354 Depto: Ingeniería Química

Se Avenida Corona Metalsa(25-42) Zona 11 Tels: 2476-2071, 2476-0017 Fax: 2476-0748  
 ALCOHOLÉS INDUSTRIALES, BARRILES, GOMALAGA Y SOLVENTES

Guatemala 14 de JUNIO de 2013 de 2:01

Señor: \*\* UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA \*\* NIT: 1751758-3  
 Dirección: 11 calle 15-79 Zona 15, Vista Hermosa III.


Puntos de Contacto No. 38007 APT. 1277419-4

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	VALOR
155	Galones de alcohol metanol a q. 50.00 cada Galón. (1.55 Galones)	Q. 7,775.00
01	Tonel plástico con capacidad de 300 litros	Q. 750.00
<b>TOTAL: DOS MIL CUATROCIENTOS CINCUENTA QUETUALES EXACTOS **</b>		TOTAL Q. 8,525.00

San Pedro 15000-1 San Pedro No. 011-0117 08 201306 2 12:00:00 hora 20-10-12

3. Precio de hexano


Figura 45. Precio de Hexano

40029180                      No.: 20130805.141847 <b>Senacyt</b>  3a. Ave. 13-28 Zona 1 Ciudad Guatemala		<b>FECHA</b> 05/08/2013		FO-VT-04 v1  			
NIT: 841585-4 TEL: 22324125 FAX: <b>Atención:</b> Melisa de Herrarte		<b>REPRESENTANTE</b> Ashly, Sandoval		<b>Merck, S.A.</b>  12 ave. 0-33 zona 2 de Mixco Tel PBX: (502)2410-2300 Fax Químicos: (502)2250-5193 Directo: (502)2410-2312 Celular: (502)5765-5115 e-mail: ashly.sandoval@merckgroup.com  nit: 95304-0			
<b>COTIZACIÓN</b>		<b>CONDICIONES DE PAGO</b> 30 DIAS					
		<b>MONEDA:</b> GTQ Tipo de Cambio 1.00					
CODIGO	DESCRIPCIÓN	U. VENTA	ENVASE	CANTIDAD	PRECIO/U.V	TOTAL	Disponibilidad...
1048740250	Potasio hidrogenoftalato p.a. EMSURE® Reag. Ph Eur	250 G	250.000 G	2	500.92	1,001.84	INMEDIATA
GT1104374400A	N-HEXANO PARA ANALISIS EMSURE(TM) ACS.REAG. PH EUR	ST	4.000 L	2	537.04	1,074.08	INMEDIATA
1095350001	Tiras Indicadoras del pH pH 0 - 14 Indicador universal no destiflen pH 0 - 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 -	100 STRIPS	1.000 ST	1	110.04	110.04	INMEDIATA
					Total GTQ	2,185.96	
**** Oferta válida por 15 días. Disponibilidad sujeta a Existencias ****							
DOS MIL CIENTO OCHENTA Y CINCO CON 96/100							



5. Precio de reactivos

Figura 47. Precio de reactivos






40028954                      No.: 20140220.152806 <b>Universidad del Valle de Guatemala</b>  11 calle 15-79 Zona 15 Ciudad Guatemala		<b>FECHA</b> 20/02/2014		FO-VT-04 v1  			
NIT: 1751758-3 TEL: 23688303 FAX: <b>Atención:</b>		<b>REPRESENTANTE</b> Ashly, Sandoval		<b>Merck, S.A.</b>  12 ave. 0-33 zona 2 de Mixco Tel PBX: (502)2410-2300 Fax Químicos: (502)2250-5193 Directo: (502)2410-2312 Celular: (502)5765-5115 e-mail: ashly.sandoval@merckgroup.com  nit: 95304-0			
<b>COTIZACIÓN</b>		<b>CONDICIONES DE PAGO</b> 30 DIAS		<b>MONEDA:</b> GTQ Tipo de Cambio 1.00			
CODIGO	DESCRIPCIÓN	U. VENTA	ENVASE	CANTIDAD	PRECIO/U.V	TOTAL	Disponibilidad...
1007311000	Ácido sulfúrico 95-97% p.a. EMSURE® ISO	1 L	1.000 L	1	250.04	250.04	INMEDIATA
1099700001	Ácido clorhídrico for 1000 ml. c(HCl) = 1 mol/l (1 N) Titrisol®	1 AMP	1.000 ST	1	200.20	200.20	INMEDIATA
**** Oferta válida por 15 días. Disponibilidad sujeta a Existencias ****					Total GTQ	450.24	
CUATROCIENTOS CINCUENTA CON 24/100							

6. Precio de mascarilla

Figura 48. Precio de mascarilla


**Productos encontrados: 5**

Mostrar como: [lista](#) / cuadrícula Ordenar por: **Default**

 <p><b>MASCARILLA CONFORT DESECHABLE 5 PIEZAS TC</b> Q12.18 + - x x x x x RF 518-26 <b>Agregar al carro</b></p>	 <p><b>MASCARILLA DESECHABLE N-95 UNIDAD</b> Q15.75 + - x x x x x RF 518-40 <b>Agregar al carro</b></p>	 <p><b>MASCARILLA DESECHABLE BROWN UNIDAD</b> Q3.03 + - x x x x x RF 518-41 <b>Agregar al carro</b></p>	 <p><b>MASCARILLA DESECHABLE M-10 KLEENGUARD</b> Q9.70 + - x x x x x RF 518-78 <b>Agregar al carro</b></p>	 <p><b>MASCARILLA DESECHABLE M-20 KLEENGUARD</b> Q29.50 + - x x x x x RF 518-79 <b>Agregar al carro</b></p>
--	--	--	--	--

7. Precio mesa acero inoxidable

Figura 49. Precio de mesa de acero inoxidable



**Mesa de acero inoxidable** **Q 525**

Mesa con base de tubo galvanizado, y superficie de trabajo de acero inoxidable perfecta para trabajar con alimentos y masa para pan

Muebles - Ciudad de Guatemala

8. Precio de productos de laboratorio

Figura 50. Precio de productos de laboratorio

Detalle del producto o servicio requerido:			
Cantidad	Descripción	Precio Unitario	Sub-total
4	CODIGO: ABE-5000-50 BEAKER FORMA BAJA 50ML KIMAX	Q 25.50	Q 101.00
5	CODIGO: ABE-5000-100-80 BEAKER FORMA BAJA 100ML KIMAX	Q 32.75	Q 163.75
2	CODIGO: ABE-5000-100-30 BEAKER FORMA BAJA 100ML KIMAX	Q 30.25	Q 60.50
2	CODIGO: ABE-5000-600-30 BEAKER FORMA BAJA 600 ML KIMAX	Q 46.50	Q 93.00
2	CODIGO: ABE-5000-600-30 BEAKER FORMA BAJA 600 ML KIMAX	Q 24.75	Q 49.50
2	CODIGO: ABE-5000-250 MATRAZ ERLENMEYER 250 ML KIMAX	Q 19.25	Q 38.50
1	CODIGO: ABE-5000-1000 MATRAZ ERLENMEYER 1000ML KIMAX	Q 19.25	Q 19.25
2	CODIGO: KUL-10000-00 PIPETA SERVICIOSA 5 ML, 1/10	Q 39.10	Q 78.20
2	CODIGO: KBL-37018-10 PIPETA VOLUMETRICA CLASE A CERTIFICADO 10ML KIMAX	Q 39.10	Q 78.20
3	CODIGO: KBL-1-365P VARRILLA VIDRIO P/EX 1.2 M X 4 MM	Q 2.00	Q 6.00
1	CODIGO: KBL-40506-200 VARRILLA DE AGITACION DE VIDRIO 200 MM KIMAX	Q 6.20	Q 6.20
4	CODIGO: KBL-28020W-25 MATRAZ APORADO CLASE A CERT 25 ML KIMAX	Q 68.50	Q 274.00
1	CODIGO: KBL-28020W-50 MATRAZ APORADO CLASE A CERT 50 ML KIMAX	Q 15.25	Q 15.25
1	CODIGO: KBL-28020W-50 MATRAZ APORADO CLASE A CERT 50 ML KIMAX	Q 15.25	Q 15.25
1	CODIGO: BEL-4971600000 AGITADOR MAGNETICO P/0.3 TAMAÑOS	Q 378.50	Q 378.50
1	CODIGO: KUL-01-010-50 CUBRE OBJETOS 22 X 22 PQ 100	Q 20.00	Q 20.00
1	CODIGO: KUL-01-010-50 CUBRE OBJETOS 22 X 22 PQ 100	Q 20.00	Q 20.00
1	CODIGO: KUL-10-000-00 PORTA OBJETOS 76 X 26 MM PQ30 8 ESMERILADO	Q 26.00	Q 26.00
1	CODIGO: KUL-50-000-01 BULBO 150 ML PIPETA 3 VALVULAS	Q 81.80	Q 81.80
2	CODIGO: KBL-40890 PIPETA PASTEUR 9" CAJA 250 PIEZAS KIMAX 150	Q 111.74	Q 223.48
1	CODIGO: KBL-40890 PIPETA PASTEUR 9" CAJA 250 PIEZAS KIMAX 150	Q 111.74	Q 111.74
	<b>Total</b>		<b>Q 2,379.80</b>

Observaciones: SEGUN COTIZACION No. 04CO-MB1408105A DEL 24/06/2014. FECHA DE ENTREGA: 04/07/2014

9. Precio de planta de biodiésel

Figura 51. Precio de planta de biodiésel

REPUBLICA, REFORMACION Y MAINTENIMIENTO DE MAQUINARIA INDUSTRIAL  
 PODER JUDICIAL TRABAJOS PARA LA INDUSTRIA FARMACEUTICA Y ALIMENTICIA  
 ESPECIALIDAD EN TRABAJOS DE ACERO INOXIDABLE

03 NOVIEMBRE 2012

SINACYT 001528-4

GUATEMALA CIUDAD.

Cantidad	DESCRIPCION	PRECIO UNIT.	TOTAL
	FABRICACION DE CONDENSADOR CON 3 SERPENTINES DE COBRE DE 1/2" DE BRUNO, 8" DE DIAMETRO POR 24" DE LARGO, CON ENTRADA Y SALIDA DE BRUNO, ENTRADA Y SALIDA DE METANO CARBOSO A LIQUIDA TEMPERATURA AMBIENTE, EL CILINDRO SERA FABRICADO DE ACERO INOXIDABLE TIPO 304.		Q23,800.00
	FABRICACION DE TANQUE DE 150 LITROS DE ACERO INOXIDABLE TIPO 304 FONDO CONICO Y SALIDA DE 1", CON PATA DE 60 CMS DE ALTO Y TAPA DE SORBERONES.		Q27,000.00
	FABRICACION DE TAPADERA HERMETICA PARA MARMITA DE 150 LITROS CON VALVULA DE SEGURIDAD DE 30 P.S.I. DE ACERO INOXIDABLE TIPO 304.		Q22,400.00
			Q73,200.00

UNIVERSIDAD DEL VALLE  
 CENTRO DE PROCESOS INDUSTRIALES  
 RECIBIDO

VEINTICINCO MIL QUETZALES EXACTOS

TOTAL Q

10. Precio de accesorios de laboratorio CV

Figura 52. Precio de accesorios de laboratorio CV

el trabajo diario.

No.	Código	Cantidad	Producto	Valor Unitario	Valor Total
1	FIS-09-810E	1	Papel filtro Whatman No. 2 de 110mm, caja de 100 unidades, marca Fisher**	Q242.95	Q242.95
2	FIS-09-830A	1	Papel filtro Whatman No. 5 de 90mm de diametro, caja de 100 unidades, marca Fisher**	Q265.20	Q265.20
3	AME-PM996	2	Rollo de papel Parafilm	Q219.25	Q438.50
4	FIS-14-850-13B	5	Papel pH 1-14 en rollo, marca Fisher	Q134.00	Q670.00
5	FIS-14-850-10C	1	Papel pH 1-5.5 en rollo, paquete de 10 unidades, marca Fisher**	Q1,541.50	Q1,541.50
6		1	Papel pH 7.5-14	Lamentamos no cotizar	
7	KIM-30210438	1	Guante de nitrilo color azul talla S, caja de 200 unidades, marca Kimberly Clark	Q141.75	Q141.75




## 11. Precio de combustibles

Figura 53. Precio de combustibles

ESTACION OAKLAND SUPERSERVICIO		FACTURA CAMBIARIA SERIE J (LIBRE DE PROTESTO) N°: 0013827	
GUACHA, SOCIEDAD ANONIMA Diagonal E 14-04, Zona 10 Guatemala, Guatemala		Fecha: 22-jul-14	
Plano de Contabilidad No. 211875 Folio 803 Libro 172      N.L.: 1482855-8		1751758-3	
NOMBRE: UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA		1751758-3	
DIRECCION: 11 Calle 15-79 zona 15 Vista Hermosa III			
0.000 Galones de Super	38.99	0.00	
0.000 Galones de Regular	36.99	0.00	
108.000 Galones de Diesel	33.99	3670.92	
Lubricantes			
Vale #25868			
SUJETO A PAGOS TRIMESTRALES		TOTAL	3670.92




## 12. Precio de terrenos en zona 16 cimentados

Figura 54. Precio de terrenos en zona 16 cimentados

-  **US\$165,000** [Altos de San Gaspar, Zona 16, Guatemala, Guatemala](#) - Consulta Inmobiliaria  
Lote/terreno en venta, 502 m2 de terreno; Existe tambien la posibilidad de construir una casa en el terreno plano y licencia municipal  
Código Mancro 23937
-  **US\$120,000** [Jardines de San Isidro, Zona 16, Guatemala, Guatemala](#) - Usuario particular  
Lote/terreno en venta, 375 m2 de terreno; 15 x 25 metros, totalmente plano.  
Código Mancro 3286
-  **US\$300,000** [Condominio Jardines de San Isidro, Zona 16, Guatemala, Guatemala](#) - Usuario particular  
Lote/terreno en venta, 1,063 m2 de terreno; Venta terreno zona 16, de 1522.54 varas, en Condominio J ubicado a seis kilómetros del Paseo Cayala. Jardines de San Isidro es sinónimo de buena ubicación y se compra en el lugar adecuado. El Condominio Jardines de San Isidro tien...  
Código Mancro 16022

## L. DETALLE DEL COSTO DE INCINERACIÓN DEL RESIDUO.

Figura 55. Cotización del precio/kilo por la incineración de residuos.

 <p><b>ECO TERMO DE CENTRO AMERICA, S.A.</b>  <b>ECO TERMO</b>          9a. avenida 16-28 Zona 10          Guatemala, Guatemala, C.A.          PBX: 2368-0316 y 2277-5400          PLANTA: Zona industrial del Sur Km. 30          Autopista al Pacifico Tels: 6633-7632 - 6633-8207          informacion@ecotermo.com.gt</p>		<p><b>FACTURA CAMBIARIA ELECTRONICA</b>          SERIE: FACE-66-F2-001          No. 140000021721</p>	
<p>A 15 días Servirán Uds. Pagar por esta única FACTURA CAMBIARIA DE PROTESTO a la orden y endoso de ECO TERMO CENTRO AMERICA, S.A. el valor total por el que está extendida o por el último saldo insoluto que aparezca (En las condiciones estipuladas en este título)</p>		<p>Guatemala, 4 de Septiembre de 2014</p>	
<p><b>SEÑORES:</b> UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  <b>DIRECCIÓN:</b> 11 CALLE 15-79 ZONA 15 VISTA HERMOSA 3          Folio Interno: 21721</p>		<p><b>NIT:</b> 1751758-3  <b>RUTA:</b>44,VEN:103  <b>CODIGO CLIENTE:</b> 4655</p>	
<p><b>SUJETO A PAGOS TRIMESTRALES NIT: 2667834-9</b></p>			
CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	P/UNITARIO	TOTAL
1.0000	SERVICIO DE RECOLECCION DE DESECHOS REALIZADO EN SUS INSTALACIONES CORRESPONDIENTE AL MES DE AGOSTO 2014. A CONTINUACION DETALLE DE MANIFIESTOS: 1334606, KILOS GENERADOS: 13.00KILOS AUTORIZADOS: 0.00CUOTA: 0.00EXEDENTE: 13.00 <small>El cliente da como bueno el valor total de esta factura cambiaria por haberse concluido el servicio de recolección mensual y/o recibir las mercaderías de conformidad y aceptado libre de protesto el cliente se compromete a cancelar el valor de esta Factura Cambiaria al vencimiento estipulado en la parte superior, si no hacer efectivo el pago de la presente factura en la fecha aceptada queda sujeto a recargos del 5% mensual, si se excede del plazo otorgado la deuda se someterá a los tribunales respectivos a dependencia del cliente, obligara a este a cumplir con todas las condiciones estipuladas en la misma se cobrará Q 100.00 de recargo en caso el cheque fuera rechazado.</small>	94.25	94.25
<p><b>TOTAL EN LETRAS:</b>          Noventa y Cuatro Quetzales con 25/100</p>		<b>TOTAL Q:</b>	<b>94.25</b>
<p>Resolución No. 2012-5-909870-94 de fecha 20121121 de la 1 a la 3000 COFIDI, S.A. NIT: 6246904-5 www.cofidi.com.gt</p>			
<p>CAE: iETrkrDEPKjwMILiuJqeLWnPit0AmKxI9k6ZL/m+b1EUjUstXC7WNZix1SKub7Xa7RB5t0ghoLWPxrpT0SOPA==</p>			
<p><b>ESTADO DE CUENTA:</b></p>			
<p>+ De 90 días :Q 0.00, 90 Días:Q 0.00, 60 Días:Q 0.00, 30 Días:Q 0.00,          Corriente:Q 94.25, Total:Q 94.25</p>			
			<p>Universidad del Valle de Guatemala            Ingeniería Química</p>
<p><b>ECO TERMO, LA EMPRESA MÁS GRANDE EN EL MANEJO DE DESECHOS HOSPITALARIOS E INDUSTRIALES DE LA REGIÓN</b></p>			

## XII. ANEXO II

### A. PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL CON ETANOL POR EL MÉTODO DE ULTRASONIDO.

#### 1. Datos originales

##### a. Datos para la materia prima

Tabla 72. Datos tomados para la densidad del aceite

Parámetro	1	2	3	4	5
Picnómetro vacío ( $\pm 0.0001$ g)	44.3668	44.3672	44.3641	44.3714	44.3669
Picnómetro con Aceite ( $\pm 0.0001$ g)	66.7744	66.8045	66.7940	66.7618	66.7903
Picnómetro vacío ( $\pm 0.0001$ g)	44.3880	44.3681	44.3686	44.3717	44.3694
Picnómetro con agua ( $\pm 0.0001$ g)	68.6092	68.6060	68.6178	68.6075	68.6069
Temperatura ( $\pm 0.5$ °C)	26.0	26.0	24.8	26.0	26.4
Densidad del agua a esa temperatura (g/mL)	0.9969	0.9969	0.9977	0.9969	0.9973

Tabla 73. Datos tomados para la viscosidad del aceite

Viscosidad del aceite	1	2	3	4	5
Temperatura ( $\pm 0.5$ °C)	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0
Tiempo ( $\pm 0.18$ seg)	663	657	668	662	664
Constante viscosímetro ( $\pm 0.22\%$ cSt/s)	0.09572	0.09572	0.09572	0.09572	0.09572

Tabla 74. Datos tomados para preparar la solución de KOH

Preparación solución KOH	Valor
Masa KOH ( $\pm 0.0001$ g)	6.7078
Volumen etanol ( $\pm 0.1$ mL)	500

Tabla 75. Datos tomados para la estandarización de la solución de KOH

<b>Estandarización KOH</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Masa KHP ( $\pm 0.0001$ g)	0.0395	0.0393	0.0401	0.0396	0.0402
Pureza KHP (%)	99.9	99.9	9.9	99.9	99.9
Volumen solución NaOH ( $\pm 0.01$ mL)	0.925	1.06	0.98	1.02	1.03

Tabla 76. Datos tomados para la determinación de la acidez del aceite

<b>Acidez del aceite</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Masa de muestra ( $\pm 0.0001$ g)	0.1798	0.1545	0.233	0.1637	0.1577
Volumen utilizado KOH ( $\pm 0.01$ mL)	0.2	0.2	0.22	0.21	0.2
Concentración solución KOH ( $\pm 0.0106$ M)	0.1944	0.1944	0.1944	0.1944	0.1944

Figura 56. Cromatograma de la derivatización del aceite

File : C:\msdchem\1\DATA\Biodiesel\Chico\140702-01.D  
Operator : AdEM  
Acquired : 2 Jul 2014 13:01 using AcqMethod ACIDOS GRASOS HP88 SCAN BIO.M  
Instrument : GC-MSD  
Sample Name: Muestra 1  
Misc Info : Muestra 1  
Vial Number: 1

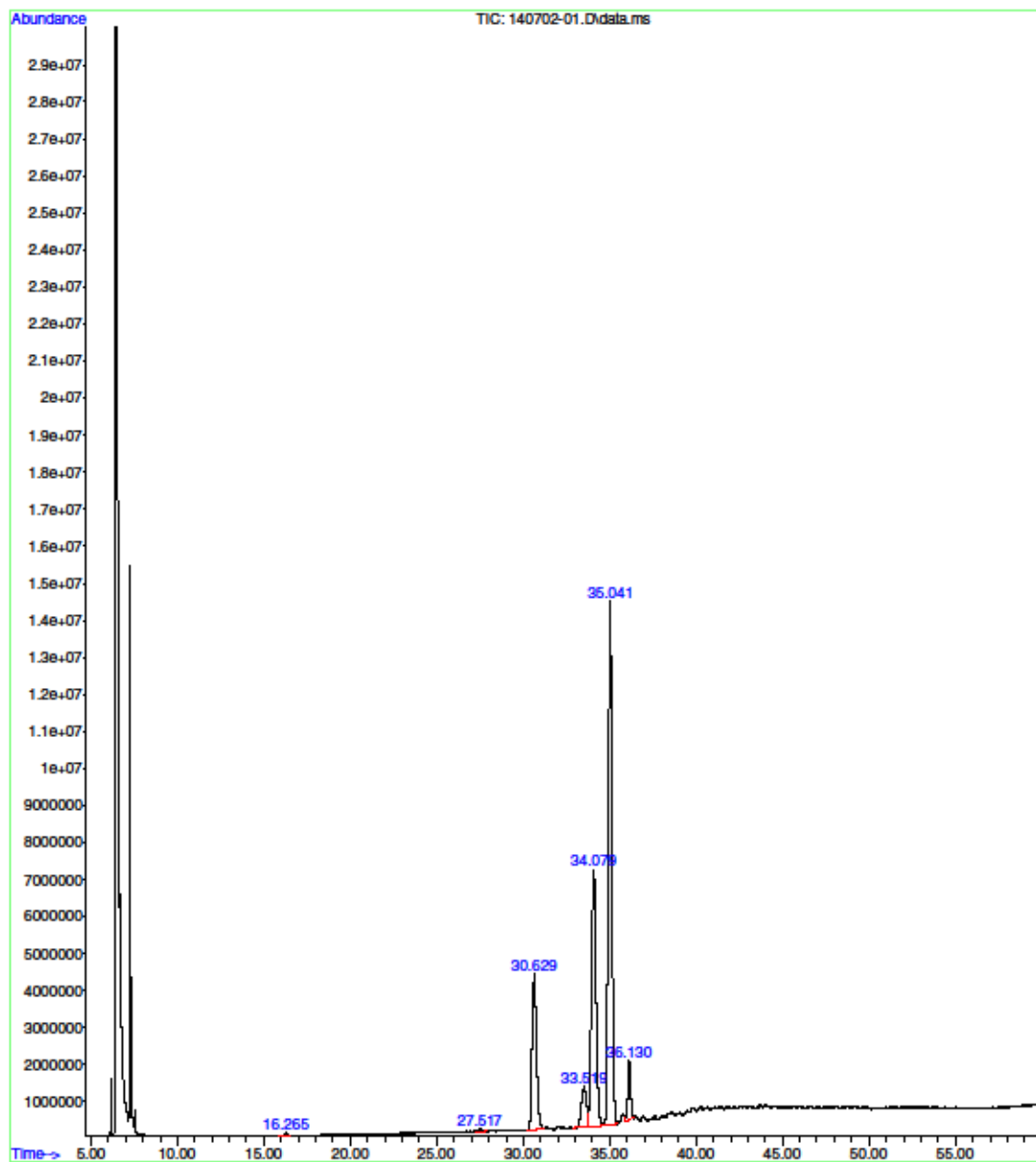


Figura 57. Cromatograma de la derivatización del aceite (tabla)

LIQA		Library Search Report				
Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Biodiesel\Chico\						
Data File : 140702-01.D						
Title :						
Acq On : 2 Jul 2014 13:01						
Operator : Adem						
Sample : Muestra 1						
Misc : Muestra 1						
ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1						
Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L						Minimum Quality: 0
Unknown Spectrum: Apex						
Integration Events: ChemStation Integrator - levadural.e						
PK#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	16.263	0.12	C:\Database\NIST05a.L			
			Dodecanoic acid, 2-methyl-	67149	002874-74-0	72
			Decanoic acid, methyl ester	47245	000110-42-9	72
			Decanoic acid, 2-methyl-	47226	024323-23-7	64
2	27.516	0.22	C:\Database\NIST05a.L			
			Tridecanoic acid, 12-methyl-, meth	86778	005129-58-8	64
			yl ester			
			Methyl tetradecanoate	86752	000124-10-7	58
			Cyclopentanetridecanoic acid, meth	122333	024828-61-3	58
			yl ester			
3	30.628	16.21	C:\Database\NIST05a.L			
			Pentadecanoic acid, 14-methyl-, me	105662	005129-60-2	98
			thyl ester			
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105644	000112-39-0	97
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105646	000112-39-0	95
4	33.521	5.11	C:\Database\NIST05a.L			
			Octadecanoic acid, methyl ester	123709	000112-61-8	98
			Octadecanoic acid, methyl ester	123700	000112-61-8	98
			Octadecanoic acid, methyl ester	123708	000112-61-8	97
5	34.080	28.98	C:\Database\NIST05a.L			
			9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl e	122323	000112-62-9	99
			ster			
			6-Octadecenoic acid, methyl ester	122301	052355-31-4	99
			9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl e	122321	000112-62-9	99
			ster			
6	35.040	45.07	C:\Database\NIST05a.L			
			9,12-Octadecadienoic acid, methyl	121093	002462-85-3	99
			ester			
			10,13-Octadecadienoic acid, methyl	121100	056554-62-2	99
			ester			
			11,14-Octadecadienoic acid, methyl	121099	056554-61-1	99
			ester			
7	36.131	4.28	C:\Database\NIST05a.L			
			9,12,15-Octadecatrienoic acid, met	119876	000301-00-8	95
			hyl ester, (Z,Z,Z)-			
			9,12,15-Octadecatrienoic acid, eth	128661	001191-41-9	91
			yl ester, (Z,Z,Z)-			
			9,12,15-Octadecatrienoic acid, met	119877	000301-00-8	91
			hyl ester, (Z,Z,Z)-			

Tabla 77. Datos tomados para la densidad del etanol

Parámetro	1	2	3	4	5
Picnómetro vacío ( $\pm 0.0001$ g)	44.3845	44.3917	44.4041	44.3818	44.3728
Picnómetro con Etanol ( $\pm 0.0001$ g)	63.5061	63.5019	63.5019	63.5104	63.5219
Picnómetro vacío ( $\pm 0.0001$ g)	44.3766	44.3809	44.3809	44.3837	44.3860
Picnómetro con agua ( $\pm 0.0001$ g)	68.6128	68.6110	68.6358	68.6183	68.6072
Temperatura ( $\pm 0.5^\circ\text{C}$ )	24.0	24.0	23.5	24.0	23.6
Densidad del agua a esa temperatura (g/mL)	0.9974	0.9974	0.9975	0.9974	0.9975

Tabla 78. Datos tomados para la humedad del NaOH

Prueba	Humedad (%)
1	8.11
2	8.37
3	8.65

Tabla 79. Datos tomados para la preparación del etóxido de sodio

Parámetro	Valor
Masa de hidróxido de sodio ( $\pm 0.0001$ g)	20.5305
Masa de etanol ( $\pm 0.0001$ g)	96.3193
	112.6293
	112.5193
	110.0598
	95.5352
	31.4095
Tiempo disolución ( $\pm 0.1$ min)	77.0
Temperatura calentada ( $\pm 0.5^\circ\text{C}$ )	46.0

Tabla 80. Datos tomados para la gravedad específica del etóxido de sodio

Gravedad específica	1	2	3	Inc.
Masa picnómetro vacío ( $\pm 0.0001$ g)	44.3648	44.3898	44.3763	0.0001
Masa solución ( $\pm 0.0001$ g)	64.2328	64.2971	64.3205	0.0001
Masa picnómetro vacío ( $\pm 0.0001$ g)	44.3653	44.3907	44.3664	0.0001
Masa agua ( $\pm 0.0001$ g)	68.6069	68.7159	68.7059	0.0001
Temperatura ( $\pm 0.5$ °C)	24.0	24.0	24.0	0.5

Tabla 81. Datos de la calibración para la agitación

Medio	Aire	Agua	Aceite
Nivel estufa	rpm	rpm	rpm
4	126	126	115
5	217	218	226
6	317	317	317
7	430	439	433
8	600	600	585
9	795	813	806
10	1070	1082	1050

