



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL.
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

"CONTROL DE PROCESOS DE ENERGÍAS RENOVABLES: PROCESO DE PRODUCCIÓN DE
BIODIESEL USANDO ALGAS. UNA ALTERNATIVA PARA NO AFECTAR EL ECOSISTEMA O LA
CADENA ALIMENTARIA. ASPECTOS TÉCNICOS Y ECONÓMICOS"

INFORME DE MATERIA DE GRADUACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD ESPECIALIZACIÓN POTENCIA

Presentada por

RONNIE GONZALO TORRES BADILLO

DANIEL GREGORIO FLORES TOMALÁ

Guayaquil - Ecuador

2011

AGRADECIMIENTO

Los autores estamos agradecidos en primer lugar a Dios por haber bendecido y guiado nuestros caminos a la culminación de una etapa importante para un ser humano.

Al Ing. Javier Urquiza director del seminario de graduación que con su apoyo y conocimiento nos guió a lo largo de todo el proyecto.

A nuestros padres, que con su apoyo incondicional y colaboración han hecho posible que llegemos a la culminación de nuestra carrera.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis en primer lugar a Dios por darme fortaleza, perseverancia y constancia a lo largo de mi sendero como estudiante universitario. A mis padres, que me han brindado su apoyo incondicional. A mis amigos y compañeros que he conocido a lo largo de mis estudios, que con su apoyo a lo largo de los años he llegado a cumplir mi meta.

Ronnie Torres Badillo

DEDICATORIA

Los dones y la confianza son obra de ti mi Dios, por eso te dedico esta tesis por que fuiste tú quien hiciste esto posible, de igual manera a ti padre que a pesar de no estar físicamente junto a mi siento tu apoyo incondicional, a ti madre que con tus consejos me enseñaste que la educación es el mejor regalo que uno puede recibir, a ustedes mis hermanas que con su granito de arena me han dado las herramientas para salir adelante, a ustedes mi linda familia Mayra y bebe quien son mis ganas de salir adelante. Gracias por todo familia.

Daniel Flores Tomalá

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



ING. JAVIER URQUIZO
PROFESOR DE LA MATERIA
GRADUACION



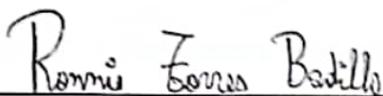
ING. DOUGLAS AGUIRRE
PROFESOR DELEGADO
DEL DECANO

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad del contenido de este Informe de materia de graduación, nos
corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA

SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

(REGLAMENTO DE GRADUACIÓN DE LA ESPOL)



RONNIE GONZALO TORRES BADILLO



DANIEL GREGORIO FLORES TOMALÁ

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo principal en realizar un estudio de proceso de producción de biodiesel usando algas, como alternativa para no afectar el ecosistema o la cadena alimentaria; donde se analizarán aspectos técnicos y económicos.

En el desarrollo de los capítulos se analizará la materia prima con que se producirá el biodiesel, en este caso las algas. Se realizarán estudios de crecimiento, reproducción; así como diversos procesos a los cuales serán sometidas, con el afán de obtener aceite algal. Se explicará el proceso final, que dará como resultado el biodiesel y se implementará esta alternativa de producción de combustible en la Península (Ecuador).

Previo a esto se analizarán aspectos: económicos, técnicos y área de factibilidad para el cultivo de las algas; de los procesos y métodos aplicables para la obtención de biodiesel.

Finalmente se realizará un estudio ambiental acerca del comportamiento del biodiesel con respecto al medio y el impacto ambiental positivo de la utilización de microalgas como materia prima.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	II
DEDICATORIA.....	III
TRIBUNAL DE GRADUACIÒN.....	IV
DECLARACION EXPRESA.....	V
RESUMEN.....	VI
INDICE GERERAL.....	VII
ABREVIATURAS.....	VIII
SIMBOLOGÌA.....	IX
INDICE DE FIGURAS.....	X
INDICE DE TABLAS.....	XI
INTRODUCCIÒN.....	XII

ÍNDICE

CAPÍTULO 1

Combustibles de tercera generación y propuesta del proyecto

1.1	Energía Renovable	1
1.1.1.	Biocombustible.....	2
1.1.1.1.	Biocombustibles de tercera generación	3
1.1.1.2.	Ventajas de utilizar biocombustible de tercera generación	4
1.1.2.	Etanol	4
1.1.3.	Biodiesel	6
1.1.3.1	Ventajas del biodiesel	9
1.1.3.2	Desventajas del biodiesel.....	10
1.1.4.	Biocombustible a partir de las algas.....	12
1.1.4.1	Ventajas del uso de microalgas para producir biocombustible	13
1.1.4.2	Desventajas del uso de microalgas para producir biocombustible.....	16
1.2	Península de Santa Elena – Ecuador	18
1.2.1	Ubicación Geográfica	19
1.2.2	Recursos socio – económicos de la Península de Santa Elena	23
1.2.2.1	Cifras relevante de la refinería La Libertad	26
1.2.3	Algas en la Provincia de Santa Elena	29
1.2.3.1	Análisis de transectas 3 y 5	35
1.3	Proyecto MDL y Protocolo de Kioto.....	39
1.3.1	Proyecto MDL.....	39
1.3.2	La Convención sobre el clima y el Protocolo de Kioto.....	40
1.3.3	MDL	40
1.3.4	Proyecto de obtención de biocombustible a partir de algas con respecto al MDL... 41	
1.4	Análisis de la constitución del Ecuador con respecto al medio ambiente	42
1.4.1	Sección segunda del medio ambiente.....	43
1.4.2	Capítulo segundo derechos del buen vivir - sección primera - agua y alimentación 46	
1.4.3	Sección séptima – biosfera, ecología urbana y energías alternativas.....	48

1.5	Descripción del Proyecto.....	50
2.1	Algas.....	51

CAPÍTULO 2

Materia prima y métodos aplicables para la obtención de aceite algal

2.1.1.	Especies de microalgas y su nivel de contenido de lípidos	52
2.1.2.	Selección de la especie de microalga más eficiente.....	56
2.1.3.	Métodos de cultivo de microalgas	58
2.1.3.1	Estanque de microalgas	58
2.1.3.2	Los fotobiorreactores.....	60
2.1.3.3	Raceways y Sistemas de Acuicultura por Etapas.....	63
2.1.4.	Métodos para la obtención de aceite algal	65
2.1.4.1	Método de prensado.....	65
2.1.4.1	Extracción Enzimática	69
2.1.4.2	Extracción con ultrasonido.....	72
2.1.4.3	Extracción con fluidos supercríticos.....	75
2.1.5.	Purificación del aceite	82
2.1.6.	Producción del biodiesel	83
2.1.7.	Purificación del biodiesel.....	91

CAPÍTULO 3

Métodos aplicables y costos de obtener biodiesel en la Península de Santa Elena

3.1	Proceso para la producción de biocombustible a partir de microalgas en la Península de Santa Elena.....	94
3.2	Parámetros del espacio físico	100
3.3	Proceso de producción de biodiesel.....	101
3.3.1	Recolección de la materia prima (microalgas)	103
3.3.2	Cultivos de microalgas.....	105
3.3.3	Análisis de la producción de biocombustible a partir de microalgas en la Península de Santa Elena.....	117
3.3.3.1	Análisis de costos de la obtención de la materia prima (microalgas)	119

3.3.3.2	Transporte y recepción en el laboratorio.....	120
3.3.3.3	Cultivos en estanques al aire libre utilizando piscinas en la plataforma terrestre. 122	
3.3.3.4	Cultivos de microalgas	122
3.3.3.5	Elementos vitales para la reproducción de las microalgas	124
3.3.3.6	Proceso previo a la producción del aceite	127
3.3.3.7	Métodos de extracción del aceite.....	131
3.3.3.8	Purificación del aceite	135
3.3.3.9	Producción del biodiesel	136
3.3.3.10	Purificación del biodiesel	140
3.3.3.11	Tabla de resultados final de precios	141

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLE Y ASPECTOS AMBIENTALES DEL PROYECTO

4.1	Aspectos técnicos del proyecto y selección de los métodos más eficientes de producir aceite algal y de cultivo.....	147
4.1.1.	Estimación de la Producción de algas	150
4.1.2.	Selección del mejor método de deshidratación.....	150
4.1.3.	Selección mejor del método de extracción de aceite	153
4.2	Análisis Económico del proyecto	155
4.2.1	Método del VAN (Valor actual neto).....	155
4.2.2	Método de la TIR	157
4.2.3	Aplicación de los métodos VAN y TIR al proyecto de inversión	158
4.3	Biodiesel a partir de Microalgas y su aspecto ambiental	164

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

Abreviaturas

ICCT	Consejo Internacional de Transporte Limpio
BPDO	Barriles por día de operación
GLP	Gas licuado del petróleo
INOCAR	Instituto Oceanográfico de la Armada
GEI	Gases de efecto invernadero
CMNUCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático
CERs	Certificados de reducción de emisiones
FBR	Fotobiorreactores
CAPEX	Capital Expenditure
OPEX	Operational Expenditure
FSC	Fluidos Super Críticos
HAP	Hidrocarburos Aromáticos poli cíclicos

Simbología

°C	Grados centígrados
ha	hectárea
Km ²	Kilómetro cuadrado
ton	tonelada
mg	miligramo
m ³	metro cúbico
l	litro
cel	célula
J	Joules
Kg	Kilogramo
RPM	Revoluciones por minuto
KHz	Kilo Hertz
PT	Punto Triple
PC	Punto crítico
Pc	Presión crítica

Tc	Temperatura critica
CH ₃ OH	Alcohol Metílico
HCl	Cloruro de Hidrógeno
O ₂	Oxígeno molecular
μm	Micrómetro
m ²	metro cuadrado
Klux	Kilo lux
€	euros
CO ₂	Dióxido de carbono
SO ₂	Dióxido de azufre
NO _x	Óxidos de nitrógeno
mm	milímetros

Índice de Figuras

Capítulo 1

Fig. 1.1 Porcentaje de producción de biodiesel a nivel mundial.	8
Fig. 1.2 Mapa de la provincia de Santa Elena	20
Fig. 1.3 Santa Elena – La Libertad - Salinas	22
Fig. 1.4 Playas - Provincia de Santa Elena	24
Fig. 1.5 Refinería La Libertad.....	27
Fig. 1.6 Ubicación de algas a estudiar en costas peninsulares	32

Capítulo 2

Fig. 2.1 Tipos de algas	53
Fig. 2.2 Estanques o sistemas abiertos	60
Fig. 2.3 Fotobiorreactor	61
Fig. 2.4 Sistema Raceway al aire libre con tubos de aireación.....	64
Fig. 2.5 Raceways externos para maternización con manguera difusora.....	64
Fig. 2.6. Prensa modelo XP 100.....	66
Fig. 2.7. Equipos experimentales utilizados para la extracción por ultrasonido	73
Fig. 2.8. Equipo de ultrasonido modelo UIP 16000.....	74
Fig.2.9 Diagrama de fases sólido/líquido/gas.	77
Figura 2.10 Esquema básico de un extractor de fluidos supercríticos.	81
Fig. 2.11 Esterificación de un ácido graso en ambiente ácido	84
Fig. 2.12 Transesterificación de ácidos grasos en ambiente básico	86
Fig. 2.13 Transesterificación de un ácido graso	87
Fig. 2.14 Saponificación y neutralización de ácidos grasos.....	89

Capítulo 3

Fig. 3.1. Proceso de obtención de biodiesel a partir de las algas	95
Fig. 3.2 Terreno donde se realizará el estudio para el cultivo	101
Fig. 3.3 Diagrama de flujo de Producción de biodiesel a partir de Microalgas	102
Fig. 3.4 Cultivo en estanques al aire libre	110

Índice de Tablas

Capítulo 1

Tabla1.1 Porcentaje de producción de etanol a nivel mundial	5
Tabla 1.2 Porcentaje de producción de biodiesel a nivel mundial	7
Tabla 1.3. Distribución de la producción diaria de la Refinería de La Libertad.....	25
Tabla 1.4 Flora marina peninsular	30
Fuente: Tesis “Elaboración del Plan de contingencias para las operaciones hidrocarburíferas desarrolladas en el campo Gustavo Galindo Velasco” – EPN – pág. 24 – Autores: Luis Velastegui y Cynthia Veloz.....	30
Tabla 2.1 Contenido de aceite de algunas especies de microalgas	55
Tabla 2.2 Rendimiento de algas utilizadas por algunas refinerías.....	57
Tabla 2.3 Orden de magnitud de fluidos en densidad, viscosidad y difusividad.	75
Tabla 2.4 Rendimiento del catalizador	88
Tabla 3.1 Composición del medio Guillard’s.....	98
Tabla 3.2 Químicos fertilizantes.....	110
Tabla 3.3 Costo inicial por la compra de algas	120
Tabla 3.4 Costos de transporte y Recepción de algas en el laboratorio.....	121
Tabla 3.5 Costos para cultivos en Estanques al Aire Libre utilizando piscinas en la plataforma terrestre.	122
Tabla 3.6 Elementos importantes para realizar cultivos usando fotobiorreactores	124

Tabla 3.7 Materiales de los procesos para el tratamiento del agua de mar	126
Tabla 3.8 Costo de una centrifugadora para realizar el filtrado	127
Tabla 3.9 Costo de una prensa de filtro	128
Tabla 3.10 Costos del Secado solar directo	129
Tabla 3.11 Costos del Secado dólar indirecto	129
Tabla 3.12 Costos de emplear un sistema de filtro de tambor.....	130
Tabla 3.13 Costos de emplear el método de Secado Spray.....	131
Tabla 3.14 Costos de utilizar prensado simple	132
Tabla 3.15 Costos de utilizar prensado más solvente orgánico.....	132
Tabla 3.16 Costo para realizar extracción con fluidos supercríticos.....	133
Tabla 3.17 Costos del método extracción con ultrasonido	134
Tabla 3.18 Costo de sistema de destilación.....	135
Tabla 3.19 Costo de sistema de reciclo de agua	136
Tabla 3.20 Costos del Primer Mezclador para la producción de biodiesel.....	136
Tabla 3.21 Costos del Segundo Mezclador para la producción de biodiesel.....	137
Tabla 3.22 Costos del Neutralizador para la producción de biodiesel.....	138
Tabla 3.23 Costos del destilador para la producción de biodiesel	139
Tabla 3.24 Costos del decantador para la producción de biodiesel	139
Tabla 3.25 Costos del lavado para la producción de biodiesel	140
Tabla 3.26 Costos del secado para la producción de biodiesel	141
Tabla 3.27 Costos de las formas de recolección de algas	141
Tabla 3.28 Costos de los métodos de cultivo de algas marinas.....	142
Tabla 3.29 Costo del tratamiento para la reproducción de las algas marinas.....	142
Tabla 3.30 Costo del proceso de filtrado	143
Tabla 3.31 Costo del proceso de secado.....	143
Tabla 3.32 Costo de los diferentes métodos de extracción de aceite	144
Tabla 3.33 Costo de purificación del aceite	144
Tabla 3.34 Costos de la producción de biodiesel.....	145
Tabla 3.35 Costos de purificar el biodiesel	145
Tabla 3.36 Costo del personal contratado.....	146

Tabla 4.1 Estimación del coste de la biomasa de microalga en función del método de producción	148
Fuente: “Biodiesel from microalgae”, Yusuf Chisti, 2007].....	148
Tabla 4.2 Costo de los diferentes métodos de deshidratación	151
Tabla 4.3 Rentabilidad de los diferentes métodos de deshidratación	151
Tabla 4.4 Costo de los métodos de extracción de aceite	154
Tabla 4.5 Rentabilidad de los métodos de extracción de aceite	154
Tabla 4.6 Inversión Inicial.....	158
Tabla 4.7 Costos anuales.....	158
Tabla 4.8 Ingresos anuales.....	159
Tabla 4.9 Cálculo del VAN y TIR	160
Tabla 4.10 Cálculo rentable del VAN y TIR.....	163

INTRODUCCION

En la actualidad el mundo entero muestra preocupación debido a los grandes efectos que trae la contaminación del planeta, razón por la cual se han buscado alternativas para solucionar o evitar la contaminación del mismo.

Las principales fuentes de contaminación son los automotores y la de generación de electricidad, ya que ambas emiten grandes cantidades de dióxido de carbono a la atmósfera; por lo tanto si se desea solucionar el problema de la contaminación es necesario dejar de utilizar petróleo y carbón.

En lo que concierne a la generación de electricidad de una forma más limpia, se ha optado por la generación con recursos renovables, entre ellos están: el aire, el mar, el sol, biocombustibles, y otros, el cual ha traído resultados positivos.

El siguiente trabajo va enfocado precisamente al uso del biocombustible como fuente de energía para poder mover las maquinarias que se emplean en la generación de electricidad.

Por el momento el tema de los biocombustibles aun está en debate, porque existen criterios a favor y en contra, y cada día que pasa nuevas maneras de obtener biocombustibles salen a la luz, como lo es el de la de utilización de algas marinas para extraer biodiesel de ellas.

Por la necesidad del agua salina utilizada para los cultivos de algas este proyecto se lo desarrolla en la zona costera de Santa Elena – Ecuador, la cual tiene óptimas condiciones para emprender dicho proyecto debido a ser una zona rodeada del mar y que cuenta con empresas que emiten dióxido de carbono en gran cantidad.

Además se busca dar utilidad a las algas que en más de una ocasión han causado malestar a las personas que disfrutan de la playa, ya que ven en ellas solo basura marina, sin saber que se le puede dar más de una utilidad, y también dar uso al dióxido de carbono que emiten las empresas principalmente la refinería y actualmente las centrales de generación de electricidad.

CAPITULO 1

COMBUSTIBLES DE TERCERA GENERACIÓN Y PROPUESTA DEL PROYECTO

Este capítulo tiene como objetivo dar a conocer conceptos sobre energías renovables, biocombustible, estudio del lugar donde se realizará la investigación; y se planteará la propuesta de proyecto.

1.1 Energía Renovable

Es energía amigable con el medio ambiente, considerada como energía limpia e inagotable, ya que se obtiene de fuentes naturales virtualmente interminables; entre ellas las energías más conocidas son:

Solar.- Obtiene la energía del sol

Eólica.- Obtiene la energía del viento

Geotérmica.- Obtiene la energía del calor de la Tierra

Mareomotriz.- Obtiene la energía del mar y el océano

Hidráulica.- Obtiene la energía de ríos y corrientes de agua dulce

Biomasa.- Obtiene la energía de la materia orgánica

La Biomasa a pesar de ser consideradas energía renovable, emite dióxido de carbono y otros contaminantes pero en pequeñas cantidades, aunque si se obtiene esta energía de manera irracional, puede ser más contaminante que el mismo uso de combustible, es decir si se

emplean fertilizantes, si se deforestan bosques o se utiliza maquinaria obsoleta para los cultivos los efectos serían negativos.

Actualmente se hace uso de un pequeño porcentaje de energía renovable, pero se piensa que dentro de unas décadas esta cantidad aumentará considerablemente, dejando de depender de los combustibles fósiles y empleando en mayor cantidad los biocombustibles.

1.1.1. Biocombustible

Son combustibles que se obtienen de la materia orgánica, mediante procesos biológicos. La gran ventaja de los biocombustibles es que la mayoría de ellos ayudan a eliminar el dióxido de carbono que se encuentra en la atmósfera mediante el proceso de la fotosíntesis.

En los biocombustibles se produce un ciclo cerrado, ya que al quemarse para la combustión emiten igual cantidad de dióxido de carbono que absorbieron para su crecimiento.

Ciertos biocombustibles son mezclados con otros combustibles en pequeñas proporciones, 5 o 10%, para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

El etanol y el biodiesel forman parte de esta clase de energía, ya que se emplean los biocombustibles para alimentar por lo

general a los motores de combustión interna, que al funcionar generan electricidad o dan movimiento a los automotores.

Estos biocombustibles se obtienen mediante el proceso de fermentación orgánica (en el caso del etanol) o mediante el proceso de transesterificación (para el biodiesel), los cuales son procesos que convierten la materia orgánica en combustible.

1.1.1.1. Biocombustibles de tercera generación

Son combustibles que se producen a partir de materias primas que no son fuentes alimenticias, para lo cual se utilizan tecnologías que todavía están en etapas de investigación y desarrollo y con costos de producción aún muy elevados, e inclusive se cultivan en terrenos no agrícolas.

Se piensa que los combustibles de tercera generación serán una alternativa muy efectiva para reemplazar a los combustibles fósiles, debido a que no utilizan cultivos alimenticios y además ayudan a combatir el calentamiento global.

1.1.1.2. Ventajas de utilizar biocombustible de tercera generación

- Requieren menos recursos (fertilizantes, pesticidas, agua, terrenos, etc.) para ser producidos.
- Al disponer de una mayor variedad de materias primas y no ser comestibles, no generarán competencia con la industria alimenticia, aunque puede que la generen con la que utiliza fibras vegetales o madera.
- Podrán ser generados en terrenos no agrícolas o marginales.
- En algunos casos, podrán servir para recuperar terrenos erosionados en laderas o zonas desertificadas y fijar CO₂ a través de su sistema de raíces.
- A largo plazo, pueden abaratar los costes de producción respecto a los actuales biocarburantes.

1.1.2. Etanol

También conocido como bioetanol, es un alcohol que se obtiene por lo general de granos de maíz, sorgo, caña de azúcar o remolacha, mediante el proceso de la fermentación, es decir de la levadura obtener el alcohol destilado. Su principal beneficio es que permite sustituir las gasolinas o naftas en cualquier proporción.

Entre los principales países productores de etanol tenemos:

	Producción Anual	Participación	Producto Base
	Millones de Galones	%	
Brasil	3989	43 %	Caña de azúcar
Estados Unidos	3535	38 %	Maíz
China	964	10 %	Maíz, trigo
India	462	5 %	Caña de azúcar
Francia	219	2 %	Maíz, caña de azúcar
Rusia	198	2 %	Remolacha, cereales
TOTAL	9367	100 %	

Tabla 1.1 Porcentaje de producción de etanol a nivel mundial

Fuente: <http://www.mincomercio.gov.co/eContent/documentos/Competitividad/InsumosApuesta9.pdf>

Como se puede observar el mayor productor de etanol es Brasil, país que obtiene el etanol mediante cultivos de caña de azúcar, mientras que Estados Unidos, segundo productor de etanol, obtiene el etanol mediante cultivos de maíz.

Actualmente Brasil, tiene la mejor tecnología para producir etanol, además en este país ya se cuenta con automóviles que utilizan el etanol como combustible para sus vehículos.

Lo principal para obtener este tipo de biocombustible es la celulosa, ya que de ella se obtiene azúcar, debido a que la celulosa es una larga cadena formada por eslabones de glucosa.

Por lo tanto hay otras fuentes de azúcar diferentes a las ya mencionadas, debido a que casi todo residuo vegetal se lo puede emplear para producir el azúcar necesario para el etanol.

1.1.3. Biodiesel

Se produce a partir de la grasa animal o aceite vegetal usados o no, transformándolos a través de un proceso conocido como transesterificación. Proceso en el cual se mezclan alcohol metílico, hidróxido sódico y aceite vegetal para obtener éster, que sirve como diesel en los motores.

