

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

FACULTAD DE CIENCIAS FARMACÉUTICAS, BIOQUÍMICAS Y
BIOTECNOLÓGICAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA BIOTECNOLÓGICA



COMPARACIÓN DE POTENCIAL ENERGÉTICO DE MEZCLAS B5 Y B10 DE BIODIESEL OBTENIDO DE LA MACROALGA *C. glomerata* CON DIESEL FÓSIL COMERCIAL

Tesis presentada por la Bachiller:
ECHEGARAY UGARTE, TALIA SDENKA

Para optar el título profesional de
INGENIERO BIOTECNÓLOGO

Asesor:
Ing. JAVIER ROQUE RODRÍGUEZ.

AREQUIPA – PERÚ

2016

Dedicatoria

La vida se encuentra plagada de retos y uno de ellos es la universidad. Tras verme dentro de ella, me he dado cuenta que más allá de ser un reto, es una base que concierne a la vida y mi futuro.

La presente tesis está dedicada primeramente a Dios, ya que gracias a él he logrado concluir mi carrera.

Dedico de manera especial a mi hermana Trina pues ella es el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, sentó en mi las bases de responsabilidad y deseos de superación, en ella tengo el espejo en el cual me quiero reflejar pues sus virtudes infinitas y su gran corazón me llevan a admirarla cada día más.

A mi Padre, a mi Madre y a mi hermano que son personas que me han ofrecido el amor y la calidez de la familia a la cual amo.

RESUMEN

Cladophora glomerata es una macroalga muy abundante que crece en los ríos de la región Arequipa. Presenta en sus células diferentes compuestos bioactivos como ácidos grasos, saturados, insaturados, esteroides, terpenos y otros, que lo convierten en materia prima de gran utilidad para aplicaciones alimenticias, farmacéuticas y puede ser explotado como biocombustible.

En la presente investigación se realizó el cultivo de *Cladophora glomerata* encontrada en los pozos y canales de la central de generación eléctrica de Arequipa (EGASA) para la obtención de biodiesel así como su comparación energética en un motor diésel. Para el cultivo del alga *Cladophora glomerata* se implementó y construyó un sistema de cultivo de flujo continuo a condiciones ambientales (temperatura, pH y sólidos totales, monitoreados semanalmente), durante 4 semanas alcanzando una biomasa seca total de 2261,92g obtenido de 37600 g de peso fresco, una productividad de 13,304.23 g.m⁻² por semana y una tasa de crecimiento a la cuarta semana de 112,5894 %/semana.

La extracción del aceite se realizó mediante el método de Soxhlet usando como solventes cloroformo–metanol (2:1). El aceite total obtenido del alga *Cladophora glomerata* fue 1900 ml que corresponde al 84% de la biomasa seca total, presentando propiedades fisicoquímicas como el índice de yodo de 31,73 mol/gr, índice de refracción de 1,3705nD, índice de saponificación de 25,24, aptas para la elaboración de biodiesel. Se implementó un sistema de reactor para la transesterificación del aceite obtenido a biodiesel. El biodiesel total obtenido de la biomasa de *Cladophora glomerata* durante un mes de cultivo fue de 1580ml con una productividad de 83,16%.

El biodiesel obtenido de *Cladophora glomerata* presenta valores como densidad de 0,8328 g/ml, punto de inflamación de 70,04°C, cifra cetánica de 54,44. Acorde a la norma ASTM que regula la calidad de este tipo de biocombustible.

En los ensayos que se realizaron en un motor petrolero de 4 cilindros con cámara de combustión, el rendimiento del motor con las mezclas del Diésel con Biodiesel al 5% (B5) y 10% (B10) tuvieron un menor gasto de combustible de 12,6551 Kg/hr y demostraron una diferencia mínima del 2% en la fuerza/torque alcanzada para llegar a la misma velocidad (2200RPM), a diferencia del diésel fósil convencional que obtuvo mayor gasto de combustible y una mayor fuerza.

Los resultados muestran a *Cladophora glomerata* como una macroalga promisoría para la producción de biodiesel.

Palabras Claves: *Cladophora glomerata*, biodiesel, sistema de flujo continuo, productividad, ASTM



ABSTRACT

Cladophora glomerata is a very abundant macroalgae that grows in the rivers of the Arequipa region. It presents in their cells different bio active compounds such as fatty acids, saturated, unsaturated, sterols, terpenes and others, making it very useful raw material for food, pharmaceutical applications and can be exploited as a biofuel.

In this research the cultivation of *Cladophora glomerata* found in wells and canals of central power generation Arequipa (EGASA) for obtaining biodiesel as well as energy compared to a diesel engine was made. For the cultivation of algae *Cladophora glomerata* it was implemented and built a culture system continuous flow at ambient conditions (temperature, pH and total solids, monitored weekly) for 4 weeks, reaching a total of 2261,92g dry biomass obtained from 37600 g weight fresh and productivity of 13,304.23 gm⁻² per week and a growth rate in the fourth week of 112.5894% / week.

The oil extraction was performed by using Soxhlet method as chloroform-methanol (2: 1) solvent. The total oil obtained *Cladophora glomerata* alga was 1900 ml corresponding to 84% of the total dry biomass, having physicochemical properties as the iodine number of 31.73 mol / g, refractive index of 1,3705nD, saponification of 25,24, are suitable for the production of biodiesel. a reactor system for the transesterification of biodiesel oil obtained was implemented. The total biodiesel from biomass of *Cladophora glomerata* for a month was 1580ml culture with a productivity of 83.16%.

Biodiesel obtained from *Cladophora glomerata* presents values as density 0.8328 g / ml, flashpoint 70,04°C, cetane figure of 54.44. According to the ASTM standard regulating the quality of this type of biofuel.

In trials were conducted in an oil 4-cylinder engine with combustion chamber, engine performance with blends of diesel with 5% biodiesel (B5) and 10% (B10) had lower fuel consumption 12, 6551 Kg / hr and showed a minimum difference of 2% in the force / torque achieved to reach the same speed (2200rpm), unlike

conventional fossil diesel fuel obtained higher spending and greater force. The results show *Cladophora glomerata* as a promising macroalgae for the production of biodiesel

Keywords: *Cladophora glomerata*, biodiesel, continuous flow system, productivity, ASTM



ÍNDICE

	Págs.
RESUMEN	
ABSTRACT	
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivo General	2
2.2. Objetivos Específicos	2
3. HIPÓTESIS.....	2
CAPITULO I.....	4
5. MARCO TEORICO	4
5.1. Generalidades de la macroalga <i>Cladophora glomerata</i>	4
5.1.1. Biología de <i>Cladophora glomerata</i>	4
5.1.2. Clasificación taxonómica de <i>Cladophora glomerata</i>	5
5.1.3. Aplicaciones biotecnológicas de <i>Cladophora glomerata</i>	6
5.1.4. Parámetros del cultivo de <i>Cladophora glomerata</i>	6
5.1.5. Sistema de cultivo con macroalgas.....	8
5.2. Extracción de aceite de macroalgas.....	9
5.2.1. Métodos mecánicos.....	9
5.2.2. Métodos químicos	10
5.3. Caracterización del aceite	12
5.4. Producción de biodiesel	14
5.4.1. Uso del biodiesel en el Perú	15
5.4.2. Propiedades del Biodiesel	21
5.4.3. Características de Biodiesel	22
5.4.4. Proceso de Transesterificación.....	24
5.4.5. Estándares y calidad del biodiesel	27
5.4.6. Proceso de producción y calidad del combustible.....	28
CAPITULO II	30
6. MATERIALES Y METODOS.....	30
6.1. Tipo de Investigación	30
6.2. Lugar de Ejecución	30
6.3. Materiales	30

6.4. Métodos	31
6.4.1. Colecta, aislamiento e identificación de la macroalga <i>Cladophora glomerata</i>	31
6.4.2. Implementación y acondicionamiento del sistema de flujo para el cultivo de <i>Cladophora glomerata</i>	32
6.4.2.1. Propagación y cultivo de la macroalga en un sistema de flujo continuo.....	32
6.4.2.2. Cosecha y secado de la macroalga <i>Cladophora glomerata</i>	33
6.4.2.3. Medida del crecimiento de la macroalga <i>Cladophora glomerata</i>	33
6.4.2.3.1. Determinación del crecimiento específico.....	33
6.4.2.3.2. Determinación de la productividad.....	33
6.4.3. Extracción y caracterización del aceite de la macroalga <i>Cladophora glomerata</i>	34
6.4.4. Construcción e implementación de un sistema de reactor para el proceso de transesterificación.....	34
6.4.5. Obtención y caracterización de biodiesel.....	35
6.4.5.1. Determinación de la productividad de biodiesel obtenido del aceite de la macroalga <i>Cladophora glomerata</i>	37
6.4.6. Comparación energética de Biodiesel y Diésel fósil en un motor petrolero	37
6.5. Análisis y Procesamiento de Datos	38
6.6. Flujograma de Actividades.....	39
CAPITULO III	40
7. RESULTADOS Y DISCUSION	40
7.1. Identificación y Aislamiento de la Macroalga <i>Cladophora glomerata</i>	40
7.2. Implementación y Acondicionamiento de un Sistema de Flujo para el cultivo de <i>Cladophora glomerata</i>	41
7.2.1. Medida de Crecimiento de la macroalga <i>Cladophora glomerata</i>	44
7.3. Obtención y Caracterización del Aceite.....	46
7.3.1. Construcción de un sistema de reactor para obtener biodiesel	49

7.3.2. Obtención y caracterización del Biodiesel.....	50
7.4. Comparación Energética del Biodiesel.....	55
8. CONCLUSIONES.....	67
9. RECOMENDACIONES.....	68
10. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	69
ANEXOS.....	77
ANEXO I PANEL FOTOGRAFICO.....	78
ANEXO II TABLAS, CUADROS Y CALCULOS.....	83
ANEXO III ANALISIS DE LABORATORIO Y CERTIFICADOS	112



INDICE DE TABLAS

	Págs.
Tabla 1. Análisis para determinar la calidad de aceite según CODEX 210....	13
Tabla 2. Comparación del diésel y del biodiesel para algunos parámetros.....	22
Tabla 3. Propiedades del biodiesel	23
Tabla 4. Análisis de mezclas entre Biodiesel y Diésel	28
Tabla 5. Características del motor diesel usado para su comparación energética.....	37
Tabla 6. Resultados de la tasa de crecimiento y productividad por semana de cultivo de la macroalga <i>Cladophora glomerata</i>	44
Tabla 7. Análisis fisicoquímico del aceite extraído de la macroalga <i>Cladophora glomerata</i>	49
Tabla 8. Determinación de parámetros del biodiesel mediante el ensayo ASTM.....	54
Tabla 9. Resultados totales de aceite y biodiesel producido.....	55
Tabla 10. Resultados comparativos de la eficiencia efectiva entre el diesel fósil. Biodiesel 5% y Biodiesel 10%	62
Tabla 11. Resultados comparativos de la eficiencia mecánica entre el diesel fósil. Biodiesel 5% y Biodiesel 10%	63
Tabla 12. Resultados comparativos de la eficiencia indicada entre el diesel fósil. Biodiesel 5% y Biodiesel 10%	64
Tabla 13. Resultados comparativos de la eficiencia volumétrica entre el diesel fósil. Biodiesel 5% y Biodiesel 10%	65

INDICE DE FIGURAS

	Págs.
Figura 1. La estructura del cuerpo de <i>Cladophora glomerata</i>	5
Figura 2. Sistema de flujo continuo.	9
Figura 3. Aparato de extracción Soxhlet.....	10
Figura 4. Reacción de transesterificación.	24
Figura 5. Etapas de la Reacción de transesterificación.	25
Figura 6. Mecanismo de la transesterificación con catálisis básica para los triglicéridos.....	26
Figura 7. Reacciones de saponificación y neutralización.	27
Figura 8. Reactor para la transesterificación	35
Figura 9. Sistema de purificación para el biodiesel;.....	36
Figura 10. Colecta de la macroalga <i>Cladophora glomerata</i>	40
Figura 11. Sistema de flujo continuo	42
Figura 12. Cultivo de la macroalga <i>Cladophora glomerata</i> a condiciones ambientales.....	42
Figura 13. Parámetros de crecimiento por semana.....	45
Figura 14. Proceso de extracción de aceite.....	47
Figura 15. Formación de metóxido de Potasio.	51
Figura 16. Obtención del Biodiesel.....	52
Figura 17. Mezclas de Biodiesel y motor petrolero.	56
Figura 18. Rendimiento del motor con diesel fósil.....	57
Figura 19. Relacion de las eficiencias mecanica, efectiva, indicada y volumetrica del motor con diesel fosil.....	58
Figura 20. Rendimiento del motor con Biodiesel al 5%	59
Figura 21. Relacion de la eficiencia mecanica, efectiva, indicada y volumetrica del motor con Biodiesel al 5%	60
Figura 22. Rendimiento del motor con Biodiesel al 10%.....	61
Figura 23. Relación de la eficiencia mecanica, efectiva, indicada y volumetrica del motor con Biodiesel al 10%	62
Figura 24. Comparación de la eficiencia efectiva entre Diesel fosil, Biodiesel 5% y Biodiesel 10%	63

Figura 25. Comparacion de la eficiencia mecánica respecto al diesel fosil, Biodiesel 5% y Biodiesel 10%.	64
Figura 26. Comparación de la eficiencia indicada del diesel fosil, Biodiesel 5% y Biodiesel 10%	65
Figura 27. Comparación de la eficiencia volumetrica con Diesel fosil, Biodiesel 5% y Biodiesel 10%	66



1. INTRODUCCIÓN

En este siglo la humanidad afronta una grave problemática debido al aumento de la demanda energética mundial, agotamiento de los combustibles fósiles, incremento del precio del petróleo y las dificultades ambientales causadas por los gases de invernadero tales como la contaminación local del aire y el calentamiento global. Esta situación demanda urgentemente fuentes alternativas de energía basadas en procesos sustentables, renovables y amigables con el ambiente, que además posibiliten la captura de CO₂. Una alternativa energética promisoría que ha resultado muy atractiva en años recientes es el biodiesel **(1)**. Los biocombustibles son considerados como posibles alternativas, ya que son fuentes de energía sostenibles y tiene ventajas potenciales globales sobre otras fuentes de biocombustibles **(2)**.

El biodiesel obtenido de algas no contiene azufre y proporciona las mismas prestaciones que el diésel de petróleo, al tiempo que reduce las emisiones de CO₂, hidrocarburos y SO_x **(4)**. Varias fuentes de biomasa pueden ser utilizadas para producir biodiesel. Sin embargo, en los últimos años, las algas han surgido como posibles materias primas de biodiesel. El aceite de algas ha sido identificado como un recurso confiable para la producción de biodiesel, debido a su alta y rápida productividad de lípidos **(5)**. Hasta ahora se han realizado pocos estudios sobre *Cladophora* en cuanto a su uso como fuente natural de compuestos bioactivos, así como sobre el uso de su biomasa como fuente de biocombustible **(6)**.

Las macroalga *Cladophora glomerata* presenta en sus células diferentes compuestos bioactivos, como ácidos grasos insaturados, saturados, esteroides, terpenos, compuestos fenólicos, carotenoide, minerales, vitamina A, C, E, B1, B2, aminoácidos, esteroides, terpenos, hidratos de carbono, glicósidos y proteínas, volátiles y enzimas **(7)** y otros, que lo convierten en materia prima de gran utilidad para aplicaciones alimenticias, farmacéuticas y puede ser explotado como biocombustible.

Por lo cual el presente estudio tiene por objetivo la comparación energética de diesel fósil con mezclas de Biodiesel al 5% y 10% obtenido del aceite extraído de la macroalga *Cladophora glomerata*.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Comparar el potencial energético de diesel fósil con mezclas de Biodiesel al 5% y 10% obtenido del aceite extraído de la macroalga *Cladophora glomerata*.

2.2. Objetivos Específicos

- Aislar e identificar la macroalga *Cladophora glomerata*
- Implementar y construir un sistema de flujo continuo para el cultivo de *Cladophora glomerata*.
- Evaluar los parámetros de crecimiento del cultivo de la macroalga *Cladophora glomerata*.
- Extraer y caracterizar el aceite de la macroalga *Cladophora glomerata*,
- Implementar y construir un sistema de reactor para la transesterificación del aceite del alga *C. glomerata*.
- Obtener y caracterizar el biodiesel obtenido del aceite de la macroalga *Cladophora glomerata*.
- Determinar la comparación energética de Biodiesel al 5% y 10% con Diésel fósil en un motor petrolero.

3. HIPÓTESIS

Debido a que las especies de macroalgas son biofábricas de lípidos es posible obtener un biocombustible a partir de la transesterificación del aceite del alga *C. glomerata* cuya mezcla con diesel fósil comercial mejora el potencial energético en motores de combustión interna.

4. DEFINICIÓN OPERACIONAL Y CONCEPTUAL DE LAS VARIABLES

La siguiente tabla muestra las variables e indicadores que se evaluaron en la presente investigación:

VARIABLE	DIMENSIONES DE LA VARIABLE	INDICADOR	UNIDAD	TIPO DE VARIABLE/ ESCALA
Variable Independiente	Parámetros Físicoquímicos del cultivo	Biomasa	g	Cuantitativa Continua/ Razón
Variable dependiente	Parámetros del Biodiesel	Biodiesel obtenido	L	Cuantitativa Continua/Razón

VARIABLE	DIMENSIONES DE LA VARIABLE	INDICADOR	UNIDAD	TIPO DE VARIABLE/ ESCALA
Variable Independiente	Mezclas de Biodiesel	B5 (Diésel 95%-Biodiesel 5%)	ml	Cuantitativa Continua/ Intervalo
		B10 (Diésel 90%-Biodiesel 10%)		
Variable dependiente	Comparación energética	Potencia efectiva	KW	Cuantitativa Continua/Razón
		Consumo de combustible	Kg/hr	

CAPITULO I

5. MARCO TEORICO

5.1. Generalidades de la macroalga *Cladophora glomerata*

5.1.1. Biología de *Cladophora glomerata*

Cladophora glomerata es una macroalga verde filamentosa con talos generalmente ramificados (8,9). Se clasifica dentro del phylum Chlorophyta, clase Ulvophyceae, y el orden Cladophorales (10). El género *Cladophora* (Chlorophyta) contiene aproximadamente 183 especies en todo el mundo (11), habita en ambientes de agua dulce, salobre y marinos, tanto en zonas templadas y regiones tropicales (12). A menudo estas algas están asociadas a sustratos debajo del agua que fluye, donde son visibles como filamentos largos. Forman masas libres y flotantes en las aguas superficiales y en sedimentos del fondo (13). *Cladophora glomerata* presentan ramas filamentosas, células multinucleadas, cloroplastos reticulares, paredes celulares gruesas y carecen de vainas mucilaginosas (figura1) (12). La macroalga *Cladophora* presenta en sus células diferentes compuestos bioactivos, como ácidos grasos insaturados y saturados esteroides, terpenos, compuestos fenólicos, carotenoides, minerales, vitamina A, C, E, B1, B2, aminoácidos y proteínas, esteroides, hidratos de carbono, glicósidos y enzimas (14) y otros, que lo convierten en materia prima de gran utilidad para aplicaciones alimenticias y farmacéuticas. Blum sugirió en 1956 que *Cladophora glomerata* parece ser el alga más abundante en las corrientes de todo el mundo. *Cladophora* es abundante también en muchos lagos y lagunas, y en los últimos años ha habido un número cada vez mayor de informes de esta alga que acrediten una molestia grave en todos estos tipos de hábitat. (15).

Debido a que la morfología filamentosa de la macroalga *Cladophora* fácilmente puede ser cosechada usando mallas, o sistemas de flujo continuo, la biomasa puede ser recolectada y se extrae para abastecer fertilizante agrícola, así como

procesado para producir compuestos orgánicos útiles en la producción de biocombustibles. (16).

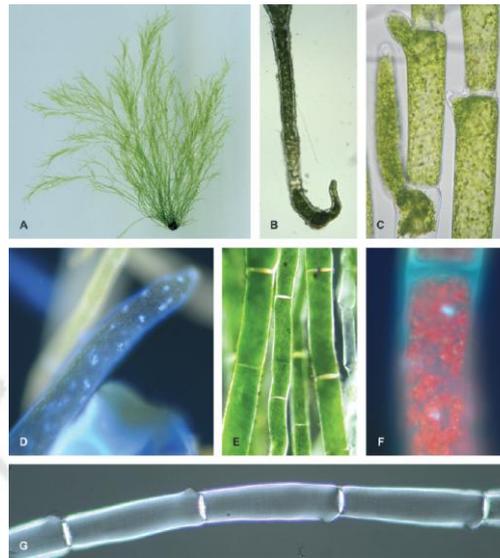


Figura 1. La estructura del cuerpo de *Cladophora glomerata*.

A) Ramificación para formar el cuerpo filamentos multicelular. (B) filamento visto en primer plano (C) Tres células, desde el vértice hasta la formación de la ramificación. (D) Porción de una célula apical de una rama teñida con DAPI para mostrar la condición multinucleada. Los núcleos son los puntos de azul blanco. (E) Las células que muestran paredes celulares ricas en celulosa, que brillan blanco. (F) Las partes de una célula teñidas con DAPI para mostrar el reticulado autofluorescente y plástidos (puntos naranjas). Dos núcleos también son visibles como puntos blancos grandes. (G) esporulación. Fuente: Material de algas recopilada del lago Mendota, Dane Co., Wisconsin, EE.UU.

5.1.2. Clasificación taxonómica de *Cladophora glomerata*

La clasificación taxonómica de *Cladophora glomerata* es como sigue:

Dominio: Eukaryota

Reino: Plantae

Phylum: Chlorophyta

Subphylum: Chlorophytina

Clase: Ulvophyceae

Orde: Cladophorales

Familia: Cladophorace

Género: *Cladophora*

Especie: *Cladophora glomerata* (17)

5.1.3. Aplicaciones biotecnológicas de *Cladophora glomerata*

Estas algas contienen compuestos bioactivos como: ácidos grasos saturados e insaturados **(18)** esteroides, terpenoides **(19)** así como compuestos fenólicos **(20)**. Las algas de agua dulce del género *Cladophora* se caracteriza por una alta cantidad de macroelementos tales como: calcio, potasio y fósforo, así como los siguientes microelementos: magnesio, hierro y zinc **(21)**, **(22)**. El ácido graso saturado predominante en la *Cladophora glomerata* de agua dulce es el ácido palmítico (C16: 0), y entre otros ácidos grasos saturados no se han detectado tales ácidos como: mirístico (C14: 0), pentadecanoico (C15: 0), esteárico (C18 : 0) y araquídico (C20: 0). Resultó, que *Cladophora glomerata* es también una fuente de un número de ácidos insaturados, tales como: tetradecatrienoico (C14: 3), tetradeca tetraenoico (C14: 4), 9-hexadecaenoico (C16: 1), hexadecadienoico (C16: 2), 6,10,14-hexadecatrienoico (C16: 3), hexadecatrienoico (C17: 3), linoleico (C18: 2) y eicosahexaenoico (C20: 6) **(23)**.

En la producción sostenible de biocombustibles, macroalgas tienen varias ventajas potenciales en comparación con las plantas terrestres **(24)**.

5.1.4. Parámetros del cultivo de *Cladophora glomerata*

a) Nutrientes

Cladophora glomerata tiene ventaja de ser capaz de prosperar en entornos con altas concentraciones de nitrógeno, lo que hace factible el cultivo en estanques abiertos. Sin embargo, en todos los sistemas de cultivo se requiere agregar algunos nutrientes y ajustar algunos factores fisiológicos limitantes para el crecimiento óptimo **(25)**.

La mejor fuente de nitrógeno en *Cladophora glomerata* es el nitrato. En la práctica, 7 mmol.L⁻¹ de NaNO₃ o KNO₃ se añade al medio para el crecimiento óptimo de las algas. Por otra parte, limitando el nitrato es una de las formas más comunes para la reducción de la tasa de crecimiento. Sin embargo, la limitación de nitrógeno prolongada en el

cultivo puede conducir eventualmente a la alta mortalidad de las células, así como a la reducción grave de carotenoides por unidad de volumen de cultivo. Otras fuentes de nitrógeno tales como sales de amonio y urea no son apropiadas debido a que pueden dar lugar a la muerte de las algas bajo ciertas condiciones **(25)**. También se ha demostrado que el uso de NH_4NO_3 o $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ como fuente de nitrógeno tiene efectos tóxicos **(25)**.

b) Sustrato

Bajo condiciones favorables *Cladophora* se puede encontrar unido a una amplia gama de sustratos, en las rocas calcáreas en vista de las necesidades de minerales para el crecimiento. Ahora bien, Jao (1944) sugirió que las zoosporas de *C. glomerata* en el río Matanza, en China, evita las rocas calcáreas, mientras que prefiere las areniscas **(26)**. Por otro lado Thurman y Kuehne (1952) encontró que, además de dos hábitats artificiales cerca de Dallas, EE.UU., *Cladophora glomerata* crece en los arroyos de piedra caliza y solo era abundante en aguas rápidas, poco profundas y con un sustrato rocoso o roca madre expuesta **(27)**.

c) pH

Especies de *Cladophora* están casi siempre asociados a condiciones de pH alto existiendo pocos registros inferiores a 7,0. Entre ellas el registro por Bennett (1969) a partir de un arroyo ácido es especialmente notable. Bellis (1968) encontró que cultivos de *C. glomerata* murieron a valores iniciales de pH inferior a 7,0 y por encima de 10,0. A valores iniciales de pH inmediatamente adyacentes a estos límites los cultivos producen solamente aquinetos, pero con filamentos ramificados desarrollados donde los valores iniciales de pH variaron de 7,25 a 9,01 **(28)**. Dentro de la gama de pH que se produce el alga *Cladophora* parece favorecido por aguas muy duras. Un estudio muy completo sobre este y otros aspectos de la química del agua asociada con *C. crispata*, *C. fracta* y *C. glomerata* está dada por Fjerdingstad (1965) **(29)**. En los

experimentos de cultivo de Bellis (1968), *C. glomerata* se volvió incolora y murió a los 4 días después de estar colocado en un medio libre de calcio. El crecimiento se produjo en medios que contienen al menos 6,4 mg.1 calcio y 1,7 mg.1 magnesio. **(28)**.

d) Temperatura

Se ha informado que *Cladophora* presenta una amplia gama de regiones climáticas que van desde el Ártico hasta los trópicos. Sin embargo, una disminución marcada en los cultivos se ha observado a menudo en los estudios de campo en las regiones templadas durante los meses más calurosos. Whitton (1967) encontraron que el rápido crecimiento de *C. glomerata* se llevó a cabo entre 15 ° y 25 °C, mientras que 6 ° y 30 ° C eran los límites del crecimiento detectable. El alga muere lentamente a 33 ° C, mientras que a 35 ° C las células se vuelven blancos dentro de 12 hr. **(25)**.

e) Luz

Se ha informado de que a menudo el crecimiento de *C. glomerata* y muchas otras especies de *Cladophora* está favorecida marcadamente por altas intensidades de luz. Por ejemplo, Jaag (1938) señaló que una serie de días nublados reducen drásticamente el crecimiento de *C. glomerata* **(30)**. *Cladophora* recogida del agua de la superficie del lago Trout, Wisconsin, fue la única que exhibió su fotosíntesis máxima sobre un día brillante en la superficie del lago.

5.1.5. Sistema de cultivo con macroalgas

La construcción de un sistema de producción de algas está enfocada en establecer un sistema de alto rendimiento y la necesidad comercial de disminuir costos. **(31)**.

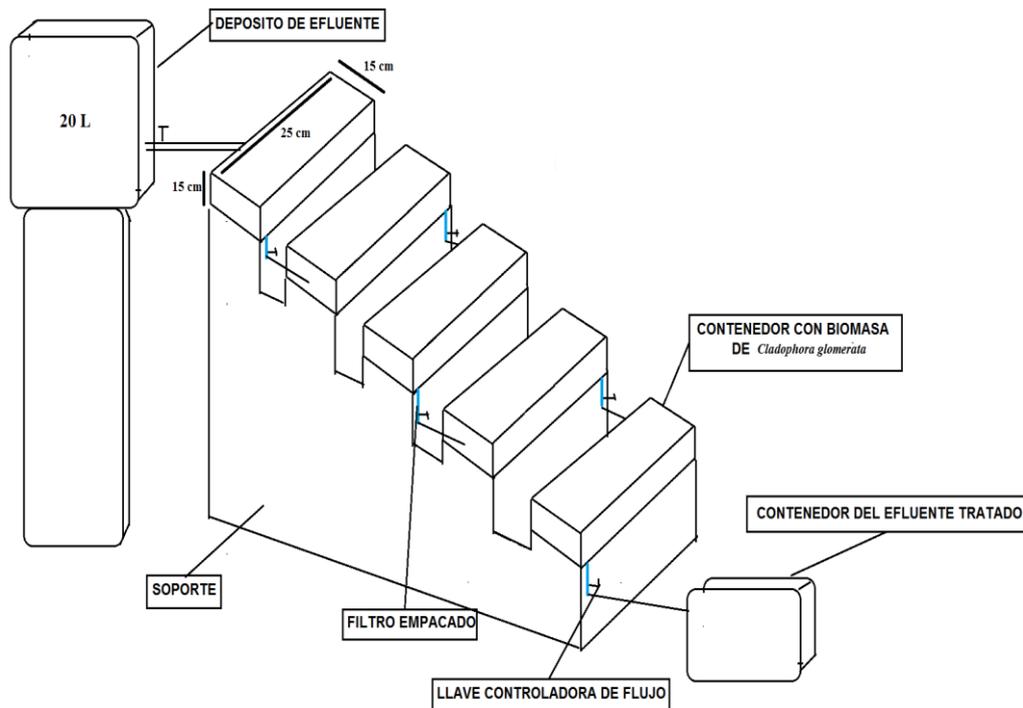


Figura 2. Sistema de flujo continuo (32).