Figura 58. Curva de calibración de la agitación usando aceite

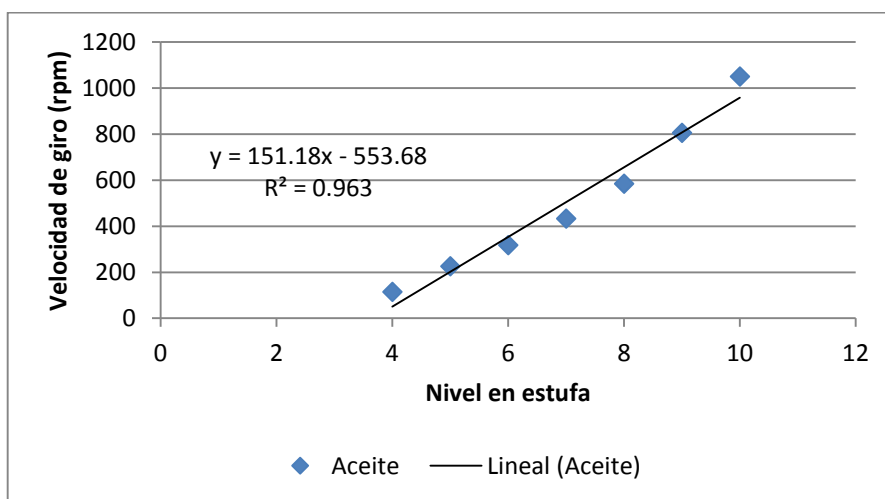


Figura 59. Curva de calibración de la agitación usando agua

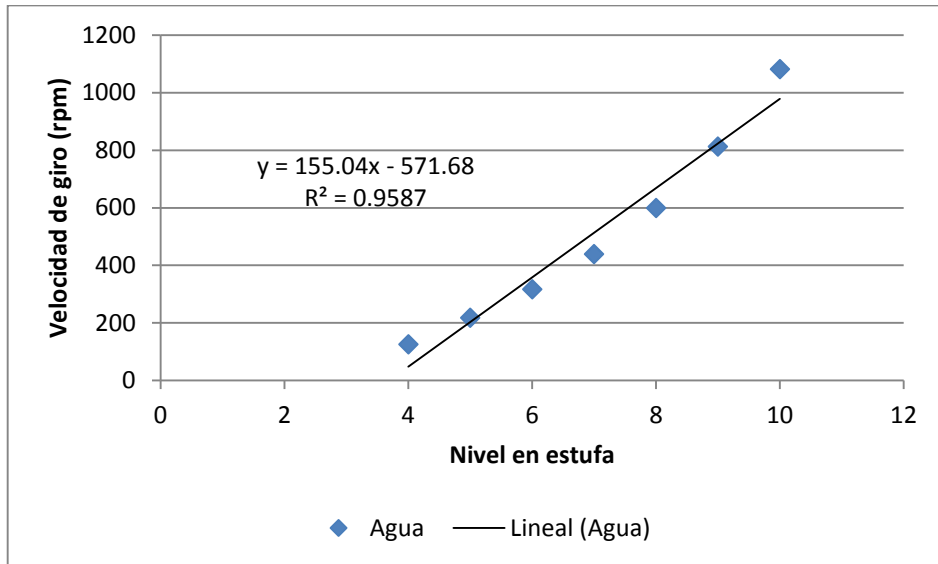


Tabla 82. Datos obtenidos en las pruebas de producción de biodiésel usando ultrasonido

Prueba	Masa aceite (±0.0001g)	Masa etóxido (±0.0001g)	Temperatura (±0.5°C)	Agitación (rpm)	Amplitud (%)	Masa biodiésel (±0.0001g)	Masa glicerina (±0.0001g)
A1	85.0025	26.2915	24.0	0	90%	53.7669	36.1108
A2	85.0029	26.1940	26.0	0	90%	56.8610	25.9660
A3	85.0337	26.2083	26.0	0	90%	52.4143	20.6549
B1	85.0146	26.2629	21.0	0	50%	Gelatinizó	
B2	85.0091	26.2350	22.0	0	50%	Gelatinizó	
C1	85.0129	26.3262	23.0	400	90%	63.5498	23.5357
C2	85.0404	26.3427	23.0	400	90%	55.8449	24.8850
D1	85.0300	26.2620	21.0	400	50%	60.9819	29.5625
D2	85.0211	26.2780	21.0	400	50%	57.0683	23.7837
E1	85.0619	26.2012	58.0	0	90%	53.3682	27.4420
E2	85.0933	26.3240	60.0	0	90%	53.9250	34.4299
F1	85.0874	26.2945	60.0	0	50%	Gelatinizó	
F2	85.0461	26.2381	60.0	0	50%	Gelatinizó	
G1	85.0586	26.3389	52.0	400	90%	53.2280	32.9619
G2	85.0627	26.3215	51.0	400	90%	56.0228	31.8762
H1	85.0346	26.4090	60.0	400	50%	51.5936	33.0818
H2	85.0166	26.2520	59.0	400	50%	54.7001	34.0371

## b. Datos de los productos obtenidos

Tabla 83. Datos obtenidos para la densidad del biodiésel

Prueba	o. Prueba	Masa picnómetro vacío ( $\pm 0.0001\text{g}$ )	Masa con biodiésel ( $\pm 0.0001\text{g}$ )	Masa picnómetro vacío ( $\pm 0.0001\text{g}$ )	Masa con agua ( $\pm 0.0001\text{g}$ )	Temperatura ( $\pm 0.5^\circ\text{C}$ )	Densidad agua a la temperatura (g/mL)	
A	1	1	44.3734	65.6935	44.3985	68.6135	24.0	0.9974
		2	44.3835	65.7035	44.3815	68.6074	24.0	0.9974
		3	44.3680	65.7022	44.3765	68.6015	24.0	0.9974
	2	1	44.3659	65.7026	44.3815	68.6093	24.0	0.9974
		2	44.3709	65.6995	44.3750	68.6104	24.0	0.9974
		3	44.3688	65.6969	44.3781	68.6135	24.0	0.9974
	3	1	44.3651	65.7000	44.3739	68.6123	24.0	0.9974
		2	44.3683	65.6934	44.3885	68.6094	24.0	0.9974
		3	44.3644	65.7015	44.3781	68.6101	24.0	0.9974
C	1	1	44.3835	65.6832	44.3644	68.6214	24.0	0.9974
		2	44.3799	65.6793	44.3635	68.6132	24.0	0.9974
		3	44.3864	65.6732	44.3888	68.6193	24.0	0.9974
	2	1	44.3832	65.6882	44.3635	68.6123	24.0	0.9974
		2	44.3749	65.6912	44.3681	68.6102	24.0	0.9974
		3	44.3839	65.6813	44.3815	68.6193	24.0	0.9974
D	1	1	44.3635	65.6934	44.3991	68.6182	24.0	0.9974
		2	44.3795	65.7029	44.3848	68.6232	24.0	0.9974
		3	44.3821	65.6980	44.3854	68.6155	24.0	0.9974
	2	1	44.3815	65.6793	44.3676	68.6115	24.0	0.9974
		2	44.3792	65.6841	44.3675	68.6115	24.0	0.9974
		3	44.3699	65.6925	44.3718	68.6108	24.0	0.9974
E	1	1	44.3635	65.6884	44.3676	68.6282	24.0	0.9974
		2	44.3675	65.6915	44.3883	68.6215	24.0	0.9974
		3	44.3744	65.7013	44.3835	68.6107	24.0	0.9974
	2	1	44.3726	65.7002	44.3971	68.6096	24.0	0.9974

Tabla 84. Datos obtenidos para la densidad del biodiésel (cont.)

F	1	1	44.3677	65.6884	44.3651	68.6262	24.0	0.9974
		2	44.3651	65.6883	44.3682	68.6193	24.0	0.9974
		3	44.3700	65.6812	44.3801	68.6150	24.0	0.9974
	2	1	44.3991	65.6974	44.3857	68.6623	24.0	0.9974
		2	44.3754	65.6788	44.3895	68.6174	24.0	0.9974
		3	44.3793	65.6756	44.3796	68.6128	24.0	0.9974
G	1	1	44.3736	65.6993	44.3882	68.6177	24.0	0.9974
		2	44.3756	65.6883	44.3799	68.6203	24.0	0.9974
		3	44.3775	65.6802	44.3701	68.6182	24.0	0.9974
	2	1	44.3653	65.6833	44.3635	68.6173	24.0	0.9974
		2	44.3731	65.6945	44.3715	68.6194	24.0	0.9974
		3	44.3753	65.6912	44.3802	68.6203	24.0	0.9974

## c. Datos obtenidos para determinar la viscosidad del biodiésel

Tabla 85. Datos obtenidos para determinar la viscosidad del biodiésel

Prueba	Tiempo ( $\pm 0.15s$ )	Temperatura ( $\pm 0.5^{\circ}C$ )	Prueba	Tiempo ( $\pm 0.15s$ )	Temperatura ( $\pm 0.5^{\circ}C$ )
A1	724.85	40.0	E1	602.34	40.0
	728.85	40.0		604.73	40.0
	726.69	40.0		602.91	40.0
A2	644.07	40.0	E2	631.38	40.0
	646.62	40.0		632.93	40.0
	642.08	40.0		631.88	40.0
A3	630.45	40.0	G1	590.3	40.0
	630.15	40.0		592.36	40.0
	630.21	40.0		592.01	40.0
C1	660.4	40.0	G2	582.6	40.0
	659.86	40.0		579.08	40.0
	662.15	40.0		581.3	40.0
C2	557.02	40.0	H1	671.03	40.0
	561.02	40.0		674.8	40.0
	562.33	40.0		674.24	40.0
D1	612.62	40.0	H2	627.3	40.0
	612.05	40.0		623.07	40.0
	612.33	40.0		624.08	40.0
D2	601.09	40.0			
	605.74	40.0			
	602.34	40.0			

Figura 60. Cromatograma obtenido para la prueba A1

File : C:\msdchem\1\DATA\Biodiesel\Chico\140612-01.D  
Operator : AdEM  
Acquired : 12 Jun 2014 12:52 using AcqMethod ACIDOS GRASOS HP88 SCAN BIO.M  
Instrument : GC-MSD  
Sample Name: Muestra 1  
Misc Info : Muestra 1  
Vial Number: 1

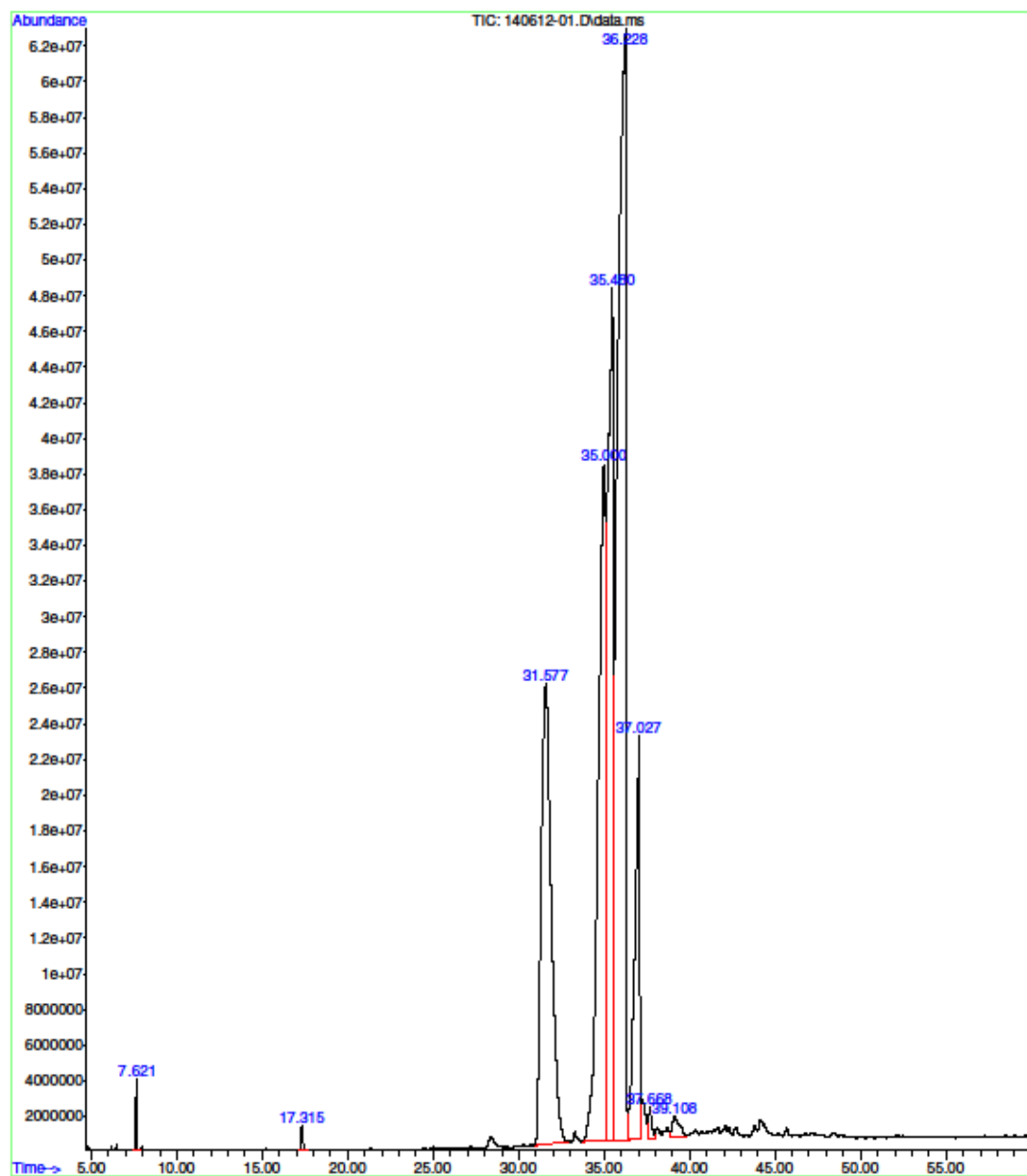


Figura 61. Cromatograma obtenido para la prueba A1 (tabla)

## LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Biodiesel\Chico\  
 Data File : 140612-01.D  
 Title :  
 Acq On : 12 Jun 2014 12:52  
 Operator : AdEM  
 Sample : Muestra 1  
 Misc : Muestra 1  
 ALS Vial : 1 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: ChemStation Integrator - autoint1.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	7.621	0.14	C:\Database\NIST05a.L			
			Acetone	211	000067-64-1	86
			Acetone	208	000067-64-1	86
			Acetone	210	000067-64-1	86
2	17.314	0.18	C:\Database\NIST05a.L			
			Octanoic acid, ethyl ester	37529	000106-32-1	91
			Octanoic acid, ethyl ester	37537	000106-32-1	87
			Octanoic acid, ethyl ester	37536	000106-32-1	80
3	31.578	18.05	C:\Database\NIST05a.L			
			Hexadecanoic acid, ethyl ester	114844	000628-97-7	98
			Hexadecanoic acid, ethyl ester	114848	000628-97-7	95
			Pentadecanoic acid, ethyl ester	105647	041114-00-5	95
4	34.999	18.74	C:\Database\NIST05a.L			
			Ethyl Oleate	131052	000111-62-6	99
			Ethyl Oleate	131051	000111-62-6	93
			Octadecanoic acid, ethyl ester	132323	000111-61-5	87
5	35.481	19.47	C:\Database\NIST05a.L			
			Ethyl Oleate	131053	000111-62-6	99
			Ethyl Oleate	131052	000111-62-6	99
			(E)-9-Octadecenoic acid ethyl este	131091	006114-18-7	95
6	36.227	35.05	C:\Database\NIST05a.L			
			9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester	121093	002462-85-3	99
			Linoleic acid ethyl ester	129811	000544-35-4	99
			Linoleic acid ethyl ester	129812	000544-35-4	99
7	37.028	7.37	C:\Database\NIST05a.L			
			9,12,15-Octadecatrienoic acid, ethyl ester, (Z,Z,Z)-	128661	001191-41-9	99
			9,12,15-Octadecatrienoic acid, ethyl ester, (Z,Z,Z)-	128660	001191-41-9	99
			9,12,15-Octadecatrienoic acid, ethyl ester, (Z,Z,Z)-	128659	001191-41-9	98
8	37.669	0.38	C:\Database\NIST05a.L			
			(R)-(-)-14-Methyl-8-hexadecyn-1-ol	93525	064566-18-3	99
			Z,E-2,13-Octadecadien-1-ol	102829	1000131-10-3	90
			Linoleic acid ethyl ester	129811	000544-35-4	90
9	39.106	0.63	C:\Database\NIST05a.L			
			Hexadecanoic acid, ethyl ester	114848	000628-97-7	76
			Nonadecanoic acid, ethyl ester	140316	018281-04-4	72
			Tetradecanoic acid, ethyl ester	96267	000124-06-1	70

## 2. Cálculos de muestra

### Cálculo No. 1: Gravedad específica del aceite

La determinación de la gravedad específica del aceite se realizó empleando una botella de gravedad específica. Para esto se empleó la diferencia de la botella llena con aceite y la botella vacía y la diferencia de la botella llena con agua y la botella vacía; el cálculo se realiza con la siguiente ecuación:

Ecuación 1:

$$densidad_{aceite} = \frac{masa\ picnómetro\ con\ aceite - masa\ picnómetro\ vacío}{masa\ picnómetro\ con\ agua - masa\ picnómetro\ vacío} * densidad_{agua}$$

En donde las masas corresponden a la masa de la botella en las diferentes modalidades que son llena con aceite, llena con agua y vacía.

Por ejemplo, para la primera corrida de la densidad del aceite (tabla 19) se tiene:

$$\rho_{aceite} = \frac{63.5061 \pm 0.0001g - 44.3845 \pm 0.0001g}{68.6128 \pm 0.0001g - 44.3766 \pm 0.0001g} = 0.7890 \pm 0.0000$$

Se realizó el mismo cálculo para todas las corridas de la gravedad específica del aceite, así como para la gravedad específica del etanol, de la glicerina y del biodiésel.

### Cálculo No. 2: Viscosidad del aceite

La determinación de la viscosidad se realizó empleando un viscosímetro especial para líquidos viscosos. El cálculo de la viscosidad requiere el tiempo que tarda el fluido en descender por un capilar de diámetro específico desde una marca A hasta una marca B. El viscosímetro debe estar sumergido en un baño térmico a temperatura constante ( $40.0 \pm 0.5^\circ\text{C}$ ), y para determinar la viscosidad se emplea la siguiente ecuación:

Ecuación 2:

$$Viscosidad\ cinemática[cSt] = Tiempo\ de\ flujo[seg] * 0.09572[cSt/seg]$$

Donde la constante del viscosímetro a  $40.0^\circ\text{C}$  es  $0.09572\text{ cSt/s}$ , de manera que para el cálculo de la primera corrida (tabla 20) es:

$$\mu_{aceite} = (663.0 \pm 0.2seg) * \left(0.09572 \frac{cSt}{seg}\right) = 63.46 \pm 0.02 \frac{cSt}{seg}$$

El mismo cálculo se realizó para todas las corridas de viscosidad del aceite, así como para la viscosidad del biodiésel.

### Cálculo No. 3: Preparación de solución de KOH para calcular la acidez del aceite

Para determinar la acidez del aceite se debe emplear una solución básica, para ello se emplea una solución de hidróxido de potasio (KOH). El cálculo de las cantidades requeridas para producir una solución de 0.2 M se muestra a continuación (tabla 21):

$$0.5 \text{ L solución} * \left( \frac{0.2 \text{ mol KOH}}{1 \text{ L solución}} \right) \left( \frac{56.11 \text{ g KOH}}{1 \text{ mol KOH}} \right) \left( \frac{100 \text{ g KOH}_{\text{reactivo}}}{85 \text{ g KOH}} \right) = 6.6012 \text{ g KOH}_{\text{reactivo}}$$

La relación de 100gKOHreactivo/85gKOH es la relación de pureza que presenta el reactivo.

Seguido de esto, se prepara la solución y se estandariza su concentración empleando un estándar ácido (ftalato ácido de potasio o KHP). El cálculo para la determinación de la concentración real de la solución de KOH se muestra a continuación (tabla 22):

Ecuación 3: valoración de solución de KOH con KHP

$$\text{masa KHP} * \left( \frac{1 \text{ mol KHP}}{204.22 \text{ g KHP}} \right) \left( \frac{1 \text{ mol NaOH}}{1 \text{ mol KHP}} \right) * \left( \frac{1}{\text{mL NaOH utilizado}} \right) \left( \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} \right) = [\text{M NaOH}]$$

Por ejemplo, para la primera valoración de KOH, se tiene que:

$$0.0395 \pm 0.0001 \text{ g KHP} * \left( \frac{1 \text{ mol KHP}}{204.22 \text{ g KHP}} \right) \left( \frac{1 \text{ mol NaOH}}{1 \text{ mol KHP}} \right) * \left( \frac{1}{0.925 \pm 0.005 \text{ mL solución}} \right) \left( \frac{1000 \text{ mL}}{1 \text{ L}} \right) \\ = 0.2091 \pm 0.0012 \text{ M}$$

El mismo cálculo se realizó para las demás pruebas de valoración o estandarización de la solución de KOH.

Cálculo No. 4: Acidez del aceite

Para calcular la acidez del aceite se empleó la solución de NaOH preparada y estandarizada anteriormente (0.1944±0.0106 M). La acidez se determina en términos de la cantidad de ácido oleico presente en la muestra; el ácido oleico tiene un peso molecular de: 282 g/mol. Para determinar el porcentaje de acidez en el aceite, se empleó la siguiente ecuación:

Ecuación 4: porcentaje de acidez en aceite

$$\% \text{Acidez} = \frac{(\text{mL de solución KOH})(\text{Molaridad de solución KOH}) \left( \frac{282 \text{ g Ac. Oléico}}{1 \text{ mol Ac. Oléico}} \right)}{10 * (\text{Peso de la muestra de aceite, g})}$$

Por ejemplo, para la primera determinación de la acidez del aceite (tabla 23), se tiene que:

$$\frac{(0.20 \pm 0.01 \text{ mL})(0.1944 \pm 0.0106 \text{ M}) \left( \frac{282 \text{ g Ac. Oléico}}{1 \text{ mol Ac. Oléico}} \right)}{10 * (0.1798 \pm 0.0001 \text{ g aceite})} = 6.099 \pm 0.450 \%$$

El mismo cálculo se realizó para las otras pruebas de acidez del aceite.

## Cálculo No. 5: Humedad del NaOH

La humedad del NaOH se determinó empleando una balanza de humedad directamente. De manera que no hubo que hacer cálculo para este parámetro (tabla 24).

## Cálculo No. 6: Concentración de etóxido de sodio

El etóxido de sodio se preparó disolviendo hidróxido de sodio (20.5305g) en etanol (558.4724g). Para determinar la concentración de la solución preparada se realiza el siguiente cálculo:

$$\text{Concentración}_{\text{etóxido}} = \frac{\text{masa}_{\text{NaOH}}}{\text{masa}_{\text{etanol}}} * \left( \frac{1 \text{ mol NaOH}}{40.0 \text{ g NaOH}} \right) \left( \frac{0.7870 \pm 0.0012 \text{ g etanol}}{1 \text{ mL etanol}} \right) \left( \frac{1000 \text{ mL etanol}}{1 \text{ L etanol}} \right)$$

Donde los 40.0g/mol son el peso molecular del NaOH y la densidad del etanol (0.7870±0.0012 g/mL) fue el valor determinado anteriormente. De esta manera, la concentración de la solución de etóxido de sodio preparado (tabla 26), en términos de molaridad, era de:

$$\begin{aligned} \text{Concentración}_{\text{etóxido}} &= \frac{20.5305 \pm 0.0001 \text{ g NaOH}}{558.4724 \pm 0.0002 \text{ g etanol}} \\ &* \left( \frac{1 \text{ mol NaOH}}{40.0 \text{ g NaOH}} \right) \left( \frac{0.7870 \pm 0.0012 \text{ g etanol}}{1 \text{ mL etanol}} \right) \left( \frac{1000 \text{ mL etanol}}{1 \text{ L etanol}} \right) \\ &= 0.7233 \pm 0.0000 \text{ M} \end{aligned}$$

Por su parte, la concentración en términos de porcentaje p/p fue:

$$\begin{aligned} \text{Concentración}_{\text{etóxido}} &= \frac{\text{masa}_{\text{NaOH}}}{\text{masa}_{\text{etanol}}} * 100 \\ \text{Concentración}_{\text{etóxido}} &= \frac{20.5305 \pm 0.0001 \text{ g NaOH}}{558.4724 \pm 0.0002 \text{ g etanol}} * 100 = 3.6762 \pm 0.0002\% \end{aligned}$$

## Cálculo No. 7: Rendimiento teórico de la reacción

Para calcular el rendimiento de la reacción se determinó una masa de biodiésel teórica y para ello se asumió que todos los ácidos grasos presentes en el triacilglicerol del aceite eran ácido oleico. De esta manera el peso molecular del aceite sería de 1020.49 g/mol. Por su parte, se calculó el peso del biodiésel en términos del ácido oleico en su forma esterificada con etanol, es decir, el etil éster (etil oleato) que tiene un peso molecular de 310.51 g/mol. El rendimiento teórico de biodiésel se calculó por estequiometría de la siguiente manera:

$$85.0 \text{ g aceite} * \left( \frac{1 \text{ mol aceite}}{1020.49 \text{ g aceite}} \right) \left( \frac{3 \text{ mol etil éster}}{1 \text{ mol aceite}} \right) \left( \frac{310.51 \text{ g etil éster}}{1 \text{ mol etil éster}} \right) = 77.59 \text{ g etil éster}$$

## Cálculo No. 8: Rendimiento de la reacción

Para determinar el rendimiento de la reacción se empleó la masa de etil éster calculada anteriormente y la masa obtenida de biodiésel y se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento}(\%) = \frac{\text{masa de biodiésel real (g)}}{\text{masa de biodiésel teórica (g)}} * 100\%$$

Por ejemplo, para el cálculo de rendimiento para la prueba A1 (54.3474±2.2795 g de biodiésel, tabla 29):

$$\text{Rendimiento}(\%) = \frac{54.3474 \pm 2.2795g}{77.59g} * 100\% = 70.04 \pm 2.94\%$$

El mismo cálculo se empleó para todas los experimentos realizados.

### 3. Análisis de error

#### Cálculo No. 7: Incertidumbre de la densidad del aceite

Para determinar la propagación de error de la densidad del aceite, donde se emplea la operación de multiplicación y división, se debe emplear la siguiente ecuación:

Ecuación 6

$$S_y = y * \sqrt{\left(\frac{S_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{S_b}{b}\right)^2}$$

Donde  $S_y$  = incertidumbre de la operación;  $y$  = resultado de la operación;  $S_a$  = incertidumbre del valor  $a$ ,  $a$  = valor empleado para calcular  $y$ ;  $S_b$  = incertidumbre del valor  $b$ ;  $b$  = valor empleado para calcular  $y$ .

De esta manera, para la primera corrida para determinar la densidad del aceite (tabla 19), se tiene que:

$$\begin{aligned} \text{Incertidumbre} &= 0.9222 \frac{g}{\square L} * \sqrt{\left(\frac{0.0001 g}{44.3668 g}\right)^2 + \left(\frac{0.0001 g}{66.7744 g}\right)^2 + \left(\frac{0.0001 g}{44.3880 g}\right)^2 + \left(\frac{0.0001 g}{68.6092 g}\right)^2} \\ &= \pm 0.000004 \frac{g}{mL} \end{aligned}$$

El mismo cálculo se realizó para las demás densidades del aceite, etanol, etóxido de sodio, glicerina y biodiésel.

#### Cálculo No. 8: incertidumbre de la viscosidad

La viscosidad se calculó empleando una operación de multiplicación, de manera que la incertidumbre se calcula con la ecuación 6. Por ejemplo, para la primera corrida de la determinación de la viscosidad del aceite (tabla 20).

$$Incertidumbre = 63.4624 \frac{cSt}{seg} * \sqrt{\left(\frac{0.2 \text{ seg}}{663.0 \text{ seg}}\right)^2} = \pm 0.0191 \frac{cSt}{seg}$$

El mismo cálculo se realizó para las demás viscosidades del aceite.

Cálculo No. 9: incertidumbre de la concentración de la solución de KOH

Debido a que para determinar la concentración de la solución de KOH, se debe emplear una operación de multiplicación, se debe emplear la ecuación 6. Por ejemplo, para la primera corrida de la estandarización de la solución de KOH (tabla 22):

$$Incertidumbre = 0.2091M * \sqrt{\left(\frac{0.0001 \text{ g}}{0.0395 \text{ g}}\right)^2 + \left(\frac{0.005 \text{ mL}}{0.925 \text{ mL}}\right)^2} = \pm 0.0012 M$$

Se realizó el mismo cálculo para las demás estandarizaciones del KOH.

Cálculo No. 10: Incertidumbre de la acidez del aceite

La determinación de la acidez del aceite se realiza a través de operaciones de multiplicación; de manera que para determinar la incertidumbre de la misma, se debe emplear la ecuación 6. Por ejemplo, para la primera determinación del aceite (tabla 23), se tiene que:

$$Incertidumbre = 6.099\% * \sqrt{\left(\frac{0.0001 \text{ g}}{0.1798 \text{ g}}\right)^2 + \left(\frac{0.01 \text{ mL}}{0.20 \text{ mL}}\right)^2 + \left(\frac{0.0106 \text{ M}}{0.1944 \text{ M}}\right)^2} = \pm 0.450\%$$

El mismo cálculo se realizó para los demás valores de la acidez.

Cálculo No. 11: Incertidumbre de la concentración del etóxido de sodio

La concentración de etóxido de sodio se determinó a través de una serie de multiplicaciones y divisiones; de manera que para determinar su incertidumbre se debe emplear la ecuación 6. Como se muestra a continuación:

Por ejemplo, para la concentración en términos de molaridad (tabla 26):

$$Incertidumbre = 0.7233 M * \sqrt{\left(\frac{0.0001 \text{ g}}{20.5305 \text{ g}}\right)^2 + \left(\frac{0.0002 \text{ g}}{558.4724 \text{ g}}\right)^2 + \left(\frac{0.0012 \frac{\text{g}}{\text{mL}}}{0.7870 \frac{\text{g}}{\text{mL}}}\right)^2} = \pm 0.000004 M$$

Y también para la concentración en términos de porcentaje peso/peso:

$$Incertidumbre = 3.6762\% * \sqrt{\left(\frac{0.0001 \text{ g}}{20.5305 \text{ g}}\right)^2 + \left(\frac{0.0002 \text{ g}}{558.4724 \text{ g}}\right)^2} = \pm 0.0002\%$$

Cálculo No. 12: Masa promedio de biodiésel obtenido

Debido a que se realizó dos pruebas para cada experimento, a excepción del experimento A que se realizó tres veces, se calculó el promedio de la producción de biodiésel para tener un valor promedio para cada corrida. La ecuación para calcular el promedio de una serie de valores, se muestra a continuación:

Ecuación 7:

$$Promedio = \frac{\sum_i^n x_i}{n}$$

Donde n = total de experimentos, xi = valor obtenido para el parámetro (en este caso, producción de biodiésel).

