



UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS
FACULTAD DE INGENIERÍA
Departamento de Ingeniería Química

**TRABAJO DE DIPLOMA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

Título: Propuesta tecnológica para el acondicionamiento del agua de mar y los gases de combustión, utilizados en el cultivo intensivo de la macroalga “*Ulva Lactuca sp*”.

Autora: Milena Sarduy León

Tutores: Dr. C. Agustín García Rodríguez (UCLV)
Ing. Liset Roche Delgado (UCLV)

Cienfuegos, 2017

“Dios no te hubiera dado la capacidad de soñar sin darte también la posibilidad de convertir tus sueños en realidad”.

Héctor Tassinari

Por su insuperable apoyo, esto va para ustedes: mis padres.

Judith León Arencibia

Pedro B. Sarduy Ariles

A mis padres: por motivarme continuamente hacia el conocimiento.

A mi familia: por ver en mí un ejemplo de superación a seguir, en especial a todas mis tías.

A mis tutores: Dr. C. Agustín García Rodríguez, Ing. Liset Roche Delgado por todo el tiempo dedicado a esta investigación, por la propuesta y la confianza mostrada para la culminación de mi formación profesional.

A la Empresa Termoeléctrica “Carlos Manuel de Céspedes” de Cienfuegos: en especial a:

Ing.: Víctor Pedro Molina Romeo

Ing.: Juan Bravo Núñez

Lic.: María Cristina Pérez Romo

Al Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC): por toda su colaboración en los análisis de laboratorio.

A mi amiga Vanessa Villazón León: por ayudarme tanto en todos estos 5 años.

A mis compañeros de aula: por ser un grupo incomparable, más que un grupo una familia creada en solo 5 años, de verdad no tengo palabras para agradecer, los quiero mucho y gracias a todos.

A mis profesores: por toda la amplia variedad de conocimientos compartidos.

A Modesto Espinoza Zamora: por ser un excelente profesor.

Y a todos los que contribuyeron de una forma u otra en estos cinco años de carrera:

GRACIAS

RESUMEN

En nuestro país, no existen precedentes tecnológicos que permitan diseñar una planta de cultivo intensivo de macroalgas para obtener biomasa algal utilizada en una variada gama de productos y que a su vez sea capaz de contribuir a la disminución de los gases de combustión, particularmente el CO₂, proveniente de las industrias. El presente trabajo se realizó con el objetivo de proponer una tecnología que acondicionara los gases de combustión de la Empresa Termoeléctrica “Carlos Manuel de Céspedes” de Cienfuegos y el agua de mar, utilizados en dicho proceso, teniendo en cuenta resultados obtenidos en investigaciones anteriores. Con el propósito de simular lo que le ocurriría al agua de mar una vez que se le suministraran dichos gases, se realizó un experimento y se analizaron los diferentes parámetros de calidad del agua, arrojando cifras dentro del rango permitido para el cultivo. Para la etapa de acondicionamiento del agua de mar se diseñaron los sistemas de bombeo y filtración que garantizaran los flujos de producción necesarios, en el caso del tratamiento de los gases se diseñó un enfriador de gases para un flujo de 110 544 kg/día. Dicho diseño responde a un flujo de producción de 616 kg/día de biomasa seca. La ejecución del proyecto resultó factible con un periodo de recuperación de 2 años, una tasa interna de retorno (TIR) de 59 % y un VAN de \$1 402 645,54.

Palabras claves: *Ulva lactuca*, macroalgas, cultivo intensivo, biorreactores.

CONTENIDO

Introducción.	1
Capítulo 1. Estudios Documentales.	3
1.1 Generalidades de las algas.....	3
1.1.1 Caracterización de las macroalgas.	5
1.1.2 La industria de las macroalgas.	8
1.3 Composición química y valor nutricional de algas del género “ <i>Ulva</i> ”.	9
1.4 Características de la “ <i>Ulva Lactuca</i> ”	10
1.4 Factores que limitan la producción masiva de las algas.....	15
1.5 Sistemas de cultivo intensivos.....	19
1.6 Empleo de la biomasa algal.....	21
Capítulo 2. Análisis de los efectos del suministro de gases de combustión de la ete en agua de mar.	27
2.1 Materiales y métodos.	27
2.1.1 Métodos experimentales.....	28
2.2 Caracterización de las principales variables de control de la agua de mar (data histórica de la ETE).	28
2.2 Análisis de calidad del agua de mar antes de suministrar gases de la ete.	30
2.3 Análisis de calidad del agua acondicionada.....	30
2.4 Comparación de dos muestras independientes (agua de mar limpia - agua acondicionada. ...	32
2.5 Análisis de nitratos (NO_3^-), nitritos (NO_2^-) y demanda química de oxígeno (DQO), realizados al agua acondicionada.	40
Capítulo 3: Propuesta tecnológica. Análisis técnico- económico.	42
3.1 Descripción general del proceso de cultivo intensivo de la “ <i>Ulva Lactuca</i> ”.	42
3.2 Etapa de preparación del medio acuoso y los gases de combustión.....	44
3.3 Diagrama de flujo del proceso.	44
3.4 Dimensionamiento de los equipos.....	45
3.4.1 Selección de las bombas.....	45
3.4.2 Selección del filtro	47
3.4.3 Diseño de los tanques.	47
Tanque de agua utilizado en la etapa de tratamiento de los gases.....	48
3.4.4 Selección del enfriador de gases.	48
3.4.5 Selección de las válvulas.....	49

3.5 Análisis técnico - económico.....	50
3.5.1 Costo de adquisición del equipamiento.....	50
3.5.2 Costo total de inversión (CTI).....	50
3.5.3 Costo total de producción.....	52
3.5.4 Cálculo de la ganancia.....	53
3.5.5 Indicadores dinámicos de rentabilidad	53
Conclusiones	55
Recomendaciones.....	56
Bibliografía	57
Anexos.....	62
Anexo A Vista satélite de la empresa termoeléctrica “Carlos Manuel de Céspedes” de Cienfuegos.....	62
Anexo B. comportamiento del cultivo de las macroalgas en países asiáticos.....	63
Anexo C: Técnicas analíticas empleadas por la ETE para caracterizar el agua de mar.....	64
Anexo D Tabla de valores empleados para determinar el flujo de gases utilizados en el experimento.....	68
Anexo D. Composición de los gases de combustión de la Termoeléctrica “Carlos Manuel de Céspedes” Cienfuegos.....	70
Anexo E. borboteo directo del gas extraído a razón de (0,2 L/min) por el conducto al recipiente de agua de mar (1 litro de capacidad y 25 cm de profundidad), durante dos minutos.....	71
Anexo F. Hoja de cálculo de statgraphics -data histórica.....	72
Anexo G. hoja de cálculo de statgraphics -agua acondicionada.....	72
Anexo H. propuesta del enfriador de gases.....	73

INTRODUCCIÓN.

Una posibilidad de recuperar y aprovechar de forma más beneficiosa y evitar los efectos negativos que puedan traer un alto contaminante de la atmósfera, como lo es el dióxido de Carbono (CO₂), sería utilizarlo como materia prima de otros productos que impidan su expulsión a la atmósfera, lo cual nos conduce a las macroalgas como importante sistema biológico, las que tienen la capacidad de fijación del CO₂ en los compuestos orgánicos a través de la fotosíntesis. Muchas algas pueden tolerar y asimilar sustancialmente altos niveles de CO₂.

Durante algún tiempo se han ido desarrollando nuevas tecnologías para el proceso de cultivo de macroalgas, para esto se ha combinado un grupo de técnicas de conocimientos biológicos, con interés económico-humano.

Estudios fundamentales a escala de laboratorio realizados por (Pulida, 2013) y (Moraga, 2014), el escalado de la instalación a nivel piloto propuesto por (Delgado, 2015) y la propuesta tecnológica desarrollado por (García, 2016) constituyen los precedentes principales de estos estudios en Cuba.

El cultivo en tanques de la macroalga marina “*Ulva Lactuca*” constituye una alternativa eficaz para la reducción de las emisiones de gases de combustión, siendo a la vez, el CO₂ el nutriente principal y el gas factible a reducir en la atmósfera, aunque con un riguroso control por su efecto en la disminución de la alcalinidad del medio.

En los últimos años, se han evaluado alternativas para la utilización de la emisión del CO₂ residual a la atmósfera evitando la contaminación al medio y a su vez obteniendo en el proceso tecnologías técnico-económicas y ambientalmente compatibles para el uso del gas como es la obtención de biomasa de alga como fuente de numerosos subproductos en la industria química, biotecnológica y agrícola (Rodríguez, Touset, Avilés, & González, 2012).

La Empresa Termoeléctrica “Carlos Manuel de Céspedes” de Cienfuegos, ubicada en la barriada de O'burke, ver ANEXO A es una de las tantas industrias de la provincia que emiten gran cantidad de gases de combustión residual (11 054 400 kg/día), por lo que se

hace evidente la necesidad de nuevas tecnologías que contribuyan a reducir tales cifras. Las algas utilizan el CO_2 en su metabolismo, contribuyendo con la regulación del ecosistema, y Cuba no se encuentra alejada en este ámbito, por lo que se desarrolla un proyecto de investigaciones en esta región encaminadas a mitigar la contaminación por el CO_2 residual industrial que se emite, a través del desarrollo de instalaciones de biorreactores para el cultivo intensivo de la macroalga “*Ulva lactuca*”, una fuente natural autóctona en la bahía de Cienfuegos (García, 2016).

Atendiendo a lo expresado anteriormente, se formula el siguiente:

Problema de investigación.

No existen precedentes tecnológicos en el país que permita diseñar una instalación de acondicionamiento de agua de mar y gases de combustión de residuales industriales, con los requerimientos que exige una planta de cultivo intensivo de macroalgas.

Hipótesis.

Si se acondicionan los residuales industriales gaseosos y líquidos de una termoeléctrica podrán ser utilizados en las plantas de cultivo intensivo de macroalgas aledañas a esa instalación como unas vías de biorremediación atmosférica de la misma.

Objetivo general.

Proponer una tecnología para el cultivo intensivo de macroalgas a partir de los residuales de la ETE.

Objetivos específicos.

1. Establecer los fundamentos del cultivo intensivo de macroalgas.
2. Determinar las condiciones de calidad del agua de mar y los gases de combustión para la instalación de cultivo intensivo de macroalgas.
3. Proponer la tecnología para el acondicionamiento del sistema de suministro de agua de mar y flujos de gases de combustión para el cultivo intensivo de macroalgas.
4. Evaluar técnico-económicamente la selección tecnológica propuesta para el cultivo intensivo de macroalgas.

CAPÍTULO 1. ESTUDIOS DOCUMENTALES.

1.1 GENERALIDADES DE LAS ALGAS.

Según (Mansilla & Krisler, 2012) las algas son plantas avasculares, o sea, que no poseen mecanismos específicos de transporte y circulación de fluidos, agua, sales minerales y otros nutrientes, como ocurre con las plantas más evolucionadas. No poseen savia. Son, por tanto, organismos con estructura y organización simple y primitiva.

Las algas poseen una diversidad mayor que muchos grupos de plantas terrestres o grupos de animales. Se cree que la edad geológica de las algas verde azules es poco más o menos 3 550 millones de años, a diferencia de los 400 millones de años que tienen las plantas terrestres. Además de que conviene recordar que fue el oxígeno generado por la fotosíntesis de las algas verde azules, y posteriormente por las algas eucariotas, más desarrolladas, el que formó nuestra atmósfera (Aguilar, 2013).

Actualmente, las algas realizan cerca de 50 % de la fotosíntesis del planeta, lo que las ubica en una posición crucial para el mantenimiento de la vida en la Tierra. Este grupo heterogéneo de organismos se divide a su vez en más de una docena de grupos, división basada principalmente en su composición pigmentaria, sus materiales de reserva, su forma de crecimiento, su forma de alimentación, su dependencia o no de la luz solar y su gran variedad de detalles estructurales; ya que existen tanto algas microscópicas unicelulares, como algas filamentosas o laminares, además de complejas estructuras multicelulares como las de las algas pardas, que pueden llegar a medir 20 metros de longitud (Delgado, 2015).

Las algas se encuentran en todas partes del mundo, están distribuidas de uno a otro polo. Las causas que explican este hecho son, principalmente, su antigüedad, sus mecanismos de dispersión y otras adaptaciones. Las algas pueden formar estructuras que resisten altas y/o bajas temperaturas, desecación, y pueden pasar por un período de latencia de varios años. Pueden dispersarse por aire, adheridas al pelaje de algunos animales o a las patas de los insectos, adheridas a los cascos de barcos, transportadas por los seres humanos, por las corrientes oceánicas; o bien por flujo directo de un cuerpo de agua a otro. Otra de las causas

de su amplia distribución son sus adaptaciones morfológicas. Algunas algas viven flotando en el agua gracias a su pequeño tamaño, a su forma y/o a la presencia de estructuras que les permiten mantener una posición constante en el agua. En general, las algas tienen la capacidad de colonizar todos los medios ambientales. Viven en agua dulce, en el mar o en agua salobre, y habitan desde los lagos tropicales hasta las nieves polares y alpinas. Estas algas son pues, acuáticas, pero también hay algunas sub-aéreas, es decir, que viven expuestas a la atmósfera en una interface aire-sustrato (tal como la corteza de un árbol o el lodo), y hay algas en el suelo, aun en suelos de zonas áridas en los que aprovechan el rocío nocturno (Delgado, 2015).