5.2. Extracción de aceite de macroalgas

El proceso de extracción de aceite (biolipidos) a partir de algas oleaginosas es el punto espinoso para determinar la viabilidad del biodiesel a base de algas como un bioproceso productivo y rentable; eso por cuanto es la parte más costosa del proceso. Pero en términos de concepto, es bastante simple.

5.2.1. Métodos mecánicos

Consiste en la pulverización, mediante impactos, de la muestra de biomasa seca de microalgas. Este método cumple una doble función, en primer lugar permite la homogeneización de la muestra, permitiendo también que la superficie de contacto de la biomasa microalgal con el solvente a utilizar sea máxima; y en segundo destruye la pared celular liberando lípidos además de otras sustancias presentes en las células, lo que resalta su preferente utilización en conjunto con métodos de extracción por solvente químico. Este procedimiento abarca varias clases de dispositivos mecánicos como homogeneizadores celulares, molinos de bolas, sistemas de prensado, morteros; etc. (33).

5.2.2. Métodos químicos

a) Extracción por solvente (hexano)

Se trata de un mecanismo complejo, especialmente para materiales oleaginosos debido a la estructura celular de los cuerpos lipídicos vegetales. Por ello, es dificultoso explicar todos los fenómenos que tienen lugar, durante la extracción por solvente, a través de una sola teoría. (34)

b) Método Soxhlet

El sistema de extracción Soxhlet ha sido ampliamente utilizado en la extracción de aceite de microalgas, este sistema, se compone de un balón donde se encuentra un solvente orgánico que se calienta hasta ebullición, un tubo de extracción Soxhlet, donde se coloca la muestra, la cual va contenida en un cartucho de celulosa, y un condensador; en el cual, después de evaporarse, el solvente orgánico se condensa y cae al tubo Soxhlet, donde extrae el aceite contenido en la biomasa seca hasta que el tubo se llena, cuando el tubo está lleno de solvente, este, por medio de un sifón, vuelve al balón que contiene el resto de solvente y se repite el proceso (33).

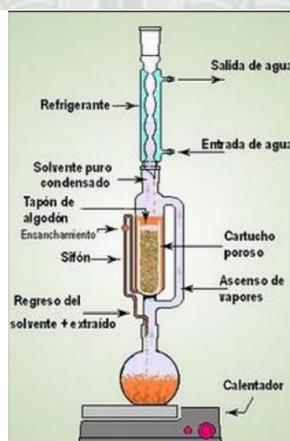


Figura 3. Aparato de extracción Soxhlet (33)

Una gran cantidad de solventes se han utilizado como medio de extracción en el método Soxhlet, el uso de éter de petróleo se recomienda por ser éste un solvente no polar que será selectivo al extraer lípidos no polares de las microalgas como los triglicéridos, los cuales son lípidos ideales para la producción de biodiesel; el éter etílico también posee esta propiedad, el

inconveniente que presentan los éteres, es su alta volatilidad, lo que conlleva a una significativa pérdida de solvente durante el proceso de extracción. El solvente hexano también ha sido ampliamente utilizado como solvente de extracción para microalgas en el sistema Soxhlet con resultados interesantes **(54)**, el hexano es relativamente económico, fácil de recuperar después de la extracción y posee selectividad hacia lípidos neutros, también puede ser utilizado en mezcla con isopropanol, esta mezcla se considera segura a escala industrial, eficiente en la extracción de ácidos grasos y de baja toxicidad. Si el objetivo es una gran eficiencia y la selectividad no es prioritaria la mezcla diclorometano: hexano, permite aumentar la cantidad de lípidos totales extraídos. Otra mezcla que se ha utilizado en la extracción Soxhlet para microalgas, es una combinación de diclorometano: metanol, la cual es muy eficiente y recupera una gran cantidad de lípidos neutros. **(33)**.

c) Extracción por arrastre con vapor

En la destilación por arrastre de vapor de agua se lleva a cabo la vaporización selectiva formada por este y otros “no volátiles”. Lo anterior se logra por medio de la inyección de vapor de agua directamente en el seno de la mezcla, denominándose este “vapor de arrastre”, pero en realidad su función no es la de “arrastrar” el componente volátil, sino condensarse formando otra fase inmiscible que cederá su calor latente a la mezcla a destilar para lograr su evaporación.

d) Extracción por fluido supercrítico (CO₂)

Un fluido supercrítico posee propiedades de disolvente que se parecen a las de un líquido, pero también exhibe propiedades de transporte parecidas a las de un gas. De esta manera, un fluido supercrítico no solo puede disolver solutos sino que también es miscible con los gases ordinarios y puede penetrar en los poros de los sólidos. Los fluidos supercríticos tienen una viscosidad más baja y un coeficiente de difusión más elevado que los líquidos. La densidad de un fluido supercrítico aumenta al aumentar la presión y, al aumentar la densidad, la solubilidad de un soluto en el fluido supercrítico aumenta de manera espectacular. El hecho de que las

propiedades puedan ajustarse variando la presión y la temperatura tiene ventajas para la aplicación de estos fluidos como agentes de extracción.

(35)

Cada método tiene sus ventajas e inconvenientes:

- La prensa mecánica requiere secar las algas y utiliza energía intensiva; pero el aceite obtenido es limpio y “virgen”.
- El uso de solventes químicos presenta cuestiones de salud y seguridad humana y animal; pero para el uso como biodiesel, esos cuestionamientos no son válidos.
- La extracción supercrítica requiere de equipos de alta presión que son costosos y también consume mucha energía; pero puede aplicarse con gran facilidad de extracción en sistemas cerrados o continuos.

5.3. Caracterización del aceite

La caracterización de lípidos se realiza para evaluar la calidad del aceite obtenido, los análisis se verán basados en el CODEX para aceites vegetales especificados (CODEX STAN 210-1999), esta norma se emplea para estandarizar los valores en cuanto a las características fisicoquímicas que debe poseer un aceite vegetal. Según el CODEX establece los siguientes análisis para determinar la calidad de un aceite.

Tabla 1: Análisis para determinar la calidad de aceite según CODEX 210

Método de análisis y muestreo	Referencia
Determinación de la materia volátil a 105°C	De conformidad con UIQPA:2.601 o ISO 662:1998
Determinación de las impurezas insolubles	De conformidad con UIQPA 2,604 o ISO 663:2000
Determinación del contenido de jabón	De conformidad con BS 684 sección 2.5.
Determinación del contenido de cobre y de hierro	De conformidad con ISO 8294: 1994, UIQPA: 2.631 o AOAC 990.05 o AOCS Ca 18b-91.
Determinación de la densidad relativa	De conformidad con: UIQPA 2.101, con el factor de conversión apropiado.
Determinación de la densidad aparente	De conformidad con ISO 6883: 2000, con el factor de conversión apropiado o AOCS Cc 10c-95.
Determinación del índice de refracción	De conformidad con UIQPA 2.102 o ISO 6320: 2000 o AOCS Ce 7-25.
Determinación del índice de saponificación (IS)	de conformidad con UIQPA 2.202 o ISO 3657:1988
Determinación del índice de yodo (IY)	De conformidad con UIQPA 2.205/1, ISO 3961: 1996, AOAC 993.20, o AOCS Cd 1d-92 (97), o por calculo- de conformidad con AOCS Cd 1b-1987 (97). En la norma se establece el método que debe aplicarse para aceites vegetales especificados
Determinación de la materia insaponificable	De conformidad con UIQPA 2.401 (parte 1-5) o ISO 3596:2000 o ISO 18609:2000
Determinación del índice de peróxido (IP)	De conformidad con UIQPA 2.501 (según lo enmendado), AOCS Cd 8b-90 (97) o ISO 3961:1998
Determinación del contenido total de carotenoides	De conformidad con BS 684 Sección 2.20
Determinación de la acidez	De conformidad con UIQPA 2.201 o ISO 660:1996 o AOCS Cd 3d-63.
Determinación del contenido de esteroides	De conformidad con ISO 12228:1999 o UIQPA 2.403
Determinación del contenido de tocoferoles	De conformidad con UIQPA 2.342 o ISO 9936: 1997 o AOCS Ce 8-89.
Ensayo de Halphen	De conformidad con AOCS Cb 1-25 (97).
Índice de Crismer	De conformidad con AOCS Cb 4-35 (97) y AOCS Ca 5ª-40 (97).
Ensayo de Baudouin (Ensayo de Villavecchia modificado o ensayo del aceite de sésamo)	De conformidad con AOCS Cb 2-40 (97).
Índice de Reichert e Índice de Polenske	De conformidad con UIQPA 2.204

Los análisis considerados para evaluar la calidad del aceite serán los siguientes:

a) Peso específico

El peso específico es un valor que nos indica la relación de peso (gr) que existe entre el aceite analizado y agua.

b) Índice de refracción

El índice de refracción de un aceite se define como la razón de la velocidad de la luz en el vacío con respecto a la velocidad de la luz en el aceite que será evaluado con la velocidad de luz en el aire en lugar del vacío. El índice de refracción es característico dentro de ciertos límites para cada aceite por lo que es un indicador de pureza del aceite.

Este valor estará relacionado con el grado de saturación, con la razón cis/trans de los dobles enlaces y puede estar influenciado por el daño que sufre el aceite tras la oxidación.

c) Índice de saponificación

El análisis del índice de saponificación es uno de los procedimientos fundamentales para lograr determinar la calidad de la grasa que se obtendrá.

d) Índice de Yodo (método de Wijs)

El índice de yodo representa la cantidad de insaturaciones que presentara el aceite, mientras mayor sea el resultado, el aceite tendrá mayor cantidad de ácidos grasos insaturados o poliinsaturados.

e) Índice de peróxido

Este parámetro indica que extensión ha experimentado el aceite a la rancidez oxidativa. **(36)**

5.4. Producción de biodiesel

El biodiesel es un biocombustible que se presenta en estado líquido y se obtiene a partir de recursos renovables: aceites vegetales, grasas animales y metanol.

La ASTM (American Society for Testing Materials) define al biodiesel como un éster mono alquílico de cadena larga de ácidos grasos derivados de recursos renovables, como por ejemplo aceites vegetales o grasas animales, para utilizarlos en motores Diesel. Diversos aceites han sido probados para la producción de biodiesel, generalmente los que abundan en la zona o país de

investigación. En Estados Unidos se utiliza principalmente el aceite de maíz, mientras que en Europa se utiliza más el aceite de colza. Otros países como Malasia han explorado la palma africana. Los países tropicales investigan la utilización del aceite de coco y de palma. La producción depende del coste de la materia prima. **(37)**.

5.4.1. Uso del biodiesel en el Perú

Al igual que en otros países de América Latina, en los últimos años, el Perú ha estado promoviendo el uso de los biocombustibles en la matriz energética como una herramienta para ser menos dependientes del petróleo y productos derivados del petróleo crudo. Entre los biocombustibles actuales, el biodiesel y el etanol son los más utilizados en todo el mundo. Estos combustibles utilizan la infraestructura de gasolina y diesel actual y se pueden mezclar directamente con dichos combustibles en motores convencionales. El Perú no es una excepción en el 2007. En 2003, el Perú aprobó la Ley 28054 para promover un mercado de biocombustibles a nivel nacional, de acuerdo con la política del gobierno para desarrollar fuentes de energía renovables y como estrategia para reducir la pobreza. Un marco regulatorio sobre los biocombustibles se estableció en 2007 el establecimiento de un mandato de mezcla de etanol y biodiesel: Las mezclas estipulan una mezcla de etanol 7,8% con la gasolina a partir de 2010, una mezcla de biodiesel al 2% con arranque diesel en 2009 para introducirse progresivamente a un 5% mezcla de biodiesel en 2011. El diésel es el combustible para el transporte más utilizado en el Perú; la demanda en 2007 fue de 61 millones de barriles por día (MBD) y se espera que en 2016 este valor llegue a 86 MBD. Un mandato de mezcla 2% requerirá 1,4 MBD de biodiesel y un 5% requerirá 3.7 a 4.3 MBD de biodiesel (**PETROPERU, 2007**). El gobierno ha estimado que la producción de semillas oleaginosas en tierras deforestadas se puede utilizar para producir la materia prima para cumplir con el mandato de mezcla.

Con el fin de cumplir con estos requisitos el gobierno del Perú ha estimado que se requiere para llegar a 50.000 hectáreas de áreas sembradas de palma de aceite (Ministerio de Agricultura, 2000). Además, se ha estimado que 40.000 hectáreas de tierra se requerirán el uso de *Jatropha* y castorbean **(55)**. Estas proyecciones han generado la atención del sector privado a invertir en el

desarrollo de esta nueva industria. Estas nuevas inversiones en el sector de la agricultura pueden representar una oportunidad para enderezar todo el potencial del sector. Sin embargo, la estructura de la agricultura competitiva en Perú cada vez más se ha desplazado a las explotaciones comerciales a gran escala lo que significa que los agricultores pobres no pueden acceder a los beneficios generados por este crecimiento. La preocupación es que con el fin de llegar a los mandatos para los biocombustibles, los pequeños agricultores pueden ser excluidos y quedó fuera de toda posibilidad de desarrollo de la bioenergía que se ofrecen para la agricultura. Por lo tanto, la cuestión clave es si en el desarrollo de este nuevo sector, los objetivos socioeconómicos que subyacen a la legislación de biocombustibles se pueden cumplir.

La tierra agrícola en el Perú se estima en 3,5 millones de hectáreas que representan un poco más del 3% del territorio peruano total. Alrededor del 40% de la población total del país vive en zonas rurales y está vinculada directa o indirectamente con el sector agrícola. Explotaciones agrarias pequeñas tienen una posición importante en la agricultura, aproximadamente el 85% de las unidades agrícolas tienen menos de 10 hectáreas y el 55% tienen 3-5 ha. Estas familias suelen hacer inversiones bajas en sus cultivos, el uso de algunos insumos en la producción, el nivel de tecnología es baja, y el acceso a los servicios de capacitación, el crédito y la asistencia técnica es limitado. La principal inversión realizada está en mano de obra, que por lo general se compone de miembros de la familia o de la comunidad. Estos obstáculos siguen impidiendo que los pequeños agricultores de cumplir con los requisitos para ser competitivos para entrar en el mercado internacional.

El biodiesel es un combustible con baja viscosidad, no tóxico, biodegradable y más limpio que el diesel fósil. Hay más de 350 cultivos oleaginosos conocidos en el mundo que son adecuados para la producción de biodiesel (56). Sin embargo, aproximadamente 95% de los aceites vegetales utilizados en la producción de biodiesel procede de la palma de aceite comestible, de soja, y aceites de colza (57). Esto ha planteado cuestiones sobre los alimentos frente a la competencia de combustible. Aceites vegetales no comestibles tales como *Jatropha curcas* L. aceites de ricino y Karanja, son prometedores materia prima para la producción de biodiesel (58). La composición química principal

materia prima de aceite portador es los triglicéridos, 3 cadenas de ácidos grasos unidas a larga molécula de glicerol **(59)**. La ruta principal para la conversión de biodiesel es la reacción de transesterificación de triglicéridos con alcoholes de cadena corta por catalizador, que produce ésteres de alquilo graso (FAAE) y glicerol como subproducto **(60,61)**. En América Latina se han hecho diferentes intentos para establecer programas de biodiesel como herramienta para el desarrollo rural, la lucha contra la pobreza y asegurar la inclusión social **(62)**. A modo de ejemplo, en 2004 en Brasil, el Programa Nacional de Biodiesel "Programa Nacional de Producción y Uso de Biodiesel (PNPB)" se puso en marcha, utilizando soja, aceite de palma y aceite de ricino como posibles materias primas **(63)**.

En el caso de la producción de biodiesel en Perú, dos tipos de materia prima potencial se han identificado a saber, aceite de palma y *jatropha*. La Amazonía peruana Selva presenta condiciones agroclimáticas adecuadas para cultivar aceite de palma y *jatropha*. El desarrollo de biodiesel en esta región también se considera como un importante mecanismo para promover una alternativa viable para el cultivo de drogas. Hay una serie de iniciativas que promueven la producción de aceite de palma y *jatropha* en las zonas de tierras degradadas o abandonadas en el Amazonas, tanto para la alimentación y la producción de combustible. En 2000, el Ministerio de Agricultura instituyó el Plan Nacional de Promoción de la Palma Aceitera Perú 2000-2010, un plan de 10 años para apoyar la producción de palma aceitera en tierras degradadas. El objetivo era aumentar la producción de palma de aceite para convertirse en autosuficiente en la satisfacción de la demanda nacional de aceite comestible. Las disposiciones del plan previsto para apoyar y promover el desarrollo basado en los pequeños agricultores. Aunque ha habido algunos éxitos en el establecimiento de asociaciones de pequeños productores a saber OLAMSA y Indupalsa, los objetivos de producción esperados no se han alcanzado y Perú continúa siendo un importador neto de aceite comestible. Esto también ha provocado preocupaciones acerca de la competencia directa entre alimentos y combustibles. Como alternativa, *la Jatropha* como un aceite no comestible se está estudiando como una opción. Los gobiernos regionales amazónicos han invertido mucho en investigación y desarrollo para comprender los aspectos

agronómicos. El paquete de tecnología para la explotación de *Jatropha* se encuentra todavía en la fase de desarrollo.

La producción de biodiesel, como cualquier otro producto agrícola, también tendrá que ser económicamente competitiva **(64,65)**. Biocombustible no es una panacea para resolver todos los problemas sociales y de empleo en las zonas rurales. Sin embargo, puede ofrecer una oportunidad importante que puede beneficiar a muchos. Por lo tanto, es importante identificar cuáles son esas oportunidades son y para quien existen. Esto puede ayudar al gobierno a dedicar los recursos necesarios para orientar las intervenciones en biocombustibles podría hacer mucho más para mejorar los ingresos de la población local. En este trabajo, los costos de producción de la producción de biodiesel a partir de aceite de palma y *jatropha* se analizaron bajo diferentes escenarios de producción para evaluar si los pequeños pueden jugar un papel importante como proveedores de materias primas, principalmente aceite de palma y *jatropha*, para ayudar a cumplir con el mandato de biodiesel. Los resultados de este trabajo ayudan a entender cómo alinear mejor los intereses puramente con fines de lucro del sector privado con los del bien público. Inversiones del sector privado podría, en lo posible, cumplir con los objetivos socioeconómicos más amplios. Sin embargo, la responsabilidad recae sobre los gobiernos para proporcionar información al sector privado sobre cómo se pueden cumplir los objetivos socioeconómicos más amplios.

La materia prima para biodiesel en Perú

A nivel mundial de aceite de palma es una de las principales fuentes de aceite comestible en el mundo, casi el 90% de este cultivo se utiliza para el consumo de alimentos. En 2010 más de 45,7 millones de toneladas se produjeron en el mundo y se espera que para el 2020 este valor alcanzará los 64 millones de Ton **(66)** Los principales productores son Malasia e Indonesia con el 83% de la producción mundial, pero la cosecha es crecido ampliamente en los países tropicales **(67,68)**. En los últimos años, el interés en el aceite de palma para la producción de biodiesel ha crecido. Según las estadísticas más recientes sobre 10% se utiliza para aplicaciones no alimentarias, como biodiesel **(69)**. La composición de racimos de fruta fresca de aceite de palma incluye el aceite de

palma en sí (15-18%), conchas (5-6%), granos (5-6%), fibra de palma (12-14%) y racimos vacíos (25-27%) **(70)**. Tanto el aceite de almendra de palma y de palma se puede utilizar para la producción de biodiesel.

La palma aceitera es el cultivo oleaginoso más importante del Perú. La palma aceitera se cultiva exclusivamente en la región amazónica peruana. De acuerdo con SNV, hay una zona instalada de 44.882 hectáreas de las cuales el 38% está en producción, 34% en el crecimiento y el otro 27,74% en los viveros **(71)**. Rendimientos productivos varían de acuerdo con la tecnología de producción y el nivel de entradas usado, varía de 10 a 15 toneladas de frutas / ha / año, usando la tecnología tradicional y / o entradas de baja, mientras que el uso de alta tecnología y / o entradas eleva la producción de hasta un 25 por tonelada de fruta / ha / año. El Grupo Romero domina el sector de la producción de aceite de palma. Tienen aproximadamente 18.000 ha plantadas **(55)**. También son dueños de la planta de extracción de Palmas del Espino. Las condiciones de operación de la planta indican una extracción del 25% del petróleo crudo, que produce 6,25 toneladas de crudo de petróleo / ha / año. Esta firma ha estado trabajando con este cultivo durante 30 años, y recientemente se ha iniciado nuevos proyectos que cubren 15.000 hectáreas de nuevas plantaciones, para añadir a sus plantaciones existentes.

El gobierno peruano nacional y los gobiernos regionales han promovido el desarrollo de plantaciones de palma de aceite a base de pequeños productores en tierras deforestadas. Como resultado, las asociaciones palmicultoras están empezando a surgir. En asociación Ucayali OLAMSA ahora está en funcionamiento, y en San Martín Indupalsa, que, con el apoyo del gobierno regional de San Martín, ha establecido crudo de palma plantas de extracción de aceite, para la venta comercial del aceite de palma como combustible o biodiesel en el escaso desarrollo Amazon como parte de la estrategia antinarcóticos de Perú mediante la creación de alternativas al cultivo de drogas. *Jatropha curcas L.* Es un árbol tropical originario de América. Es un arbusto o pequeño árbol que pertenece a la familia de las Euphorbiaceae **(72)**. La literatura indica que este cultivo es planta muy resistente capaz de sobrevivir en las tierras agrícolas en barbecho **(73)**, bajo a zonas de precipitaciones elevadas **(74)** y de fácil cultivo con poco esfuerzo de mantener, y no compite con tierra productiva disponible para los cultivos alimenticios

(75). Estas características han hecho que sea una opción de cultivo oleaginoso muy atractivo para la producción de biocombustibles. Además, tiene un contenido relativamente alto, alrededor de 25-30% en las semillas y el 50-60% en el núcleo lo que es uno de la materia prima más prometedora para la producción de biodiesel (76).

En todo el mundo *Jatropha* producción se encuentra todavía en una fase de desarrollo, a pesar de una serie de experiencias han demostrado con éxito su uso como materia prima del biodiesel (77,78, 79). En una serie de países como los del Amazonas peruano, *Jatropha* está siendo promovido como una herramienta para el desarrollo rural. La mayoría de estos proyectos se han aplicado en tierras marginales y residuales con el fin de evitar competiciones alimentarias y de tierra (80). Los resultados hasta ahora han sido mezclados; en Mozambique hay una serie de plantaciones exitosas siguen produciendo *Jatropha* petróleo, pero otras iniciativas han sido abandonadas por los agricultores debido al mal desempeño de *Jatropha* y la falta de conocimiento sobre las prácticas agrícolas adecuadas para mantener este cultivo (81). En Mali, Tanzania, Zambia y la India, "*Jatropha* se han desarrollado sistemas" para dar apoyo a las comunidades rurales de energía junto con el control de la erosión del suelo y el mejoramiento del suelo. Estos sistemas han explorado valor Además de *Jatropha*, para la toma de ejemplo jabón y usos alternativos de la torta de semillas para aumentar su viabilidad económica (82,83). No obstante, todas estas experiencias muestran todavía una necesidad de obtener una mejor comprensión de los aspectos agronómicos del cultivo de lo contrario su baja productividad es un obstáculo principal para una agricultura rentable de *Jatropha*. El gobierno peruano nacional y los gobiernos locales en la región amazónica han estado apoyando actividades de investigación y desarrollo en *la Jatropha*. El desarrollo de un paquete tecnológico para la *Jatropha* producción está todavía en desarrollo. Los esfuerzos actuales se centran en la definición de los parámetros agrícola, con el objetivo de diseñar paquetes tecnológicos, que permiten que satisfagan los requisitos industriales para este cultivo. A pesar de esto, en Pucallpa y Tarapoto, *Jatropha* ya está siendo utilizado como materia prima para la producción de biodiesel (84).

El desarrollo de la industria del biodiesel en el Perú está emergiendo. El Grupo Romero ha integrado verticalmente procesamiento de biodiesel a sus instalaciones de producción de aceite de palma en la Amazonía. Ellos son los principales proveedores de biodiesel en el país. Dado que la mayoría de la producción nacional de biodiesel depende en gran medida de la palma de aceite, existe la preocupación de que la aparición del mercado de biodiesel desplace a la producción de aceite comestible, aumentado por el hecho de que el Perú no es autosuficiente en aceites comestibles. Sin embargo, el Gobierno ha reconocido el potencial que existe para mejorar la productividad del sector de aceites vegetales. En particular, el GOP ha reconocido que hay un gran potencial sin explotar para aumentar la palma de aceite por su expansión en las áreas deforestadas y ayudando a los pequeños productores para mejorar su productividad. El objetivo del gobierno era aumentar la productividad de la palma de aceite para llegar a ser autosuficiente en la producción de aceite comestible y de acuerdo con sus proyecciones esto sería incluso generar un excedente que puede ser utilizado para abastecer el sector del biodiesel sin necesidad de crear una competencia entre los dos mercados. Sin embargo, este objetivo no se ha cumplido y la producción de palma aceitera sigue siendo insuficiente para satisfacer la demanda de aceite comestible. La oportunidad que ahora existe a través de biodiesel es que el sector privado puede movilizar nuevas inversiones y junto con el apoyo del gobierno en curso puede provocar el soporte tecnológico a los pequeños agricultores para aumentar la productividad de aceite de palma. Del mismo modo, hay una serie de iniciativas del sector privado para el uso de *Jatropha* en la industria de biodiesel; esto puede ser una oportunidad para calibrar la forma continua los esfuerzos de los gobiernos locales pueden adaptar mejor los objetivos del sector privado.

5.4.2. Propiedades del Biodiesel

Las propiedades del biodiesel son muy similares a las del diesel del petróleo, por eso los motores no necesitan ninguna modificación para poder utilizarlo.

En la Tabla 2 se hace una comparación entre las propiedades del diesel y biodiesel.

Tabla 2: Comparación del diésel y del biodiesel para algunos parámetros. (38)

Propiedad	Unidad	Diésel	Biodiesel
Propiedades estándar			
Densidad	Kg/m ³	820-860	875-900
Viscosidad	Mm ² /s	2,00-4,50	3,50-5,00
Punto de Ignición	°C	>55	>110
Contenido de azufre	%(peso)	<0,20	<0,01
Numero de cetano		>46	>51
Propiedades adicionales			
Contenido de oxígeno	%(peso)	0	10,9
Poder calorífico	MJ/dm ³	35,6	32,9
Grado de eficiencia	%	38,2	40,7

5.4.3. Características de Biodiesel

Las características del biodiesel son las siguientes:

- Combustible limpio.
- Es biodegradable.
- No tóxico.
- Alto índice de lubricidad.
- Libre de azufre y aromáticos.

El biodiesel resulta un combustible ideal por sus bajas emisiones, en las áreas marinas, parques nacionales y bosques y sobre todo en las grandes ciudades como por ejemplo Estados Unidos que lo utiliza en sus distintas mezclas para el transporte público. La gran fortaleza que representa el Biodiesel como combustible radica en su posibilidad de generarse a partir de cultivos que en nuestro país son abundantes como la soja y el girasol entre otros, generando un rédito para el sector agrícola y consecuentemente un descenso del desempleo. **(39)**

El biodiesel es un combustible oxigenado, por eso tiene una combustión completa en comparación al diésel derivado del petróleo y produce menos gases contaminantes. Tiene un punto de inflamación relativamente alto (150 °C) que le hace menos volátil que el diésel del petróleo y es más seguro de transportar (Ver Tabla 3).

Tabla 3: Propiedades del biodiesel (40)

Propiedades	Biodiesel	Diesel
Metil éster	95.5--98%	-
Carbono (%peso)	77	86.5
Azufre (%peso)	0.0024	0.05 máx.
Agua (ppm)	0,05 % máx.	161
Oxígeno (%peso)	11	0
Hidrógeno (%peso)	12	13
Número de cetano	48-55	48-55
PCI (KJ/Kg)	37700	41860
Viscosidad cinemática (40°C)	1,9-6,0	1,3-4,1
Punto de inflamación (°C)	100-170	60-80
Punto de ebullición (*C)	182-338	188-343
Gravedad específica (Kg/L) (60°C)	0,88	0,85
Relación aire/combustible	13,8	15

El biodiesel tiene un peso específico de 0.88 comparado con 0.85 del combustible diésel. Por esta razón es ligeramente más pesado que el combustible diésel, por ello rociar la mezcla de biodiesel en la parte de arriba del combustible diésel es la forma ordinaria en que se realiza el procedimiento de mezclado. El biodiesel no contiene nitrógeno o aromáticos y normalmente posee menos de 15 ppm de azufre. Contiene 11 % en peso de oxígeno, que justifica por qué es ligeramente menor su calor de combustión en comparación con el diésel petróleo y es característicamente bajo en monóxido de carbono, partículas, hollín y emisiones de hidrocarburos **(41)**

5.4.4. Proceso de Transesterificación

Tradicionalmente el biodiesel es obtenido mediante una transesterificación de aceites o grasas, haciendo reaccionar un alcohol de cadena corta (usualmente metanol) en presencia de un catalizador (usualmente NaOH). **(42)** Las materias primas más frecuentes para la producción de biodiesel son los aceites de las oleaginosas de producción mundial, tales como girasol, soja, palma africana y otros **(39,42, 43, 45)**. La reacción de transesterificación depende principalmente de la naturaleza de la materia prima, la concentración del catalizador, la relación molar alcohol-aceite, la temperatura, la agitación, presión y tiempo de reacción, el contenido de humedad, y de ácidos grasos libres **(39, 40, 41)**.