Anteriormente se utilizaba el girasol, soja y canola para extraer el aceite vegetal, pero en la actualidad nuevas fuentes de aceite vegetal o grasa animal han salido a la luz, una de ellas son las algas marinas.[1]

Las algas son otra fuente de triglicéridos. Las microalgas son microorganismos fotosintéticos que convierten la luz solar, el

agua y el dióxido de carbono en biomasa de algas. Las algas son más productivas que el maíz o la soja, ya que cada célula es una fábrica. A diferencia del maíz, las algas no necesitan ser cultivados en tierras de cultivo y también pueden cultivarse en lugares de agua, como estanques, lagos e incluso mares y océanos. [2]

Entre los principales países productores de biodiesel tenemos:

País	% de producción a nivel mundial
Alemania	63
Francia	17
Estados Unidos	10
Italia	7
Austria	3

Tabla 1.2 Porcentaje de producción de biodiesel a nivel mundial

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/52270952/23/CUADRO-N%C2%B0-11-PRINCIPALES-PRODUCTORES-DE-BIOCOMBUSTIBLES-2005>

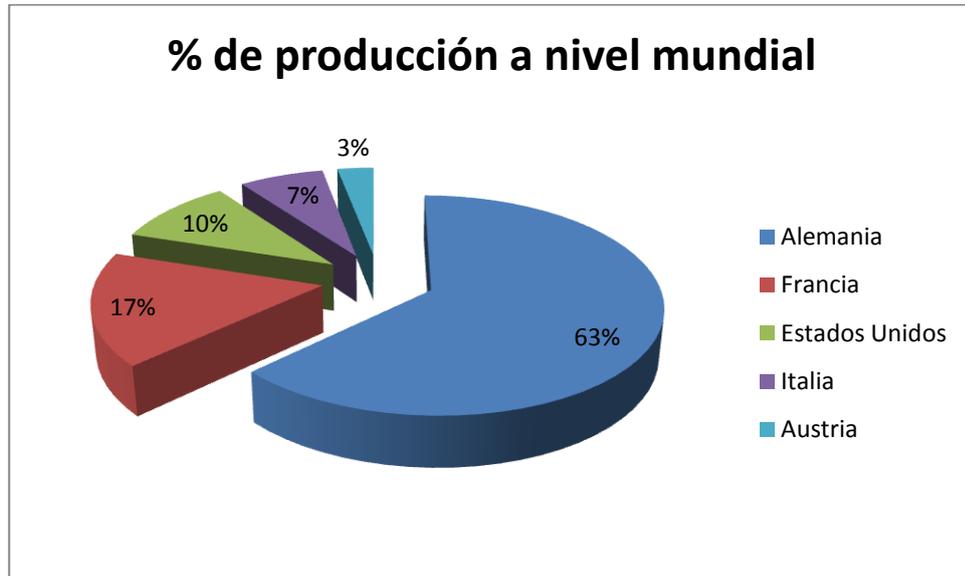


Fig. 1.1 Porcentaje de producción de biodiesel a nivel mundial.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/52270952/23/CUADRO-N%C2%B0-11-PRINCIPALES-PRODUCTORES-DE-BIOCOMBUSTIBLES-2005>

Existen otros países que están empezando a utilizar y producir el biodiesel, entre los que más destacan son España y Argentina, que genera biodiesel a partir de las algas.

El biodiesel promete ser el combustible del mañana, ya que producida de manera correcta trae grandes beneficios, pero sobretodo cuida el ambiente.

1.1.3.1 Ventajas del biodiesel

- La lubricidad que posee el biodiesel es considerablemente mayor a la del diesel de origen fósil, esta característica da mayor vida útil a los motores.
- Posee un punto de inflamación de 100 °C, por lo que es seguro de transportar y almacenar.
- Puede ser usado como solvente para limpiar derrames de diesel fósil, debido a que se degrada de 4 a 5 veces más rápido que el diesel fósil.
- Su cultivo y producción promueve la inclusión social del sector campesino de nuestra, debido a que no requiere altos niveles de inversión.
- Su producción no genera SO₂ (dióxido de azufre)
- Es amigable con el medio ambiente, no contamina fuentes de agua superficial ni acuíferos subterráneos. [3]

- Los olores desagradables de la combustión del diesel del petróleo, son reemplazados por el aroma de las palomitas de maíz o patatas fritas que se producen con el biodiesel.
- El biodiesel, como combustible vegetal no contiene ninguna sustancia nociva, ni perjudicial para la salud, a diferencia de los hidrocarburos, que tienen componentes aromáticos y bencenos (cancerígenos). La no-emisión de estas sustancias contaminantes disminuye el riesgo de enfermedades respiratorias y alergias.
- El transporte del biodiesel es más seguro debido a que es biodegradable. En caso de derrame de este combustible en aguas de ríos y mares, la contaminación es menor que los combustibles fósiles.[2]

1.1.3.2 Desventajas del biodiesel

- Al estar expuesto a bajas temperaturas ($<0^{\circ}\text{C}$) el biodiesel presenta problemas de congelamiento.
- Por lo general la materia prima para la producción del biodiesel es costosa por lo que el producto final es de costos considerables.

- Su almacenamiento debe ser en tanques limpios para evitar que los motores sean contaminados con impurezas provenientes de los tanques, debido a su alto poder solvente.
- Se emplea mayor cantidad de biodiesel para suplir el mismo contenido energético del diesel debido a que posee 12% menor en peso u 8% en volumen.
- El biodiesel de baja calidad puede incrementar las emisiones de NOx (óxidos de nitrógeno).[3]
- Los procesos asociados a la cadena de producción del biodiesel son numerosos, lo que tiende a elevar su costo de producción. La solución es conseguir un precio competitivo, optimizado y realizar el mayor número de procesos en una sola instalación, como pueden ser la extracción, trituración y purificación en un proceso integrado.

1.1.4. Biocombustible a partir de las algas

Una de las alternativas estudiadas actualmente para producir biodiesel es extraer el aceite de las algas marinas, ya que las algas cuentan con un alto contenido de lípidos.

Las algas necesitan del agua, luz y del dióxido de carbono para su reproducción, por lo que se las considera como unas de las mejores alternativas para la producción del biodiesel.

Algunas de ellas poseen un gran valor nutricional como fertilizante para cultivos y cumplen con las normas de agricultura orgánica que se han establecido. En la actualidad los científicos definen a las algas como un “petróleo” biológico, al ser un recurso biológico renovable y que absorbe CO₂ en un ciclo sin fin.[4]

Producir biodiesel utilizando algas tiene mayor rendimiento que producirlo con la soja, las palmas, el girasol y otros, además el tiempo de crecimiento de las algas es de días, ambas razones son las principales por la que actualmente existen fuertes inversiones por los países desarrollados para implementar esta nueva forma de producir combustible. [5]

Se considera que el uso de algas en especial las micro-algas es la alternativa más limpia de producir combustible que existe, debido a que ellas absorben grandes cantidades de dióxido de carbono para su alimentación, necesitan menos espacio que las otras alternativas para producir la misma cantidad de biodiesel y sobretodo se reproducen de manera masiva en cualquier ambiente acuático, sin siquiera cuidarlas tanto como a las otras plantaciones.

Además no compiten con productos alimentarios como otros cultivos energéticos y tienen bajo costo de producción.

1.1.4.1 Ventajas del uso de microalgas para producir biocombustible

La biomasa está conformada por un 20 – 30 % de lípidos, 40 – 50 % de proteínas y la diferencia la conforma los carbohidratos y otros compuestos de reducida importancia.

Las microalgas poseen gran cantidad de lípidos de las que se extrae el aceite necesario para producir el biodiesel, pero además existen otras propiedades que

hacen de las microalgas la alternativa más atractiva entre los microorganismos, como por ejemplo:

- Su capacidad fotosintética produce buenos rendimientos al exponerlos a la energía solar, una fuente de carbono y nutrientes de fácil disponibilidad, a diferencia de otras bacterias, hongos y levadura.
- Las microalgas producen entre 15 y 300 veces más aceite para la obtención de biodiesel que los cultivos tradicionales en función de la superficie. Tienen un ciclo de cosecha muy corto (entre 1 y 10 días, dependiendo del proceso), que permite múltiples o continuas cosechas lo que aumenta significativamente los rendimientos.[2]
- Ciertas especies pueden crecer sobre sustrato orgánico, con o sin presencia de luz, debido a la gran variedad de lípidos y de otros compuestos inusuales que están en condiciones de sintetizar, lo que no lo hacen otros organismos vegetales.
- Son más eficientes en utilizar la energía solar gracias a su simplicidad estructural y pueden alcanzar de 4 – 8 % de eficiencia fotosintética a diferencia de las plantas que solo alcanzan un 2 %. Es decir son

extremadamente productivas, por ejemplo se puede estimar productividades tan altas como 60 – 80 toneladas de peso seco / ha / año a diferencia de otros cultivos que producen de 10 – 30 ton / año.

- Las microalgas crecen en ambientes que poseen ilimitada cantidad de agua, CO₂ y nutrientes, por lo que convierten la energía solar de una manera muy eficiente.
- Los cultivos en gran escala son más simples y baratos.
- Pueden ser cultivadas todo el año y cosechadas continuamente.
- Pueden crecer en tierras marginales, en las regiones áridas del mundo, en ambientes salinos e hipersalinos de baja calidad o en aguas residuales cargadas de nutrientes, que no son buenas para la irrigación agrícola o el consumo para los seres humanos o los animales, por lo que estos cultivos no compiten con la agricultura tradicional por cantidad o calidad de suelos.
- Consumen menor cantidad de agua que los cultivos tradicionales.

- Crecen de manera exponencial, similar a las bacterias. Ningún vegetal terrestre crece tan rápido como las microalgas.
- La biomasa que poseen las microalgas es de fácil extracción a diferencia de los vegetales que los productos para elaborar el biocombustible en ocasiones se encuentran en sitios u órganos de difícil extracción, debido a que son organismos unicelulares. Por lo que es considerado un valioso recurso medioambiental y biotecnológico.
- Los cultivos de microalgas no requieren del uso de pesticidas y herbicidas, los cuales son dañinos al medio ambiente.

1.1.4.2 Desventajas del uso de microalgas para producir biocombustible.

Existen varias razones por la cual se considera a las microalgas como la mejor alternativa para la elaboración de biocombustible, pero existen factores por la cual aun no se desarrolla esto en todo el mundo, entre las que destacan las siguientes:

- La concentración de biomasa en el cultivo y el contenido celular de los lípidos afectan significativamente el costo de extracción y transformación.
- El costo del proceso de cultivo depende de la productividad de lípidos que se desea obtener, entre mayor cantidad mayor costo.
- La condición ideal (producción de lípidos a la más alta productividad celular, con el contenido más alto posible en las células) es muy difícil de encontrar en la práctica, dado que las células con alto contenido de lípidos son producidas bajo condiciones de estrés fisiológico, el cual está asociado a condiciones limitantes de nutrientes y por lo tanto, de baja productividad de biomasa y de lípidos.

Para producir biodiesel a partir de microalgas se presentan algunos retos como por ejemplo:

- Seleccionar las mejores cepas, es decir las que tengan mayor contenido de lípidos y mayor productividad, mejor perfil de lípidos y

adaptabilidad al tipo de agua a utilizar y a las condiciones ambientales

- Establecer estrategias de cultivo adecuadas que permitan lograr mayor productividad de lípidos y de biomasa.
- Lograr el uso de aguas residuales, evitando contaminaciones.
- Seleccionar el tipo de reactor más adecuado o una combinación de ellos, para máxima producción de biomasa al mínimo costo.
- Lograr abatir los costos de cosecha.
- Lograr una extracción de lípidos y su conversión a biodiesel, mediante estrategias de mínimo costo.

1.2 Península de Santa Elena – Ecuador

A continuación se procederá a describir el lugar que será tomado como punto de investigación para realizar el estudio de biocombustible a partir de algas en el Ecuador.

La Provincia de Santa Elena es una de las zonas costeras más importante del Ecuador, rodeada de playas que posee una fauna y flora muy diversa.

Su ecosistema marino es muy variado, en él podemos encontrar: fitoplancton, zooplancton, algas, esponjas, celentéreos, equinodermos y moluscos.

Posee una gran producción pesquera, debido a que en sus aguas se encuentran grandes cantidades de diatomeas y dinoflagelados.

Además de ser una zona turística y pesquera, es considerada como zona petrolera del país, porque en su suelo se encuentra gran cantidad de este combustible.

Los cultivos de microalgas para producción de biodiesel necesitan de abundante agua, cantidades de dióxido de carbono y presencia de luz solar, factores que la Provincia de Santa Elena tiene a su favor, por lo tanto se escogerá esta zona para realizar los estudios necesarios.

1.2.1 Ubicación Geográfica

Es una de las zonas turísticas más importantes del Ecuador, rodeada por el Océano Pacífico, con una rica variedad de atractivos naturales y culturales.

A continuación, en la figura 1.2 se muestra la ubicación de la provincia de Santa Elena.

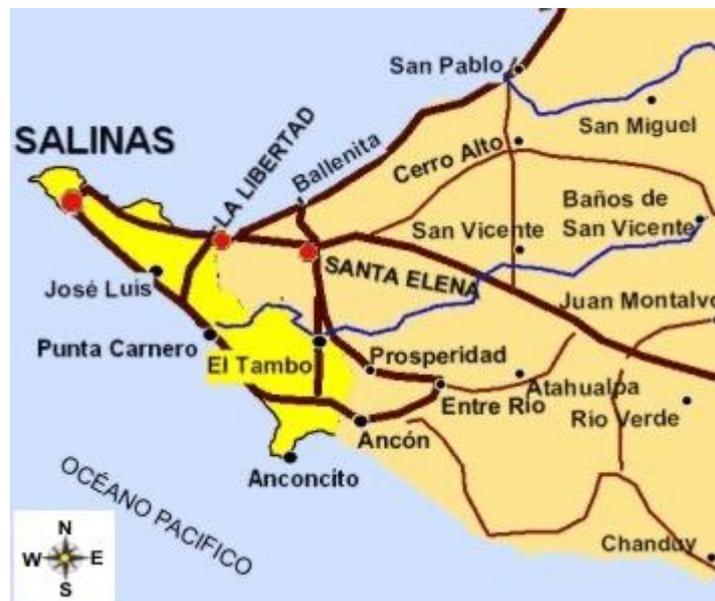


Fig. 1.2 Mapa de la provincia de Santa Elena

La Provincia de Santa Elena tiene una extensión de 3.762,8 km², con una población residente de 238,889 habitantes (1.97 % del total nacional) y una población flotante superior a 200,000 personas en época alta de turismo.

Posee un clima muy agradable que puede ser disfrutado todo el año, el cual es influenciado por la corriente cálida de El Niño (Diciembre – Abril desde Panamá hacia la zona central del Ecuador) y la corriente fría de Humboldt (Mayo – Noviembre).

La temperatura promedio es de 24,5 °C, con una temperatura mínima de 15 °C entre Julio y Agosto, y una temperatura máxima de 39,5 °C entre Febrero y Marzo.

Entre los principales ríos tenemos. Ayampe, en los límites con Manabí; San José, Olon, Manglaralto, Culebra, Cadeate, Caridad; Simón Bolívar, La Ponga, Valdivia; California Hernán Sánchez, Zapote; Grande (San Pablo); Viejo, Hondo; Salado; La Seca, Zapotal; Tagaduaaja; Engunga.

De las 79 cuencas hidrográficas que existen en el país 6 se ubican en el territorio peninsular: Ayampe, Manglaralto, Valdivia, Javita, Grande, Salado, La Seca y Zapotal. La orografía es casi plana, la parte más alta corresponde a la cordillera de Chongon-Colonche, ubicada al este y sureste de la península con una altura máxima de 300 mts.sobre el nivel del mar.

La provincia de Santa Elena tiene cinco parroquias rurales, Salinas dos y La Libertad es totalmente urbano, distribuidas en sus tres cantones: el más grande es Santa Elena con 3.668,90 km², el cantón Salinas con 68,7 km² de extensión, en el cantón La Libertad tiene 25,2 km² de área territorial.

A continuación se muestra imágenes de lugares turísticos de la provincia de Santa Elena: el malecón de la Libertad y Salinas.



Fig. 1.3 Santa Elena – La Libertad - Salinas

Salinas

Está ubicada en el extremo occidental de la provincia, a 142 km de Guayaquil. Tiene un área de 68.7 km², con una población de 50.031 habitantes, de los cuales 25.747 son hombres y 24.284 mujeres; 29.294 viven en el área urbana y 20.737 personas están en la zona rural. En Salinas se encuentra la más grande de las infraestructuras hoteleras dedicadas al turismo de la provincia y una de la más grande del Ecuador

La Libertad

El cantón cuenta con un área de 25,2 km² y 75.881 habitantes, de ellos 37.742 son hombres y 38.139 mujeres. Es el único cantón totalmente urbano del Ecuador, (el cantón está formado por una única ciudad que ocupa la totalidad del territorio). La

mayoría se dedica a las actividades turística y comercial. Es el corazón comercial de la provincia.

Santa Elena

El cantón tiene 3.668,9 km² de extensión (siendo el segundo cantón más grande del Ecuador) y 109.404 habitantes, de ellos 56.013 son hombres y 53.391 mujeres. En el área urbana viven 26.586 personas y en la rural 82.818 personas.[6]

1.2.2 Recursos socio – económicos de la Península de Santa Elena

La provincia de Santa Elena actualmente basa su economía en el turismo, apuntado a convertirse en el mayor potencial turístico del Ecuador, ya que posee playas, pueblos llenos de tradiciones, montañas, ríos, etc.; que son muy visitados por personas nacionales y extranjeras.[7]

Entre sus playas más conocidas se las puede observar en la
Figura 1.4

- Ballenita
- Capaes
- Cautivo
- Chipipe
- Chulluipe
- La Libertad
- Mar Bravo
- Montañita
- Monteverde
- Olon
- Palmar
- Puerto Lucia
- Punta Carnero
- Punta Blanca
- San Pablo
- Santa Rosa
- Salinas
- Valdivia



Ballenita



Chulluipe



San Pablo



Punta Blanca



Capaes

Fig. 1.4 Playas - Provincia de Santa Elena

Existen otras playas ubicadas a lo largo de la Provincia de Santa Elena, por lo que actualmente se la denomina como la Provincia de los Balnearios.

Además de la parte turística, la economía de la Provincia de Santa Elena se basa en el sector pesquero y petrolero.

La Refinería “La Libertad” es el principal referente petrolero de la provincia y se encuentra ubicada en el Cantón La Libertad.[8].

Está diseñada para procesar aproximadamente 45000 BPDO (barriles por día de operación) de petróleo, crudo extraído del

Oriente Ecuatoriano y de del cual se produce los siguientes derivados:

Producción diaria de la Refinería

La Libertad (BPD)

GLP	667
Gasolina	6900
Diesel 1	800
JP4	1900
Diesel 2	9000
Fuel Oil 4	24500
Absorber Oil	10
Spray Oil	482
Solventes	320

Tabla 1.3. Distribución de la producción diaria de la Refinería de La Libertad

(Fuente: Tesis “Control y visualización de las etapas de recepción, filtrado y despacho de combustible de la planta Jet Fuel del terminal El Beaterio de Petrocomercial” –EPN – Autor: Francisco Andrade M – Pág. 30)

La Refinería La Libertad con 60 años de operación en la Provincia de Santa Elena es el centro refinador más antiguo del Ecuador, y ahora el segundo por su capacidad de producción. Durante los últimos años han existido varias denuncias, por la contaminación que se deriva de los efluentes que son evacuados directamente al mar en la zona de La Carioca, en La Libertad. Varias son las poblaciones afectadas.

1.2.2.1 Cifras relevante de la refinería La Libertad

- Requiere cabotaje continuo para abastecerse de crudo.
- Volumen procesado por año 14.03 MMB
- Aporte del Campo Ancón 0.81 MMB
- Producción de destilados 5.90 MMB
- Producción de Fuel Oil (4) 7.42 MMB
- Abastece el 21.71 % de la Demanda Nacional y el 33.73 % de la demanda regional.

La Refinería La Libertad es de alta conversión para procesar Fuel Oil y Residuo, aprovechando terreno adicional, instalaciones portuarias y demanda de naftas

de alto octano importadas. A continuación se presenta una imagen de la Refinería la libertad.



Fig. 1.5 Refinería La Libertad

A pesar de las buenas características que posee la Refinería La Libertad, la excesiva contaminación ambiental y el mal tratamiento de sus desechos afectan el bienestar de los pobladores.

Esta contaminación es proveniente de:

- Hornos, calderas, turbinas de gas del proceso.
- Caldera de CO
- Sistema de quemado
- Incineradores
- Equipos obsoletos que producen monóxido y dióxido de carbono.

- Pérdida de producto y energía a causa de fugas en los ductos, bridas y válvulas, producto de las altas temperaturas, alta presión, vibración, corrosión y fricción.
- Motores de compresión interna que son utilizados para comprimir los gases produciendo considerables cantidades de dióxido de carbono, óxido de nitrógeno e Hidrocarburo volátiles.
- Las Torres de enfriamiento que expulsan a la atmósfera residuos de hidrocarburo.
- Las áreas de tanques, islas de cargas, surtidores de despacho, bombas y laboratorios donde se trabaja con gasolina.[9]

1.2.3 Algas en la Provincia de Santa Elena

Las playas de la Provincia de Santa Elena contienen valores hidrobiológicos importantes, por ejemplo se encuentran concentraciones de clorofila que van del 0,5 a 1,8 mg/m³, que indican presencia de biomasa fitoplanctónica. [10]

Debido a que existe presencia de diatomeas como: Rhizosolenia, Nitzschia, Coscinodiscus, Thalassiosira, Chaetoceros y Cilindrotheca; y además dinoflagelados como: Protoperidiniumsp, Protoperidiniumbrochii y Diplopsalisminor, aunque aún no se ha estudiado totalmente el mar peninsular, por lo que se considera que pueden existir otras especies de algas.

También existen algas macroscópicas que constituyen parte fundamental de la flora marina peninsular, que son las principales afectadas por la contaminación petrolera que se da en la Península de Santa Elena.

Los principales géneros se muestran en la tabla 1.4:

CLOROPHYTAS	RODOPHYTAS	PHAEOPHYTAS
Enteromorpha	Hypnea	Sargassum
Cladophora	Gracilaria	Padina
Chaetomorpha	Gelidium	Colpomenia
Melosyra	Ahnfeltia	Spatoglossum
Ulva	Carollina	Dyctiota
Codium	Pterocladia	
Briopsis	Amphiroa	
Menostroma	Jania	
Boodlea	Pterosiphonia	

Tabla 1.4 Flora marina peninsular

Fuente: Tesis “Elaboración del Plan de contingencias para las operaciones hidrocarburíferas desarrolladas en el campo Gustavo Galindo Velasco” – EPN – pág. 24 – Autores: Luis Velastegui y Cynthia Veloz

En el 2006 se presentaron investigaciones hechas por el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR) [11] en el mar peninsular cuyos resultados mostraban que las especies de mayor ocurrencia en el área en estudio fueron *Thalassiosira subtilis* y *PseudoNitzschia delicatissima* observadas en los contajes celulares.

Mientras que en muestras de red (50u), se registraron especies típicas de ambiente marino: *Coscinodiscus excentricus*,

Leptocylindrus danicus, Cyclotella meneghiniana,
Dactylosolen mediterraneus, Thalassiosira subtilis.

Los estudios realizados por el INOCAR (año 2006), muestran diversidad de algas en las costas peninsulares, entre ellas está la Pseudo-nitzschia delicatissima, que se encuentra en las áreas de transectas 3 y 5.

Área de Transectas: Corresponden cinco transectas:

Transecta 1: Estaciones 1 a 4.

Transecta 2: Estaciones 5 a 8.

Transecta 3: Estaciones 9 a 12.

Transecta 4: Estaciones 13 a 16.

Transecta 5: Estaciones 17 a 20.