Muchas algas tienen esqueleto duro con carbonato de calcio que cuando estas mueren, sus frondas se caen y el esqueleto blanco se va degradando. Esto puede generar hasta un 44 % de los componentes del sustrato de un arrecife coralino o en arena de playas (Mansilla & Krisler, 2012).

Se considera que hay unas 15 800 especies de macroalgas repartidas entre: macroalgas rojas (6 000 especies), pardas (1 800), verdes (8 000 especies, de ellas 1 000 son especies marinas y el resto de agua dulce) (Quintana, 2017).

En el caso de las algas marinas, se emplean además otras clasificaciones, por ejemplo, respecto a su posición, al nivel de marea pueden ser supra, meso o infra mareales. Hay algunas otras algas que viven en hábitats especiales, por ejemplo, aguas termales, y están adaptadas a temperaturas que varían entre 35 °C (algunas algas verdes) y 75 °C (algunas algas verde-azules). Otras algas crecen en y sobre hielo o nieve, a temperaturas alrededor de 0 °C, y también en agua cerca de esa temperatura (Gómez, 2017).

Son mucha las especies de algas que existen actualmente, este grupo de organismos aún está virtualmente inexplorado. De acuerdo con un análisis reciente, las 36 000 especies de algas conocidas apenas representan 17 % de las especies que existen actualmente, lo que indica que el número total de especies de algas que existen en el mundo debe superar las 200 000 (Gómez, 2017). Por otra parte, conviene señalar que los tan apreciados arrecifes coralinos están compuestos por una gran cantidad de algas -hasta tres cuartas partes del

tejido de un coral vivo son algas-, y que mucha de la productividad primaria generada por estos corales se debe a las algas, mientras que en las regiones costeras las macroalgas son un componente ecológico vital para el desarrollo de comunidades de invertebrados al servirles de refugio y alimento, y cuya repercusión se observa en las pesquerías de otros organismos marinos como peces y moluscos (Pulida, 2013).

Para trabajar a las algas es necesario entonces, no sólo encontrar semejanzas sino entender los orígenes y significado de éstas. Las algas deben estudiarse por una parte en conjunto, como un grupo de grupos que forman una unidad ecológica, y por otra a cada división por separado como una unidad taxonómica y/o evolutiva o histórica (Gómez, 2017).

1.1.1 Caracterización de las macroalgas.

Las algas pueden ser divididas didácticamente en dos grandes grupos, macroalgas y microalgas. Estas constituyen parte esencial de los mares, ríos y lagos y su importancia biológica radica en que son organismos fotosintéticos, capaces de convertir la energía del sol en energía química. Esta energía está representada en la productividad primaria, medida que indica la cantidad de dióxido de carbono (CO_2) que toma el alga durante la fotosíntesis y convierte en materia orgánica o biomasa durante un determinado tiempo (Aguilar, 2013).

A diferencia de las plantas, las algas no tienen una verdadera raíz, tallo, hojas o tejido vascular y su forma de reproducción es simple. Su cuerpo vegetativo es una estructura llamada talo (talofitas). La comparación básica entre un alga y una planta Figura 1.1 muestra en su estructura o cuerpo, que en conjunto se conoce como “talo”, que se pueden distinguir tres partes: el rizoides o disco (similar a la raíz de una planta terrestre), el estipe (similar al tallo) y las láminas (similares a las hojas). En conjunto, estipe y láminas se llaman fronda o incluso frondes (que sería el follaje en la planta).

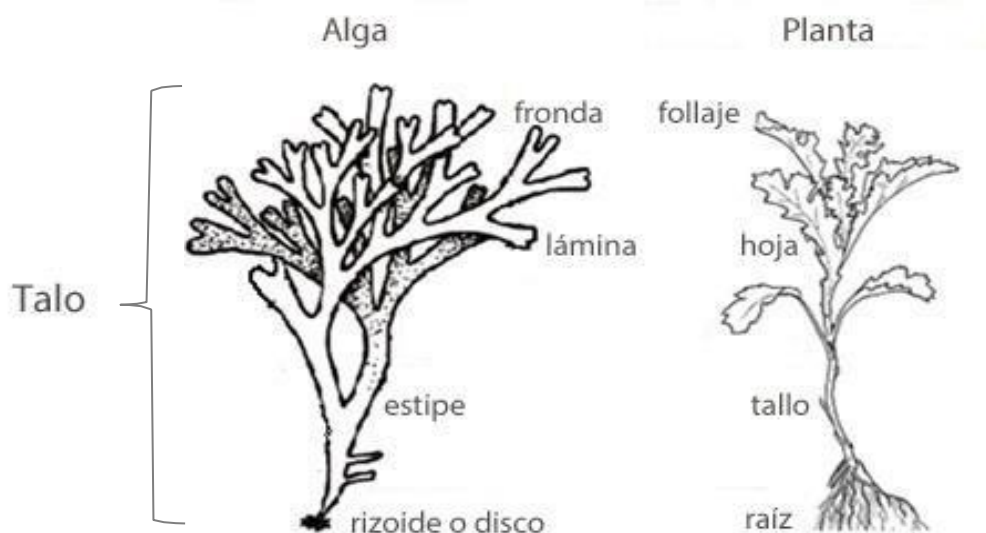


Figura 1.1. Comparación morfológica entre un alga “genérica” y una planta terrestre.
Fuente. (Flores, 2015).

En las algas macroscópicas, se pueden encontrar formas filamentosas, laminariales, sifonosas, costrosas y calcáreas. Las algas pueden estar suspendidas en la columna de agua o fijas a un sustrato y se localizan en hábitat diferentes influenciadas por las condiciones de luz y las características físico-químicas del agua como pH, temperatura, oxígeno, salinidad y nutrientes. Las macroalgas verdes, rojas y las algas pardas o cafés, están principalmente asociadas a fondos principalmente rocosos, formando colonias de cientos o miles de organismos. A este tipo de agrupaciones se les conoce como praderas o bosques de macroalgas.

Las algas Rodofíceas (algas rojas) tiene un color pardo rojizo que viene dado por la existencia de biliproteínas (ficoeritrina y ficocianina, principalmente), que contribuyen a enmascarar el color verde de la clorofila *a* y *b*; como material de reserva estas células acumulan almidón y su pared celular contiene, además de fibrillas de celulosa, galactanos sulfatados como el agar y los carragenanos. Son organismos eucarióticos presentes sobre todo en el medio marino, la mayoría son pluricelulares, aunque también hay especímenes unicelulares; constituyen el grupo más diverso entre las algas bentónicas. (Scott, 2015)

Las algas Feofíceas (algas pardas) tienen una coloración parda, de tonalidad muy variable, que se debe a la presencia de una gran cantidad de xantófilas, entre las que destacan

fucoxantina y flavoxantina; además de la clorofila *a* poseen clorofila *c*; que muchas veces son enmascaradas por la abundancia de los otros pigmentos. Son algas eucariotas, pluricelulares y morfológicamente muy diversas; se encuentran sólo en agua de mar y con formas que van desde algas filamentosas de estructura sencilla hasta algas que tienen tejidos diversificados por los que se realiza transporte de nutrientes dentro de la planta. En general, este tipo de algas es de crecimiento rápido y de gran tamaño, pudiendo alcanzar hasta las 20 m de largo. Son muy utilizadas como estabilizantes de emulsiones, como fertilizantes y para la obtención de yodo, entre otras (Scott, 2015).

Las algas Clorofíceas (algas verdes) son un grupo muy heterogéneo de algas con clorofila *a* y *b*, algunas xantófilas tales como luteína, violaxantina, neoxantina y enteroxantina; con esta composición de pigmentos el cuerpo del alga se ve verde, lo que permite una fácil identificación en terreno. Una característica biológica importante de este grupo es el almidón que almacenan como material de reserva en sus células. Morfológicamente son muy variadas, desde algas unicelulares a pluricelulares bastante complejas. Se pueden reproducir en forma alternada vegetativa, asexual o sexualmente. Son muy importantes porque constituyen el primer eslabón en la cadena alimenticia de su hábitat y contribuyen al aporte de oxígeno atmosférico. Son algas que han colonizado todos los ambientes, encontrándose el 90 % de las especies en agua dulce y el 10 % restante en aguas marinas; siendo en los mares fríos y templados donde se produce la mayor cantidad de especies (Scott, 2015).



Figura 1.2. Clasificación taxonómica de las algas. **Fuente.** (Angelidaki & Galanidis, 2011)

1.1.2 La industria de las macroalgas.

La utilización global de macroalgas va en acenso, ver ANEXO B, y en términos de biomasa cosechada por año, las macroalgas están entre las más importantes de los organismos marinos cultivados. De acuerdo con la FAO, entre 1981 y 2002, la producción total de macroalgas se incrementó de 3 millones de toneladas a cerca de 13 millones de toneladas (en peso húmedo). En general, los bancos naturales de algas marinas viablemente cosechables, son insuficientes para cubrir la creciente demanda mundial; como consecuencia, el cultivo de estas algas contribuye ahora con más del 90 % de las necesidades de mercado global (Morenol, 2015).

Se estima que este sector presenta el crecimiento más rápido en cuanto a producción de alimentos del mundo. En 2012 se produjeron casi 23,8 millones de toneladas de algas a nivel mundial con un incremento de producción del 116 % respecto a los 13 millones de toneladas producidas diez años antes. Esta industria tiene un valor anual de 5,5 millones de dólares, de los cuales el 83,33 % provienen de productos para la alimentación humana (FAO, 2014).

Unas de las mayores demandas se muestran en sistemas de biofiltración, ya que estas son excelentes captadores de nutrientes del agua, en especial de nitrógeno y fósforo. Son también de gran utilidad para evitar problemas de eutrofización en ecosistemas costeros.

1.2 ESPECIES DE MACROALGAS CULTIVABLES.

Según (Valdés, 2012) la selección de las especies es un importante primer paso en el desarrollo de la mayoría de los sistemas de cultivo. Existe una serie de especies, sobre cuyo cultivo son numerosos los conocimientos científicos y experiencias con resultados favorables, entre las que se pueden destacar las siguientes:

- “*Undaria Pinnatífida*”
- “*Laminaria Sacarina*”
- “*Gracilaria Verrucosa*”
- “*Himantalia Elongata*”
- “*Ulva sp*”
- “*Chondrus Crispus*”
- “*Gelidium Sequispedale*”

Según Hernel, (2014) para seleccionar una especie de alga para su cultivo es necesario conocer si es cultivable o no junto al costo de adquisición, su nivel de asimilación de nutrientes y dióxido de carbono (CO₂), y por último el uso posterior que se le pueda dar a su biomasa por su valor,. Además, realiza un estudio donde determina que las macroalgas que mejor presentan estos requerimientos son: “*Pterocladia sp*”, “*Porphyra sp*”, “*Gracilaria sp.*” y la “*Ulva sp*”. Aunque presenta más especies que son cultivables.

González, (2012) en su estudio realizado sobre la asimilación del dióxido de carbono (CO₂) de las macroalgas “*Gracilaria Corticata J. Agardh*”, “*Sargassum Polycystum C. Agardh*” y “*Ulva Lactuca*”, demostró que esta última es la que mejor asimila este gas con un 100 % de utilización de CO₂ del medio; aunque otras como la “*Gracilaria Corticata*” y la “*Sargassum Polycystum*” presentan una buena utilización de este, pero en porcentajes más bajos (50 y 25 % respectivamente).

1.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRICIONAL DE ALGAS DEL GÉNERO “*ULVA*”.

Las algas marinas pertenecientes a la familia de las “*Ulvaceas*” tienen una composición química interesante que las hace atractivas para su explotación comercial en distintas áreas como la nutricional, farmacológica, cosmética, entre otras. Aunque la composición de las algas del género “*Ulva*” de ciertas regiones del mundo han sido documentadas, la investigación se ha centrado especialmente en las especies “*Ulva lactuca*”, “*Ulva pertusa*”, “*Ulva fasciata*”, “*Ulva rigida*”, “*E. flexuosa*” y “*E. compressa*”. Pocos estudios se han hecho sobre especímenes cultivados; sin embargo, se han llevado a cabo numerosos trabajos de algas colectadas de costas y lagunas, donde la composición química varía dependiendo de la temporada y distribución geográfica, siendo la temperatura, salinidad, luz y disponibilidad de nutrientes los principales factores ambientales que afectan su composición. Además de los factores ambientales, el manejo y el método de secado, pueden modificar el valor nutricional y las propiedades fisicoquímicas de las algas (Ortiz, 2011).

El contenido de proteína en las algas verdes puede ser variado, con valores que van desde 7 a 29 % de proteína cruda en base seca, llegando a ser 2 ó 3 veces mayor que lo encontrado

comúnmente en algas cafés (Flores, 2015) encontraron que en “*Enteromorpha sp.*”, 9 de los 10 aminoácidos esenciales están presentes en mayor proporción en la proteína del alga que en la proteína de soya.