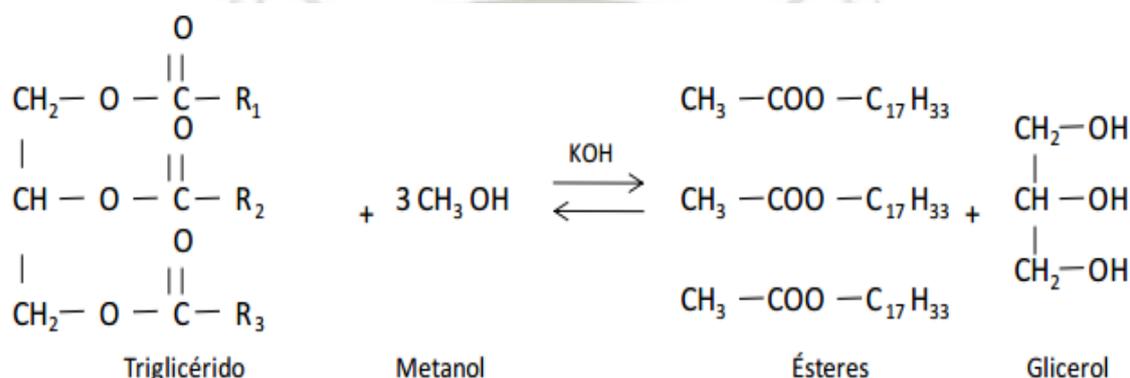


Figura 4. Reacción de transesterificación. **(44)**

En la reacción de transesterificación (Figura 4), un mol de triglicéridos reacciona con tres moles de alcohol para formar un mol de glicerol y tres moles de los respectivos alquilesteres, en una secuencia de tres reacciones reversibles donde los triglicéridos son convertidos a diglicéridos, monoglicéridos y finalmente glicerol. El glicerol y los esteres son productos inmiscibles que se distribuyen en dos fases después de la reacción. Estas fases pueden ser separadas después de decantar o centrifugar. **(46)**

Existen varios tipos de catálisis para la transesterificación pero comercialmente para la producción de biodiesel la más comúnmente utilizada es la catálisis homogénea, que se puede dividir principalmente en alcalina y acida. **(47)** También se han utilizado otros tipos de catalizadores heterogéneos (en fase sólida).

Otras alternativas interesantes pueden ser la utilización de catalizadores enzimáticos como las lipasas (42).

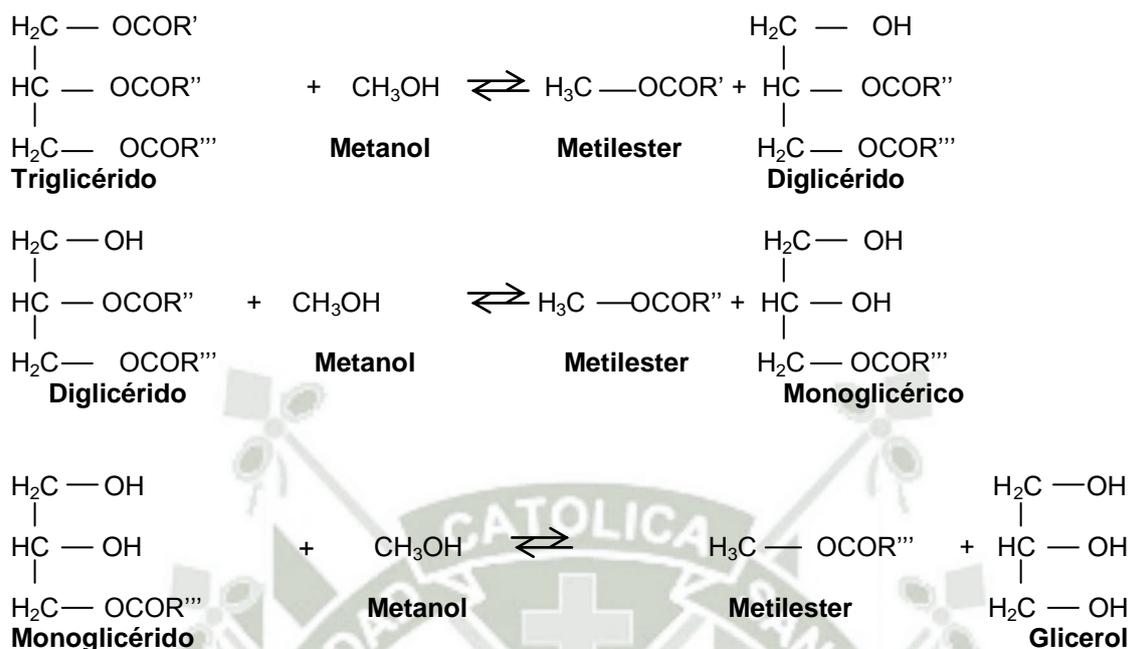
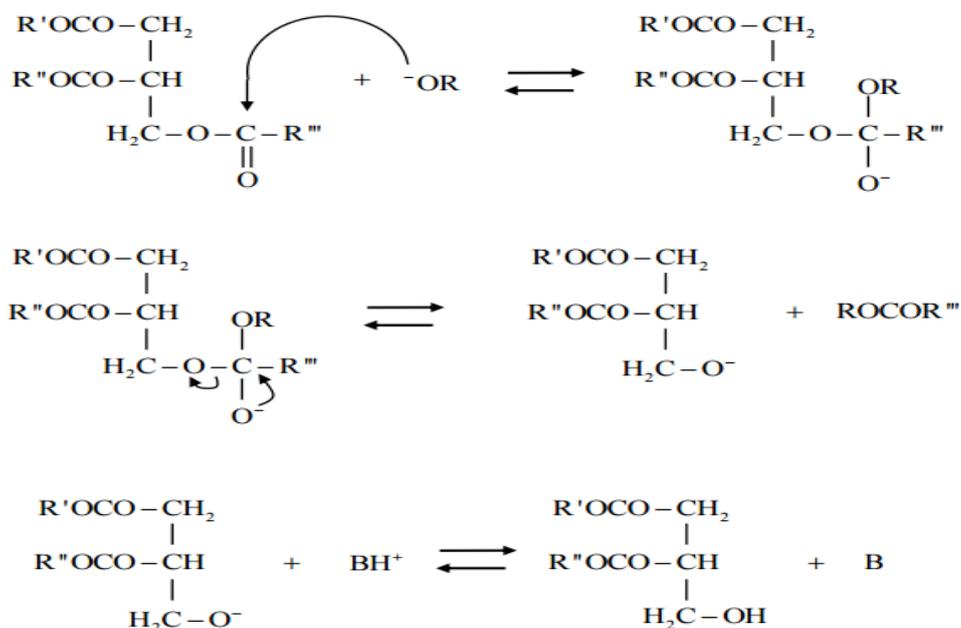
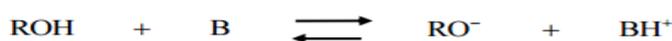


Figura 5. Etapas de la Reacción de transesterificación. (44)



“ROH: Alcohol B: Catalizador básico R, R', R'' y R''' : Cadenas alifáticas

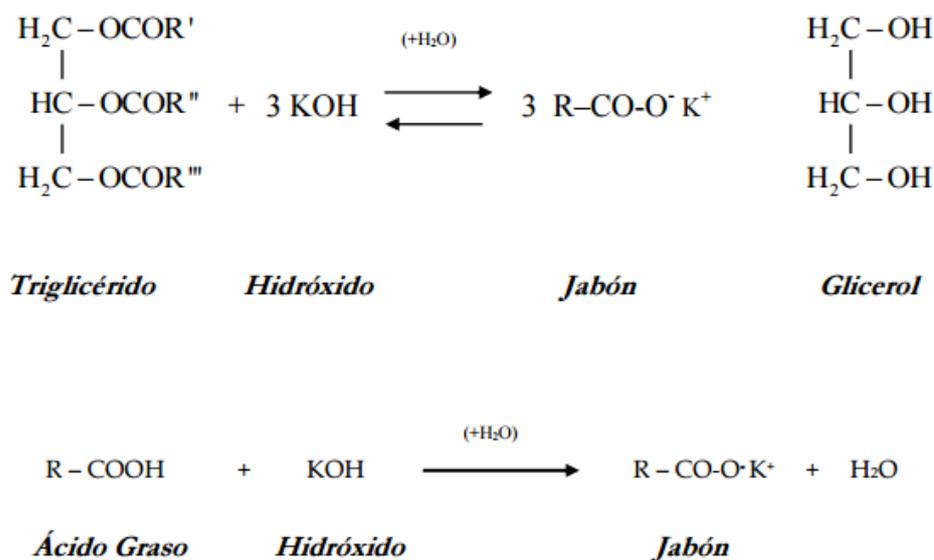


Figura 6. Mecanismo de la transesterificación con catálisis básica para los triglicéridos.

(44)

En la Figura 6 se explica el mecanismo de la reacción de la transesterificación alcalina para los triglicéridos. Monoglicéridos y diglicéridos reaccionan con el mismo mecanismo (43, 44). La transesterificación alcalina homogénea es el proceso preferido por la industria para producir biodiesel. Generalmente es más rápida y menos costosa cuando la comparamos con la acida u otros tipos de catalizador. Las bases fuertes como el NaOH y el KOH son los catalizadores más usados. Estos hidróxidos presentan altas conversiones a condiciones moderadas y tiempos de reacción cortos, además son menos corrosivos para los equipos industriales y requieren pequeños volúmenes de alcohol, lo que representa reactores económicos y de menor tamaño (45, 46, 47). Sin embargo para funcionar óptimamente se requiere de una materia prima de alta calidad, es decir de aceites con una concentración baja de ácidos grasos libres, sin gomas ni impurezas. También es indispensable que su humedad sea mínima, de lo contrario se presentarán reacciones secundarias de saponificación o de neutralización (ver Figura 5) (48, 49, 50).

En el caso de la catálisis alcalina, es muy importante que los catalizadores se mantengan en estado anhidro. Debe evitarse su contacto prolongado con el aire, pues éste disminuye su efectividad debido a la interacción con la humedad y con el dióxido de carbono (52, 53).

También se acostumbra a usar metóxido de sodio o de potasio para obtener mejores rendimientos debido a que no forman agua sobre la reacción con los alcoholes, como sí sucede con los hidróxidos (44, 50, 52). Sin embargo es más tóxico e inflamable, y se puede presentar la formación de otros subproductos además de su mayor costo. Otros alcóxidos, tales como el etóxido de calcio han sido utilizados para la producción de biodiesel, aunque con mayores demandas de alcohol y de catalizador.

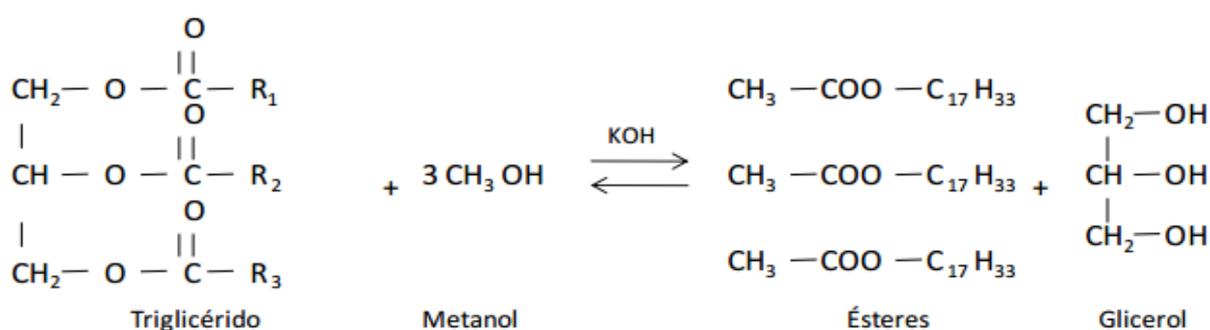


Figura 7. Reacciones de saponificación y neutralización. (51)

5.4.5. Estándares y calidad del biodiesel

La composición del biodiesel es tan diversa como la materia prima que se puede utilizar para su elaboración. Es necesario adaptar el proceso de producción a las características de cada materia prima. El cumplimiento de estándares garantiza la calidad del producto. Sin embargo, se debe evitar copiar estándares extranjeros, los cuales están diseñados para controlar los mercados, antes que para facilitar su implementación. En el Perú se viene trabajando con el estándar norteamericano, ASTM D 4806- 06, diseñado para biodiesel de soya en los Estados Unidos, mientras que la Norma Técnica Peruana del Biodiesel no sea aprobada por el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Propiedad Intelectual (INDECOPI). Asimismo, Por otra parte, en el Perú aún no se cuenta con laboratorios de control de calidad que cumplan con las especificaciones para efectuar las pruebas requeridas, debido a que los equipos son muy costosos (51).

5.4.6. Proceso de producción y calidad del combustible

Los aspectos más importantes en la producción de biodiesel para asegurar una operación libre de problemas de los motores diésel son: reacción completa; remoción de glicerina; remoción de catalizador; remoción de alcohol; ausencia de ácidos grasos libres

Si alguno de estos aspectos no se logra adecuadamente cumpliendo las especificaciones, se presentan diferentes tipos de problemas en el motor, tales como formación excesiva de jabones, formación de depósitos en la boquillas de inyección, corrosión, etc. Otros aspectos, tales como la remoción del metanol, son de importancia desde el punto de vista del manipuleo seguro del combustible.

El control de calidad es necesario a fin de lograr un funcionamiento adecuado de los motores, fundamentalmente a largo plazo (53).

Tabla 4: Análisis de mezclas entre Biodiesel y Diésel

Análisis	B100	B60	B30	B15	B5	Diesel	Especificación ASTM D-975	
							Min.	Max.
Agua por destilación, % por volumen	0.8	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	N/A (No Aplica)	
Cenizas, % por peso	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	
Color Saybolt	2.5	2.5	2.0	2.0	2.0	1.5	3.0	
Corrosión Lamina Cobre	1 ^a	1A	1A	1A	1A	1A	2.0	
Destilación (T en °C)								
Punto Inicial de Ebullición	204.3	191.1	190.1	171.8	174.9	182.0	Reportar	
50% recobrado	333.3	327.2	319.1	299.8	298.8	297.8	300	
90% recobrado	345.5	347.5	352.6	350.6	354.6	357.7	360	
Punto Final de Ebullición	353.6	351.6	362.8	362.8	372.9	380.0	390	
Densidad a 60°F (Kg/m ²)	926.0	901.8	882.1	871.3	868.6	865.97	Reportar	
	5	5	7	0	3			
Índice de Cetano	38.0	45.0	49.0	50.5	51.0	50.0	45	
Poder Calorífico, MJ/Kg	37.52	40.0	42.95	44.2	45.01	45.43	N/A	
Punto de Inflamación, °C	84.3	64.3	64.3	62.3	62.3	62.3	52	
Punto de Fluidez, °C	-18.0	-12.0	-13.0	-18.0	-14.0	-14.0	4	
Punto de Nube, °C	-4.0	4.0	3.0	2.0	1.0	1.0	N/A	
Residuo Carbonoso, % por peso	-0.05	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	
Viscosidad Cinemática a 40°C, mm ² /s	14.89	8.75	6.11	5.02	4.79	4.66	1.9	5.0

La producción de biocombustibles es probable que ofrezca nuevas perspectivas de ampliar las fuentes de suministro de combustible y puede ayudar a reducir los efectos adversos de la escasez de combustibles fósiles **(3)**.

En este trabajo de investigación se obtendrá en cuanto al sistema de cultivo, proporcionar una nueva tecnología para la producción de macroalgas a escala piloto a partir de aguas residuales y el cultivo no necesitara de la aplicación de herbicidas o pesticidas.

Como se sabe, el biodiesel se caracteriza por tener una menor toxicidad y propensión a inflamarse que su homólogo petrolífero, siendo por ello seguro y sencillo de transportar. Asimismo, es respetuoso con el medioambiente y biodegradable por completo.

En lo social, los resultados que se obtendrán para el proceso de producción del biodiesel permitirán nuevas fuentes de trabajo y va a disminuir el costo permitiendo mayor accesibilidad para los consumidores.

En la actualidad el diesel sufre grandes variaciones de costos debido a la política económica mundial relacionado a este combustible (derivado del costo de un barril). De tal manera que el resultado de la investigación acredite la viabilidad y la disminución de los costos tanto de producción como de utilización.

CAPITULO II

6. MATERIALES Y METODOS

6.1. Tipo de Investigación

La presente investigación corresponde a una investigación de tipo experimental y longitudinal ya que se realizaron evaluaciones periódicas.

6.2. Lugar de Ejecución

I etapa: El cultivo, propagación del alga *Cladophora glomerata* y el diseño y construcción de un sistema de flujo continuo se realizó en las instalaciones de Huasacache de la Universidad Católica de Santa María.

II etapa: La extracción, caracterización del aceite del alga y su conversión a biodiesel se realizó en el laboratorio H-101 de la Universidad Católica de Santa María.

III etapa: La aplicación del biodiesel en un motor petrolero se realizara en las instalaciones de la Universidad San Agustín de Arequipa.

6.3. Materiales

Equipos

- Equipo Soxhlet 500 ml
- Hot plate
- Rotavapor
- Balanza analítica
- pHmetro
- termómetro
- bomba de agua (marca Karson 0,5H/P)
- compresora de aire
- reactor de 20L
- sistema de filtrado

Material de vidrio

- Probeta de 100 ml

- Pera de decantación 500ml
- Matraz de 250 ml
- Botellas de 1L marca Boeco
- Pipeta de 10ml

Reactivos

- Cloroformo
- Metanol
- NaOH
- KH_2PO_4
- $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- KOH

Biológico

- Macroalga *Cladophora glomerata*

Otros materiales

- Pinzas
- Mortero
- Reactor de 2L
- Soporte universal

6.4. Métodos

6.4.1. Colecta, aislamiento e identificación de la macroalga *Cladophora glomerata*

Para el aislamiento de *Cladophora glomerata*, se colectó una muestra de la macroalga de los pozos y canales de las centrales de EGASA - Arequipa, en bolsas ziploc debidamente rotulados. Las muestras fueron trasladadas al laboratorio para su identificación en el laboratorio de biología acuática de la escuela de Biología de la UNSA (ver anexo). La macroalga fue lavada y enjuagada con agua potable para eliminar desechos y otros contaminantes, luego se dividieron en porciones más pequeñas para iniciar cultivos individuales a temperatura ambiental y fotoperiodo 12/12. En el medio de cultivo también se utilizó ampicilina como antibiótico para evitar el crecimiento de bacterias y protozoarios. **(85)**.

6.4.2. Implementación y acondicionamiento del sistema de flujo para el cultivo de *Cladophora glomerata*.

Se implementó un sistema de cultivo de la macroalga *Cladophora glomerata*. Este sistema de cultivo presento los siguientes elementos: (a) un depósito de 50 L de volumen para el almacenamiento del agua residual provisto de una tubería de salida y de retorno de PVC de 2 m de longitud y 2.5 cm de diámetro; b) 5 cubetas de material plástico de , 34 cm de ancho, 50 cm de largo y 37 cm de altura con un volumen de 60 L c/u, colocadas en serie y forma escalonada según su base, el interior de cada cubeta presento una malla de 3mm de poro; c) llaves de regulación de caudal de entrada y salida entre el depósito de almacenamiento y las cubetas de agua y d) una bomba de agua (KARSON 0.5 H/P) al cual se le instalo un timer (SHEJIAN CHINT ELECTRICS CO., LTD modelo NKG3).

6.4.2.1. Propagación y cultivo de la macroalga en un sistema de flujo continuo

La propagación se realizó mediante la siembra de 2Kg de *Cladophora glomerata* en cada cubeta conteniendo 30 L de agua residual del Rio Chili (zona: Chilina, parte alta) cada una. El sustrato que se utilizó para su cultivo fueron rocas colectadas del mismo habitat natural de la macroalga. Se utilizó como fuente nutritiva adicional el medio de Cultivo Basal Bold's (Referencia: Stein, J. (ed.) que es altamente enriquecido. El medio de cultivo fue elaborado siguiendo la metodología descrita por Watanabe, 2005 consistente de una solución patrón de macro nutrientes en : NaNO_3 (6.25g), $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (0.625g), $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (1.87g), K_2HPO_4 (1.87g) KH_2PO_4 (4.3g), NaCl (0.625g), la solución patrón de micronutrientes: H_2BO_3 (2.85g), $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (1.76g), $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (0.36g), MoO_3 (0.177g), $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (0.39g) (Modificado $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ por $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ (0.12g) , solución A $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (1.24g) y H_2SO_4 (0.25 mL), y solución B EDTA(12.5g) y KOH (7.75g) y la solución de vitaminas en g/L Vitamina B12 (0.001) ; Biotina (0.001) y Tiamina (0.2). Posteriormente se tomaron 10mL de cada solución patrón de macronutrientes y 1 mL de cada solución patrón de micronutrientes y se disolvieron en 1000 mL de agua destilada, luego el medio fue esterilizado por autoclave durante 15

minutos a 15 libras de presión y finalmente se dejó enfriar y se agregó un 1 ml de la solución de vitaminas. A cada cubeta se agregó 1ml de medio de Cultivo Basal Bold's por cada litro de agua residual.

6.4.2.2. Cosecha y secado de la macroalga *Cladophora glomerata*

Se realizó una cosecha mecánica simple cada 7 días por un mes de cultivo, se dejó secando al aire libre por 3 días para luego ser molida, para su posterior extracción de aceite.

6.4.2.3. Medida del crecimiento de la macroalga *Cladophora glomerata*

6.4.2.3.1. Determinación del crecimiento específico

El crecimiento específico de la macroalga *Cladophora glomerata* en cada cubeta fue determinada mediante la fórmula usada por Abreu, (2011):

$$\mu (\% \text{ Día}^{-1}) = \frac{(\text{Ln Pf} - \text{Ln Pi}) \times 100}{t}$$

Dónde:

μ = Tasa de crecimiento específico

Pf= peso fresco final (g)

Pi= peso fresco inicial (g)

t= tiempo de duración del cultivo (días)

6.4.2.3.2. Determinación de la productividad

La productividad de la macroalga *Cladophora glomerata* en cada cubeta fue determinada mediante la fórmula usada por Abreu, (2011):

$$\text{Productividad (g. m}^{-2}\text{.seman}^{-1}) = 0.17 \times ((\text{Pf}-\text{Po})/ A)$$

Y= Productividad de biomasa

Pf= Peso fresco final (g)

Pi= peso fresco inicial (g)

0,17: Proporción entre el peso seco y peso fresco

A= Área de cada de cada cubeta (m²)

6.4.3. Extracción y caracterización del aceite de la macroalga *Cladophora glomerata*

La extracción del aceite se realizó mediante el método por Soxhlet (balón de 500 ml) usando como solventes cloroformo – metanol (2:1) según el método modificado de Folch (53).

En el balón de 500 ml se añadió 300 ml de cloroformo y 100 ml de metanol y se calentó a una temperatura de 80°C para la evaporación de los solventes.

Se realizaron 7 reflujos de 8 – 9 minutos por vez durante 2 horas hasta lograr la máxima extracción. Luego se sacó la muestra del extractor y se procedió a concentrar la muestra por evaporación utilizando el equipo Soxhlet.

Para obtener el aceite puro libre de solventes, la muestra de lípidos fue llevada a baño maría y se hizo filtrado al vacío, luego fue enviado para su respectiva caracterización fisicoquímica como: determinación de índice de peróxido, índice de humedad y materias volátiles, índice de acidez libre, índice de refracción e índice de saponificación, en el laboratorio de control de calidad de la Universidad Católica de Santa María. (Ver anexo).

6.4.4. Construcción e implementación de un sistema de reactor para el proceso de transesterificación

La instalación del reactor en la que se llevara a cabo el proceso de transesterificación, se muestra en la figura 8.

El reactor tuvo una capacidad de 20L, presento las siguientes partes; una tapa compacta conformado con una entrada de 12 cm para el ingreso del aceite, una entrada para la resistencia, un termómetro, un sensor de temperatura, una salida para la recolección del biodiesel.

La parte inferior del reactor contenía una llave de paso que estuvo conectada a una bomba de agua para la recirculación de la mezcla.

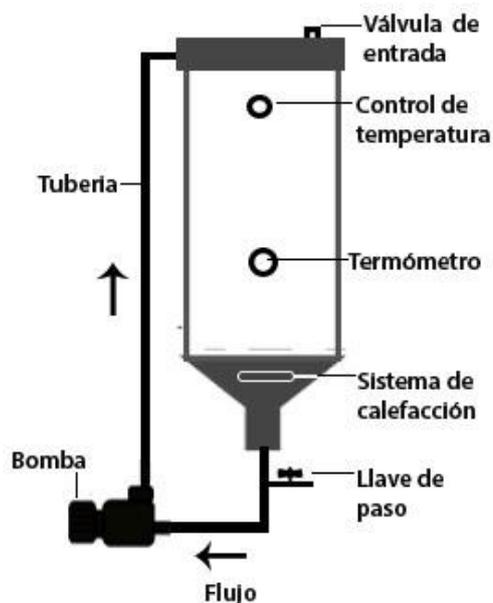


Figura 8. Reactor para la transesterificación

1: Tanque cilíndrico de acero, 2: termómetro; 3: control de temperatura; 4: bomba de agua; 5: llave de toma de muestras; 6: sistema de calefacción; 7: tubería de PVC.)

6.4.5. Obtención y caracterización de biodiesel

a) Transesterificación del aceite de la macroalga *Cladophora glomerata*.

Para 1 L de muestra (aceite) se necesitó 4,9 gr de hidróxido de potasio y 200 ml de metanol. Una vez que se calcularon los gramos de hidróxido de potasio se agregó el metanol en un matraz de 1 L de capacidad, se hizo la mezcla con ayuda de un agitador magnético durante 15 min, hasta que la mezcla sea completamente homogénea formándose un compuesto llamado metóxido de potasio. Para la realización de la mezcla se tomaron en cuenta las precauciones necesarias, debido a que el metóxido de potasio es tóxico.

Una vez obtenido el metóxido de potasio se agregó al reactor conteniendo los 2342 ml de aceite a 60°C. la mezcla para la reacción de transesterificación se realizó durante 1 hora a una Tª

constante de 60°C, una vez terminada la reacción fue colectada la mezcla es un envase de vidrio de 2L.

b) Purificación del biodiesel

Para la purificación del biodiesel se construyó un sistema de filtrado.- que consistió de dos recipientes cilíndricos de acrílico transparente de 2 L de capacidad c/u, estos recipientes estuvieron conectados mediante llaves de paso, mangueras transparentes de PVC. (Ver figura 9)

A cada recipiente se le empaco con aserrín de roble por su alta capacidad de absorber impurezas. El sistema se operó mediante 1 bomba de agua para el ingreso del biodiesel impuro y una compresora de aire para acelerar el proceso de filtrado y salida del biodiesel puro. El biodiesel purificado fue colectado en un recipiente de vidrio de 2L de capacidad para ser caracterizado.

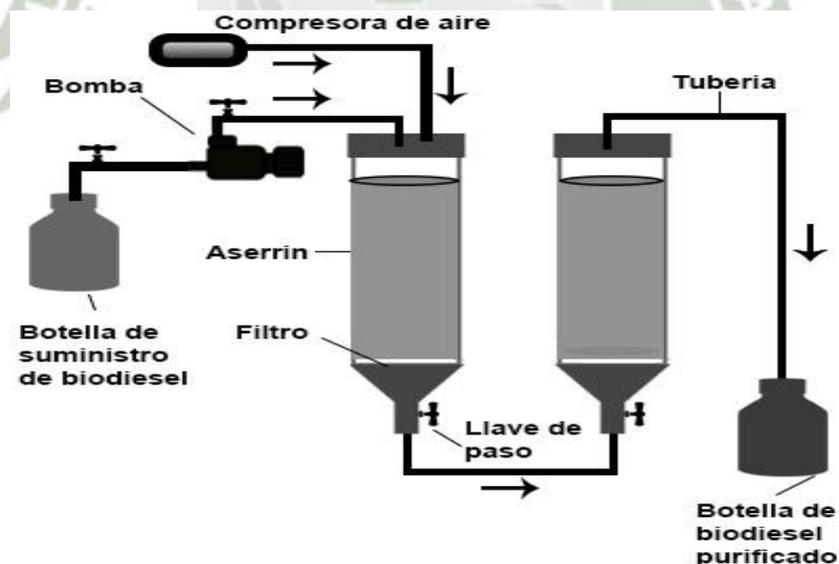


Figura 9. Sistema de purificación para el biodiesel;

1: dos envases de acrílico, 2: un compresor de aire, 3: una bomba de agua, 4: aserrín de roble; 5: manguera de PVC y llaves de paso

6.4.5.1. Determinación de la productividad de biodiesel obtenido del aceite de la macroalga *Cladophora glomerata*.

La productividad se calculó en porcentaje usando la ecuación siguiente (87).

$$\text{Productividad de biodiesel (\%)} = \frac{\text{Gramos de biodiesel producido}}{\text{Gramos de aceite usado}} \times 100$$

6.4.6. Comparación energética de Biodiesel y Diésel fósil en un motor petrolero

En la etapa de aplicación del biodiesel se utilizara un motor petrolero de 4 cilindros con cámara de combustión que se encuentra en las instalaciones de la Universidad Nacional de San Agustín en Arequipa en la facultad de Ing. Mecánica Eléctrica. Se añadirá el biodiesel obtenido mezclado con diesel petróleo al 5% y al 10%, se realizaran 2 corridas en el motor para tomar en cuenta los siguientes parámetros: La potencia del motor, el consumo del combustible. La relación aire-combustible (el gasto de aire del motor).