Por ejemplo, para la prueba A (tabla 35), se tiene que:

$$Masa \text{ biodiésel}_{promedio} = \frac{53.7669 \text{ g} + 56.8610 \text{ g} + 52.4143 \text{ g}}{3} = 54.3474 \text{ g}$$

El mismo cálculo se realizó para determinar todas las masas promedios de biodiésel producido por cada experimento (desde el A hasta el H). De la misma manera se determinaron los parámetros promedios para la densidad, viscosidad y acidez del aceite, para las densidades del etanol, de la solución de etóxido de sodio, para la humedad del NaOH.

Cálculo No. 13: Desviación estándar de la masa producida de biodiésel

Para determinar la desviación estándar de la masa producida de biodiésel se empleó la siguiente ecuación:

Ecuación 8:

$$Desviación \text{ estándar} = \frac{\sum_i^n |x_i - \bar{x}|}{n}$$

Por ejemplo, para la prueba A (tabla 35), se tiene que:

$$Desviación = \frac{|54.3474 \text{ g} - 53.7669 \text{ g}| + |54.3474 \text{ g} - 56.8610 \text{ g}| + |54.3474 \text{ g} - 52.4143 \text{ g}|}{3} \\ = 2.2795 \text{ g}$$

El mismo cálculo se realizó para determinar las desviaciones estándar de biodiésel producido por cada experimento (desde el A hasta el H). De la misma manera se determinaron los parámetros promedios para la

densidad, viscosidad y acidez del aceite, para las densidades del etanol, de la solución de etóxido de sodio, para la humedad del NaOH.

#### 4. Datos calculados

##### 1. Datos calculados de la materia prima

Tabla 86. Datos calculados de la materia prima

Parámetro	1		2		3		4		5	
	Valor	Inc	Valor	Inc	Valor	Inc	Valor	Inc	Valor	Inc
Densidades aceite (g/mL)	0.9222	0.0000	0.9228	0.0000	0.9228	0.0000	0.9210	0.0000	0.9226	0.0000
Viscosidad aceite (cSt)	63.4624	0.0191	62.8880	0.0191	63.9410	0.0191	63.3666	0.0191	63.5581	0.0191
Acidez de aceite (%)	6.099	0.450	7.098	0.524	5.177	0.367	7.034	0.508	6.954	0.513
Concentración KOH estandarizado (M)	0.2091	0.0012	0.1815	0.0010	0.2004	0.0011	0.1901	0.0010	0.1911	0.0010
Densidad etanol (g/mL)	0.7869	0.0000	0.7866	0.0000	0.7854	0.0000	0.7872	0.0000	0.7886	0.0000
Gravedad específica etóxido de sodio	0.8196	0.0000	0.8184	0.0000	0.8194	0.0000				

Tabla 87. Datos promedio de la materia prima

Promedios para la materia prima	Promedio	Desviación
Densidad aceite (g/mL)	0.9223	0.0008
Viscosidad aceite (cSt)	63.4432	0.3793
Acidez de aceite (%)	6.473	0.379
Concentración KOH (M)	0.1944	0.0106
Densidad etanol (g/mL)	0.787	0.0012
Gravedad específica etóxido de sodio	0.8191	0.0007

## 2. Datos calculados para los productos de la reacción

A continuación se muestran los datos calculados para las propiedades (viscosidad y densidad) del biodiésel.

Tabla 88. Datos calculados para la viscosidad del biodiésel

Prueba	Viscosidad promedio por muestra (cSt)	Desviación (cSt)	Temperatura ( $\pm 0.5^\circ\text{C}$ )	Viscosidad promedio (cSt)	Desviación (cSt)
A1	7.192	0.020	40.0	6.602	0.516
A2	6.376	0.023	40.0		
A3	6.237	0.002	40.0		
C1	6.539	0.012	40.0	6.041	0.705
C2	5.543	0.027	40.0		
D1	6.060	0.003	40.0	6.014	0.065
D2	5.968	0.024	40.0		
E1	5.971	0.012	40.0	6.113	0.201
E2	6.255	0.008	40.0		
G1	5.854	0.011	40.0	5.802	0.074
G2	5.750	0.018	40.0		
H1	6.664	0.020	40.0	6.423	0.340
H2	6.183	0.022	40.0		

\*Para las pruebas B y F no se tomó la viscosidad debido a que la mezcla de reacción se gelatinizó.

Tabla 89. Datos calculados para las densidades del biodiésel

Prueba		No. Prueba	Densidad biodiésel ( $\pm 0.000003$ g/mL)	Masa biodiésel ( $\pm 0.0001$ g)	Masa promedio por prueba (g)	Desviación (g)
A	1	1	0.878143	53.7669	54.3474	2.2794781
		2	0.877744			
		3	0.878361			
	2	1	0.878363	56.861		
		2	0.877754			
		3	0.877733			
	3	1	0.877905	52.4143		
		2	0.878135			
		3	0.878227			
C	1	1	0.875784	63.5498	59.69735	5.448187038
		2	0.876035			
		3	0.876211			
	2	1	0.876298	55.8449		
		2	0.877004			
		3	0.876383			
D	1	1	0.878398	60.9819	59.0251	2.767333099
		2	0.877431			
		3	0.877423			
	2	1	0.876179	57.0683		
		2	0.876468			
		3	0.877377			
E	1	1	0.876690	53.3682	53.6466	0.393717056
		2	0.877644			
		3	0.877981			
	2	1	0.878543	53.925		
		2	0.876882			
		3	0.877192			

Tabla 90. Datos calculados para las densidades del biodiésel (continuación)

G	1	1	0.876499	53.228	54.6254	1.976222032
		2	0.876964			
		3	0.877056			
	2	1	0.875018	56.0228		
		2	0.876988			
		3	0.876504			
H	1	1	0.877848	51.5936	53.14685	2.196627216
		2	0.876919			
		3	0.876229			
	2	1	0.876652	54.7001		
		2	0.877005			
		3	0.877061			

## 5. Especificaciones técnicas de equipo

Tabla 91. Generador de ultrasonido

Marca	Dr.Hlelscher
Modelo	UP100H
Eficiencia	> 90%
Frecuencia de trabajo	30 kHz
Control del rango	1 kHz
Control de salida	20%... 100% ajustado continuo
Factor de modo pulso-pulso	10%... 100% por segundo, ajustado continuo
Carga conectada	240 VAC
Frecuencia	60 Hz
Fusibles	230 V, 1 A
Potencia de salida	100 W (90 W en medio acuoso)
Máxima densidad energética	125-600 W/cm (dependiendo de sonotrode)
Amplitud máxima	125-220 $\mu\text{m}$ (dependiendo de sonotrode)
Sonotrode utilizado (punta)	MS3
Profundidad máxima sumergida	30 mm
Diámetro de punta	3 mm
Amplitud máxima	180 $\mu\text{m}$
Densidad de potencia acústica	460 W/cm

Tabla 92. Balanza analítica

Marca	Boeco
Modelo	BBC31
Capacidad máxima	220 g
Incertidumbre	0.0001 g
Tiempo de respuesta	$\leq 2$ seg
Potencia requerida	230 o 115 VAC
Frecuencia	48-63 Hz
Consumo de potencia	16 VA máx, 8 VA promedio

Tabla 93. Balanza de humedad

Marca	Boeco
Modelo	BMO35
Capacidad máxima	35 g
Resultados mostrados	% humedad, % peso seco, % relación, g peso residual
Incertidumbre	0.001 g
Potencia requerida	230 V
Frecuencia	50-60 Hz
Consumo de potencia	400 VA

Tabla 94. Estroboscopio

Marca	Nova-Strobe
Modelo	BB
Rango de flash	100 - 8000 FPM
Incertidumbre	1 FPM
Base de tiempo	Oscilador de cristal ultra estable
Duración de flash	25-50 microsegundos
Potencia de entrada	6 VDC (con batería)
Potencia de luz	7 W promedio, 140 mJoule (por flash)

Tabla 95. Estufa con agitación

Marca	Cimarec, Thermo Scientific
Modelo	SP131015
Dimensiones	Ancho: 5.0", Alto: 3.6", Largo: 10.0"
Voltaje	120 V
Amperaje	3.3 A
Potencia	395 W
Frecuencia	60 Hz
Fase	1
Temperatura máxima	1000°F (540°C)

Tabla 96. Botella de gravedad específica

Marca	Blaubrand
Modelo	NS10/19
Serie	11.02 235
Volumen nominal	25.0 cm
Volumen medido	25.2098 cm
Tolerancia de medición	0.0100 cm

Tabla 97. Viscosímetro para aceite

Marca	Cannon Instrument Company
Tamaño	200
Número de serie	T144
Rango de viscosidad cinemática	20-200 cSt
Constante del viscosímetro	0.09572 @ 40°C

Tabla 98. Viscosímetro para biodiésel

Marca	Cannon Instrument Company
Tamaño	1
Número de serie	L831
Rango de viscosidad cinemática	2-10 cSt
Constante del viscosímetro	0.009896 @ 40°C

## 6. Registro gráfico de experimentación

Figura 62. Aceite y etóxido de sodio empleados (Prueba G1)

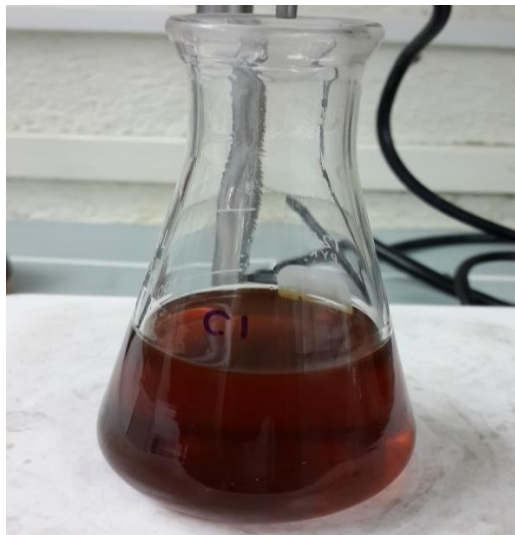


Figura 63. Mezcla de reacción previo a comenzar la reacción (B1)



Figura 64. Experimentación empleando ultrasonido (Prueba A2)

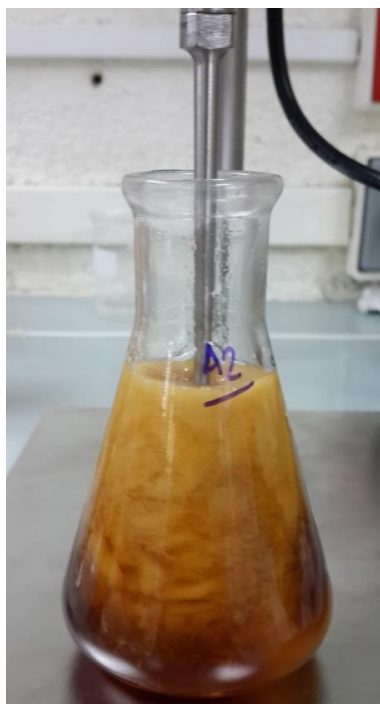


Figura 65. Separación del biodiésel producido (Prueba A2)



Figura 66. Lavados de biodiésel obtenido usando agua (Prueba D2, primera y quinta lavada)

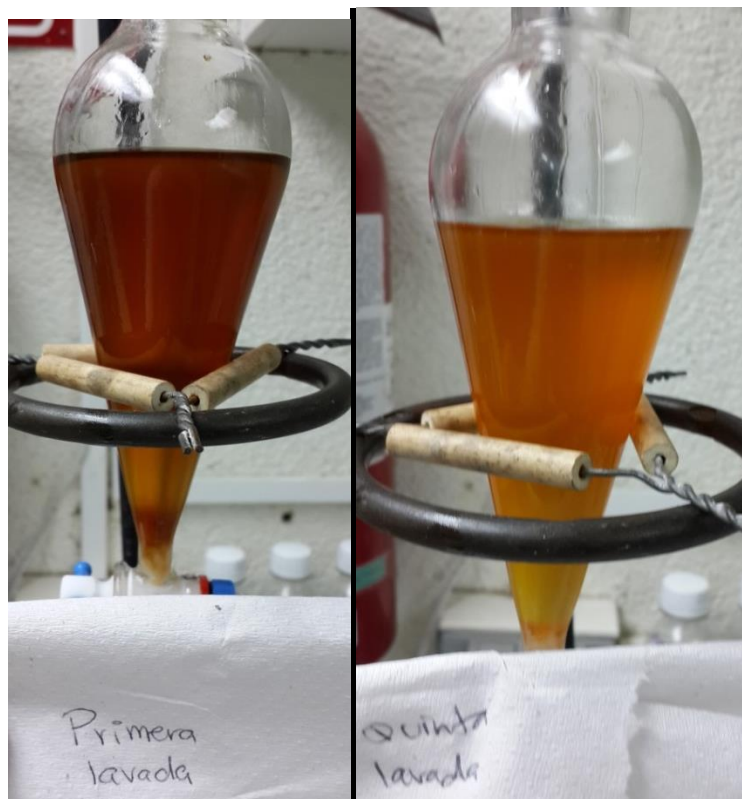


Figura 67. Secado de biodiésel empleando calor (Prueba D2)



Figura 68. Prueba gelatinizada (B1, B2, F1 y F2)

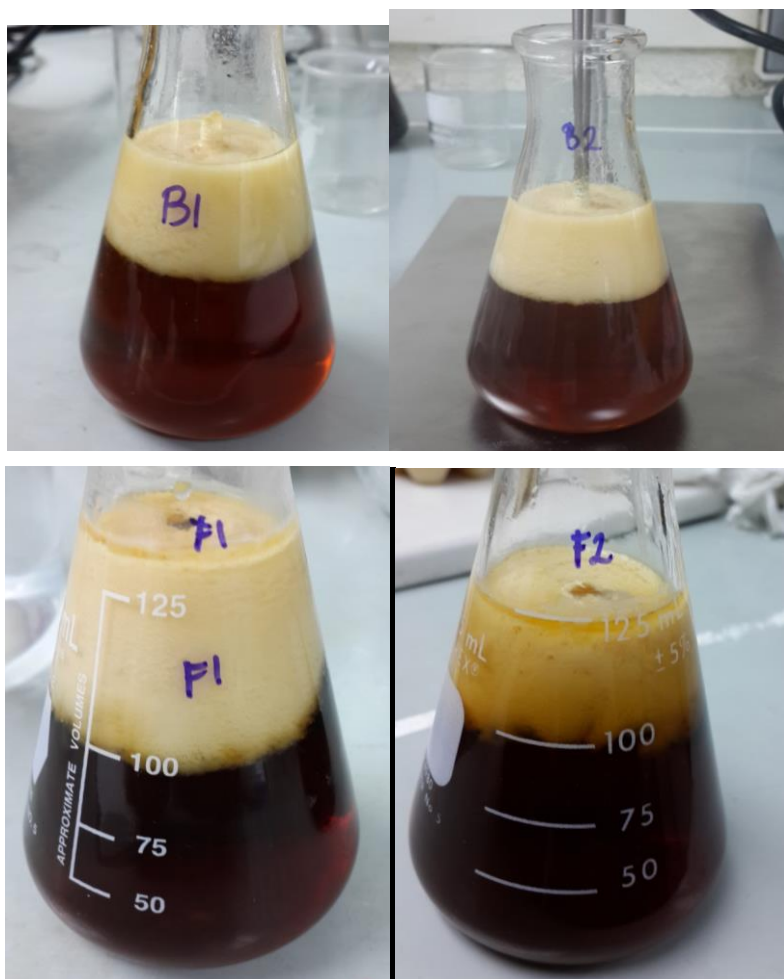


Figura 69. Jabón obtenido después de lavar y calentar el biodiésel (Prueba A1 y C1)



7. Métodos de análisis seguidos

Derivatización de aceites:

Licda. Ana Silvia Colmenares de Ruiz para Laboratorio de Análisis Químicos de Productos Alimenticios, segundo ciclo 2005. Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala.

Análisis por cromatografía de gases para aceite y biodiésel:

Licda. Ana Luisa Mendizabal de Montenegro. Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala.

a. Caracterización, recuperacion y tratamiento de agua en el proceso de lavado de biodiésel

Figura 70. Balance de masa cualitativo para proceso de producción y lavado de biodiésel

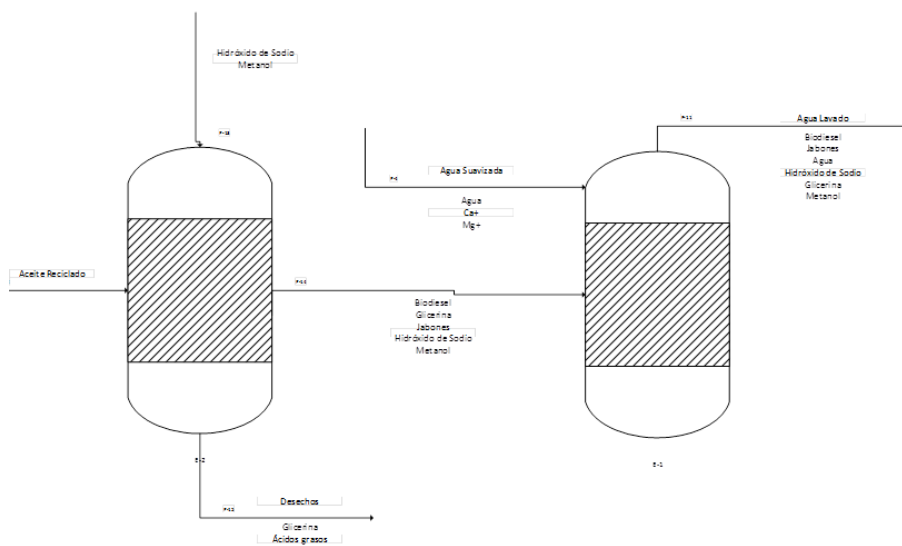


Figura 71. Cromatograma de muestra de biodiésel de prueba piloto 3

File :C:\msdchem\1\DATA\Biodiesel\Chico\140613-05.D  
Operator : Adem  
Acquired : 13 Jun 2014 18:55 using AcqMethod ACIDOS GRASOS HP88 SCAN BIO.M  
Instrument : GC-MSD  
Sample Name: Muestra B2  
Misc Info : Muestra B2  
Vial Number: 5

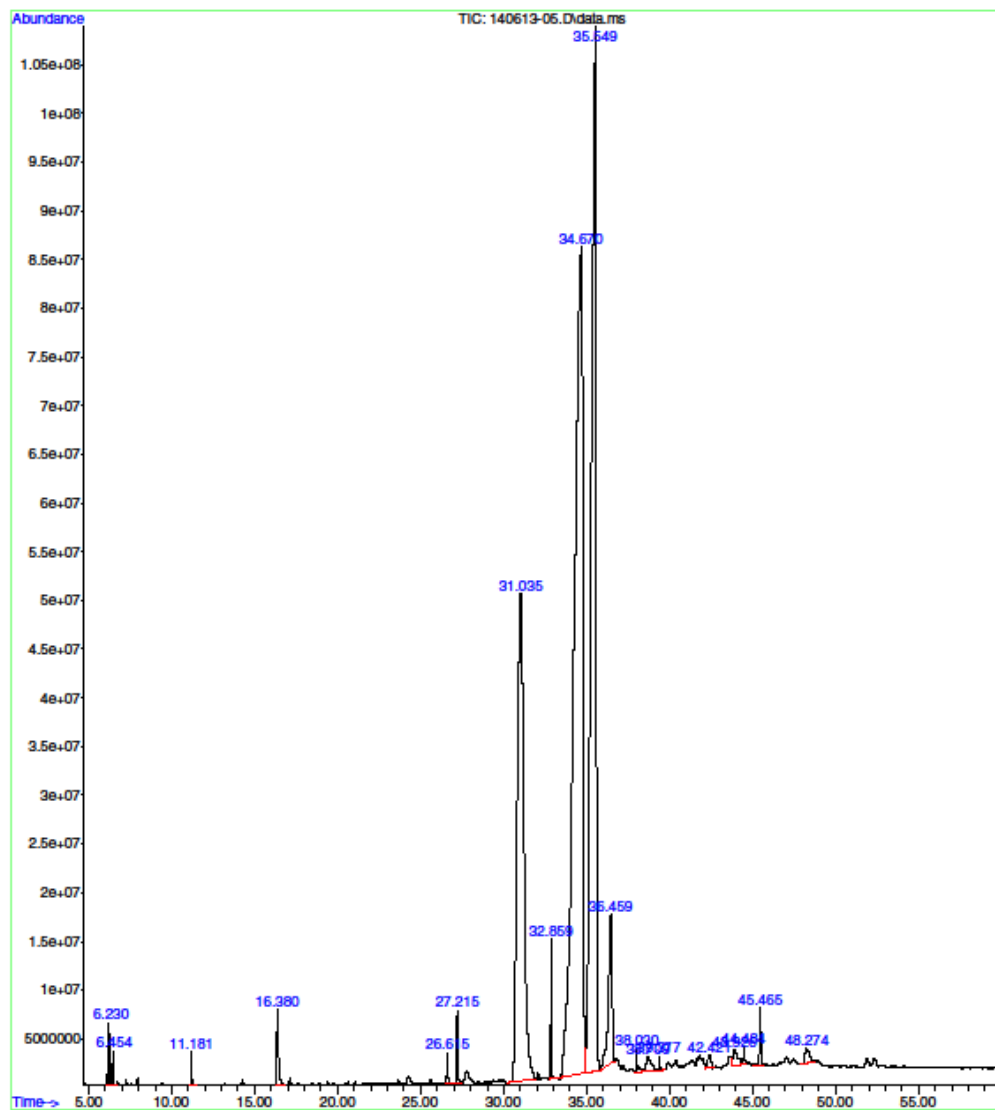


Figura 72. Cuantificación de áreas para cromatograma de análisis de biodiésel de prueba piloto 3 (página 1)

## LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Biodiesel\Chico\  
 Data File : 140613-05.D  
 Title :  
 Acq On : 13 Jun 2014 18:55  
 Operator : AdeM  
 Sample : Muestra B2  
 Misc : Muestra B2  
 ALS Vial : 5 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: ChemStation Integrator - autoint1.e

PK#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	6.229	0.25	C:\Database\NIST05a.L			
			Pentane	694	000109-66-0	91
			Pentane	695	000109-66-0	90
			Pentane	692	000109-66-0	90
2	6.452	0.09	C:\Database\NIST05a.L			
			Heptane	3885	000142-82-5	96
			Heptane	3886	000142-82-5	94
			Heptane	3884	000142-82-5	90
3	11.182	0.19	C:\Database\NIST05a.L			
			Hexanal	3688	000066-25-1	91
			Hexanal	3690	000066-25-1	72
			Hexanal	3684	000066-25-1	64
4	16.381	0.77	C:\Database\NIST05a.L			
			Octanoic acid, methyl ester	28925	000111-11-5	91
			Octanoic acid, methyl ester	28914	000111-11-5	90
			Octanoic acid, methyl ester	28923	000111-11-5	83
5	26.616	0.18	C:\Database\NIST05a.L			
			2,4-Decadienal, (E,E)-	24069	025152-84-5	83
			2,4-Decadienal, (E,E)-	24067	025152-84-5	81
			2,4-Decadienal	24037	002363-88-4	74
6	27.216	0.45	C:\Database\NIST05a.L			
			2,4-Decadienal, (E,E)-	24070	025152-84-5	94
			2,4-Decadienal, (E,E)-	24069	025152-84-5	90
			2,4-Nonadienal	16909	006750-03-4	83
7	31.033	19.88	C:\Database\NIST05a.L			
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105644	000112-39-0	94
			Pentadecanoic acid, 14-methyl-, methyl ester	105661	005129-60-2	93
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105646	000112-39-0	91
8	32.861	0.64	C:\Database\NIST05a.L			
			Nonanoic acid, 9-oxo-, methyl ester	47032	001931-63-1	91
			Nonanoic acid, 9-oxo-, methyl ester	47033	001931-63-1	83
			Pentanoic acid, 4-methyl-, methyl ester	13117	002412-80-8	47
9	34.671	41.44	C:\Database\NIST05a.L			
			9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	122323	000112-62-9	99
			9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	122326	001937-62-8	99
			8-Octadecenoic acid, methyl ester	122297	002345-29-1	99
10	35.549	30.46	C:\Database\NIST05a.L			
			9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester, (E,E)-	121112	002566-97-4	99
			10,13-Octadecadienoic acid, methyl ester	121100	056554-62-2	99
			9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester	121106	000112-63-0	99

Figura 73. Cuantificación de áreas para cromatograma de análisis de biodiésel de prueba piloto 3 (página 2)

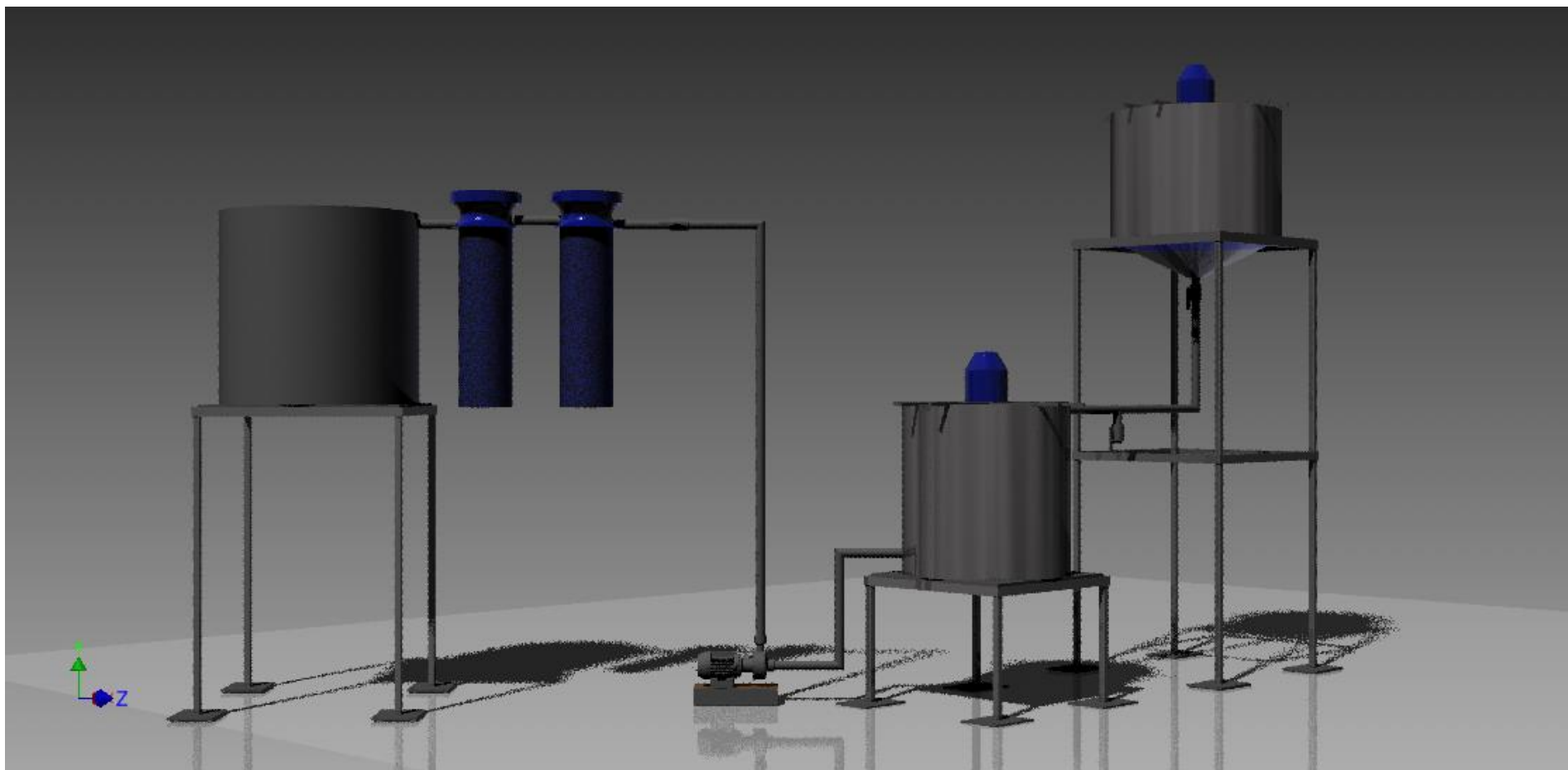
LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Biodiesel\Chico\  
 Data File : 140613-05.D  
 Title :  
 Acq On : 13 Jun 2014 18:55  
 Operator : AdeM  
 Sample : Muestra B2  
 Misc : Muestra B2  
 ALS Vial : 5 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0  
 Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: ChemStation Integrator - autoint1.e

PK#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
11	36.459	3.25	C:\Database\NIST05a.L 9,12,15-Octadecatrienoic acid, met hyl ester, (Z,Z,Z)-	119876	000301-00-8	90
			9,12,15-Octadecatrienoic acid, eth yl ester, (Z,Z,Z)-	128661	001191-41-9	90
			9,12,15-Octadecatrienoic acid, met hyl ester, (Z,Z,Z)-	119875	000301-00-8	90
12	38.028	0.19	C:\Database\NIST05a.L Methyl 10-oxo-8-decanoate	55511	065114-83-2	58
			Cyclooctene, 1,2-dimethyl-	16326	054299-96-6	53
			Oxiraneundecanoic acid, 3-pentyl-, methyl ester, cis-	132219	038520-30-8	46
13	38.711	0.45	C:\Database\NIST05a.L Docosanoic acid, methyl ester	154653	000929-77-1	97
			Docosanoic acid, methyl ester	154650	000929-77-1	96
			Docosanoic acid, methyl ester	154652	000929-77-1	94
14	39.375	0.10	C:\Database\NIST05a.L 7-Octadecenoic acid, methyl ester	122298	057396-98-2	90
			Methyl 12-oxo-9-dodecenoate	75700	022418-58-2	81
			9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	122326	001937-62-8	78
15	42.422	0.25	C:\Database\NIST05a.L 2-Dodecen-1-yl(-)succinic anhydrid	102622	019780-11-1	78
			Cyclohexene, 1-pentyl-4-(4-propyl cyclohexyl)-	109662	108067-20-5	47
			4,4-Diallyl-cyclohexanone	41625	1000186-50-2	47
16	43.928	0.44	C:\Database\NIST05a.L 2-Dodecen-1-yl(-)succinic anhydrid	102622	019780-11-1	92
			9-Hexadecenoic acid, methyl ester, (Z)-	104156	001120-25-8	64
			E-2-Methyl-3-tetradecen-1-ol aceta te	104140	1000130-81-2	50
17	44.483	0.12	C:\Database\NIST05a.L 6,11-Undecadiene, 1-acetoxy-3,7-di methyl-	93440	1000150-66-0	83
			Bicyclo[3.1.1]heptane, 2,6,6-trime thyl-, [1R-(1.alpha.,2.alpha.,5.alpha.)] -	16450	004863-59-6	70
			Z,E-7,11-Hexadecadien-1-yl acetate	112001	051607-94-4	49
18	45.465	0.46	C:\Database\NIST05a.L 1,1-Cyclohexane diacetic acid	56795	009355-11-7	58
			Methyl ethyl cyclopentene	5808	019780-56-4	52
			6-Methyl-bicyclo[4.2.0]octan-7-one	16982	1000193-87-2	49
19	48.272	0.38	C:\Database\NIST05a.L 1,5,9,13-Tetradecatetraene	50002	051487-38-8	80
			Cyclododecanone, 2-methylene-	52812	003045-76-9	46
			9,12,15-Octadecatrienoic acid, met hyl ester, (Z,Z,Z)-	119877	000301-00-8	42