El contenido de lípidos en las “*Ulvaceas*” puede variar entre valores de 0,2 a 5,6 % de acuerdo a las condiciones de cultivo y la temporada del año en que se cosechan. Aun y cuando el contenido total de lípidos de las Ulvas puede ser relativamente bajo (<6 %), se ha reportado que son ricas en ácidos grasos poliinsaturados del tipo omega 3 y omega 6, para “*Ulva lactuca*” se ha reportado valores de 66,3 % de ácidos grasos poliinsaturados del total de ácidos grasos (Ortiz, 2011).

La fracción de minerales presente en las “*Ulvas*” puede alcanzar más del 40 % de la materia seca. El alto contenido de calcio en las algas, hace que sean una de las más importantes fuentes vegetales para este mineral, alcanzando hasta un 7 % del peso seco del alga.

1.4 CARACTERÍSTICAS DE LA “*ULVA LACTUCA*”.

La “*Ulva Lactuca*”, conocida comúnmente como lamilla, es un alga desde color verde claro a oscuros ubicada taxonómicamente dentro del Orden de las *Ulvales* (Pedroche, 2012).

Tabla 1. Clasificación taxonómica de las especies del género “*Ulva*”

Clasificación	Nombre
División	“ <i>Chlorophyta</i> ”
Clase	“ <i>Ulvophyceae</i> ”
Orden	“ <i>Ulvales</i> ”
Familia	“ <i>Ulvaceae</i> ”
Género	“ <i>Ulva</i> ”
Especie	“ <i>Ulva lactuca</i> ”

Fuente. (Castro, 2015).



Figura 1.3. “*Ulva Lactuca*”. **Fuente.** (Rodríguez, 2015).

Esta es de talo verde laminar, foliáceo, lobulado, formado por dos capas de células, fijado al sustrato por rizoides que crecen como expansiones de las células basales del talo. Puede llegar a medir un metro de longitud, de contorno más o menos redondeado, a veces dividido. Sus largas hojas le dan un aspecto similar al de la lechuga. En la zona basal puede presentar unas costillas más oscuras debido al agrupamiento de rizoides colores verdes claro u oscuro. Para una correcta determinación es necesario su observación al microscopio; en este se puede observar como sus células se disponen en líneas ligeramente curvas, todas con un pirenoide generalmente, y que las células más superiores que emiten rizoides son del mismo tamaño que las que no los emiten (López, 2015). Cosmopolitas presentes en casi todos los mares desde el intermareal al submareal, en charcas, rocas y sublitoral hasta 20 m de profundidad. Se caracteriza por una alta resistencia y tolerancia a cambios climáticos drásticos en su entorno. Puede encontrarse en aguas dulces, salobres o saladas e incluso, sobre la nieve. Poco dependientes a la eutrofización o trastornos ambientales e incluso, resistentes a contaminación y epifitismo (Pedroche, 2012).

Esta especie sobrevive a períodos prolongados fuera del agua y profundidades con 0.3 % de irradiación incluyendo, márgenes de salinidad entre 3-100 %. Al tolerar salinidades bajas puede encontrarse en estuarios y también frecuentemente en zonas donde existen aportes nitrogenados. Son de invasión lenta, no agresivas, especialmente aprovechando nichos vacíos. Presenta su crecimiento en invierno, alcanza su máxima biomasa a finales de primavera (mayo-junio) y decae en verano-otoño (Pedroche, 2012).

- Fases de la vida.

Según Castro, (2015) las algas verdes como la lechuga de mar tienen dos fases de vida libre-que viven. Estas dos fases se denominan las fases del esporofito y gametofito. Durante la fase de esporofito, las algas producen esporas por meiosis. Durante la fase de gametofito las algas producen gametos por mitosis.

Fase de esporofito: Durante la primera etapa de vida libre del organismo, llamado la fase esporofito, el membranoso talo o cuerpo de la planta, crea un holdfast adjuntándolo a la roca. Las esporas haploides producidas por meiosis durante la fase de esporofito se liberan en el agua, donde asentarse y crecer en la generación siguiente. Esta nueva generación se conoce como la segunda fase, la fase de gametofito.

Fase de gametofito: Durante la fase de gametofito, lechuga de mar produce anisogametes, gametos de diferentes tamaños, por mitosis. Estos anisogametes se fusionan en pares para crear cigotos, que crecen para convertirse en una parte de la próxima generación de esporófito.



Figura 1.4. Ciclo de vida de “*Ulva* sp”. **Fuente.** (Castro, 2015)

En la alternancia de generaciones se producen dos generaciones, una que se produce sexualmente y otra asexualmente, aunque los miembros maduros llamados esporofito y gametofitos son isomórficos sólo son distinguibles por sus estructuras reproductivas microscópicas y su carga genética. La primera generación presenta dos juegos de cromosomas (diploide) y la segunda generación tiene un solo juego de cromosomas (haploide) llamado esporofito, el cual lleva a cabo la reproducción asexual; el esporofito forma células diminutas reproductoras que se convierten en organismos maduros llamados gametofitos. Estos gametofitos a su vez producen gametos, es decir células reproductoras masculinas y femeninas que se fusionan durante la fecundación para así producir un cigoto diploide ($2n$) que es un organismo con 2 juegos de cromosomas y que se convertirá posteriormente, en un esporofito para así a completar el ciclo vital. La reproducción puede ser inducida ya que las células vegetativas pueden transformarse directamente en esporofitos y gametofitos en cualquier momento, según los informes pueden ser estimulados a través de diferentes cambios ambientales ya sea fotoperíodo, temperatura, salinidad, nutrientes, pH, secado (Castro, 2015).

Se ha comprobado que la reproducción en “*Ulva lactuca*” sigue un ciclo lunar con emisión de los elementos reproductores en los períodos de luna llena o cambios de luna. El período reproductivo de estas macroalgas es de marzo a julio, cuando se acercan grandes mareas. Con buenas condiciones ambientales los tallos jóvenes crecen entre 3 mm y 5 mm en menos de un mes y se tornan adultas entre 3 y 4 meses. Su ciclo de vida es corto, se estima que dura entre 5 y 8 meses (Pulida, 2013).

Atendiendo el análisis de composición de la “*Ulva lactuca*”, referido a b.s (mg/100 g), los datos se muestran en la tabla 1.1.

Tabla 2.1. Composición de la “*Ulva Lactuca*” referido a peso seco (mg/100 g).

Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Sodio	Calcio	Magnesio
0,95-2,94	130,4-202,5	792,7- 2816,2	674,7-1 075,8	858,0-880,0	3582,2-3785,3

Fuente: (Basaure, 2012)

Los componentes orgánicos referidos a porcentaje peso seco se muestran en la tabla 1.2 son:

Tabla 1.2. Componentes Orgánicos de la “*Ulva Lactuca*”.

Proteína	Cenizas	Carbohidratos	DQO	Lípidos
5,9 - 18,38 %	25,5 - 33,4 %	49,2 - 68,9 %	2 726,0 - 3 456 mg/L	0,0- 0,3 %

Fuente: (Basaure, 2012)

Tabla 1.3 Concentración aminoacídica (mg/100 g b.s.) de “*Ulva lactuca*”.

Aminoácidos	Valores
Ac. Aspártico	2 625,6 ± 24,3
Ac. Glutámico	2 663,3 ± 30,1
Serina	1 471,1 ± 12,8
Histidina	236,4 ± 9,4
Glicina	1 440,0 ± 7,9
Treonina	1 408,7 ± 10,0
Arginina	859,2 ± 15,4
Alanina	1 935,9 ± 31,5
Prolina	1,2 ± 0,6
Tirosina	768,3 ± 8.
Valina	598,8 ± 18,8
Metionina	1 186,0 ± 21,3
Cistina	97,2 ± 5,4
Isoleucina	971,2 ± 9,2
Leucina	1 826,6 ± 13,1
Lisina	2 199,1 ± 9,9
Total aminoácidos esenciales	8 801,1 ± 1 10,6

Fuente. (Ortiz, 2011)

Según Basaure, (2012) es posible afirmar, que esta especie de alga contiene 10 veces más vitamina C que una naranja, 2 veces más de vitamina A que una col, posee un alto porcentaje de hierro, de hecho 10 gramos de esta alga equivalen a 500 gramos de consumo de espinaca, posee además de yodo. Es una materia orgánica rica en vitamina E, B y B12.

Una evaluación nutricional específica acerca del contenido de aminoácidos realizada por (Mansilla & Krisler, 2012) identifica 17 de ellos en proteína hidrolizada en 18 especies de algas incluyendo “*Ulva Lactuca*”. Se estimaron por método gravimétrico los contenidos de fibra dietética soluble e insoluble. Los contenidos de fibra dietética estuvieron entre 32,7 y 74,6 % (sobre base de peso seco) de los cuales del 51,5 al 85,0 % fueron solubles en agua.

González, (2003), citado por (Velázquez, 2013) refiere que estas algas marinas son buenas aportadoras de fibras, muestran tener diversidades químicas, fisicoquímicas y geológicas que son beneficiosas en la nutrición. La composición química de la “*Ulva Lactuca*” en una muestra de 100 g con 20,80 g de humedad; 20.61 g de ceniza base seca; 79,39 g de material orgánico base seca; 13,30 g de proteína base seca; 1,94 g de lípidos base seca; 10,85 g de fibra base seca; 53,31 g de carbohidratos base seca; 224,86 kcal base húmeda.

1.4 FACTORES QUE LIMITAN LA PRODUCCIÓN MASIVA DE LAS ALGAS.

La importancia de factores como el diseño del tanque, el bombeo y movimiento, agitación del medio de cultivo, la irradiación, la temperatura, la salinidad, el aporte de nutrientes, la concentración del carbono inorgánico disuelto y su efecto sobre el pH del medio, la densidad y la competencia de especies (crecimiento de epifitos sobre las macroalgas, impidiéndoles a estas realizar correctamente la fotosíntesis llegando incluso a morir) muestran un efecto directo sobre el principal proceso fisiológico de las algas, la fotosíntesis, y por lo tanto, sobre los valores máximos de producción y eficiencia del sistema (% conversión de energía luminosa en biomasa). A mayor control de estas variables, mayor posibilidad de incrementar la producción y modificar la calidad de la biomasa obtenida.

Toda la actividad biológica en plantas es en última instancia dependiente en la radiación solar recibida. Todas las plantas requieren luz del sol, el dióxido de carbono, y el agua para

la fotosíntesis. La fotosíntesis es también dependiente de la temperatura y los alimentos. (Delgado, 2015)

- Luz y Temperatura.

La temperatura es un factor que ejerce una acción compleja sobre las algas y junto con la luz influye sobre todos los procesos metabólicos y reproductores, pudiéndose constatar que las diferencias anuales de temperatura junto con el fotoperíodo son los principales factores que condicionan el crecimiento de ciertas especies. La variación latitudinal de la temperatura de las aguas superficiales oceánicas es otro de los parámetros que condicionan la diversidad y distribución geográfica de las especies.

La temperatura controla el índice del metabolismo de la planta que alternadamente determina la cantidad de fotosíntesis que puede ocurrir. La mayoría de la actividad metabólica biológica en el océano ocurre entre 0 y 27 °C. Hay poca actividad debajo de este rango. Las temperaturas óptimas para la productividad coinciden con 15 a 20 °C para la fotosíntesis (Edding, Tala, & Vásquez, 2006).

Como vegetales fotosintéticos que son, las algas precisan de la luz para sus funciones vitales, interviniendo este parámetro de diferentes maneras según la cantidad (intensidad luminosa), la calidad (naturaleza de las radiaciones presentes) y el fotoperíodo (duración relativa de los períodos de luz). Dentro de estos, la dosis acumulativa de luz a lo largo de la fase lumínica es el factor más esencial del desarrollo fitológico, hasta el punto que los investigadores en esta materia consideran que la luz influye trascendentalmente en la diversidad en el crecimiento, la biodistribución, la sucesión espacial y temporal, el desarrollo, lo que hace que se considere un factor decisivo.

En las algas macroscópicas se dan distintos óptimos de luces. En “*Glacilaria conferta*” presenta sus óptimo de crecimiento por debajo de $1\ 000\ \mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$, “*Glacilaria secundata*”, sin embargo, no ve saturada su crecimiento a $1\ 450\ \mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{seg}^{-1}$. Por otro lado, los óptimos térmicos de las algas varían según la especie (Cobelas & Gallardo, 1989).

- Salinidad.

La salinidad es la concentración total de los iones disueltos. La salinidad depende básicamente de siete iones, cuyo valor promedio de concentración (mg/L) en el agua de mar se muestran en la tabla 1.3.

Tabla 1.3. Concentración del agua de mar (mg/L).

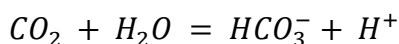
Sodio	Magnesio	Calcio	Potasio	Cloruro	Sulfato	Bicarbonato
10,50	1,45	400	370	19,00	2,70	142

Fuente: (Delgado, 2015)

La salinidad promedio del agua de mar es 34,5 partes por millón (ppm). Los resultados de experimentos de cultivo realizados por (Matsuyama-Serizawa 2004) con el alga filamentosa verde *Rhizoclonium* que habita en un amplio rango de salinidades (10-40 ppm), no afectan su crecimiento y maduración. Sólo se observó un bajo de la fotosíntesis en los extremos de 0 y 40 ppm. Las algas submareales soportan exposiciones breves a concentraciones de 15 a 45 partes por millón (Edding et al., 2006).