En la figura 1.6 se detalla la ubicación de las algas en áreas peninsulares:

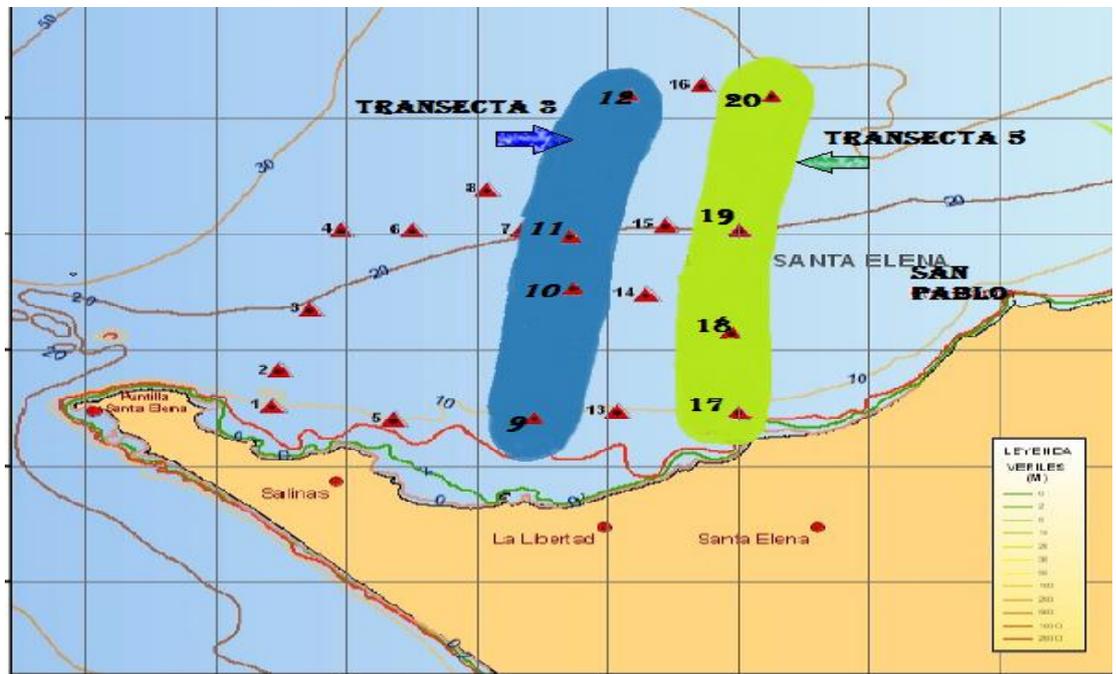


Fig. 1.6 Ubicación de algas a estudiar en costas peninsulares

La figura anterior muestra que hay grandes concentraciones de microalgas que tienen buenas características para la extracción de biocombustibles frente a la costa de la población de San Pablo, sector reconocido por ser una zona pesquera de la Península de Santa Elena que cuenta con zonas deshabitadas, en las que actualmente no se encuentra vegetación alguna.

Además cuenta con una amplia playa en la cual se pueden extraer diversidad de recursos marinos. Razón por la cual el proyecto de producción de biodiesel se la realizará en esta zona peninsular.

Agua

San Pablo es un pueblo ubicado a la orillas del mar, por lo tanto cuenta con grandes volúmenes de agua, lo cual favorece el crecimiento y producción de aceite. Esta fuente de agua es netamente salina, proveniente de la playa de San Pablo.

Además debido a que el agua no se contamina en el proceso de producción de aceite, puede ser reutilizable casi en su totalidad, por lo que no es requisito estar en presencia de un flujo de agua continuo.

Nutrientes

Para la producción de biomasa de Microalgas es necesario tener en cuenta el tipo de alga utilizado, debido a que tienen diferentes comportamientos a los tipos de nutrientes.

La fuente de nutrientes se la puede obtener realizando modificaciones al sistema de aguas servidas que actualmente posee dicha población.

Actualmente varios países utilizan el método de cultivo de Microalgas por medio de la masificación, ellos preparan un

medio donde las Microalgas alcanzan su máximo rendimiento productivo.

Dióxido de carbono

Las microalgas utilizan altos volúmenes de CO₂ provenientes de procesos industriales y de generación, por lo que es necesario tener una fuente contaminante para que los cultivos de Microalgas puedan ser altamente eficientes.

Actualmente se está desarrollando un proyecto de almacenamiento de gas licuado cerca de la zona, por lo que es necesario hacer un análisis de que tanta contaminación con CO₂ puede representar este proyecto, sin descartar las opciones de utilizar las emisiones de CO₂ de la centrales de generación que se encuentran en la península de Santa Elena y de la contaminación que se genera a diario en la refinerías de petróleo.

1.2.3.1 Análisis de transectas 3 y 5

Luego de escoger las respectivas muestras y realizar los análisis de clorofila, biomasa celular, fitoplancton (Red 50 u) y contajes celulares se determinó lo siguiente:

Área de Transectas

“Transecta 3” Estaciones 9 a 12:

Clorofila.- En flujo (E.11), se registró concentraciones de 1.18 mg/m^3 a nivel superficial. En el estrato del medio (E.12), se observaron bajas concentraciones de 0.78 mg/m^3 . En el estrato de fondo (E.11) se registró una concentración de 0.68 mg/m^3 . Los menores valores se encontraron en superficie con 0.08 mg/m^3 (E.12).

En reflujo (E.10), se observaron altas concentraciones de 1.40 mg/m^3 a nivel superficial. En el estrato de medio (E.11), se registró una concentración de 0.92 mg/m^3 . En el estrato de fondo (E.11) se registró un valor de 0.44 mg/m^3 . Los menores valores se encontraron en el estrato de fondo (E.12) con 0.06 mg/m^3 .

Biomasa Celular

Superficie: En flujo se observó una concentración celular de 825 cel/l. La mayor biomasa celular se registró en la estación 9 con 267 cel/l y la menor se observó en la estación 11 con 167 cel/l registrándose un total de 18 especies.

En refluo se observó una concentración celular con 781 cel/l. La mayor biomasa celular se registró en la estación 12 con 271 cel/l y la menor biomasa se observó en la estación 9 con 155 cel/l, registrándose un total de 14 especies.

La composición de las especies fueron:
Thalassiosirasubtilis,
MesodiniumrubrumCoccinodiscusexcentricus, Pseudo-
nitzschiadelicatissima, Gymnodiniumsp.

Fitoplancton (Red 50 u).

Arrastres superficiales.- En la estación 9 se registró una muy abundante densidad celular de 4.158 cel/m³ y 45 especies distribuidas en: Diatomeas (26), dinoflagelados (17), tintinnidos (2). Los géneros

predominantes fueron: *Pyrocystissteinii*,
Protoperidiumdepressum, *Goniodomapolypedricum*,
Leptocylindrusdanicus, *Chaetocerosdebilis*.

En esta transecta se registró un total de 10.188 cel/m³.
La menor abundancia relativa se observó en la estación
11 con 1.806 cel/m³

“Transecta 5 “Estaciones 17 a 20:

Clorofila a.- En flujo (E.17-18), se registraron núcleos de clorofila con 1.64-3.52 mg/m³ a nivel superficial. En el estrato del medio (E.20), se observó una concentración de 0.78 mg/m³. En el estrato de fondo (E.17-18) se registraron repuntes de clorofila con 1.38-1.49 mg/m³. Los menores valores estuvieron en el estrato superficial con 0.12 mg/m³ (E.20).

En reflujo (E.17), se observó una concentración de 1.50 mg/m³ a nivel superficial. En el estrato de medio (E.17), se registró una alta concentración de 1.42 mg/m³. En el

estrato de fondo (E.20) se registró un valor bajo con 0.04 mg/m³, siendo el menor valor dentro de este perfil.

Biomasa celular

Superficie: En flujo se observó una alta concentración celular de 1.013 cel/l. La mayor biomasa celular se registró en la estación 20 con 328 cel/l y la menor se observó en la estación 18 con 137 cel/l registrándose un total de 27 especies.

En reflujo se observó una baja biomasa celular de 892 cel/l. La mayor biomasa celular se registró en la estación 20 con 335 cel/l y la menor biomasa se observó en la estación 18 con 139 cel/l, registrándose un total de 19 especies.

La composición de las especies fueron: Pseudo-nitzschia delicatissima, Rhizosolenia imbricata, Thalassiosira subtilis, Mesodinium rubrum, Gymnodinium sp.

Fuente: María Elena Tapia, Acta oceanográfica del pacífico. Vol. 15, N°1, 2009 "Productividad del fitoplancton en la bahía de Santa Elena, Ecuador durante mayo del 2006"

1.3 Proyecto MDL y Protocolo de Kioto

1.3.1 Proyecto MDL

La mitigación del cambio climático es prioritaria para la mayoría de los países del mundo y aunque los países en vías de desarrollo, por ahora, no tienen responsabilidades de reducción de emisiones, sus contribuciones pueden ser recompensadas. Muchos son los proyectos que pueden generar reducciones/remociones de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y recibir un reconocimiento monetario por este servicio: los forestales y de bioenergía están en la lista. El aumento de la cobertura vegetal a través de plantaciones forestales, sistemas agroforestales, sistemas silvopastoriles y regeneración forestal asistida remueve CO₂ de la atmósfera a través del proceso de fotosíntesis, mientras que la biomasa y los residuos de biomasa usados para la generación de energía reducen las emisiones GEI a través de la sustitución de combustibles fósiles y la evitación de su decaimiento/liberación.

1.3.2 La Convención sobre el clima y el Protocolo de Kioto

En la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC)(1992) los países del mundo reconocieron el problema del calentamiento global y acordaron hacer esfuerzos para reducirlo. El objetivo de la convención es estabilizar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a un nivel que prevenga interferencias antropogénicas peligrosas con el sistema climático. Se estableció que la meta se alcanzaría en un plazo que permita que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, que asegure que la producción de alimentos no se vea amenazada y que garantice las condiciones para el desarrollo sostenible.[12]

1.3.3 MDL

El Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), permite a los países industrializados a adquirir Certificados de Reducción de Emisiones (CERs) provenientes de actividades de proyecto implementadas en países en desarrollo.[13]

Las únicas actividades forestales elegibles bajo el MDL son forestación y reforestación. Estas pueden incluir forestación o

reforestación de tierras degradadas, conversión de tierras agrícolas a sistemas agroforestales y plantaciones forestales, entre otras.

1.3.4 Proyecto de obtención de biocombustible a partir de algas con respecto al MDL

El estudio de desarrollar una alternativa de elaborar un combustible limpio a partir de algas marinas, no afecta al medio ambiente; por lo tanto no contribuye con las emisiones de gases de efecto invernadero que contaminan al planeta; tal como se menciona en el protocolo de Kioto.

Con respecto a las actividades forestales elegibles bajo el MDL, el espacio físico que se estudiará para realizar el cultivo de algas marinas previo a la obtención de biocombustible, constituye tierras degradadas y abandonadas, que anteriormente fueron usadas como camaroneras. Lo cual implica una reforestación de estos terrenos áridos, con algas marinas que contribuyen a la protección del medio ambiente; ya que éstas se alimentan de CO₂. [14]

1.4 Análisis de la constitución del Ecuador con respecto al medio ambiente

En el desarrollo de nuestro proyecto es muy importante tomar en cuenta las leyes y normas que se deben considerar y respetar en lo que concierne a la protección del medio ambiente. Es decir se debe considerar no sólo los aspectos desde el punto de vista económico del proyecto, sino también aspectos ambientales del sector objetivo, donde implantaremos la infraestructura necesaria para desarrollar la materia prima (algas marinas) y obtener los resultados (biocombustible).

Debemos hacer énfasis que el objetivo de nuestro proyecto es implementar en el mercado ecuatoriano el uso de energías renovables como lo son los biocombustibles, con el fin de reemplazar poco a poco el uso del petróleo, que es un contaminante y optar por un combustible natural que reducirá las emisiones de efecto invernadero; tal como lo promueve el Art. 89 Sección Segunda del medio ambiente y el Art. 15 de la constitución Capítulo segundo Derechos del buen vivir Sección primera Agua y alimentación.

Cabe recalcar que el proyecto que consiste en obtener combustible a partir de algas marinas, no contamina el medio ambiente con gases de efecto invernadero. Por lo tanto la investigación se encamina a lo

que señala la política del sector eléctrico, que se explicará posteriormente.

A continuación destacamos puntos importantes de la constitución del Ecuador con respecto al medio ambiente: [15]

1.4.1 Sección segunda del medio ambiente

Art. 86.- El Estado protegerá el derecho de la población a vivir en un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice un desarrollo sustentable. Velará para que este derecho no sea afectado y garantizará la preservación de la naturaleza.

Se declaran de interés público y se regularán conforme a la ley:

La preservación del medio ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país.

La prevención de la contaminación ambiental, la recuperación de los espacios naturales degradados, el manejo sustentable de los recursos naturales y los requisitos que para estos fines deberán cumplir las actividades públicas y privadas.

El establecimiento de un sistema nacional de áreas naturales protegidas, que garantice la conservación de la biodiversidad y

el mantenimiento de los servicios ecológicos, de conformidad con los convenios y tratados internacionales.

Art. 87.- La ley tipificará las infracciones y determinará los procedimientos para establecer responsabilidades administrativas, civiles y penales que correspondan a las personas naturales o jurídicas, nacionales o extranjeras, por las acciones u o misiones en contra de las normas de protección al medio ambiente.

Art. 88.- Toda decisión estatal que pueda afectar al medio ambiente, deberá contar previamente con los criterios de la comunidad, para lo cual ésta será debidamente informada. La ley garantizará su participación.

Art. 89.- El Estado tomará medidas orientadas a la consecución de los siguientes objetivos:

Promover en el sector público y privado el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes.

Establecer estímulos tributarios para quienes realicen acciones ambientalmente sanas.

Regular, bajo estrictas normas de bioseguridad, la propagación en el medio ambiente, la experimentación, el uso, la comercialización y la importación de organismos genéticamente modificados.

Art. 90.- Se prohíben la fabricación, importación, tenencia y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, así como la introducción al territorio nacional de residuos nucleares y desechos tóxicos.

El Estado normará la producción, importación, distribución y uso de aquellas sustancias que, no obstante su utilidad, sean tóxicas y peligrosas para las personas y el medio ambiente.

Art. 91.- El Estado, sus delegatarios y concesionarios, serán responsables por los daños ambientales, en los términos señalados en el Art. 20 de esta Constitución.

Tomará medidas preventivas en caso de dudas sobre el impacto o las consecuencias ambientales negativas de alguna acción u omisión, aunque no exista evidencia científica de daño.

Sin perjuicio de los derechos de los directamente afectados, cualquier persona natural o jurídica, o grupo humano, podrá

ejercer las acciones previstas en la ley para la protección del medio ambiente.

1.4.2 Capítulo segundo derechos del buen vivir - sección primera - agua y alimentación

Art. 12.- El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida.

Art. 13.- Las personas y colectividades tienen derecho al acceso seguro y permanente a alimentos sanos, suficientes y nutritivos; preferentemente producidos a nivel local y en correspondencia con sus diversas identidades y tradiciones culturales.

El Estado ecuatoriano promoverá la soberanía alimentaria.

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, sumakkawsay.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la

integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

Se prohíbe el desarrollo, producción, tenencia, comercialización, importación, transporte, almacenamiento y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, de contaminantes orgánicos persistentes altamente tóxicos, agroquímicos internacionalmente prohibidos, y las tecnologías y agentes biológicos experimentales nocivos y organismos genéticamente modificados perjudiciales para la salud humana o que atenten contra la soberanía alimentaria o los ecosistemas, así como la introducción de residuos nucleares y desechos tóxicos al territorio nacional.

1.4.3 Sección séptima – biosfera, ecología urbana y energías alternativas.

Art.413.- El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua.

Art.414.- El Estado adoptará medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático, mediante la limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero, de la deforestación y de la contaminación atmosférica; tomará medidas para la conservación de los bosques y la vegetación, y protegerá a la población en riesgo.

Art.415.- El Estado Central y los Gobiernos Autónomos descentralizados adoptarán políticas integrales y participativas de ordenamiento territorial urbano de uso del suelo. Los gobiernos autónomos descentralizados desarrollarán programas de uso racional de agua y de reducción, reciclaje y tratamiento adecuado de desechos sólidos y líquidos.

1.4.4 Leyes y Políticas

Ley de gestión ambiental.

Establece los principios y directrices de la política ambiental; determina las obligaciones, responsabilidades, niveles de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones en esta materia.

Ley del sector eléctrico

Está en proceso de elaboración, pero establecerá los principios y directrices de la política energética del sector eléctrico, energías renovables (entre ellas biocombustibles) y eficiencia energética.

Políticas ambientales

D.E. No. 1815 “Declara como política de Estado la adaptación y mitigación al cambio climático y establece que todos los proyectos que ejecuten las entidades del sector público tendrán la obligación de contemplar en su ingeniería financiera una cláusula de adicionalidad con la finalidad de acceder en lo posterior a MDL.

Políticas energéticas

Promover el desarrollo sustentable de los recursos energéticos e impulsar proyectos con fuentes de generación renovable.

Implementar tecnologías de uso eficiente de la energía, desarrollar planes de reducción de pérdidas y promover el uso racional y eficiente de la energía en la población.

1.5 Descripción del Proyecto

El presente proyecto tiene como objetivo principal realizar un estudio de proceso de producción de biodiesel usando algas.

Previo a esto se analizarán aspectos: económicos, técnicos, y área de factibilidad para el cultivo de las algas; de los procesos y métodos aplicables para la obtención de biodiesel.

Luego se explicará el proceso final, que dará como resultado el biodiesel y se implementará esta alternativa de producción de combustible en la Península (Ecuador).

CAPITULO 2

MATERIA PRIMA Y MÉTODOS APLICABLES PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITE ALGAL

En este capítulo analizará la materia prima que se utilizará para producir biocombustible, en este caso las algas marinas. Se dará a conocer las formas que existen para cultivarlas y los métodos para extraer el aceite, que hará posible la obtención de biodiesel.

También se analizará un lugar estratégico en el Ecuador donde se efectuará el estudio y qué tipo de algas podemos utilizar para la obtención de combustible.

2.1 Algas

Son organismos autótrofos, que realizan la fotosíntesis, tomando para ello grandes cantidades de dióxido de carbono que se encuentran en su entorno acuático.

No son plantas, pero si son similares a ellas. Las algas producen lípidos, crecen con rapidez y no necesitan del uso de tierras de cultivo productivas. Algunas de ellas emplean diferentes fuentes alternativas de nutrición, como las aguas residuales.

Son los más eficientes conversores de energía solar debido a su sencilla estructura celular. Además al estar suspendidas en agua, tienen un mejor acceso al CO₂ y otros nutrientes. Se encuentran ampliamente distribuidas en la biósfera adaptadas a una gran cantidad de condiciones.

Las Microalgas son una fuente de producción de energía continua, inagotable y no contaminante porque no moviliza carbono fósil. Por lo que reduce considerablemente el efecto invernadero y a su vez restablecer el equilibrio térmico del planeta.

Por lo que se considera que las Microalgas son las captadoras de radiación solar más eficaces, también crecen rápidamente y se desarrollan en unos pocos días, algo que no sucede con el girasol, soja, mostaza y palma.

2.1.1. Especies de microalgas y su nivel de contenido de lípidos

Las microalgas tienen una extensa variedad de especies, debido a que éstas se desarrollan en diferentes ambientes.

Actualmente se han tipificado más de 65 000 especies, y cada una de estas producen diferentes tipos de lípidos, hidrocarburos y otros aceites complejos, de las cuales no todas son aptas para producir biodiesel.[16]

En algunas microalgas el contenido de aceite puede exceder el 80 % de peso de biomasa seca, pero la mayoría de ellas poseen niveles del 20 al 50 %.

En la figura 2.1 que se muestra a continuación se detalla los diferentes tipos de algas:

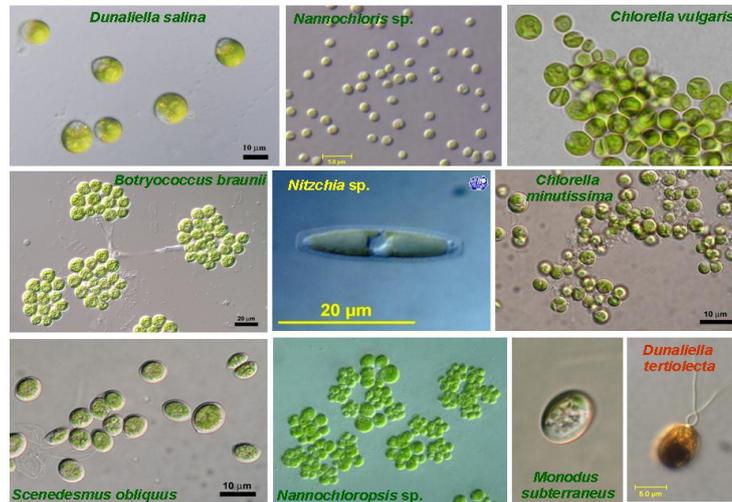


Fig. 2.1 Tipos de algas

Los lípidos de las microalgas son principalmente ésteres de glicerol formados por ácidos grasos con cadenas constituidas de 14-20 átomos de carbono, los cuales pueden ser saturados o insaturados.

Entre los ácidos grasos poli insaturados que se presentan más a menudo en las microalgas están:

- Ácido eicosapentaenoico
- Ácido arachidónico
- Ácido linoleico
- Ácido linolénico

Estos ácidos tienen importantes aplicaciones terapéuticas como por ejemplo: reducción del colesterol en la sangre, protección frente a las enfermedades coronarias y cardiovasculares, disminución de procesos inflamatorios crónicos, mejoría de la visión, favorecimiento del desarrollo neurológico infantil. Aumentar su contenido dentro de la célula resulta por lo tanto, interesante para algunos empleos comerciales.

Los triglicéridos son los lípidos de reserva por excelencia, pudiendo llegar a constituir hasta el 80% del total de la fracción lipídica total y se acumulan principalmente en forma de gotitas de aceite en el interior del citoplasma.

Las otras clases de lípidos están representadas principalmente por lípidos polares que son componentes importantes de la membrana citoplásmica y la membrana tilacoidal que constituyen los cloroplastos. Entre ellos encontramos a los fosfolípidos y galactolípidos en porcentaje variable según la especie.

La cantidad total de lípidos, así como la tipología de los ácidos grasos presentes, además de ser específica para cada especie,

está ligada a factores ambientales como la intensidad luminosa, pH, salinidad, temperatura, concentración de nitrógeno y otros nutrientes en el medio de cultivo.

Modificando uno o más de estos parámetros, el alga reacciona modificando su perfil químico.

A continuación en la tabla 2.1 se muestra el contenido de aceite de algunas especies de microalgas.[17]

Especie	Contenido de aceite (% peso de biomasa seca)
Botryococcusbraunii	25 - 75
Chlorellasp	28 - 32
Cryptocodiniumcohnii	20
Cylindrothecasp	16 - 37
Dunaliellaprimolecta	23
Isochrysis	25 - 33
Monallanthussalina	20
Nannochloris	20 - 35
Nannochloropsis	31 - 68
NeochlorisOleoabundans	35 - 54
Nitzschiasp	45 - 47
Phaeodactylumtricornutum	20 - 30
Schizochytriumsp	50 - 77
Tetraselmisuecica	15 - 23

Tabla 2.1 Contenido de aceite de algunas especies de microalgas

Fuente: Introducción a Ingeniería Bioquímica producción de biodiesel a partir de Microalgas, Autores: Camila Barraza - Vanessa Collao - Camila Espinoza - Francisco Moya - Gabriel Thun - Mauro Torres “Biodiesel frommicroalgae”, YusufChisti. Institute of Technology and Engineering, Massey University, Private Bag 11 222, Palmerston North, New Zealand.

La diversidad de las algas ha obligado a dividir las en tres grandes grupos, y estos son:

Diatomeas (Bacillariophyceae): Dominan en el fitoplancton de los océanos. También pueden encontrarse en agua fuera de los océanos. Existen alrededor de 100 mil especies conocidas.

Contiene sílice polimerizado en sus paredes celulares. Todas sus células almacenan carbón en diversas formas, por ejemplo almacenan carbón en forma de aceites naturales o como polímeros de carbohidratos.[18]

2.1.2. Selección de la especie de microalga más eficiente.

Para la elaboración de biodiesel a partir de microalgas debemos tomar en cuenta varios parámetros, el principal es la de seleccionar la especie adecuada.

La especie debe ser; de crecimiento rápido, alto contenido de producto de alto valor agregado, desarrollo en ambientes extremos, células grandes en colonias o filamentos, gran tolerancia a condiciones ambientales, tolerancia a altos niveles de dióxido de carbono (15 % o más), a contaminantes y al efecto físico de la agitación o turbulencia. Además no debe excretar auto- inhibidores.

Las especies que más destacan para la producción de biocombustible son: *Chlorella*, *Dunaliella*, *Nannochloris* y *Botryococcusbraunii*. *Nannochloris* y *Dunaliella* son especies con buenas ventajas para ser cultivadas en zonas costeras.