Figura 74. Simulación 3D de planta de tratamiento de agua proveniente del proceso de lavado de biodiésel de agua del proceso de lavado del biodiésel



b. Ecuaciones (Referirse a la figura 6 de apéndice para el uso de las ecuaciones)

Ecuación 1: Relación diámetro total de tanque con diámetro hélice de mezclado

$$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3}$$

Ecuación 2: Relación altura del tanque con diámetro total

$$\frac{H}{D_t} = 1$$

Ecuación 3: Relación ancho de deflectores con respecto a diámetro total de tanque

$$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12}$$

Ecuación 4: Relación de altura de hélice con respecto a diámetro total de tanque

$$\frac{E}{D_t} = \frac{1}{3}$$

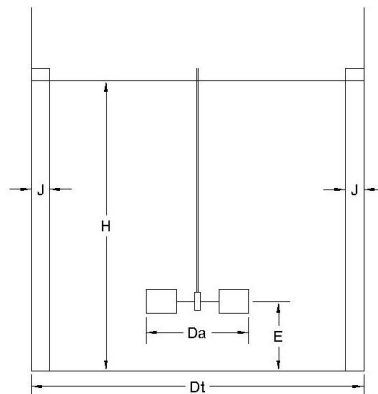
Ecuación 5: Relación alto de aspa de hélice con respecto al diámetro total de hélice

$$\frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}$$

Ecuación 6: Relación ancho de aspa de hélice con respecto al diámetro total de hélice

$$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4}$$

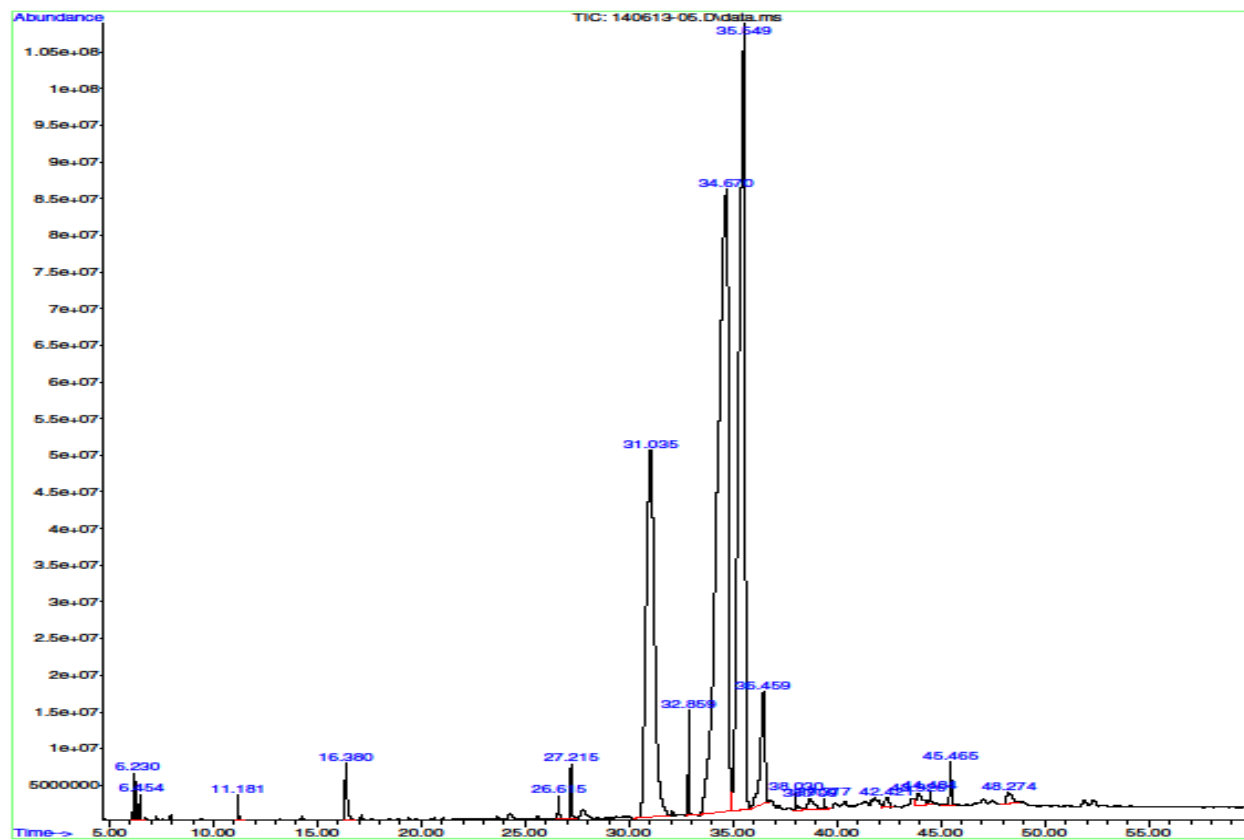
Figura 75. Diagrama de tanque agitado para el uso de ecuaciones de diseño de tanques según McCabe W. 2007



c. Cotizaciones de reactivos utilizados en pruebas de laboratorio.

Figura 76. Cotización ácido clorhídrico 37%

```
File       : C:\msdchem\1\DATA\Biodiesel\Chico\140613-05.D
Operator   : Adem
Acquired   : 13 Jun 2014  18:55   using AcqMethod ACIDOS GRASOS HP88 SCAN BIO.M
Instrument  : GC-MSD
Sample Name: Muestra B2
Misc Info  : Muestra B2
Vial Number: 5
```





c. Procedimiento para el tratamiento de agua proveniente del proceso del lavado de biodiésel

A continuación se enumeran los pasos a seguir para realizar el procedimiento de tratamiento de agua manual en un tanque de acero inoxidable.

1.) Colocarse equipo de seguridad incluyendo los siguientes accesorios: guantes de nitrilo, mascarilla N95 3M, bata de seguridad, casco de seguridad, botas de seguridad y lentes protectores para ojos. En la ilustración 1 se muestra el uso correcto de los equipos de seguridad

Figura 78. Equipo de seguridad utilizado para tratamiento de agua del proceso del lavado de biodiésel



2.) Entre al formato de Excel con nombre tratamiento de agua de lavado de biodiésel. Ingrese los valores que se le solicitan.

3.) Retire el agua del reactor de biodiésel recuperando la fase acuosa y dejando pasar un poco de la fase orgánica para eliminar el agua por completo del biodiésel como se muestra en la ilustración 2.

Figura 79. Recuperación de agua del proceso del lavado de biodiésel



4.) Agregue el agua recuperada al tanque de tratamiento de agua como se muestra en la ilustración 3

Figura 80. Adición de agua emulsionada a tanque de tratamiento



5.) Agregue la cantidad de ácido sulfúrico que el formato de Excel le indicó. Con precaución agregue poco a poco y agite.

6.) Deje el agua emulsionada reposar por lo menos durante 24 horas, esto permitirá que la fase acuosa se separe de la fase orgánica

7.) Recupere en una cubeta de plástico la fase acuosa como se muestra en la ilustración.

Figura 81. Recuperación de fase acuosa del proceso de acidificación



8.) Recupere la fase orgánica en una cubeta limpia para ser reprocesada posteriormente.

9.) Agregue nuevamente el agua recuperada al tanque de tratamiento de agua

10.) Agregue la cantidad de óxido de calcio que el formato de Excel le indicó. Con precaución agregue lentamente y agite despacio para evitar formación de vapores como se muestra en la ilustración 5.

Figura 82. Adición de óxido de calcio a agua acidificada



- 11.) Deje reposar durante 12 horas para la precipitación total de los jabones y óxido de calcio.
- 12.) Coloque un filtro manta en una cubeta y lentamente recupere el agua del tanque de tratamiento de agua.
- 13.) Al agua recuperada agregue la cantidad de EDTA que le solicitó el formato de Excel y agüite lentamente.
- 14) Agregue el agua al tanque de filtración y hágalo pasar por los cartuchos de carbón activado y 5 micrones, como se muestra en la ilustración 6.

Figura 83. Planta de filtración para el agua proveniente del proceso de lavado de biodiésel



B. PRODUCCION DE  
A PARTIR DE LA  
RESIDUAL

PROPILENGLICOL  
GLICERINA

### 1. Condiciones de limpieza de glicerina

Reactivos utilizados para la limpieza y purificación de cada uno de los lotes utilizados. Se utilizó ácido fosfórico para llevar la glicerina a un pH ácido entre 2-4. Se dejó reposar por 24 horas para poder hacer una separación de la fase de ésteres y jabones con la fase de la glicerina. Al tener las fases bien separadas, se procedió a obtener la fase superior la cual es la de la glicerina libre de ésteres y jabones. Esta fase se llevó a una neutralización utilizando hidróxido de sodio. Con ayuda de un potenciómetro y titulando en NaOH se logró llevar la solución a un pH de 7. Luego se filtró la muestra para separar de las sales inorgánicas y jabones, quedando únicamente glicerina. Se filtro 3 veces. Luego se decantó para poder separar totalmente alguna traza de grasa que haya quedado en la muestra de glicerina. Luego se calienta a ebullición para lograr la evaporación de residuos de metanol y agua que quedaron en la glicerina.

Tabla 99. Reactivos utilizados para limpieza de glicerina

Hidróxido de Sodio 10 M	250 mL
Ácido fosfórico	25 mL/ 150g

Tabla 100. Equipo utilizado para la limpieza de glicerina

Potenciómetro Accumet Fisher Scientific,
Estufa con agitación Rango: 0-540°C

## 2. Procedimiento de limpieza de glicerina

Figura 84. Acidificación de glicerina para la separación de fases de glicerina y ésteres.



Figura 85. Proceso de neutralización de glicerina

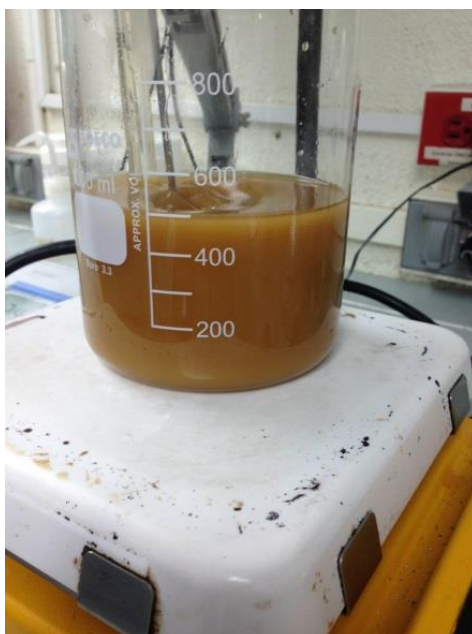


Figura 86. Glicerina neutralizada

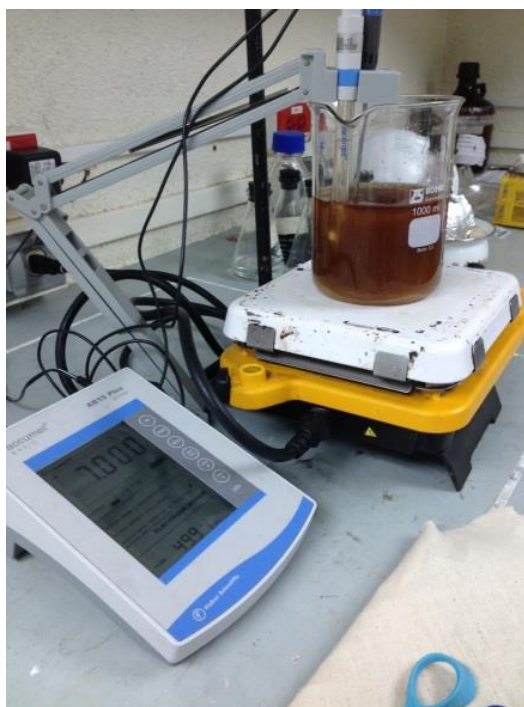


Figura 87. Separación de fases de glicerina y ésteres y jabones



Figura 88. Decantación de la fase para obtener glicerina ya tratada.



### 3. Cromatografías para caracterización de glicerina

Para lograr la caracterización de la glicerina ya tratada, se utilizó el Cromatógrafo Cromatógrafo HP 5890 II (Cromatógrafo de gases de alta resolución con Software HP Chem Station) ubicado en el laboratorio

de Instrumental Avanzado.

Para poder hacer la corrida en el Cromatógrafo, se utilizó como fase móvil etanol, ya que este es soluble en la glicerina. Se necesito preparar 5 soluciones de etanol-glicerina estándar, siendo estas en concentraciones de 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 g/ml.

Así mismo, para las muestras se hicieron diluciones con etanol, estando a concentración de 0.3 g/mL. Las muestras fueron tomadas de distintos lotes en el proceso de biodiésel en la planta del laboratorio de operaciones unitarias de la Universidad del Valle de Guatemala.

Figura 89. Estándares y muestras diluidas con etanol para la columna de cromatografía.



Figura 90. resultados de cromatografía para la primera muestra

LJQA Library Search Report

---

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Megaproyectos\Glicerina\  
 Data File : 141002-05.D  
 Title : Calibracion Glicerina  
 Acq On : 2 Oct 2014 18:18  
 Operator : AdeM  
 Sample : Muestra 1  
 Misc : M1  
 ALS Vial : 6 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: CsemStation Integrator - glicerina.e

k#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	3.722	2.23	C:\Database\NIST05a.L			
			Ethane, 1,1-diehoxy-	8556	000105-57-7	72
			Ethane, 1,1-diehoxy- Propylene Glycol	8560	000105-57-7	64
2	3.772	2.21	C:\Database\NIST05a.L			
			Ethane, 1,1-diehoxy- Ioxazolidine	717	000504-72-3	53
			Propylene Glycol	916	000057-55-6	50
3	10.385	0.30	C:\Database\NIST05a.L			
			D-Limonene	15162	005989-27-5	70
			Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methyl thanyl)-, (S)-	15365	005989-54-8	68
			Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methyl thanyl)-, (+/-)-	15372	007705-14-8	64
4	14.502	93.18	C:\Database\NIST05a.L			
			Glycerin	2366	000056-81-5	72
			Diglycerol	33696	000627-82-7	64
5	21.898	0.27	C:\Database\NIST05a.L			
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105639	000112-39-0	98
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105644	000112-39-0	96
6	23.540	0.72	C:\Database\NIST05a.L			
			9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester	121093	002462-85-3	99
			9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester	121105	000112-63-0	99
			10,13-Octadecadienoic acid, methyl ester	121100	056554-62-2	99
7	23.585	0.77	C:\Database\NIST05a.L			
			9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl e ster	122321	000112-62-9	99
			8-Octadecenoic acid, methyl ester	122297	002345-29-1	99
8	26.187	0.32	C:\Database\NIST05a.L			
			Hexanedioic acid, bis(2-ethylhexyl ) ester	161423	000103-23-1	87
			Hexanedioic acid, bis(2-ethylhexyl ) ester	161420	000103-23-1	87
			Hexanedioic acid, bis(2-ethylhexyl ) ester	161419	000103-23-1	87

Figura 91. Resultados de cromatografía para la segunda muestra

## LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Megaproyectos\Glicerina\  
 Data File : 141002-06.D  
 Title : Calibracion Glicerina  
 Acq On : 2 Oct 2014 19:07  
 Operator : Adem  
 Sample : Muestra 2  
 Misc : M2  
 ALS Vial : 7 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: ChemStation Integrator - glicerina.e

PK#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	3.694	1.25	C:\Database\NIST05a.L Ethane, 1,1-diethoxy- Ethane, 1,1-diethoxy- Propanoic acid, 2-hydroxy-, ethyl ester, (S)-	8556 8560 8472	000105-57-7 000105-57-7 000687-47-8	64 47 47
2	14.502	97.37	C:\Database\NIST05a.L Glycerin Glycerin Diglycerol	2368 2367 33696	000056-81-5 000056-81-5 000627-82-7	72 56 40
3	21.898	0.22	C:\Database\NIST05a.L Hexadecanoic acid, methyl ester Hexadecanoic acid, methyl ester Hexadecanoic acid, methyl ester	105644 105639 105645	000112-39-0 000112-39-0 000112-39-0	97 95 93
4	23.545	0.51	C:\Database\NIST05a.L 9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester 9,15-Octadecadienoic acid, methyl ester, (Z,Z)- 11,14-Octadecadienoic acid, methyl ester	121093 121114 121099	002462-85-3 017309-05-6 056554-61-1	99 99 98
5	23.590	0.50	C:\Database\NIST05a.L 9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl e ster 9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl e ster 7-Octadecenoic acid, methyl ester	122321 122323 122298	000112-62-9 000112-62-9 057396-98-2	99 99 99
6	23.813	0.06	C:\Database\NIST05a.L Octadecanoic acid, methyl ester Octadecanoic acid, methyl ester Octadecanoic acid, methyl ester	123709 123700 123708	000112-61-8 000112-61-8 000112-61-8	98 97 95
7	26.192	0.09	C:\Database\NIST05a.L Hexanedioic acid, bis(2-ethylhexyl ) ester Hexanedioic acid, bis(2-ethylhexyl ) ester Hexanedioic acid, bis(2-ethylhexyl ) ester	161421 161420 161419	000103-23-1 000103-23-1 000103-23-1	76 76 76

LIQA Library Search Report						
Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Megaproyectos\Glicerina\						
Data File : 141002-07.D						
Title : Calibracion Glicerina						
Acq On : 2 Oct 2014 19:56						
Operator : AdeM						
Sample : Muestra 3						
Misc : M3						
ALS Vial : 8 Sample Multiplier: 1						
Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0						
Unknown Spectrum: Apex						
Integration Events: ChemStation Integrator - glicerina.e						
Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	3.708	0.82	C:\Database\NIST05a.L			
			Ethane, 1,1-diethoxy-	8556	000105-57-7	64
			(S)-(+)-1,2-Propanediol	928	004254-15-3	47
			Ethane, 1,1-diethoxy-	8560	000105-57-7	43
2	14.502	98.67	C:\Database\NIST05a.L			
			Glycerin	2367	000056-81-5	83
			Glycerin	2368	000056-81-5	83
			Glycerin	2366	000056-81-5	74
3	21.902	0.08	C:\Database\NIST05a.L			
			Pentadecanoic acid, 14-methyl-, me	105662	005129-60-2	98
			thyl ester			
			Hexadecanoic acid, methyl ester	105644	000112-39-0	96
			Tridecanoic acid, methyl ester	77300	001731-88-0	94
4	23.540	0.17	C:\Database\NIST05a.L			
			9,12-Octadecadienoic acid, methyl	121093	002462-85-3	99
			ester			
			11,14-Octadecadienoic acid, methyl	121099	056554-61-1	98
			ester			
			9,12-Octadecadienoic acid, methyl	121112	002566-97-4	95
			ester, (E,E)-			
5	23.585	0.18	C:\Database\NIST05a.L			
			9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl e	122321	000112-62-9	99
			ster			
			9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl e	122323	000112-62-9	99
			ster			
			9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	122326	001937-62-8	99
			(E)-			
6	26.187	0.07	C:\Database\NIST05a.L			
			Hexanedioic acid, bis(2-ethylhexyl	161420	000103-23-1	93
			) ester			
			Hexanedioic acid, bis(2-ethylhexyl	161423	000103-23-1	81
			) ester			
			Hexanedioic acid, bis(2-ethylhexyl	161422	000103-23-1	76
			) ester			

Figura 93. Resultados de cromatografía para la cuarta muestra

## LIQA Library Search Report

Data Path : C:\msdchen\1\DATA\Megaproyectos\Glicerina\  
 Data File : 141002-08.D  
 Title : Calibracion Glicerina  
 Acq On : 2 Oct 2014 20:45  
 Operator : AdEM  
 Sample : Muestra 4  
 Misc : M4  
 ALS Vial : 9 Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: ChemStation Integrator - glicerina.e

Pk#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	3.662	0.27	C:\Database\NIST05a.L			
			Ethane, 1,1-diethoxy-	8556	000105-57-7	78
			Isoxazolidine	717	000504-72-3	50
			Propylene Glycol	916	000057-55-6	46
2	14.502	99.63	C:\Database\NIST05a.L			
			Glycerin	2367	000056-81-5	83
			Glycerin	2366	000056-81-5	83
			Glycerin	2368	000056-81-5	50
3	23.545	0.04	C:\Database\NIST05a.L			
			9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester	121093	002462-85-3	99
			9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester	121105	000112-63-0	99
			9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester	121107	000112-63-0	99
4	23.590	0.03	C:\Database\NIST05a.L			
			7-Octadecenoic acid, methyl ester	122298	057396-98-2	99
			9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester	122321	000112-62-9	99
			8-Octadecenoic acid, methyl ester	122297	002345-29-1	99
5	26.187	0.02	C:\Database\NIST05a.L			
			Hexanedioic acid, bis(2-ethylhexyl) ester	161421	000103-23-1	76
			Hexanedioic acid, bis(2-ethylhexyl) ester	161420	000103-23-1	76
			Diisooctyl adipate	161407	001330-86-5	68

Figura 94. Tiempo de retención de glicerina para la muestra No. 1

TIC: 141003-05.D\data.ms

Muestra 1

Peak #	Ret Time	Type	width	Area	Start Time	End Time
1	0.944	BV	0.028	41251	0.909	0.959
2	0.965	VB	0.028	34670	0.959	1.061
3	1.256	BB	0.032	26562	1.213	1.401

Figura 95. Tiempo de retención de glicerina para la muestra No. 2

TIC: 141003-06.D\data.ms

Muestra 2

Peak #	Ret Time	Type	width	Area	Start Time	End Time
1	0.947	BB	0.052	82485	0.909	1.070
2	1.306	BB	0.082	91500	1.209	1.499

Figura 96. Tiempo de retención de glicerina para la muestra No. 3

TIC: 141003-07.D\data.ms

Muestra 3

Peak #	Ret Time	Type	width	Area	Start Time	End Time
1	0.955	BV	0.042	57739	0.905	0.973
2	0.980	VB	0.040	46846	0.973	1.124
3	1.318	BB	0.072	105912	1.213	1.512

Figura 97. Tiempo de retención de glicerina para la muestra No. 4

TIC: 141003-08.D\data.ms

Muestra 4

Peak #	Ret Time	Type	width	Area	Start Time	End Time
1	0.946	rBV	0.199	8196	0.903	1.102
2	1.563	rBV	0.864	43993	1.161	2.025

## C. PRODUCCIÓN MICROBIANA DE ACEITE A PARTIR DE LA GLICERINA RESIDUAL

### 1. Cálculos de muestra:

#### a. Conversión del sustrato en células ( $Y_{x/s}$ )

Esta depende de las condiciones de crecimiento como el pH, temperatura, concentración de oxígeno y otras variables; como el tipo de cultivo. Debe establecerse los rangos de rendimiento más comunes (Maldonado, 2013).

$$Y_{x/s} = \frac{\text{Gramos de biomasa}}{\text{Gramos de sustrato}}$$

#### b. Rendimiento de en la producción de aceite aparentes.

$$Y_{p/x} = \frac{\text{Gramos de aceite}}{\text{Gramos de biomasa}}$$

### 2. Determinación de la incertidumbre del equipo

#### a. Incertidumbre por suma

$$s_y = \sqrt{sa^2 + sb^2 + sc^2} \quad (\text{Ecuación \#6})$$

#### b. Incertidumbre por multiplicación y división

$$S_y = y * \sqrt{\left(\frac{S_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{S_b}{b}\right)^2} \quad (\text{Ecuación \#7})$$

## 3. Fotografías relevantes

Figura 98. Resultado de la cromatografía líquida realizada a la glicerina recuperada.

LIQA      Library Search Report

Data Path : C:\msdchem\1\DATA\Megaproyectos\Glicerina\  
 Data File : 141002-08.D  
 Title : Calibracion Glicerina  
 Acq On : 2 Oct 2014 20:45  
 Operator : AdeM  
 Sample : Muestra 4  
 Misc : M4  
 ALS Vial : 9    Sample Multiplier: 1

Search Libraries: C:\Database\NIST05a.L                    Minimum Quality: 0

Unknown Spectrum: Apex  
 Integration Events: ChemStation Integrator - glicerina.e

%#	RT	Area%	Library/ID	Ref#	CAS#	Qual
1	3.662	0.27	C:\Database\NIST05a.L Ethane, 1,1-diethoxy- Isoxazolidine Propylene Glycol	8556 717 916	000105-57-7 000504-72-3 000057-55-6	78 50 46
2	14.502	99.63	C:\Database\NIST05a.L Glycerin Glycerin Glycerin	2367 2366 2368	000056-81-5 000056-81-5 000056-81-5	83 83 50
3	23.545	0.04	C:\Database\NIST05a.L 9,12-Octadecadienoic acid, methyl ester 9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester 9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester	121093 121105 121107	002462-85-3 000112-63-0 000112-63-0	99 99 99
4	23.590	0.03	C:\Database\NIST05a.L 7-Octadecenoic acid, methyl ester 9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl e ster 8-Octadecenoic acid, methyl ester	122298 122321 122297	057396-98-2 000112-62-9 002345-29-1	99 99 99
5	26.187	0.02	C:\Database\NIST05a.L Hexanedioic acid, bis(2-ethylhexyl ) ester Hexanedioic acid, bis(2-ethylhexyl ) ester Diisooctyl adipate	161421 161420 161407	000103-23-1 000103-23-1 001330-86-5	76 76 68

Figura 99. Sabouroud 2%, peptona de caseína y peptona de carne pesados.



Figura 100. Incubadora agitado de medio controlado.



Figura 101. Preparación del medio compuesto de saboudoud 2%, peptona de caseína y peptona de carne y glicerina.

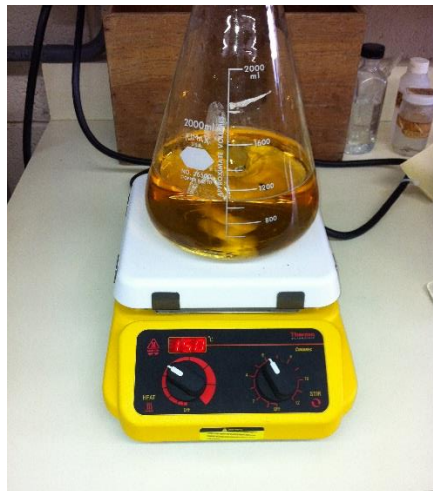


Figura 102. Medio fermentado por 168h con proporción del 1.25%, 2.50% y 5.00% en volumen de glicerina. Se utilizó a la vez una muestra control para comparación de los resultados.



Figura 103. Biomasa húmeda producida durante la fermentación del medio con 2.50% de volumen constituido de glicerina, luego de centrifugarse y drenar el sobrenadante.



Figura 104. Biomasa húmeda producido durante la fermentación de medio con 1.25% en volumen de glicerina, luego a centrifugarse y drenar el sobrenadante.

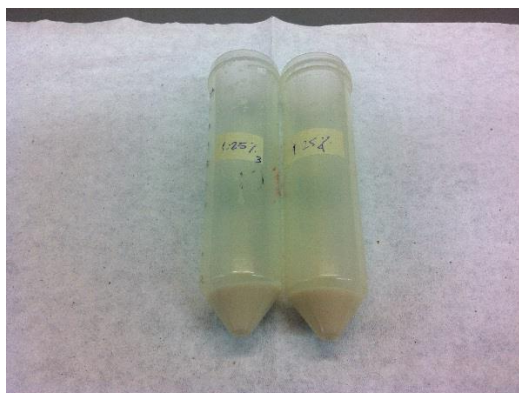


Figura 105. Biomasa húmeda producida durante la fermentación del medio con 2.00% de volumen constituido de glicerina, luego de centrifugarse y drenar el sobrenadante.



Figura 106. Biomasa y sobrenadante obtenidos de la centrifugación de una alícuota de  $10.00 \pm 0.05$  mL del fermentado con 5.00% de glicerina en volumen.

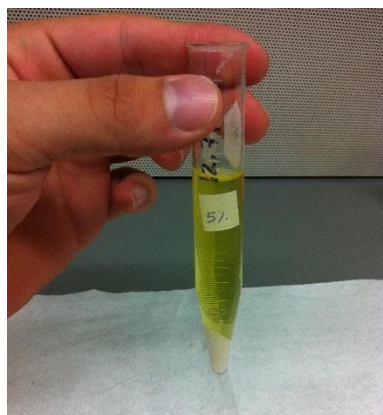


Figura 107. Biomasa seca de 7 muestras de  $10.00 \pm 0.05$  mL de fermentado utilizada para determinar la producción de biomasa total según el medio y la proporción de glicerina contenido.



Figura 108. Biomasa obtenida producto de la fermentación con levadura *Lipomyces starkeyi* posterior a un proceso de secado y deshidratado.



Figura 109. Sistema armado para extracción de aceite aparentes utilizando un extractor por solvente soxhlet, una estufa y accesorios.



Figura 110. Aceite obtenido luego de evaporar por completo el solvente, producto de la fermentación de la muestra con 1.25% en volumen de glicerina con levadura *Lipomyces starkeyi*.