- pH

El pH indica cuán ácida o básica es el agua. El agua con un pH de 7 se considera neutra, cuando el pH es inferior a 7 el agua es ácida, y cuando el pH es superior a 7 el agua es básica. La fluctuación diaria del pH en los estanques resulta de los cambios en la fotosíntesis de las algas y otras plantas acuáticas. El dióxido de carbono es ácido tal como se muestra en la siguiente ecuación (Weiss, 1974).



Si la concentración de dióxido de carbono crece, la de iones de hidrógeno aumenta y el pH disminuye y, al contrario, si disminuye la concentración de CO_2 , la de iones de hidrógeno cae y el pH aumenta. Durante el día las algas consumen dióxido de carbono y el pH del agua aumenta. Por la noche, las algas no utilizan el dióxido de carbono, pero todos los organismos del estanque sueltan dióxido de carbono durante la respiración y a medida que se acumula el dióxido de carbono el pH baja.

Tabla 1.4: Efecto del pH en el crecimiento de las algas.

Efecto	pH
Punto de acidez letal	4
No reproducción	4-5
Crecimiento lento	4-6
Mejor crecimiento	6-9
Crecimiento lento	9-11
Punto letal de alcalinidad	11

Fuente: (Reyes & Sánchez, 2011).

- Dióxido de carbono (CO_2).

Las principales fuentes de carbono inorgánico para el cultivo masivo en algas son el dióxido de carbono libre (CO_2) y el bicarbonato. Energéticamente, para las algas resulta más barato el primero, puesto que aquel penetra por difusión en la célula, mientras que el bicarbonato lo hace por transporte activo. Por ello, cuando se trata de optimizar la producción parece aconsejable el añadir CO_2 (Pulida, 2013).

Generalmente en el cultivo masivo de algas con medio sintético se aporta dióxido de carbono mezclado con aire. Cobelas & Gallardo, (1989) En un cultivo de algas, entre un 20 y un 50 % del CO_2 suministrado es asimilado, mientras que el resto se pierde a la atmósfera. Por esta razón es absurdo pensar en el suministro de CO_2 mediante botellas, ya que de esta manera el balance de emisiones siempre será positivo. Por tanto, es imprescindible suministrar al cultivo una fuente de carbono proveniente de focos de emisión ya establecidos, como los que se producen en las centrales térmicas, cementeras y otras actividades industriales. La diferencia entre fijación de CO_2 y secuestro se debe a una escala temporal, ya que mientras la fijación capta el carbono durante el período de vida del alga hasta su descomposición, el secuestro trata de almacenar los gases durante un período prolongado de tiempo sin que este pase a la atmósfera (Gómez Hermoso, 2013). El método más empleado consiste en inyectar CO_2 mezclado con aire con tuberías que desembocan en tubos perforados situados en el fondo del estanque de cultivo (Pulida, 2013).

- Nitrógeno y Fósforo

Las algas precisan de una serie de nutrientes minerales indispensables para su desarrollo y reproducción como nitrógeno (N), hierro (Fe) y fósforo (P), entre otros. Los nutrientes presentan diferentes denominaciones de acuerdo a su concentración. Los macronutrientes son aquellos nutrientes que se encuentran en el agua de mar en concentraciones superiores a $0,02 \text{ mmol kg}^{-1}$. Los micronutrientes se encuentran en concentraciones desde $0,5 \times 10^{-6} \text{ mmol kg}^{-1}$. El nitrógeno y el fósforo son los nutrientes más importantes en los estanques. De su concentración depende el crecimiento óptimo de la planta. Si hay poco fósforo y nitrógeno, habrá muy poco crecimiento, si hay mucho fósforo y nitrógeno existirá exceso de crecimiento, y durante la noche caerá el oxígeno disuelto.

La captación de compuestos nitrogenados puede estar condicionada por su disponibilidad y por factores ambientales del momento. Se ha observado que “*Ulva lactuca* Linnaeus” y “*Glacilaria vermiculophylla* (Ohmi) Papenfuss” son capaces de captar nitrógeno disuelto en el agua de mar en su forma orgánica de urea. De estas, “*Ulva lactuca*” fue la especie capaz de captar más nitrógeno (Edding et al., 2006).

Un alto contenido de fósforo estimula la utilización de carbono inorgánico fotosintético y captura de nitrógeno. En condiciones de bajo contenido de fósforo, los talos crecidos en un alto contenido de CO_2 tenían menor capacidad de utilización del carbono y mayor velocidad de captura de nitrógeno, comparado con los que crecían en CO_2 ambiental. Más importante que el nitrógeno y el fósforo aislados, es la relación entre ellos, sobre todo si se trabaja con cultivos discontinuos o con tiempos de retención largos (Cobelas & Gallardo, 1989).

1.5 SISTEMAS DE CULTIVO INTENSIVOS.

Las principales técnicas de cultivo de macroalgas pueden dividirse en dos grandes grupos: ficocultura extensiva, que se caracteriza por favorecer la extensión de las poblaciones naturales aumentando superficies de fijación y diseminando plántulas, con el objetivo de que las especies se naturalicen; y la ficocultura intensiva, donde todo el proceso de crecimiento y producción está controlado por el hombre. La ficocultura se puede realizar

tanto en mar abierto como en tierra (Morenol, 2015).

En función del aporte del agua de mar a la unidad de cultivo, se distinguen dos tipos fundamentales de sistemas: el tipo abierto, que se caracteriza por la renovación constante del agua, y el tipo semicerrado, que precisa de un recambio periódico de agua, aprovechando dichos cambios para el enriquecimiento del medio (Ramírez, 1993). En mar abierto el cultivo de macroalgas tiene una estacionalidad y un tiempo de cosecha similar al de un cultivo terrestre. En general son especies de crecimiento muy rápido con un tiempo de cosecha de 4 a 5 meses.

La producción de los sistemas intensivos depende en gran medida de la cantidad de energía invertida. Las mayores producciones en sistemas intensivos, se han obtenido en tanques con agitación vigorosa y altas tasas de renovación de agua de mar enriquecida (Ramírez, 1993). No obstante, parte de la eficiencia de los sistemas intensivos bajo condiciones ambientales se basa en los aspectos técnicos de diseño y operación (Ramírez, 1993), además de la elección de especies que por sus características biológicas se adapten mejor a los sistemas y que por su importancia económica hagan rentable su producción.

El cultivo en tanque es el sistema más comúnmente utilizado para la producción de macroalgas en tierra. Con el cultivo en tanque de “*Chondrus crispus*”, se ha demostrado que uno de los factores técnicos más importantes para el crecimiento algal, es la superficie del tanque y no su volumen, debido principalmente a la absorción de la luz por la columna de agua. Además, los sistemas de cultivo en tanque requieren mayor gasto de energía para producir la agitación y facilitar el intercambio de gases, la distribución de nutrientes y el movimiento de las algas dentro del tanque. Con la agitación se pretende conseguir un efecto hidrodinámico que (Ramírez, 1993):

- Evite fenómenos de auto sombreado, aumentando el tiempo de exposición a la luz, produciendo períodos de luz/oscuridad.
- Elimine la capa limitante de difusión, para favorecer el intercambio de gases y nutrientes.
- Homogenice el medio, eliminando gradientes de pH y concentración de nutrientes.

Según plantea (Edding et al., 2006), la adaptabilidad morfológica, es un factor que influye de manera directa en el sistema de cultivo a utilizar y en la densidad de carga de cada sistema, condicionando tanto la tasa de crecimiento como la producción. Una morfología adecuada permite aumentar las densidades de carga sin disminuir significativamente la tasa de crecimiento, lo que permite una mayor producción por unidad de superficie si se mantienen niveles de radiación y nutrientes adecuados. El crecimiento que se produce en los sistemas de cultivo en tanque, como respuesta a la hidrodinamicidad y a la irradiación, provocan en algunos casos una pérdida de orientación del talo con respecto a la luz y al sustrato, generando ramificaciones en diversos sentidos hasta formar morfologías esféricas. Este patrón de crecimiento se ve ampliamente favorecido si la planta se mantiene en suspensión siguiendo un movimiento rotacional dentro del tanque.

1.6 EMPLEO DE LA BIOMASA ALGAL.

Las algas pueden ser utilizadas para producir biocombustibles, por otra parte, en el mundo de la estética se utilizan por sus propiedades hidratantes, antioxidantes y regeneradoras. Las algas sirven como alimento en algunas partes del mundo, evolutivamente son los vegetales más antiguos, por lo que la asimilación de sus nutrientes es excelente. Figuran entre los productos de la naturaleza más ricos en hierro y calcio. También son importantes las cantidades que presentan de vitaminas, aminoácidos, enzimas y de prácticamente todos los oligoelementos: yodo, magnesio, azufre, cloro, manganeso, silicio, cobre, zinc, níquel, plata. Las algas en general constituyen un alimento sano y completo. También presenta usos agropecuarios, como fuente de abono para las tierras de cultivo. Mejoran las características nutritivas del suelo e impiden el crecimiento de malas hierbas, también como dieta del ganado, (Rebollido, 2012).

- Cosmética.

Entre las nuevas sustancias naturales con alta capacidad de filtración de UV-A y con propiedades antioxidantes se encuentran los aminoácidos tipo micosporina (MAAs) presentes especialmente en macroalgas rojas. Los MAAs se estimulan por radiación UV y al ser sustancias nitrogenadas, el contenido interno está también modulado por la disponibilidad de nitrato o amonio. Se ha conseguido duplicar los contenidos internos de

MAAs en algas crecidas en altas concentraciones de amonio ($>150 \mu\text{M}$). Por otro lado, se ha demostrado una alta capacidad antioxidante en varios MAAs aislados de líquenes (micosporina-glicina) y de algas rojas (porphyra-334, chinorina y asterina-330). Estas dos propiedades, alta capacidad de filtración de la radiación UV y actividad antioxidante, hacen que los MAAs sean unos excelentes candidatos para su aplicación como foto protectores en preparados cosméticos.

- Obtención de biocombustibles.

Aunque poco conocido en nuestro país, también se puede obtener biogás partiendo de las algas marinas mediante un adecuado manejo, sin que constituya un peligro ecológico. La biomasa de las algas se puede considerar como un sustrato comparable con los residuos agrícolas y residuales urbanos en el campo de la biometanización. (Rebollido, 2012) determinó la composición físico – química de las algas y diseñó un sistema de digestión para obtener biogás a nivel de laboratorio, se logró obtener $0,017 \text{ Nm}^3/\text{kg}$ de biogás, con 65,3 % aproximadamente de metano, alcanzando una presión suficiente para ser quemado en mecheros tipo Bunsen usados en laboratorios. El uso del alga como sustrato demostró ventajas que hacen factible su uso para estos fines, ya que no contiene lignina en cantidades que obstruya el proceso de bioconversión, no es necesario hacer pre tratamiento ahorrando reguladores de pH y la adición de nutrientes. Además, el uso de algas para la producción de biogás puede ser una solución a la deposición de esta biomasa en las orillas de las playas (Rebollido, 2012). La “*Ulva lactuca*” húmeda para una planta de biogás puede producir anualmente $8\,000 \text{ m}^3$ de metano, y esta cantidad de gas puede aportar una entrada de 6 932,50 USD al producir calor y electricidad.

Adicionalmente, la “*Ulva lactuca*” contiene un alto por ciento de carbohidratos comparado con el trigo, que es el sustrato presente para la producción de etanol. Por tanto, hay un gran potencial para adoptar estas especies para la producción de energía, también porque la producción de 1 t de alga necesita aproximadamente 1,5 t de CO_2 . La “*Ulva lactuca*” se pudiera usar como materia prima para la producción de bioetanol de segunda generación incluso sin pretratamiento: cada gramo de “*Ulva lactuca*” seca se convierte en 0,141 g de etanol en el escenario de más alto rendimiento.

- Producción de bio-etanol.

Estudios indican que las macroalgas contienen una alta cantidad de polisacáridos (aproximadamente 60 % del peso), que son la plataforma para la producción de varios químicos vía fermentación. De esta forma, la producción de etanol es la técnica más efectiva para el aprovechamiento de la fracción de carbohidratos presentes en las algas. Se ensayó la producción de etanol a través de la fermentación de extractos de la macroalga “*Laminaria hyperborea*”, logrando obtener 0.43 g de etanol por cada gramo de sustrato. Recientemente, científicos japoneses de la Tokio University of Marine Science and Technology, presentaron detalles de un ambicioso proyecto para producir etanol a gran escala mediante el procesamiento de las macro-algas “*Sargasso (hondawara)*” cultivadas en un área de 10 000 km²; se estima una producción de 3 billones de toneladas (Castro, 2008).

- Biofiltración.