La tabla 2.2 muestra las especies de algas utilizadas por algunas refinerías.[19]

Algas	Aceite (litros/ha)	Ocupación alga	Lugar
Chlorella	70 – 75	40 %	Nuevo México
Dunaliella	140 – 145	57 %	Israel
Spirulina	No obtiene	Estanque, casi total	Hawái
Varias	10000	Variable	Alicante (España)
No citada	65 – 75	Variable	Sevilla (España)
Varias	3000	Variable	Argentina, Oil Fox

Tabla 2.2 Rendimiento de algas utilizadas por algunas refinerías

Fuente: Las Microalgas oleaginosas como fuente de biodiesel: retos y oportunidades, autor: Maribel M. Loera-Quezada y Eugenia J. Olguín

2.1.3. Métodos de cultivo de microalgas

Las formas más conocidas de producir microalgas son:

- Estanque de microalgas
- Los fotobiorreactores

2.1.3.1 Estanque de microalgas

Forma más simple de cultivo, se trata de piscinas expuestas a la luz solar. Existen dos tipos de cultivos de estanques:

- Cultivos en estanques al aire libre
- Cultivos de tanques de invernadero

Cultivos en estanques al aire libre

Forma sencilla de cultivar microalgas; son piscinas descubiertas expuestas al sol, el agua contiene nutrientes para que las microalgas se reproduzcan más rápido. Sistema menos eficiente pero el más económico, a nivel industrial no resulta rentable.

Cultivos de tanques en invernaderos

Se utilizan tanques de agua para los cultivos de microalgas protegidos por invernaderos, este sistema permite un mejor control de la temperatura y menor

pérdida de agua, lo cual provocan una mayor reproducción y por lo tanto mayor rendimiento.

Los estanques se diseñan de tal manera que dentro ellos sea posible hacer circular agua y nutrientes constantemente, alrededor y conjuntamente con las microalgas; y también son poco profundos para que la luz pueda penetrar.

De tal manera las microalgas se mantienen suspendidas en el agua y, con frecuencia regular, son traídas a la superficie. Es decir, el agua y los nutrientes para las microalgas son suministrados constantemente. El agua que contiene algas es recibida al otro lado del estanque. Es necesario un sistema de “cosecha” para separar el agua de las algas que contienen aceite natural.

En la figura 2.2 que se muestra a continuación observamos los estanques o sistemas abiertos para el cultivo de algas.



Fig. 2.2 Estanques o sistemas abiertos

2.1.3.2 Los fotobiorreactores

Es un sistema capaz de generar la fotosíntesis de las clorofilas existentes en los ecosistemas marinos con el fin de producir microalgas, tanto para propósitos de investigación multidisciplinar, como para la obtención de biocombustibles alternativos. Son colocados al exterior para captar mayor cantidad de radiación solar, así aprovechan la radiación natural y la artificial, lo que les da mayor ventaja frente a los estanques. Pueden ser situados también dentro de invernaderos de plásticos o de cristal, para así disponer de una temperatura ambiente más elevada. Son muy costosos.

En la figura 2.3 se puede observar un fotobiorreactor:



Fig. 2.3 Fotobiorreactor

Requisitos de un Fotobiorreactor

Una planta (foto-bio-reactor) destinada a la producción foto-biológica de hidrógeno debe cumplir simultáneamente con una serie de requisitos:

- 1) Ya que el hidrógeno debe ser recolectado, el foto-bio-reactor debe ser un sistema cerrado.

- 2) Ya que debe ser posible mantener un monocultivo por un tiempo prolongado, la esterilización del foto-bio-reactor debe ser rápida y práctica.

- 3) Debe utilizar la luz solar como fuente de energía

4) Ya que la productividad de un foto-bio-reactor es limitada por la cantidad incidente de luz, la relación entre la superficie y el volumen debe ser alta.

5) Ya que las eficiencias foto-químicas son bajas (10 % teórico), y tienden a decrecer a altas intensidades de luz, es importante diluir y distribuir la luz lo más posible a través del volumen del reactor o a través del mezclado a altas tasas del monocultivo, para que las células solo estén expuestas a la luz por un corto período de tiempo.

Rendimientos energéticos de los Foto-bio-reactores

A un nivel máximo de eficiencia de conversión de luz solar (10 %), un proyecto de un fotobio-reactor de 1.000 hectáreas podría producir teóricamente 21.300 tonde hidrógeno molecular por año, lo cual es equivalente a 3 PJ ($3 \cdot 10^{15}$ J). Un sistema de las mismas características en el desierto podría producir teóricamente 4,6 PJ y 5,23 PJ de energía a base de hidrógeno por año, dada la mayor incidencia relativa de la luz solar en estas áreas.

Una ventaja adicional, es que los sistemas foto-biológicos de producción de energía pueden producir “hidrógeno limpio” (entre un 10-20 % de CO₂ adicional), el cual puede ser transportado fácilmente y usado directamente en las células de combustible de hidrógeno.[20]

2.1.3.3 Raceways y Sistemas de Acuicultura por Etapas

Los sistemas de raceways, también conocidos como sistemas de flujo continuo, fueron desarrollados para estimular la acuicultura en territorios tierra adentro.

El raceway se fundamenta en el movimiento continuo de agua dentro de la estructura para mantener sus niveles de calidad. Los Sistemas de Acuicultura por Etapas, que implican el uso de una serie de raceways dentro de la infraestructura acuícola, representan lo último en tecnología de raceways.

Generalmente, una aireación adecuada de los raceways puede ser muy costosa, debido a que se necesita bombear grandes volúmenes de agua a intervalos regulares para mantener una buena aireación. La manguera difusora Aero-Tube™ de Colorite ayuda a reducir drásticamente dichos costos, mediante la

continua y eficiente entrega de oxígeno, con muy bajo mantenimiento.

En las figuras 2.4 y 2.5 que se muestran a continuación se aprecian el sistema raceway, que se puede utilizar para cultivar algas marinas.



Fig. 2.4 Sistema Raceway al aire libre con tubos de aireación



Fig. 2.5 Raceways externos para maternización con manguera difusora

2.1.4. Métodos para la obtención de aceite algal

Cuando las algas están secas retienen el aceite, que puede ser extraído con una prensa de aceite. Muchas empresas de aceite vegetal utilizan una combinación mecánica y solventes químicos para la extracción del aceite.

2.1.4.1 Método de prensado

Prensado simple

La prensa extrae el aceite mecánicamente mediante fricción lo que da lugar a una generación de calor. El aceite producido se desliza por las superficies metálicas. El rendimiento depende de la presión que se ejerza.

La presión interna en una prensa es de 2800 a 3000 kg/cm², que produce el consiguiente desgaste. En el aceite se puede encontrarse material de desgaste de hierro, en el producto final en pequeñas cantidades



Fig. 2.6. Prensa modelo XP 100

La prensa tiene grandes posibilidades de ajustes. Procesa alrededor de 150 kg materia por hora. Se puede ajustar la presión en la cámara de prensado mientras que está en marcha.

Dispone de una serie de sensores que interrumpen la operación cuando existe un impedimento. Esto puede ser muy interesante para una máquina que está diseñada para estar en marcha las 24 horas por día todos los días del año.

La máquina dispone de un motor, imanes en las entradas, posibilidad de precalentar la semilla a una

temperatura determinada para mantener una producción bien definida y estable.

Prensado más solvente orgánico

La extracción con el método de expeler/exprimir puede usarse solo o combinado con la extracción con solventes orgánicos.

Se puede extraer aceite de las algas usando productos químicos. Los dos métodos comúnmente utilizados son la extracción con solventes orgánicos y la extracción Soxhlet que es más utilizada a nivel laboratorio.

Se han utilizado benceno y éter, pero la sustancia química más empleada para la extracción con solvente es el ciclohexano, que es relativamente barato.

La extracción con solventes es básicamente un proceso de difusión de un solvente en las células que contienen aceite como materias prima, dando como resultado una solución de aceite en solvente.

Después de que el aceite se haya extraído por el método de expeler/ exprimir, se mezcla la pulpa restante con ciclohexano para extraer el aceite residual. El aceite se disuelve en el ciclohexano, y la pulpa se elimina de la solución. Se separan el aceite y el ciclohexano por destilación. El disolvente recuperado se recicla para volver a ser utilizado y la biomasa residual se puede dedicar a fines energéticos, alimentación animal o como materia prima para extracción de otros compuestos de valor añadido.

De esta forma, si se emplea un disolvente adecuado se producirá un aceite muy similar al obtenido a partir de los cultivos vegetales que a se utilizan para la producción de biodiesel.

La desventaja de la utilización de solventes para la extracción de aceites es el peligro inherente al trabajar con productos químicos. Los solventes químicos presentan riesgos de explosión.

Estas dos etapas, extracción con prensa y la extracción con solventes orgánicos, serán capaces de sacar más del 95% del aceite total presente en las algas.

Se considera que es necesario 1,5 kg de solventes (ciclohexano) para tratar 1kg de microalgas después de la extracción de aceite por prensado.

2.1.4.1 Extracción Enzimática

La extracción enzimática se fundamenta en la utilización de agua como disolvente y en enzimas que degradan las paredes celulares para facilitar la separación del aceite y de las proteínas. El aceite que se encuentra dentro de células de las algas, está vinculado con una importante cantidad de carbohidratos como almidón, celulosa, y pectinas. El contenido de la célula está rodeado por una pared espesa que debe ser abierta para que se liberen las proteínas y el aceite.

Después de la apertura por degradación enzimática, se utiliza vapor para el fraccionamiento de los componentes.

Las enzimas utilizadas pueden ser celulasa o glicoproteinasa. La celulasa es la enzima que se encarga de la descomposición de la celulosa de las plantas. La celulosa es un polisacárido que forma la membrana de las células vegetales y que constituye la principal materia estructural de los vegetales, especialmente las paredes. La glicoproteinasa provee las mismas funciones que la celulasa pero es más efectivo en las paredes celulares de las microalgas, cuya estructura contiene más glicoproteínas que celulosas.

Este método, que se llama “hidrólisis enzimática”, es ventajoso porque no genera productos tóxicos durante el proceso productivo. No se utiliza hexano u otros solventes orgánicos, hay menos riesgos medioambientales. Los productos obtenidos son de calidad superior.

Además, las enzimas pueden ser recicladas y volver a utilizarse en un próximo proceso extractivo. En consecuencia se trata de un proceso mucho menos contaminante, debido a que se obtiene un producto

biodegradable con el uso de un reactivo que también es biodegradable.

En la actualidad, la hidrólisis enzimática se produce mediante una enzima proveniente de *Cándida antártica*. En Argentina, por ejemplo, han hecho investigaciones para utilizar esta técnica, sin embargo en Argentina no existen empresas que se dediquen a inmovilizar enzima, no queda otro remedio más que importarlas. Inmovilizar enzimas implica aislarlas, por ejemplo, de algún órgano como hígado porcino o producirlas por biotecnología y luego pegarlas a una matriz polimérica para asegurar que perduran durante y después del proceso de producción. Al estar inmovilizadas las enzimas se favorece su procesamiento. En la etapa final se filtra la mezcla resultante y puede separarse fácilmente el producto obtenido de los reactivos utilizados para obtener las enzimas.

2.1.4.2 Extracción con ultrasonido

Uno de los métodos más prometedores para realizar una disrupción para recuperar productos intracelulares de las microalgas consiste en la aplicación de ultrasonidos de alta frecuencia.

La extracción asistida por ultrasonido utiliza sonidos de alta frecuencia (aproximadamente 20 KHz), con el fin de desprender el compuesto buscado de la materia vegetal. Las partículas sólidas y líquidas vibran y se aceleran ante la acción ultrasónica, como resultado el soluto pasa rápidamente de la fase sólida al solvente.

Los fenómenos físicos que afectan la extracción de sustancias se ven afectados por la sonificación. Al reducir el tamaño de las partículas de la materia vegetal se aumenta el área de exposición al solvente y a la cavitación. El ultrasonido además facilita la rehidratación del tejido si se están utilizando materiales secos al abrir los poros, lo cual a su vez incrementa el transporte de masa de los constituyentes solubles por difusión y procesos osmóticos.

En la figura 2.7 siguiente se observan distintos equipos experimentales comúnmente utilizados en la extracción de sustancias asistida por ultrasonidos.

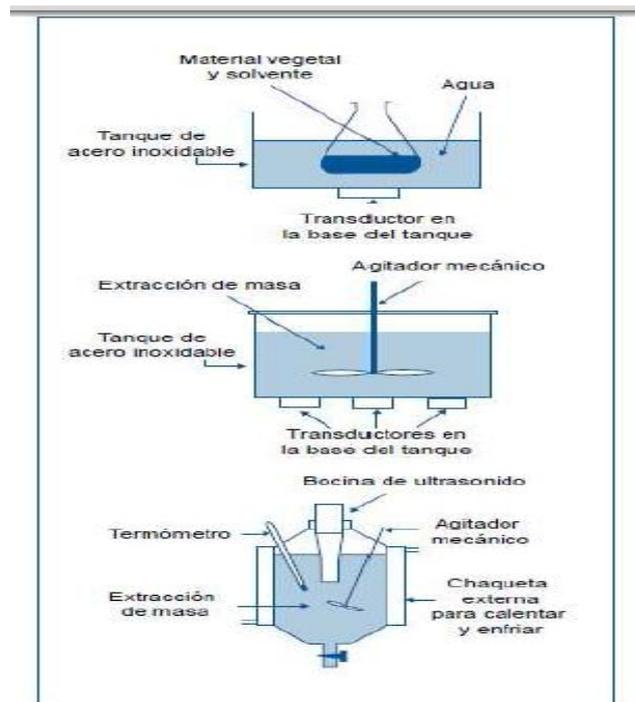


Fig. 2.7. Equipos experimentales utilizados para la extracción por ultrasonido

No es difícil la extracción asistida por ultrasonidos en laboratorio utilizando un baño, equipos que son fácilmente adquiribles en el mercado de varias marcas internacionales. También se pueden conseguir equipos de casas comerciales a escala industrial para utilizar en

procesos como homogeneización, emulsificación, dispersión, molienda y limpieza. Hay empresas en el mercado internacional que ofrecen el diseño de equipos para llevar a gran escala los descubrimientos en laboratorio. Algunos investigadores han propuesto diseños de equipos de extracción asistida por ultrasonido para ser utilizados en la industria, como se muestra en la fig. 2.8:



Fig. 2.8.Equipo de ultrasonido modelo UIP 16000

Un aparato de ultrasonido se utiliza para crear burbujas de cavitación en el solvente. La explosión de estas burbujas puede provocar su ruptura y la liberación del aceite que contiene.[21]

2.1.4.3 Extracción con fluidos supercríticos

En este proceso, se licua el dióxido de carbono y se calienta a presión para que actúe como solvente en la extracción de aceites.

Un fluido supercrítico es un cuasi-estado con propiedades intermedias entre líquidos y gases, como se puede ver en Tabla 2.3:

	Densidad (g/ml)	Viscosidad (g/cm x s)	Difusividad (cm ² /s)
Gas	10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻¹
Líquido	1	10 ⁻²	10 ⁻⁶
Fluido súper críticos	0.2 - 0.9	10 ⁻⁴	10 ⁻³

Tabla2.3 Orden de magnitud de fluidos en densidad, viscosidad y difusividad.

Fuente: “Extracción de compuestos bioactivos de microalgas mediante fluidos Supercríticos”, José Antonio Mendiola León, 2008

Tiene la propiedad de difundirse a través de los sólidos como un gas, y de disolver los materiales como un líquido. Adicionalmente puede cambiar rápidamente la densidad con pequeños cambios en la temperatura o presión. Estas propiedades le hacen apropiado como un

sustituto de los solventes orgánicos en los procesos de extracción.

En un diagrama de fases clásico como el de la siguiente figura, las curvas de fusión, sublimación y vaporización, muestran las zonas de coexistencia de dos fases. Hay un punto de coexistencia de tres estados que se llama el punto triple (PT).

El cambio de estado se asocia a un cambio brusco de densidad y, para que se produzca, es necesario un aporte extra de energía denominado entalpía de cambio de estado.

Sin embargo, por encima del punto crítico (PC), este cambio de densidad no se produce, por eso se podría definir este punto como aquel por encima del cual no se produce la licuefacción al presurizar, ni gasificación al calentar. Un fluido supercrítico es aquel que se encuentra por encima de dicho punto.

En la figura 2.9 se muestra un diagrama de fases de los estados de la materia

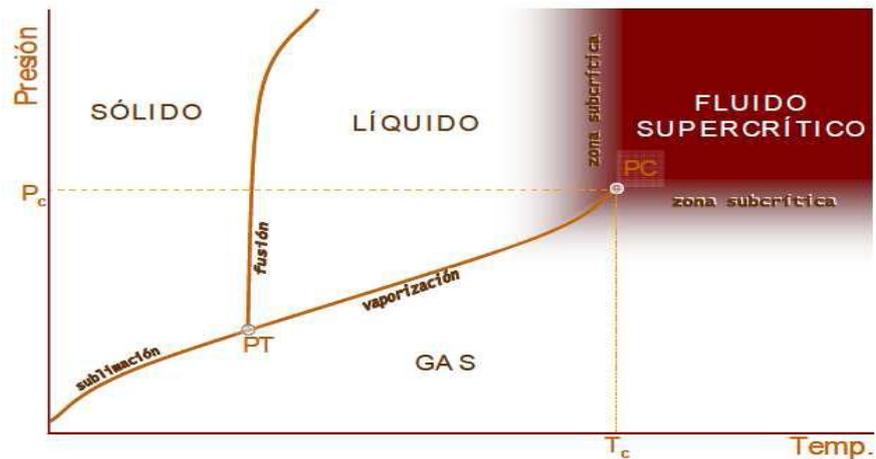


Fig.2.9Diagrama de fases sólido/líquido/gas.

Fuente:Tesis Doctoral: Extracción de compuestos bioactivos de Microalgas mediante fluidos supercríticos, Autor: Jose Antonio Mendiola León

Pc: Presión crítica; Tc: Temperatura crítica; PC: punto crítico; PT: punto triple.

Esta región supercrítica tiene unas propiedades que la hacen peculiar.

Primero, la densidad que se encuentra por encima del punto crítico depende de la presión y de la temperatura, pero en cualquier caso está más cercana de los líquidos que a la de los gases.

Segundo, la viscosidad es mucho más baja que la de los líquidos, lo que le confiere propiedades hidrodinámicas muy favorables.

Tercero, la bajísima tensión superficial permite una alta penetrabilidad a través de sólidos porosos y lechos empacados. Los coeficientes de difusividad son mucho mayores que en líquidos por lo que la transferencia de materia es más favorable. Un fluido debe poseer una serie de propiedades, además de las anteriormente mencionadas, para poder emplearse como disolvente en la industria.

El dióxido de carbono es el fluido supercrítico más utilizado debido a que no es tóxico, no inflamable, no corrosivo, incoloro, es de bajo precio, se elimina fácilmente y no deja residuos. Además, sus condiciones críticas son relativamente fáciles de alcanzar.

Los líquidos con densidades similares incrementan la probabilidad de interacción entre el dióxido de carbono y el sustrato, de forma similar a la que haría un disolvente.

Las difusividades de los gases, similares a las de los fluidos supercríticos, son uno o dos órdenes de magnitud mayor que los líquidos permitiendo una transferencia de masa excepcional. Además, una baja viscosidad, similar a la de los gases, permite a los fluidos supercríticos penetrar los microporos de la matriz del material para extraer los componentes deseados, en el caso de las microalgas, sería el aceite.

La sinergia creada por la combinación de densidad, viscosidad, difusividad, y la dependencia de la presión y temperatura, confieren a los fluidos supercríticos una capacidad excepcional para la extracción.

La extracción con fluidos supercríticos resulta, específicamente con el dióxido de carbono, una alternativa interesante para la extracción y el fraccionamiento de aceites vegetales, porque no posee los inconvenientes de los disolventes orgánicos tradicionales, tal como se ha mencionado anteriormente.

Sin embargo la ventaja principal de utilizar el dióxido de carbono supercrítico está en la pureza del aceite obtenido por este medio en comparación con los aceites obtenidos con solventes orgánicos tradicionales.

Durante la extracción, el dióxido de carbono es licuado bajo presión y se calienta hasta el punto de fusión. Este fluido licuado actúa como disolvente en la extracción del aceite.

El equipo

Los elementos mínimos que deben incluir un equipo de extracción supercrítico se pueden ver en el esquema de la Figura siguiente. El dióxido de carbono, que proviene de la botella A es impulsado por la bomba B, hasta que en la celda de extracción C, donde se encuentra la materia prima a extraer, se alcanza la presión de trabajo, controlada por la válvula D.

La celda de extracción se encuentra termostata para poder operar en condiciones de temperatura controlada (superior a la temperatura crítica). Los componentes de la materia prima disueltos o arrastrados por el dióxido de

carbono precipitan en el separador E debido a la disminución del poder solvente del dióxido de carbono al reducir la presión. En caso de que sea necesaria la adición de modificadores F, estos suelen mezclarse con la corriente de CO₂ a baja presión antes de la bomba de CO₂ G. En la figura 2.10 se detalla el esquema básico de un extractor de fluidos supercríticos.[22]

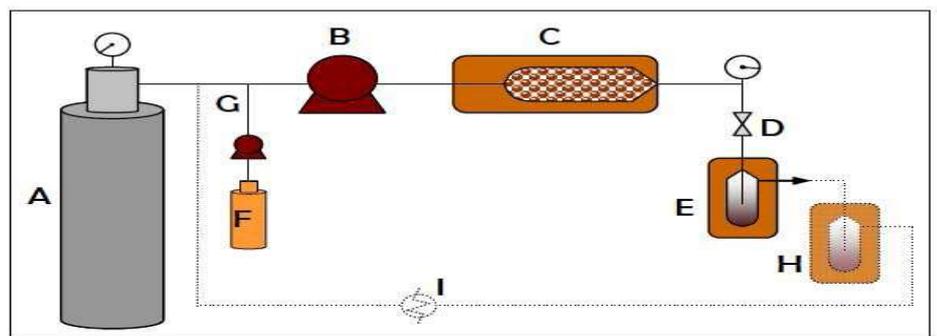


Figura 2.10 Esquema básico de un extractor de fluidos supercríticos.

Fuente: Tesis Doctoral: Extracción de compuestos bioactivos de Microalgas mediante fluidos supercríticos, Autor: José Antonio Mendiola León

2.1.5. Purificación del aceite

Mezclador y filtrador

La extracción por medio del hexano puede usarse solo o combinado con el método de exprimir.

Después de que el aceite haya sido extraído por el método de exprimir, la pulpa restante puede ser mezclada con ciclo-hexano para extraer el aceite restante. El aceite se disuelve en el ciclohexano, y la pulpa es eliminada de la solución.

Destilador

El aceite y el ciclohexano son separados por medio de la destilación. Estas dos etapas (extracción en frío y solvente hexano) juntos serán capaces de sacar más del 95 % del aceite total presente en las algas.

Reciclo de agua

Como es un sistema de flujo en continuo, no es necesario eliminar el agua, sino solo hacer un reciclo al estanque, el cual no tendrá un efecto negativo, ya que este flujo solo posee

trazas de microalgas y agua en mayor medida (sin peligro de toxicidad). Posterior al reciclo se agrega CO_2 y nutrientes necesario para la reutilización.

Pureza del aceite

La pureza del aceite, al final del proceso de destilación, es relativa y depende de muchos factores.

Entre los factores encontramos: tipo de alga cultivado, cantidad de nutrientes en el medio, radiación de energía solar, entre otras.

2.1.6. Producción del biodiesel

Primer mezclador

En el primer mezclador se utiliza los aceites de las microalgas, el cual está constituido por ácidos grasos de cadena larga. El alcohol metílico (CH_3OH) y un catalizador ácido. Entre esos catalizadores encontramos: ácidos homogéneos (H_2SO_4 , HCl , H_3PO_4 , RSO_3), ácidos heterogéneos (Zeolitas, Resinas Sulfónicas, SO_4/ZrO_2 , WO_3/ZrO_2).