Tabla 5: Características del motor diesel usado para su comparación energética

• Número de cilindros	4
• Diámetro de cilindro	110 mm.
• Carrera del pistón	125 mm.
• R/L	0.32
• Relación de compresión	16
• Potencia nominal del motor	55+3.7 kW
• Cilindrada	4.75 Lts
• Frecuencia nominal de rotación del motor	2200 RPM
• Momento par máximo	275 N.m
• Factor Nominal de reserva del momento par	12%
• Consumo específico de combustible (régimen nominal)	238 gr/kw.h
• Gasto relativo de Aceite por quemadura: no mayor	0.7%
• Masa seca del motor	460 kg.

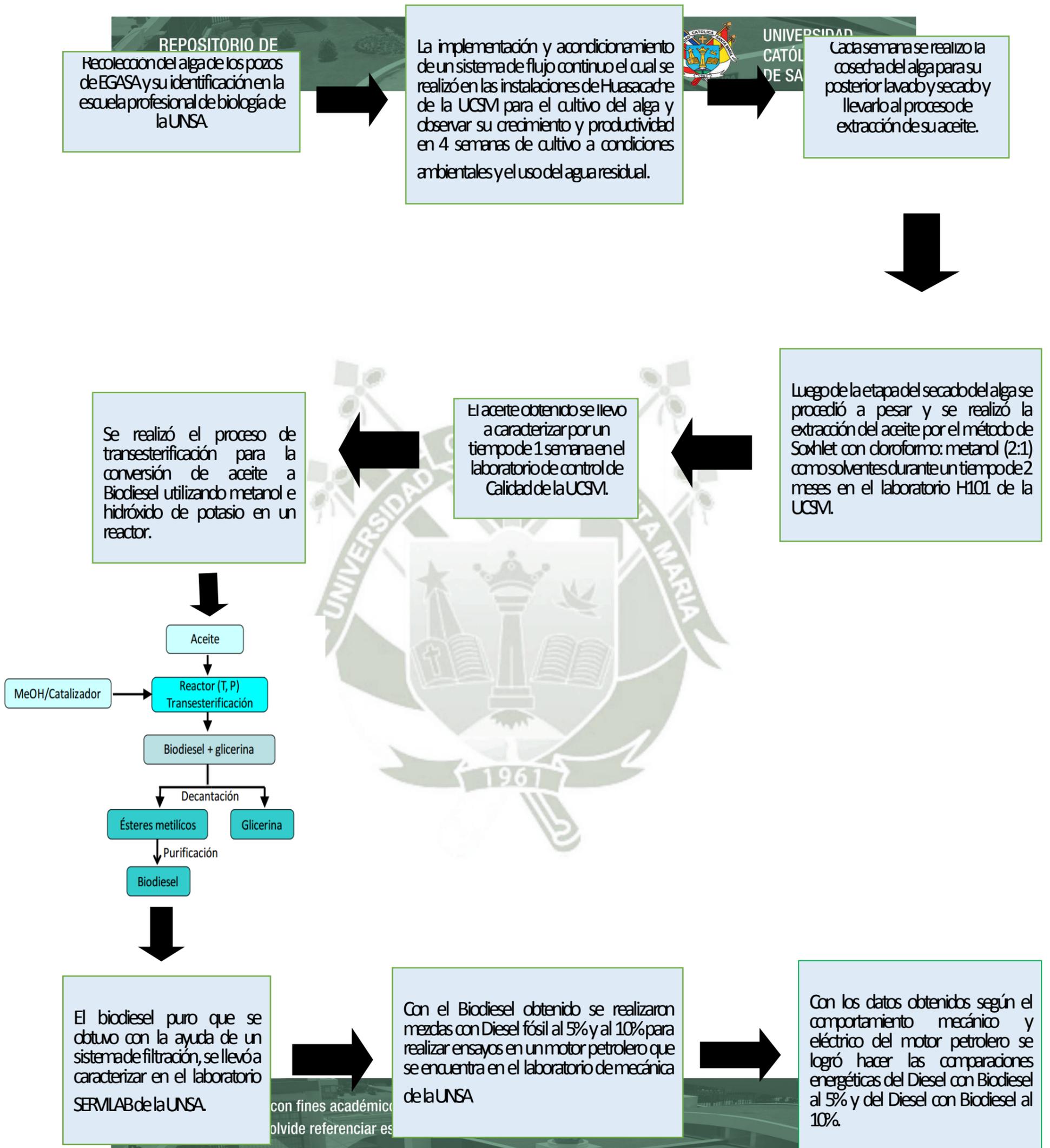
6.5. Análisis y Procesamiento de Datos

El análisis y procesamiento de datos se realizó mediante el cálculo de promedios y desviaciones estándar, para observar las diferencias entre evaluaciones se aplicó la prueba estadística de comparación de ANOVA y la prueba de especificidad múltiple de Tukey para determinar la diferencias entre evaluaciones, también se efectuaron gráficos de barras y de tendencia según el tiempo para las variables evaluadas.

Las gráficas de la comparación energética en el motor petrolero fueron realizadas mediante el uso del programa Golden Software Grapher versión 12.1.



6.6. Flujo de Actividades.



CAPITULO III

7. RESULTADOS Y DISCUSION

7.1. Identificación y Aislamiento de la Macroalga *Cladophora glomerata*.

Para el aislamiento de la macroalga, se colectaron muestras del estanque y canales de la central de EGASA, específicamente de la rejilla donde quedan atrapadas (Figura 10A), luego fueron transportadas en bolsas con cierre hermético para su identificación (Figura 10C). Se determinó que el espécimen correspondió a una macroalga verde filamentososa perteneciente a la especie *Cladophora glomerata*. (88) del phylum Chlorophyta, clase Ulvophyceae y del orden Cladophorales. (Ver anexo).

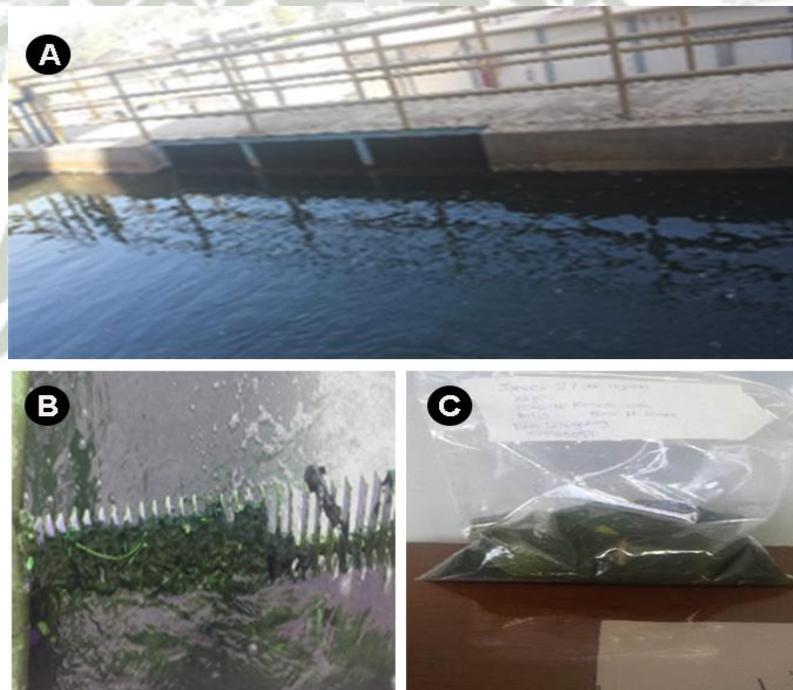


Figura 10. Colecta de la macroalga *Cladophora glomerata*.

A) Zona del lugar de colecta (estanques y canales de la central de EGASA). B) Rejilla del estanque donde fue extraída la macroalga. C) Muestra de la macro alga colectada para su identificación.

El amplio desarrollo de algas macroscópicas en los ecosistemas de agua dulce crea problemas en el funcionamiento de los motores de la central EGASA ya que estas masas de algas quedan atrapadas en los sistemas de ventilación de

los motores. Por lo tanto, hay una necesidad urgente para explotar tal biomasa como fertilizantes y como fuente de biocombustible. Hasta el momento, se han realizado pocos estudios sobre las especies de agua dulce como *Cladophora* y su uso como una fuente natural de compuestos bioactivos y como biocombustible.

7.2. Implementación y Acondicionamiento de un Sistema de Flujo para el cultivo de *Cladophora glomerata*

En el presente trabajo se construyó un sistema de flujo para la propagación del alga *Cladophora glomerata* (ver figura 11). El sistema de cultivo de la macroalga *Cladophora glomerata* estuvo soportada en una estructura de madera a manera de escalones que presentaron una diferencia de altura entre escalón de 37 cm. En este sistema se implementó un bidón de 50 L que contiene 30 L de agua residual además de 5 contenedores de plástico de 80 L de volumen a los cuales se le agregó 2Kg de *Cladophora glomerata*, 30 L de agua residual y piedras de río, como sustrato. Esta sucesión de cubetas de poca profundidad dispuestas en forma escalonada fueron expuestas a la luz solar en los que se desarrollan y proliferan las macroalgas filamentosas (en este caso el sistema podría trabajar de forma continua, día y noche sin interrupción). El depósito de almacenamiento del agua residual se usó como alimentador del cultivo contenido en las cubetas, este depósito estuvo provisto de una tubería de PVC que condujo el retorno del agua desde la cubeta inferior hasta este depósito. Las 5 cubetas de material de plástico colocadas en serie y forma escalonada fueron recipientes donde se desarrolló la biomasa de la macroalga, el interior de cada cubeta presentó una malla que permitía retener las macroalgas, Las llaves de paso permitieron la regulación del caudal de entrada y salida del agua, tanto desde el depósito de almacenamiento así como a través de las 5 cubetas, el caudal obtenido fue de 9.404 L/min. Teniendo en cuenta el volumen total de las cubetas (120 L por las 5 cubetas) el tiempo de retención de la instalación fue de 12 min, lo que supone que el agua contenida en las cubetas se renueva aproximadamente 45 veces al día teniendo en cuenta que no existió flujo de agua durante la noche.

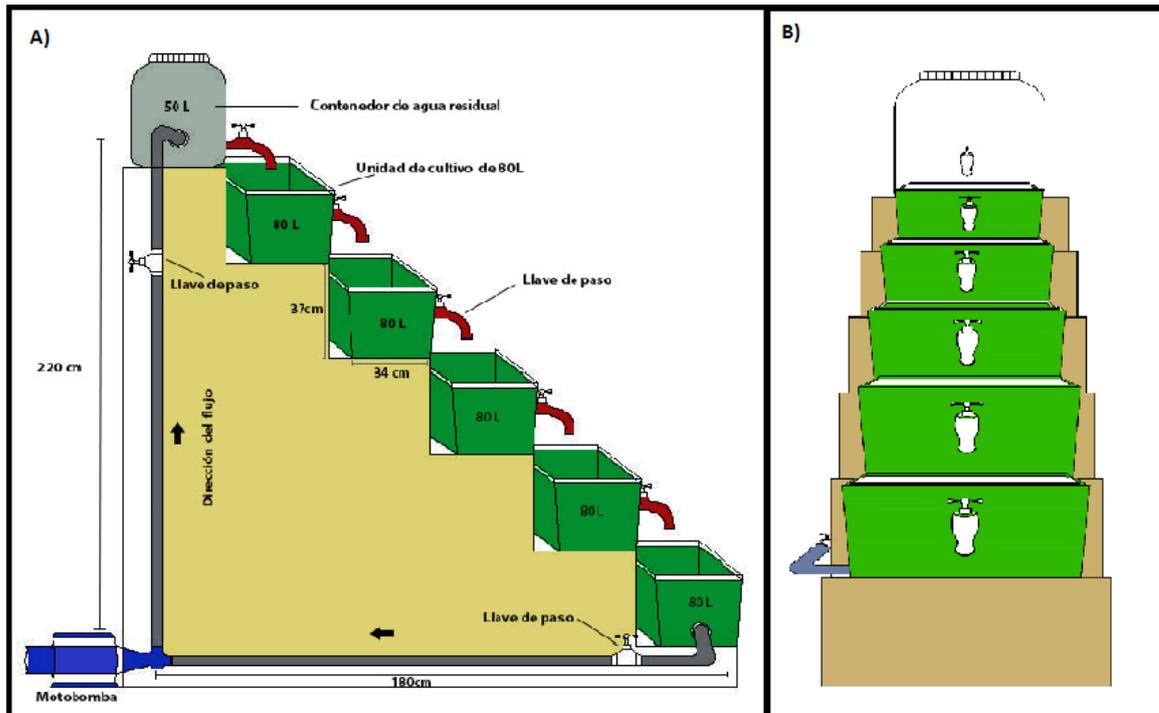


Figura 11. Sistema de flujo continuo
A) Vista lateral del sistema, B) Vista frontal del sistema.

Para el transvase del agua a cada cubeta y el retorno al depósito de almacenamiento se usó la bomba de agua, a la cual se le instaló un timer que permitió poner en marcha la bomba durante el día y desconectarla durante la noche. De esta forma la alimentación de agua cesa durante la noche y se reinstaura durante las horas de luz.



Figura 12. Cultivo de la macroalga *Cladophora glomerata* a condiciones ambientales
A) Cultivo de *Cladophora glomerata* en el sistema de flujo continuo. B) Unidad del cultivo (cubeta conteniendo medio de cultivo y la macroalga) el cual presenta una llave de paso y una malla de acero. C) Timer para la automatización del sistema. D) Motobomba para la circulación del medio de cultivo.

Para el reflujo del sistema se utilizó una bomba de agua periférica 1/2 HP marca Karson. El sistema estuvo en un funcionamiento fotoperiodico. Para la propagación del alga se utilizó agua residual (agua de río Chili) ya que el alga crece bajo estas condiciones y para disminuir costos luego se le añadió el medio basal Bold para el crecimiento óptimo (Figura 12).

Hay muy pocos estudios en la literatura actual sobre el cultivo y crecimiento de *Cladophora* en aguas residuales, así como en aguas artificiales **(100)** informó que los fragmentos de *C. glomerata* requieren de 21-26 horas para duplicar su peso fresco a 20°C, 6000 lx, en cultivo agitado. Żuraw (1969) encontró un tiempo de duplicación de 1,2 días a 25 °C, luz continua y 2000-5000lx. Butcher registró un promedio de 148 g m⁻² de peso seco en la rívera del Río Tees mientras que la biomasa seca cosechada en la corriente del mismo río alcanzó 216 g m⁻² probablemente debido a que hay mayor flujo de agua.

Cultivos unialgales de la especie *Cladophora* se pueden mantener durante largos períodos siempre en cuando se proporcione un adecuado pH y se cumplen los requisitos en cuanto a nutrientes. Esta alga parece tolerar variaciones muy amplias en el medio. Sin embargo, varios autores han mostrado que la turbulencia provocada por agitación o aireación provoca un marcado aumento en la tasa de crecimiento. No todas las especies comparten todos estas características, pero las especies de *C. glomerata*, son las que más se han adaptado como respuesta de las actividades del hombre, por lo que este organismo combina todas estas características dentro de una sola especie Whitton 1970. *Cladophora* es un organismo que se ve favorecido por altas intensidades de luz, alta turbulencia del agua, altos niveles de nutrientes (aguas residuales), valores altos de pH y aguas duras.

Żuraw (1969) encontró que el enriquecimiento de aire con 2% de CO₂ causa una reducción de 5 veces en el rendimiento. Aunque sigue siendo incierto el hecho de que el alga tenga un requisito obligado por alguna sustancia o sustancias orgánicas **(101)**. Whitton (1967) obtuvo un buen crecimiento continuo de *Cladophora glomerata* cuando incluyó agua del río como medio de cultivo filtrada por filtro de membrana.

7.2.1. Medida de Crecimiento de la Macroalga *Cladophora glomerata*

En la tabla 6, se muestra los valores del peso fresco, peso seco y productividad por cada semana de cultivo de la macroalga *Cladophora glomerata*. Obteniéndose 37600g de peso neto fresco y 2261,92g de peso seco de biomasa de *Cladophora glomerata* durante 4 semanas de cultivo de la macroalga. La tasa de crecimiento mayor se alcanzó en la tercera semana de cultivo con 113% y una mínima de 13% durante la primera semana. La productividad obtenida fue mayor en cuarta semana con 3698,71 g.m².seman⁻¹ y la menor en la primera semana con 3002.47 g.m⁻².seman⁻¹, obteniéndose una productividad total de 13,304.23 g.m⁻².seman⁻¹ durante un mes de cultivo.

Tabla 6: Resultados de la tasa de crecimiento y productividad por semana de cultivo de la macroalga *Cladophora glomerata*.

SEMANA	PESO NETO FRESCO (g)	PESO SECO (g)	Tasa de crecimiento (%.seman ⁻¹)	PRODUCTIVIDAD (g.m ⁻² .seman ⁻¹)
1	2100	510.62	13,1756	3002.47
2	8750	495,85	87,2970	2916,76
3	11850	626,67	113,0979	3686,29
4	11900	628,78	112,5894	3698,71
TOTAL	37600	2261,92		13304,23

(Ver en anexos)

En la figura 13 se muestra la variación de los parámetros de cultivo de la macroalga *Cladophora glomerata* durante las cuatro semanas de cultivo. El cultivo se inició a un pH de 8.5 alcanzando un valor máximo de 9 y logrando estabilizarse en un valor de 8.5 en la cuarta semana de cultivo. Los sólidos totales muestran un aumento al inicio del cultivo evidenciando el crecimiento y

reproducción de la macroalga debido al aumento de estos y registra una disminución al final del periodo del cultivo donde ya no hay reproducción.

Se muestra la variación de la temperatura de *Cladophora glomerata* en el sistema de flujo continuo durante las cuatro semanas de cultivo registrándose una temperatura máxima de 26°C y una mínima de 23°C. La productividad aumento en la cuarta semana con 3566.41 g.m⁻².seman⁻¹ y disminuyo hasta un valor de 3002.47g.m⁻².seman⁻¹ en la primera semana.

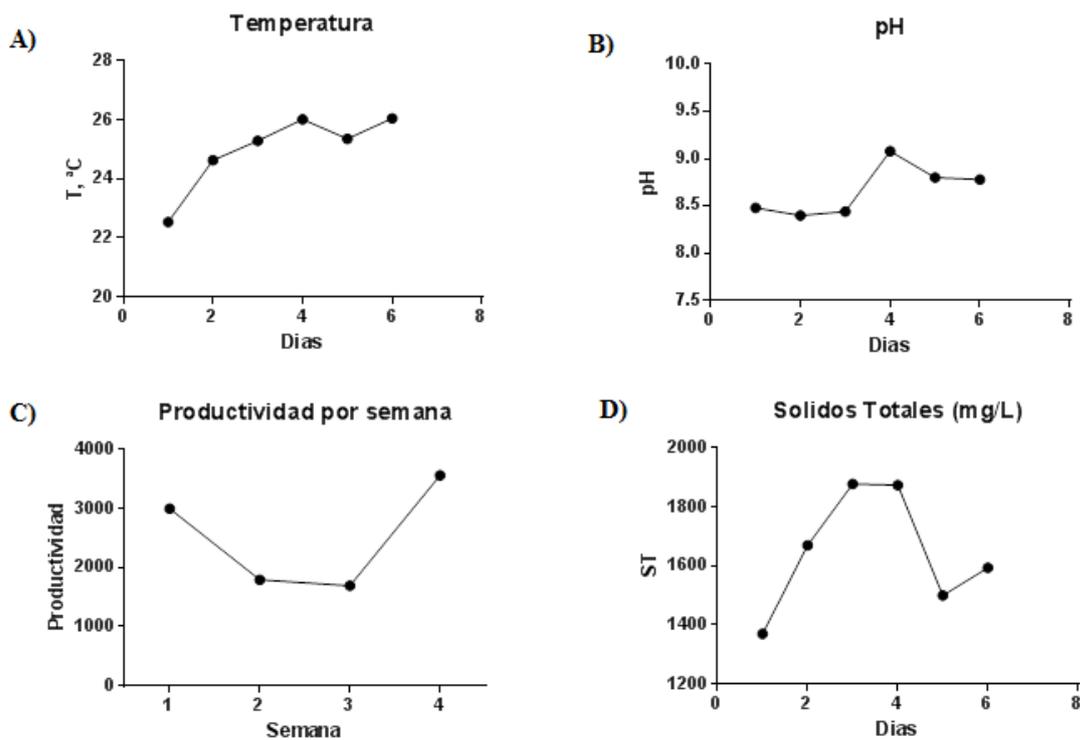


Figura 13. Parámetros de crecimiento por semana.

A) Temperatura B) PH C) productividad y D) solidos totales de *Cladophora glomerata* en el sistema de flujo continuo en las cuatro semanas de cultivo.

En el estudio reportado por G. Khola y B. Ghazala muestra que las algas son una opción económica para la producción de biodiesel, debido a su disponibilidad y propiedades amigables con el ambiente (89).

En el estudio según Hossain la macroalga *Cladophora* tiende a producir mayor cantidad de biodiesel que la *Spirogyra* sp. al igual que el aceite extraído que también fue más alta. (90)

7.3. Obtención y Caracterización del Aceite

Para la obtención del aceite, se trituro 2261,92gr del alga *Cladophora glomerata* como se muestra en la figura 14 A y el volumen obtenido de aceite a partir de la biomasa seca fue de 1900ml, el proceso de extracción del aceite se muestra en la figura 14E. El aceite de *Cladophora glomerata* presento un color verdoso, debido probablemente al alto contenido de pigmentos como la clorofila.

Diferentes géneros de algas verdes marinas puede utilizarse potencialmente para aplicaciones alimenticias y farmacéuticas como por ejemplo: *Codium*, *Chaetomorpha* y *Ulva*, que son ricos en ácidos grasos (especialmente: palmítico, mirístico, behénico, palmitoleico, oleico y linoleico) (102). Sin embargo, pocas fuentes se refieren al contenido de ácidos grasos en agua dulce como *C. glomerata* (103).

En un estudio llevado a cabo por Messyasz (2015) en *Cladophora glomerata* obtenida de un lago y luego cultivada en laboratorio mediante suplemento con iones Cu, el contenido de ácido graso en la materia seca del extracto aumento y varió dependiendo del método de extracción utilizado: alcohol de etileno (19,0%), acetona (34,5%) y con extracción de fluidos supercríticos (62,5%). En resumen, los cambios en el contenido de aceite en los extractos varían con la técnica de extracción, disolventes utilizados, las especies de algas y su hábitat natural.

Similar a la especie marina *Cladophara sericea* y *C. laetevierens* propuesto por Elenkov et al. 1996, el contenido de lípidos en el alga marina *C. rivularis* fue de (56,4% del total lípidos. En algas verdes marinas, las concentraciones de aceite son dos a tres veces más bajas que las especies acuáticas. Esta diferencia puede ser de gran importancia debido a *C. glomerata* es una macroalga de agua dulce. Las principales clases de lípidos y su composición de ácidos grasos se investigaron en *Cladophora vagabunda* con diferentes salinidades o sometidos a estrés por sal disminuyendo el contenido de aceite a mayores salinidades segun Ivaylo 1996.

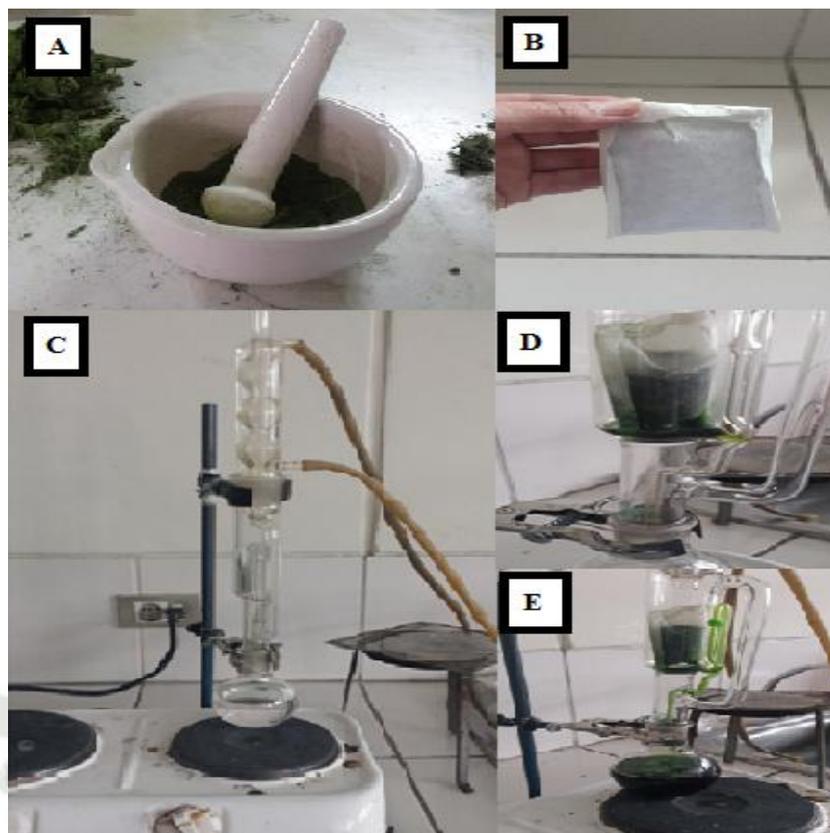


Figura 14. Proceso de extracción de aceite.

A) Biomasa seca triturada, B) papel filtro con la biomasa, C) Equipo Soxhlet de 500ml, D) La evaporación del solvente para la extracción del aceite, E) Extracción del aceite.

En la tabla 7 se presenta las propiedades fisicoquímicas del aceite de *Cladophora glomerata* que se separó en dos fases una menos densa y otra de consistencia pastosa semisólida. Los valores de densidad fueron de 0,973 extraído con 300 ml de cloroformo y 100 ml de alcohol metílico estos resultados fueron comparados con bibliografía (44) que reporta para el caso del aceite de Colza (*Brassica napus*) con valores de densidad 0,923, para el caso de *Ricinus comunnis* con valores de 0,955 - 0,968; reportado por Canakci y Van Gerpen (44) lo que indica que los valores de la densidad de los biodiesel obtenidos se encuentran dentro del rango de densidad registrado en bibliografía y para el caso del aceite de palma fue 0,920 reportado por la tesis doctoral de Fredy A. Avellaneda (99). El índice de refracción hallado en el presente estudio fue de 1,3705 y en el caso del aceite de *Ricinus comunnis* extraído por compresión fue de 1,4762 y del extraído por hexano fue de 1,4672; y del aceite de extraído

por compresión fue de 1,4699 en *Brassica napus* **(43)** datos que se encuentran dentro de los rangos de investigación bibliográfica. Los valores de índice de acidez fueron de 0.56 % que es muy inferior al obtenido en *Brassica napus* **(43)** con 1,22% para el aceite extraído con hexano. El índice de acidez se realiza para determinar la cantidad de ácidos grasos libres presentes en una muestra de aceite, mientras más bajo es el índice de acidez de los aceites mejores características poseen para la fabricación de biodiesel debido a que evitará la formación de jabones en la transesterificación **(95)** y basándonos en este fundamento el aceite de *Cladophora glomerata* presenta mejores propiedades ya que presenta menor índice de acidez esto posiblemente debido a que el solvente usado refina el aceite crudo y por lo tanto disminuye la cantidad de ácidos grasos libres en el mismo. El índice de yodo obtenido en el aceite de *Cladophora glomerata* fue de 31,73 mol/g y de 58,27 mol/g encontrado en *Ricinus communis* para el aceite extraído con hexano **(43)**, observando que los valores obtenidos se encuentran dentro del rango. Mediante todas las comparaciones realizadas en esta investigación con los encontrados en bibliografías **(43, 44)** sobre la calidad de los aceites podemos determinar que el aceite obtenido de *Cladophora glomerata* presenta buenas propiedades fisicoquímicas y que son aptos para la elaboración de biodiesel. El índice de saponificación tuvo un valor de 25,24 siendo así menor al valor que se obtuvo en el trabajo de investigación sobre la caracterización fisicoquímica del aceite de microalga del lago Egunu publicado por Ejim, I. F. y Kamen, F.L. **(96)** el cual obtuvieron un valor de 200 mostrando así que el aceite de la macroalga *Cladophora glomerata* se debe a una muy buena conversión de los triglicéridos y a la neutralización de los ácidos grasos libres, pero el uso de cantidades mayores de catalizador favorece la formación de jabones y la emulsión del producto. En la práctica esto dificulta los lavados y la separación de fases, produciendo una disminución del producto final **(97,98)**.

Tabla 7: Análisis fisicoquímico del aceite extraído de la macroalga *Cladophora glomerata*.

ANALISIS	RESULTADOS
DETERMINACION DE INDICE DE PERÓXIDO. ^a	0,64 meq/Kg
DENSIDAD	0,973g/ml
DETERMINACION DE HUMEDAD Y MATERIAS VOLATILES ACEITES Y GRASAS COMESTIBLES. ^b	0.79 g%
DETERMINACION DE ACIDEZ LIBRE. ^c	0.56 % Ácido oleico
DETERMINACION DE INDICE DE YODO. ^d	31,73 mol/g
DETERMINACION DE INDICE DE REFRACCION ^e	1,3705 Nd
DETERMINACION DE INDICE DE SAPONIFICACIÓN. ^f	25,24

^a Método de determinación del índice de peróxido, NTP 209:1968. ^b Método de determinación del contenido de humedad y materias volátiles NTP 209:004.1968, ^c Método para la determinación de acidez libre NTP 209.005.1968, ^d Método de determinación de yodo. Método Wijs, NTP 209,006.1968; ^e Método de determinación de índice de refracción, NTP 209.121.1975; ^f Método de determinación del índice de saponificación, NTP 209.058:1980.