Uno de los principales usos que se pueden dar a las macroalgas es el aprovechamiento de su capacidad para acumular diferentes nutrientes y contaminantes. Esto hace que tengan un importante papel en el desarrollo de biofiltros para aguas residuales, ya procedan de industrias, de explotaciones acuícolas o de explotaciones agrícolas. Por ejemplo, debido al crecimiento que ha experimentado la acuicultura, el nivel de fósforo y nitrógeno inorgánico en el agua se ha visto incrementado de manera importante, con la biofiltración mediante macroalgas de los nutrientes como nitrógeno y fósforo, se consigue una elevada proporción de proteína en éstas que permite su utilización en la fabricación de piensos. Además, también son capaces de acumular algunos contaminantes como metales pesados, siendo de utilidad para tratar efluentes de diferentes industrias. La desventaja que se le atribuye al empleo industrial de “*Ulva*” en biofiltración es, por ahora, el limitado valor que alcanza la producción obtenida en los mercados. (Morenol, 2015).

- Agricultura.

Los extractos líquidos elaborados a partir de las algas (ELA) estimulan y promueven el desarrollo y crecimiento de plantas terrestres. Este efecto se adjudica al contenido en reguladores del crecimiento, fitohormonas, polisacáridos y nutrientes obtenidos mediante

un proceso de extracción. Un trabajo realizado por (Morales, 2015) con el objetivo de determinar el mejor proceso de extracción de bioestimulantes a partir de las especies: “*Ulva Lactuca*”, “*Acanthophora Spicifera*”, “*Eisenia Arbórea*” y como suplemento la cianobacteria “*Arthrospira máxima*”, y sus posibles combinaciones, empleando tres métodos: autoclave, baño maría y extrusión. Para posteriormente evaluar su efectividad en ensayos con plantas terrestres (frijol mungo, rábano rojo, lechuga orejona) a nivel de laboratorio y la combinación de (ELA) que presente el mejor resultado se llevara a cabo en cultivos hidropónicos. Se identificó que el resultado de la actividad promotora de crecimiento depende del cultivo evaluado. Por ejemplo en frijol mungo el método con mayor éxito fue un autoclave y la mejor mezcla fue “*Ulva Lactuca*” y “*Eisenia Arbórea*” sin el suplemento “*Arthrospira Máxima*”. En el cultivo del rábano rojo, el método más eficaz fue el de baño maría y el mayor sinérgico se obtuvo con la mezcla de las tres especies de “*Ulva Lactuca*”, “*Acanthophora Spicifera*”, “*Eisenia Arbórea*” sin suplemento (Morales, 2015).

Estudios realizados por Herrera, (2015) indican que los polisacáridos de “*Ulva Lactuca*” y “*Padina Gymnospora*” incrementaron la germinación de las semillas de tomate de 86 al 100 %. Además, los polisacáridos neutros a 0,1 mg. mL⁻¹ de “*Ulva Lactuca*” estimularon la formulación de raíces adventicias en frijol mungo (22 raíces) respecto al control (7 raíces).

De acuerdo a los resultados ofrecidos se arriba que la actividad de los extractos de algas marinas como promotores del crecimiento no es solo debido a los componentes de bajo peso molecular (fitohormonas) sino que también se puede atribuir a componentes tales como polisacáridos.

- Medicina.

Otra de las principales aplicaciones de las macroalgas es el aprovechamiento de diferentes componentes que pueden generar. Entre estos componentes destacan diferentes antioxidantes, vitaminas, proteínas, ácidos grasos y polisacáridos, destacar la presencia de un polisacárido con múltiples usos presente sobre todo en el género “*Ulva*”. Este polisacárido presenta muchas aplicaciones en diferentes industrias como la producción de anticoagulantes, antioxidantes, inmunomoduladores, antihipercolesterémicos,

antihiperlipidémicos, antivirales, antitumorales y sirve también como elicitador en defensa en plantas. Además se utiliza en la fabricación de biomateriales como nanofibras, macropartículas, medios de cultivo celular, anti adhesivos e hidrogeles (Morenol, 2015).

Estudios en modelos experimentales realizados por el grupo de (Ganovski, 2010) mostraron efectos antiinflamatorios de un extracto acuoso obtenido a partir de la mezcla de las tres algas; “*Cystosina barbata*”, “*Ulva Lactuca*” y “*Zostera nona*”. Se han realizado algunas investigaciones sobre las propiedades anti-inflamatorias y analgésicas de las algas marinas, no obstante, los trabajos publicados sobre esa temática son limitados (Fernández, 2015).

A partir de los principales resultados obtenidos con “*Ulva*”, pudimos establecer una relación entre la presencia de fenoles, hidratos de carbono, proteínas, ácidos urónicos, sulfatos y pigmentos, con la actividad antitumoral y con el efecto antinociceptivo y antiinflamatorio evidenciado. Estos resultados se relacionan con lo descrito en la medicina tradicional oriental para *Ulva* como antigotoso y analgésico; se ha informado además que algunas “*Ulvaceae*” previenen el desarrollo de tumores (Flores, 2015).

- Alimentación animal.

Castro, (2015) en su evaluación del valor nutricional de “*Ulva lactuca*” para cabras, determinó una degradación en rumen de 33,5 % de materia orgánica y de 9,6 % de proteína, designando a esta alga como un forraje de calidad media para cabras. En aves las algas marinas constituyen una alternativa para reducir el contenido de colesterol en el huevo, debido a que tienen compuestos con propiedades hipocolesterolémicos y hipolipidémicos, tales como ácidos grasos poliinsaturados, polisacáridos y esteroides.

- Nutrición.

Entre los componentes de las algas que han presentado actividades farmacológicas que potencialmente pueden ser beneficiosas para los humanos se encuentran los polisacáridos. El mayor porcentaje (~91 %) de los polisacáridos presentes en las algas no son digeridos por las enzimas del tracto gastrointestinal humano por lo que pueden ser considerados “fibras dietéticas”. Este hecho, aunque disminuye el aporte calórico de los carbohidratos en la dieta, incrementa los efectos que puede traer aparejado su consumo debido a que

favorecen el tránsito intestinal, la limpieza del sistema digestivo y la protección de la mucosa intestinal. Adicionalmente, a los polisacáridos se les atribuyen una gran variedad de propiedades farmacológicas. Dentro de estas se encuentran sus efectos antihipertensivos, los cuales han sido vinculados a la absorción excesiva de sustancias dañinas como el sodio e inhibición de la enzima convertidora de angiotensina, la cual es cardinal en el control de la presión arterial. También se describen efectos beneficiosos sobre la aterosclerosis relacionados con: la disminución de la absorción intestinal de colesterol, el incremento de las concentraciones plasmáticas de lipoproteínas de alta densidad, la inhibición de la biosíntesis de colesterol y la disminución de las concentraciones de triglicéridos y de lipoproteínas de baja densidad (Jiménez, Rivera, Iglesias, & Menéndez, 2010).

CAPÍTULO 2. ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DEL SUMINISTRO DE GASES DE COMBUSTIÓN DE LA ETE EN AGUA DE MAR.

En el presente capítulo se realiza una caracterización del agua de mar y el efecto que causa en ella, el suministro de gases de combustión de la ETE para el posterior cultivo intensivo de la “*Ulva Lactuca*”. El agua de mar es el sustrato fundamental en el crecimiento de las macroalgas para el cultivo intensivo de la misma se requiere las condiciones de calidad del agua más favorable para el proceso a través del suministro de nutrientes como el Nitrógeno, Fósforo y Dióxido de Carbono (CO₂), en este caso proveniente de los gases de combustión de la ETE.

El efecto del mezclado de los gases de combustión del agua de mar sobre la variación de la composición de la misma se estudia detalladamente en el presente capítulo por la importancia que tiene en el proceso. Dicho estudio se logra a través de herramientas estadísticas que ofrece resultados, con el objetivo de proponer nuevas tecnologías.

2.1 MATERIALES Y MÉTODOS.

Dadas las características fundamentales del agua de mar que se utiliza en el proceso no se realiza ningún diseño experimental clásico, puesto que las variables y los parámetros fueron delimitados a partir de la información bibliográfica de trabajos anteriores y la información aportada por parte de la ETE sobre la calidad del agua de mar. Con la información obtenida, y los resultados de los experimentos, se caracterizan las aguas sometidas a los efectos del flujo de gases de combustión. Se realiza un riguroso análisis estadístico de la data experimental a través del software STATGRAPHICS y el libro de datos de EXCEL, obteniéndose la información necesaria sobre las variaciones de los parámetros fundamentales del agua de mar con la adición de los gases de combustión.

Para ejecutar análisis estadísticos se necesitan al menos 30 observaciones, en este caso se toman para los análisis químicos 49 muestras experimentales; siete corridas con siete muestras cada una; para determinar el comportamiento de índices de calidad del agua de mar tales como: turbidez (Turb), materia orgánica (M.O), cloruro (Cl⁻), conductividad (Cond), pH, oxígeno disuelto (O₂) entre otros. Posteriormente se analizan nuevamente estas

variables para el agua sometida al flujo de gases (agua acondicionada). Finalmente se comparan ambos resultados con el objetivo de ver si hay diferencias significativas en dichas variables.

2.1.1 Métodos experimentales.

- Se determina a partir de la data estadística histórica tomada durante los últimos 4 años por la ETE, las características y calidad del agua de mar.
- Se toman muestras del agua de mar desde el punto de captación de la misma en la ETE (49 muestras independientes en recipiente de 1 litro de capacidad y 25 cm de profundidad)
- Se desvía parte del gas de combustión que circula por el conducto de descarga a la chimenea de la ETE.
- Se aplica por borboteo directo el gas extraído a razón de (0,2 L/min) por el conducto al recipiente de agua de mar (1 litro de capacidad y 25 cm de profundidad), durante dos minutos. Ver ANEXO E
- Se analiza la calidad del agua de mar, antes y después del proceso de gasificación a través de técnicas analíticas en el laboratorio de la ETE y el CEAC.

2.2 CARACTERIZACIÓN DE LAS PRINCIPALES VARIABLES DE CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA DE MAR (DATA HISTÓRICA DE LA ETE).

Base de datos para el análisis estadístico

Para el análisis estadístico desarrollado a través del software STATGRAPHICS, se utilizó una data histórica (4 años) de informes mensuales sobre la calidad del agua de mar realizados en los laboratorios de la ETE, de los mismos se tomaron las variables más significativas e influyentes en el proceso de cultivo de algas. Los datos introducidos primero en una hoja de cálculo de un libro Excel, se importaron al libro de datos de STARGRAPHICS, ver ANEXO F.

Se analizó los datos continuos de cada variable entrada en el libro de datos, y los resultados que se muestran en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Resultados del análisis de datos continuos en STATGRAPHICS (data histórica – agua de mar).

Variables	CI	DT	Turb	Cond	O₂	pH	M.O
Recuento	48	48	48	48	48	48	48
Mediana	20 150	2 592	3,56	53 600	6,69	8,35	1,2
Varianza	5,96E6	69638,8	6,83	1,02E7	0,93	0,06	0,80
Desviación Estándar	2 441	263,89	2,61	3 193,76	0,96	0,24	0,89
Coef. de Variación	12,28%	10,50%	62,07%	6,09%	14,28%	2,8%	60,47%
Sesgo Estandarizado	5,17	-2,49	3,26	-4,36	-0,05	-3,89	4,07
Curtosis Estandarizada	13,80	0,35	1,96	3,30	2,31	2,89	2,85

Fuente: Elaboración propia.

La data histórica presenta variaciones constantes o sea valores atípicos, debido a esto no será tomada como referencia a la hora establecer comparaciones con las características del agua acondicionada. Para ello se hace un análisis de datos continuos, pero a los valores reportados en las pruebas de laboratorios realizadas al blanco (agua de mar antes de someter al flujo de gases de la ETE).

2.2 ANÁLISIS DE CALIDAD DEL AGUA DE MAR ANTES DE SUMINISTRAR GASES DE LA ETE.

Tabla 2.1. Resultados del análisis de datos continuos en STATGRAPHICS (agua limpia).

Variables	Cl	DT	Turb	Cond	O₂	pH	M.O
Recuento	49	49	49	49	49	49	49
Promedio	20 557	55 000	3,99	55 000	6,55	8,17	0,56
Mediana	20 600	55 000	4,1	55 000	6,41	8,22	0,54
Varianza	42 857	200 000	0,73	200000	0,36	0,06	0,02
Desviación Estándar	207	447,21	0,85	447,21	0,60	0,26	0,11
Coef. de Variación	1,01 %	0,81 %	21,34 %	0,81 %	9,21 %	3,12 %	20,05 %
Sesgo Estandarizado	-0,83	0,42	-0,88	0,42	-0,69	0,24	0,03
Curtosis Estandarizada	-0,01	-0,44	1,15	-0,44	0,11	0,32	-0,61

Fuente. Elaboración propia.

2.3 ANÁLISIS DE CALIDAD DEL AGUA ACONDICIONADA

El proceso de suministro de un flujo de gases al agua de mar, se hace con el objetivo de simular lo que ocurre en el proceso real del cultivo intensivo de las macroalgas, y analizar posteriormente que cambios se reflejan en las características de la misma, dentro de esas características se estudian detalladamente las que influyen significativamente en el proceso, ejemplo importante de ello el pH. Ver ANEXO G, que muestra la fecha de cada corrida con los datos de del agua acondicionada.

Tabla 2.2. Resultados del análisis de datos continuos en STATGRAPHICS (agua acondicionada).