Primer reactor

En el reactor 1 se produce la esterificación del metanol con los ácidos grasos, en presencia de un catalizador ácido, tal como se muestra en la figura 2.11



Fig. 2.11 Esterificación de un ácido graso en ambiente ácido

La esterificación corresponde a la síntesis de ésteres, esta se lleva a cabo por la reacción de un ácido carboxílico y un alcohol. Recordemos que todos los ácidos grasos son ácidos carboxílicos que junto a la glicerina forman los triglicéridos.

La síntesis de biodiesel puede llevarse a cabo solo con la transesterificación, pero la esterificación suele ocuparse para ahorrar tiempo y aumentar el rendimiento final, ya que hace reaccionar los ácidos grasos libres (que no están formando triglicéridos) y los transforma en éster metílico.

En la esterificación utiliza catalizadores ácidos, por lo que no es necesario recurrir a trabajar con temperaturas elevadas y tiempos de reacción largos.

Segundo mezclador

Se agrega un catalizador de tipo básico, en los cuales encontramos: básicos heterogéneos (MgO, CaO, Na/NaOH/Al₂O₃), básicos homogéneos (KOH, NaOH). Además se pueden usar catalizadores enzimáticos: lipasas intracelulares y extracelulares. Ambas son efectivas en reacciones de transesterificación ya sea en medio acuoso. La cantidad de catalizador depende del tipo que se emplee. Para los catalizadores básicos se registran valores desde 0.3 a 2 % en peso con respecto al aceite.

Segundo reactor

En este reactor se realiza la transesterificación de los ácidos grasos, que consiste en tres reacciones reversibles y consecutivas. El triglicérido es convertido consecutivamente en diglicérido, monoglicérido y glicerina. En cada reacción un mol de éster metílico es liberado. Esta reacción se desarrolla en una proporción molar de alcohol a triglicérido de 3:1., tal como se muestra en la figura 2.12

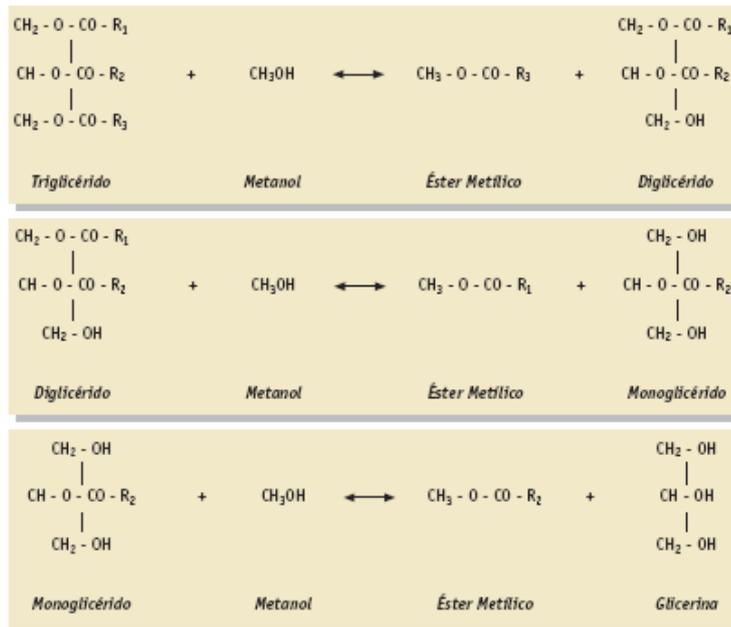


Fig. 2.12 Transesterificación de ácidos grasos en ambiente básico

Básicamente la transesterificación es el proceso de intercambiar el grupo alcoxi (grupo alquilo unido a un átomo de oxígeno, es decir, RO) de un éster por otro alcohol, como se ilustra en la figura 2.13.

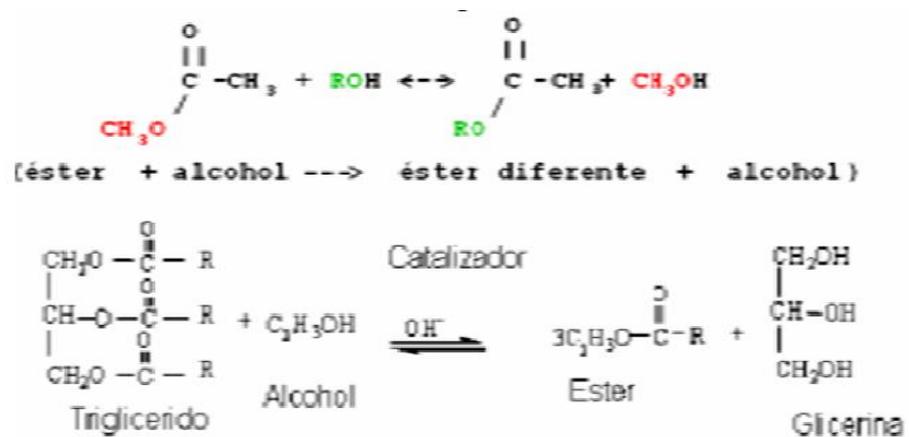


Fig. 2.13 Transesterificación de un ácido graso

La transesterificación es la parte más importante del proceso de producción de biodiesel, por eso se debe cuidar de todas las posibles variables de la reacción que afecten su contenido final. Entre las variables están: concentración y tipo de catalizador, acidez, humedad, relación molar de alcohol / aceite (relación estequiométrica 3:1), tiempo de reacción y temperatura.

Las condiciones ideales de la operación son: temperatura 60°C, agitación 200 rpm, tiempo de la reacción 90 min.

Reacciones Secundarias

Saponificación

El proceso de transesterificación, que transcurre con alcoholes y ácidos grasos, puede verse afectado en el momento en que haya una mínima parte de agua. Los catalizadores de la reacción de transesterificación son, normalmente, básicos (NaOH, KOH), y van a reaccionar rápidamente con los ácidos grasos y con los alcoholes en presencia de agua para formar otra clase de sustancias: “jabones”. La saponificación es un proceso de hidrólisis en medio básico por el cual se transforma un éster (ácido graso) en un alcohol y en la sal correspondiente del ácido carboxílico. A continuación se muestra el rendimiento del catalizador en la tabla 2.4.

CATALIZADOR	RENDIMIENTO DE LA REACCION (%)	SAPONIFICACION DE TRIGLICERIDOS
NaOH	85.2	5.65
KOH	90.1	3.460
H3ONa	98.64	0.04
CH3OK	97.2	0.13

Tabla 2.4 Rendimiento del catalizador

Condiciones de operación:

Temperatura: 65 °C

Relación molar metanol/aceite 3:1

1% en peso de catalizador

Neutralización

Muchas veces la glicerina obtenida contiene restos del catalizador sin usar y jabones producidos por la saponificación, los cuales son neutralizados con ácido sulfúrico, obteniendo así sulfato potásico y ácidos grasos libres (Ver figura 2.14)

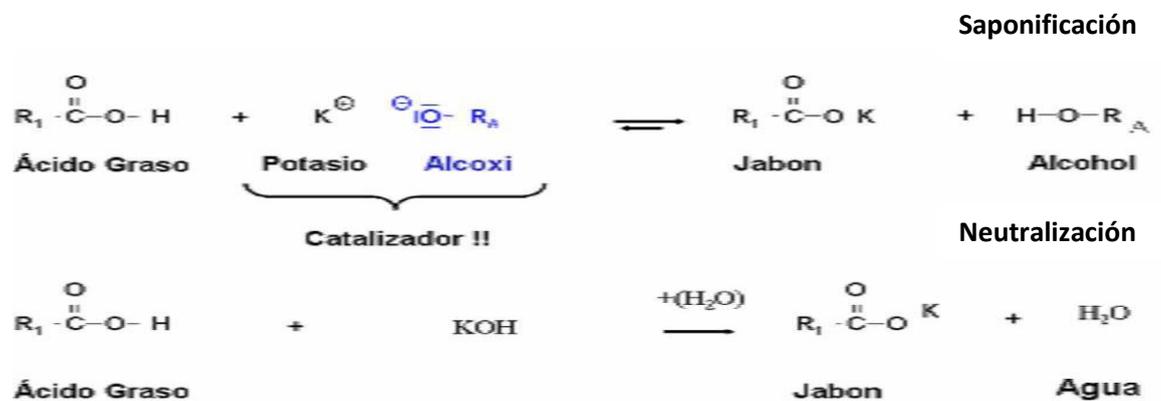


Fig. 2.14 Saponificación y neutralización de ácidos grasos

Neutralizador

El neutralizador cumple una función muy básica y fundamental, es aquí donde la mezcla de la transesterificación se mezcla con un ácido para que los catalizadores básicos no reaccionen con los ácidos grasos libres que queden, ya que producirían jabones indeseados en el producto final.

Destilador

En el destilador se busca separar el alcohol metílico de la mezcla. El destilador consta de un recipiente donde se almacena la mezcla a la que se le aplica calor, un condensador donde se enfrían los vapores generados, llevándolos de nuevo al estado líquido y un recipiente donde se almacena el líquido concentrado. En la unidad de destilación se despoja al producto de los volátiles, compuestos fundamentalmente por el alcohol metílico en exceso.

Los vapores de metanol se condensan y se envían al primer mezclador, del cual será nuevamente introducido en el ciclo.

Decantador

La decantación consiste en la separación de mezcla por medio de las densidades. El producto de fondo del destilador, que contiene el metilester, la glicerina, y sales se envía al decantador, en el cual se separa el metilester del resto de los productos. Obteniendo por un lado mezcla de glicerina al 90% y el resto sales e impurezas (jabones, catalizadores ácidos) y por otro el biodiesel.

Condiciones de operación: temperatura 25°C, presión 0 psi, duración 12 horas. Para algunas refinerías el proceso queda completado después del decantador, ya que muchas empresas consideran que la purificación del biodiesel es demasiado costosa para la producción en masa.

2.1.7. Purificación del biodiesel

El biodiesel está constituido principalmente, por mezcla de ésteres metílicos, pero también puede contener resto de jabones, glicerina, glicéridos (mono-, di- y tri), ácidos grasos libres, catalizadores, sustancias insaponificables y agua. La

presencia de estos componentes minoritarios en mayor o menor medida son los que determinan la calidad del biodiesel.

Lavado

Una vez el diesel es separado de la glicerina debe ser lavado porque puede tener contenidos de sales, metanol, jabones y grasas sin reaccionar. Para el lavado se utilizó una cantidad de agua correspondiente a la tercera parte del biodiesel obtenido, el agua total es la que se agrega en cuatro lavados.

Condiciones de operación: temperatura 25°C, presión 0 psi, tiempo de lavado depende de cada metiléster.

Secado

El biodiesel es secado para eliminar el contenido de agua que queda del lavado, se deja secar hasta que no se observe burbujeo, el tiempo varía según el metilester.

Condiciones de operación: temperatura 110°C, presión 0 psi. Luego del secado del biodiesel, este se encuentra en condiciones para su almacenamiento y distribución.[23]

Los aspectos más importantes a tener en cuenta en la producción del biodiesel, para asegurar un correcto desempeño en el motor Diesel son:

- Reacción de transesterificación completa.
- Eliminación de la glicerina.
- Eliminación del catalizador.
- Eliminación del alcohol.
- Ausencia de ácidos grasos libres en el producto final

CAPITULO 3

MÉTODOS APLICABLES Y COSTOS DE OBTENER BIODIESEL EN LA PENÍNSULA DE SANTA ELENA

En este capítulo analizará los métodos aplicables de acuerdo al entorno que se va a estudiar, incluyendo la transportación y diferentes tipos de cultivo de la materia prima. Se procederá a realizar un análisis económico de factibilidad, mediante una comparación entre los métodos y la determinación del método de obtención de biodiesel más eficiente, económico y viable de acuerdo a la situación geográfica en análisis.

3.1 Proceso para la producción de biocombustible a partir de microalgas en la Península de Santa Elena

La Península de Santa Elena cuenta con las condiciones necesarias para producir biodiesel a partir de Microalgas, ya que posee tanto la materia prima como los espacios de cultivos.

A continuación, en la figura 3.1 se muestra un cuadro del proceso que se debe llevar a cabo para la producción de biodiesel a partir de algas.

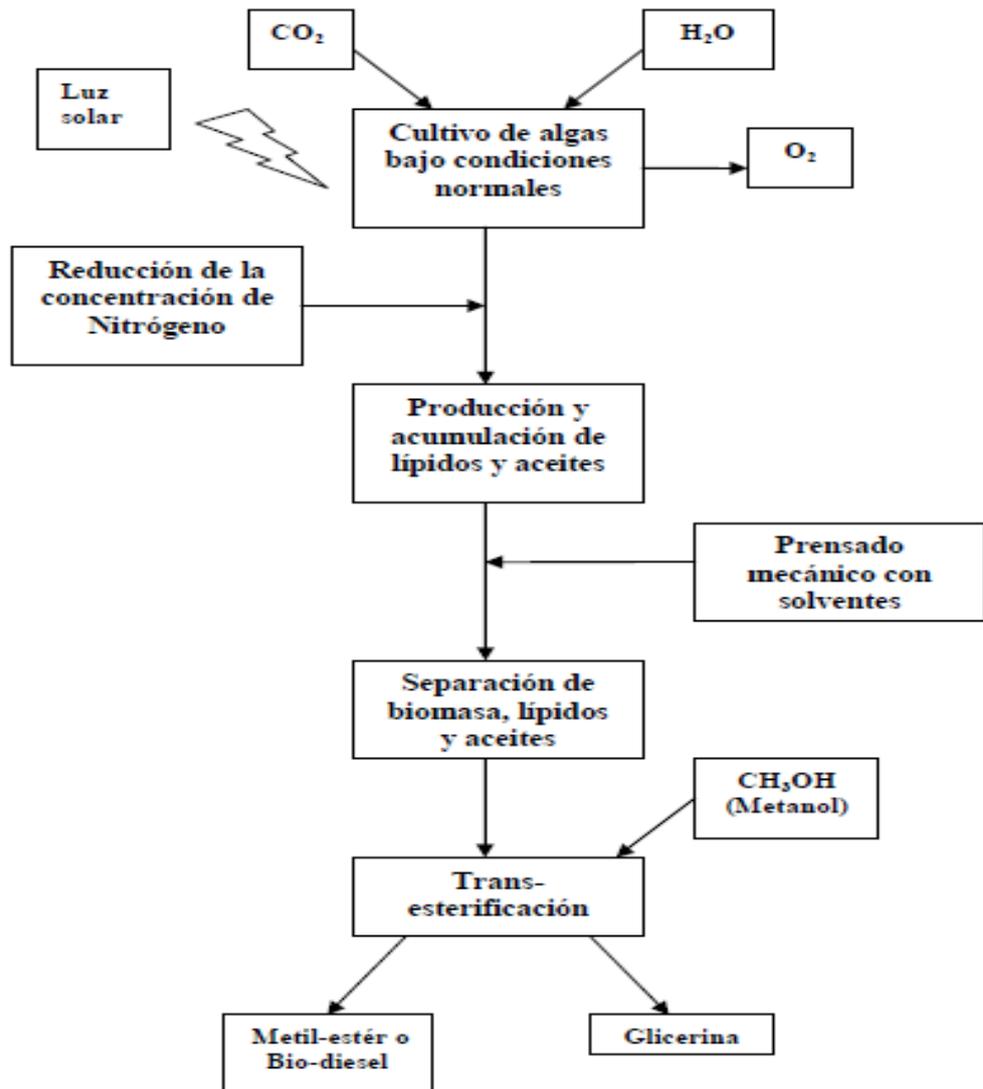


Fig. 3.1. Proceso de obtención de biodiesel a partir de las algas

Fuente: INTA, compendio de la producción de bioenergía a partir de las algas, Fecha: 20/09/2008, pág. 3

Previo al análisis de los métodos de cultivo es necesario conocer los factores importantes para el crecimiento de las algas marinas.

Agua

San Pablo es un pueblo ubicado a la orillas del mar, por lo tanto cuenta con grandes volúmenes de agua, lo cual favorece el crecimiento y producción de aceite. Esta fuente de agua es netamente salina, proveniente de la playa de San Pablo.

Además debido a que el agua no se contamina en el proceso de producción de aceite, puede ser reutilizable casi en su totalidad, por lo que no es requisito estar en presencia de un flujo de agua continuo.

Para un mejor rendimiento el agua debe ser tratada, la cual se puede realizar de la siguiente forma:

El agua de mar es filtrada por filtros de arena con porosidad de aproximadamente 100 μm antes de pasar por el reservorio, luego baja por gravedad hasta el cuarto de algas donde se filtra por dos cartuchos de

filtros de piola de 1 μm cada uno, para después pasar por el sistema de luz ultravioleta, donde pasan por otros dos cartuchos de piola de 1 μm cada uno.

Además se debe tratar el agua de forma química, la cual se la puede realizar:

Por cloración con cloro líquido.- En una solución de 100mg/l al 10 % activo comercialmente el mismo que se neutraliza con Thiosulfato de Sodio en una relación de 1:1

Por acidificación.- En la cual los microorganismos son eliminados a un pH 3 con ácido muriático en una solución de 250mg/l al 34% activo comercialmente, el mismo que se neutraliza con soda caustica en una relación de 5:1,5

Nutrientes

Para la producción de biomasa de Microalgas es necesario tener en cuenta el tipo de alga utilizado, debido a que tienen diferentes comportamientos a los tipos de nutrientes.

La fuente de nutrientes se la puede obtener realizando modificaciones al sistema de aguas servidas que actualmente posee dicha población.

Actualmente varios países utilizan el método de cultivo de Microalgas por medio de la masificación, ellos preparan un medio donde las Microalgas alcanzan su máximo rendimiento productivo.

Uno de los medios de cultivos universalmente más utilizados, es el F/2 de GUILLARD'S, que ha demostrado ser eficiente para el crecimiento de un gran número de Microalgas, pero que demanda una gran cantidad de nutrientes, como se muestra en la tabla 3.1:

Nutrientes	Solución Primaria	Cantidad para enriquecer 1 Lt. de agua de mar
1.- Nitrato de sodio	75 gr./Lt.	1 ml.
2.- Fosfato de sodio	5 gr./Lt.	1 ml.
3.- Metasilicato de sodio	30 gr./Lt.	1 ml.
4.- Metales trazas:		1 ml.
- Cloruro férrico	3.15 gr./Lt.	
- EDTA sal disódica	4.36 gr./Lt.	
- Solución Sulfato cúprico (9.8 gr./Lt.)	1 ml.	
- Solución Sulfato de zinc (22 gr./Lt.)	1 ml.	
- Solución Cobalto clorado (10 gr./Lt.)	1 ml.	
- Solución Cloruro manganeso (180 gr./Lt.)	1 ml.	
- Solución Molibdato de sodio (63 gr./Lt.)	1 ml.	
5.- Vitaminas:		0.5 ml.
- Cianocobalamina	0.001 gr./Lt.	
- Tiamina	0.02 gr./Lt.	

Tabla 3.1 Composición del medio Guillard's

Introducción a Ingeniería Bioquímica producción de biodiesel a partir de Microalgas,
Autores: Camila Barraza - Vanessa Collao - Camila Espinoza - Francisco Moya -
Gabriel Thun - Mauro Torres

Fuente: Cuarto Concurso Nacional de Investigación y Desarrollo del Recurso Agua para Jóvenes Estudiantes.

Dióxido de carbono

Como es de conocimiento general las refinerías de hidrocarburos son grandes contaminantes, por la tanto es necesario cuantificar la cantidad de emisiones de CO₂ y otros agentes contaminantes que diariamente se produce en las instalaciones de la Refinería de La Libertad, que es considerado en la actualidad el contaminante #1 en la Provincia de Santa Elena.

Considerando las emisiones producida por la Refinería de Esmeraldas [24], que produce aproximadamente 110000 barriles de petróleo por día [25] y tomando en cuenta la diferencia tecnológica de ambas, se considera las siguientes emisiones generadas por año:

- 2286285 toneladas de CO₂
- 1657 toneladas de CO
- 4005 toneladas de NO_x
- 44168 toneladas de SO₂
- 11 toneladas de H₂S
- 31740 toneladas de H₂O (volátil)
- 414 toneladas de VOC's (Compuestos orgánicos volátiles)
- 188 toneladas de material particulado

Para el cálculo de los valores anteriores, el porcentaje utilizado fue de 55% de las emisiones producidas por la Refinería de Esmeraldas.

Es necesario recordar que las refinerías no solo emanan CO₂ sino otros gases contaminantes.

Los estudios actuales demuestran que hasta el 90 % ó más de CO₂ inyectado en los estanques pueden ser utilizados eficientemente por las Microalgas, por lo tanto al emplear este proyecto se deja de enviar a la atmósfera aproximadamente 2 millones de toneladas de CO₂ al año.

3.2 Parámetros del espacio físico

El estudio se realizará en la Península de Santa Elena, en San Pablo, sectores que anteriormente eran camaroneras y que actualmente son terrenos vacíos. El terreno es de 100 ha, el cual tiene un costo de \$1200000 aproximadamente.

En la figura 3.2 se puede observar el espacio físico donde se realizará el estudio para el cultivo de algas marinas.



Fig. 3.2 Terrenodonde se realizará el estudio parael cultivo

3.3Proceso de producción de biodiesel

Para la conversión del alga a biocombustible se debe seguir un riguroso proceso, tal como se ilustra en la figura 3.2.; el cual implica el cultivo de algas, la cosecha de las algas, la extracción de aceite y la elaboración del producto final.[26]

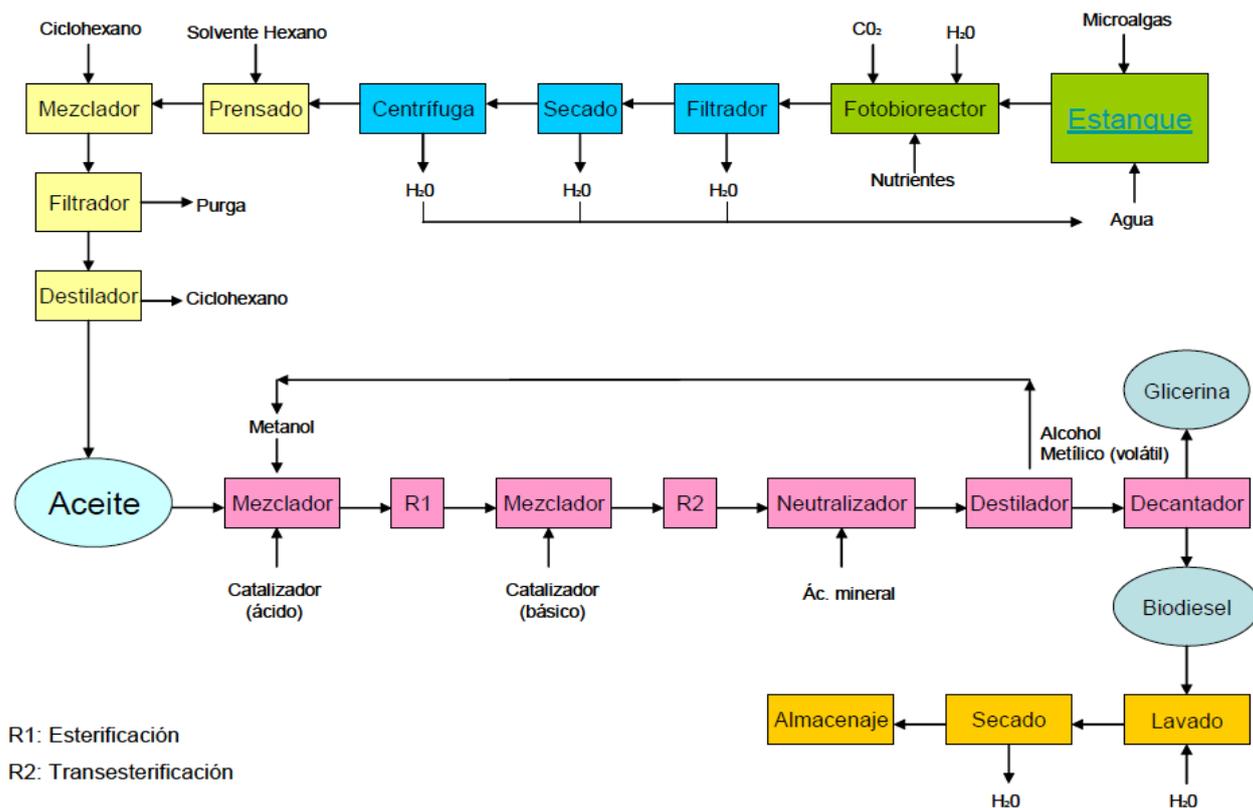


Fig. 3.3 Diagrama de flujo de Producción de biodiesel a partir de Microalgas

Fuente: Introducción a Ingeniería Bioquímica producción de biodiesel a partir de Microalgas, Autores: Camila Barraza - Vanessa Collao - Camila Espinoza - Francisco Moya - Gabriel Thun - Mauro Torres

A continuación se especificará las diferentes etapas que se van a cumplir para la producción de biocombustible a partir de algas en la población de San Pablo - Santa Elena.