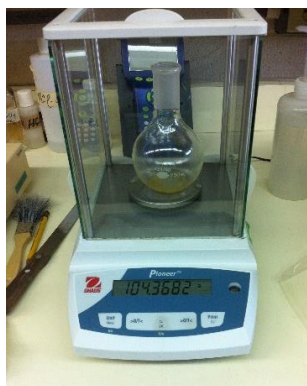


Figura 111. Sistema de destilación para la recuperación de solvente (hexano) en la extracción de aceite aparente.

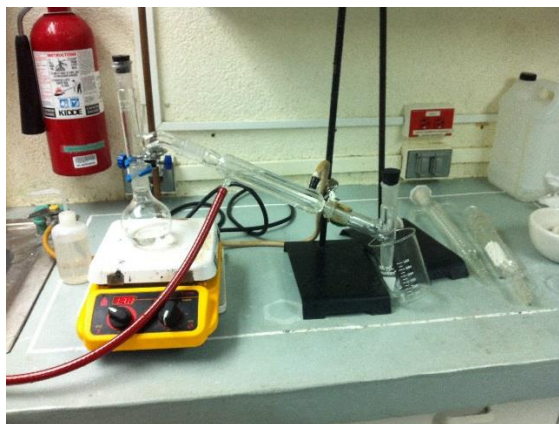


Figura 112. Reactivos, equipo, cristalería y accesorios auxiliares utilizados en la recuperación de aceite aparente.



## D. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL UTILIZANDO ULTRASONIDO Y SIN ULTRASONIDO CON TRATAMIENTO DE AGUA DE LAVADO

Análisis de resultados. En los siguientes apartados se podrá observar los análisis económicos de las diferentes producciones, es decir, de la producción de biodiésel utilizando ultrasonido y de la producción actual sin utilizar ultrasonido. Además, también se puede encontrar el análisis del tratamiento de agua de lavado individual y como parte de ambos procesos de producción de biodiésel. Estos análisis se encontrarán en escala laboratorio y a nivel planta. Los análisis de costos de la producción de biodiésel se realizaron por medio de balance de equipo, balances de obras físicas, balances de personal y balances de insumos. Los costos de equipos e insumos se realizaron por medio de cotizaciones; el costo de personal se realizó utilizando el salario mínimo vigente para el año 2014 para el área no agrícola de Guatemala siendo este de Q.2, 530 mensuales. El costo por metro cuadrado de obras físicas se realizó por medio de cotizaciones realizando un promedio por costo de metro cuadrado.

Durante el análisis se presentaron precios en USD (dólares estadounidenses) por lo que se utilizó el tipo de cambio vigente al 25 de septiembre del 2014 siendo este de Q. 7.72 por cada dólar presentado según el Banco de Guatemala (Banguat).

Se especifica que todo análisis de costos se realizó mensualmente proyectándolos para calcular un precio anual, los análisis de periodo de recuperación y costo beneficio se realizaron anuales (12 meses en el año). Se obtuvieron datos por corrida de producción, por lo que para proyectarlos mensualmente se establecieron 20 días hábiles de producción en el mes, es decir, una corrida por día (obtenido en el análisis de producción), por lo que los datos por corrida fueron multiplicados por 20 para obtener el dato mensual.

Para llevar a cabo la realización de los cálculos pertinentes a equipos, insumos, personal y obras físicas. Se consideraron los precios de los servicios de luz y electricidad, así también, el precio por metro cuadrado de terrenos en zona 16 de la ciudad Capital, tipo de cambio utilizado y salario mínimo vigente para el año 2014. Ver anexo 2, detalle (). Para poder proseguir con los análisis pertinentes entre costos fijos y costos variables.

Los costos fijos encontrados en los siguientes análisis son los que se encontrarán en los balances del personal, ya que son aquellos costos que no están directamente relacionados con la variación de producción, es decir, sin importar si se produce o no, estos costos seguirán estando; ya que el personal devenga un sueldo fijo que no varía por productividad.

Se considerará una inversión todo aquello encontrado en los balances de equipo y de obras físicas; ya que son activos de la empresa que pueden ser líquidos a corto, mediano o largo plazo. Y por último, se

considerará como costo variable todos los insumos encontrados en los balances de insumos ya que son materiales o servicios que se consumen dependiendo la variación de la producción.

A. ANÁLISIS TIEMPO DE PRODUCCIÓN. SE REALIZÓ EL ANÁLISIS DE TIEMPO DE PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL TOMANDO EL TIEMPO POR PROCESO, EN EL SIGUIENTE ESQUEMA SE PODRÁ OBSERVAR LOS DATOS OBTENIDOS.

Tabla 101. Proceso de producción de biodiésel y tratamiento de agua

<b>PROCESO DE PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL Y TRATAMIENTO DE AGUA</b>				
<b>Proceso</b>	<b>PROCESO</b>		<b>PROCESO PARALELO</b>	
	<b>Tiempo (min)</b>	<b>Tiempo paralelo (min)</b>	<b>Tratamiento de agua</b>	<b>Tiempo (min)</b>
Extracción del aceite	4			
Se calienta a 55 grados	20			
Se mezcla metanol y NaOH		3		
Se añade metóxido al reactor	6.6			
Se recalienta	5			
Se produce reacción	120		Tratar el agua con sulfato y reposo	240
Sedimentación	60			
Extracción de glicerina	6			
Lavar biodiésel crudo				
Ciclo 1				
Tiempo de lavado	60		Tratar el agua con cal y reposo	120
Separación de agua y biodiésel	60			
Extracción de agua de lavado	1			
Ciclo 2				
Tiempo de lavado	60			
Separación de agua y biodiésel	60			
Extracción de agua de lavado	1			
Evaporación	60			
Enfriamiento de biodiésel	60			
TIEMPO EN MINUTOS	584	3		360
TIEMPO EN HORAS	10	0.05		6

Se puede observar que en la producción dura un promedio de 10 horas tratando el agua de la producción de un día anterior de forma paralela a la producción de biodiésel.

Por medio de este dato, suponiendo que un mes tiene 20 días hábiles se estima una producción por día por lo que hubieran 10 corridas al mes, esto para análisis futuros de costos mensuales.

Es importante mencionar que la estimación de tiempo no tiene ningún retraso, por lo que todo el proceso puede realizarse en 10 horas sin tener horas muertas.

## E. ANÁLISIS DE COSTO A NIVEL LABORATORIO DE LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL

1. Análisis de Costo a nivel laboratorio de la producción de biodiésel con ultrasonido. En el análisis de costo a nivel laboratorio de la producción de biodiésel con ultrasonido se obtuvo una inversión de Q36, 691.07 con un costo por producción de Q3, 213.95.

A continuación se realiza la distinción de los costos directos e indirectos de fabricación para luego proseguir con el análisis de costo. Especificando que el aceite usado mientras no represente un costo en la producción es parte de los costos indirectos, sin embargo, si este llega a representar algún costo formaría parte de nuestros costos directos.

Tabla 102. Clasificación de costos directos e indirectos de la producción de biodiésel con ultrasonido a nivel laboratorio.

COSTOS DIRECTOS	
Auxiliar de laboratorio	Personal que será el encargado de realizar los procesos de producción de biodiésel.
Etanol	El etanol es parte de la materia prima para producir el biodiésel este tiene un precio que varía por peso por lo que afecta directamente al costo de producción. El etanol es parte para realizar la mezcla de metóxido.
Hidróxido de sodio	El hidróxido de sodio es parte de la materia prima para producir el biodiésel este tiene un precio que varía por peso por lo que afecta directamente al costo de producción. El hidróxido de sodio es parte para realizar la mezcla de metóxido.
Agua	El agua se utiliza para el proceso de lavado y la inyección de vapor durante el proceso de producción. Está clasificada como un costo directo ya que puede variar su valor monetario dependiendo del número de veces que se debe realizar el proceso de lavado.
Electricidad	La electricidad del proceso funciona durante todo el proceso por intervalos de tiempo.
COSTOS INDIFERCTOS DE FABRICACIÓN (CIF)	
Aceite usado	Siendo el aceite usado la principal materia prima del proceso, este hasta el momento no representa ningún valor monetario, sin embargo, si este llegará a tener el costo sería mínimo ya que es un aceite reciclado.
Guantes	Los guates representan un costo mínimo dentro del proceso, se utilizan como sistema de seguridad.
Mascarilla	La mascarilla representa un costo mínimo dentro del proceso, se utiliza como sistema de seguridad.

Ya habiendo realizado la clasificación entre costos directos e indirectos proseguiremos con la revisión numérica de los datos vistos anteriormente. Esto con el fin de realizar un cálculo que nos ayude a establecer el costo de producción mensual a escala laboratorio de la producción de biodiésel utilizando ultrasonido.

Se realizaron diversas pruebas de laboratorio las cuales variaban ciertas características como los es frecuencia del ultrasonido, agitación y temperatura. A continuación se verán las pruebas realizadas.

Tabla 103. Resultado de pruebas variando frecuencia, agitación y temperatura

Prueba	Frecuencia ultrasonido (%)	Agitación (rpm)	Temperatura de reacción (°C)	Masa de aceite utilizado (g)	Masa biodiésel producido (g)	Masa glicerina producido (g)
B	50%	0	21	85.0119	Gelatinizó	
F	50%	0	60	85.0668	Gelatinizó	
D	50%	400	21	85.0256	59.0251	26.6731
H	50%	400	60	85.0256	53.1469	33.5595
C	90%	400	23	85.0267	59.6974	24.2104
G	90%	400	52	85.0607	54.6254	32.4191
A	90%	0	24	85.0130	54.3474	27.5772
E	90%	0	60	85.0776	53.6466	30.9360

Se observa que dos pruebas (B y F) realizadas con una frecuencia de 50% y sin agitación no resultaron, por las que son pruebas que se omiten en el siguiente análisis. Por otro lado las diferentes pruebas realizadas con amplitud de 50% y 90% con agitación y sin agitación presentaron una producción posible de realizar, sin embargo dos de dichas pruebas presentaron mejores resultados; siendo estas la prueba D con una frecuencia de 50%, agitación de 400 rpm y una temperatura de 21 °C y la prueba C con 90% de frecuencia, 400 rpm de agitación y temperatura de 23°C. Estas pruebas presentaron mayor producción de biodiésel siendo de 59.02 g y 50.69 g respectivamente. Debido a los resultados, se llegó a la conclusión que se realizará el análisis de la prueba D ya que a pesar que los resultados de producción de biodiésel son menores al de la prueba C, se puede reducir el nivel de consumo de energía ya que a más frecuencia mayor electricidad, al igual pasa con el consumo de energía para aumentar la temperatura; por ello podría ser un factor que encareciera el proceso debido a que la diferencia entre la prueba D y C no es significativo.

Por lo tanto, los siguientes datos son recolectados de la prueba D con una frecuencia de 50%, agitación de 400rpm y temperatura de 21°C. Los datos de personal e insumos son mensuales calculando así el costo mensual de producción. Los balances de equipo y de obras físicas son totales para calcular la inversión del proceso de producción.

Tabla 104. Balance de equipos de la producción de biodiésel con ultrasonido a nivel laboratorio.

<b>BALANCE DE EQUIPOS</b>				
<b>ÍTEM</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>	<b>VIDA ÚTIL</b>
Ultrasonido	1	Q30,622.41	Q30,622.41	15
Estufa	1	Q2,322.92	Q2,322.92	15
Agitador Magnético	1	Q578.50	Q578.50	15
Embudo de decantación	1	Q246.72	Q246.72	5
Mesa para trabajo	1	Q525.00	Q525.00	5

Tabla 105. Balance de obra física de la producción de biodiésel con ultrasonido a nivel laboratorio.

<b>BALANCE DE OBRAS FÍSICAS</b>					
<b>ÍTEM</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>	<b>ESPECIFICACIÓN TÉCNICA</b>	<b>TAMAÑO</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
Espacio para pruebas y almacenamiento de equipo	m2	Área plana, cimentada	1	Q2,395.53	Q2,395.53

Siendo el equipo y las obras físicas inversión para el proceso se tiene una inversión de:

Tabla 106. Inversión de la producción de biodiésel con ultrasonido a nivel laboratorio.

<b>INVERSIÓN</b>
Q36,691.07

Tabla 107. Balance de personal de la producción de biodiésel con ultrasonido a nivel laboratorio.

<b>BALANCE DE PERSONAL</b>			
		<b>REMUNERACIÓN MENSUAL</b>	
<b>CARGO</b>	<b>No DE PUESTOS</b>	<b>UNITARIA</b>	<b>TOTAL</b>
Auxiliar de Laboratorio	1	Q2,530.00	Q2,530.00

Tabla 108. Balance de insumos de la producción de biodiésel con ultrasonido a nivel laboratorio.

<b>BALANCE DE INSUMOS</b>					
<b>INSUMO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>	<b>COSTO MENSUAL</b>
Aceite usado	85	g	Q0.00	Q0.00	Q0.00
etanol anhidro	25	g	Q0.01	Q0.28	Q5.63
hidróxido de sodio	0.85	g	Q0.43	Q0.37	Q7.36
Electricidad	1.866	kWh	Q1.64	Q13.10	Q262.00
Agua	0.0003786	m <sup>3</sup>	Q1.12	Q16.00	Q320.01
Guantes de nitrilo	2	guates	Q0.71	Q1.42	Q28.35
Mascarilla	1	mascarilla	Q3.03	Q3.03	Q60.60

Se tiene un costo de producción (para producir 1180 g de biodiésel) entre el balance de personal y de insumos de:

Tabla 109. Costo de la producción mensual de biodiésel con ultrasonido a nivel laboratorio.

<b>COSTO TOTAL DE PRODUCCIÓN MENSUAL</b>
Q3,213.95

Los resultados que la prueba descrita anteriormente presentó fueron de.

Tabla 110. Resultados por corrida de la producción de biodiésel con ultrasonido a nivel laboratorio.

<b>RESULTADOS POR CORRIDA</b>	
Frecuencia ultrasonido (%)	50%
Agitación (rpm)	400
Temperatura de reacción (°C)	21
Masa de aceite utilizado (g)	85
Masa biodiésel producido (g)	59
Masa glicerina producido (g)	27

Observando que el nivel de inversión es muy alta a comparación con los resultados obtenidos, se deja claro que el proceso a escala laboratorio solamente es un proceso que se realiza para hacer pruebas y verificar

si un proceso establecido tiene resultados satisfactorios para luego poderlo llevar a cabo a nivel planta. Por esto el análisis a nivel laboratorio se deja solamente en la presentación de costos de producción e inversión, ya que no es un proceso en el que se verán ingresos a corto, mediano o largo plazo y por ende no sería un proyecto viable económicamente.

a. Análisis de costo a nivel laboratorio del tratamiento de agua de lavado. En el análisis de costo a nivel laboratorio del tratamiento de agua de lavado se obtuvo una inversión de Q4, 066.23 con un costo por producción de Q3, 044.97. El tratamiento de agua de lavado se realiza con el fin de obtener beneficios para el ambiente, ya que por lo general el agua se devuelve al ambiente con jabones y sustancias tóxicas, siendo este un proceso que suma importancia dentro del proyecto.

A continuación se realiza la distinción de los costos directos e indirectos de fabricación para luego proseguir con el análisis de costo.

Tabla 111. Clasificación de costos directos e indirectos del tratamiento de agua de lavado a nivel laboratorio.

COSTOS DIRECTOS	
Auxiliar de laboratorio	Personal que será el encargado de realizar los procesos de tratamiento de agua.
Ácido clorhídrico	El ácido clorhídrico es un compuesto químico utilizado en el proceso de acidificación.
Dicloruro de Calcio	El dicloruro de calcio es un compuesto químico utilizado en el proceso de acidificación.
COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN (CIF)	
Agua de lavado	Siendo el agua la materia prima para realizar el tratamiento de agua, no presenta ningún costo, ya que este costo es parte del proceso de producción de biodiésel, siendo el agua un residuo de dicho proceso.
Guantes	Los guantes representan un costo mínimo dentro del proceso, se utilizan como sistema de seguridad.
Mascarilla	La mascarilla representa un costo mínimo dentro del proceso, se utiliza como sistema de seguridad.

Ya habiendo realizado la clasificación entre costos directos e indirectos proseguiremos con la revisión numérica de los datos vistos anteriormente. Esto con el fin de realizar un cálculo que nos ayude a establecer el costo de tratamiento de agua de lavado mensual a escala laboratorio.

Se realizaron tres pruebas de laboratorio, por lo que los datos obtenidos en cada una se promediaron para obtener los resultados a trabajar.

Tabla 112. Resultados de pruebas de laboratorio para tratamiento de agua de lavado.

PRUEBA LABORATORIO	AGUA SUCIA (ml)	ÁCIDO SULFURICO (ml)	DICLORURO DE CALCIO (g)	BIODIÉSEL L (g)	AGUA (g)
1	100	78.4	1.61	28.29	271.71
2	100	81.8	1.53	28.29	270.03
3	100	82.3	1.68	28.31	271.69

Tabla 113. Promedio de resultados de pruebas de laboratorio para tratamiento de agua de lavado.

PROMEDIOS		
AGUA SUCIA	100.00	ml
ACIDO SULFURICO	80.83	ml
DICLORURO DE CALCIO	1.61	g
BIODIÉSEL	28.30	g
AGUA LIMPIA	271.14	g

Se observa que además de que el proceso de tratamiento de agua permite obtener una gran cantidad de agua limpia, también permite recuperar biodiésel del proceso teniendo aproximadamente una relación de 10% de biodiésel recuperado y 90% de obtención de agua limpia, por lo que es un proceso que brinda mucho beneficio para el ambiente como en el aumento de producción, ya que agrega biodiésel extra al obtenido en el proceso de producción de biodiésel.

Los datos de personal e insumos son mensuales calculando así el costo mensual de producción. Los balances de equipo y de obras físicas son totales para calcular la inversión del proceso de producción.

Tabla 114. Balance de equipo del tratamiento de agua de lavado a nivel laboratorio.

<b>BALANCE DE EQUIPOS</b>				
<b>ÍTEM</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>	<b>VIDA ÚTIL</b>
Erlenmeyer 250ml	3	24.75	74.25	5
Agitador magnético	1	578.5	578.5	5
Bureta 50ml	1	246.23	246.23	5
Decantador 125ml	1	246.72	246.72	5
Mesa para trabajo	1	525	525	5

Tabla 115. Balance de obra física del tratamiento de agua de lavado a nivel laboratorio.

<b>BALANCE DE OBRAS FÍSICAS</b>					
<b>ÍTEM</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>	<b>ESPECIFICACIÓN TÉCNICA</b>	<b>TAMAÑO</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
Espacio para pruebas y almacenamiento de equipo	m2	Área plana, cimentada	1	Q2,395.53	Q2,395.53

Siendo el equipo y las obras físicas inversión para el proceso se tiene una inversión de

Tabla 116. Inversión del tratamiento de agua de lavado a nivel laboratorio.

<b>INVERSIÓN</b>
Q4,066.23

Tabla 117. Balance de personal del tratamiento de agua de lavado a nivel laboratorio.

<b>BALANCE DE PERSONAL</b>			
<b>CARGO</b>	<b>No DE PUESTOS</b>	<b>REMUNERACIÓN MENSUAL</b>	
		<b>UNITARIA</b>	<b>TOTAL</b>
Auxiliar de Laboratorio	1	Q2,530.00	Q2,530.00

Tabla 118. Balance de insumos del tratamiento de agua de lavado a nivel laboratorio.

<b>BALANCE DE INSUMOS</b>					
<b>INSUMO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>	<b>COSTO MENSUAL</b>
Agua de lavado	100	ml	Q0.00	Q0.00	Q0.00
Ácido clorhídrico	80.83	ml	Q0.26	Q20.74	Q414.77
Dicloruro de Calcio	1.61	g	Q0.35	Q0.56	Q11.25
Guantes de nitrilo	2	guates	Q0.71	Q1.42	Q28.35
Mascarilla	1	mascarilla	Q3.03	Q3.03	Q60.60

El costo de producción (para obtener 5422.8 g de agua limpia) entre el balance de personal y el balance de insumos es de:

Tabla 119. Costo de producción del tratamiento de agua de lavado a nivel laboratorio.

<b>COSTO DE PRODUCCIÓN MENSUAL</b>
Q3,044.97

El promedio de los resultados obtenidos fueron de:

Tabla 120. Resultados por corrida del tratamiento de agua de lavado a nivel laboratorio.

<b>RESULTADOS POR CORRIDA</b>	
Agua de lavado (ml)	100
Biodiésel recuperado (g)	28.30
Agua limpia (g)	271.14

Observando que el nivel de inversión es muy alta a comparación con los resultados obtenidos, se deja claro que el proceso a escala laboratorio solamente es un proceso que se realiza para hacer pruebas y verificar si un proceso establecido tiene resultados satisfactorios para luego poderlo llevar a cabo a nivel planta. Por esto el análisis a nivel laboratorio se deja solamente en la presentación de costos de producción e inversión,

ya que no es un proceso en el que se verán ingresos a corto, mediano o largo plazo y por ende no sería un proyecto viable económicamente.

## F. ANÁLISIS DE COSTO A NIVEL PLANTA.

ii. Análisis de costo a nivel planta de tratamiento de agua. En el análisis de costo a nivel planta del tratamiento de agua de lavado se obtuvo una inversión de Q8, 286.08 con un costo por producción de Q4, 199.76 mensual. Estos datos son analizando con el proceso de producción de biodiésel y el tratamiento de agua como procesos independientes, en donde el equipo y las obras físicas no se compartirían con el proceso de producción de biodiésel. Por otro lado, se realiza el análisis en donde se comparte equipo y personal, ya que la planta de biodiésel consta con un tanque de 150l el cual ya ocupa un lugar determinado, este tanque se podría utilizar para el tratamiento de agua por lo que ya no se invertiría en el tanque ni en el espacio físico; siendo el monto de inversión de Q88.32 que corresponde al Beacker de 1l utilizado en el proceso de tratamiento de agua; el costo de producción también se reduciría si se supone que el mismo personal que trabaja en la planta de biodiésel trabajaría en el proceso de tratamiento de agua, reduciendo los costos a un monto de Q1,669.76.

A continuación se realiza la distinción de los costos directos e indirectos de fabricación para luego proseguir con el análisis de costo.

Tabla 121. Clasificación de costos directos e indirectos del tratamiento de agua de lavado a nivel planta.

COSTOS DIRECTOS	
Auxiliar de laboratorio	Personal que será el encargado de realizar los procesos de tratamiento de agua.
Ácido sulfúrico	El ácido sulfúrico es un compuesto químico utilizado en el proceso de acidificación.
Carbonato de Calcio	El carbonato de calcio es un compuesto químico utilizado en el proceso de acidificación.
COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN (CIF)	
Agua de lavado	Siendo el agua la materia prima para realizar el tratamiento de agua, no presenta ningún costo, ya que este costo es parte del proceso de producción de biodiésel, siendo el agua un residuo de dicho proceso.
Guantes	Los guantes representan un costo mínimo dentro del proceso, se utilizan como sistema de seguridad.
Mascarilla	La mascarilla representa un costo mínimo dentro del proceso, se utiliza como sistema de seguridad.

Ya habiendo realizado la clasificación entre costos directos e indirectos proseguiremos con la revisión numérica de los datos vistos anteriormente. Esto con el fin de realizar un cálculo que nos ayude a establecer el costo de tratamiento de agua de lavado mensual a escala laboratorio.

Se realizó una prueba piloto en la cual se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 122. Resultado de prueba piloto para tratamiento de agua de lavado.

PRUEBAS PILOTO	AGUA SUCIA (kg)	ÁCIDO SULFURICO (ml)	DICLORURO DE CALCIO (g)	BIODIÉSEL (kg)	AGUA (kg)
Prueba piloto	60	300	60	9.8	50.2

Se observa que al igual que las pruebas de laboratorio se recupera un 90% de agua y un 10% de biodiésel lo que representa un proceso que puede mejorar la cantidad de producto obtenido de biodiésel como el resultado para el ambiente, para poder regresar un agua limpia y sin tóxico alguno.

Los datos de personal e insumos son mensuales calculando así el costo mensual de producción. Los balances de equipo y de obras físicas son totales para calcular la inversión del proceso de producción.

A continuación se realizará el análisis de costos de tratamiento de agua de forma individualizada a la de producción de biodiésel, es decir, todo el equipo, espacio físico y personal serán individuales. Esto presentará costos mayores al igual que una inversión mayor.

Tabla 123. Balance de equipos del tratamiento de agua de lavado a nivel planta.

BALANCE DE EQUIPOS				
ÍTEM	CANTIDAD	COSTO	COSTO TOTAL	VIDA ÚTIL
Tanque 150l	1	7000	7000	15
Beacker 1l	1	88.32	88.32	5

Tabla 124. Balance de obras físicas del tratamiento de agua de lavado a nivel planta.

<b>BALANCE DE OBRAS FÍSICAS</b>					
<b>ÍTEM</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>	<b>ESPECIFICACIÓN TÉCNICA</b>	<b>TAMAÑO</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
Espacio para pruebas y almacenamiento de equipo	m2	Área plana, cimentada	0.5	Q2,395.53	Q1,197.76

Siendo el equipo y las obras físicas inversión para el proceso se tiene una inversión de

Tabla 125. Inversión del tratamiento de agua de lavado a nivel planta.

<b>INVERSIÓN</b>
Q8,286.08

Tabla 126. Balance de personal del tratamiento de agua de lavado a nivel planta.

<b>BALANCE DE PERSONAL</b>			
		<b>REMUNERACIÓN MENSUAL</b>	
<b>CARGO</b>	<b>No DE PUESTOS</b>	<b>UNITARIA</b>	<b>TOTAL</b>
Auxiliar de Laboratorio	1	Q2,530.00	Q2,530.00

Tabla 127. Balance de insumos del tratamiento de agua de lavado a nivel planta.

<b>BALANCE DE INSUMOS</b>					
<b>INSUMO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>	<b>COSTO MENSUAL</b>
Agua de lavado	60	Kg	Q0.00	Q0.00	Q0.00
ácido sulfurico 0.1M	300	ml	Q0.26	Q76.97	Q1,539.36
Carbonato de Calcio	60	g	Q0.03	Q2.07	Q41.45
Guantes de nitrilo	2	guates	Q0.71	Q1.42	Q28.35
Mascarilla	1	mascarilla	Q3.03	Q3.03	Q60.60

Entre el balance de personal y el balance de insumos hacen un costo de producción (para obtener 1000 kg de agua limpia) de:

Tabla 128. Costo de producción del tratamiento de agua de lavado a nivel planta.

<b>COSTO DE PRODUCCIÓN MENSUAL</b>
Q4,199.76

A continuación se podrá observar el análisis de costos compartiendo el tanque de 150l que tiene la planta de biodiésel invirtiendo solamente en el Beacker y utilizando el mismo personal de la producción de biodiésel para hacer el tratamiento de agua.

Tabla 129. Balance de equipo del tratamiento de agua y producción de biodiésel a nivel planta.

<b>BALANCE DE EQUIPOS</b>				
<b>ÍTEM</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>	<b>VIDA ÚTIL</b>
Beacker 1l	1	88.32	88.32	5

Siendo el Beaker la única inversión para el proceso se tiene una inversión de:

Tabla 130. Inversión reutilizando tanque y mismo espacio a nivel planta para el tratamiento de agua y producción de biodiésel.

<b>INVERSIÓN REUTILIZANDO TANQUE Y MISMO ESPACIO</b>
Q88.32

Tabla 131. Balance de insumo del tratamiento de agua de lavado a nivel planta.

<b>BALANCE DE INSUMOS</b>					
<b>INSUMO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>	<b>COSTO MENSUAL</b>
Agua de lavado	60	Kg	Q0.00	Q0.00	Q0.00
ácido sulfúrico 0.1M	300	ml	Q0.26	Q76.97	Q1,539.36
Carbonato de Calcio	60	g	Q0.03	Q2.07	Q41.45
Guantes de nitrilo	2	guates	Q0.71	Q1.42	Q28.35
Mascarilla	1	mascarilla	Q3.03	Q3.03	Q60.60

Siendo el mismo personal utilizado para la producción de biodiésel y el tratamiento de agua, sólo se tiene un costo de producción (para obtener 1000 kg de agua limpia) que pertenece al balance de insumos, siendo este de:

Tabla 132. Costo de producción utilizando mismo personal para el tratamiento de agua y producción de biodiesel.

<b>COSTO DE PRODUCCIÓN MENSUAL UTILIZANDO MISMO PERSONAL</b>	
	Q1,669.76

Los siguientes resultados aplican para ambos casos.

Tabla 133. Resultado por corrida a nivel planta para el tratamiento de agua y producción de biodiésel.

<b>RESULTADOS POR CORRIDA</b>	
Agua de lavado (Kg)	60
Biodiésel recuperado (kg)	10
Agua limpia (Kg)	50

b. Análisis de costo a nivel planta de producción de biodiésel con ultrasonido. El siguiente proceso es un proceso escalado a nivel planta del proceso realizado a nivel laboratorio. En este proceso se puede observar que se necesita una inversión de Q74, 786.64 y un costo mensual de Q7, 420.66.

Tabla 134. Clasificación de costos directos e indirectos de la producción de biodiésel con ultrasonido a nivel planta.

COSTOS DIRECTOS	
Auxiliar de laboratorio	Personal que será el encargado de realizar los procesos de producción de biodiésel.
Etanol	El etanol es parte de la materia prima para producir el biodiésel este tiene un precio que varía por peso por lo que afecta directamente al costo de producción. El etanol es parte para realizar la mezcla de metóxido.
Hidróxido de sodio	El hidróxido de sodio es parte de la materia prima para producir el biodiésel este tiene un precio que varía por peso por lo que afecta directamente al costo de producción. El hidróxido de sodio es parte para realizar la mezcla de metóxido.
Agua	El agua se utiliza para el proceso de lavado y la inyección de vapor durante el proceso de producción. Está clasificada como un costo directo ya que puede variar su valor monetario dependiendo del número de veces que se debe realizar el proceso de lavado.
Electricidad	La electricidad del proceso funciona durante todo el proceso por intervalos de tiempo.
COSTOS INDIFERCTOS DE FABRICACIÓN (CIF)	
Aceite usado	Siendo el aceite usado la principal materia prima del proceso, este hasta el momento no representa ningún valor monetario, sin embargo, si este llegará a tener el costo sería mínimo ya que es un aceite reciclado.
Guantes	Los guates representan un costo mínimo dentro del proceso, se utilizan como sistema de seguridad.
Mascarilla	La mascarilla representa un costo mínimo dentro del proceso, se utiliza como sistema de seguridad.