Variables	Cl	DT	Turb	Cond	O₂	pH	MO
Recuento	49	49	49	49	49	49	49
Promedio	20 685,7	2 721,71	4,86	55 614,3	3,28	6,82	0,73
Mediana	20 600	2 728	4,22	55 600	3,19	6,71	1,0
Varianza	168 095	340,57	1,67	111 429	0,04	0,03	0,21
Desviación Estándar	409,99	18,45	1,29	333,81	0,20	0,17	0,46
Coef. de Variación	1,98%	0,68%	26,64 %	0,60 %	6,11 %	2,55%	63,27%
Sesgo Estandarizado	0,15	-0,169	1,016	-0,35	0,95	1,08	-0,33
Curtosis Estandarizada	-1,19	-1,28	-0,48	-0,40	-0,47	-0,47	-1,46

Fuente. Elaboración propia.

Al comparar los resultados de las tablas 2.1 y 2.2 se observa el efecto que sobre el agua de mar provocan los gases de combustión de la ETE. Un cambio cualitativo apreciable en el agua de mar es reflejado principalmente por la disminución del índice de pH hasta nivel de 6,8, que se mantiene en un rango adecuado para el cultivo de la macroalga “*Ulva Lactuca*”, por lo que no requiere que se ajuste el mismo químicamente. En el caso del O₂, la Turbidez y Materia Orgánica se observa una correspondencia muy estrecha debido a la esperada oxidación de la materia orgánica por el O₂ presente en la corriente gaseosa y como consecuencia, la turbidez del agua disminuye.

2.4 COMPARACIÓN DE DOS MUESTRAS INDEPENDIENTES (AGUA DE MAR LIMPIA - AGUA ACONDICIONADA).

Cloruros (Cl^-)

Muestra 1: (mg/L) (Agua de mar limpia)

Muestra 2: (mg/L) (Agua acondicionada)

Tabla 2.3. Comparación de los cloruros de ambas muestras.

Variables	Cl (mg/L)	Cl (mg/L)
Recuento	49	49
Promedio	20 785,7	20 685,7
Desviación Estándar	467,01	409,99
Coeficiente de Variación	2,25 %	1,98 %
Sesgo Estandarizado	0,58	0,15
Curtosis Estandarizada	-0,42	-1,19

Comparación de Medias

Paso 1 Hipótesis

Hipótesis nula: $\text{media}_1 = \text{media}_2$

Hipótesis Alt.: $\text{media}_1 <> \text{media}_2$

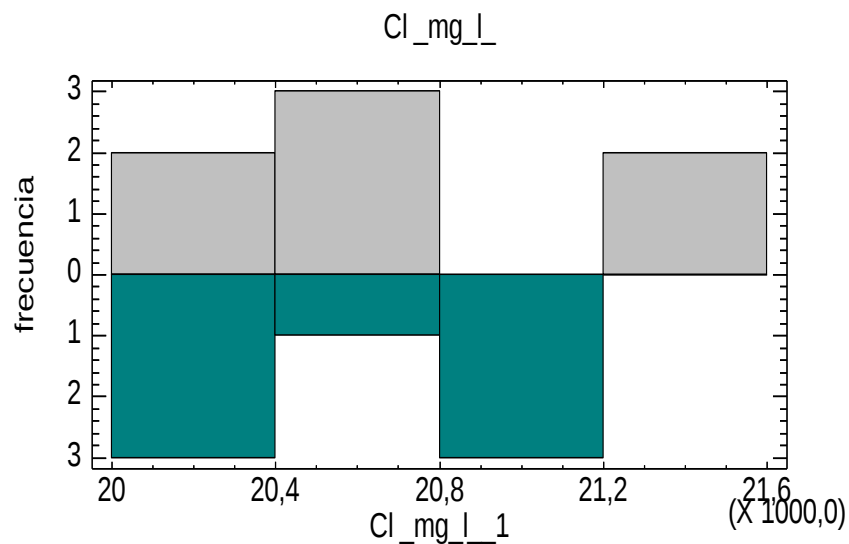
Paso 2 Elección del nivel de significancia de la prueba: 0,05

Paso 3 Teoría de decisión: Rechazar la hipótesis nula (H_0) si el valor de $P < 0,05$

Paso 4 Decisión: puesto que el valor- P para la prueba es mayor que 0,05 no se rechaza la hipótesis nula con un 95 % de nivel de confianza.

Paso 5 Conclusión: no existe diferencia significativa entre las medias.

Valor- $P = 0,677831$



Conductividad

Muestra 1: ($\mu\text{s/cm}$) (Agua de mar limpia)

Muestra 2: ($\mu\text{s/cm}$) (Agua acondicionada)

Tabla 2.4. Comparación de la conductividad (cond) en ambas muestras.

Variables	Cond ($\mu\text{s/cm}$)	Cond ($\mu\text{s/cm}$)1
Recuento	49	49
Promedio	55 000	55 614,3
Desviación Estándar	447,214	333,81
Coeficiente de Variación	0,81%	0,60%
Sesgo Estandarizado	0,42	-0,35
Curtosis Estandarizada	-0,44	-0,40

Prueba t para comparar medias

Paso 1 Hipótesis

Hipótesis nula: $\text{media1} = \text{media2}$

Hipótesis Alt.: $\text{media1} <> \text{media2}$

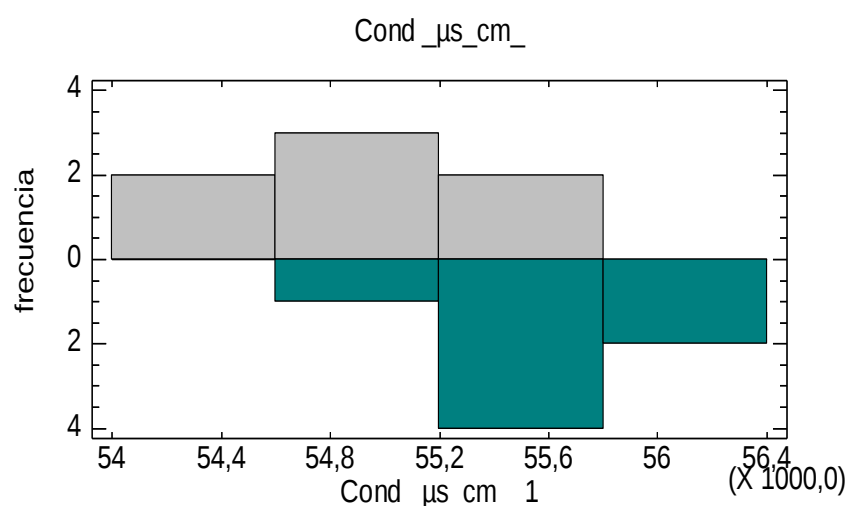
Paso 2 Elección del nivel de significancia de la prueba: 0,05

Paso 3 Teoría de decisión: Rechazar la hipótesis nula (H_0) si el valor de $P < 0,05$

Paso 4 Decisión: Puesto que el valor-P para la prueba es menor que 0,05, puede rechazarse la hipótesis nula con un 95,0% de nivel de confianza.

Paso 5 Conclusión: existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos muestras.

Valor-P = 0,0130246



Dureza total

Muestra 1: DT (mg/L) (Agua de mar limpia)

Muestra 2: DT (mg/L) (Agua acondicionada)

Tabla 2.5. Comparación de la dureza total en ambas muestras.

Variables	DT(mg/L)	DT(mg/L) 1
Recuento	49	49
Promedio	2702,14	2721,71
Desviación Estándar	13,5945	18,45
Coeficiente de Variación	0,50%	0,68%
Sesgo Estandarizado	-0,57	-0,17
Curtosis Estandarizada	-0,15	-1,29

Fuente. Elaboración propia.

Paso 1 Hipótesis

Hipótesis nula: $\text{media1} = \text{media2}$

Hipótesis Alt.: $\text{media1} \neq \text{media2}$

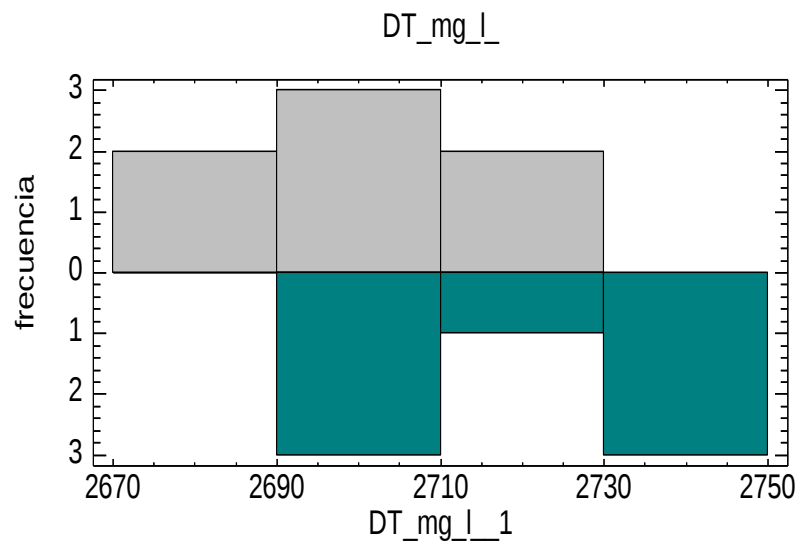
Paso 2 Elección del nivel de significancia de la prueba: 0,05

Paso 3 Teoría de decisión: Rechazar la hipótesis nula (H_0) si el valor de $P < 0,05$.

Paso 4 Decisión: Puesto que el valor-P para la prueba es menor que 0,05, puede rechazarse la hipótesis nula con un 95,0% de nivel de confianza.

Paso 5 Conclusión: existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos muestras

Valor-P = 0,0432815

Oxígeno disuelto (mg/L)

Muestra 1: O_2 (mg/L) (Aguade mar limpia)

Muestra 2: O_2 (mg/L) (Agua acondicionada)

Tabla 2.6. Comparación del oxígeno disuelto en de ambas muestras.

Variables	O ₂ (mg/L)	O ₂ (mg/L)
Recuento	49	49
Promedio	6,55	3,01
Desviación Estándar	0,60	0,77
Coeficiente de Variación	9,21 %	25,62 %
Sesgo Estandarizado	-0,69	-2,50
Curtosis Estandarizada	0,11	1,15

Fuente. Elaboración propia.

Paso 1 Hipótesis

Hipótesis nula: $\text{media1} = \text{media2}$

Hipótesis Alt.: $\text{media1} <> \text{media2}$

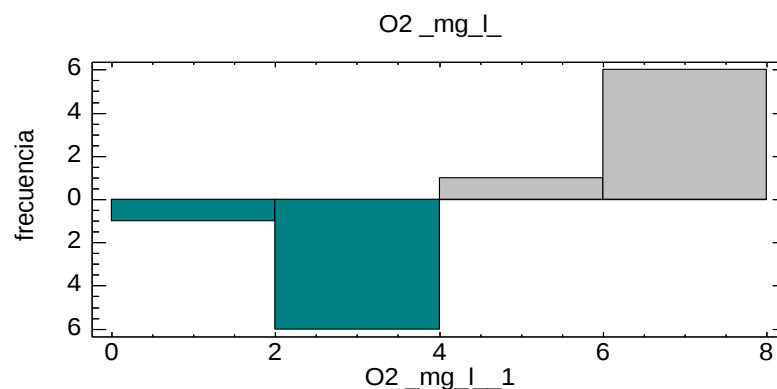
Paso 2 Elección del nivel de significancia de la prueba: 0,05.

Paso 3 Teoría de decisión: Rechazar la hipótesis nula (H_0) si el valor de $P < 0,05$.

Paso 4 Decisión Puesto que el valor-P para la prueba es menor que 0,05, puede rechazarse la hipótesis nula con un 95,0% de nivel de confianza.

Paso 5 Conclusión: existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos muestras.

Valor-P = 6,31756E-7



Turbidez

Muestra 1: TURB (mg/L) (Aguade mar limpia)

Muestra 2: TURB (mg/L) (Agua acondicionada)

Tabla 2.7. Comparación de la turbidez (turb) en ambas muestras.

variables	TURB (mg/L)	TURB (mg/L) 1
Recuento	49	49
Promedio	3,99	4,86
Desviación Estándar	0,85	1,29
Coeficiente de Variación	21,34 %	26,64 %
Sesgo Estandarizado	-0,88	1,02
Curtosis Estandarizada	1,16	-0,48

Fuente. Elaboración propia.