7.3.1. Construcción de un sistema de reactor para obtener biodiesel

Se construyó un reactor y los recipientes contenedores de aceite y metóxido. El siguiente componente en ser construido fue la armadura de soporte, con uniones soldadas en su mayoría. Se usó una resistencia eléctrica para el calentamiento que se instaló abajo del recipiente contenedor de aceite. El motor impulsador para el mezclado se acopló a un tubo de PVC, que permitió recircular la mezcla. También se usó un sensor de temperatura que fue instalado en el interior del recipiente contenedor de aceite, el sensor empleado en la etapa de calentamiento de la mezcla reaccionante cortaba el suministro eléctrico cuando la temperatura superaba los 60°C. Se hizo uso de una resistencia eléctrica de calentamiento y un sensor de temperatura en el diseño del prototipo. El primero se encarga de realizar el calentamiento del aceite, el otro mantiene la reacción en un rango de temperatura. La

resistencia usada para calentar la reacción, es de tipo banda de 600 W y se determinó posicionarla alrededor del diámetro externo del reactor. Esta resistencia se planeó colocarla en la parte inferior del recipiente contenedor de aceite.

7.3.2. Obtención y caracterización del Biodiesel

La reacción de transesterificación para producir biodiesel se realizó en el reactor. Durante el tiempo de reacción se mantuvo la mezcla en agitación constante impulsada por la bomba de motor. La temperatura se mantuvo a 60°C durante una hora que duró toda la reacción. Culminada la agitación, se dejó reposar la mezcla en el mismo reactor para que se logre la separación de glicerina y biodiesel por diferencia de densidades. Como mínimo se requirieron 4 horas para garantizar que se ha precipitado la totalidad de la glicerina, de acuerdo a los ensayos realizados en laboratorio. La glicerina se precipito en el fondo del reactor, por tal razón, es conveniente que la forma de dicho reactor sea parecida a un embudo, es decir de forma cónica, ello permite drenar su contenido con mayor facilidad. Considerando el tamaño del prototipo, el reactor se diseñó para manejar hasta un volumen de 20 litros de mezcla aceite-metóxido. En la figura, se observa el dibujo del reactor. Para el procedimiento de transesterificación se hizo una mezcla de 11,47gr de hidróxido de potasio con 200ml de alcohol metílico y se le añadió al reactor para mezclarlo con el aceite que se encontraba a una temperatura de 60°C. Como se observa en la metodología se ha elaborado el biodiesel por transesterificación básica utilizando metóxido de sodio, investigaciones en bibliografía **(42)** indican que la mejor concentración para la transesterificación es empleando 10% de metóxido de sodio; para el caso de las obtenidos en *Cladophora glomerata* los resultados se obtuvieron al emplear 21 % de metóxido de sodio.

En estudios previos realizados por Graboski y McCormick quienes usaron la macroalga *Cladophora fracta* para la producción de biodiesel, en la transesterificación utilizaron metanol porque es más económico que el etanol. **(89)**.

En un trabajo utilizando la *Cladophora fracta* realizado por A. Demirbas, menciona que los combustibles de aceite vegetal comestible no eran

aceptables porque eran más caros que los combustibles derivados del petróleo. Sin embargo, se pueden obtener grandes cantidades de aceites de bajo costo, tales como aceites de algas que podrían ser convertidos en biodiesel. **(91)**.

En el estudio reportado por G. Khola y B. Ghazala muestran que el biodiesel hoy es producido por catálisis álcali (por ejemplo, NaOH, KOH) de transesterificación con metanol, lo que resulta en un tiempo de reacción relativamente corto **(92)**.

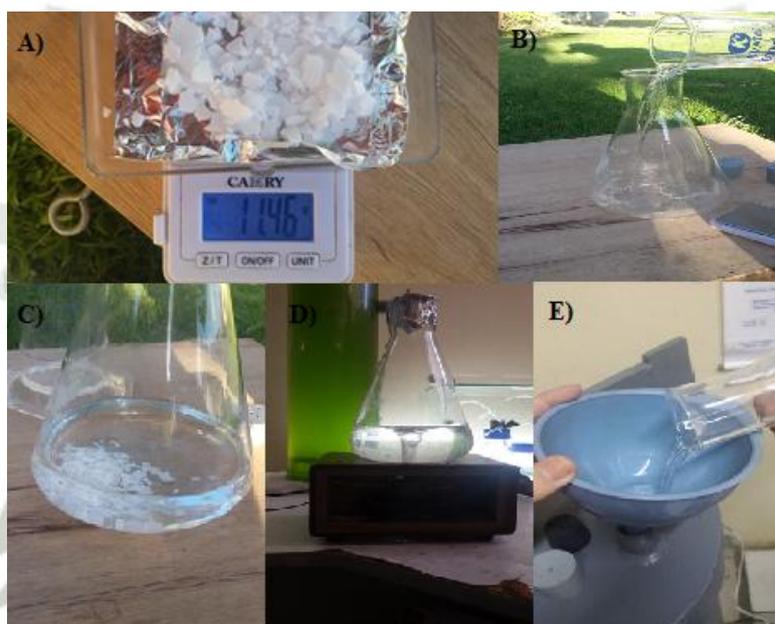


Figura 15. Formación de metóxido de Potasio.

A) Pesaje de hidróxido de potasio, B) Alcohol metílico, C) mezcla del hidróxido de potasio y alcohol metílico, D) homogenización de la mezcla mediante agitador magnético, E) Agregado de la mezcla en el reactor para la transesterificación.

El biodiesel total obtenido de la biomasa de *Cladophora glomerata* durante un mes de cultivo fue de 1580ml, una productividad de 83,16%, densidad de 0,8328 g/ml, punto de inflamación de 70,04°C, viscosidad de 2,10 cP y cifra cetanica de 54,44. (Ver tablas) En las Normas ASTM D **(45)** se indican especificaciones que garantiza la calidad del biocombustible para ser considerado aceptable y de buena calidad como: densidad entre 926 -1865 g/ml punto de inflamación entre 62-82 °C, viscosidad entre 2-14Cp, y cifra cetanica entre 38 y 50. A partir de estas especificaciones el biodiesel obtenido

de *Cladophora glomerata* demuestra que el producto obtenido está dentro del rango de la norma ASTM cumpliendo con las normas reguladoras de calidad de este tipo de biocombustible. Una excepción en los resultados de los análisis es la viscosidad del biodiesel de *Cladophora glomerata* que presento valores por debajo de esta norma.

Para la purificación del biodiesel se utilizó filtros con aserrín de roble, como se explica en la metodología, este sistema fue implementado para obtener el biodiesel puro. Ver figura 16C.



Figura 16. Obtención del Biodiesel

A) Vista general del reactor, B) biodiesel impuro, C) sistema de filtrado, D) biodiesel puro

El proceso de purificación como se muestra en la figura 16C, incluyendo el lavado y secado, son necesarios ya que el biodiésel no tratado contiene impurezas, tales como glicerol libre, jabón, ácidos grasos libres, metanol, catalizadores, metales y glicéridos. Los compuestos remanentes en el biodiesel presentan riesgos de seguridad y puede corroer los componentes del motor. El catalizador residual (hidróxido de

sodio) puede dañar los componentes del motor, y el jabón en el biodiesel puede reducir la lubricidad del combustible **(104)**

La viscosidad es una medida de la fricción interna o la resistencia de aceite a fluir. A medida que aumenta la temperatura del aceite, su viscosidad disminuye y por lo tanto es capaz de fluir más fácilmente. La viscosidad es la propiedad más importante de biodiesel ya que afecta el funcionamiento de los equipos de inyección de combustible, particularmente a bajas temperaturas aumenta la viscosidad y afecta la fluidez del combustible **(104)**. La alta viscosidad conduce a una atomización más pobre de la pulverización de combustible y el funcionamiento menos preciso de los inyectores de combustible. Los valores de viscosidad de los aceites vegetales se encuentran entre 27,84 y 52,76 mm²/s a 40 ° C mientras que los aceites no comestibles tienen valores más altos de viscosidad alrededor de seis veces más que los límites de la ASTM. Las algas tienen valores de viscosidad de 9,1 mm²/s a 40 ° C. Los cuales están dentro de los límites de la ASTM. [105].

La densidad es otra propiedad importante de biodiesel. El aceite de algas bordean valor promedio de 0,86 kg /l que es inferior a los aceites comestibles, no comestibles, ésteres metílicos y sus mezclas.

El punto de inflamación de los ésteres metílicos de aceites vegetales es muy inferior a los de los aceites vegetales **(105)**. El punto de inflamación del aceite de girasol es más alto con 274 ° C, en contraste a los ésteres metílicos de semilla de colza que es más bajo con 80 °C, mientras que el punto de inflamación y combustión de biodiesel de algas es de 52 ° C y 81 ° C respectivamente. **(106)**

La calidad de ignición de un combustible se puede deducir a través de su número de cetano. Un combustible con buena calidad de ignición tiene un número de cetano elevado, en el que el periodo de retardo de encendido entre el inicio de la inyección de combustible y la aparición de encendido automático es corto (106). El índice de cetano del biodiesel varía con la calidad de la materia prima utilizado. El valor del índice de cetano generalmente aumenta con la longitud de la cadena de carbono.

El valor promedio en el número de cetano del biodiesel de algas es de 44 KJ / Kg. **(106)** (ver datos en la tabla 8).

Tabla 8: Determinación de parámetros del biodiesel mediante el ensayo ASTM

ANÁLISIS	RESULTADOS
DETERMINACIÓN DE DENSIDAD	0,8328 g/ml
DETERMINACIÓN DE PUNTO DE INFLAMACIÓN	70,04 °C
DETERMINACIÓN DE VISCOSIDAD	2,10 cP
DETERMINACIÓN DE CIFRA CETÁNICA	54,44

En la tabla 9 se muestran los valores de aceite que se logró extraer de la macroalga *Cladophora glomerata*, un valor de 1900ml que se obtuvo de 2261,92gr como peso seco neto del alga, los valores del biodiesel obtenido en el proceso de transesterificación al cual se le atribuyo el nombre de biodiesel impuro que fue de 1730ml, el dato del biodiesel luego del proceso de purificación con el sistema de filtros se obtuvo 1580 ml de biodiesel puro y la formación de 150ml de glicerina, y la productividad que se obtuvo con la formula según Piyushi Nautiyal, K.A. Subramanian, M.G. Dastidar que se muestra en metodología fue del 83,16% y comparando con la productividad de biodiesel que tuvo el aceite de palma en la tesis doctoral de 99. Fredy A. Avellaneda fue de 68,90% de promedio y en el trabajo realizado por Haq tuvo una tasa conversión de biodiesel de la macroalga *Cladophora* en un 75%, de la macroalga *Spirogyra* el 87,5% y la macroalga *Oedogonium* 92%, analizando

así que la *Cladophora glomerata* tiene una productividad relativamente mayor que lo obtenido con Haq respecto a la cladophora.

Tabla 9: Resultados totales de aceite y biodiesel producido

Aceite + solvente (ml)	2426
Aceite (ml)	1900
Biodiesel impuro (ml)	1730
Biodiesel puro (ml)	1580
Productividad del biodiesel ^a	83,16%

^a la productividad fue calculada mediante la fórmula usada por Piyusi, 2014

7.4. Comparación Energética del Biodiesel

Al estar contemplado dentro de los objetivos de la siguiente investigación, se llevó a cabo pruebas usando mezclas al 5% (95% diesel) y 10% (90% diesel) del biodiesel obtenido del aceite de la macroalga *Cladophora glomerata*. Ver en la figura 17, el diesel fue obtenido del grifo Primax. Estos ensayos se realizaron en un motor petrolero como se indica en la metodología (Ver cálculos en anexos). Los ensayos comparativos de las mezclas realizadas del biodiesel se efectuaron durante un tiempo de 1 hora, ya que primero se tuvo que calentar el motor y así poder comenzar los resultados al mismo tiempo para los 3 ensayos y no haya complicaciones al momento de hacer las comparaciones, observando un arranque correcto del motor y un menor número de revoluciones, con respecto al funcionamiento del motor con la mezcla del diesel con biodiesel al 5% (B5) y biodiesel al 10%(B10); el sonido del motor tuvo una alta intensidad y el humo en el tubo de escape fue casi incoloro. Fue posible valorar la potencia, torque y revoluciones por minuto del motor, usando el biodiesel obtenido en el prototipo construido. Sin embargo, en la literatura se reportan datos de estudios

comparativos en el funcionamiento del motor diesel, empleando biodiesel al 100%, con respecto al diesel del petróleo. Herrera et al. Compararon el comportamiento de los parámetros del motor, al funcionar con diesel y biodiesel, a una velocidad de rotación de 1450 rpm, punto donde llegan a ser máximas las diferencias. Sus resultados denotan que al emplear biodiesel, el torque disminuye un 9.83%, así mismo, la potencia efectiva es menor en un 9.63%. El consumo horario de biodiesel aumenta un 11.94% con respecto al diesel. El rendimiento del motor, empleando biodiesel, es menor en un 18.98%, que al emplear diesel. (34). A diferencia del biodiesel obtenido de la *Cladophora glomerata* que su velocidad de rotación del motor utilizado fue de 2200 RPM como se observa en las figuras 18, 19 y 20.



Figura 17. Mezclas de Biodiesel y motor petrolero.

A) mezclas del biodiesel al 5% y 10% con diésel fósil, B) Prueba de biodiesel en motor petrolero en el laboratorio de mecánica de la Universidad Nacional de San Agustín.

En la figura 18, se observa el comportamiento mecánico y eléctrico del motor con Diesel fósil, el cual obtuvo una fuerza o torque de 30,39 Nm, según su potencia efectiva tuvo un valor de 7,0008 KW en el primer eje del grafico respecto a su frecuencia de rotación del motor que es de 2200 RPM, en el segundo eje que está conformado por la potencia de perdida mecánica que tuvo el valor de 63,3508 Nm y su gasto especifico de 1,8730

Kg/KW.hr y todo respecto a la frecuencia de rotación RPM nominal 2200, en el tercer eje se muestra la gráfica del consumo de combustible con respecto a 2200 RPM un valor de 13,1125Kg/hr.

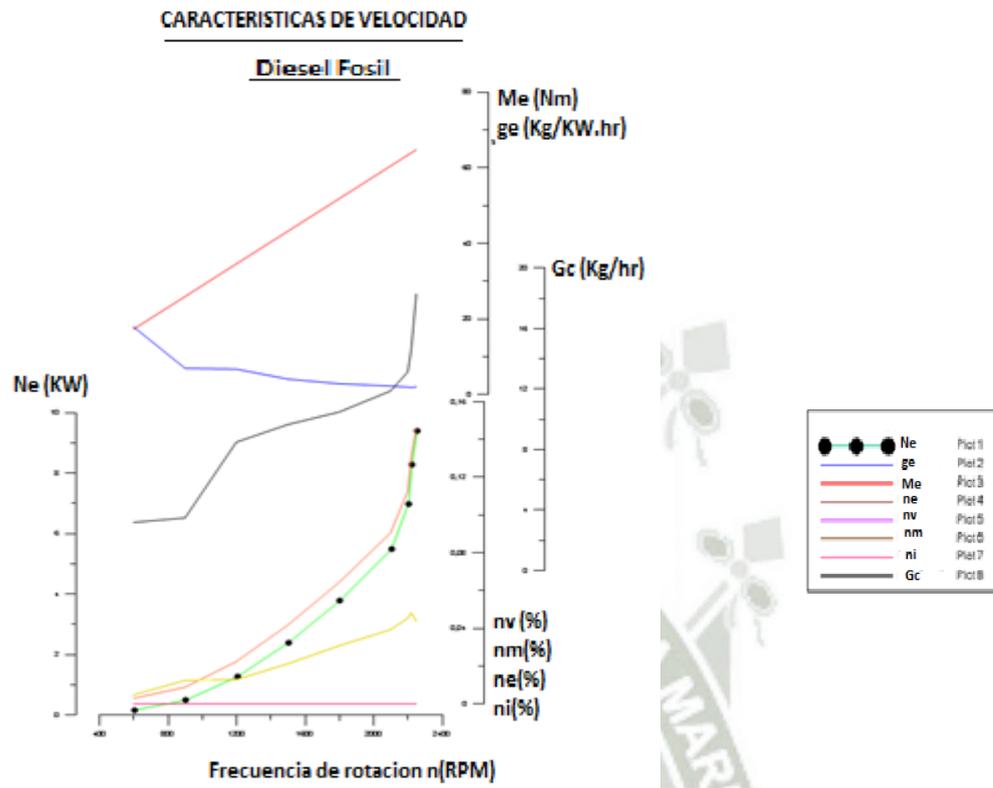


Figura 18. Rendimiento del motor con diesel fósil.

Usando biodiesel obtenido de *Cladophora glomerata*. Se muestran las curvas de potencia efectiva (Ne), potencia de pérdidas mecánicas (Me), consumo o gasto específico (ge), consumo de combustible (Gc), eficiencia volumétrica (nv), eficiencia mecánica (nm), eficiencia efectiva (ne), eficiencia indicada (ni); en función a la frecuencia de rotación (RPM).

En el cuarto eje (figura 19) estuvieron relacionados la eficiencia mecánica con un valor de 0,1129, una eficiencia volumétrica de $3,3774 \times 10^{-6}$ y los valores de la eficiencia indicada con su eficiencia efectiva obteniendo un mismo valor de 0,0452, todos en función a la frecuencia de rotación RPM nominal.

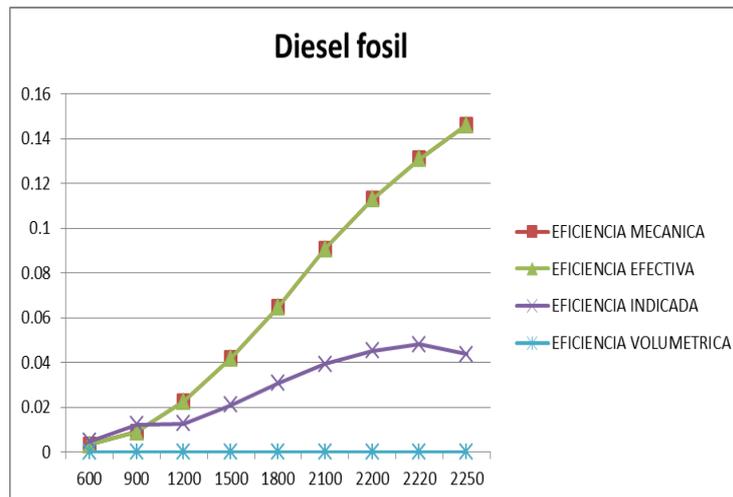


Figura 19. Relacion de las eficiencias mecanica, efectiva, indicada y volumetrica del motor con diesel fosil

En la figura 20, se reporta el rendimiento del motor con la mezcla de diesel 95% y biodiesel al 5% (B5), donde se puede determinar el valor de la fuerza o torque que tuvo el motor que fue de 30,33 Nm. En el primer eje donde se relaciona la potencia efectiva de 6,9870 KW con la frecuencia de rotación nominal del motor que es de 2200 RPM, en el segundo eje se relacionan los valores de su potencia de perdidas mecánicas con 63,3508 Nm y el gasto especifico de 1,8112 Kg/KW.hr según la frecuencia de rotación nominal, en el tercer eje se toma el valor del consumo del combustible que fue de 12,6550 Kg/hr con respecto al RPMn.

CARACTERÍSTICAS DE VELOCIDAD

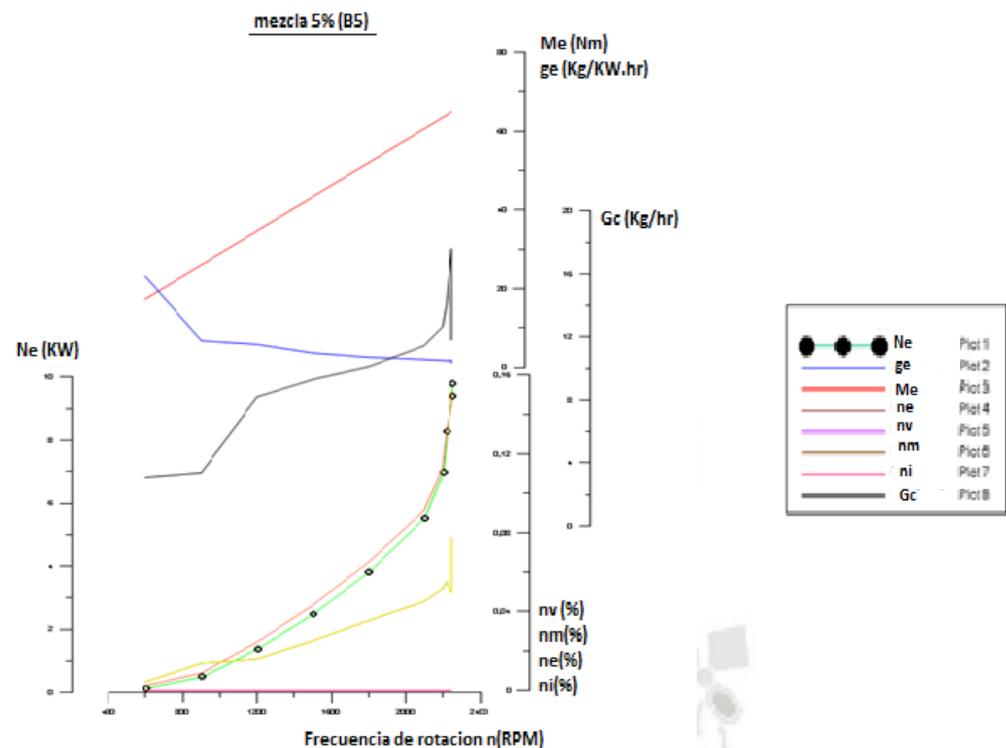


Figura 20. Rendimiento del motor con Biodiesel al 5%

Usando biodiesel obtenido de *Cladophora glomerata*. Se muestran las curvas de potencia efectiva (Ne), potencia de perdidas mecánicas (Me), consumo o gasto específico (ge), consumo de combustible (Gc), eficiencia volumétrica (nv), eficiencia mecánica (nm), eficiencia efectiva (ne), eficiencia indicada (ni); en función a la frecuencia de rotación (RPM).

Y como cuarto eje (figura 21) se relacionan los valores de su eficiencia volumétrica de 3×10^{-6} , los valores de la eficiencia indicada y la eficiencia efectiva similares de 0,0514 y su eficiencia mecánica con un valor de 0,1127 en función a la frecuencia de rotación nominal (2200 RPM).

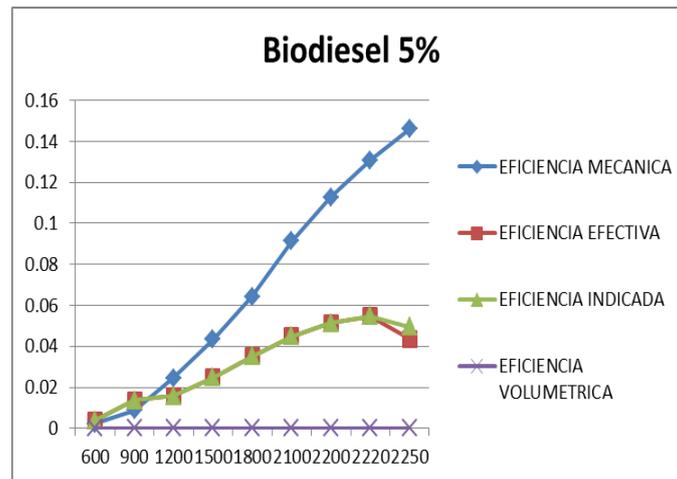


Figura 21. Relación de la eficiencia mecánica, efectiva, indicada y volumétrica del motor con Biodiesel al 5%

En la figura 22, se observa las características de velocidad del motor como su rendimiento con la mezcla de diesel 90% y Biodiesel al 10% (B10), el cual se puede reportar la fuerza o torque que alcanzo el motor con un valor de 30,31 Nm. Se muestra en la gráfica como primer eje el valor de su potencia efectiva con respecto a su RPM nominal del motor que es de 2200 RPM un valor de 6,9824 KW. En el segundo eje se ven relacionados los valores de su potencia de perdidas mecánicas con 63,3508 Nm y el gasto efectivo que fue de 1,8124 Kg/KW.hr, en función a su frecuencia de rotación nominal. En el tercer eje se muestra el valor del consumo de combustible según la frecuencia de rotación nominal del 12,6554 Kg/hr.

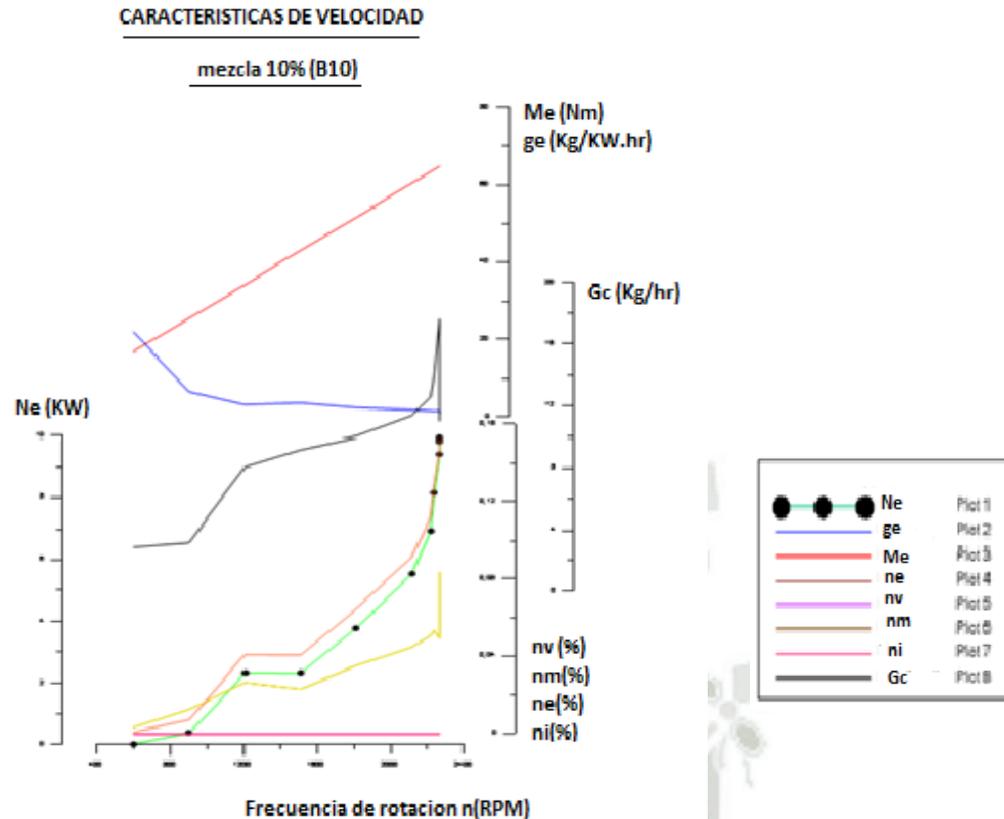


Figura 22. Rendimiento del motor con Biodiesel al 10%

Usando biodiesel obtenido de *Cladophora glomerata*. Se muestran las curvas de potencia efectiva (Ne), potencia de perdidas mecánicas (Me), consumo o gasto específico (ge), consumo de combustible (Gc), eficiencia volumétrica (nv), eficiencia mecánica (nm), eficiencia efectiva (ne), eficiencia indicada (ni); en función a la frecuencia de rotación (RPM).

Y como cuarto eje (figura 23) se relacionaron los valores de su eficiencia indicada y su eficiencia efectiva de 0,0513, su eficiencia mecánica con un valor de 0,1127 y la eficiencia volumétrica de $3,4 \times 10^{-6}$ en función a la frecuencia de rotación del motor a 2200RPM.

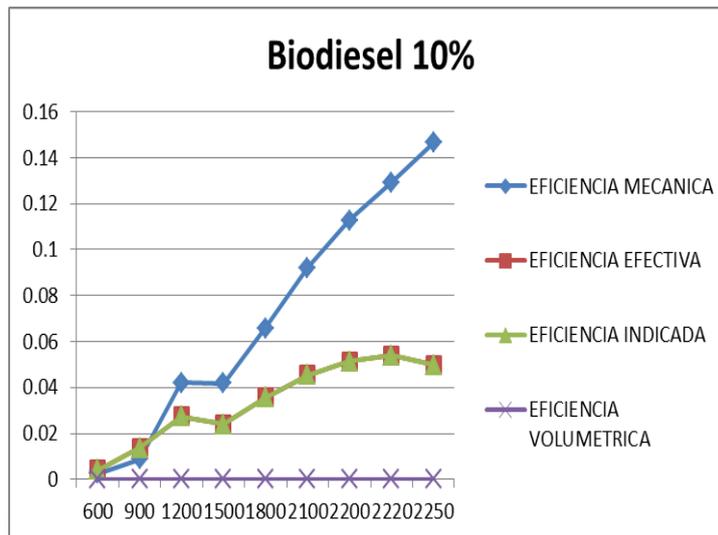


Figura 23. Relación de la eficiencia mecánica, efectiva, indicada y volumetrica del motor con Biodiesel al 10%

El comportamiento mecánico y eléctrico del motor experimentado con biodiesel obtenido de *Cladophora glomerata* en el que hay diferencias en la fuerza mecánica (torque), donde es mayor cuando el combustible tiene mayor densidad de kg/m^3 y menor poder calorífico, siendo así de que el combustible B10 resulta ocasionar menor esfuerzo para llegar a la misma velocidad (2200 RPM nominal). Demostrando que el gasto del combustible es menor.

En cuanto a la eficiencia efectiva (figura 24), el combustible B10 tiene un rango de un 20% más que el diésel fósil y un 10% más que el B5 en cada una de ellas y el combustible B5 tiene un rango de 10% más que el diésel fósil.