3.3.1 Recolección de la materia prima (microalgas)

Antes de realizar el sembrado de algas marinas se debe adquirir cierta cantidad de la misma para empezar este proceso. El entorno de estudio como se mencionó anteriormente está conformado por playas, con abundancia de especies de algas marinas. Entonces aprovechando esta ventaja, un método para adquirir la materia prima es recolectándolas mar adentro. Otro método de adquirir la materia prima es comprándolas.

A continuación se va a detallar la manera de recolectar las algas marinas mar adentro:

Para la recolección de la materia prima se debe transportar mar adentro ubicándose en el área que anteriormente se determinó como transecta 3 y transecta 5.

Seleccionando un equipo especial de personas con amplios conocimientos en el tema de recolección de Microalgas, se viaja mar adentro a bordo de una embarcación que de las facilidades de navegación hasta las transectas indicadas y de allí se recolectan muestras en cubos de 20 litros utilizando una red de arrastre de alta densidad (0,5 m de diámetro, 2,8 m de longitud, malla: 30 μ m,

receptáculo de 500 ml). Se implementan 5 arrastres horizontales por cubo.

Cada arrastre tiene una duración aproximada de 2 minutos, dependiendo de la turbidez del agua. Los cubos son previamente llenados con aproximadamente 15 litros de agua de mar con el propósito de no depositar las muestras en seco. Durante todo el trayecto se aprovisionan las muestras con aireación mediante una pequeña bomba eléctrica con válvulas, líneas de aire y piedras difusoras.[11]

Transporte y recepción en el laboratorio

Los cubos son transportados al laboratorio y se procede inmediatamente a filtrar las muestras. Primero se filtran manualmente con una malla de 500 μm para eliminar contaminación por zooplancton de mayor tamaño (larvas de camarón, larvas de pez, etc.), y luego se implementa un segundo filtrado utilizando un tanque cónico especial de lavado de 200 litros.

El tanque cónico funciona como un filtro en el cual las muestras se depositan y enjuagan por aproximadamente 2 horas con un flujo de entrada y salida de agua. Está provisto de un filtro/drenaje con malla

de 200 μm que se encarga de eliminar zooplancton pequeño (rotíferos, nauplios de copépodo, etc.) y dejar únicamente copépodos adultos y copepoditos avanzados.

Conteo de la población

El contenido del tanque cónico es recolectado mediante sifón y distribuido en cubos de 20 litros. Se toma una muestra de 500 ml de cada cubo y se realiza un conteo al microscopio para verificar la densidad de individuos por litro. [26]

3.3.2 Cultivos de microalgas

Para el siguiente proyecto se analizará posibles opciones de realizar el cultivo de microalgas, ambas realizadas en la zona de San Pablo, debido a que es una zona que cuenta con grandes áreas deshabitadas, actualmente terrenos en ventas, cuyos cultivos de algas serían la mejor forma de impulsar la economía de este sector, sin afectar el turismo, la navegación, ni la biodiversidad de la zona.

Las opciones de cultivo son:

- 1.- Cultivos en Estanques al Aire Libre mar adentro.
- 2.- Cultivos en Estanques al Aire Libre utilizando piscinas en la plataforma terrestre.

3.- Cultivos utilizando fotobiorreactores en la plataforma terrestre.

Cultivos en estanque al aire libre mar adentro

Debido a que la población de San Pablo cuenta con un extenso mar, y además según estudios realizados por el INOCAR, se hace factible el cultivo de algas frente a la playa de San Pablo, en el área denominada anteriormente como Transecta3 y Transecta5.

Sin olvidar que la localización deberá ser la adecuada, para que no obstaculice la navegación, recordando que se prevé una gran influencia de barcos debido al nuevo proyecto de almacenamiento de gas licuado.

El cultivo se realiza en forma artesanal, es decir se delimita un área adecuada para el cultivo, se lo cerca para evitar el contacto con depredadores potenciales de las algas marinas, se lo alimenta con CO₂ y con los demás nutrientes, se obtendrá la luz de manera natural y una vez que se reproduzcan serán trasladado a tierra firme para el proceso de la extracción de biocombustible.

Inconvenientes del cultivo mar adentro

Afecta el turismo, ya que el mismo se tiene que realizar en el mar cerca de las playas; además se requiere una superficie extensa.

Luego sembrados en el mar son muy susceptibles a daños causados por corrientes o fuertes marejadas, pudiendo también desprenderse del sustrato mientras se desarrolla su mecanismo de sostén hasta que se adhiere firmemente.

Por lo tanto se opta por descartar este método como alternativa de cultivo de algas en el proyecto de producir biocombustible.

Cultivo en estanques al aire libre utilizando piscinas en la plataforma terrestre.

Además de poseer un extenso mar y una diversidad de recursos marinos, esta población es industrial, sobretodo camaronera, aunque en la actualidad varias de estas ya han cerrado debido a una diversidad de dificultades.

Cabe recalcar que a pesar de que estas camaroneras ya no están en funcionamiento aún se mantiene el área, y en ocasiones las piscinas que estas empleaban, con el único inconveniente que las instalaciones donde se realizaban los diferentes procesos están deteriorados y obsoletos.

Estas áreas son propicias para el proyecto de biocombustible, debido a la decadencia de vegetación en estas zonas y que en determinados lugares se ofertan estos terrenos baldíos. Otro punto a favor es la cercanía al mar que se tiene.

El cultivo en estaques al aire libre se hará empleando los modernos sistemas raceways, donde se realizará tanques con forma de pista ovalada que pueden ser construidos con cualquier material que sea lo suficientemente resistente.

Desventaja

El cultivo efectuado por estanques conlleva a problemas debido a invasión de algas indeseables con baja producción, vulnerabilidad de las micro-algas a fluctuaciones de temperatura; pérdida de micro-algas por evaporación de agua en estanques, etc. [27]

Al no poder ser operados con niveles superiores a los 15 cm (debido a que niveles superiores pueden causar una gran reducción del flujo y de la turbulencia) lo cual obliga a trabajar con densidades celulares muy bajas, lo que hace que el cultivo sea susceptible a la contaminación y se incremente considerablemente el costo de la cosecha, inclusive habrá pérdidas por evaporación, en los meses de invierno.

El sistema de piletas de conducción abierta consiste básicamente en una grilla rectangular equipada con canales ovalados intercomunicados y abiertos. Una corriente continua de agua, impulsada por un sistema de paletas, atraviesa el sistema de piletas, permitiendo bajo condiciones favorables una producción de **10-25 gr/m²/días de algas.**

Existen diferentes especies y variedades de algas que pueden ser utilizadas en la producción de bio-diesel en los sistemas abiertos. Su cultivo depende fundamentalmente de las correctas condiciones de pH y la salinidad del agua.

A pesar de su sencillez y bajo costo, el sistema de piletas de conducción abierta tiene algunas desventajas. Ya que opera a cielo abierto, el agua que atraviesa continuamente el sistema sufre evaporación. Por tanto nuevos volúmenes de agua deben ser continuamente añadidos con el objetivo de mantener un nivel de agua constante. En la figura 3.4 se observa el cultivo en estanques de aire libre:



Fig. 3.4 Cultivo en estanques al aire libre

En general, se utiliza el medio Guillard f/2 como fertilizante, como se muestra en la tabla 3.2. Hay suficiente stock de químicos, elementos, traza y vitaminas para la el cultivo de algas del proyecto.

QUIMICOS	CANTIDAD REQUERIDA
NaNO₃	250-500 g
NaH₂PO₄.H₂O	100-250 g
Na₂SiO₃.9H₂O	250-500 g
Na₂EDTA	100-250 g
FeCl₃.6H₂O	10-50 g
CuSO₄.5H₂O	10-50 g
ZnSO₄.7H₂O	10-50 g
CoCl₂.6H₂O	10-50 g
MnCl₂.4H₂O	10-50 g
Na₂MoO₄.H₂O	10-50 g
Tiamina HCL	5 g
Biotina	500 mg
B₁₂	500 mg

Tabla 3.2 Químicos fertilizantes

Fuente. Introducción a Ingeniería Bioquímica producción de biodiesel a partir de Microalgas, Autores: Camila Barraza - Vanessa Collao - Camila Espinoza - Francisco Moya - Gabriel Thun - Mauro Torres

Además del medio Guillard f/2, se añaden silicatos para el caso de las diatomeas. El agua marina que se recolecta para utilizar en los cultivos se la extrae empleando bombas de agua y tuberías de gran dimensión desde el mar a las piscinas de cultivos y esta recibe un tratamiento especial.

Luego es pasada por filtros de arena, de cartucho, de ultravioleta y por último por filtros de bolsa de una micra; para posteriormente ser colocada en total obscuridad por un mínimo de 10 días para eliminar protozoarios y/u organismos pequeños contaminantes.

Cada dos días se hacen conteos de células por ml para ajustar los volúmenes de suministro debido al crecimiento del alga. Los conteos se llevan a cabo con un hemocitómetro tipo Neubauer y un microscopio.

La constante rutina de conteo de densidad y verificación de salud del alga funciona como indicador para ajustar los volúmenes de alimentación a medida que el alga crece y para calcular la densidad de producción necesaria para los experimentos.

Los volúmenes diarios de alimento se calculan fácilmente utilizando una simple ecuación que se detalla a continuación:

Ejemplo: el carboy de Tetraselmis que se va a utilizar para alimentar tiene una densidad de 120×10^4 células por mililitro. Cada cubo de ensayo (20L) de Tetraselmis va a ser sembrado con una densidad de algas de 5×10^4 células por mililitro.

- Densidad deseada en cada cubo: 5×10^4 cel/ml

- Volumen de cada cubo: 2×10^4 ml

- Densidad del carbón: 12×10^5 cel/ml $(5 \times 10^4 \text{ cel} / 1 \text{ ml}) \times (2 \times 10^4 \text{ ml}) \times (1 \text{ ml} / 12 \times 10^5 \text{ cel}) = 833 \text{ ml}$.

A cada cubo de ensayo de Tetraselmis hay que añadirle 833 ml del carbón para obtener una densidad de algas de 5×10^4 cel/ml. Luego de dos días el volumen es distinto ya que la densidad de algas del carbón aumenta debido al crecimiento del alga, por lo tanto se vuelve a realizar el mismo procedimiento y se ajustan los volúmenes.

Cultivos utilizando fotobiorreactores en la plataforma terrestre.

(Alternativa más eficiente)

El cultivo utilizando fotobiorreactores, es más costoso en comparación con las anteriores formas de cultivos, pero es el más eficiente.

Este cultivo necesita una buena inversión y un amplio terreno, lo cual no es impedimento para realizar el proyecto, ya que se cuenta con un extenso terreno.

El uso de fotobiorreactores es de elevada inversión debido a que deben ser diseñados con el adecuado conocimiento de la fisiología del cultivo en masa del organismo. Además estos micro-organismos son altamente diversos en su morfología, requerimiento nutricional, luz, y resistencia al estrés; y los fotobiorreactores no pueden ser diseñados para manejar todos los organismos o todas las condiciones.

En fotobiorreactores, **las microalgas pueden duplicarse hasta 100%** en 24 horas. Es decir, un gramo de micro-algasse convierte dos gramos en 24 horas.[27]

Los principales criterios de diseño incluyen: el radio superficie a volumen, la orientación e inclinación, la mezcla, la descarga de gases, los sistemas de limpieza y de regulación de temperatura, la transparencia y durabilidad del material de construcción.

La facilidad para operar y escalar el cultivo y un bajo costo de construcción y operación también tiene una relevancia particular en los fotobiorreactores industriales.

El radio entre la superficie iluminada de un reactor y su volumen determina la cantidad de luz que entra en el sistema por cada unidad de volumen.

Generalmente, a mayor radio s/v , es mayor la concentración celular a la que puede ser operado el reactor y es mayor la productividad volumétrica del cultivo.

Los sistemas orientados al sol generalmente tienen mejor productividad sobre todo si están ubicados en lugares de bajas latitudes. La acumulación de oxígeno fotosintético en el cultivo es uno de los mayores problemas que enfrentan los fotobiorreactores tubulares.

Cuando el oxígeno alcanza niveles 4 o 5 veces mayores al nivel de saturación puede llegar a ser tóxico para muchos fotótrofos y se reduce la productividad. Por lo tanto, el sistema diseñado debe permitir un adecuado intercambio de gases en el cultivo.

La mezcla es necesaria para prevenir la sedimentación de las células, evitar la estratificación térmica, distribuir los nutrientes, remover el

oxígeno generado por la fotosíntesis y asegurar que las células experimenten adecuados períodos de luz y oscuridad.

El tipo de mezcla y la dinámica de fluido del cultivo influyen en la irradiancia y régimen de luz a las que las células están expuestas; factores clave que influyen en la productividad. La elección del dispositivo de mezcla y la intensidad del mezclado deberían ser determinadas por las características del organismo a ser cultivado.

Generalmente, los cultivos de cianobacterias filamentosas y dinoflagelados no pueden ser mezclados con bombas debido a que su estructura celular es delicada.

La máxima productividad solo se puede lograr en la temperatura óptima de crecimiento. Mientras que los tanques abiertos están limitados por bajas temperaturas en la mañana, los fotobiorreactores generalmente requieren enfriamiento durante el mediodía. El sombreado, la inmersión en baños de agua, y el rociado de agua, son las soluciones más comunes para evitar el sobrecalentamiento de los fotobiorreactores externos. El sombreado, para ser efectivo, requiere que una gran porción del reactor (mayor al 80%) sea cubierta durante las horas de máxima insolación; lo cual causa una significativa reducción en la productividad.

El enfriamiento por inmersión en baño de agua es eficiente, pero su efectividad/costo es dudoso. El enfriamiento con rociado de agua puede ser una alternativa viable. Consideraciones económicas favorecen el enfriamiento evaporativo con el uso de intercambiadores de calor.

El carbón es el mayor componente del costo de producción de las micro-algas. El abastecimiento de dióxido de carbono en suspensiones poco profundas no es una tarea fácil porque el tiempo de residencia de las burbujas es insuficiente para completar la absorción, resultando en grandes pérdidas de CO₂ a la atmósfera. Inyectado el CO₂ en burbujas diminutas desde el fondo de una columna se puede incrementar la eficiencia de uso de este gas a más del 70 %.

Un criterio fundamental en el diseño de un fotobiorreactores sustentable es la elección del material utilizado en la construcción de la fotoplataforma. Los materiales utilizados en FBR no deben ser tóxicos, deben tener una alta transparencia, alta resistencia mecánica, alta durabilidad (y resistencia a los factores ambientales), estabilidad química y bajo costo. La facilidad para su limpieza es otra característica operacional importante.

Para lograr el objetivo, se procede a cultivar las microalgas en recipientes cerrados (fotobiorreactores) en condiciones idénticas de temperatura, medio de cultivo y radiación.

3.3.3 Análisis de la producción de biocombustible a partir de microalgas en la Península de Santa Elena

Para realizar un análisis económico de la manera más factible de obtener biodiesel a partir de algas debemos considerar que no todo tipo de Microalgas da los mismos resultados, en el proceso intervienen condiciones ambientales como la luz, la temperatura, la concentración iónica, el pH y otros factores, que afectan al rendimiento; además cada opción de cultivo o de extracción de lípidos da diferentes resultados.

Para este proyecto se realizará el correspondiente análisis técnico-económico para determinar que opción de las anteriormente mencionadas es la más conveniente, no sólo económica sino también en cuestión de producción de biodiesel.

Pero inicialmente se debe determinar el costo de obtención de la materia prima y de la alimentación.

Los estudios realizados por el INOCAR (año 2006), muestran diversidad de algas en las costas peninsulares, entre ellas está la

Pseudo-nitzschia, que se encuentra en las áreas de transectas 3 y 5. Por lo tanto se utilizará este tipo de Microalgas y se realizarán los cultivos a base de esta especie.

Se estima una vida útil de 20 años para el proyecto, que se considerará a partir desde que las instalaciones físicas, eléctricas y demás estén funcionando. Este valor puede ser variable dependiendo del mantenimiento que se realice. Además se considerará una tasa anual de 12% de interés, la misma que se utiliza en proyectos de gran escala.

Para la evaluación técnica económica se debe considerar la inversión del proyecto, los costos anuales de operación y mantenimiento; así también como gastos varios por cualquier problema económico que se presente.

A continuación se detallarán de forma separada los gastos de todas las etapas para la obtención de biodiesel:

3.3.3.1 Análisis de costos de la obtención de la materia prima (microalgas)

La obtención de algas para la producción de aceite y posteriormente biodiesel, en base al entorno del lugar objetivo (San Pablo), se ha estudiado la siguiente manera:

- Comprar algas

Compra de algas

Si se desea tener una extracción de biodiesel a partir de Microalgas eficiente, existen determinadas especies de Microalgas que contienen una alta concentración de lípidos, por lo que sería factible comprarlas para hacer un micro cultivo y una vez desarrollada la especie empezar a realizar grandes cultivos. El análisis sería el siguiente:

Costo de microalgas especie promedio: \$ 1.5/kilo de algas

La producción de algas se estima que es 182500 kg algas/año/ha

El cultivo se iniciará con el 10% del terreno, es decir si el terreno de estudio es de 100 ha, se producirá 18250 kg de algas al año, equivalente a 50 kg de algas/diarias/ha.

Entonces para ocupar el terreno de estudio se necesitarán $50 \times 100 = 5000$ kilos de algas, equivalente a 5 toneladas de algas. Este análisis es desarrollado de esta manera, ya que las algas se reproducen rápidamente (en 24 horas se tiene el 100% de lo cultivado, utilizando fotobiorreactores).[28]

El costo de comprar algas para iniciar el cultivo sería: (5000 kilos de algas)*(\$ 1.5/kilo de algas) = \$7500

N°	Costo promedio de algas	\$1.5/kilo
1	Producción de algas	182500 kg algas/año/ha
2	Producción inicial de algas (10% del terreno de 100 ha)	18250 kg algas/año = 50 kg/diarias algas/ha
3	Cultivo inicial de algas	5 toneladas
4	Costo de comprar algas para iniciar el cultivo	\$7500

Tabla 3.3 Costo inicial por la compra de algas

Fuente: <http://www.tecnologiaparatodos.com.ar/bajar/algas2-2008.pdf>
<http://www.youtube.com/watch?v=i-RFNg6cNU4>

3.3.3.2 Transporte y recepción en el laboratorio

Una vez que se conoce el lugar donde se va a obtener la materia prima se debe realizar el transporte y la recepción al laboratorio

donde empezará procesos de filtración, enjuague y eliminación de zooplancton, cuyos costos se presentan en la tabla 3.4

N°	Equipos/Materiales u otros	Costo
1	Malla de 500 μm	\$ 3000
2	Tanque cónico especial de lavado	\$ 5500
3	Malla de 200 μm	\$ 3000
	SUBTOTAL	\$ 11500
4	Transporte	\$ 25000
5	TOTAL	\$ 36500

Tabla 3.4 Costos de transporte y Recepción de algas en el laboratorio

Para efectuar el cultivo de Microalgas existen varias alternativas, la diferencia de ellas es su rendimiento y su accesibilidad a los componentes básicos para el desarrollo de las Microalgas, entre ellas está la fuente de agua, la fuente contaminante, la luz, entre otros.

Las opciones de cultivo que se pueden realizar son:

- Cultivos en Estanques al Aire Libre utilizando piscinas en la plataforma terrestre
- Cultivos utilizando fotobiorreactores en la plataforma terrestre.

3.3.3.3 Cultivos en estanques al aire libre utilizando piscinas en la plataforma terrestre.

Para este tipo de cultivo se utilizará los sistemas de raceways, sistemas que en la actualidad han dado buenos resultados.

En la tabla 3.5 se detallan los costos para cultivos en Estanques al Aire Libre utilizando piscinas en la plataforma terrestre.

N°	Equipos/Materiales u otros	Costo Unitario	Costo Total
1	Manguera difusora (2 ½" x 30 m)	\$ 3640	\$ 364000
2.1	Cemento (20 sacos x raceways 10 x 10)	\$ 134	\$ 1000000
2.2	Tubería PVC 2" (4m)	\$ 24	\$ 240000
2.3	Malla larvera (5 m)	\$ 4.20	\$ 42000
2.4	Cuartones	\$ 14.40	\$ 144000
3	Blowers de ½ hp (2)	\$ 2500	\$ 250000
4	Accesorios adicionales	\$ 5000	\$ 50000
	TOTAL		\$ 13250000

Tabla 3.5 Costos para cultivos en Estanques al Aire Libre utilizando piscinas en la plataforma terrestre.

3.3.3.4 Cultivos de microalgas

Como se analizó anteriormente, el método más eficiente de acuerdo al entorno del lugar objetivo donde se desarrollará el cultivo es por medio de fotobiorreactores.

Cultivos utilizando fotobiorreactores en la plataforma terrestre

Para lograr el objetivo, se procede a cultivar las microalgas en recipientes cerrados (fotobiorreactores) en condiciones idénticas de temperatura, medio de cultivo y radiación.

Fotobiorreactores

En el cultivo de algas mediante fotobiorreactores se debe considerar lo siguiente.

Gastos operativos: 6 US\$ millones/año por 100 ha

Costo piletas: 6 US\$/m².

Costo foto-bio-reactor: 100 US\$/ m². [20]

El terreno donde se efectuará el análisis es de 100 ha, es decir de 100000 m²

El costo de 100000 m² de fotobiorreactor es de \$10000000

La implantación de piletas en 100000 m² es de \$600000

El análisis económico que se tendrá que invertir para realizar el cultivo es el que se muestra en la tabla 3.6:

N°	Equipos/Materiales u otros	Costo x m2	Costo Total
1	Fotobiorreactor	\$ 100	\$ 10000000
2	Piletas	\$ 6	\$ 600000
3	Total		\$ 10600000

Tabla 3.6 Elementos importantes para realizar cultivos usando fotobiorreactores

Fuente. <http://www.tecnologiaparatodos.com.ar/bajar/algas2-2008.pdf>

3.3.3.5 Elementos vitales para la reproducción de las microalgas

Agua

El elemento necesario y vital para la reproducción de las microalgas es el agua, y su empleo y transporte depende del método de cultivo a desarrollar, por ejemplo:

Si se desea hacer un cultivo en la superficie terrestre, se puede tratar el agua para así ser más eficiente en el cultivo de Microalgas.

Para el tratamiento del agua, esta debe pasar por varias etapas; entre ellas están:

- **Pre tratamiento.**
- **Tanque homogenizador.**
- **Tanque de oxidación.**
- **Sedimentador secundario.**

- **Cámara de desinfección.**

El **pretratamiento** de agua consiste en cribado fino donde se separan los sólidos mayores de 1 mm al pasar el agua por un tamiz estático tipo cuña, instalado sobre el tanque de homogenización.

Tanque homogenizador

Sirve para amortiguar las variaciones del flujo que se presentan en las horas de bombeo de agua.