Paso 1 Hipótesis

Hipótesis nula: $\text{media1} = \text{media2}$

Hipótesis Alt.: $\text{media1} <> \text{media2}$

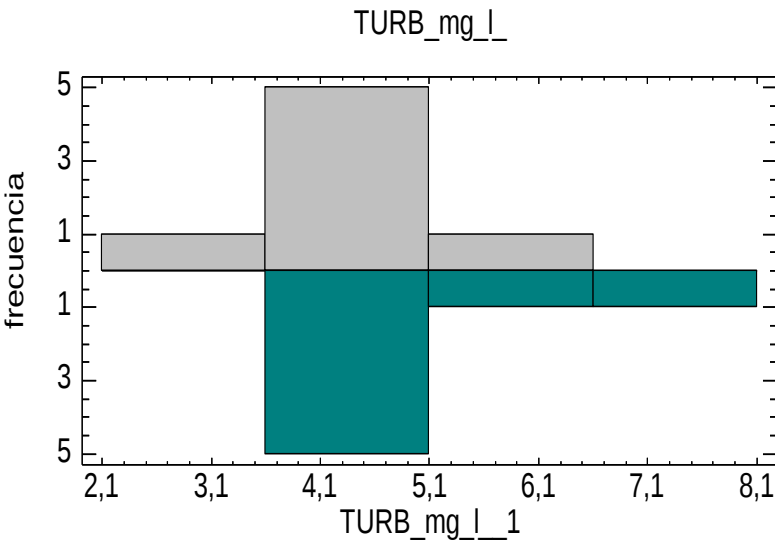
Paso 2 Elección del nivel de significancia de la prueba: 0,05.

Paso 3 Teoría de decisión: Rechazar la hipótesis nula (H_0) si el valor de $P < 0,05$.

Paso 4 Decisión: puesto que el valor- P para la prueba es mayor que 0,05 no se rechaza la hipótesis nula con un 95 % de nivel de confianza.

Paso 5 Conclusión: no existe diferencia significativa entre las medias.

Valor - $P = 0,165438$



pH

Muestra 1: pH (Agua de mar limpia)

Muestra 2: pH_1 (Agua acondicionada)

Tabla 2.6. Comparación del oxígeno disuelto en ambas muestras.

Variables	pH	pH 1
Recuento	49	49
Promedio	8,17	6,82
Desviación Estándar	0,25	0,17
Coefficiente de Variación	3,12 %	2,55 %
Sesgo Estandarizado	0,25	1,08
Curtosis Estandarizada	0,32	-0,46

Fuente. Elaboración propia.

Paso 1 Hipótesis

Hipótesis nula: $media1 = media2$

Hipótesis Alt.: $media1 \neq media2$

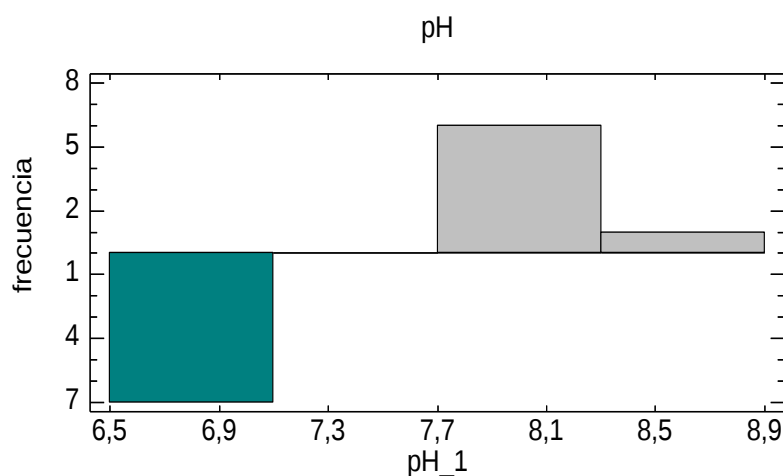
Paso 2 Elección del nivel de significancia de la prueba: 0,05.

Paso 3 Teoría de decisión: Rechazar la hipótesis nula (H_0) si el valor de $P < 0,05$.

Paso 4 Decisión Puesto que el valor-P para la prueba es menor que 0,05, puede rechazarse la hipótesis nula con un 95,0% de nivel de confianza.

Paso 5 Conclusión: existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las dos muestras.

Valor-P = 6,89855E-8



Materia orgánica

Muestra 1: M.O (mg/L) (Agua de mar limpia)

Muestra 2: M.O 1 (mg/L) (Agua acondicionada)

Tabla 2.7. Comparación del oxígeno disuelto en ambas muestras.

Variables	M.O (mg/L)	M.O (mg/L) 1
Recuento	49	49
Promedio	0,73	0,56
Desviación Estándar	0,46	0,11
Coeficiente de Variación	63,27 %	20,06 %
Sesgo Estandarizado	-0,33	0,03
Curtosis Estandarizada	-1,47	-0,61

Fuente. Elaboración propia.

Paso 1 Hipótesis

Hipótesis nula: $\text{media1} = \text{media2}$

Hipótesis Alt.: $\text{media1} <> \text{media2}$

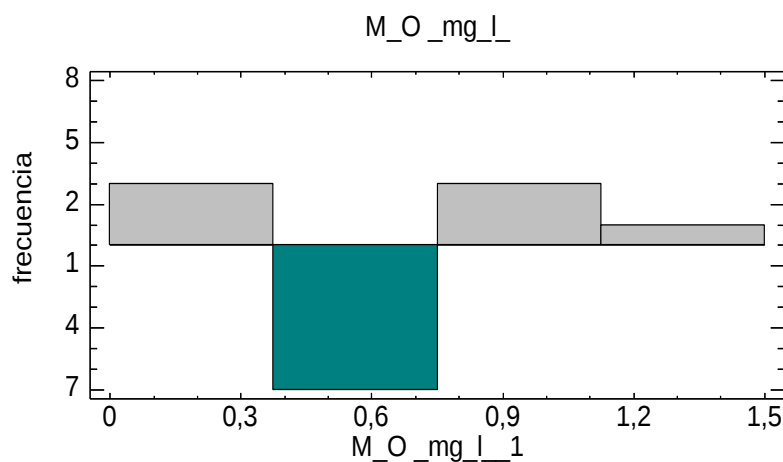
Paso 2 Elección del nivel de significancia de la prueba: 0,05.

Paso 3 Teoría de decisión: Rechazar la hipótesis nula (H_0) si el valor de $P < 0,05$.

Paso 4 Decisión: puesto que el valor- P para la prueba es mayor que 0,05 no se rechaza la hipótesis nula con un 95 % de nivel de confianza.

Paso 5 Conclusión: no existe diferencia significativa entre las medias.

Valor- $P = 0,369772$



2.5 ANÁLISIS DE NITRATOS (NO_3^-), NITRITOS (NO_2^-) Y DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO), REALIZADOS AL AGUA ACONDICIONADA.

Con el objetivo de obtener una caracterización más completa del agua acondicionada, se realiza el análisis de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Nitratos (NO_3^-) y Nitritos (NO_2^-), en los laboratorios pertenecientes al Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos (CEAC). En el caso del agua de mar estos datos no conocen porque la ETE no realiza dichos análisis. Este análisis expresa valores promedios a tener en cuenta para los balances de masas de los nutrientes requeridos por el proceso.

Tabla 2.8. Composición del agua acondicionada en cuanto a: (DQO) (NO_3^-) (NO_2^-).

Variables	DQO	(NO_2^-).	(NO_3^-)
Recuento	49	49	49
Promedio	3,22	0,01	0,14
Mediana	3,6	0,01	0,03
Varianza	1,30	0,00	0,06
Desviación Estándar	1,14	0,01	0,24
Coeficiente de Variación	35,37 %	72,64 %	169,98 %
Sesgo Estandarizado	-1,58	-0,11	1,62
Curtosis Estandarizada	1,46	-0,63	1,61

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 3: PROPUESTA TECNOLÓGICA. ANÁLISIS TÉCNICO- ECONÓMICO.

3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE CULTIVO INTENSIVO DE LA “*ULVA LACTUCA*”.

El objetivo principal del proceso es producir biomasa algal, mediante el aprovechamiento de la corriente de gases de combustión de la ETE.

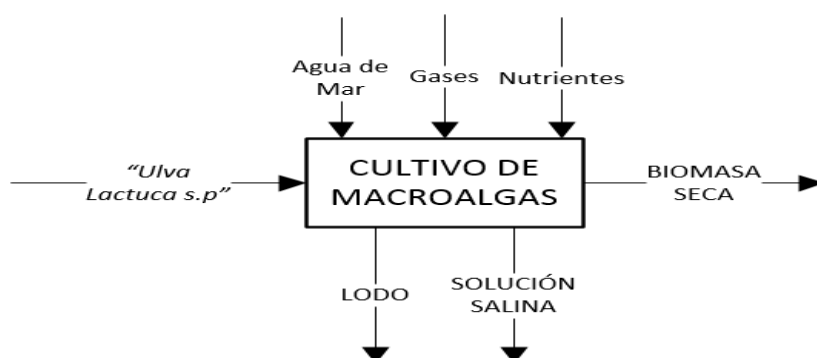


Figura 3.1 Función total del proceso de obtención de biomasa algal. **Fuente:** Elaboración propia.

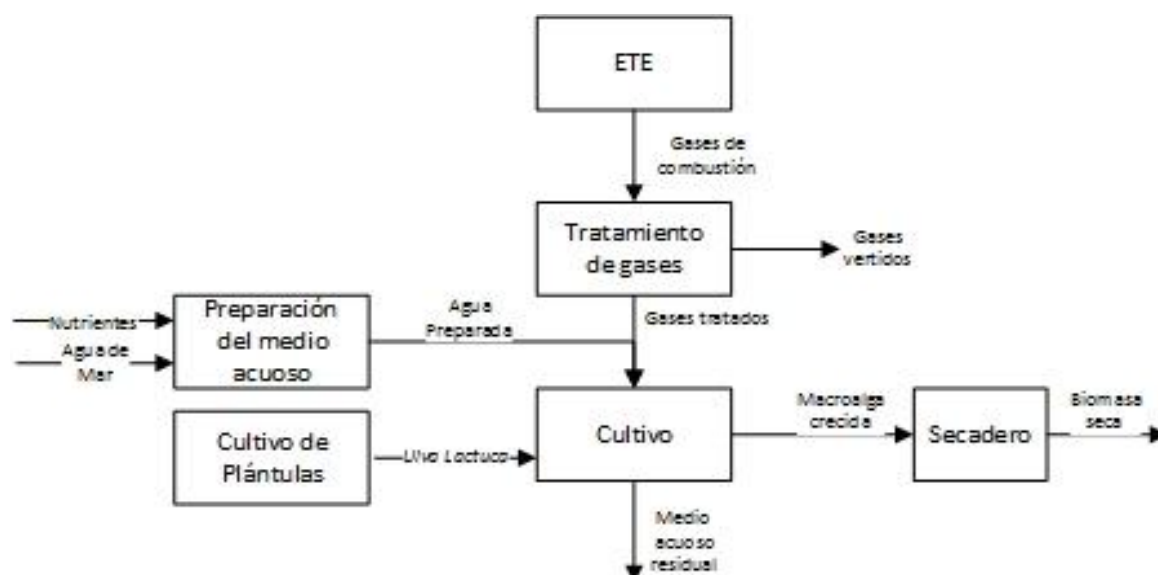


Figura 3.2 Funciones parciales del proceso. **Fuente:** Elaboración propia.

El proceso consta de las siguientes etapas:

1. Obtención de gases de combustión de la ETE.
2. Tratamiento de los gases de combustión.
3. Preparación del medio acuoso.
4. Cultivo de las plántulas.
5. Cultivo.
6. Secado.

La etapa de obtención de los gases de combustión: se realiza con el objetivo de llevar a la planta una corriente de gases de la ETE, ricos en sustancias como CO₂, Nitrógeno y Oxígeno componentes necesarios para el cultivo de la macroalga.

Tratamiento de los gases: esta etapa se realiza con el objetivo de tratar los gases capturados de la termoeléctrica para su utilización en el proceso de obtención de biomasa algal. Estos gases se burbujan en una columna de agua a temperatura ambiente donde se enfrían hasta 30°C y se eliminan partículas sólidas presentes en los mismos.

Etapas de cultivo de las plántulas: esta etapa consiste en un pre-cultivo a nivel de laboratorio hasta que las plántulas alcancen un tamaño promedio de 2 cm y sean trasladadas a los biorreactores para su cultivo industrial.

Etapas de acondicionamiento del medio acuoso: consiste en un tratamiento de limpieza previo al agua de mar mediante filtros, garantizando flujos de agua de acuerdo a la capacidad de dicha planta y finalmente se añaden los nutrientes necesarios para el cultivo de las macroalgas.

Cultivo: cuenta con 75 Biorreactores, dividido en 5 sectores de 15 biorreactores cada uno, tipo tanque abierto. Los reactores se mantienen con un flujo de gas y agua de mar con un ciclo de renovación de 12 horas similar al llenado y vaciado de la bahía. Los gases de combustión de la ETE Cienfuegos se suministran a través de distribuidores de aire, colocados a lo largo de cada reactor.

Etapas de secado: esta etapa se realiza en secaderos solares tipo invernadero con el objetivo de obtener una biomasa seca de macroalgas para su posterior comercialización.