Tabla 10. Resultados comparativos de la eficiencia efectiva entre el diesel fósil. Biodiesel 5% y Biodiesel 10%

RPM	EFICIENCIA EFECTIVA (Diesel fosil)	EFICIENCIA EFECTIVA (Biodiesel 5%)	EFICIENCIA EFECTIVA (Biodiesel 10%)
600	0.004756	0.004	0.00423
900	0.012361	0.0136	0.01364
1200	0.012771	0.0157	0.02746
1500	0.021191	0.0249	0.02403
1800	0.030725	0.0352	0.03567
2100	0.039242	0.045	0.04533
2200	0.045225	0.0514	0.05132
2220	0.048168	0.0547	0.05405
2250	0.043668	0.0436	0.04981

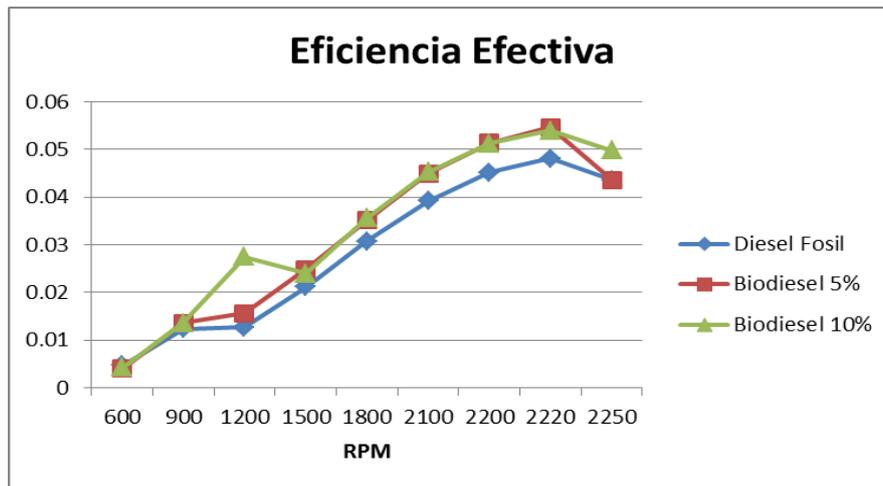


Figura 24. Comparación de la eficiencia efectiva entre Diesel fósil, Biodiesel 5% y Biodiesel 10%

En cuanto a la eficiencia mecánica (figura 25), el Biodiesel 10% tiene una diferencia mínima más efectiva que el diesel fósil y el Biodiesel al 5% cuando el motor llega a 1200 RPM.

Tabla 11. Resultados comparativos de la eficiencia mecánica entre el diesel fósil, Biodiesel 5% y Biodiesel 10%

RPM	EFICIENCIA MECANICA (Diesel fósil)	EFICIENCIA MECANICA (Biodiesel 5%)	EFICIENCIA MECANICA (Biodiesel 10%)
600	0.003222	0.00238	0.00252
900	0.009101	0.0088	0.00883
1200	0.022707	0.02445	0.04206
1500	0.041995	0.04328	0.04186
1800	0.064563	0.06435	0.06579
2100	0.090804	0.09137	0.09206
2200	0.112915	0.11272	0.11265
2220	0.130914	0.13079	0.12935
2250	0.14622	0.14609	0.14653

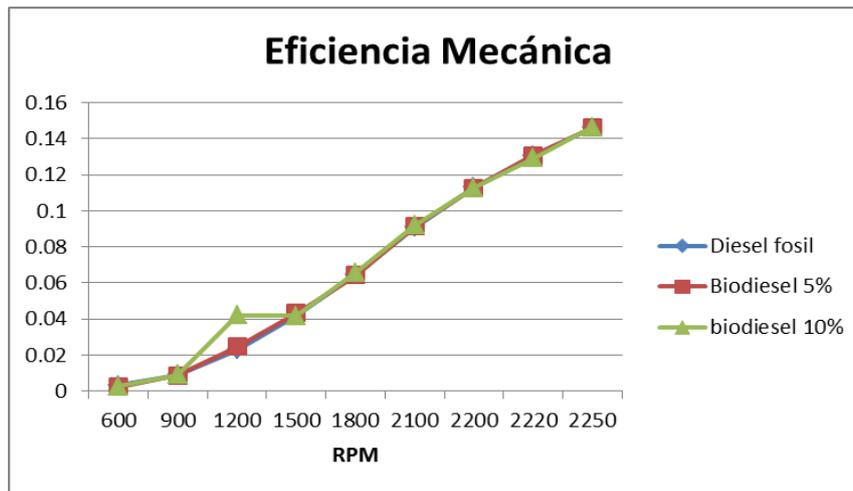


Figura 25. Comparación de la eficiencia mecánica respecto al diesel fosil, Biodiesel 5% y Biodiesel 10%.

En cuanto a la eficiencia indicada (figura 26), el Biodiesel 10% y Biodiesel 5% tienen mayor eficiencia cuando la frecuencia de rotación del motor alcanza su 2200 RPM.

Tabla 12. Resultados comparativos de la eficiencia indicada entre el diesel fósil. Biodiesel 5% y Biodiesel 10%

RPM	EFICIENCIA INDICADA (Diesel fosil)	EFICIENCIA INDICADA (Biodiesel 5%)	EFICIENCIA INDICADA (Biodiesel 10%)
600	0.00476	0.004	0.00423
900	0.01236	0.0136	0.01364
1200	0.01277	0.0157	0.02746
1500	0.02119	0.0249	0.02403
1800	0.03072	0.0352	0.03567
2100	0.03924	0.045	0.04533
2200	0.04523	0.0514	0.05132
2220	0.04817	0.0547	0.05405
2250	0.04367	0.0496	0.04981

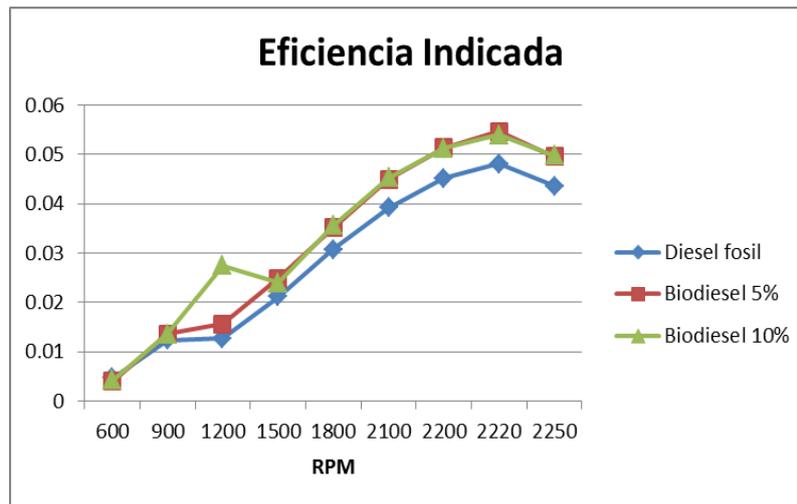


Figura 26. Comparación de la eficiencia indicada del diesel fosil, Biodiesel 5% y Biodiesel 10%

Y en cuanto a la eficiencia volumétrica (figura 27), los datos que se muestran cuando el motor llega a su frecuencia de rotación al 2200RPM un aumento en el Biodiesel al 5%.

Tabla 13. Resultados comparativos de la eficiencia volumétrica entre el diesel fósil. Biodiesel 5% y Biodiesel 10%

RPM	EFICIENCIA VOLUMETRICA (Diesel fosil)	EFICIENCIA VOLUMETRICA (Biodiesel 5%)	EFICIENCIA VOLUMETRICA (Biodiesel 10%)
600	2.9904E-06	3.0000E-06	3.0000E-06
900	2.1794E-06	2.0000E-06	2.2000E-06
1200	4.0024E-06	4.0000E-06	4.0000E-06
1500	3.6407E-06	4.0000E-06	3.6000E-06
1800	3.2946E-06	3.0000E-06	3.3000E-06
2100	3.1995E-06	3.0000E-06	3.2000E-06
2200	3.3774E-06	3.0000E-06	3.4000E-06
2220	3.7189E-06	4.0000E-06	3.7000E-06
2250	4.6017E-06	5.0000E-06	4.6000E-06

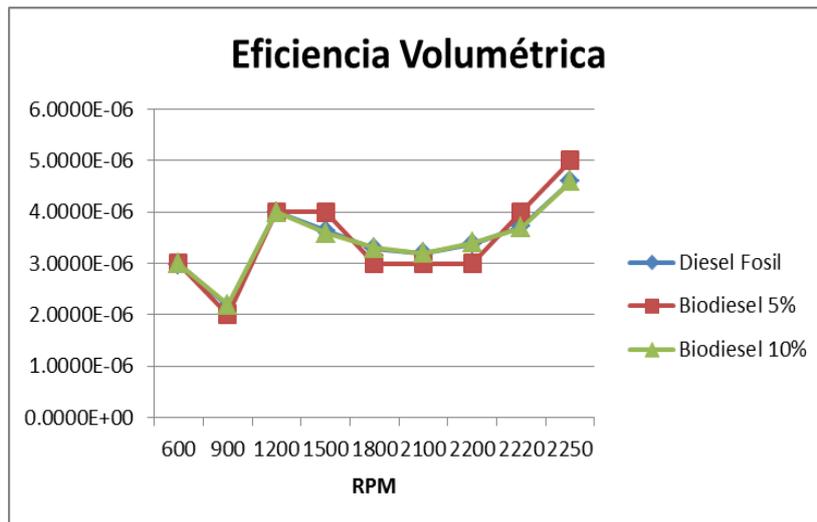


Figura 27. Comparación de la eficiencia volumetrica con Diesel fosil, Biodiesel 5% y Biodiesel 10%

La densidad afecta la potencia y las características de pulverización del combustible durante la inyección del combustible y la combustión en el cilindro **(94)**.

En el estudio reportado por A. Demirbas menciona que la producción de biodiesel a partir de algas también proporciona una reducción de las emisiones de dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno de las plantas de energía, si las algas se cultivan utilizando tubos de escape de las plantas de energía **(91)**. Los ésteres de biodiesel se caracterizaron por sus propiedades físicas y de combustible incluyendo la densidad, viscosidad, índice de yodo, acidez, índice de nube, punto puro, el calor bruto de combustión y la volatilidad del combustible y produce una potencia ligeramente inferior y el par motor, y un mayor consumo de combustible que No. 2 combustible diesel **(91)**.

En el trabajo de producción de biodiesel a partir de algas reportado por Bala B, K. el biodiesel es mejor que el combustible diesel en términos de contenido de azufre, punto de inflamación, contenido aromático y biodegradabilidad **(93)**.

CONCLUSIONES

- Según el rendimiento del motor las mezclas del Diésel con Biodiesel al 5% (B5) y 10% (B10) tuvieron un menor gasto de combustible y demostraron una diferencia mínima del 2% en la fuerza/torque alcanzada en el motor, para llegar a la misma velocidad (2200RPM) a diferencia del diésel fósil convencional que obtuvo mayor gasto de combustible y una mayor fuerza.
- El cultivo de *Cladophora glomerata* realizado en el sistema de flujo continuo a condiciones ambientales se desarrolló en condiciones óptimas de cultivo durante 4 semanas alcanzando una biomasa seca total de 2261,92g y una productividad de 13,304.23 g.m⁻².por semana.
- El aceite total obtenido de *Cladophora glomerata* fue de 1900 ml que corresponde a un 84% del alga *C. glomerata* seca y presenta propiedades fisicoquímicas como: índice de refracción de 1,3705 nD, índice de yodo de 31,73 mol/g y su índice de saponificación de 25,24 los cuales son aptas para la elaboración de biodiesel.
- Se logró obtener un sistema de reactor óptimo para la transesterificación del aceite.
- El biodiesel total obtenido de la biomasa de *Cladophora glomerata* durante un mes de cultivo fue de 1580ml después de pasar por la etapa de purificación y obtuvo una productividad de 83,16%. Estos resultados demuestran que el producto obtenido está dentro del rango de la norma ASTM cumpliendo con las normas reguladoras de calidad de este tipo de biocombustible con excepción de la viscosidad.

8. RECOMENDACIONES

- Seguir con una siguiente etapa de investigación para realizar este proceso en una escala mayor y buscar la probabilidad de elaborar biodiesel a partir de otras materias primas que sean de fácil manipulación y accesibilidad.
- Automatizar el sistema de reactor para la transesterificación propuesto mediante microcontroladores como unidad de control del proceso.
- Investigar la producción de biodiesel de *Cladophora* en condiciones de estrés para inducir el aumento en el contenido de lípidos.



9. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Donohue & Codgell, 2006; Schenk et al., 2008; Meng et al., 2009; Rodolfi et al., 2009
2. Rawat I, Ranjith Kumar R, Mutanda T, and Bux F. Biodiesel from microalgae: A critical evaluation from laboratory to large scale production. *Applied Energy* 2013; 103: 444-467.
3. Aranda DAG, Silva C.C.C.M, Detoni C. Current processes in Brazilian biodiesel production. *Int. Rev. Chem. Eng.* 2009; 1(6):603-608.
4. Singh B, Guldhe A, Rawat I, Bux F. Towards a sustainable approach for development of biodiesel from plant and microalgae. *Renew Sustain Energy Rev.* 2013; 29:216-245.
5. Rashida N, Muhammad Saif Ur Rehman, Madeha Sadiq, Mahmood T, Han J. I. Current status, issues and developments in microalgae derived biodiesel production. *Renew Sustain Energy Rev.* 2014; 40: 760-778.
6. Chisti Y. Biodiesel from microalgae. *Biotechnol Adv.* 2007; 25(3):294- 306.
7. Chih-Hung Hsieh, Wen Wu Teng A novel photobioreactor with transparent rectangular chambers for cultivation of microalgae. *Biochemical Eng J.* 2009; 46(3): 300-305.
8. Bellis V. J., McLarty D. A.: Ecology of *Cladophora glomerata* (L.) Kütz. in southern Ontario. *Journal of Phycology* 1967, 3, 57-63)
9. Joanna FABROWSKA*, Bogusława ŁĘSKA, Grzegorz SCHROEDER – Faculty of Chemistry, Adam Mickiewicz University, Poznań, Poland
10. Graham, L. E., Graham, J. M. & Wilcox, L. W. 2009. *Algae*, 2nd ed. Pearson, San Francisco.
11. Guiry M.D. and Guiry G.M., *AlgaeBase*, World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2011. <http://www.algaebase.org>; searched on 25 November 2011.
12. Van den Hoek C., *Revision of the European Species of Cladophora*, Otto Koeltz Science Publishers, Koenigstein, 1963.
13. Dodds W.K. and Gudder D.A., *The ecology of Cladophora in freshwaters*,

- J. Phycol., 1992; 28: 415-427
14. Niiyama Y., Morphology and classification of *Cladophora aegagropila* in Japanese lakes, *Phycologia*, 1989; 28: 70-76.
 15. B. A. WHITTON Department of Botany, University of Durham, Durham City, England (Received 20 April 1970)
 16. J. Phycol. 49, pag. 13 (2013) © 2012 Phycological Society of America DOI: 10.1111/jpy.12025
 17. Heiba H. I., Al-Easa H. S., Rizk A. F. M.: Fatty acid composition of twelve algae from the coastal zones of Qatar. *Plant Foods for Human Nutrition* 1997: 51, 27–34.
 18. Elenkov I., Georgieva T., Hadjieva P., Dimitrova-Konaklievat S., Popov S.: Terpenoids and sterols in *Cladophora vagabunda*. *Phytochemistry* 1995, 38, 457-459.
 19. Soltani S., Saadatmand S., Khavarinejad R., Nejadstattari T.: Antioxidant and antibacterial activities of *Cladophora glomerata* (L.) Kütz in Caspian Sea Coast, Iran. *African Journal of Biotechnology* 2011, 10, 7684-7689.
 20. Khuantrairong T., Traichaiyaporn S.: The nutritional value of edible freshwater alga *Cladophora* sp. (Chlorophyta) grown under different phosphorus concentrations. *International Journal of Agriculture and Biology* 2011, 13, 297–300.
 21. Ross et al. 2008
 22. Lamer-Zarawska E., Chwała C., Gwardys A.: Rośliny w kosmetyce i kosmologii przeciwstarzeniowej. *PZWL* 2012, 102-103, 140-143, 145-147, 224-225, 284-285
 23. John, R. P. and Anisha, G. S. 2011. Macroalgae and their potential for biofuel. *CAB Reviews* 6: 1–15.
 24. Whitton B. A. (1967) Studies on the growth of riverain *Cladophora* in culture. *Arch. Mikrobiol.* 58, 21-29
 25. JAO C. (1944) Studies on the fresh-water algae of China XII. The attached algal communities of the Kialing River. *Sinensia Acad. Sinica* 15, 61-91.
 26. Thurman M. H. and KUEHNE R. A. (1952) An ecological study of *Cladophora glomerata* (Chlorophyceae) near Dallas. *Field Lab.* 20, 26-28.
 27. BELLIS V. J. (1968b) Unialgal cultures of *Cladophora glomerata* (L.) Kitz. II. Response to calciummagnesium ratio and pH of the medium. *Proc. 11th*

- Conf. Great Lakes Res. 11-15.
28. Fjerdingstao E. (1965) Taxonomy and saprobic valency of benthic phytomicro-organisms. *Int. Rev. ges. Hydrobiol.* 50, 475-604.
 29. JAAG O. (1938) Die Kryptogamenflora des Rheinfalls und des Hochrheins von Stein bis Eglisau. *Mitt. Naturf Ges. Schaffhausen* 14, 1-158.
 30. Barra Ronny. Et. Al 2008.
 31. A. Dueñas; R. Huarachi ; U. Yapo ; P. Apfata & R. Gonzalez, et. At 2014
 32. Anderson, Jordan & Sorek, Benjamin. *Microalgae: the fuel of tomorrow.* University of Pittsburg. 2008
 33. Carrín, M.E. y G.H. Capriste (2008) – Mathematical modeling of vegetable oil-solvent extraction in a multistage horizontal extractor. *Journal of Food Engineering*, 85, 418
 34. McHugh, M.A. and Krukoni, V.J. 1986. *Supercritical fluid extraction principles and practice.* Butterworth Publishers. Stoneham, MA, USA
 35. Becker, E. W. 1994. Chapter 6: Oil Production. In: *Microalgae: Biotechnology and Microbiology*, Baddiley et al. (Eds.). New York: Cambridge University Press.
 36. Mittelbach M, Remschmidt C. *Biodiesel - The comprehensive handbook.* 1^{ra} ed. Graz: Mittelbach, M; 2004
 37. Ciria, J. I. (2007). *Propiedades y características de combustibles diesel y biodiesel*
 38. Sheehan J, Camobreco V, Duffield J, Graboski M, Shapouri H. *Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus,* National Renewable Energy Laboratory, 1998; 314 p
 39. Fuente: M. Campus y F. Marcos (2002)
 40. Marchetti, J.M., Miguel, V.U., Errazu, A.F. (2008) Techno-economic study of different alternatives for biodiesel production. *Fuel Processing Technology* 89 (8): p. 740-748.
 41. Oswald WJ. *Microalgae and waste-water treatment.* In: Borowitzka, MA y Borowitzka LJ, Editores. *Microalgal Biotechnology.* 1^{ra} ed .UK: Cambridge University Press, Cambridge. 1988; p 305-328.
 42. Mittelbach M, Remschmidt C. *Biodiesel - The comprehensive handbook.* 1^{ra} ed. Graz: Mittelbach, M; 2004

43. Schuchardt U. Sercheit R. Vargas R.M (1998). Tranesterification of vegetable oils: a review J. Braz chem 9:199-210
44. Canakci M, Van Gerpen J. Biodiesel production from oils and fats with high free fattyacids. Transactions of the ASAE. 2001; 44 (6): 1429 - 1436.
45. Haas MJ. Improving the economics of biodiesel production through the use of low valué lipids as feedstocks: vegetable oil soapstock. Fuel Processing Technology. 2005; 86 (10): 1087-1096.
46. Moser B. Biodiesel production, properties, and feedstocks. In Vitro Cell Dev Biol – Plant 2009; 45 (3): 229-266.
47. Knothe G, Krahl J, Van Gerpen J. The biodiesel handbook. 2ª ed. USA: AOCS Press; 2005
48. Rashid U, Anwar F, Moser BR, Ashraf S. (2008) Production of sunflower oil methyl esters by optimized alkaly-catalyzed methanolysis. Biomass and Bioenergy . 2008; 32 (12): 1202-1205
49. Canakci M, Van Gerpen J. Biodiesel production from oils and fats with high free fatty acids. Transactions of the ASAE. 2001; 44 (6): 1429 -1436
50. Torossi, F.D., An. Quím., Vol. 102 (3), 43-49 (2006).
51. Acosta F, Castro P, Cortijo E. Manual de construcción y uso de reactor para producción de biodiésel a pequeña escala. 1ª ed. Peru: Soluciones Prácticas; 2008.
52. Ordoñez BM, Chaves LC, Rodríguez-Pérez W ,Murcia MA, Alvarado ER.Characterization of Biodiesel obtained from waste cooking oil. Rev. Colomb. Biotecnol. 2013 ;15(1): 61-70
53. Folch, J., Lees, M., Sloane Stanley, G. Simple Method for the Isolation and Purification of Total Lipides from Animal Tissues. *Department of Biological Chemistry, Harvard Medical School.* 497-509. 1956.
54. Anderson, J. & Sorek, B. (2008). Microalgae: The fuel of tomorrow. Ninth Annual Freshman Conference. Pittsburgh, Pennsylvania, United States. 9112:C7
55. Castro Pareja, P., Sevilla Sevilla, S., Coello Guevara, J., 2008. Estudio de la situación de los biocombustibles en el Perú. Oxfam Internacional, Lima, Perú
56. Demirbas. A. 2009. Production of biodiesel from algae oils. Energy

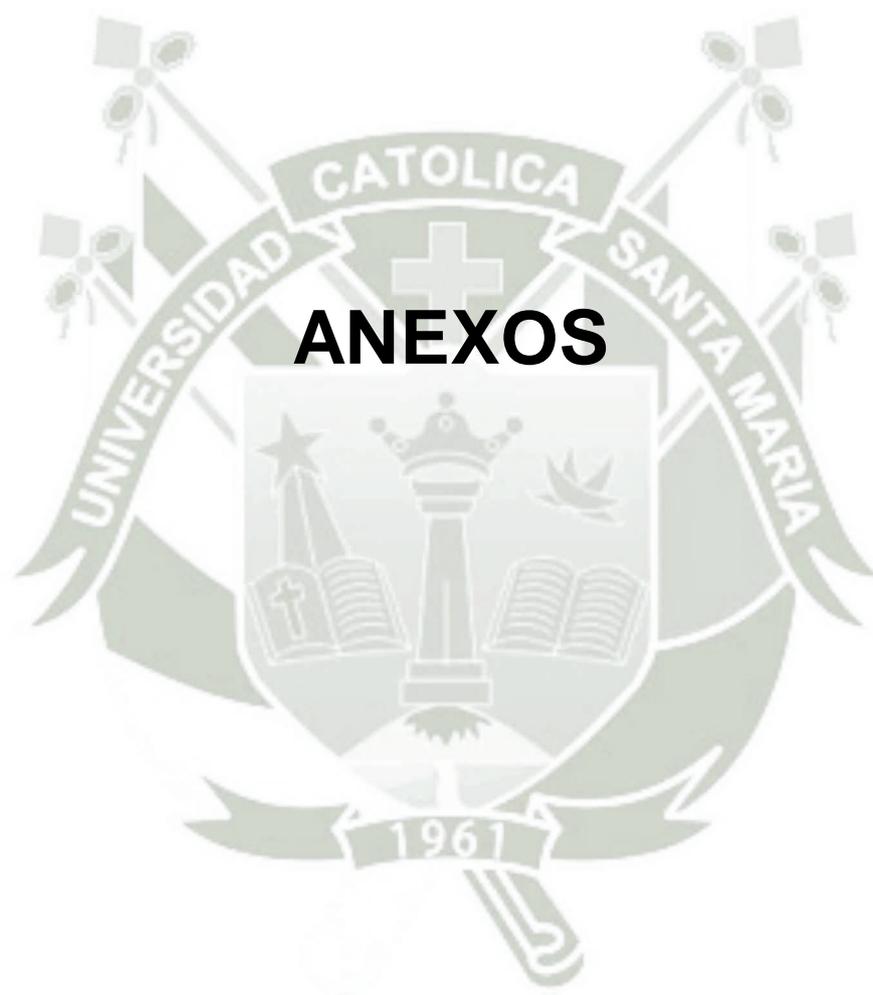
Sources, 31:163-168.

57. D.Y.C. Leung, X. Wu, M.K.H. Leung A review on biodiesel production using catalyzed Transesterification Applied Energy, 87 (2010), pp. 1083–1095
58. B.K. Barnwal, M.P. Sharma Prospects of biodiesel production from vegetable oils in India Renewable and Sustainable Energy Reviews, 9 (2005), pp. 363–378
59. J.A. Posada Design and analysis of technological schemes for glycerol conversion to added value products, Departament of Electric and Electronic Engineering Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales, Manizales, Colombia (2011)
60. A. Demirbas Importance of biodiesel as transportation fuel Energy Policy, 35 (2007), pp. 4661–4670
61. C. Martín, A. Moure, G. Martín, E. Carrillo, H. Domínguez, J.C. Parajó Fractional characterisation of Jatropha, neem, moringa, trisperma, castor and candlenut seeds as potential feedstocks for biodiesel production in Cuba Biomass and Bioenergy, 34 (2010), pp. 533–538
62. R. Janssen, D.D. Rutz Sustainability of biofuels in Latin America: Risks and opportunities Energy Policy, 39 (2011), pp. 5717–5725
63. M. Nitsch Biofuels between Euphoria and Scepticism: Brazil as a Pioneer?, X International Meeting of Economists on “Globalization and Develop-ment Problems Havana, Cuba (2008)
64. A. Murugesan, C. Umarani, T.R. Chinnusamy, M. Krishnan, R. Subramanian, N. Neduzchezhain Production and analysis of bio-diesel from non-edible oils—A review Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13 (2009), pp. 825–834
65. A. Srivastava, R. Prasad Triglycerides-based diesel fuels Renewable and Sustainable Energy Reviews, 4 (2000), pp. 111–133
66. OECD-FAO, 2011. OECD-FAO Agricultural Outlook 2011-2020. OECD Publishing and FAO, [〈http://ezproxy.concytec.gob.pe:2070/10.1787/agr_outlook-2011-en〉](http://ezproxy.concytec.gob.pe:2070/10.1787/agr_outlook-2011-en)
67. A.Z. Abdullah, B. Salamatinia, H. Mootabadi, S. Bhatia Current status and policies on biodiesel industry in Malaysia as the world's leading producer of palm oil Energy Policy, 37 (2009), pp. 5440–5448

68. Hoh, R., 2010. Malaysia Biofuels Annual Report 2010, in: Network, G.A.I. (Ed.). USDA Foreign Agricultural Service, Kuala Lumpur.
69. M.A. Yarmo, A. Alimuniar, R. Abd Ghani, A.R. Sulaiman, M. Ghani, H. Omar, A. Malek Transesterification products from the metathesis reaction of palm oil *Journal of Molecular Catalysis*, 76 (1992), pp. 373–379
70. S. Papong, T. Chom-In, S. Noksa-nga, P. Malakul
71. Life cycle energy efficiency and potentials of biodiesel production from palm oil in Thailand *Energy Policy*, 38 (2010), pp. 226–233
72. SNV, 2009. Impactos Socioeconómicos de la Producción de Biocombustibles en la Amazonía Peruana. Servicio Holandés de Cooperación y Desarrollo (SNV), Lima, Perú.
73. P. Upham, P. Thornley, J. Tomei, P. Boucher Substitutable biodiesel feedstocks for the UK: a review of sustainability issues with reference to the UK RTFO *Journal of Cleaner Production*, 17 (2009), pp. S37–S45
74. W.M.J. Achten, L. Verchot, Y.J. Franken, E. Mathijs, V.P. Singh, R. Aerts, B. Muys *Jatropha bio-diesel production and use Biomass and Bioenergy*, 32 (2008), pp. 1063–1084
75. P. Vasudevan, M. Briggs Biodiesel production—current state of the art and challenges *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 35 (2008), pp. 421–430
76. J. Janaun, N. Ellis Perspectives on biodiesel as a sustainable fuel *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (2010), pp. 1312–1320
77. M.M. Azam, A. Waris, N.M. Nahar Prospects and potential of fatty acid methyl esters of some non-traditional seed oils for use as biodiesel in India *Biomass and Bioenergy*, 29 (2005), pp. 293–302
78. A. Kumar, S. Sharma An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): A review *Industrial Crops and Products*, 28 (2008), pp. 1–10
79. A. Kumar Tiwari, A. Kumar, H. Raheman Biodiesel production from *Jatropha* oil (*Jatropha curcas*) with high free fatty acids: An optimized process *Biomass and Bioenergy*, 31 (2007), pp. 569–575
80. P.D. Patil, V.G. Gude, S. Deng biodiesel production from *Jatropha Curcas*, waste cooking, and *Camelina Sativa* oils *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 48 (2009), pp. 10850–10856