Tanque de oxidación

En el tanque de oxidación se lleva a cabo la degradación de la materia orgánica por la acción de microorganismos aerobios

Sedimentador secundario

Realiza la sedimentación de la arena, es decir depura la concentración de arena que posee el agua de mar

Cámara de desinfección

La desinfección del agua tratada se lleva a cabo en una cámara donde están instaladas las lámparas de luz ultravioleta; los equipos tienen la opción de instalarse en un canal a cielo abierto

Los materiales y equipos empleados para los diferentes procesos para el tratamiento del agua de mar se los presenta en la tabla 3.7:

N°	Equipos/Materiales u otros	Costos
1	Tamiz estático de desbaste fino	\$ 3700
2	Tanque de homogenización	\$ 5800
3	Tanque de oxidación	\$ 11000
4	Bombas sumergibles	\$ 13500
5	Válvulas solenoides	\$ 1200
6	Sedimentador	\$ 3600
7	Lámparas de luz ultravioleta (25 watts, 1 bulbo)	\$ 17730
8	Canaletas de desinfección	\$ 4000
9	Tratamiento químico	\$ 5000
	Total	\$ 65530

Tabla 3.7 Materiales de los procesos para el tratamiento del agua de mar

3.3.3.6 Proceso previo a la producción del aceite

Una vez realizado la recolección y el cultivo de las Microalgas se procede a realizar diferentes procesos para transformar la materia prima (Microalgas) en aceite, entre estos tenemos:

Filtrado

La biomasa puede ser separada de la parte líquida por centrifugación o con una unidad con filtro.

Utilizando centrifugación para el filtrado

Para una producción a gran escala, la centrifugación es el método más interesante desde un punto de vista económico, tal como se muestra en la tabla 3.8:

N°	Equipos/Materiales u otros	Costos
1	Centrifugadora	\$15000
	Total	\$15000

Tabla 3.8 Costo de una centrifugadora para realizar el filtrado

Fuente: <http://www.alamula.com.mx/classifieds/search/easy+cuanto+cuesta+una+bo+mba+centrifuga/19>

Utilizando unidad de filtro

Para este caso existen tres alternativas. En la tabla 3.9 se detalla el costo de una prensa de filtro:

N°	Equipos/Materiales u otros	Costo unitario	Costo Total
1	Prensas de filtro	\$ 1500	\$ 15000
	Total		\$ 15000

Tabla 3.9 Costo de una prensa de filtro

Fuente: Chloé MONTHIEU – Ingeniería en Organización Industrial – Tesis Universidad Pontificia Comillas – “Estudio técnico económico de la extracción de los lípidos de las microalgas para la producción de biodiesel”

Secado

Debido a la concentración de agua que poseen las Microalgas una vez que se las filtran para empezar el proceso de la extracción, es necesario secarlas para así eliminar la humedad que éstas contengan.

Para el secado se puede emplear diferentes métodos, entre ellos los siguientes:

- **Secador solar**

El secador solar es probablemente el método de deshidratación menos costoso utilizado en esta etapa.

Secador solar directo

En la tabla 3.10 se detalla los costos del secado solar directo:

N°	Equipos/Materiales u otros	Costos
1	Secador Solar industrial de 40m2	\$25040
	Total	\$25040

Tabla 3.10 Costos del Secado solar directo

Fuente: Chloé MONTHIEU – Ingeniería en Organización Industrial – Tesis Universidad Pontificia Comillas – “Estudio técnico económico de la extracción de los lípidos de las microalgas para la producción de biodiesel”

Secador solar indirecto

En la tabla 3.11 se detalla los costos del secado solar indirecto:

N°	Equipos/Materiales u otros	Costos
1	Calentador de aire	\$ 15000
2	Ventiladores	\$ 5000
	Total	\$ 20000

Tabla 3.11 Costos del Secado solar indirecto

Fuente: Chloé MONTHIEU – Ingeniería en Organización Industrial – Tesis Universidad Pontificia Comillas – “Estudio técnico económico de la extracción de los lípidos de las microalgas para la producción de biodiesel”

- **Sistema de filtro de tambor (en vacío)**

Para este método se necesitan los materiales que se detallan en la tabla 3.12

N°	Equipos/Materiales u otros	Costos
1	Sistema de filtro de tambor	\$ 47722
	Total	\$ 47722

Tabla 3.12 Costos de emplear un sistema de filtro de tambor

Fuente: Chloé MONTHIEU – Ingeniería en Organización Industrial – Tesis Universidad Pontificia Comillas – “Estudio técnico económico de la extracción de los lípidos de las microalgas para la producción de biodiesel”

- **Secado Spray**

Los costos de utilizar este método se detallan en la tabla

3.13:

N°	Equipos/Materiales u otros	Costos
1	Equipo de secado Spray	\$ 63913
	Total	\$ 63913

Tabla 3.13 Costos de emplear el método de Secado Spray

Fuente: Chloé MONTHIEU – Ingeniería en Organización Industrial – Tesis Universidad Pontificia Comillas – “Estudio técnico económico de la extracción de los lípidos de las microalgas para la producción de biodiesel”

3.3.3.7 Métodos de extracción del aceite

- ***Prensado***

Prensado simple

En la tabla 3.14 se detallan los costos de utilizar prensado

simple:

N°	Equipos/Materiales u otros	Costos
1	Prensa de aceite	\$ 16958
	Total	\$ 16958

Tabla 3.14 Costos de utilizar prensado simple

Fuente: Chloé MONTHIEU – Ingeniería en Organización Industrial – Tesis Universidad Pontificia Comillas – “Estudio técnico económico de la extracción de los lípidos de las microalgas para la producción de biodiesel”

Prensado más solvente orgánico

En la tabla 3.15 se detallan los costos de utilizar prensado más solvente orgánico:

N°	Equipos/Materiales u otros	Costos
1	Equipo completo (mezclador, filtrador y destilador) con capacidad de 150kg de biomasa por hora	\$ 23495
	Total	\$ 23495

Tabla 3.15 Costos de utilizar prensado más solvente orgánico

Fuente: Chloé MONTHIEU – Ingeniería en Organización Industrial – Tesis Universidad Pontificia Comillas – “Estudio técnico económico de la extracción de los lípidos de las microalgas para la producción de biodiesel”

El coste en ciclohexano necesario al principio para poner en marcha la máquina está incluido en el precio del equipo. Se pierde alrededor de 0,05kg del solvente para cada kilo de biomasa. El resto se recicla.

Entonces para cada hora se debe añadir 10,5 kg de ciclohexano a un precio de 0,91€/kg, es decir 9,56€/hora de ciclohexano.

- **Extracción con fluidos supercríticos**

Se puede adquirir el equipo completo el cual presenta los siguientes costos en la tabla 3.16

N°	Equipos/Materiales u otros	Costos
1	Costo del equipo	\$ 94720
	Total	\$ 94720

Tabla 3.16 Costo para realizar extracción con fluidos supercríticos

Fuente: Chloé MONTHIEU – Ingeniería en Organización Industrial – Tesis Universidad Pontificia Comillas – “Estudio técnico económico de la extracción de los lípidos de las microalgas para la producción de biodiesel”

- **Extracción con ultrasonido**

Los costos de aplicar el método de extracción con ultrasonido se detallan en la tabla 3.17:

N°	Equipos/Materiales u otros	Costos
1	Aparato de ultrasonidos	\$ 32638
	Total	\$ 32638

Tabla 3.17 Costos del método extracción con ultrasonido

Fuente: Chloé MONTHIEU – Ingeniería en Organización Industrial –
Tesis Universidad Pontificia Comillas – “Estudio técnico económico de
la extracción de los lípidos de las microalgas para la producción de
biodiesel”

3.3.3.8 Purificación del aceite

Destilador

En la tabla 3.18 se detalla el costo de utilizar el sistema de destilación para la purificación del aceite

N°	Equipos/Materiales u otros	Costos
1	Sistema de destilación	\$ 15000
	Total	\$ 15000

Tabla 3.18 Costo de sistema de destilación

Fuente: Chloé MONTHIEU – Ingeniería en Organización Industrial – Tesis Universidad Pontificia Comillas – “Estudio técnico económico de la extracción de los lípidos de las microalgas para la producción de biodiesel”

Reciclo de agua

En la tabla 3.19 se detalla el costo de utilizar el sistema de reciclo de agua para la purificación del aceite.

N°	Equipos/Materiales u otros	Costos
1	Sistema de recirculación de agua	\$ 1500
	Total	\$ 1500

Tabla 3.19 Costo de sistema de reciclo de agua

Fuente: Chloé MONTHIEU – Ingeniería en Organización Industrial – Tesis Universidad Pontificia Comillas – “Estudio técnico económico de la extracción de los lípidos de las microalgas para la producción de biodiesel”

3.3.3.9 Producción del biodiesel

Primer mezclador

En la tabla 3.20 se detalla el costo de utilizar el sistema de reciclo de agua para la producción de biodiesel

N°	Equipos/Materiales u otros	Costos
1	Mezclador	\$ 25000
2	Alcohol metílico	\$ 1000
3	Catalizador ácido	\$ 1500
	Total	\$ 27500

Tabla 3.20 Costos del Primer Mezclador para la producción de biodiesel

Fuente: Chloé MONTHIEU – Ingeniería en Organización Industrial – Tesis Universidad Pontificia Comillas – “Estudio técnico económico de la extracción de los lípidos de las microalgas para la producción de biodiesel”

Segundo mezclador

En la tabla 3.21 se detalla el costo de utilizar el sistema de reciclo de agua para la producción de biodiesel

N°	Equipos/Materiales u otros	Costos
1	Mezclador	\$ 25000
2	Catalizador de tipo básico	\$ 2000
	Total	\$ 27000

Tabla 3.21 Costos del Segundo Mezclador para la producción de biodiesel

Fuente: Chloé MONTHIEU – Ingeniería en Organización Industrial – Tesis Universidad Pontificia Comillas – “Estudio técnico económico de la extracción de los lípidos de las microalgas para la producción de biodiesel”

Neutralizador

En la tabla 3.22 se detalla el costo de utilizar el sistema de reciclo de agua para la producción de biodiesel

N°	Equipos/Materiales u otros	Costos
1	Ácido sulfúrico	\$ 5000
	Total	\$ 5000

Tabla 3.22 Costos del Neutralizador para la producción de biodiesel

Fuente: Chloé MONTHIEU – Ingeniería en Organización Industrial – Tesis Universidad Pontificia Comillas – “Estudio técnico económico de la extracción de los lípidos de las microalgas para la producción de biodiesel”

Destilador

En la tabla 3.23 se detalla el costo de utilizar el sistema de reciclo de agua para la producción de biodiesel

N°	Equipos/Materiales u otros	Costos
1	Destilador	\$ 15000
	Total	\$ 15000

Tabla 3.23 Costos del destilador para la producción de biodiesel

Fuente: Chloé MONTHIEU – Ingeniería en Organización Industrial – Tesis Universidad Pontificia Comillas – “Estudio técnico económico de la extracción de los lípidos de las microalgas para la producción de biodiesel”

Decantador

En la tabla 3.24 se detalla el costo de utilizar el sistema de reciclo de agua para la producción de biodiesel

N°	Equipos/Materiales u otros	Costos
1	Decantador	\$ 10000
	Total	\$ 10000

Tabla 3.24 Costos del decantador para la producción de biodiesel

Fuente: Chloé MONTHIEU – Ingeniería en Organización Industrial – Tesis Universidad Pontificia Comillas – “Estudio técnico económico de la extracción de los lípidos de las microalgas para la producción de biodiesel”

3.3.3.10 Purificación del biodiesel

Lavado

En la tabla 3.25 se detalla el costo de utilizar el sistema de reciclo de agua para la producción de biodiesel

N°	Equipos/Materiales u otros	Costos
1	Tanque de lavado	\$ 15000
	Total	\$ 15000

Tabla 3.25 Costos del lavado para la producción de biodiesel

Fuente: Chloé MONTHIEU – Ingeniería en Organización Industrial – Tesis Universidad Pontificia Comillas – “Estudio técnico económico de la extracción de los lípidos de las microalgas para la producción de biodiesel”

Secado

En la tabla 3.26 se detalla el costo de utilizar el sistema de reciclo de agua para la producción de biodiesel

N°	Equipos/Materiales u otros	Costos
1	Secador	\$ 20000
	Total	\$ 20000

Tabla 3.26 Costos del secado para la producción de biodiesel

Fuente: Chloé MONTHIEU – Ingeniería en Organización Industrial – Tesis Universidad Pontificia Comillas – “Estudio técnico económico de la extracción de los lípidos de las microalgas para la producción de biodiesel”

3.3.3.11 Tabla de resultados final de precios

En la tabla 3.27 se muestra los costos de las formas de recolección de algas y el costo del terreno, donde se efectuará la investigación.

PARÁMETROS A ANALIZAR	COSTOS
Costo del terreno en estudio	\$1200000
Comprando algas	\$7500
Transportación	\$35000
Total	\$42500

Tabla 3.27 Costos de las formas de recolección de algas

Métodos de cultivo de algas marinas

En la tabla 3.28 se detallan los costos de los métodos de cultivo de algas marinas:

PARÁMETROS A ANALIZAR	COSTOS
Cultivos en estanque al aire libre utilizando piscinas en plataforma terrestre	\$13250000
Cultivos utilizando fotobiorreactores en la plataforma terrestre	\$ 10600000

Tabla 3.28 Costos de los métodos de cultivo de algas marinas

Tratamiento de algas marinas

En la tabla 3.29 se detalla el costo del tratamiento para la reproducción de las algas marinas:

PARÁMETROS A ANALIZAR	COSTOS
Tratamiento del agua para la reproducción de las algas	\$ 65530
Total	\$ 65530

Tabla 3.29 Costo del tratamiento para la reproducción de las algas marinas

Costos de procesos previos a la extracción de aceite de las algas marinas

En la tabla 3.30 se muestra el costo de filtrado de las algas previo al tratamiento de las mismas:

PROCESO DE FILTRADO	COSTOS
Utilizando centrifugación	\$15000
Utilizando unidad de filtro	\$15000

Tabla 3.30 Costo del proceso de filtrado

En la tabla 3.31 se detallan los costos del proceso de secado de algas marinas:

PROCESO DE SECADO	COSTOS
Secado solar directo	\$ 25040
Secado solar indirecto	\$ 20000
Sistema de filtro de tambor	\$ 47722
Secado spray	\$ 63913

Tabla 3.31 Costo del proceso de secado

Costos de métodos de extracción de aceite

En la tabla 3.32 que se detallan los precios de los métodos para la extracción de aceite

PARÁMETROS A ANALIZAR	COSTOS
Método de prensado simple	\$ 16958
Método de prensado más solvente orgánico	\$ 23495
Método de extracción con fluidos supercríticos	\$ 94720
Método de extracción con ultrasonido	\$ 32638

Tabla 3.32 Costo de los diferentes métodos de extracción de aceite

Costo de purificación del aceite

En la tabla 3.33 que se detalla el precio de purificación del aceite

PARÁMETROS A ANALIZAR	COSTOS
Destilador	\$15000
Reciclo de agua	\$1500
Total	\$20000

Tabla 3.33 Costo de purificación del aceite

Costos de Producción del biodiesel

En la tabla 3.34 se detalla los costos de la producción de biodiesel

PARÁMETROS A ANALIZAR	COSTOS
Primer mezclador	\$ 27500
Segundo mezclador	\$27000
Neutralizador	\$ 5000
Destilador	\$15000
Decantador	\$10000
Total	\$ 84500

Tabla 3.34Costos de la producción de biodiesel

Costo de Purificación del biodiesel

En la tabla 3.35 se detalla los costos de purificar el biodiesel

PARÁMETROS A ANALIZAR	COSTOS
Lavado	\$15000
Secado	\$20000
Total	\$35000

Tabla 3.35Costos de purificar el biodiesel

Costo del personal contratado

En la tabla 3.36 se detalla los costos del personal requerido:

PERSONAL	SALARIO
3 ingenieros: eléctrico, mecánico, industrial	\$4500
4 biólogos marinos	\$4800
16 operadores de maquinarias	\$9600
400 trabajadores de planta	\$180000
150 personal de oficina	\$60000
1 administrador	\$2500
1 gerente financiero	\$2000
Total	\$263400

Tabla 3.36 Costo del personal contratado

CAPITULO 4

ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS MÉTODOS DE OBTENCIÓN DE BIOCOMBUSTIBLE Y ASPECTOS AMBIENTALES DEL PROYECTO

En este capítulo se realizará un análisis técnico y ambiental de los métodos aplicables para la obtención de biocombustible; así como analizar el rendimiento entre los mismos.

4.1 Aspectos técnicos del proyecto y selección de los métodos más eficientes de producir aceite algal y de cultivo.

Estudios antes realizados consideran que el cultivo en estanque permite una producción de biomasa seca de microalgas de alrededor de 70 ton/ha/año. Su CAPEX (Capital Expenditure) alcanza 75 000€ por hectárea y su OPEX (Operational Expenditure) es alrededor de 40 000 € por hectárea por año.

Mientras que los fotobioreactores con una exposición directa al sol, tienen una productividad que puede llegar hasta 182.5 ton/ha/año. Su CAPEX alcanza 374 000 € por hectárea, pero puede llegar hasta 2,2 millones de euros para fotobioreactores con una iluminación óptima con una luz artificial. Su OPEX es significativamente superior que el del cultivo en estanques.

El coste de la biomasa de microalgas seca en función de método de cultivo y de la producción anual de biomasa, varía según la tabla 4.1 siguiente:

Producción de biomasa anual (t)	FOTOBIOREACTORES		CULTIVOS EN ESTANQUES	
	100	10000	100	10000
Costo para producir 1 Kg de biomasa de alga (€)	2.21	0.35	2.84	0.45

Tabla 4.1 Estimación del coste de la biomasa de microalga en función del método de producción

Fuente: “Biodiesel from microalgae”, Yusuf Chisti, 2007].

El costo de producción de la biomasa es mucho menor cuando se producen a gran escala con una producción anual de 10 000 toneladas por año.

El uso de fotobiorreactores a largo plazo permite producir biomasa de microalga a menor costo. En caso de hacer uso de esta tecnología el costo de producción de 1kg de biomasa de microalga (peso seco) en esta planta es 0,35 €.

El precio de aceite de microalga extraído se ha calculado en función del precio actual del biodiesel. Para que sea competitivo, el precio del biodiesel debe ser el máximo al precio del biocombustible actual.

El precio de biocombustible como por ejemplo en España en Abril 2010 era de 1,04€/L.

Este precio se compone de 20% de impuestos, 9% de distribución y marketing, 52% del costo del aceite crudo y 19% de gastos de refinado.

El proceso de refinado es el mismo para el diesel y el biodiesel, así que se considera que es el mismo porcentaje y gasto.

Se ha calculado que el coste del aceite de microalga crudo tiene que ser el máximo 0,54€/L, es decir 0,48€/kg con una densidad, $\rho = 0,887\text{kg/L}$. [17]

4.1.1. Estimación de la Producción de algas

Producción de cultivar algas en estanque

La producción de biomasa seca de microalgas es de alrededor de 70 ton/ha/año. El terreno en estudio es de 100 hectáreas; es decir que la producción sería **7000 toneladas de algas por año**. [17]

Producción de cultivar algas en fotobiorreactores

El uso de fotobiorreactores tiene una productividad que puede llegar hasta 182.5 ton/ha/año; es decir la producción en el proyecto de investigación sería **18250 toneladas de algas por año**. [28]

Mejor alternativa:Entonces resulta más eficiente con respecto a producción, cultivar algas por medio de fotobiorreactores.

4.1.2. Selección del mejor método de deshidratación

Para cada método de deshidratación se ha considerado el coste del equipo, su capacidad en kilogramos de biomasa por hora, el consumo energético por hora y el coste de otros componentes por hora, como se muestra en la tabla 4.2; y en la tabla 4.3 se detalla la rentabilidad de los métodos:

	Secador Solar	Tambor rotatorio	Secado Spray	Unidades
Costo del equipo	25040	47722	63913	\$
Capacidad del equipo	2400	417	265	Kg/día
Costo de la biomasa algal	0.35	0.35	0.35	\$/kg
Consumo energético	0.60	2.52	0.60	\$/h
Costo diario	849.6	861.13	1319.94	\$
Rendimiento diario	2400	2418.60	2398.25	Kg de biomasa secada

Tabla 4.2 Costo de los diferentes métodos de deshidratación

RENTABILIDAD	Secador solar	Tambor Rotatorio	Secado Spray	Unidades
Inversión inicial	25040	47722	63913	\$
Costo anual	271872	275560.32	422381.60	\$
Costo total sobre 1 año	289372	309160.32	467381.60	\$
Rendimiento anual	768000	773952	767440	Kg de biomasa secada
Costo de secado	0.38	0.40	0.61	\$/Kg de biomasa secada

Tabla 4.3 Rentabilidad de los diferentes métodos de deshidratación

Si se ponen todas las máquinas en marcha durante las 16 horas diarias, la capacidad máxima para cada método es: 2400 kg de

biomasa por día para el secador solar, 6672 kg para el tambor rotativo y 4240 kg para el secador spray.

Por eso se limita a un secado de 2400 kg de biomasa de alga por día como base de comparación.

El tambor rotatorio es operativo 5,80 horas por día, el secador spray 9,05 horas por día.

Finalmente como podemos observar en las tablas el método que tiene los costos más interesantes, considerando factores variables como son los costes del equipo, el consumo energético y de otros componentes adicionales, para la misma cantidad de biomasa a secar es el del secador solar, además se cuenta con la ventaja que el sol en la Península tiene una irradiación solar importante.

4.1.3. Selección mejor del método de extracción de aceite

El rendimiento total del aceite que puede ser extraído puede llegar a ser hasta del 95%. El costo final de la extracción del aceite obtenido se ha obtenido a partir de los factores que cambian en cada método de extracción, es decir el coste del equipo, el consumo energético, los componentes a añadir y el rendimiento en aceite. Este coste nos da un factor de comparación entre los tres métodos.

A continuación en las tablas 4.4 y 4.5 se muestran los costos de los métodos de extracción de aceite y la rentabilidad de los mismos:

	Prensa + solvente orgánico	FSC	Ultrasonido	Unidades
Costo del equipo	23495	94720	32638	\$
Rendimiento en aceite	0.95	0.95	0.80	
Capacidad de las maquinas	150	95	120	Kg/h
Costo de la biomasa algal	0.35	0.35	0.35	\$/Kg
% de lípidos en la biomasa	0.45	0.45	0.45	
Consumo energético	5.17	3.42	1.92	\$/h
Costo de otros componentes	9.56	1.22	0	\$/h
Costo diario	679.02	606.24	557.78	\$
Rendimiento diario en aceite	431.78	433.20	365.76	Kg de aceite

Tabla 4.4 Costo de los métodos de extracción de aceite

RENTABILIDAD	Prensa + solvente orgánico	FSC	Ultrasonido	Unidades
Inversión inicial	23495	94720	32638	\$
Costo anual	217287.36	193996.8	178490.88	\$
Costo total sobre 1 año	263287.36	260686.8	201470.88	\$
Rendimiento anual	138168	138624	117043.2	Kg de aceite
Costo de secado	1.91	1.88	1.72	\$/Kg de aceite

Tabla 4.5 Rentabilidad de los métodos de extracción de aceite

Finalmente como podemos observar en las tablas el método que tiene los costos más óptimos, considerando factores variables como son los costes del equipo, el consumo energético, el mantenimiento anual y de

otros componentes adicionales, para la misma cantidad de biomasa es el método por ultrasonido.

Los costos anuales utilizando el método por ultrasonido son de **\$178490.88**, con una inversión inicial de **\$32638**; cifra más económica con respecto a los métodos antes mencionados.

4.2 Análisis Económico del proyecto

Para realizar el análisis económico del proyecto de obtención de biodiesel se va usar una proyección de 20 años, con una tasa del 12% de interés. Para esto aplicaremos el método del VAN (valor actual neto) y se calculará la TIR (tasa interna de retorno).

4.2.1 Método del VAN (Valor actual neto)

Permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los flujos de caja futuros del proyecto. A

este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto.

El método de valor presente es uno de los criterios económicos más ampliamente utilizados en la evaluación de proyectos de inversión. Consiste en determinar la equivalencia en el tiempo 0 de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto y comparar esta equivalencia con el desembolso inicial. Cuando dicha equivalencia es mayor que el desembolso inicial, entonces, es recomendable que el proyecto sea aceptado.