Los datos de personal e insumos son mensuales calculando así el costo mensual de producción. Los balances de equipo y de obras físicas son totales para calcular la inversión del proceso de producción.

Tabla 135. Balance de equipos de la producción de biodiésel con ultrasonido a nivel planta.

<b>BALANCE DE EQUIPOS</b>				
<b>ÍTEM</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>	<b>VIDA ÚTIL</b>
Ultrasonido	1	Q30,622.4	Q30,622.41	15
Condensador	1	Q15,600.0	Q15,600.00	15
Tanque 150 litros	1	Q7,000.00	Q7,000.00	15
Tapadera Hermética	1	Q2,400.00	Q2,400.00	15

Tabla 136. Balance de obra física de la producción de biodiésel con ultrasonido a nivel planta.

<b>BALANCE DE OBRAS FÍSICAS</b>					
<b>ÍTEM</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>	<b>ESPECIFICACIÓN TÉCNICA</b>	<b>TAMAÑO</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
Espacio para pruebas y almacenamiento de equipo	m2	Área plana, cimentada	8	Q2,395.53	Q19,164.24

Siendo el equipo y las obras físicas inversión para el proceso se tiene una inversión de

Tabla 137. Inversión de la producción de biodiésel con ultrasonido a nivel planta.

<b>INVERSIÓN</b>
Q74,786.64

Tabla 138. Balance de personal de la producción de biodiésel con ultrasonido a nivel planta.

<b>BALANCE DE PERSONAL</b>
----------------------------

CARGO	No DE PUESTOS	REMUNERACIÓN MENSUAL	
		UNITARIA	TOTAL
Auxiliar de Laboratorio	1	Q2,530.00	Q2,530.00

Tabla 139. Balance de insumos de la producción de biodiésel con ultrasonido a nivel planta.

BALANCE DE INSUMOS					
INSUMO	CANTIDAD	UNIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL	COSTO MENSUAL
Aceite usado	100	Kg	Q0.00	Q0.00	Q0.00
etanol	18.421	Kg	Q9.68	Q178.32	Q3,566.31
hidróxido de sodio	0.76	Kg	Q10.57	Q8.03	Q160.62
Electricidad	40	kWh	Q1.64	Q37.48	Q749.60
Agua	0.18	m3	Q1.12	Q16.26	Q325.19
Guantes de nitrilo	2	guates	Q0.71	Q1.42	Q28.35
Mascarilla	1	mascarilla	Q3.03	Q3.03	Q60.60

Entre el balance de personal y el balance de insumos se tiene un costo de producción (para producir 1780 Kg) de:

Tabla 140. Costo de producción de la producción de biodiésel con ultrasonido a nivel planta.

COSTO DE PRODUCCIÓN MENSUAL	
Q7,420.66	

Se presentaron los siguientes resultados en la producción:

Tabla 141. Resultados por corrida de la producción de biodiésel con ultrasonido a nivel planta.

RESULTADOS POR CORRIDA	
Masa de aceite utilizado (Kg)	100
Masa biodiésel producido (Kg)	89

Masa glicerina producido (Kg)	21
----------------------------------	----

Se puede observar que el equipo que aumenta la inversión es la compra de un ultrasonido, sin embargo, el ultrasonido puede reducir el tiempo de evaporación y permitir utilizar etanol, siendo este un producto menos tóxico a comparación con el metanol. El etanol es un producto que no puede ser utilizado para la producción de biodiésel si no existe un proceso con ultrasonido, ya que sin este el producto final quedaría gelatinizado. Se observa que de 100kg de aceite utilizados para la producción se obtiene 89kg de biodiésel y 21kg de glicerina. Es un proceso que tiene resultados óptimos para poder vender el producto final a un buen precio.

c. Análisis de costo a nivel planta de producción de biodiésel con la metodología actual (sin usar ultrasonido). El siguiente proceso es basado al proceso de producción actual de biodiésel en la planta de la Universidad del Valle de Guatemala. En este proceso se puede observar que se necesita una inversión de Q44, 164.24 y un costo mensual de Q7, 195.93.

A continuación se realiza la distinción de los costos directos e indirectos de fabricación para luego proseguir con el análisis de costo. Especificando que el aceite usado mientras no represente un costo en la producción es parte de los costos indirectos, sin embargo, si este llega a representar algún costo formaría parte de nuestros costos directos

Tabla 142. Clasificación de costos directos e indirectos de la producción de biodiésel sin ultrasonido a nivel planta.

COSTOS DIRECTOS	
Auxiliar de laboratorio	Personal que será el encargado de realizar los procesos de producción de biodiésel.
Metanol	El metanol es parte de la materia prima para producir el biodiésel este tiene un precio que varía por peso por lo que afecta directamente al costo de producción. El metanol es parte para realizar la mezcla de metóxido.
Hidróxido de sodio	El hidróxido de sodio es parte de la materia prima para producir el biodiésel este tiene un precio que varía por peso por lo que afecta directamente al costo de producción. El hidróxido de sodio es parte para realizar la mezcla de metóxido.
Agua	El agua se utiliza para el proceso de lavado y la inyección de vapor durante el proceso de producción. Está clasificada como un costo directo ya que puede variar su valor monetario dependiendo del número de veces que se debe realizar el proceso de lavado.
Electricidad	La electricidad del proceso funciona durante todo el proceso por intervalos de tiempo.
COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN (CIF)	
Aceite usado	Siendo el aceite usado la principal materia prima del proceso, este hasta el momento no representa ningún valor monetario, sin embargo, si este llegará a tener el costo sería mínimo ya que es un aceite reciclado.

Guantes	Los guates representan un costo mínimo dentro del proceso, se utilizan como sistema de seguridad.
Mascarilla	La mascarilla representa un costo mínimo dentro del proceso, se utiliza como sistema de seguridad.

Los datos de personal e insumos son mensuales calculando así el costo mensual de producción. Los balances de equipo y de obras físicas son totales para calcular la inversión del proceso de producción.

Tabla 143. Balance de equipos de la producción de biodiésel sin ultrasonido a nivel planta.

<b>BALANCE DE EQUIPOS</b>				
<b>ÍTEM</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>	<b>VIDA ÚTIL</b>
Condensador	1	Q15,600.00	Q15,600.00	15
Tanque 150 litros	1	Q7,000.00	Q7,000.00	15
Tapadera Hermética	1	Q2,400.00	Q2,400.00	15

Tabla 144. Balance de obra física de la producción de biodiésel sin ultrasonido a nivel planta.

<b>BALANCE DE OBRAS FÍSICAS</b>					
<b>ÍTEM</b>	<b>UNIDAD DE MEDIDA</b>	<b>ESPECIFICACIÓN TÉCNICA</b>	<b>TAMAÑO</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
Espacio para pruebas y almacenamiento de equipo	m2	Área plana, cimentada	8	Q2,395.53	Q19,164.24

Siendo el equipo y las obras físicas inversión para el proceso se tiene una inversión de

Tabla 145. Inversión de la producción de biodiésel sin ultrasonido a nivel planta.

<b>INVERSIÓN</b>
Q44,164.24

Tabla 146. Balance de personal de la producción de biodiésel sin ultrasonido a nivel planta.

<b>BALANCE DE PERSONAL</b>			
		<b>REMUNERACIÓN MENSUAL</b>	
<b>CARGO</b>	<b>No DE PUESTOS</b>	<b>UNITARIA</b>	<b>TOTAL</b>
Auxiliar de Laboratorio	1	Q2,530.00	Q2,530.00

Tabla 147. Balance de insumos de la producción de biodiésel sin ultrasonido a nivel planta.

<b>BALANCE DE INSUMOS</b>					
<b>INSUMO</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>COSTO UNITARIO</b>	<b>COSTO TOTAL</b>	<b>COSTO MENSUAL</b>
Aceite usado	100	Kg	Q0.00	Q0.00	Q0.00
metanol	18.421	Kg	Q9.07	Q167.08	Q3,341.57
hidróxido de sodio	0.76	Kg	Q10.57	Q8.03	Q160.62
Electricidad *	40	kWh	Q1.64	Q37.48	Q749.60
Agua*	0.18	m3	Q1.12	Q16.26	Q325.19
Guantes de nitrilo	2	guates	Q0.71	Q1.42	Q28.35
Mascarilla	1	mascarilla	Q3.03	Q3.03	Q60.60

El balance de personal y el balance de insumos presenta un costo de producción (para producir 1780 Kg de biodiésel) de:

Tabla 148. Costo de producción de biodiésel sin ultrasonido a nivel planta.

<b>COSTO DE PRODUCCIÓN MENSUAL</b>
Q7,195.93

Los resultados que presenta la producción de biodiésel actual (sin usar ultrasonido) es de.

Tabla 149. Resultados de la producción de biodiésel sin ultrasonido a nivel planta

<b>RESULTADOS</b>	
Masa de aceite utilizado (Kg)	100

Masa biodiésel producido (Kg)	89
Masa glicerina producido (Kg)	21

Se puede observar que los resultados de la producción de biodiésel con ultrasonido y sin ultrasonido son iguales, lo que varía es la inversión del ultrasonido y el costo diferente entre el metanol y el etanol ya que todo lo demás es constante. Siendo la producción de biodiésel sin ultrasonido una producción más económica, la producción utilizando ultrasonido presenta varios beneficios como antes se mencionó, siendo estos que el uso de etanol (siendo un producto menos tóxico que el metanol) no puede ser utilizada en un proceso sin ultrasonido y que el uso de ultrasonido puede agilizar el proceso de evaporación. Sin embargo, en el análisis de costos no se rechazará ninguno de los dos procesos, esto será al analizar precio, retorno de inversión y con un análisis costo beneficio.

d. Comparación de producciones a nivel planta realizando el cálculo de precio con el margen de contribución por galón. En el siguiente análisis se podrán observar solamente datos recolectados a nivel planta, ya que los procesos a nivel laboratorio son sólo con fines de investigación. Es importante tener claro que en los que se verán desde este punto hasta el final de la investigación, se tomó en cuenta el tratamiento de agua como un costo definido dentro del costo de producción de biodiésel; esto debido a que es un proceso que brinda beneficios al ambiente, siendo un compromiso social y ambiental, ayudando a minorar la contaminación ambiental y diversas enfermedades provocadas por los tóxicos existentes en el agua de lavado. Especificando que el agua limpia obtenida en el proceso, no es un agua que se pueda consumir, sin embargo, es un agua que se puede reutilizar para baños, para lavar un automóvil o demás usos que pueden contribuir a un ambiente más sano.

En la tabla 144 se podrá observar las diferencias primordiales entre la producción de biodiésel con ultrasonido y la producción de biodiésel sin ultrasonido. Las diferencias más claras son el costo de etanol y metanol que tienen una diferencia de Q224.74 entre producción, es decir, una producción es más económica que otra debido a este costo diferente entre productos. Otro costo representativo es el costo del ultrasonido, ya que una producción tendrá este equipo dentro de su inversión y la otra producción no lo tendrá, por lo que la producción de biodiésel por ultrasonido tiene una inversión más alta por el equipo de ultrasonido, siendo una diferencia de Q30, 622.41 con respecto a la producción de biodiésel sin ultrasonido.

Tabla 150. Diferencia de costos entre producción de biodiésel con ultrasonido y la producción de biodiésel sin ultrasonido.

<b>DIFERENCIA ENTRE PRODUCCIÓN</b>		
<b>ULTRASONIDO</b>	<b>SIN ULTRASONIDO</b>	<b>DIFERENCIA</b>
Costo etanol	Costo metanol	Diferencia entre CT
Q3,566.31	Q3,341.57	Q224.74
Costo Ultrasonido	Costo Ultrasonido	Diferencia entre CT
Q30,622.41	Q0.00	Q30,622.41
Inversión	Inversión	Diferencia inversión
Q74,786.64	Q44,164.24	Q30,622.41
Costo Total	Costo Total	Diferencia entre CT
Q7,420.66	Q7,195.93	Q224.74

En la tabla 18 se podrá observar los resultados de las pruebas de producción de biodiésel con ultrasonido y sin ultrasonido (producción actual), se puede observar que los resultados son los mismos en ambas producciones, obteniendo 89kg de biodiésel en el proceso de producción de biodiésel y 10kg de biodiésel recuperados en el proceso de tratamiento de agua; ya que como antes se mencionó, en los análisis siguientes se tomará en cuenta el tratamiento de agua como parte del proceso total de producción de biodiésel. Al obtener 89kg de biodiésel más los 10kg de biodiésel recuperados dan un total de 99kg de biodiésel en la producción siendo estos un total de 22.53 galones por producción. Habiendo establecido con anterioridad que habrán 20 corridas de producción mensualmente se obtienen 450.53 galones mensuales para producir. Estos datos servirán para calcular el costo de venta por galón del biodiésel producido en el proceso de producción de biodiésel con ultrasonido y del proceso actual (sin ultrasonido).

Tabla 151. Producción mensual de Biodiésel por el método de ultrasonido y sin ultrasonido.

<b>MÉTODO</b>	<b>Producción de Biodiésel (kg)</b>	<b>Biodiésel Recuperado (Kg)</b>	<b>Total producido (Kg)</b>	<b>Total producido (l)</b>	<b>Total producido galones</b>	<b>Total producción mensual (gal)</b>
Ultrasonido	89	10	99	85.29	22.53	450.53

Sin Ultrasonido	89	10	99	85.29	22.53	450.53
-----------------	----	----	----	-------	-------	--------

En los análisis que se observarán a continuación se estableció un porcentaje de aumento para el precio de venta, calculando al mismo tiempo el margen de contribución por unidad que el precio de venta con respecto al costo de venta presentará para cada método de producción.

A continuación se especificarán las fórmulas utilizadas para cada cálculo realizado en el análisis.

El margen de contribución es el porcentaje de ganancia por unidad, en este caso se calcula cuánto se gana por galón producido de biodiésel.

Fórmula de margen de contribución:

$$MC = (-1 * (\frac{\text{Costo de venta}}{\text{precio de venta}})) + 1$$

Para poder utilizar la fórmula de margen de contribución se necesita calcular el costo de venta, siendo este el costo total dividido la cantidad de galones producidos mensualmente.

Fórmula de costo de venta:

$$CV = \frac{\text{costo total}}{\text{galones producidos}}$$

El costo total es la suma del costo de producción de biodiésel con el costo de tratamiento de agua.

Fórmula de costo total:

$$CT = \text{costo producción biodiésel} + \text{costo de tratamiento de agua}$$

El precio de biodiésel sugerido se calculó estableciendo un porcentaje de aumento respecto al costo de venta. Teniendo siempre presente que el precio sugerido no debe ser mayor al precio actual de biodiésel como del diésel, siendo estos productos de competencia directa.

Fórmula de precio sugerido:

$$PS = \text{costo de venta} + (\text{costo de venta} * \% \text{ de aumento})$$

El porcentaje de aumento se estimará como un porcentaje que no provocara que el precio sugerido propasara el precio de biodiésel actual con el precio del diésel.

Por medio del precio sugerido se calculará una ganancia por galón, esto se calcula como la diferencia entre costo de venta y precio sugerido.

Fórmula para ganancia por galón:

$$\text{Ganancia} = \text{costo de venta} - \text{precio sugerido}$$

Al obtener una ganancia por galón se calculará la varianza entre la ganancia de producción de biodiésel con ultrasonido y sin ultrasonido.

Fórmula varianza entre ganancia:

$$\text{Varianza} = \text{Ganancia sin ultrasonido} - \text{Ganancia ultrasonido}$$

e. Comparación entre producción de biodiésel con ultrasonido y tratamiento de agua versus la producción de biodiésel sin ultrasonido y tratamiento de agua (Realizando un análisis independiente entre la producción de biodiésel con el tratamiento de agua de lavado). En el siguiente análisis se puede observar que se utiliza un costo de producción y una inversión del tratamiento de agua como producción independiente a la producción de biodiésel, es decir, comprando equipo y obras físicas diferentes a las ya existentes en la planta de biodiésel y utilizando un personal diferente. Por lo tanto, la inversión del tratamiento de agua tiene incluido un tanque de 150l y el precio de un espacio físico para la colocación del tanque. Además el costo del tratamiento de agua lleva incluido el salario de un auxiliar de laboratorio diferente al ya existente en la planta de biodiésel.

Tabla 152. Comparación de los métodos de producción de biodiésel y tratamiento de agua

MÉTODO	Inversión	Costo producción	Inversión tratamiento de agua	Costo tratamiento de agua	Inversión total	Costo total
Ultrasonido	Q74,786.64	Q7,420.66	Q8,286.08	Q4,199.76	Q83,072.73	Q11,620.42
Sin Ultrasonido	Q44,164.24	Q7,195.93	Q8,286.08	Q4,199.76	Q52,450.32	Q11,395.69

Tabla 153. Comparación de precios de los métodos de producción de biodiésel y tratamiento de agua

Precio Diesel por galón	Precio Biodiésel Competencia	Costo de venta	% de aumento	Precio Biodiésel sugerido/gal	Ganancia Q por gal	Varianza ganancia	Margen de contribución
Q33.99	Q28.50	Q25.79	10%	Q28.37	Q2.58	Q0.05	9%
Q33.99	Q28.50	Q25.29	10%	Q27.82	Q2.53		

Se pudo observar en los cálculos anteriores que el costo total (incluido el costo de producción de biodiésel y el costo del tratamiento de agua) de la producción de biodiésel con ultrasonido es de Q11, 620.42 y de la producción de biodiésel sin ultrasonido es de Q11, 395.69, pudiendo ver que el costo total de la producción de biodiésel con ultrasonido es mayor a la producción que no utiliza ultrasonido, esto debido a la diferencia entre el costo de metanol con etanol. Aclarando siempre que el costo total no toma en cuenta la inversión.

Según cotizaciones se mostró un precio actual de diésel de Q 33.99 y un precio de biodiésel de Q 28.50 por lo que para los cálculos de precio se estimó un porcentaje de aumento que no provocara que el precio sobrepasara el precio de los productos que son la competencia directa siendo estos diésel y biodiésel. Por ello, se estimó un porcentaje de 10% dando un precio sugerido de Q 28.37 para la producción de biodiésel con ultrasonido y un precio sugerido de Q 27.82 para la producción de biodiésel sin ultrasonido teniendo una ganancia por galón de Q 2.58 y Q 2.53 respectivamente; obteniendo un margen de contribución de 9% por galón. Se observó que el margen de contribución no es tan alto si se incluyen los costos de tratamiento de agua de forma individual al proceso de producción de biodiésel.

f. Comparación entre producción de biodiésel con ultrasonido y tratamiento de agua versus la producción de biodiésel sin ultrasonido y tratamiento de agua (Realizando un análisis compartiendo equipo y personal entre la producción de biodiésel con el tratamiento de agua de lavado). En el siguiente análisis se puede observar que se utiliza un costo de producción y una inversión del tratamiento de agua como una producción que reutilizará equipo y personal de la producción de biodiésel. Por lo tanto, la inversión del tratamiento de agua no tiene incluido el costo de un tanque de 150l y el precio de un espacio físico para la colocación del tanque. Además el costo del tratamiento de agua tampoco incluirá el salario de un auxiliar de laboratorio diferente al ya existente en la planta de biodiésel.

Tabla 154. Comparación de los métodos de producción de biodiésel y tratamiento de agua compartiendo equipo y personal

MÉTODO	Inversión	Costo producción	Inversión tratamiento de agua	Costo tratamiento de agua	Inversión total	Costo total
Ultrasonido	Q74,786.64	Q7,420.66	Q88.32	Q1,669.76	Q74,874.96	Q9,090.42
Sin Ultrasonido	Q44,164.24	Q7,195.93	Q88.32	Q1,669.76	Q44,252.56	Q8,865.69

Tabla 155. Comparación de precios de los métodos de producción de biodiésel y tratamiento de agua compartiendo equipo y personal

Precio Diesel por galón	Precio Biodiésel Competencia	Costo de venta	% de aumento	Precio Biodiésel sugerido/gal	Ganancia Q por gal	Varianza ganancia	Margen de contribución
Q33.99	Q28.50	Q20.18	40%	Q28.25	Q8.07	Q0.20	29%
Q33.99	Q28.50	Q19.68	40%	Q27.55	Q7.87		

Se pudo observar en los cálculos anteriores que el costo total (incluido el costo de producción de biodiésel y el costo del tratamiento de agua) de la producción de biodiésel con ultrasonido es de Q9, 090.42 y de la producción de biodiésel sin ultrasonido es de Q8, 865.69, pudiendo ver que el costo total de la producción de biodiésel con ultrasonido es mayor a la producción que no utiliza ultrasonido, esto debido a la diferencia entre el costo de metanol con etanol. Aclarando siempre que el costo total no toma en cuenta la inversión.

Según cotizaciones se mostró un precio actual de diésel de Q 33.99 y un precio de biodiésel de Q 28.50 por lo que para los cálculos de precio se estimó un porcentaje de aumento que no provocara que el precio superara el precio de los productos que son la competencia directa siendo estos diésel y biodiésel. Por ello, se estimó un porcentaje de 40% dando un precio sugerido de Q 28.25 para la producción de biodiésel con ultrasonido y un precio sugerido de Q 27.55 para la producción de biodiésel sin ultrasonido teniendo una ganancia por galón de Q 8.07 y Q 7.87 respectivamente; obteniendo un margen de contribución de 29% por galón.

Se observa que el margen de contribución de la producción tomando en cuenta que se utilizará el mismo equipo y personal es 20% mayor a la producción que no comparte equipo ni personal, esto debido a que la inversión y costos son menores en la producción en donde se comparte equipo y personal. Por lo que se decide trabajar con dicha perspectiva, rechazando la posibilidad de comprar equipo extra y contratar a diferente personal para operar el tratamiento de agua. Esto debido a que como se mencionó con anterioridad el margen de contribución es 20% mayor, provocando dicha modalidad una ganancia extra de aproximadamente Q 5.50 respecto a la análisis individual de producción.

De este apartado en adelante, las únicas alternativas que se evaluarán serán las producciones de biodiésel con ultrasonido y sin ultrasonido utilizando el mismo equipo y personal ya existente en la planta de biodiésel para el tratamiento de agua. Esto con el fin de que nuestro análisis muestre mejores resultados económicos, tomando en cuenta que nuestro proceso de producción en ningún momento se ve afectado por dichas decisiones económicas.

g. Análisis de sensibilidad del proyecto propuesto (Producción de biodiésel sin ultrasonido). Se comienza realizando un análisis de sensibilidad de los factores externos como lo es precio de biodiésel propuesto, esto debido a que para que sea un precio competitivo debe estar relacionado con el precio del mercado que es sumamente cambiante. También se evaluó el cambio en la demanda y en el gradiente de la demanda propuesto por año, siendo este de 1% para poder observar cómo afectaría el cambio de estos factores al beneficio presente del proyecto.

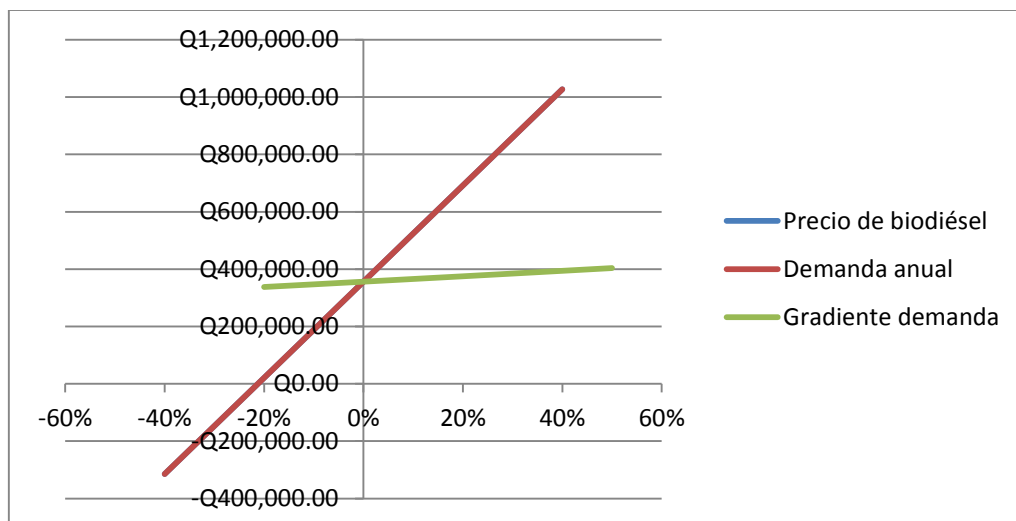
Tabla 156. Análisis de sensibilidad de la producción de biodiésel sin ultrasonido

Precio de biodiésel	-40%	-30%	-20%	-10%	0%
	-Q314,652.52	-Q146,942.73	Q20,767.06	Q188,476.85	Q356,186.64
Demanda anual	-40%	-30%	-20%	-10%	0%
	-Q314,652.49	-Q146,942.70	Q20,767.09	Q188,476.88	Q356,186.67
Gradiente de demanda	-20%	-10%	0%	10%	20%
	Q337,651.48	Q346,888.17	Q356,186.67	Q365,547.42	Q374,970.83

Tabla 157. Análisis de sensibilidad de la producción de biodiésel sin ultrasonido (continuación)

	10%	20%	30%	40%
	<b>Q523,896.43</b>	Q691,606.22	Q859,316.01	Q1,027,025.80
	10%	20%	30%	40%
	<b>Q523,896.46</b>	Q691,606.25	Q859,316.04	Q1,027,025.84
	30%	40%	50%	
	<b>Q384,457.32</b>	Q394,007.31	Q403,621.25	

Figura 113. Análisis de sensibilidad

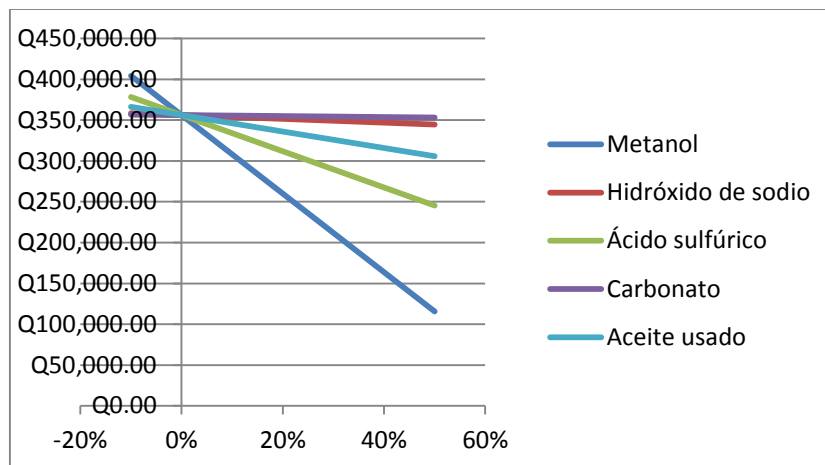


A continuación se realiza el análisis de sensibilidad de los insumos, para ver qué tanto puede afectar en nuestro beneficio presenta la baja o alza de los insumos utilizados para la producción de biodiésel sin ultrasonido.

Tabla 158. Análisis de sensibilidad de los insumos para la producción de biodiésel sin ultrasonido

COSTO DE INSUMOS							
	-10%	0%	10%	20%	30%	40%	50%
<b>Metanol</b>	Q404,305 .27	Q356,186 .67	Q308,068 .08	Q259,949 .48	Q211,830 .88	Q163,712 .29	Q115,593 .69
<b>Hidróxido de sodio</b>	Q358,499 .56	Q356,186 .67	Q353,873 .79	Q351,560 .90	Q349,248 .01	Q346,935 .13	Q344,622 .24
<b>Acido sulfúrico</b>	Q378,353 .46	Q356,186 .67	Q334,019 .89	Q311,853 .10	Q289,686 .32	Q267,519 .54	Q245,352 .75
<b>Carbonato de calcio</b>	Q356,783 .52	Q356,186 .67	Q355,589 .82	Q354,992 .97	Q354,396 .12	Q353,799 .27	Q353,202 .42
<b>Aceite usado</b>	Q366,266 .67	Q356,186 .67	Q346,106 .67	Q336,026 .67	Q325,946 .67	Q315,866 .67	Q305,786 .67

Figura 114. Análisis de sensibilidad de los insumos del biodiésel



Se puede observar que los insumos que pueden afectar grandemente en el beneficio presente son principalmente el metanol, ácido sulfúrico y el aceite usado. Mientras el precio de estos aumente, menos beneficios tendremos en el tiempo. Por lo que se podría realizar un estudio de productos sustitutos con precios más bajos o menos volátiles para un futuro.

h. Análisis de tiempo de retorno de inversión para la producción de biodiésel con ultrasonido y tratamiento de agua. Se recuerda que el periodo de recuperación  $np$  es el tiempo estimado, generalmente en años, que tomará para que los ingresos estimados y otros beneficios económicos recuperen la inversión inicial y una tasa de rendimiento establecida.

Para el análisis del periodo de recuperación puede tomar dos formas la recuperación, una para  $i$  mayor a 0% y otra para  $i=0\%$ . En la práctica el periodo de recuperación a menudo se determina con un requerimiento de no rendimiento ( $i=0\%$ ), para depurar inicialmente el proyecto y determinar si garantiza mayor consideración. El análisis de recuperación sin rendimiento determina  $np$  a  $i=0\%$ . Este valor  $np$  sirve tan sólo como un indicador inicial de que la proposición es una alternativa viable. (Tarquin, A. 2006)

$$0 = -P + \sum_{i=1}^{t=np} FEN$$

Debido a lo antes enunciado para los cálculos pertinentes se estableció un  $i=0\%$ . Según teoría el mercado de biodiésel ha ido creciendo en los últimos años por lo que la producción del mismo ha ido creciendo paralelamente, teniendo una variación de crecimiento del 2004 al 2010 de 384%, es decir, aproximadamente

creció un 64% cada año, por lo tanto, en el siguiente análisis se estima un gradiente en la demanda anual de 1% suponiendo que cada año habrán más personas interesadas en consumir biodiésel y que optarán por comprarlo con nosotros por el precio competitivo. Como también se supuso una demanda anual del 88% de la capacidad de producción, debido a que se debe hacer propaganda para que conozcan que se vende biodiésel y por nuestra capacidad de producción. También tomando en cuenta que la demanda anual de biodiésel en Guatemala es de 8.9 millones de barriles; por lo que se observó que no fuera un aumento significativo en la demanda anual de biodiésel en Guatemala.