81. M. Schut, M. Slingerland, A. Locke Biofuel developments in Mozambique. Update and analysis of policy, potential and reality Energy Policy, 38 (2010), pp. 5151–5165
82. M. Schut, A. van Paassen, C. Leeuwis, S. Bos, W. Leonardo, A. Lerner Space for innovation for sustainable community-based biofuel production and use: Lessons learned for policy from Nhambita community, Mozambique Energy Policy, 39 (2011), pp. 5116–5128
83. R. Brittain, N. Lutaladi Jatropha: A Smallholder Bioenergy Crop, The Potential for Pro-Poor Development, Integrated Crop Management, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome (2010)
84. H.-M. Nazia Biofuel investment in Tanzania: Omissions in implementation Energy Policy, 38 (2010), pp. 3985–3997
85. Ministerio de Energía y Minas Situación Actual y Perspectivas de los Biocombustibles en el Perú Lima, Peru (2007)
86. Abdul Rehman Y A.R. Shakoori, 2004
87. A. Dueñas; R. Huarachi; U. Yapo; P. Apfata & R. Gonzalez, et. At 2014
88. Piyushi Nautiyal, K.A. Subramanian, M.G. Dastidar. Production and characterization of biodiesel from algae. Fuel Processing Technology 120 (2014) 79–88
89. Kützing, 1843
90. Graboski, M. S., and McCormick, R. L. 1998. Combustion of fat and vegetable oil derived fuels in diesel engines. Prog. Energy Combust. Sci. 24:125–164.
91. Hossain, A.B.M.S., Salleh, A., Boyce, A.N., Chowdhury, P., and Naqiuddin, M., Am. J. Biochem. Biotechnol., 2008, vol. 4, no. 3, pp. 250–254.
92. Demirbas. A. 2008. Biofuel sources, biofuel policy, biofuel economy and global biofuel projections. Energy Conver. and Manage., 49: 2106-2116.
93. Freedman, B., E.H. Pryde and T.L. Mounts. 1984. Variables affecting the yields of fatty esters from transesterified vegetable oils. J. Am. Oil Chem. Soc., 61: 1638-1643.
94. Bala, B.K. 2006. Studies on biodiesel from transformation of vegetable oils for diesel engines. Energy Educ. Sci. Technol., 15: 1-45.
95. Shahir 2015

96. Dermibas, A. (2005) 'Biodiesel Production from Vegetable Oils Via Catalytic and Non-catalytic Supercritical Methanol Transesterification Methods'. Progressive Energy Combustion, Vol.31, 466-487.
97. Ejim, I. F. and Kamen, F.L. .2013 Physiochemical Characterization of Algae Oil from Microalgae of Nike Lake Enugu
98. Mittelbach, M., Remschmidt, C. (2004) Biodiesel - The comprehensive handbook. 1st ed. Graz: Mittelbach, M.
99. Hernandez, C., Mieres, A., Niño, Z., Pérez, S. (2007) Efecto de la Refinación Física Sobre el Aceite de la Almendra del Corozo (*Acrocomia aculeata*). Información Tecnológica 18 (5): p. 59-68
100. Fredy A. Avellaneda 2010 "Producción y caracterización de biodiesel de palma y de aceite reciclado mediante un proceso batch y un proceso continuo con un reactor helicoidal" - pag. 179 tabla 29
101. B. A. Whitton. Biology Of *Cladophora* In Freshwaters. Water Research Pergamon Press 1970. Vol. 4, pp. 457-476. Printed in Great Britain
102. ZURAW E. A. (1969) Culture and physiological requirements of a bacterized *Cladophora glomerata* (L.) Ktitz. from Lake Michigan. J. Phycol. 5, 83-85.
103. Pereira H., Barreira L., Figueredo F., Custódio L., Vizetto-Duarte C., Polo C., Rešek E., Engelen A., Varela J., Polyunsaturated Fatty Acids of Marine Macroalgae: Potential for Nutritional and Pharmaceutical Applications, Mar. Drugs, 2012, 10, 1920-1935.
104. Khalid M.N., Shameel M., Ahmad V.U., The bioactivity and phycochemistry of two species of *Cladophora* (Siphonocladophyceae) from Sindh, Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences, 2012, 49, 113-121.
105. R. Sarin, M. Sharma, S. Sinharay and R. K. Malhtra, Fuel, vol. 86, no. 10-11, (2006), pp. 1365-1371.
106. S. Sathasivam and A. Manickam, "Biochemical Methods", revised 2nd edition, new age international Pvt Ltd., (1996), pp. 23-25. [15] H. Xu, X. Miao and Q. Wu., J. Biotechnology, vol. 125, (2006), pp. 499-507.
107. D. Aghan, Progress in energy and combustion, vol. 31, (2005), pp. 406-487



ANEXO I PANEL FOTOGRAFICO



Foto 1: macroalga en los pozos y canales de la empresa de generación eléctrica de Arequipa

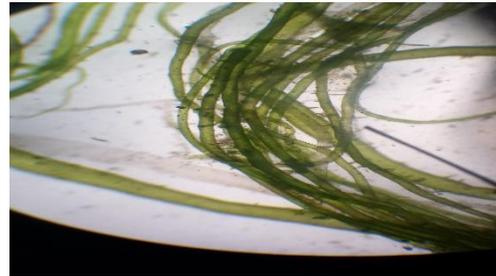


Foto 5: observación de la macroalga en microscopio, vista 10X.



Foto 2: Macroalga como desecho



Foto 6: Pesaje del alga 2Kg para cada contenedor.



Foto 3: Recolección de algas en bolsas con cierre hermético.



Foto 7: Sistema de flujo continuo para el cultivo de la macroalga.



Foto 4: Montaje de la macroalga en un portaobjetos para su observación.



Foto 8: Suplementación con medio de cultivo en el sistema de flujo.



Foto 9: Registro de los parámetros de cultivo. (pH, T^a, Solidos totales).



Foto 13: Triturado de la macroalga seca.



Foto 10: Pesaje de la macroalga húmeda.



Foto 14: Muestra pesada de la macroalga seca para su posterior extracción.



Foto 11: Secado de la macroalga.



Foto 15: Papel filtro en forma de cartucho con la macroalga.



Foto 12: Muestras de la macroalga debidamente rotuladas y pesadas.



Foto 16: Equipo de extracción Soxhlet.



Foto 17: Proceso de extracción de aceite del alga en el equipo Soxhlet.



Foto 18: Aceite extraído de la macroalga en una pera de decantación.



Foto 19: Filtrado al vacío.



Foto 20: Contenido de aceite por semana en frascos ámbar.



Foto 21: Uso de baño maría a 80°C para eliminar el exceso de los solventes.



Foto 22: Aceite obtenido de la macroalga *Cladophora glomerata*.



Foto 23: Reactor usado para el proceso de transesterificación.



Foto 24: Adición del aceite al interior del reactor.



Foto 25: Mezcla del metanol y el KOH para la formación de betóxido de K.



Foto 26: Homogenización de la mezcla con el agitador magnético.



Foto 27: Adición del betóxido de K al interior del reactor para el inicio de la transesterificación.



Foto 28: Obtención del Biodiesel impuro.



Foto 29: Sistema de Filtrado para la purificación del Biodiesel.



Foto 30: Biodiesel purificado para su caracterización y prueba en el motor.



Foto 31: Motor petrolero de 4 tiempos de la Facultad de Mecánica de la UNSA, para los ensayos del Biodiesel.



Foto 32: Preparación de la muestra al 5 y 10%.



Foto 33: Mezclas de Biodiesel al 5% y 10% con diesel fosil.



Foto 34: Registro de parámetros del motor.



ANEXO II

TABLAS, CUADROS Y CALCULOS

Tablas del comportamiento del alga *Cladophora glomerata*

DIAS	7
AREA (m2)	0,17

PRIMERA SEMANA

Unidad de cultivo	Peso fresco inicial (g)	Peso fresco final (g)	Peso Seco (g)	Relación p. seco/p. fresco	Tasa de crecimiento	Productividad (g.m ⁻² .seman ⁻¹)
1	2000	2400	145	0,3625	2,6046	852,94
2	2000	2700	119	0,17	4,2872	700
3	2000	2300	131,16	0,4372	1,9966	771,53
4	2000	2700	115,26	0,164657143	4,2872	678
5	2000	2000	0	0	0,0	0
Total	10000	12100	510,42	1,1344		3002,47

Unidad de cultivo	Peso fresco neto (g)	Peso Seco neto (g)	Productividad (g.m ⁻² .seman ⁻¹)
1	400	145	852,94
2	700	119	700
3	300	131,16	771,53
4	700	115,26	678
5	0	0	-
Total	2100	510,42	3002,47

SEGUNDA SEMANA

Unidad de cultivo	Peso fresco inicial (g)	Peso fresco inicial (g)	Peso seco (g)	Relación p. seco/p. fresco	Tasa de crecimiento	Productividad (g.m ⁻² .seman ⁻¹)
1	600	2500	108,85	0,0573	20,3874	640,29
2	600	2950	120,56	0,0513	22,7519	709,18
3	600	3300	160,64	0,0595	24,3535	944,94
4	600	2400	105,8	0,0588	19,8042	622,35
5	600	600	0	0,0	0,0000	0,00
Total	3000	11750	495,85		87,2970	2916,76

Unidad de cultivo	Peso fresco neto (g)	Peso Seco neto (g)	Productividad (g.m ⁻² .seman ⁻¹)
1	1900	108,85	640,29
2	2350	120,56	709,18
3	2700	160,64	944,94
4	1800	105,8	622,35
5	0	0	0
Total	8750	495,85	2916,76

TERCERA SEMANA

Unidad de cultivo	Peso fresco inicial (g)	Peso fresco inicial (g)	Peso seco (g)	Relación p. seco/p. fresco	tasa de crecimiento	Productividad (g.m ⁻² .seman ⁻¹)
1	600	2700	83,65	0,0398	21,4868	492,06
2	600	2850	94,78	0,0421	22,2592	557,53
3	600	3600	210,2	0,0701	25,5966	1236,47
4	600	3500	184,64	0,0637	25,1941	1086,12
5	600	2200	53,4	0,0334	18,5612	314,12
Total	3000	14850	626,67		113,0979	3686,29

Unidad de cultivo	Peso fresco neto (g)	Peso Seco neto (g)	Productividad (g.m ⁻² .seman ⁻¹)
1	2100	83,65	492,06
2	2250	94,78	557,53
3	3000	210,2	1236,47
4	2900	184,64	1086,12
5	1600	53,4	314,12
Total	11850	626,67	3686,3

CUARTA SEMANA

Unidad de cultivo	Peso fresco inicial (g)	Peso fresco inicial (g)	Peso seco (g)	Relación p. seco/p. fresco	Tasa de crecimiento	Productividad (g.m ⁻² .seman ⁻¹)
1	600	3100	107,75	0,0431	23,4604	633,8235
2	600	3500	178,77	0,0616	25,1941	1051,5882
3	600	3400	132,01	0,0471	24,7800	776,5294
4	600	3100	115,04	0,0460	23,4604	676,7059
5	600	1800	95,21	0,0793	15,6945	560,0588
Total	3000	14900	628,78		112,5894	3698,7059

Unidad de cultivo	Peso fresco neto (g)	Peso Seco neto (g)	Productividad (g.m ⁻² .seman ⁻¹)
1	2500	107,75	633,82
2	2900	178,77	1051,59
3	2800	132,01	776,53
4	2500	115,04	676,71
5	1200	95,21	560,06
Total	11900	628,78	3698,71

Total de la semana

SEMANA	PESO NETO FRESCO (g)	PESO SECO (g)	Tasa de crecimiento (%.semana-1)	PRODUCTIVIDAD (g.m-2.seman-1)
1	2100	510.62	13,1756	3002.47
2	8750	495,85	87,2970	2916,76
3	11850	626,67	113,0979	3686,29
4	11900	628,78	112,5894	3698,71
TOTAL	37600	2261,92		13304,23

CALCULOS DEL COMPORTAMIENTO DEL ALGA *Cladophora glomerata*

Primera semana

- **tasa de crecimiento**

$$1a = \frac{((\text{Ln}(\text{peso fresco final}) - \text{Ln}(\text{peso fresco inicial})) * 100)}{7}$$

$$1a = \frac{((\text{Ln}(2400) - \text{Ln}(2000)) * 100)}{7}$$

$$1a = 2,6046$$

$$1b = \frac{((\text{Ln}(2700) - \text{Ln}(2000)) * 100)}{7}$$

$$1b = 4,2872$$

$$1c = \frac{((\text{Ln}(2300) - \text{Ln}(2000)) * 100)}{7}$$

$$1c = 1,9966$$

$$1d = \frac{((\text{Ln}(2700) - \text{Ln}(2000)) * 100)}{7}$$

$$1d = 4,2872$$

$$1e = \frac{((\text{Ln}(2000) - \text{Ln}(2000)) * 100)}{7}$$

$$1e = 0$$

- **Productividad (g.m².seman⁻¹)**

$$P = \frac{\text{(Peso seco / peso inicial)}}{\text{Area}}$$

$$1a = \frac{0,3625}{0,17}$$

$$1a = 852,94$$

$$1b = \frac{0,17}{0,17}$$

$$1a = 700$$

$$1c = \frac{0,4372}{0,17}$$

$$1c = 771,53$$

$$1d = \frac{0,1647}{0,17}$$

$$1d = 678$$

$$1e = \frac{0}{0,17}$$

$$1e = 0$$

Segunda semana

- **Tasa de crecimiento**

$$2a = \frac{((\text{Ln}(2500) - \text{Ln}(600)) * 100)}{7}$$

$$1a = 20,3874$$

$$2b = \frac{((\text{Ln}(2950) - \text{Ln}(600)) * 100)}{7}$$

$$1b = 444,47$$

$$2c = \frac{((\text{Ln}(3300) - \text{Ln}(600)) * 100)}{7}$$

$$1c = 566,47$$

$$2d = \frac{((\text{Ln}(2400) - \text{Ln}(600)) * 100)}{7}$$

7

$$1d= 381,76$$

$$2e= \frac{((\text{Ln } (600) - \text{Ln } (600)) * 100}{7}$$

$$2e= 0$$

- **Productividad (g.m².seman⁻¹)**

$$2a= \frac{0,0361}{0,17}$$

$$2a= 403,29$$

$$2b= \frac{0,0322}{0,17}$$

$$2b= 444,47$$

$$2c= \frac{0,0357}{0,17}$$

$$2c= 566,47$$

$$2d= \frac{0,0361}{0,17}$$

$$2d= 381,76$$

$$2e= \frac{0}{0,17}$$

$$2e= 0$$

Tercera semana

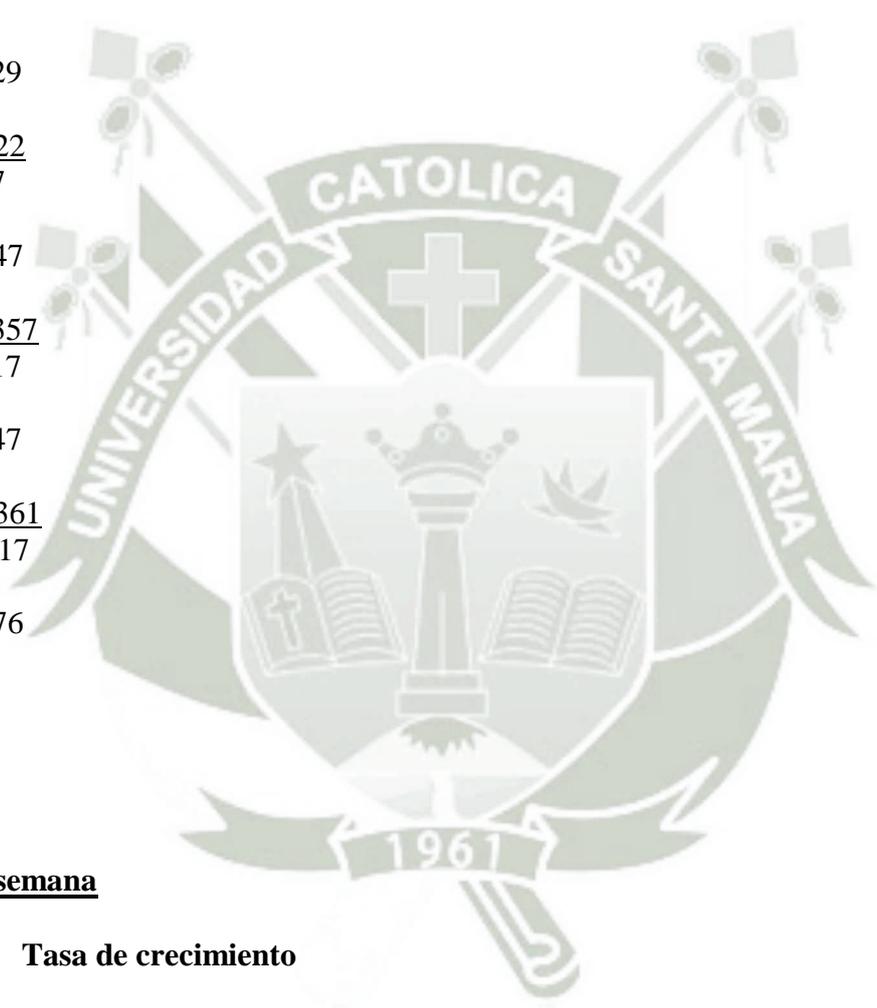
- **Tasa de crecimiento**

$$3a= \frac{((\text{Ln } (2700) - \text{Ln } (600)) * 100}{7}$$

$$3a= 21,4868$$

$$3b= \frac{((\text{Ln } (2850) - \text{Ln } (600)) * 100}{7}$$

$$3b= 22,2592$$



$$3c = \frac{((\ln(3600) - \ln(600)) * 100)}{7}$$

$$3c = 25,5966$$

$$3d = \frac{((\ln(3500) - \ln(600)) * 100)}{7}$$

$$3d = 25,1941$$

$$3e = \frac{((\ln(2200) - \ln(600)) * 100)}{7}$$

$$3e = 18,5612$$

- **Productividad (g.m².seman⁻¹)**

$$3a = \frac{0,0244}{0,17}$$

$$3a = 301,53$$

$$3b = \frac{0,0298}{0,17}$$

$$3b = 394,94$$

$$3c = \frac{0,0184}{0,17}$$

$$3c = 323,88$$

$$3d = \frac{0,0201}{0,17}$$

$$3d = 343,00$$

$$3e = \frac{0,0351}{0,17}$$

$$3e = 330,71$$

Cuarta semana

- **Tasa de crecimiento**

$$4a = \frac{((\ln(3100) - \ln(600)) * 100)}{7}$$

$$4a= 23,4604$$

$$4b= \frac{((\text{Ln} (3500) - \text{Ln} (600)) * 100)}{7}$$

$$4b= 25,1941$$

$$4c= \frac{((\text{Ln} (3400) - \text{Ln}(600)) * 100)}{7}$$

$$4c= 24,7800$$

$$4d= \frac{((\text{Ln} (3100) - \text{Ln}(600)) * 100)}{7}$$

$$4d= 23,4604$$

$$4e= \frac{((\text{Ln} (1800) - \text{Ln}(1800)) * 100)}{7}$$

$$4e= 15,6945$$

- **Productividad (g.m².seman⁻¹)**

$$4a= \frac{0,0431}{0,17}$$

$$4a= 633,8235$$

$$4b= \frac{0,0539}{0,17}$$

$$4b= 919,2941$$

$$4c= \frac{0,0471}{0,17}$$

$$4c= 776,5294$$

$$4d= \frac{0,0460}{0,17}$$

$$4d= 676,5079$$

$$4e= \frac{0,0793}{0,17}$$

$$4e= 560,0588$$

TABLAS

Registro de temperatura por semana del crecimiento de la macroalga.

	Estadísticos descriptivos								
	N	Rango	Mínimo	Máximo	Suma	Media		Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Estadístico
Dia1	5	1,30	21,70	23,00	112,70	22,5400	,28566	,63875	,408
Dia2	5	2,60	23,00	25,60	123,20	24,6400	,50359	1,12606	1,268
Dia3	5	,70	25,00	25,70	126,50	25,3000	,11402	,25495	,065
Dia4	5	2,20	25,20	27,40	130,10	26,0200	,38910	,87006	,757
	5	,80	25,00	25,80	126,80	25,3600	,13266	,29665	,088
Dia6	5	1,20	25,80	27,00	130,30	26,0600	,23580	,52726	,278
N válido (según lista)	5								

Registro de pH por cada semana del crecimiento de la macroalga.



Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media		Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Estadístico
Dia1pH	5	8,40	8,50	8,4800	,02000	,04472	,002
Dia2pH	5	8,40	8,40	8,4000	,00000	,00000	,000
Dia3pH	5	8,40	8,50	8,4400	,02449	,05477	,003
Dia4pH	5	8,90	9,30	9,0800	,07348	,16432	,027
Dia5pH	5	8,80	8,80	8,8000	,00000	,00000	,000
Dia6pH	5	8,70	8,90	8,7800	,03742	,08367	,007
N válido (según lista)	5						

	N	Mínimo	Máximo	Media		Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Estadístico
Dia1ST	5	1360,00	1380,00	1370,0000	3,16228	7,07107	50,000
Dia2ST	5	1650,00	1700,00	1670,0000	9,48683	21,21320	450,000
Dia3ST	5	1780,00	1930,00	1878,0000	25,57342	57,18391	3270,000
Dia4ST	5	1710,00	2060,00	1874,0000	57,06137	127,59310	16280,000
Dia5ST	5	1440,00	1530,00	1500,0000	18,97367	42,42641	1800,000
Dia6ST	5	1550,00	1660,00	1594,0000	19,13113	42,77850	1830,000
N válido (según lista)	5						

Registro de solidos totales por semana de la macroalga en crecimiento

Estadísticos descriptivos

	N	Mínimo	Máximo	Media		Desv. típ.	Varianza
	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Estadístico	Error típico	Estadístico	Estadístico
S1p	1	3002,47	3002,47	3002,4700	.	.	.
S2p	1	1795,05	1795,05	1795,0500	.	.	.
S3p	1	1694,06	1694,06	1694,0600	.	.	.
S4p	1	3566,41	3566,41	3566,4100	.	.	.
N válido (según lista)	1						

Estadísticos descriptivos

Tablas Biodiesel

Diésel fósil

tiempo (hr)	volumen (m3)	torque (nm)	RPM	Potencia efectiva (Ne) KW	Consumo de Combustible (Gc) Kg/hr	Masa de aire fresca (Ga) Kg/hr	Coefficiente de exceso de aire (a)	Consumo o gasto específico (Ge) kg/KW-hr	Eficiencia efectiva (ne)	Eficiencia volumetrica o coeficiente de llenado (%)	Eficiencia mecanica (nm)	potencia de perdidas mecanicas (Nm)	presion media de las perdidas mecanicas (Mpa)	Potencia indicada (Kw)	Eficiencia indicada (ni)
0,009777778	0,00001	2,83	600	0,177801	3,166363636	0,0009153	2,00752E-05	17,808465	0,004756	2,9904E-06	0,003222	17,277487	181,789474	17,4553	0,00476
0,008944444	0,00001	5,36	900	0,5051309	3,46136646	0,0010006	2,00752E-05	6,8524149	0,012361	2,1794E-06	0,009101	25,91623	181,789474	26,4214	0,01236
0,007305556	0,00002	10,17	1200	1,2779058	8,475741445	0,0024502	2,00752E-05	6,6325246	0,012771	4,0024E-06	0,022707	34,554974	181,789474	35,8329	0,01277
0,006425	0,00002	15,35	1500	2,4109948	9,637354086	0,002786	2,00752E-05	3,9972522	0,021191	3,6407E-06	0,041995	43,193717	181,789474	45,6047	0,02119
0,005916667	0,00002	20,14	1800	3,7960209	10,46535211	0,0030254	2,00752E-05	2,7569269	0,030725	3,2946E-06	0,064563	51,832461	181,789474	55,6285	0,03072
0,005222222	0,00002	24,98	2100	5,4929843	11,85702128	0,0034277	2,00752E-05	2,1585755	0,039242	3,1995E-06	0,090804	60,471204	181,789474	65,9642	0,03924
0,004722222	0,00002	30,39	2200	7,0008377	13,11247059	0,0037906	2,00752E-05	1,8729859	0,045225	3,3774E-06	0,112915	63,350785	181,789474	70,3516	0,04523
0,00425	0,00002	35,64	2220	8,2849005	14,56941176	0,0042118	2,00752E-05	1,75855	0,048168	3,7189E-06	0,130914	63,926702	181,789474	72,2116	0,04817
0,003388889	0,00002	39,98	2250	9,4193717	18,27147541	0,005282	2,00752E-05	1,9397764	0,043668	4,6017E-06	0,14622	64,790576	181,789474	74,2099	0,04367
Densidad del aire (kg/m3)	0,895	Densidad del combustible (Kg/m3)	860												
Relacion estequiometrica (Lo)	14,4	i (numero de cilindros)	4												
Poder calorifico	42500	cilindrada (m3)	0,00475												

tiempo (hr)	volumen (m3)	torque (nm)	RPM	Potencia efectiva (Ne) KW	Consumo de Combustible (Gc) Kg/hr	Masa de aire fresca (Ga) Kg/hr	Coefficiente de exceso de aire (a)	Consumo o gasto especifico (Ge) kg/KW-hr	Eficiencia efectiva (ne)	Eficiencia volumetrica o coeficiente	Eficiencia mecanica (nm)	potencia de perdidas mecanicas (Nm)	presion media de las perdidas mecanicas (Mpa)	Potencia indicada (Kw)	Eficiencia indicada (ni)
0,0097778	0,00001	2,09	600	0,1313089	3,055909	0,000915	2,08E-05	23,272673	0,004	3E-06	0,00238	17,2774869	181,789474	17,409	0,004
0,0089444	0,00001	5,18	900	0,4881675	3,340621	0,001001	2,08E-05	6,8431857	0,0136	2E-06	0,0088	25,9162304	181,789474	26,404	0,0136
0,0073056	0,00002	10,97	1200	1,3784293	8,180076	0,00245	2,08E-05	5,9343457	0,0157	4E-06	0,02445	34,5549738	181,789474	35,933	0,0157
0,006425	0,00002	15,84	1500	2,4879581	9,301167	0,002786	2,08E-05	3,7384742	0,0249	4E-06	0,04328	43,1937173	181,789474	45,682	0,0249
0,0059167	0,00002	20,27	1800	3,8205236	10,10028	0,003025	2,08E-05	2,6436905	0,0352	3E-06	0,06495	51,8324607	181,789474	55,653	0,0352
0,0052222	0,00002	25,15	2100	5,5303665	11,4434	0,003428	2,08E-05	2,0691946	0,045	3E-06	0,09137	60,4712042	181,789474	66,002	0,045
0,0047222	0,00002	30,33	2200	6,9870157	12,65506	0,003791	2,08E-05	1,8112252	0,0514	3E-06	0,11272	63,3507853	181,789474	70,338	0,0514
0,00425	0,00002	35,6	2220	8,2756021	14,06118	0,004212	2,08E-05	1,6991122	0,0547	4E-06	0,13079	63,9267016	181,789474	72,202	0,0547
0,0033889	0,00002	39,94	2250	9,4099476	17,6341	0,005282	2,08E-05	1,8739847	0,0496	5E-06	0,14609	64,7905759	181,789474	74,201	0,0496
0,0025278	0,00001	41,64	2250	9,8104712	11,82066	0,003541	2,08E-05	1,2049023	0,0772	3E-06	0,15137	64,7905759	181,789474	74,601	0,0772
Densidad del aire (kg/m3)	0,895	Densidad del combustible (Kg/m3)	830												
Relacion estequiometrica (Lo)	14,4	i (numero de cilindros)	4												
Poder calorifico	38705	cilindrada (m3)	0,00475												

Biodiesel al 5%

Biodiesel al 10%

tiempo (hr)	volumen (m3)	torque (nm)	RPM	Potencia efectiva (Ne) KW	Consumo de Combustible (Gc) Kg/hr	Masa de aire fresca (Ga) Kg/hr	Coefficiente de exceso de aire (a)	Consumo o gasto específico (Ge) kg/KW-hr	Eficiencia efectiva (ne)	Eficiencia volumetrica o coeficien	Eficiencia mecanica (nm)	potencia de perdidas mecanicas (Nm)	presion media de las perdidas mecanicas (Mpa)	Potencia indicada (Kw)	Eficiencia indicada (ni)
0,0097778	0,00001	2,21	600	0,138848168	3,055909091	0,000915341	2,08E-05	22,00899835	0,00423	3E-06	0,00252	17,27748691	181,7894737	17,4163	0,00423
0,0089444	0,00001	5,2	900	0,490052356	3,340621118	0,001000621	2,08E-05	6,816865743	0,01364	2,2E-06	0,00883	25,91623037	181,7894737	26,4063	0,01364
0,0073056	0,00002	19,22	1200	2,415078534	8,180076046	0,00245019	2,08E-05	3,387084904	0,02746	4E-06	0,04206	34,55497382	181,7894737	36,9701	0,02746
0,006425	0,00002	15,3	1500	2,403141361	9,301167315	0,002785992	2,08E-05	3,870420386	0,02403	3,6E-06	0,04186	43,19371728	181,7894737	45,5969	0,02403
0,0059167	0,00002	20,55	1800	3,873298429	10,10028169	0,003025352	2,08E-05	2,607669374	0,03567	3,3E-06	0,06579	51,83246073	181,7894737	55,7058	0,03567
0,0052222	0,00002	25,36	2100	5,576544503	11,44340426	0,00342766	2,08E-05	2,052060062	0,04533	3,2E-06	0,09206	60,47120419	181,7894737	66,0477	0,04533
0,0047222	0,00002	30,31	2200	6,982408377	12,65505882	0,003790588	2,08E-05	1,81242032	0,05132	3,4E-06	0,11265	63,35078534	181,7894737	70,3332	0,05132
0,00425	0,00002	35,15	2220	8,170994764	14,06117647	0,004211765	2,08E-05	1,720864702	0,05405	3,7E-06	0,12935	63,92670157	181,7894737	72,0977	0,05405
0,0033889	0,00002	40,08	2250	9,442931937	17,63409836	0,005281967	2,08E-05	1,867438893	0,04981	4,6E-06	0,14653	64,79057592	181,7894737	74,2335	0,04981
0,0025278	0,00001	41,79	2250	9,845811518	11,82065934	0,003540659	2,08E-05	1,200577456	0,07747	3,1E-06	0,15183	64,79057592	181,7894737	74,6364	0,07747
0,0026944	0,00001	42,15	2250	9,930628272	11,08948454	0,003321649	2,08E-05	1,116695161	0,08329	2,9E-06	0,15294	64,79057592	181,7894737	74,7212	0,08329
Densidad del aire (kg/m3)	0,895	Densidad del combustible (Kg/m3)	830												
Relacion estequiometrica Lo	14,4	i (numero de cilindros)	4												
Poder calorifico	38705	cilindrada (m3)	0,00475												