La fórmula que nos permite calcular el Valor Actual Neto es:

$$VAN = -A + \frac{Q_1}{(1+K)} + \frac{Q_2}{(1+K)^2} + \dots + \frac{Q_N}{(1+K)^N}$$

Donde:

A = Desembolso inicial.

Q_i = Flujo neto de caja del año i .

K = Tipo de actualización o descuento.

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Valor_actual_net

Para aplicar este método se necesita la inversión total del proyecto, los costos anuales de operación y mantenimiento, los ingresos anuales; para luego proyectarlos a 20 años al 12% de interés.

4.2.2 Método de la TIR

Se denomina Tasa Interna de Rentabilidad (T.I.R.) a la tasa de descuento que hace que el Valor Actual Neto (V.A.N.) de una inversión sea igual a cero. (V.A.N. =0).

Este método considera que una inversión es aconsejable si la T.I.R. resultante es igual o superior a la tasa exigida por el inversor, y entre varias alternativas, la más conveniente será aquella que ofrezca una T.I.R. mayor.

La T.I.R. es un indicador de rentabilidad relativa del proyecto, por lo cual cuando se hace una comparación de tasas de rentabilidad interna de dos proyectos no tiene en cuenta la posible diferencia en las dimensiones de los mismos. Una gran inversión con una T.I.R. baja puede tener un V.A.N. superior a un proyecto con una inversión pequeña con una T.I.R. elevada.[29]

4.2.3 Aplicación de los métodos VAN y TIR al proyecto de inversión

En la tabla 4.6 se muestra la inversión inicial del proyecto:

Compra de algas	\$7500
Transporte y recepción	\$36500
Fotobiorreactores	\$ 10600000
Tratamiento del agua	\$65530
Centrifugación	\$15000
Secado solar	\$25040
Método ultrasonido	\$32638
Purificación aceite	\$16500
Producción Biodiesel	\$84500
Purificación Biodiesel	\$35000
Compra del terreno	\$ 1200000 (100 ha, \$12/m ²)
Total de inversión	\$12118208

Tabla 4.6 Inversión Inicial

En la tabla 4.7 se muestra los costos anuales del proyecto:

Costo anual Secado solar	\$271872
Costo anual de método ultrasonido	\$178490
Mantenimiento del transporte	\$5000
Gastos operativos fotobiorreactores	\$6000000
Gastos de personal	\$263400
Total	\$6718762

Tabla 4.7 Costos anuales

En la tabla 4.8 se muestra los ingresos anuales del proyecto:

Ingreso anual	Costo aceite algal	Producción de biodiesel (litros anuales)
\$8185580	\$95/barril	13700000 = 86164 barriles

Tabla 4.8 Ingresos anuales

Los ingresos anuales se obtienen de la venta del biocombustible:

Se estima que 1 ha produce desde un mínimo de 58700 a un máximo de 137000 litros de biodiesel.

Para la producción anual se escogerá el valor máximo, es decir 137000 litros de biodiesel.

Entonces si el terreno es de 100 ha, se producen 13700000 litros de biodiesel.

Para obtener el precio del biodiesel con respecto al combustible petróleo se ha analizado la siguiente analogía:

El precio de petrodiesel en España en Abril 2010 era de 1,04€/L, entonces el coste del aceite de microalga crudo tiene que ser 0,54€/L; es decir: **Costo litro biodiesel algal = 0.52 costo del litro de aceite petróleo.**[17]

El barril de petróleo (159 litros)[30] cuesta \$113, **entonces el costo del barril de aceite algal debería ser de \$58.76.**[31]

Para obtener ganancias anuales (es decir que los ingresos sean mayores que los egresos); en el proyecto de inversión el costo del barril de aceite algal deberá ser de \$95.

Entonces, los ingresos anuales resultan de la venta del biocombustible. Por lo tanto si se producen 13700000 litros de biodiesel anual equivalente a 86164 barriles, el ingreso sería $86164 * \$95 = \8185580 anuales de ingresos.

Para realizar una proyección se obtienen los datos mostrados en la tabla 4.9:

Inversión inicial	\$12118208
Gastos anuales	\$6718762
Ingresos anuales	\$8185580
Beneficio bruto	\$1466818
Amortización	\$605910.4
Beneficio antes imp. y tasa o utilidades	\$860907.6
Beneficio antes impuestos	\$731771.46
Beneficio neto	\$548828.595
Anualidad	\$1154738,995
Tasa	12%
Periodo	20 años
VAN	-3492950,176
TIR	7%

Tabla 4.9 Cálculo del VAN y TIR

Beneficio bruto = Ingresos - Egresos

Beneficio bruto = 8185580 - 6718762

Beneficio bruto = \$1466818

Amortización = Inversión/vida útil (20 años)

Amortización = 12118208/20

Amortización = \$605910.4

Beneficio antes imp. y tasa o utilidades = Beneficio bruto – amortización

Beneficio antes imp. y tasa o utilidades = 1466818 - 605910.4

Beneficio antes imp. y tasa o utilidades = \$860907.6

Beneficio antes imp= Beneficio antes imp. y tasa o utilidades - 15%

Beneficio antes imp= 860907.6 – 129136.14

Beneficio antes imp= \$731771.46

Beneficio neto = Beneficio antes imp– 25%

Beneficio neto = 731771.46 – 182942.865

Beneficio neto = \$548828.595

Anualidad = Beneficio neto + Amortización

Anualidad = 548828.595 + 605910.4

Anualidad = \$1154738,995

Entonces se puede concluir que el VAN es negativo y la TIR es menor que la tasa de interés; es decir el proyecto no es viable a lo largo de 20 años.

El precio del barril (159 litros) de biocombustible a partir de algas es de **\$95.**

Para que el proyecto sea factible, tendría que aumentar mis ingresos anuales, considerando dos maneras: subiendo el precio del barril algal o produciendo mayor cantidad de barriles por año (para esto debo cultivar más algas y comprar más terreno).

Para que el proyecto sea factible el precio de cada barril algal se lo debería vender en \$105, resultando:

VAN = 609981,5943

TIR = 13%

Tasa	12%
Inversión inicial	12118208
Gastos anuales	6718762
Ingresos anuales	9047220
Beneficio bruto	2328458
Amortización	605910,4
Beneficio antes imp. y tasa o utilidades	1722547,6
beneficio antes impuestos	1464165,46
Beneficio neto	1098124,095
Anualidad	1704034,495

Periodo	20
VAN	609981,5943
TIR	13%

Tabla 4.10 Cálculo rentable del VAN y TIR

4.3 Biodiesel a partir de Microalgas y su aspecto ambiental

El biodiesel y sus beneficios sobre el medio ambiente.

El biodiesel es considerado en la actualidad como un biocombustible amigable con el medio ambiente. El mundo actual está en busca de una fuente de combustible limpia, porque los problemas que se provocan al utilizar combustibles fósiles ya están presentándose.

Es evidente que bajo una óptica global, la utilización de biodiesel como sustitutivo del gasóleo presenta importantes ventajas de tipo ambiental.

EL biodiesel y el efecto invernadero

La actividad humana, principalmente el uso de combustibles fósiles y la destrucción de los bosques, emiten millones de toneladas de denominados “gases de efecto invernadero” a la atmósfera, es decir dióxido de carbono y de metano. Asimismo, la emisión de gases a efecto invernadero acelera el calentamiento de la atmósfera. Por eso, las estrategias a utilizar se centran en controlar y estabilizar los gases de efecto invernadero lo que ha impulsado el desarrollo de las energías renovables.

La causa del efecto invernadero se encuentra en la quema masiva de combustibles fósiles en el transcurso de cortos periodos de tiempo. La cantidad de dióxido de carbono que se emite se acumula en las capas superiores del aire.

La quema de aceite vegetal por el contrario, se desarrolla en un ciclo cerrado de carbono y produce un efecto invernadero menor. Esta emisión menor de dióxido de carbono es debida a que este gas es absorbido por fotosíntesis.

En los resultados reportados, se aprecian reducciones netas de dióxido de carbono del 100% debido a que este gas es transformado por las plantas en oxígeno por medio del proceso de fotosíntesis.

La otra ventaja en la utilización del biodiesel reside en la reducción de emisiones de óxidos de azufre y de sulfatos. Las reducciones de SO₂ son cercas de un 100% debido a la ausencia de azufre en el biodiesel. En consecuencia no se emite dióxido de azufre en su combustión ni produce lluvias ácidas.

El biodiesel y la salud humana

El biodiesel es más seguro para respirar para las personas. En los Estados Unidos, búsquedas han mostrado que las emisiones de biodiesel han bajado el nivel de todos los hidrocarburos aromáticos poli cíclicos (HAP) y nitro HAP compuestos, comparando con exhausto de diesel. HAP y nHAP compuestos han sido identificados como potencial compuestos causantes de cáncer.

Un análisis biológico del biodiesel presenta un impacto favorable para la salud al compararlo con el análisis de biodiesel. En la investigación realizada se obtiene que la presencia de esteres de aceites vegetales en el diesel produce una drástica disminución del número de partículas, con un pequeños incremento en el tamaño medio de estas partículas.

En cuanto a la distribución del diámetro medio de las partículas de biodiesel es 10 veces mayor que las del diesel, lo cual les hace más difícil de inhalar por el ser humano y que se depositen en los pulmones.

La biodegradabilidad y toxicidad del biodiesel

Entre otros aspectos medio ambientales, hay que destacar que el biodiesel es 100% biodegradable y no es toxico. Su biodegradación

alcanza a ser cuatro veces más rápida al compararla con la del diesel. Además, el biodiesel es fácil y seguro de transportar, debido a su alto punto de ignición comparado con el del biodiesel, lo cual reafirma su potencial como energía renovable.

El biodiesel y su impacto negativo

La deforestación

Si la deforestación y las técnicas de agricultura monocultivo se utilizan para crecer cosechas de biocombustible, el biodiesel podría estar amenazando el medio ambiente.

El impacto ambiental positivo de la utilización de microalgas como materia prima.

Las microalgas utilizadas como fuente de materia prima del biodiesel presentan una serie de ventajas importantes con respecto a los otros productos agrícolas que se emplean en la actualidad.

El cultivo de las microalgas no afecta al mercado de los alimentos

En la actualidad, grandes partidas de cereales se están destinando para producir bioetanol o biodiesel lo que provoca que estos escaseen y se

eleve su precio en perjuicio de la industria alimentaria y sobretodo de las sociedades más pobres.

La obtención de biocombustibles a partir de microalgas permitirá que la tierra necesaria para el cultivo de vegetales que pueden ser utilizados como alimentos, no sea explotada. Así, no se alteraría el precio de estos ni su disponibilidad.

El cultivo de las microalgas no necesita la destrucción de bosques o selvas.

Como se ha sido mencionado antes, la inmensa demanda de biocombustibles elaborados a partir de cultivos tradicionales provoca la destrucción de zonas selváticas y forestales, todo esto con el fin de ampliar la superficie cultivable. Esto repercute de manera muy negativa en nuestro ecosistema.

El cultivo de las microalgas se puede realizar en estanques localizados en áreas desérticas o en terrenos improductivos para cualquier tipo de vegetal. Así, existen centrales de producción de microalgas para biocombustibles en desiertos aprovechando de las excelentes cualidades de insolación que ofrecen.

El cultivo de las microalgas reduce las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera

El crecimiento de las microalgas requiere dióxido de carbono que toman de la atmósfera capturándolo en sus moléculas. En el momento de su combustión ese dióxido de carbono tomado se libera y se devuelve al aire. Por lo tanto, se libera tanto dióxido de carbono como el que la microalga tomó durante su desarrollo, así, el balance final es igual a cero. Parece de esta forma paliar el efecto invernadero y a restablecer el equilibrio térmico de la planeta.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al finalizar el proyecto y después de analizar las diferentes características que presenta la producción de biodiesel a partir de microalgas se plantea lo siguiente:

1. El costo del barril de biocombustible a partir de algas marinas en el proyecto de análisis es de \$95, considerando que el costo del barril de petróleo es de \$113, con lo que se puede decir: Costo del barril de biocombustible = 0.84070 Costo del barril de petróleo. Valor que es más económico, más eficiente y no contamina el ambiente.
2. El análisis económico a 20 años y al 12% de interés, y vendiendo el barril de biocombustible algal a \$95 genera un valor actual neto de - \$3492950.176 y una tasa interna de retorno de 7%, lo cual no hace viable el proyecto de inversión.

Tasa	12%
Inversión inicial	12118208
Gastos anuales	6718762
Ingresos anuales	8185580
Beneficio bruto	1466818
Amortización	605910,4
Beneficio antes imp. y tasa o utilidades	860907,6
beneficio antes impuestos	731771,46
Beneficio neto	548828,595
Anualidad	1154738,995

Periodo	20
VAN	-3492950,176
TIR	7%

Para que el proyecto sea factible el precio de cada barril algal se lo debería vender en \$105, resultando:

Tasa	12%
Inversión inicial	12118208
Gastos anuales	6718762
Ingresos anuales	9047220
Beneficio bruto	2328458
Amortización	605910,4
Beneficio antes imp. y tasa o utilidades	1722547,6
beneficio antes impuestos	1464165,46
Beneficio neto	1098124,095
Anualidad	1704034,495

Periodo	20
VAN	609981,5943
TIR	13%

VAN = 609981,5943

TIR = 13%

3. El método utilizado para cultivar las algas marinas fue por medio de fotobiorreactores, que a pesar de ser el más costoso con un valor de inversión de \$16780000 y costos anuales de \$600000 anuales, es el más eficiente en cuanto al crecimiento de las mismas y obtención de ganancias. En un proyecto es más factible realizar una mayor inversión con el objetivo de lograr un producto de mejor calidad.
4. El método utilizado para la obtención del aceite algal, previo a la producción de biocombustible es por medio de ultrasonidos, el cual requiere una inversión inicial de \$32638, cifra que minimiza los de inversión y mantenimiento de anual (\$178490.88), en comparación con los otros métodos antes mencionados que poseen costos elevados de inversión y mantenimiento, tal como se muestra:

RENTABILIDAD	Prensa + solvente orgánico	FSC
Inversión inicial	23495	94720
Costo anual	217287.36	193996.8

Las Recomendaciones son:

1. Para llevar a cabo proyectos de gran escala, como la producción de biocombustible a partir de algas, es necesario contar con terreno de gran magnitud para realizar el cultivo y la producción de las mismas, lo cual es factible desarrollarlo en zonas apartadas, para que no afecten al turismo.
2. Una alternativa sustituta del combustible fósil, es producir biocombustible a partir de algas marinas, ya que es un producto amigable con el medio ambiente, de alto rendimiento y óptima producción:

En 100 hectáreas de algas marinas se produce 13700000 litros de biodiesel anual equivalente a 86164 barriles.

BIBLIOGRAFIA

[1] González, Gustavo, “Características y uso del Bambú”,

<http://es.scribd.com/doc/52270952/23/CUADRO-N%C2%B0-11->

PRINCIPALES-PRODUCTORES-DE-BIOCOMBUSTIBLES-2005, Febrero

del 2007, pág. 26

[2] López, Elena, “Estudio y desarrollo de una planta piloto para la obtención de biodiesel”,

<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/10147/1/Mem%C3%B2ria.pdf>

f, fecha de consulta mayo del 2011, pág. 17, 18

[3] BIODISOL, “¿Cuáles son las ventajas y las desventajas de utilizar biodiesel en lugar de diesel?”,

[http://www.biodisol.com/biocombustibles/cuales-son-las-ventajas-y-las-](http://www.biodisol.com/biocombustibles/cuales-son-las-ventajas-y-las-desventajas-de-usar-biodiesel-en-lugar-de-diesel-o-gasol-biocombustibles-biodiesel-cultivos-energeticos/)

desventajas-de-usar-biodiesel-en-lugar-de-diesel-o-gasol-biocombustibles-

biodiesel-cultivos-energeticos/, Noviembre 10 del 2009

[4] BIO LATINA, “Normas básicas para la acuicultura ecológica de BIO

LATINA”, [http://www.biolatina.com/doc_bl/normas200311/GNP-ACU-](http://www.biolatina.com/doc_bl/normas200311/GNP-ACU-010511.pdf)

010511.pdf, Mayo 01 del 2011, pág. 18

[5] Panorama Acuícola Magazine, “Microalgas para la producción de biocombustibles y otras aplicaciones: una revisión”,

http://www.panoramaacuicola.com/articulos_y_entrevistas/microalgas_para_la_aproduccion_debiocombustibles_yotras_aplicacionesuna_revision.html, Abril 21 del 2010

[6] Wikipedia, "Provincia de Santa Elena",
http://es.wikipedia.org/wiki/Provincia_de_Santa_Elena, fecha de consulta febrero del 2011

[7] Mazarita Virginia, Tito Gabriela y Veliz Nora, "Propuesta para la creación de un mirador turístico en el cerro El Tablazo del Cantón Santa Elena para contribuir con el desarrollo turístico sostenible del destino",
<http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/5909>, Julio 09 del 2009

[8] Wikipedia, "PETROINDUSTRIAL",
<http://es.wikipedia.org/wiki/PetroIndustrial>, fecha de consulta febrero del 2011

[9] Econ. Arboleda, Félix, "La gestión ambiental en Petroindustrial, filial de Petroecuador, años 1998 -2002", Instituto de Altos Estudios Nacionales, fecha de consulta abril del 2011, pág.83

Solís, Hugo y Carrillo, Patricio, "Inventario de Emisiones gaseosas en la Refinería Estatal de Esmeraldas",
<http://repositorio.eppetroecuador.ec/handle/20000/87>, Febrero del 2011, pág.

[10] Velastegui, Luis y Veloz, Cynthia, “Elaboración del Plan de contingencias para las operaciones hidrocarburíferas desarrolladas en el campo Gustavo Galindo Velasco”, <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/133>, Febrero del 2007, pág. 24

[11] Tapia, María, “Productividad del fitoplancton en la bahía de Santa Elena, Ecuador durante mayo del 2006”, Acta oceanográfica del pacífico. Vol. 15, N°1, 2009

[12] Naciones Unidas, “Protocolo de Kyoto de la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático”,
<http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>, 1998

[13] Salinas, Zenia y Hernández, Paulo, “Guía para el diseño de proyectos MDL forestales y de bioenergía”,
<http://www.serna.gob.hn/portal%202010/cc/cc%20actualizado/Guia%20para%20diseno%20de%20proyectos%20MDL-%20CATIE.pdf>, 2008

[14] Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE),
“Guía para el diseño de proyectos MDL forestales y de bioenergía”,
http://books.google.com.ec/books?id=fyAOAQAIAAJ&pg=PR8&lpg=PR8&dq=Gu%C3%ADa+para+el+dise%C3%B1o+de+proyectos+MDL+forestales+y+de+bioenerg%C3%ADa&source=bl&ots=L7QZpi5NU9&sig=taSr_KnbyYQ0yKO-2s-rBeR5gUQ&hl=es&ei=gXSLTvjDO4jEgAfM7cScAw&sa=X&oi=book_result&ct

=result&resnum=3&ved=0CCYQ6AEwAg#v=onepage&q=Gu%C3%ADa%20para%20el%20dise%C3%B1o%20de%20proyectos%20MDL%20forestales%20y%20de%20bioenerg%C3%ADa&f=false, 2008

[15] Constitución del Ecuador 2008, fecha de consulta abril del 2011

[16] Barraza Camila, Collao Vanessa, Espinoza Camila, Moya

Francisco, Thun Gabriel y Torres Mauro, "Producción de Biodiesel a partir de micro algas", <http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/produccion-biodiesel-microalgas/produccion-biodiesel-microalgas.shtml>, fecha de consulta Enero del 2011

[17] MONTHIEU, Chloé, "Estudio técnico económico de la extracción de los lípidos de las microalgas para la producción de biodiesel",

<http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/4c2200f964f8e.pdf>, fecha de consulta abril del 2011

[18] López, Elena, "Estudio y desarrollo de una planta piloto para la obtención de biodiesel",

<http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/10147/1/Mem%C3%B2ria.pdf>, fecha de consulta mayo del 2011

[19] Loera, Maribel y Olgúin, Eugenia, "Las Microalgas oleaginosas como fuente de biodiesel: retos y oportunidades",

http://www3.inecol.edu.mx/relbaa/images/docs/loera_olguin_2010_revlatinoambiotecnolambalgal_v1n1.pdf, fecha de consulta abril del 2011

[20]Guerrero, Maritza y Solera, Paola, “Las Algas como fuente de Producción de Biocombustible”,

<http://www.olade.org/biocombustibles2008/Documents/PONENCIAS%20III%20SEMINARIO%20BIO/SESION%209/2.%20Maritza%20Guerrero-%20ITC%20-%20Costa%20Rica%20-%20Sesi%C3%B3n%209.pdf>, fecha de consulta abril del 2011, INTA, “Compendio de la producción de bioenergía a partir de las algas”, <http://www.inta.gov.ar/info/bioenergia/boletines/bc-inf-06-08.pdf>, Septiembre 20 del 2008, pág. 7, 8

[21] Ing. González, Ángel, Dr. Kafarov, Viatcheslav y Dr. Guzmán, Alexander, “Desarrollo de métodos de extracción de aceite en la cadena de producción de biodiesel a partir de Microalgas”,

http://www.uac.edu.co/images/stories/publicaciones/revistas_cientificas/prospectiva/volumen-7-no-2/articulo6-v7n2.pdf, Diciembre del 2009

[22] Mendiola, José, “Extracción de compuestos bioactivos de Microalgas mediante fluidos supercríticos”,

<http://digital.csic.es/handle/10261/6753>, Abril del 2008

[23] Barraza Camila, Collao Vanessa, Espinoza Camila, Moya

Francisco, Thun Gabriel y Torres Mauro, “Producción de Biodiesel a partir de micro algas”, <http://www.monografias.com/trabajos-pdf2/produccion-biodiesel->

microalgas/produccion-biodiesel-microalgas.shtml, fecha de consulta Enero del 2011

[24]Solís, Hugo y Carrillo, Patricio, “Inventario de Emisiones gaseosas en la Refinería Estatal de Esmeraldas”, <http://repositorio.eppetroecuador.ec/handle/20000/87>, Febrero del 2011, pág. 1

[25] Andrade, Francisco, “Control y visualización de las etapas de recepción, filtrado y despacho de combustible de la planta Jet Fuel del terminal El Beaterio de Petrocomercial”, Escuela Politécnica Nacional, Septiembre del 2007, pág. 29

[26]Florez, Santiago, “Efecto de las microalgaschaetocerosgracilis,Tetraselmispp. eischrysis galbana sobre la reproducción y desarrollo naupliar en copépodos calanoideos marinosTropicales, acartiaspp.”, <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6970/1/Efecto%20de%20las%20Microalgas%20Chaetoceros%20gracilis.pdf>, fecha de consulta febrero del 2011, Pág. 34

[27] Tecnología para todos, “Granjas para cultivos de Microalgas”,
<http://www.tecnologiaparatodos.com.ar/bajar/algas2-2008.pdf>, fecha de
consulta junio del 2011

[28] Youtube.com, “Cultivando algas marinas en la aldea de
Kutuh”,<http://www.youtube.com/watch?v=i-RFNg6cNU4>, fecha de consulta
julio del 2011

[29] Zona Económica, “Método de análisis de inversiones – TIR VAN”,
<http://www.zonaeconomica.com/inversion/metodos>, fecha de consulta junio
del 2011

[30] Diario Milenio, “Subieron en 2,3 millones de barriles las reservas de
petróleo de EU”,
[http://www.milenio.com/cdb/doc/noticias2011/43ce1154b9b35f5df68a76643e
06da7d](http://www.milenio.com/cdb/doc/noticias2011/43ce1154b9b35f5df68a76643e06da7d), Julio 27 del 2011

[31] Expansión.com, “El precio del barril OPEP sube y se mantiene por
encima de los 113 dólares”,
<http://www.expansion.com/agencia/efe/2011/07/27/16373909.html>, Julio 27
del 2011