A continuación se pueden observar los datos utilizados para el análisis respectivo, siempre recordando que el siguiente análisis es de la producción de biodiésel con ultrasonido, incluyendo el tratamiento de agua de lavado compartiendo equipo y personal.

Los datos fueron calculados anualmente ya que con anterioridad se realizaron análisis mensuales, el dato mensual se multiplicó por 12 para aproximarlos a un costo anual.

Tabla 159. Datos de análisis de tiempo de retorno de inversión para la producción de biodiésel con ultrasonido y tratamiento de agua.

Inversión producción biodiésel	74,786.64
inversión tratamiento de agua	Q88.32
total de inversión	74,874.96
Precio biodiésel	Q28.25
Producción mensual (gal)	450.53
Producción anual (gal)	5,406.42
Demanda anual de Diesel (barriles) GT	8,900,000
Demanda mensual (gal)	400
Gradiente para demanda anual %	1
Demanda anual (gal)	4800
i	0%
Costo mensual	Q9,090.42
Costo anual	109,085.06
Demanda año 13 (galones)	5408.76

Tabla 160. Flujo de efectivo para la producción de biodiésel usando ultrasonido y tratamiento de agua

Año	Inversión I.	Precio	Demanda	Ingresos	Costo	Flujo Efectivo	VP	VP ACUMULADO
0	Q74,874.96					-	-	-Q74,874.96
1		Q28.25	4800.00	Q135,589.22	Q109,085.06	Q26,504.16	Q26,504.16	-Q48,370.81
2		Q28.25	4848.00	Q136,945.11	Q109,085.06	Q27,860.05	Q27,860.05	-Q20,510.76
3		Q28.25	4896.48	Q138,314.56	Q109,085.06	Q29,229.50	Q29,229.50	Q8,718.74
4		Q28.25	4945.44	Q139,697.71	Q109,085.06	Q30,612.65	Q30,612.65	Q39,331.39
5		Q28.25	4994.90	Q141,094.68	Q109,085.06	Q32,009.62	Q32,009.62	Q71,341.01
6		Q28.25	5044.85	Q142,505.63	Q109,085.06	Q33,420.57	Q33,420.57	Q104,761.58
7		Q28.25	5095.30	Q143,930.69	Q109,085.06	Q34,845.63	Q34,845.63	Q139,607.20
8		Q28.25	5146.25	Q145,369.99	Q109,085.06	Q36,284.93	Q36,284.93	Q175,892.14
9		Q28.25	5197.71	Q146,823.69	Q109,085.06	Q37,738.63	Q37,738.63	Q213,630.77
10		Q28.25	5249.69	Q148,291.93	Q109,085.06	Q39,206.87	Q39,206.87	Q252,837.64
11		Q28.25	5302.19	Q149,774.85	Q109,085.06	Q40,689.79	Q40,689.79	Q293,527.43
12		Q28.25	5355.21	Q151,272.60	Q109,085.06	Q42,187.54	Q42,187.54	Q335,714.96
						Q335,714.9		
						VPN	6	

Tabla 161. Valor neto anual, anualidad y número de periodos para la producción de biodiésel usando ultrasonido y tratamiento de agua.

<b>VNA</b>	-Q335,714.96
<b>anualidad</b>	Q27,976.25
<b>np</b>	2.676376287

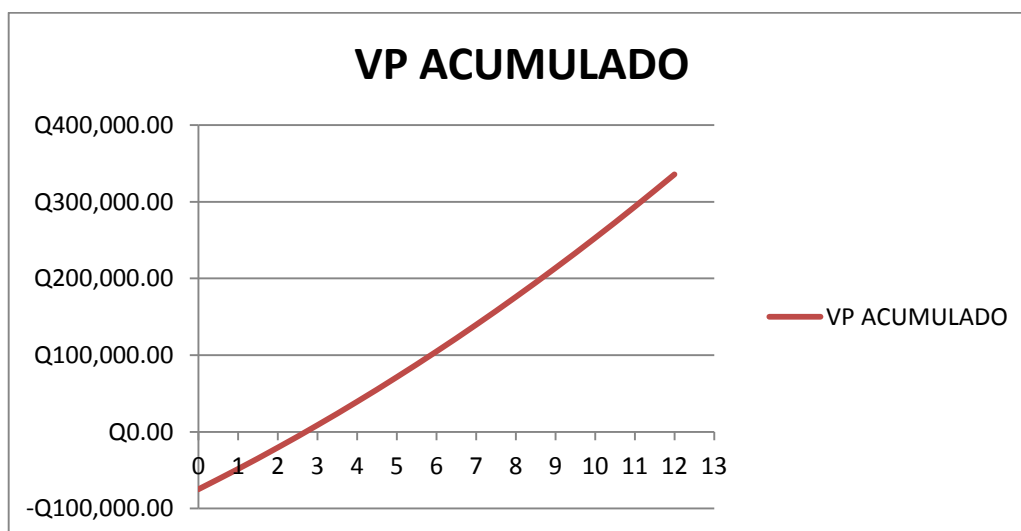
Se puede observar que en el flujo de efectivo, entre el año 2 y 3 existe un cambio de signo en el valor presente acumulado, lo que nos indica que entre el año 2 y 3 existe la recuperación de inversión. El valor presente del flujo de efectivo se calculó utilizando el flujo de efectivo por año, el año establecido en el periodo y la tasa  $i=0\%$ . Debido a la existencia del gradiente en la demanda, se debe calcular una anualidad para el

flujo de efectivo, esto para poder calcular el  $np$  exacto. la anualidad se calculó con trayendo al valor presente el flujo de efectivo, con los años en que se proyectó el flujo de efectivo y con la tasa  $i=0\%$ . Se calculó el valor presente total del flujo de efectivo utilizando el flujo de efectivo a través de los años proyectados y con la tasa  $i=0\%$ . Se eligieron 12 años para proyectar el flujo de efectivo ya que con el gradiente en demanda de  $1\%$  nos permite abarcar la demanda ya que si la demanda sigue creciendo como se indicó en el año 13 tendríamos la capacidad para producir lo que la demanda pide, por lo que se debiera invertir en equipo de mayor capacidad para poder complacer a la demanda.

El valor de  $np$  que es el tiempo de recuperación, se calculó utilizando la anualidad, el valor  $i=0\%$  y el valor presente del flujo de efectivo. Este cálculo dio como resultado un periodo de recuperación de 2.67 años, aproximadamente 3 años; es decir, como ya se había podido observar en los cambios de signo del valor presente acumulado del flujo de efectivo que nos mostraban que entre el año 2 y tres se recuperaba la inversión.

A continuación se podrá observar en forma gráfica el valor presente del flujo efectivo acumulado, aquí se ve que entre 2 y 3 años la gráfica corta el eje x, lo que indica que el tiempo de recuperación está entre dichos años.

Figura 115. Periodo de recuperación para la producción de biodiésel utilizando ultrasonido.



Esto nos presenta que es un proyecto viable económicamente ya que en 3 años aproximadamente se puede recuperar la inversión inicial del proyecto. Esto suponiendo un gradiente en la demanda de  $1\%$ , con el precio establecido de Q 28.25 y con los costos calculados en análisis anteriores.

i. Análisis de tiempo de retorno de inversión para la producción de biodiésel sin ultrasonido y tratamiento de agua. Se recuerda que el periodo de recuperación  $np$  es el tiempo estimado,

generalmente en años, que tomará para que los ingresos estimados y otros beneficios económicos recuperen la inversión inicial y una tasa de rendimiento establecida.

Para el análisis del periodo de recuperación puede tomar dos formas la recuperación, una para  $i$  mayor a 0% y otra para  $i=0\%$ . En la práctica el periodo de recuperación a menudo se determina con un requerimiento de no rendimiento ( $i=0\%$ ), para depurar inicialmente el proyecto y determinar si garantiza mayor consideración. El análisis de recuperación sin rendimiento determina  $np$  a  $i=0\%$ . Este valor  $np$  sirve tan sólo como un indicador inicial de que la proposición es una alternativa viable. (Tarquin, A. 2006)

$$0 = -P + \sum_{i=1}^{t=np} FEN$$

Debido a lo antes enunciado para los cálculos pertinentes se estableció un  $i=0\%$ . Según teoría el mercado de biodiésel ha ido creciendo en los últimos años por lo que la producción del mismo ha ido creciendo paralelamente, teniendo una variación de crecimiento del 2004 al 2010 de 384%, es decir, aproximadamente creció un 64% cada año, por lo tanto, en el siguiente análisis se estima un gradiente en la demanda anual de 1% suponiendo que cada año habrán más personas interesadas en consumir biodiésel y que optarán por comprarlo con nosotros por el precio competitivo. Como también se supuso una demanda anual del 88% de la capacidad de producción, debido a que se debe hacer propaganda para que conozcan que se vende biodiésel y por nuestra capacidad de producción. También tomando en cuenta que la demanda anual de biodiésel en Guatemala es de 8.9 millones de barriles; por lo que se observó que no fuera un aumento significativo en la demanda anual de biodiésel en Guatemala.

A continuación se pueden observar los datos utilizados para el análisis respectivo, siempre recordando que el siguiente análisis es de la producción de biodiésel con ultrasonido, incluyendo el tratamiento de agua de lavado compartiendo equipo y personal.

Los datos fueron calculados anualmente ya que con anterioridad se realizaron análisis mensuales, el dato mensual se multiplicó por 12 para aproximarlos a un costo anual.

Tabla 162. Datos de análisis de tiempo de retorno de inversión para la producción de biodiésel sin ultrasonido y tratamiento de agua.

Inversión producción biodiésel	Q44,164.24
Inversión tratamiento de agua	Q88.32
total de inversión	Q44,252.56
Precio biodiésel	Q27.55
Producción mensual (gal)	450.53
Producción anual (gal)	5,406.42
Demanda anual de Diesel (barriles) GT	8,900,000
Demanda mensual (gal)	400
Gradiente para demanda anual %	1
Demanda anual (gal)	4800
I	0%
Costo mensual	Q8,865.69
Costo anual	Q106,388.23
Demanda año 13 (galones)	5408.76

Tabla 163. Flujo de efectivo para la producción de biodiésel sin utilizar ultrasonido y tratamiento de agua

Año	Inversión I.	Precio	Demanda	Ingresos	Costo	Flujo Efectivo	VP	VP ACUMULADO
0	Q44,252.56					-Q44,252.56	-Q44,252.56	-Q44,252.56
1		Q27.55	4800.00	Q132,237.14	Q106,388.23	Q25,848.91	Q25,848.91	-Q18,403.65
2		Q27.55	4848.00	Q133,559.51	Q106,388.23	Q27,171.28	Q27,171.28	Q8,767.64
3		Q27.55	4896.48	Q134,895.10	Q106,388.23	Q28,506.88	Q28,506.88	Q37,274.52
4		Q27.55	4945.44	Q136,244.06	Q106,388.23	Q29,855.83	Q29,855.83	Q67,130.35
5		Q27.55	4994.90	Q137,606.50	Q106,388.23	Q31,218.27	Q31,218.27	Q98,348.62
6		Q27.55	5044.85	Q138,982.56	Q106,388.23	Q32,594.34	Q32,594.34	Q130,942.95
7		Q27.55	5095.30	Q140,372.39	Q106,388.23	Q33,984.16	Q33,984.16	Q164,927.12
8		Q27.55	5146.25	Q141,776.11	Q106,388.23	Q35,387.89	Q35,387.89	Q200,315.00
9		Q27.55	5197.71	Q143,193.87	Q106,388.23	Q36,805.65	Q36,805.65	Q237,120.65

10		Q27.55	5249.69	Q144,625.81	Q106,388.23	Q38,237.59	Q38,237.59	Q275,358.23
11		Q27.55	5302.19	Q146,072.07	Q106,388.23	Q39,683.84	Q39,683.84	Q315,042.07
12		Q27.55	5355.21	Q147,532.79	Q106,388.23	Q41,144.56	Q41,144.56	Q356,186.64
						VPN	Q356,186.64	

Tabla 164. Valor neto actual anualidad y numero de períodos para la proucción de biodiésel sin utilizar ultrasonido y tratamiento de agua

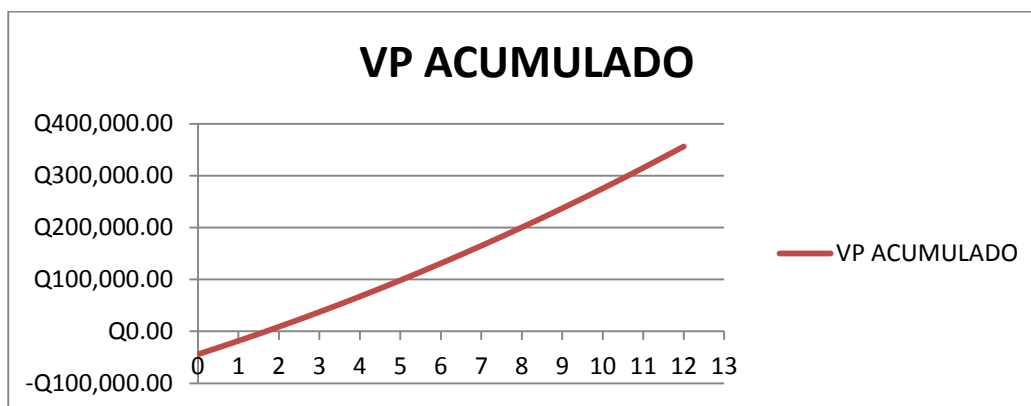
<b>VNA</b>	-Q356,186.64
<b>anualidad</b>	Q29,682.22
<b>nper</b>	1.490877674

Se puede observar que en el flujo de efectivo, entre el año 1 y 2 existe un cambio de signo en el valor presente acumulado, lo que nos indica que entre el año 1 y 2 existe la recuperación de inversión. El valor presente del flujo de efectivo se calculó utilizando el flujo de efectivo por año, el año establecido en el periodo y la tasa  $i=0\%$ . Debido a la existencia del gradiente en la demanda, se debe calcular una anualidad para el flujo de efectivo, esto para poder calcular el np exacto. la anualidad se calculó con trayendo al valor presente el flujo de efectivo, con los años en que se proyecto el flujo de efectivo y con la tasa  $i=0\%$ . Se calculo el valor presente total del flujo de efectivo utilizando el flujo de efectivo a través de los años proyectados y con la taza  $i=0\%$ . Se eligieron 12 años para proyectar el flujo de efectivo ya que con el gradiente en demanda de 1% nos permite abarcar la demanda ya que si la demanda sigue creciendo como se indicó en el año 13 tendríamos la capacidad para producir lo que la demanda pide, por lo que se debiera invertir en equipo de mayor capacidad para poder complacer a la demanda.

El valor de np que es el tiempo de recuperación, se calculó utilizando la anualidad, el valor  $i=0\%$  y el valor presente del flujo de efectivo. Este cálculo dio como resultado un periodo de recuperación de 1.49 años, aproximadamente 2 años; es decir, como ya se había podido observar en los cambios de signo del valor presente acumulado del flujo de efectivo que nos mostraban que entre el año 1 y 2 se recuperaba la inversión.

A continuación se podrá observar en forma gráfica el valor presente del flujo efectivo acumulado, aquí se ve que entre 1 y 2 años la gráfica corta el eje x, lo que indica que el tiempo de recuperación está entre dichos años.

Figura 116. Periodo de recuperación para la producción de biodiésel sin utilizar ultrasonido.



Esto nos presenta que es un proyecto viable económicamente ya que en 2 años aproximadamente se puede recuperar la inversión inicial del proyecto. Esto suponiendo un gradiente en la demanda de 1%, con el precio establecido de Q 27.55 y con los costos calculados en análisis anteriores.

j. Análisis costo/beneficio incremental de la producción de biodiésel utilizando ultrasonido y sin ultrasonido. El análisis costo/beneficio es un análisis para proyectos mutuamente excluyentes en donde se elige uno de ambos proyectos evaluando la alternativa que mayores beneficios represente sobre los costos. El análisis B/C debe ser mayor a 1 para elegir una alternativa que será la más viable. En este caso se realiza un análisis costo beneficio individual pudiendo observar que la producción con ultrasonido tiene un B/C mayor a 1 siendo de 4.48 recuperando su inversión en 3 años. Por el otro lado la producción de biodiésel sin ultrasonido tiene un B/C de 8.05 mayor a 1 recuperando su inversión en 2 años. Aquí se puede observar que la alternativa con un B/C mayor es la de producción de biodiésel sin ultrasonido recuperando su inversión en un tiempo menor.

Sin embargo, para fines de comparación y de elección de una mejor alternativa, se realiza el análisis B/C incremental para proyectos mutuamente excluyentes o de reemplazo. Eligiendo a una alternativa retadora (producción con ultrasonido) y a una alternativa defensora (producción sin ultrasonido). Para calcular el diferencial en beneficios y costos se realiza lo siguiente para un análisis incremental.

$$VP \text{ Beneficio} = \text{beneficio retador} - \text{beneficio defensor}$$

$$\text{costo} = \text{costo retador} - \text{costo defensor}$$

$$\frac{B}{C} \text{ incremental} = VP \text{ beneficio/Costo}$$

Tabla 165. Análisis costo/beneficio incremental de la producción de biodiésel utilizando ultrasonido y sin ultrasonido.

DATOS	PRODUCCIÓN CON ULTRASONIDO	PRODUCCIÓN SIN ULTRASONIDO
i	0%	0%
nper	3	2

Costo inicial (inversión)	Q74,874.96	Q44,252.56
VP Beneficio	Q335,714.96	Q356,186.64
B/C	4.48	8.05
Análisis incremental	PRODUCCIÓN CON ULTRASONIDO-PRODUCCIÓN SIN ULTRASONIDO	
VP Beneficio	-20471.67467	
Costo inicial (inversión)	30622.40512	
B/C	-0.66851949	

Al realizar el análisis incremental se puede observar que el B/C obtenido es de -0.66 siendo menor a 1 lo que indica que se debe rechazar al retador (producción con ultrasonido) y elegir al defensor. Al comparar el resultado con el análisis B/C individual se puede observar que efectivamente el defensor (producción sin ultrasonido) es la alternativa que presenta un B/C mayor lo que indica que sus beneficios son superiores a los costos de producción; tomando en cuenta que su recuperación de inversión es en un años menos que la producción con ultrasonido.

Es importante tomar en cuenta que si bien la alternativa de producción sin ultrasonido es más económica que la producción con ultrasonido, ambas presentan un buen índice B/C y un tiempo de recuperación de inversión aceptable. Por otro lado, también se debe tener claro que la alternativa con ultrasonido nos puede disminuir tiempo de evaporación y nos permite utilizar etanol un químico menos tóxico al metanol. Así que cualquiera de las dos alternativas son viables económicamente. La elección de una deberá tomarse si se desea mayor beneficio o si se desea ayudar al ambiente con productos menos tóxicos.

2. Análisis FODA. El análisis FODA es una herramienta que nos ayuda en la toma de decisiones evaluando factores internos (Fortaleza y debilidades) y externos (Oportunidades y amenazas). En este caso se evaluarán las dos alternativas tanto la producción de biodiésel con ultrasonido y sin ultrasonido debido a que ambas producciones son económicamente viables. Si bien es cierto que la producción de biodiésel sin ultrasonido tiene un beneficio mayor siendo más económicamente viable que la otra alternativa; la alternativa de producción de biodiésel con ultrasonido presenta ventajas ambientales. Por esta razón se presentan ambos análisis FODA a continuación.

## a. Producción de biodiésel con ultrasonido

Tabla 166. FODA de producción de biodiésel con ultrasonido

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La materia prima principal (aceite quemado) no tiene ningún costo sobre la producción.</li> <li>• El uso de etanol siendo un producto menos tóxico que el metanol hacer por ende un producto menos tóxico.</li> <li>• El uso de ultrasonido puede disminuir tiempo de evaporación.</li> <li>• Económicamente viable con un B/C de 4.48.</li> <li>• El tratamiento de agua le agrega valor al resultado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La producción a pequeña escala provoca un producto encarecido.(Economía a escala)</li> <li>• El costo del ultrasonido aumenta la inversión.</li> <li>• Planta de producción con baja popularidad en el mercado.</li> <li>• Bajo poder de negociación con la industria.</li> <li>• Necesidad de aumentar el lavado de biodiésel en el proceso por calidad del aceite quemado.</li> </ul>
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crecer dentro del mercado de biocombustibles.</li> <li>• Aumentar el nivel de producción, disminuyendo costos de producción y aumentando competitividad.</li> <li>• La demanda de biodiésel va en aumento año con año.</li> <li>• Usar nuevas tecnologías para la producción da una perspectiva mejor para el cliente.</li> <li>• Popularidad en el mercado de biodiésel.</li> <li>• Cada vez el mercado automovilístico crece más.</li> <li>• El cuidado del ambiente va en crecimiento.</li> <li>• El uso de productos “verdes” va en aumento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la oferta de biocombustibles.</li> <li>• Temor del cliente al uso de un biocombustibles (resistencia al cambio)</li> <li>• Biodiésel con precios más competitivos. (debido al encarecimiento por el uso de ultrasonido)</li> <li>• La ley prohíbe el uso de 100% biodiésel, este solo puede ser utilizado mezclándolo con diésel.</li> <li>• Tendencia a la baja de precio por economía a escala.</li> </ul>

## b. Producción de biodiésel sin ultrasonido

Tabla 167. FODA de producción de biodiésel sin ultrasonido

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La materia prima principal (aceite quemado) no tiene ningún costo sobre la producción.</li> <li>• Económicamente viable con un B/C de 8.05.</li> <li>• El tratamiento de agua le agrega valor al resultado.</li> <li>• La inversión es baja</li> <li>• Precio competitivo con un buen margen de contribución.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La producción a pequeña escala provoca un producto encarecido.(Economía a escala)</li> <li>• Planta de producción con baja popularidad en el mercado.</li> <li>• Bajo poder de negociación con la industria.</li> <li>• Necesidad de aumentar el lavado de biodiésel en el proceso por calidad del aceite quemado.</li> </ul>
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crecer dentro del mercado de biocombustibles.</li> <li>• Aumentar el nivel de producción, disminuyendo costos de producción y aumentando competitividad.</li> <li>• La demanda de biodiésel va en aumento año con año.</li> <li>• Popularidad en el mercado de biodiésel.</li> <li>• Cada vez el mercado automovilístico crece más.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento de la oferta de biocombustibles.</li> <li>• Temor del cliente al uso de un biocombustibles (resistencia al cambio)</li> <li>• Biodiésel con precios más competitivos. (debido al encarecimiento por el uso de ultrasonido)</li> <li>• La ley prohíbe el uso de 100% biodiésel, este solo puede ser utilizado mezclándolo con diésel.</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• El cuidado del ambiente va en crecimiento.</li> <li>• El uso de productos “verdes” va en aumento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tendencia a la baja de precio por economía a escala.</li> </ul>
---	--

Al analizar ambos FODA se puede observar que si bien en la producción de biodiésel con ultrasonido hay beneficios financieros y para el ambiente con el uso de etanol; la producción de biodiésel sin ultrasonido presenta un precio más competitivo y más elástico lo que le da una mayor volatilidad en el mercado. Al analizar los FODAs se elige la opción de producción sin ultrasonido siendo más económicamente viable que la producción con ultrasonido, ya que la única ventaja que presenta la producción con ultrasonido que sin ultrasonido es que el etanol es menos tóxico que el metanol, sin embargo, el biodiésel producido con etanol o con metanol siempre es amigable con el ambiente.

El mercado de hoy en día produce biodiésel por medio de metanol, ya que la producción de biodiésel con etanol solamente se puede realizar utilizando el método con ultrasonido ya que sino el producto final no sale con los resultados esperados. Teniendo un producto terminado gelatinoso e inservible como combustible.

Por esto, el mercado acepta sin ningún problema la producción por medio de metanol, a pesar de que el etanol tiene un beneficio extra. Dicho esto, la producción mejor financieramente, con mayores beneficios, con un retorno de inversión más pronto, con un costo de venta menor y con un precio de venta más flexible y competitivo y además es amigable con el ambiente, es la producción de biodiésel sin ultrasonido.

G. EVALUACIÓN ECONÓMICA DE LA PRODUCCIÓN DE PROPILENGLICOL Y ACEITE DE ORIGEN MICROBIANO A PARTIR DE LA GLICERINA OBTENIDA DE LA PRODUCCIÓN DE BIODIÉSEL

1. Análisis de resultados:

a. Evaluación de la situación actual de los procesos alternativos:

Realización de matriz FODA

Tabla 168. Análisis FODA – Servicio de recolección de desechos

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cuentan con herramientas de trabajo adecuada para la recolección de desechos como pesas y contenedores adecuados.</li> <li>• Cuentan con un formato para el control de cantidades recolectadas por cliente.</li> <li>• Personal capacitado para la recolección y manejo de los desechos.</li> <li>• Autorizados por el Ministerio de Salud Pública y Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales.</li> <li>• Contienen una guía de normas para el manejo de desechos.</li> <li>• Ellos se encargan de la incineración de los residuos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se desechan los residuos sin buscarles una reutilización.</li> <li>• Contribuyendo con la contaminación ambiental</li> </ul>
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contribuir a la disminución de desechos mediante la reutilización de los residuos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumento en el precio del servicio de recolección de desechos</li> <li>• Problemas de salud para las personas.</li> </ul>

Tabla 169. Análisis FODA – Producción de aceite de origen microbiano (usando levaduras)

FORTALEZAS	DEBILIDADES
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se le da una reutilización a la glicerina sobrante del proceso de producción del biodiésel.</li> <li>• El departamento de Ingeniería Química profundiza estudios en la actualidad correspondientes a la producción de Biodiésel.</li> <li>• Cuenta con Equipo de laboratorio actualizado y de alta tecnología.</li> <li>• Se produce Biodiésel de manera sistemática y frecuentemente.</li> <li>• Debido al compromiso social y ambiental, el departamento de Ingeniería Química busca la mejora continua de las tecnologías para realizar un proceso mucho más eficiente y menos contaminante.</li> <li>• Debido a la reputación actual de la Universidad del Valle de Guatemala y a la participación constante del departamento de Ingeniería Química, se cuenta con proveedores que nos permiten comprar proporciones pequeñas de reactivos para realizar los estudios de laboratorio.</li> <li>• Otros departamentos, como el de Química, cuenta con tecnología y equipo que permite realizar estudios mucho más precisos de identificación y caracterización de un producto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se carece de experiencia en la purificación y limpieza del producto residual de la producción de biodiésel y obtención de glicerina sin residuos de jabón, aceite u otros.</li> <li>• Equipo de pequeño tamaño que por la proporción de glicerina presente en el residuo, limita la capacidad de trabajo en la investigación de laboratorio.</li> <li>• Debido a que el proceso consiste en metabolizar glicerina por medio de fermentación con levadura <i>lypomices starkeyi</i>, el tiempo se convierte en una limitante por los tiempos de espera en crecimiento de la levadura, espera de secado, extracción de aceite y evaporación del solvente.</li> <li>• La cero experiencia en producción de aceite de origen microbiano utilizando glicerina como sustrato y levadura <i>Lypomices Starkeyi</i> como metabolizador.</li> </ul>
OPORTUNIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Debido a la experimentación realizada se detectan problemáticas que al solucionarse pueden mejorar la producción de biodiésel y presentar propuestas para desarrollo de tecnologías para una producción más responsable y menos contaminante.</li> <li>• Al desarrollarse nuevas tecnologías, despertar el interés de inversores interesados en la adquisición de las herramientas creadas.</li> <li>• Expandir la producción de biodiésel al formar alianzas estratégicas que permitan desarrollar esta actividad a una escala mucho mayor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aunque se encuentran otros pocos desarrollando metodologías similares y trabajando en proyectos de biodiésel, estos pueden representar una amenaza si desarrollaran tecnologías a una velocidad mayor a la nuestra.</li> <li>• El precio elevado de tecnología apta para cubrir la capacidad de obtención de glicerina en la producción de biodiésel.</li> <li>• La existencia de métodos más baratos (como incineración).</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>La misma expansión promueva el desarrollo de nuevos proyectos de investigación y mejora.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La nula existencia de regulaciones ambientales por parte del legislativo de la República de Guatemala.</li> </ul>
--	--

b. Análisis Financiero:

1) Estimación y clasificación de Costos:

a) Costos según su variabilidad. Los costos obtenidos según su variabilidad se dividen en dos: costos variables y costos fijos. Estos se obtuvieron de la realización de los distintos balances, que se encuentran en el anexo C, para saber sus cantidades mensuales.

Tabla 170 .Costos según su variabilidad – Producción de aceite de origen microbiano (usando levaduras)

<b>COSTO VARIABLE</b>	<b>COSTO FIJO</b>
Q3,389.77	Q2,530.00

b) Costos según su forma de imputación o de fabricación. Estos se dividen en dos: costos directos y costos indirectos de fabricación. Estos se obtuvieron de la realización de los distintos balances, que se encuentran en el anexo D, para saber sus cantidades mensuales.

Tabla 171. Costos según su imputación – Producción de aceite de origen microbiano (usando levaduras)

<b>COSTO DIRECTO</b>	<b>COSTO INDIRECTO DE FABRICACIÓN</b>
Q4,586.97	Q1,332.80

2) Costo de inversión. El costo de inversión se calculó mediante la sumatoria de los balances de equipo y obra física que se encuentran en el anexo C. Esta cantidad es la que se necesita para llevar a cabo el funcionamiento del proyecto.

Tabla 172. Costo de inversión – Producción de aceite de origen microbiano (usando levaduras)

<b>COSTO DE INVERSIÓN</b>
Q235,407.56

3) Costo de producción. El costo de producción obtenido es la sumatoria del costo total de los balances de insumo y personal que se encuentran detallados en el anexo C. Estos son los gastos necesarios para mantener el proyecto en funcionamiento.