Cálculos del comportamiento del Biodiesel

Formulas a utilizar

Potencia Efectiva (N_e)(kW)	Dónde:
$N_e = \frac{M_e \times n}{9,55}$	M_e = Torque efectivo (N.m) n = número de revoluciones (RPM)
Consumo de combustible (G_c) (kg/hr)	Dónde:
$G_c = 3.6 \rho_c \times \frac{\Delta V}{\Delta t}$	ΔV = Volumen del combustible en cada ciclo ρ_c = Densidad del combustible = 0,86 g/cm ³ Δt = Tiempo de cada ciclo
Masa de aire fresca (G_a) (kg/hr)	Dónde:
$G_a = G_a = Va\rho_a$	ρ_a = densidad del aire = 0,895 kg/m ³ Va = caudal de aire (m ³ /hr)
Coefficiente de exceso de aire (α)	Dónde:
$\alpha = \frac{G_a}{G_c \times L_o}$	L_o = Relación estequiométrica = 14,40 kg-aire/kg- comb G_c : Gasto de combustible (kg/hr). G_a : Masa de aire fresca (kg/hr).
Consumo o gasto específico efectivo (g_e) (gr/KW-hr)	Dónde:
$g_e = \frac{G_c}{N_e}$	G_c : Gasto de combustible (kg/hr). N_e : Potencia efectiva (kW).
Eficiencia efectiva (η_e)	Dónde:
$\eta_e = \frac{3600}{g_e \times H_u}$	H_u = Poder calorífico = 42500 KJ/kg g_e : gasto específico efectivo de combustible (gr/KW-hr).
Eficiencia Volumétrica o coeficiente de llenado (η_v)	Dónde:
	V_h = Cilindrada unitaria = $\frac{\pi}{4} \times d^2 \times s$ ρ_k = Densidad del aire 0,895 kg/m ³

$\eta_v = \frac{G_a}{\frac{60}{\tau} \times V_h \times \rho_k \times i \times n}$	<p>i = Numero de cilindros (4) n = RPM $\tau = 2$ (motor de 4 tiempos)</p>
<p>Eficiencia mecánica (η_m)</p>	<p>Dónde:</p>
$\eta_m = \frac{N_e}{N_e + N_m}$	<p>N_e: Potencia efectiva (kW). N_m: Potencia mecánica (kW).</p>
<p>Potencia de pérdidas mecánicas (N_m)</p>	<p>Dónde:</p>
$N_m = \frac{M \times n}{9550}$	<p>M: momento de pérdidas mecánicas (kW). n: número de revoluciones (RPM).</p>
<p>Presión media de las pérdidas mecánicas (MPa)</p>	<p>Dónde:</p>
$P_m = \frac{0,00314 \times \tau \times M}{i \times V_h}$	<p>τ : Número de tiempos (motor de 4 tiempos). M: momento de perdidas mecánicas (N-m). i: Numero de cilindros (4). V_h: Cilindrada unitaria = $\frac{\pi}{4} \times d^2 \times s$</p>
<p>Potencia indicada (kW)</p>	<p>Dónde:</p>
$N_i = N_e + N_m$	<p>N_i: Potencia indicada (kW). N_m: Potencia de pérdidas mecánicas (kW). N_e: Potencia Efectiva (kW).</p>
<p>Eficiencia indicada (η_i)</p>	<p>Dónde:</p>
$\eta_i = \frac{3600}{H_u \times g_i}$	<p>H_u: Poder calorífico = 42500 KJ/kg. g_i: gasto indicado de combustible (gr/KW-hr).</p>

Mezcla de Biodiesel al 5%

- **Potencia efectiva**

$$= \frac{((\text{RPM} * \text{Torque (nm)})) / 9,55}{1000}$$

$$1a = \frac{(600 * 2,09) / 9,55}{1000}$$

$$1a = 0,1313 \text{ KW}$$

$$1b = \frac{(900 * 5,18) / 9,55}{1000}$$

$$1b = 0,4882 \text{ KW}$$

$$1c = \frac{(1200 * 10,97) / 9,55}{1000}$$

$$1c = 1,3784 \text{ KW}$$

$$1d = \frac{(1500 * 15,84) / 9,55}{1000}$$

$$1d = 2,4880 \text{ KW}$$

$$1e = \frac{(1800 * 20,27) / 9,55}{1000}$$

$$1e = 3,8205 \text{ KW}$$

$$1f = \frac{(2100 * 25,15) / 9,55}{1000}$$

$$1f = 5,5304 \text{ KW}$$

$$1g = \frac{(2200 * 30,33) / 9,55}{1000}$$

$$1g = 6,9870 \text{ KW}$$

$$1h = \frac{(2220 * 35,6) / 9,55}{1000}$$

$$1h = 8,2756 \text{ KW}$$

$$1i = \frac{(2250 * 39,94) / 9,55}{1000}$$

$$1i= 9,4099 \text{ KW}$$

$$1j= \frac{(2250*41,64)/9,55}{1000}$$

$$1j= 9,8105 \text{ KW}$$

- **Consumo de combustible**

$$= 3,6*\text{densidad del combustible}*\frac{\text{volumen}}{\text{Tiempo}}$$

$$2a= 3,6*830*\frac{0,00001}{0,0098}$$

$$2a= 3,0559 \text{ kg/hr}$$

$$2b= 3,6*830*\frac{0,00001}{0,0089}$$

$$2b= 3,3406 \text{ kg/hr}$$

$$2c= 3,6*830*\frac{0,00002}{0,0073}$$

$$2c= 8,1801 \text{ kg/hr}$$

$$2d= 3,6*830*\frac{0,00002}{0,0064}$$

$$2d= 9,3012 \text{ kg/hr}$$

$$2e= 3,6*830*\frac{0,00002}{0,0059}$$

$$2e= 10,1002 \text{ kg/hr}$$

$$2f= 3,6*830*\frac{0,00002}{0,0052}$$

$$2f= 11,4434 \text{ kg/hr}$$

$$2g= 3,6*830*\frac{0,00002}{0,0047}$$

$$2g= 12,6551 \text{ kg/hr}$$

$$2h= 3,6*830*\frac{0,00002}{0,0043}$$

$$2h = 14,0612 \text{ kg/hr}$$

$$2i = \frac{3,6 * 830 * 0,00002}{0,0034}$$

$$2i = 17,6341 \text{ kg/hr}$$

$$2j = \frac{3,6 * 830 * 0,00001}{0,0025}$$

$$2j = 11,8601 \text{ kg/hr}$$

- **Masa de aire fresca**

$$= \frac{\text{volumen} * \text{densidad del aire}}{\text{Tiempo}}$$

$$3a = \frac{0,00001 * 0,895}{0,0098}$$

$$3a = 0,0009 \text{ kg/hr}$$

$$3b = \frac{0,00001 * 0,895}{0,0089}$$

$$3b = 0,0010 \text{ kg/hr}$$

$$3c = \frac{0,00002 * 0,895}{0,0073}$$

$$3c = 0,0025 \text{ kg/hr}$$

$$3d = \frac{0,00002 * 0,895}{0,0064}$$

$$3d = 0,0028 \text{ kg/hr}$$

$$3e = \frac{0,00002 * 0,895}{0,0059}$$

$$3e = 0,0030 \text{ kg/hr}$$

$$3f = \frac{0,00002 * 0,895}{0,0052}$$

$$3f = 0,0034 \text{ kg/hr}$$

$$3g = \frac{0,00002 * 0,895}{0,0047}$$

$$3g = 0,0038 \text{ kg/hr}$$

$$3h = \frac{0,00002 * 0,805}{0,0043}$$

$$3h = 0,0042 \text{ kg/hr}$$

$$3i = \frac{0,00002 * 0,895}{0,0034}$$

$$3i = 0,0053 \text{ kg/hr}$$

$$3j = \frac{0,00001 * 0,895}{0,0025}$$

$$3j = 0,0035 \text{ kg/hr}$$

- **Coefficiente de exceso de aire**

$$= \frac{\text{masa de aire fresca}}{\text{Consumo de combustible} * \text{relación estequiometrica}}$$

$$4a = \frac{0,00091}{3,06 * 14,4}$$

$$4a = 2,0801 * 10^{-05}$$

$$4b = \frac{0,0010}{3,34 * 14,4}$$

$$4b = 2,0801 * 10^{-05}$$

$$4c = \frac{0,0025}{8,18 * 14,4}$$

$$4c = 2,0801 * 10^{-05}$$

$$4d = \frac{0,0028}{9,30 * 14,4}$$

$$4d = 2,0801 * 10^{-05}$$

$$4e = \frac{0,0030}{10,10 * 14,4}$$

$$4e = 2,0801 * 10^{-05}$$

$$4f = \frac{0,0034}{11,44 * 14,4}$$

$$4f = 2,0801 * 10^{-05}$$

$$4g = \frac{0,0038}{12,65 * 14,4}$$

$$4g = 2,0801 * 10^{-05}$$

$$4h = \frac{0,0042}{14,06 * 14,4}$$

$$4h = 2,0801 * 10^{-05}$$

$$4i = \frac{0,0053}{17,63 * 14,4}$$

$$4i = 2,0801 * 10^{-05}$$

$$4j = \frac{0,0035}{11,82 * 14,4}$$

$$4j = 2,0801 * 10^{-05}$$

- **Gasto específico**

= consumo de combustible
Potencia efectiva

$$5a = \frac{3,06}{0,1313}$$

$$5a = 23,2727 \text{ kg/kW.hr}$$

$$5b = \frac{3,34}{0,4882}$$

$$5b = 6,84 \text{ kg/kW.hr}$$

$$5c = \frac{8,18}{1,3784}$$

$$5c = 5,93 \text{ kg/kW.hr}$$

$$5d = \frac{9,3012}{2,4880}$$

$$5d = 3,74 \text{ kg/kW.hr}$$

$$5e = \frac{10,10}{3,8205}$$

$$5e = 2,64 \text{ kg/kW.hr}$$

$$5f = \frac{11,44}{5,5304}$$

$$5f = 2,07 \text{ kg/kW.hr}$$

$$5g = \frac{12,66}{6,9870}$$

$$5g = 1,81 \text{ kg/kW.hr}$$

$$5h = \frac{14,06}{8,2756}$$

$$5h = 1,70 \text{ kg/kW.hr}$$

$$5i = \frac{17,63}{9,41}$$

$$5i = 1,87 \text{ kg/kW.hr}$$

$$5j = \frac{11,82}{9,8105}$$

$$5j = 1,20 \text{ kg/kW.hr}$$

- **Eficiencia efectiva**

$$= \frac{3600}{\text{Gasto específico} * \text{poder calorífico}}$$

$$6a = \frac{3600}{23,27 * 38705}$$

$$6a = 0,0040$$

$$6b = \frac{3600}{6,84 * 38705}$$

$$6b = 0,0136$$

$$6c = \frac{3600}{5,93 * 38705}$$

$$6c = 0,0157$$

$$6d = \frac{3600}{3,74 * 38705}$$

$$6d = 0,0249$$

$$6e = \frac{3600}{2,64 * 38705}$$

$$6e = 0,0352$$

$$6f = \frac{3600}{2,1 * 38705}$$

$$6f = 0,045$$

$$6g = \frac{3600}{1,81 * 38705}$$

$$6g = 0,0514$$

$$6h = \frac{3600}{1,70 * 38705}$$

$$6h = 0,0547$$

$$6i = \frac{3600}{1,87 * 38705}$$

$$6i = 0,0496$$

$$6f = \frac{3600}{1,20 * 38705}$$

$$6f = 0,0771$$

- **Eficiencia volumétrica**

$$= \frac{\text{masa de aire fresca}}{(60/2) * \text{cilindrada} * \text{densidad del aire} * \text{número de cilindros} * \text{RPM}}$$

$$7a = \frac{0,0009}{30 * 0,00475 * 0,895 * 4 * 600}$$

$$1a = 2,9904 * 10^{-06}$$

$$7b = \frac{0,0010}{30 * 0,00475 * 0,895 * 4 * 900}$$

$$7b = 2,1794 \cdot 10^{-06}$$

$$7c = \frac{0,0025}{30 \cdot 0,00475 \cdot 0,895 \cdot 4 \cdot 1200}$$

$$7c = 4,0024 \cdot 10^{-06}$$

$$7d = \frac{0,0028}{30 \cdot 0,00475 \cdot 0,895 \cdot 4 \cdot 1500}$$

$$7d = 3,6407 \cdot 10^{-06}$$

$$7e = \frac{0,0030}{30 \cdot 0,00475 \cdot 0,895 \cdot 4 \cdot 1800}$$

$$7e = 3,2946 \cdot 10^{-06}$$

$$7f = \frac{0,0034}{30 \cdot 0,00475 \cdot 0,895 \cdot 4 \cdot 2100}$$

$$7f = 3,1995 \cdot 10^{-06}$$

$$7g = \frac{0,0038}{30 \cdot 0,00475 \cdot 0,895 \cdot 4 \cdot 2200}$$

$$7g = 3,3774 \cdot 10^{-06}$$

$$7h = \frac{0,0042}{30 \cdot 0,00475 \cdot 0,895 \cdot 4 \cdot 2220}$$

$$7h = 3,7189 \cdot 10^{-06}$$

$$7i = \frac{0,0053}{30 \cdot 0,00475 \cdot 0,895 \cdot 4 \cdot 2250}$$

$$7i = 4,6017 \cdot 10^{-06}$$

$$7j = \frac{0,0035}{30 \cdot 0,00475 \cdot 0,895 \cdot 4 \cdot 2250}$$

$$7j = 3,08 \cdot 10^{-06}$$

- **Eficiencia mecánica**

$$= \frac{\text{potencia efectiva}}{\text{Potencia efectiva} + 55}$$

$$8a = \frac{0,13}{0,13 + 55}$$

$$8a = 0,0024$$

$$8b = \frac{0,49}{0,49 + 55}$$

$$8b = 0,0088$$

$$8c = \frac{1,38}{1,38 + 55}$$

$$8c = 0,0245$$

$$8d = \frac{2,49}{2,49 + 55}$$

$$8d = 0,0433$$

$$8e = \frac{3,82}{3,82 + 55}$$

$$8e = 0,065$$

$$8f = \frac{5,53}{5,53 + 55}$$

$$8f = 0,0914$$

$$8g = \frac{6,99}{6,99 + 55}$$

$$8g = 0,1127$$

$$8h = \frac{8,28}{8,28 + 55}$$

$$8h = 0,1309$$

$$8i = \frac{9,41}{9,41 + 55}$$

$$8i = 0,1461$$

$$8j = \frac{9,81}{9,81 + 55}$$

$$8j = 0,1514$$

- **Potencia de pérdidas mecánicas**

$$9a = \frac{(275 \cdot 600)}{9550}$$

$$9a = 17,2775$$

$$9b = \frac{(275 \cdot 900)}{9550}$$

$$9b = 25,9162$$

$$9c = \frac{(2,75 \cdot 1200)}{9550}$$

$$9c = 34,5550$$

$$9d = \frac{(275 \cdot 1500)}{9550}$$

$$9d = 43,1937$$

$$9e = \frac{(275 \cdot 1800)}{9550}$$

$$9e = 51,8325$$

$$9f = \frac{(275 \cdot 2100)}{9550}$$

$$9f = 60,4712$$

$$9g = \frac{(275 \cdot 2200)}{9550}$$

$$9g = 63,3508$$

$$9h = \frac{(275 \cdot 2220)}{9550}$$

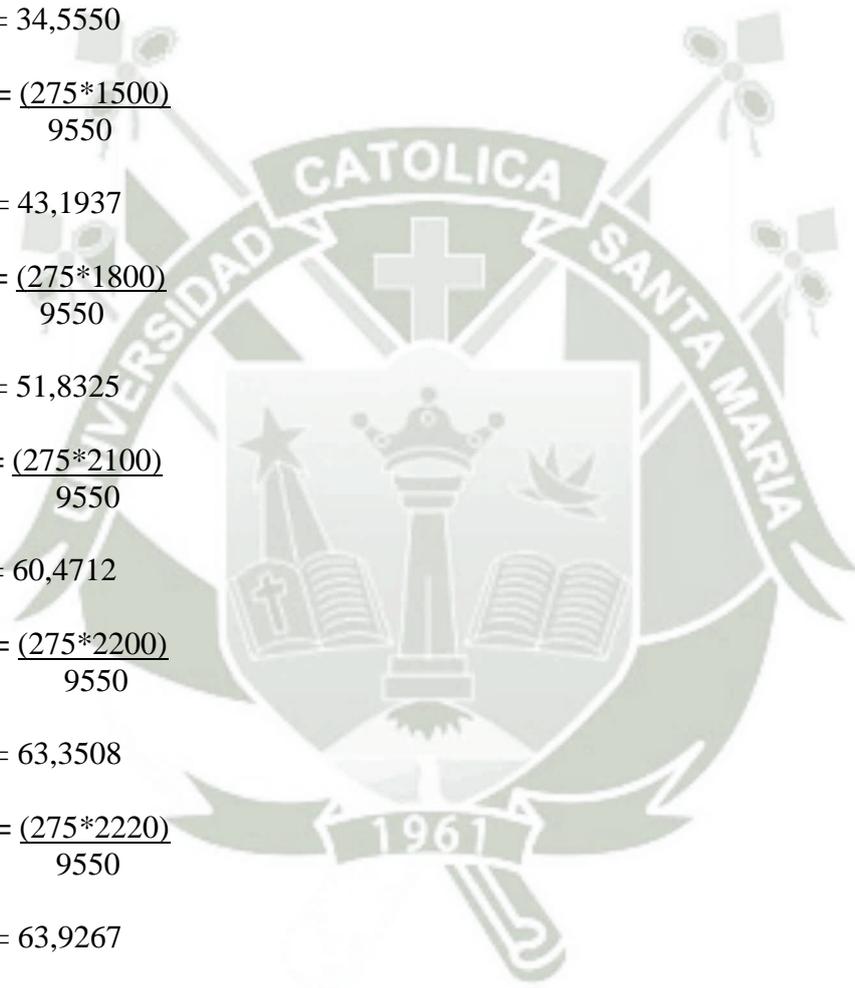
$$9h = 63,9267$$

$$9i = \frac{(275 \cdot 2250)}{9550}$$

$$9i = 64,7906$$

$$9j = \frac{(275 \cdot 2250)}{9550}$$

$$9j = 64,7906$$



- **Potencia indicada**

$$10a = 0,1313 + 17,2774$$

$$10a = 17,4088$$

$$10b = 0,4882 + 25,9162$$

$$10b = 26,4044$$

$$10c = 1,3784 + 34,5550$$

$$10c = 35,9334$$

$$10d = 2,4880 + 43,1937$$

$$10d = 45,6817$$

$$10e = 3,8205 + 51,8325$$

$$10e = 55,663$$

$$10f = 5,5304 + 60,4712$$

$$10f = 66,0016$$

$$10g = 6,9870 + 63,3508$$

$$10g = 70,3378$$

$$10h = 8,2756 + 63,9267$$

$$10h = 72,2023$$

$$10i = 9,41 + 64,7906$$

$$10i = 74,2005$$

$$10j = 9,8105 + 647906$$

$$10j = 74,601$$

- **Eficiencia indicada**

$$11a = \frac{3600}{38705 * 23,27}$$

$$11a = 0,0040$$

$$11b = \frac{3600}{38705 * 6,84}$$

$$11b = 0,0136$$

$$11c = \frac{3600}{38705 * 5,93}$$

$$11c = 0,0157$$

$$11d = \frac{3600}{38705 * 3,74}$$

$$11d = 0,0249$$

$$11e = \frac{3600}{38705 * 2,64}$$

$$11e = 0,0352$$

$$11f = \frac{3600}{38705 * 2,07}$$

$$11f = 0,045$$

$$11g = \frac{3600}{38705 * 1,81}$$

$$11g = 0,0513$$

$$11h = \frac{3600}{38705 * 1,70}$$

$$11h = 0,0547$$

$$11i = \frac{3600}{38705 * 1,87}$$

$$11i = 0,050$$

$$11j = \frac{3600}{38705 * 1,20}$$

$$11j = 0,0772$$

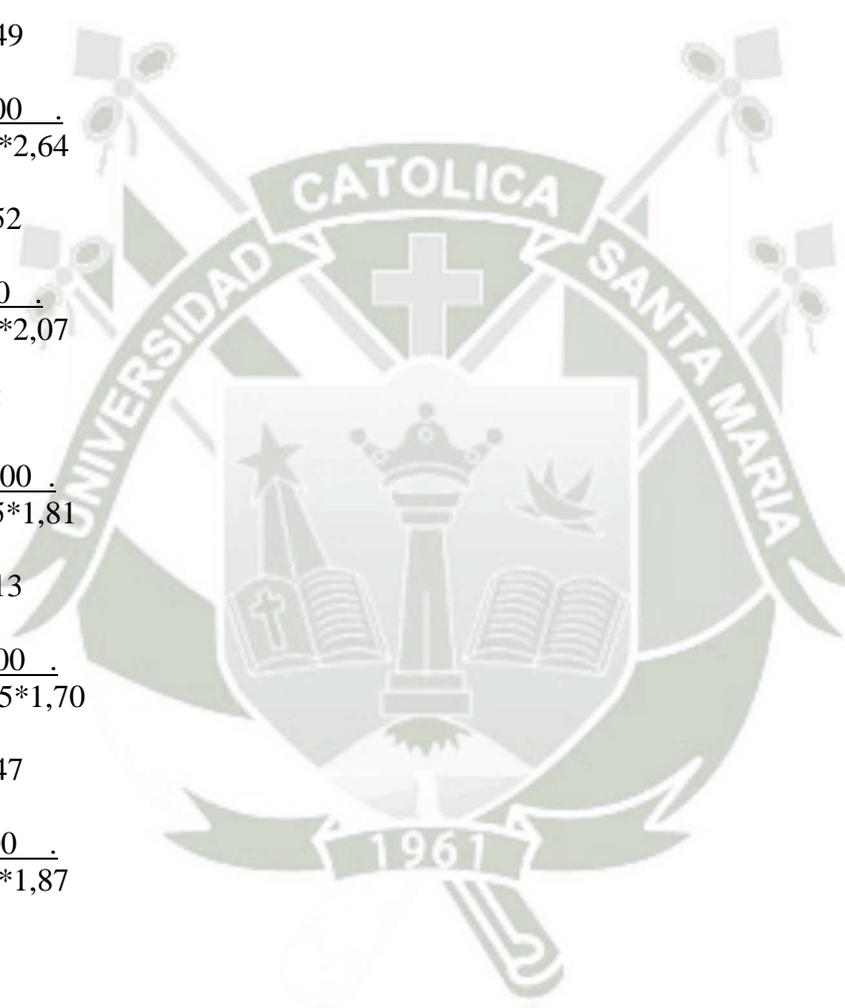


Tabla 12. Norma técnica americana para el biodiesel - ASTM d 4806-0

Propiedades del combustible	Unidades	Diesel	Biodiesel
Norma		ASTMD97S	ASTM 06751
Composición		C10-C21 HC	C12-C22 FAME
Viscosidad cinemática	cSt@40°C	1,3-4,1	1,9-6,0
Agua y Sedimentos	% vol		0,05 max
Residuo de carbón	% peso	0,35 max	0,05 max
Azufre	% peso	0,050 max	0,05 max
Cenizas sulfatadas	% masa	0,010 max	0,020
Corrosión en lamina de cobre			N° 3 max
Punto de inflamación	°C	52 min	130 min
Numero de cetano		40 min	47 min
Temperatura de destilación 90°C rec.	°C	282-338	360 max
Gravedad especifica	Kg/l @ 60°F	0,85	0,88
Numero de acidez	Mg KOH/g		0,80 max
Glicerina libre	% masa		0,020
Glicerina total	% masa		0,240
Contenido de fosforo	% masa		0,001 max

Fuente: Sevilla, Susana (2007)

ANEXO III
ANÁLISIS DE LABORATORIO Y CERTIFICADOS



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
AREQUIPA - PERU



ESCUELA PROFESIONAL Y
ACADÉMICA DE BIOLOGÍA
TELF.: 284372
DEPARTAMENTO
ACADÉMICO DE BIOLOGÍA



ESCUELA PROFESIONAL Y
ACADÉMICA CS. DE
LA NUTRICIÓN
TELF.: 227264
DEPARTAMENTO ACADÉMICO
DE CS. DE LA NUTRICIÓN



ESCUELA PROFESIONAL Y
ACADÉMICA ING. PESQUERA
TELF.: 222542
DEPARTAMENTO ACADÉMICO
DE INGENIERÍA PESQUERA
TELF.: 285930

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE BIOLOGÍA

CONSTANCIA

El que suscribe, Secretario Administrativo Dr. Antonio Lazarte Rivera de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.

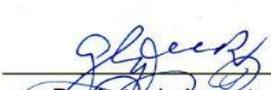
HACE CONSTAR:

Que las muestras depositadas en el laboratorio de Biología Acuática para su determinación taxonómica corresponde a la especie:

Cladophora glomerata (Kützing, 1843)

Se expide la presente a solicitud del interesado para los fines que se estimen convenientes.

Arequipa 15 de diciembre del 2015


Dr. Antonio Lazarte Rivera
Secretario Administrativo





UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA
FACULTAD DE CIENCIAS FARMACEUTICAS, BIOQUIMICAS Y BIOTECNOLOGICAS
LABORATORIO DE ENSAYO Y CONTROL DE CALIDAD

Urb. San José S/N Umacollo CAMPUS UNIVERSITARIO H-204/205 ☎ + 51 54 382038 ANEXO 1166
✉ laboratoriodeensayo@ucsm.edu.pe 🌐 http://www.ucsm.edu.pe 📄 Apto. 1350
AREQUIPA - PERU



INFORME DE ENSAYO
Nº DE INFORME: ANA02C16.002087

Nombre del Cliente : TALIA ECHEGARAY UGARTE
Dirección del Cliente : LOS ANGELESDE CAYMA E-3
RUC : NO DECLARA
Condición del Muestreado : POR EL CLIENTE
Descripción : ACEITE DE MACROALGA
Tamaño de muestra : 200 mL
Fecha de Recepción : 02/03/2016
Fecha de Inicio del Ensayo : 02/03/2016
Fecha de Emisión de Informe : 10/03/2016
Página : 1 de 1

I. ANALISIS FISICO – QUIMICO:

ANÁLISIS	RESULTADO
DETERMINACIÓN DE ÍNDICE DE PERÓXIDO (meq/kg) NTP 209.006:1968 ACEITES Y GRASAS COMESTIBLES. Método de determinación del índice de peróxido	0,64
DETERMINACIÓN DE HUMEDAD Y MATERIAS VOLATILES (g %) ACEITES Y GRASAS COMESTIBLES. Método de determinación del contenido de humedad y materias volátiles NTP 209.004:1968	0,79
DETERMINACIÓN DE ACIDEZ LIBRE (% ACIDO OLEICO) NTP 209.005:1968 ACEITES Y GRASAS COMESTIBLES. Método para la determinación de la acidez libre	0,56
DETERMINACION DE INDICE DE IODO, NTP 209.008:1968 ACEITES Y GRASAS COMESTIBLES (mol /g) Método de determinación del índice de yodo. Método Wijs	31,73
DETERMINACION DE INDICE DE REFRACCION (nD) NTP 209.121:1975, ACEITES Y GRASAS COMESTIBLES. Método de determinación del índice de refracción	1,3705
DETERMINACION DE INDICE DE SAPONIFICACION NTP 209.058:1980, ACEITES Y GRASAS COMESTIBLES. Método de determinación del índice de saponificación	25,24

OBSERVACIONES:

- Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL –DA.
- Los resultados emitidos en el presente informe se relacionan únicamente a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este documento no debe ser reproducido, sin autorización escrita del Laboratorio de Ensayo y Control de Calidad



[Firma]
Q.F. Ricardo A. Abril R
CQFDA 00624
JEFE DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y FORMALES
Unidad de Producción de Bienes y Prestación de Servicios
Laboratorio SERVILAB



INFORME DE ENSAYO

Nº DE REPORTE: 16385-16

DETERMINACIÓN DE :					
Densidad	g/ml	0,8328			
	API	38,41			
Punto de inflamación	°C	70,04			
	F	158,07			
Viscosidad	cP	2,10			
Cifra Cetánica		54,44			
OBSERVACIONES:					

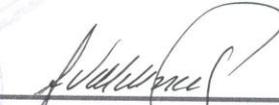
METODO DE ENSAYO	
DETERMINACIÓN	METODO DE ENSAYO APLICADO NORMA / REFERENCIA / NOMBRE
Densidad	Método ASTM
Punto de inflamación	Método ASTM
Viscosidad	Método ASTM
Cifra Cetánica	Método ASTM
OBSERVACIONES:	

Emitido en Arequipa (Perú), el 27 de Abril del 2016

PAGINA 2 DE 2


p. Dr. Juan Reyes Larico
Jefe de Laboratorio
RCQP - 348




Lic. Fredy Valdivia Peña
Químico Responsable
RCQP - 842