Tabla 173. Costo de producción – Producción de aceite de origen microbiano (usando levaduras)

<b>COSTO DE PRODUCCIÓN</b>
Q5,919.77

4) Determinación del precio de venta. La determinación del precio de venta se encuentra detallada en el anexo E. Este se obtuvo mediante los datos obtenidos de la estimación del costo de la producción de aceites dividido la cantidad producida.

5) Análisis de retorno de inversión. El análisis de retorno de inversión nos ayuda a evaluar económicamente el proyecto de la producción de aceites de origen microbiano, ya que se anticipa a darnos una respuesta de si el proyecto es viable o no económicamente. Así mismo se observan los ingresos anuales según la capacidad de producción que se tiene y los egresos según los costos de producción que a futuro se transforma en dinero ahora para ver si el proyecto es rentable.

La capacidad que se tiene para producir aceite anualmente es de 1.866.76 L y la demanda para la producción de biodiésel es de 111.11 L, esto se obtuvo mediante la ayuda del módulo de "Evaluación económica de la producción de biodiésel utilizando ultrasonido y el tratamiento de agua de lavado", esto nos muestra que no se puede suplir con la demanda de la producción de biodiésel y solo representaría un 0.14% del aceite que se necesita. Por lo que no es viable porque no se podría aumentar la capacidad de producción ya que si se produce a capacidad máxima el tiempo del retorno de inversión sería de 34 años después. Aunque anualmente se esté generando una utilidad de Q. 7,093.35 suponiendo que existe demanda del mismo.

Tabla 174. Datos de análisis de tiempo de retorno de inversión - Producción de Aceite de origen Microbiano

<b>Inversión producción aceite</b>	Q235,407.56
<b>Precio aceite</b>	Q 41.86
<b>Producción mensual (ml)</b>	155.56
<b>Producción anual (ml)</b>	1,866.67
<b>Demanda anual de aceite para la producción de biodiésel (L)</b>	111.11
<b>Demanda mensual (L)</b>	9.26
<b>Demanda anual (L)</b>	111.11
<b>i</b>	0%
<b>Costo mensual</b>	Q5,919.77
<b>Costo anual</b>	Q71,037.23

Tabla 175. Flujo libre de efectivo - Producción de Aceite de origen Microbiano

Año	Inversión I.	Precio (Q.)	Demanda (ml)	Ingresos (Q.)	Costo (Q.)	Flujo Efectivo (Q.)	Flujo libre de efectivo	Flujo libre de efectivo acumulado
0	Q235,407.56					- Q235,407.56	(Q235,407.56)	(Q235,407.56)
1		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q228,314.21)
2		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q221,220.87)
3		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q214,127.52)
4		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q207,034.17)
5		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q199,940.83)
6		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q192,847.48)
7		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q185,754.14)
8		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q178,660.79)
9		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q171,567.44)
10		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q164,474.10)
11		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q157,380.75)
12		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q150,287.41)
13		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q143,194.06)
14		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q136,100.71)
15		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q129,007.37)
16		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q121,914.02)
17		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q114,820.67)

Tabla 176. Flujo libre de efectivo - Producción de Aceite de origen Microbiano (continuación)

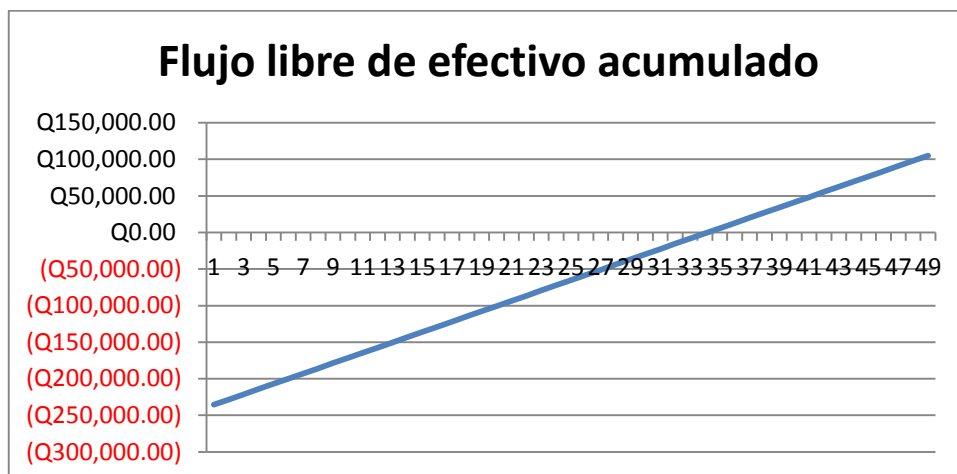
Año	Inversión I.	Precio (Q.)	Demanda (ml)	Ingresos (Q.)	Costo (Q.)	Flujo Efectivo (Q.)	Flujo libre de efectivo	Flujo libre de efectivo acumulado
18		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q107,727.33)
19		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q100,633.98)
20		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q93,540.64)
21		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q86,447.29)
22		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q79,353.94)
23		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q72,260.60)
24		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q65,167.25)
25		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q58,073.90)
26		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q50,980.56)
27		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q43,887.21)
28		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q36,793.87)
29		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q29,700.52)
30		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q22,607.17)
31		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q15,513.83)
32		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q8,420.48)
33		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	(Q1,327.13)
34		41.86	1,866.67	Q 78,138.81	Q 71,045.46	Q 7,093.35	Q7,093.35	Q5,766.21

35		41.86	1,866.67	Q 78,138.8 1	Q 71,045.4 6	Q 7,093.35	Q7,093.35	Q12,859.56
36		41.86	1,866.67	Q 78,138.8 1	Q 71,045.4 6	Q 7,093.35	Q7,093.35	Q19,952.90
37		41.86	1,866.67	Q 78,138.8 1	Q 71,045.4 6	Q 7,093.35	Q7,093.35	Q27,046.25

Tabla 177. Flujo libre de efectivo - Producción de Aceite de origen Microbiano  
(continuación)

Año	Inversión I.	Precio (Q.)	Demanda (ml)	Ingresos (Q.)	Costo (Q.)	Flujo Efectivo (Q.)	Flujo libre de efectivo	Flujo libre de efectivo acumulado
38		41.86	1,866.67	Q 78,138.8 1	Q 71,045.4 6	Q 7,093.35	Q7,093.35	Q34,139.60
39		41.86	1,866.67	Q 78,138.8 1	Q 71,045.4 6	Q 7,093.35	Q7,093.35	Q41,232.94
40		41.86	1,866.67	Q 78,138.8 1	Q 71,045.4 6	Q 7,093.35	Q7,093.35	Q48,326.29
41		41.86	1,866.67	Q 78,138.8 1	Q 71,045.4 6	Q 7,093.35	Q7,093.35	Q55,419.63
42		41.86	1,866.67	Q 78,138.8 1	Q 71,045.4 6	Q 7,093.35	Q7,093.35	Q62,512.98
43		41.86	1,866.67	Q 78,138.8 1	Q 71,045.4 6	Q 7,093.35	Q7,093.35	Q69,606.33
44		41.86	1,866.67	Q 78,138.8 1	Q 71,045.4 6	Q 7,093.35	Q7,093.35	Q76,699.67
45		41.86	1,866.67	Q 78,138.8 1	Q 71,045.4 6	Q 7,093.35	Q7,093.35	Q83,793.02
46		41.86	1,866.67	Q 78,138.8 1	Q 71,045.4 6	Q 7,093.35	Q7,093.35	Q90,886.37
47		41.86	1,866.67	Q 78,138.8 1	Q 71,045.4 6	Q 7,093.35	Q7,093.35	Q97,979.71
48		41.86	1,866.67	Q 78,138.8 1	Q 71,045.4 6	Q 7,093.35	Q7,093.35	Q105,073.06
						Q105,073.06		

Figura 117. Flujo libre de efectivo acumulado - Producción de Aceite de origen Microbiano



6) Determinación de la tasa mínima atractiva de retorno del proyecto. Para la determinación de la tasa mínima atractiva de retorno se consideraron tres tasas, la tasa líder del banco de Guatemala, la tasa de inflación y la tasa de riesgo. Estas sumadas nos dieron una TMAR del 10.5% que es utilizada en la estimación del valor presente Neto. En este caso la tasa de riesgo es igual al 6% tomada como referencia de la empresa Alicorp. Esta tasa fue obtenida de la industria de proyectos similares y fue proporcionada por la empresa Alicorp que ofrece productos de aceites y grasas comestibles entre otros.

Tabla 178. Determinación de la TMAR para la producción de aceite de origen microbiano

Tasas	%
Tasa Líder Banco de Guatemala	4.5%
Tasa de inflación	0%
Tasa de riesgo	6%
<b>TMAR</b>	<b>10.5%</b>

7) Estimación del Valor Presente Neto. El valor presente neto se calculó con una TMAR del 10.5% con la finalidad de evaluar la inversión del proyecto. Este es el equivalente del dinero

actual de todos los ingresos y egresos presentes y futuros que constituyen a la alternativa de la producción de aceites de origen microbiano.

Para el cálculo del valor presente neto se utilizó la tabla de flujos de efectivo obteniendo como resultado una VPN de -(Q182,960.60). Al obtener una VPN negativa, indica que el proyecto se encuentra por debajo de la tasa de descuento y que los ingresos son inferiores a la inversión. Por lo tanto el proyecto no es viable económicamente desde este punto de vista.

Tabla 179. Flujo de efectivo para VPN - Producción de Aceite de origen Microbiano

Año	Inversión I.	Precio (Q.)	Demanda (ml)	Ingresos (Q.)	Costo (Q.)	Flujo Efectivo (Q.)	VP	VP ACUMULADO
0	Q235,407.56					- Q235,407.56	(Q235,407.56)	(Q235,407.56)
1		41.86	1,866.67	Q78,138.81	Q71,045.46	Q 7,093.35	Q6,419.32	(Q228,988.24)
2		41.86	1,866.67	Q78,138.81	Q71,045.46	Q 7,093.35	Q5,809.34	(Q223,178.90)
3		41.86	1,866.67	Q78,138.81	Q71,045.46	Q 7,093.35	Q5,257.32	(Q217,921.59)
4		41.86	1,866.67	Q78,138.81	Q71,045.46	Q 7,093.35	Q4,757.75	(Q213,163.83)
5		41.86	1,866.67	Q78,138.81	Q71,045.46	Q 7,093.35	Q4,305.66	(Q208,858.17)
6		41.86	1,866.67	Q78,138.81	Q71,045.46	Q 7,093.35	Q3,896.53	(Q204,961.65)
7		41.86	1,866.67	Q78,138.81	Q71,045.46	Q 7,093.35	Q3,526.27	(Q201,435.38)
8		41.86	1,866.67	Q78,138.81	Q71,045.46	Q 7,093.35	Q3,191.19	(Q198,244.19)
9		41.86	1,866.67	Q78,138.81	Q71,045.46	Q 7,093.35	Q2,887.96	(Q195,356.23)
10		41.86	1,866.67	Q78,138.81	Q71,045.46	Q 7,093.35	Q2,613.54	(Q192,742.69)
11		41.86	1,866.67	Q78,138.81	Q71,045.46	Q 7,093.35	Q2,365.19	(Q190,377.50)
12		41.86	1,866.67	Q78,138.81	Q71,045.46	Q 7,093.35	Q2,140.44	(Q188,237.06)
13		41.86	1,866.67	Q78,138.81	Q71,045.46	Q 7,093.35	Q1,937.05	(Q186,300.01)
14		41.86	1,866.67	Q78,138.81	Q71,045.46	Q 7,093.35	Q1,752.99	(Q184,547.02)
15		41.86	1,866.67	Q78,138.81	Q71,045.46	Q 7,093.35	Q1,586.42	(Q182,960.60)
							<b>VPN</b>	<b>(Q182,960.60)</b>

8) **Análisis Costo-Beneficio Incremental.** Para realizar el análisis B/C incremental, se requiere de la comparación de las alternativas. Esto nos indicara que alternativa es viable económicamente. Las alternativas para este caso son las siguientes:

a) **Producción de propilenglicol.** dicho proceso ya no se llevó a cabo por lo que esta alternativa queda eliminada por no proporcionar datos económicos para una comparación.

b) **Producción de aceite de origen microbiano.** a continuación se presenta una tabla de costo beneficio. La inversión inicial para poder llevar a cabo el proyecto se toma como costo para poder realizar el análisis de costo beneficio y el beneficio es el VPN después de 15 años, cuando el equipo llega a su máximo de vida útil. En este caso al realizar la operación de costo beneficio se observa que el resultado es de -0.78, lo cual nos indica que, para que un proyecto sea aceptable la razón B/C debe de ser mayor a  $\geq 0$ . De lo contrario el proyecto quedara eliminado a menos que se justifique pero en este caso no se justifica debido a que lo inversión inicial es muy alta comparado a lo que se obtiene de aceite al realizar tal proceso. Por lo que dicho proyecto queda eliminado y se elige la alternativa de NH.

Tabla 180. Análisis costo beneficio - Producción de Aceite de origen Microbiano

DATOS		PRODUCCIÓN DE ACEITE
<b>Costo (inversión)</b>	<b>inicial</b>	Q235,407.56
<b>VP Beneficio</b>		- Q182,960.60
<b>B/C</b>		-0.78

c) **Servicio de recolección de desechos:** es la alternativa de no realizar ningún proceso anterior, enviarlo a incinerar y seguir con la situación actual. Ecotermo es la empresa que brinda el servicio de recolección de desechos. Ellos ofrecen tal servicio con el fin de darle tratamiento a los desechos producidos por la industria y el sector de salud; preservando el medio ambiente. Ellos actualmente le cobran a la universidad Q.7.25 por Kilo recolectando la glicerina sobrante del proceso de producción de biodiésel en las instalaciones de la universidad. (Ver figura 59)

La mejor alternativa para tratar la glicerina residual actualmente es enviarla a incinerar ya que el costo es bastante bajo comparado con producir aceite para el proceso que solo representaría un 0.15% del aceite que se necesita para la producción. Si en algún momento se desea tomar en cuenta la producción de aceites de origen microbiano el costo del equipo debe de ser menor y para que los costos totales no rebasen el costo de incinerar. Entonces este proceso se verá rentable si el costo de producir aceite es menor que los Q. 7.25.

y que se encuentre en un rango de hasta Q. 10.00 por galón, que es el precio del aceite vegetal ya utilizado si en dado caso le tocara a la universidad comprar para la producción de biodiésel. (Ver figura 59)

## H. MÓDULO DE NEGOCIO

El módulo de negocio se evaluó únicamente para la alternativa analizada con el fin de cualificar y cuantificar la inversión de la alternativa para reutilizar el residuo de la glicerina.

Evaluación de la propuesta. Actualmente en la universidad se está produciendo biodiésel pero de la producción se está obtenido alrededor de 20% como residuo, glicerina, que es enviada a incinerar y no tiene ninguna función en la actualidad. Es por eso que la universidad está interesada en darle una reutilización y para resolver dicha problemática se han desarrollado investigaciones para encontrar un proceso que le dé un uso adecuado a bajo costo o que sea justificable con el fin de ser amigables con el medio ambiente.

La propuesta de producción de aceite de origen microbiano nace de una investigación realizada por el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad del Valle de Guatemala en el 2013. El informe fue realizado por el Ing. Oscar Armando Maldonado Ordoñez, donde él realiza una evaluación de la Producción Microbiana de Aceites a Partir de la Glicerina o Glicerol Proveniente de la Producción de Biodiésel. Sus resultados fueron obtenidos por la vía de fermentación de distintas cepas. Pero de las cepas que él evaluó se seleccionó la que mejor rendimiento tuvo, que en este caso es *Lipomyces Starkey*, y se le realizaron ciertas modificaciones y adaptaciones para ver si se podría obtener un mayor rendimiento.

Al realizar la evaluación de la propuesta se logró observar que este proceso puede realizarse de manera continua pero el proceso más largo es el de fermentación. Este proceso se afectado por que lo limita la capacidad de procesar ya que solo se puede procesar alrededor de 40 frascos de 125 ml para un total de 5 L que al utilizar la proporción de glicerina al 1.25%, se necesita únicamente 62.5ml. Este proceso tarda aproximadamente una semana por lo que solo se podría realizar 4 veces al mes y al trabajarse de esta manera solo se estaría produciendo 155 ml. Otros de los factores que afecta esta propuesta es el costo elevado del equipo y el alto costo de la materia prima. Por lo que económicamente no es viable ya que la inversión inicial se estaría recuperando 34 años después y según el análisis costo – beneficio el proyecto no es rentable.

Determinación de puntos críticos. Los factores críticos de éxito son variables que se deben de tomar en cuenta antes y después para la realización del proyecto, ya que aportan información valiosa para alcanzar las metas y objetivos. Para poder alcanzar el éxito que se pretende alcanzar, primero se deben de analizar factores que coinciden en los diferentes estudios, en este caso ya se realizaron los estudios experimentales y numéricos del proceso de producción ahora se analizaran desde otros puntos. Por lo que se cumple con el objetivo de elaborar aceite pero no se podría representar una buena parte de lo que se necesita.

Análisis ambiental. El análisis ambiental se refiere a los eventos macro ambientales de riesgo para el proyecto. Actualmente el precio de elaboración del aceite se ve reflejado en la siguiente tabla comparada con los precios de la competencia si el producto se llegara a comercializar como materia prima para la elaboración del biodiésel.

Tabla 181. Producción de Aceite mensual - Producción de Aceite de origen Microbiano

MÉTODO	Inversión	Costo producción	Precio según costo(ml)	Ganancia de 10%	Precio de comprar Aceite Usado (3780mL)	Precio del aceite Vegetal (2.7L)
<b>Origen Microbiano</b>	Q235,407.56	Q5,919.77	Q38.06	Q41.86	Q10.00	Q44.99

Se puede observar que el precio por ml según este método de producción se encarece mucho ya que en el mercado se puede conseguir aceite aún más económico ya sea usado o refinado. Por lo que nuestros competidores tendrían una gran ventaja en cuanto a la cantidad de aceite que ofrecen.

La materia prima para la elaboración de este método de producción tiene un precio alto por lo que nuestros costos variables ya se ven encarecido comparado con la cantidad de aceite que se obtiene al trabajar con 20 L de producción mensual. Esta materia prima la suministra Merck, S.A.

Análisis de la estructura de la industria. Actualmente en el mercado existen muchos competidores que ofrecen más producto a un menor precio y que se encuentran definidos por sus propias características económicas y tecnológicas. Entre las barreras de entrada tenemos una gran gama de proveedores como lo es: Olmeca, Aceite Regia, Aceite Mazola, etc. Entre los productos sustitutos tenemos aceite usado, aceite virgen, y aceites obtenidos de ciertas semillas. En donde la elaboración de aceite es a un costo menor.

Análisis de la competencia. Este es uno de los análisis más importante ya que es una gran fuente de información. Este análisis se refiere a cómo es que el producto compite. Actualmente varios proveedores de aceite compiten por precio, cantidad y calidad. Ofreciendo una cantidad mayor a un bajo precio, ofreciendo un producto con mayor calidad a un precio más elevado u ofreciendo un descuento en el mismo que hacen que el producto sea más competitivo.

Figura 118. Precio de la presentación de Aceite Olmecca



Figura 119. Precio de la presentación de Aceite Regia



Impacto de la estrategia de mercado sobre utilidades. En esta técnica se puede determinar que aun así se produzca a gran capacidad nunca se va alcanzar suplir en gran mayoría la demanda que tiene el aceite para la elaboración del biodiésel. Al tratar de producir aceite como reutilización del residuo solo se podría suplir un 0.15% debido a que la producción también se ve afectada por la capacidad del equipo. El equipo y la materia prima tienen un costo elevado por lo que afecta dicho proceso y hace que nuestro proyecto no sea viable económicamente. Así mismo el método no contribuye ya que parte de los procesos tarda bastante tiempo.

**Presupuesto de inversión.** Con la realización de todos los balances a través de cotizaciones se puede crear un presupuesto de inversión, que se anticipa a saber la cantidad de dinero que se necesita para realizar el proyecto. Esta estimación es de dinero es de aproximadamente Q 241,327.33. (Ver tabla #26)

**Información técnica.** Después de tomar la proporción de nutrientes – glicerina con mayor rendimiento obtenido se reproducirá aceite en el fermentador de 5 L para realizar una curva de crecimiento microbiano durante 160 horas. El proceso del aceite de origen microbiano se muestra en el anexo G. Este estudio es útil ya que se describió el proceso a utilizar y el costo del mismo, que se definió en el anexo E, para poder producir y vender.

Después de conocer el proceso de producción del aceite se definió lo siguiente:

1. Ubicación: El aceite se producira en las instalaciones de la Universidad del Valle de Guatemala.
2. Insumos: Los insumos como el sabouraud, la peptona de caseína, la peptona de carne y el hexano seran suministrados por la empresa Merck, S.A. el agua sera sumistrada por empagua y el servicio electrico sera suminstrado por EEGSA.
3. Las maquinas a utilizarse se muestran en el anexo H.
4. Personal: se necesita unicamente un encargado de laboratorio.

### XIII. GLOSARIO

- A.      Ácido clorhídrico: Conocido como ácido muriático es corrosivo y ácido, su fórmula es HCL.
- B.      Ácido sulfúrico : Es un compuesto extremadamente corrosivo, su fórmula química es H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
- C.      Acilglicerol: molécula orgánica compuesta de ésteres de ácidos grasos con glicerol. (McMurry, 2012)
- D.      Alcóxido: derivado del alcohol que se caracteriza por estar ausente de hidrógeno, por lo tanto presenta una carga negativa (riqueza en electrones); base más fuerte que un alcohol empleado para realizar la reacción de transesterificación. (McMurry, 2012)
- E.      Amplitud de onda de ultrasonido: distancia entre una cresta y la siguiente o de cualquier punto al punto correspondiente en la siguiente repetición de una onda de ultrasonido. (Young, 2009)
- F.      Autosostenible : Proyecto capaz de sostenerse por sí mismo por su relación ingresos-costos.
- G.      Azeótropo: mezcla líquida de dos o más compuestos con una composición dada que al estar en ebullición produce un vapor de idéntica composición, por lo que el líquido no cambia su composición conforme se evapora. (Smith, 2009)
- H.      Biodiésel: un combustible compuesto de ésteres mono-alcalinos de ácidos grasos de cadenas largas, derivados de aceites vegetales o grasas animales denominado B100 y que cumplen con los requerimientos de ASTM D6571. (Knoethe, 2005)
- I.      Carbonato de calcio : Conocido como Cal, su fórmula química es CaCO<sub>3</sub>.
- J.      Catalizador: sustancia que disminuye la energía de activación de una reacción y permite que la misma ocurra con una mayor rapidez; tienen la característica que no se consumen en la reacción. (Chang, 2010)
- K.      Cavitación: fenómeno producido por la disminución en la presión en un líquido a una temperatura constante, lo que produce una vaporización del solvente. (Mason, 1997)
- L.      Cloud point (punto de enturbiamiento o niebla): temperatura a la que los sólidos disueltos en una matriz líquida comienzan a precipitar formando una segunda fase de sólidos que enturbia la solución. (Knoethe, 2005)
- M.      Costo marginal: Mide la variación del costo total con respecto al aumento de producción.

- N. EGSSA: Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. Principales distribuidores de energía eléctrica en Guatemala.
- O. Emulsión: es la dispersión de un fluido en otro fluido diferente, inmiscibles entre sí, por la formación de una interfase. (Leal-Calderon, 2007)
- P. Energía de activación: es la diferencia entre el estado basal y el estado de transición de una reacción. La cantidad de energía de activación determina la velocidad a la que ocurre una reacción. (Chang, 2010)
- Q. Elasticidad: Grado de respuesta de la demanda debido al cambio en precios.
- R. Éster: compuesto que contiene el grupo funcional  $-CO_2R$ . Se producen por la reacción de un ácido carboxílico y un alcohol. (McMurry, 2012)
- S. Etanol: Conocido también como alcohol etílico, su fórmula química es  $C_2H_6O$ .
- T. Etil éster: ésteres formados por la reacción de un ácido carboxílico y etanol. (McMurry, 2012)
- U. Etóxido de sodio: producto de la desprotonación del etanol empleando hidróxido de sodio; actúa como una base fuerte en la reacción de transesterificación. (McMurry, 2010)
- V. Flash point (punto de flasheo): temperatura a la que los gases producidos por el combustible comienza a arder. (Knoethe, 2005)
- W. Frecuencia de onda de ultrasonido: es el número de ciclos en la unidad de tiempo. Su unidad en Sistema Internacional es el Hertz (Hz) o 1 ciclo/segundo. (Young, 2009)
- X. Glicerina: glicerol o 1,2,3-propanotriol es un alcohol trihídrico claro, viscoso, de sabor dulce, higroscópico y líquido a temperatura ambiente. Es la molécula base para diversos triacilgliceroles. (Knoethe, 2005)
- Y. Gramos (g): Unidad de fuerza o peso del Sistema Métrico Decimal equivalente a la ejercida sobre una masa de un gramo por la acción de la gravedad en condiciones normales.
- Z. Hidróxido de sodio: Conocido como soda cáustica usado en la industria en la fabricación de papel, tejidos, y detergentes, su fórmula química es  $NaOH$ .
- AA. Inde: Instituto Nacional de Electrificación (Guatemala). es una entidad pública autónoma descentralizada con personalidad jurídica, patrimonio propio, capaz de adquirir derechos y contraer obligaciones. Está adscrito al Ministerio de Energía y Minas. Este órgano se encarga de todo lo concerniente a la electrificación del país.

- BB. Índice de cetano: es un parámetro adimensional que determina la calidad de la ignición de un combustible diésel. (Knoethe, 2005)
- CC. Interfase: fase creada al poner en contacto dos fluidos insolubles para permitir la transferencia de masa; esta fase se encuentra en contacto con los dos fluidos insolubles y es prácticamente de un grosor infinitesimal. (Treybal, 1981)
- DD. Intermediario: especie molecular formada durante el curso de una reacción de múltiples pasos que no es el producto final. Los intermediarios son especies más estables que los estados de transición pero no suficientemente estables como para aislarlos. (McMurry, 2010)
- EE. Jabón: compuesto orgánico producido por la reacción de hidrólisis básica de grasas donde los ésteres de cadena larga (ácidos grasos) se convierten en sales carboxiladas de los ácidos grasos. Tienen la característica de tener una parte hidrofílica (grupo carboxilato) que es atraída por el agua y una parte hidrofóbica (cadena de carbonada) que es repelida por el agua y es lipofílica que es atraída por aceites. (Wade, 2010)
- FF. Kilogramo (Kg): Unidad de masa del Sistema Internacional, equivalente a la de un cilindro de platino-iridio conservado en la Oficina Internacional de Pesos y Medidas de París, y aproximadamente igual a la masa de 1000 centímetros cúbicos de agua a la temperatura de su máxima densidad, cuatro grados centígrados.
- GG. Litro (L): Unidad de capacidad del Sistema Métrico Decimal que equivale al volumen de un decímetro cúbico.
- HH. Microbiano: Pertenece o relativo a los microbios.
- II. Mililitro (ml): Milésima parte de un litro, o sea un centímetro cúbico.
- JJ. Miscibilidad: la capacidad de dos líquidos de ser completamente solubles uno en el otro en todas las proporciones. (Chang, 2010)
- KK. Mercado: Son todos los consumidores o compradores potenciales de un producto.
- LL. Metanol: Conocido también como alcohol metílico, su fórmula química es  $\text{CH}_4\text{O}$ .
- MM. Metóxido: Mezcla entre hidróxido de sodio y metanol.
- NN. Numero ácido (índice de acidez): es un indicador de la cantidad de ácidos grasos libres presentes en el aceite. Se expresa en términos del ácido oleico y sus dimensionales son de mg de KOH para saponificar el ácido oleico libre. (Badui, 2006)
- OO. Ondas de rarefacción: estado de la onda de ultrasonido en la que se genera presión negativa que supera las fuerzas de atracción molecular del líquido. (Mason, 1997)

- PP. Presión de vapor: presión de la fase gaseosa de una solución, líquido o sólido que se encuentra en equilibrio con la fase líquida o sólida a una temperatura dada. (Smith, 2010)
- QQ. Reacción bimolecular: reacción cuya velocidad limitante ocurre entre dos reactivos. Es una reacción en cuya expresión de velocidad de reacción están involucrados directamente dos especies distintas de compuestos. (McMurry, 2010)
- RR. Reacción de saponificación: reacción de hidrólisis básica de ácidos grasos del aceite o grasa animal para la producción de jabón. (Wade, 2010)
- SS. Reacción de transesterificación: reacción en equilibrio que experimentan los ésteres en donde un grupo alcóxido es sustituido por otro bajo condiciones ácidas o básicas. Es un tipo de reacción de sustitución nucleofílica. (McMurry, 2010)
- TT. Reacción unimolecular: reacción que ocurre por la transformación espontánea del material inicial sin la intervención de otros reactivos. Es un tipo de reacción en la que la velocidad de reacción depende de solo una especie química. (McMurry, 2010)
- UU. Sonoquímica: campo de la química que se enfoca en la aplicación de energía acústica a procesos químicos para proveer energía suficiente para afectar la reactividad de los procesos químicos. (Chen, 2012)
- VV. Ultrasonido: sonido a una frecuencia diferente a la que los humanos pueden escuchar (16 Hz a 18 kHz) estando entre los 20kHz hasta 100 MHz. (Mason, 1997)
- WW. Viabilidad económica: Establece si un proyecto es rentable económicamente.
- XX. Viscosidad: medida de la resistencia de un líquido a fluir. (Chang, 2010)

## XIV. ABREVIATURAS

- A. AG = Acilglicerol
- B. ASTM = American Society for Testing Materials
- C. B100 = combustible biodiésel al 100%
- D. CH<sub>3</sub>OH = metanol
- E. CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH = etanol
- F. EIA = Energy Informatio Agency
- G. NO<sub>x</sub> = óxidos nitrosos
- H. CN = índice de centano
- I. CO = monóxido de carbono
- J. EPA = Environmental Protection Agency, de USA
- K. Hz = Hertz
- L. KOH = hidróxido de potasio
- M. IICA = International Council for Commercial Arbitration, por sus siglas en inglés
- N. NaOH = hidróxido de sodio
- O. -OH = grupo hidroxilo
- P. PPM = partes por millón
- Q. THC = Total HydroCarbons, hidrocarburos totales
- R. USA = Estados Unidos de América