3.2 ETAPA DE PREPARACIÓN DEL MEDIO ACUOSO Y LOS GASES DE COMBUSTIÓN.

El presente trabajo como ya fue mencionado con anterioridad, centra su investigación en la etapa de acondicionamiento de agua de mar y gases de combustión de la ETE, la Figura 3.3, muestran dichas etapas:

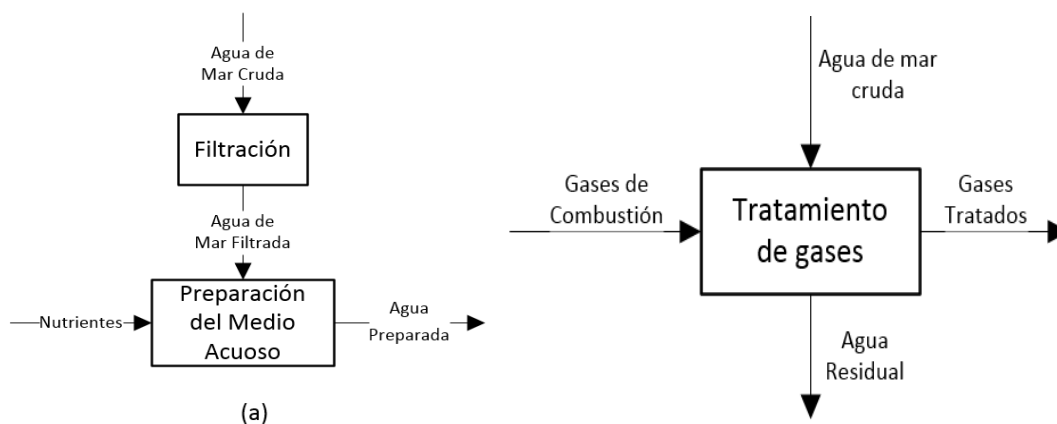


Figura 3.3 Diagrama general por etapas. (a): Acondicionamiento del agua de mar, (b): Acondicionamiento de los gases de combustión. **Fuente:** Elaboración propia.

3.3 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO.

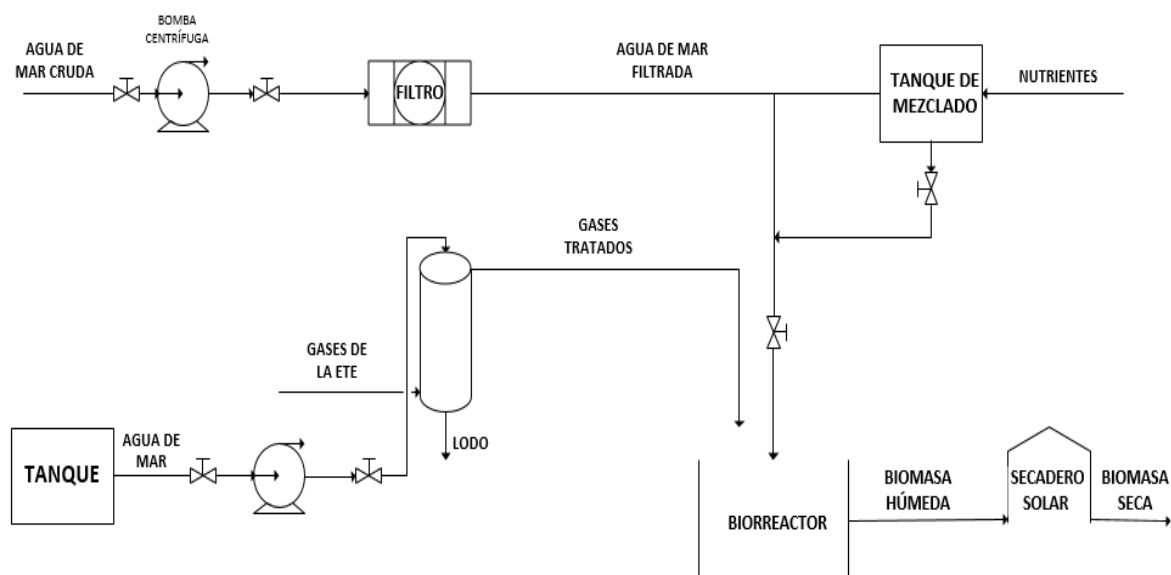


Figura 3.4. Diagrama de flujo general del proceso de obtención de biomasa algal seca. **Fuente.** Elaboración propia.

Para un flujo de producción de 11 712,35 kg/día de biomasa con una humedad de 94,74 % obteniéndose 616 kg/día de biomasa seca calculada a partir de la ecuación 3.1

$$Humedad = \frac{P_{inicial} - P_{final}}{P_{inicial}} \quad Ec. (3.1)$$

$$P_{final} = P_{inicial} - Humedad * P_{inicial} ,$$

la planta necesita 75 biorreactores, distribuidos en 5 sectores, con 15 biorreactores, cada uno con un volumen de 38,4 m³. Los biorreactores tendrán un ciclo de renovación de 12 h similar al llenado y vaciado de la bahía.

Tabla 3.1. Datos tomados de la bibliografía.

Parámetro	Valor
Flujo de gases de la ETE (kg/día)	11 054 400
% de CO ₂	13,92
% de gases que van al planta	1
Total, de biorreactores en la planta.	75
Número de biorreactores por sector.	15
Número de sectores.	5
Volumen de agua de un 1 biorreactor	38,4 m ³
Volumen de agua de un biorreactor en (1 día)	76,8 m ³
Volumen total de agua por sector (12 h)	576 m ³
Volumen total de agua por sector (1 día)	1 152 m ³

Fuente. (García, 2016)

3.4 DIMENSIONAMIENTO DE LOS EQUIPOS

3.4.1 Selección de las bombas.

Bombas centrífugas para la etapa de limpieza de agua de mar.

En la etapa de limpieza de agua de mar se utiliza una bomba centrífuga para cada sector de reacción, con el objetivo de transportar el fluido desde el mar hasta los filtros. Los resultados se muestran en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Dimensionamiento de la bomba centrífuga.

Parámetro	Datos	Ecuación	Resultados
H	Q=0,013 m ³ /s	$H = \Delta Z + \frac{\Delta P}{\rho g} + \frac{\alpha \Delta V^2}{2g} + h_{pt}$	H= 5,78 m
	L=200 m		
	v=1,5 m/s		
	DN=0,102 m		
	f=0,024		
	$\Delta z=2$ m		
	$\Delta P=0$		
	$\Delta v=0$		

Fuente. Elaboración propia.

Para bombear el agua de mar hacia los reactores de algas se selecciona una bomba tipo STQ 2-300T: Electrobombas centrífugas monobloc de gran caudal; con 5,78 m de carga, un caudal de 46 800 L/h y un motor con una potencia de 2,2 kW. (www.bombasbloch.com)

Bomba Centrífuga para la etapa de tratamiento de los gases.

Se realiza el balance de energía mecánica para calcular la carga que necesita el sistema para trasladar el fluido desde el tanque de almacenamiento de agua hasta las torres de enfriamiento.

Tabla 3.3. Dimensionamiento de la bomba centrífuga para la etapa de tratamiento de gases.

Parámetros	Datos	Ecuación	Resultados
H	Q = 21,9 *10 ⁻⁴ m ³ /s	$H = \Delta Z + \frac{\Delta P}{\rho g} + \frac{\alpha \Delta V^2}{2g} + h_{pt}$	H= 4,44 m
	L = 10 m		
	V=1,12 m/s		
	D = 0,02 m		
	$\Delta Z = 3$ m		
	$\Delta P = 0$		
	$\Delta V = 0$		

Fuente. Elaboración propia.

Se selecciona una bomba centrífuga modelo: 4ND 32/13-130 con una carga de 6,3 m, un flujo de 8 m³/h y una potencia 0,37 kW. (www.bombasbloch.com)

3.4.2 Selección del filtro

Se propone un tamiz colador de arco según (Rosabal, 2006) pues este se emplea para el tamizado de suspensiones, con el fin de separar como rechazo las partículas sólidas presentes en ellas. Los sólidos que estas presentan se separan por la parte superior del tamiz sin la necesidad de parar el proceso. Estos se construyen de rejillas de alambre en forma trapezoidal o con tela metálica, cuyas aberturas son lo suficientemente pequeñas para retener sólidos de un tamaño deseado. La suspensión libre de sólidos o partículas grandes pasa a través de los agujeros impulsada por la fuerza centrífuga y la fuerza de gravedad, donde las ranuras son de 2 mm, tamaño necesario para separar la arena del mar, este filtro tiene que filtrar 48 m³/h de agua de mar requerida por el proceso. Se deben utilizar 5 filtros de este tipo, uno para cada sector de reacción.



Figura 3.4: Tamiz colador de arco. **Fuente:** www.alibaba.com

3.4.3 Diseño de los tanques.

Tanque para el mezclado de nutrientes

Se seleccionan 1 tanque de 1 m³ de capacidad por cada sector de la planta.

Tabla 3.5. Diseño del tanque para el mezclado de nutrientes.

Datos	Ecuaciones	Resultados
Mmezcla=10 228,6 kg	$D = \left(\frac{4 * V}{\pi * H/D} \right)^{1/3}$	D=0,64 m
ρ mezcla= 1 027 kg/m ³		h = 0,95 m
V= 1 m ³	h = 1,5*D	H = 1,03 m
H/D= 1,5	H = h + 0.05*h	
H =5 % sobre diseño		

Fuente. Elaboración propia.

Tanque de agua utilizado en la etapa de tratamiento de los gases.

Una parte del agua de salida de los reactores se almacena en un tanque para su posterior uso en el tratamiento de los gases. Las dimensiones del tanque se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 3.7. Dimensionamiento del tanque para el mezclado de nutrientes.

Datos	Ecuaciones	Resultados	Referencia
V=18 m ³	$D = (\frac{4 * V}{\pi * H/D})^{1/3}$	D= 3,92	(Rosabal, 2010)
H/D =0,38	h= 0,38 *D	h= 1,49 m	
H = 5% sobre diseño	H= h + 0,05 h	H= 1,56 m	

Fuente. Elaboración propia.

3.4.4 Selección del limpiador de gases.

A continuación, se muestran los balances de energía para seleccionar el limpiador de los gases de combustión. Se selecciona la base de cálculo de una hora.

- Balance de energía para determinar el calor a remover.

$$Q_{requerida} = m * Cp * \Delta T$$

$$Q_{requerida} = 145,57 \text{ kmol} * 7,47 \text{ kcal/kmolK} * (453\text{K} - 309\text{K})$$

$$Q_{requerida} = 156\,592,35 \text{ kcal.}$$

- Balance de energía para determinar el flujo de agua para enfriar los gases de combustión.

$$m(\text{agua}) = \frac{Q}{Cp * \Delta T}$$

$$m(\text{agua}) = \frac{156\,592,35 \text{ kcal}}{7,93 \text{ kcal/kmolK} * (343 - 298)}$$

$$m(\text{agua}) = 438 \text{ kmol} = 7\,898 \text{ L/h.}$$

- Balance de energía para determinar el flujo de calor para las condiciones del equipo.

$$Q_{eq} = m * C_p * \Delta T$$

$$Q_{eq} = 98,76 \text{ kmol} * 7,47 \text{ kcal/kmolK} * (773 \text{ K} - 343 \text{ K})$$

$$Q_{eq} = 273\,957 \text{ kcal.}$$

La siguiente tabla resume los valores referentes a las dimensiones de la torre de enfriamiento, así como la temperatura y caudales de las corrientes gaseosa y líquida seleccionada en (Héktor et al., 2015).

Diámetro (m)	Altura (m)	ΔP (mmH ₂ O)	Corriente gaseosa			Corriente Líquida		
			T entrada (°C)	T salida (°C)	Caudal (Nm ³ /h)	T entrada (°C)	T salida (°C)	Caudal (L/h)
0,6	3	145	500	70	2 500	25	70	1 400

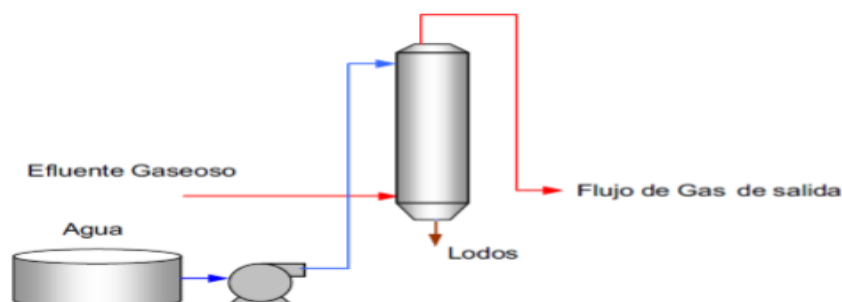


Figura 3.5. Diagrama de la etapa de limpieza de los gases. **Fuente.** Elaboración propia.

Teniendo en cuenta que la temperatura de entrada de los gases al sistema es de 180°C y su temperatura de salida es de 36 °C una torre de enfriamiento con los parámetros de la tabla 2.7 es suficiente para poder tratar un flujo de gases de 3 684,8 m³/h. La torre seleccionada se presenta en el ANEXO H.

3.4.5 Selección de las válvulas.

Se seleccionan dos tipos de válvulas:

- 4 válvulas de globo para las secciones de la planta donde se necesita regular flujos.
- 2 válvulas de cuña donde se necesita cambiar la dirección de fluido (a la salida del tanque de nutrientes y a la salida de la bomba utilizada para el tratamiento de los gases).

3.5 ANÁLISIS TÉCNICO - ECONÓMICO.

3.5.1 Costo de adquisición del equipamiento

Procedimiento para determinar el costo de adquisición de los reactores.

Costo de hormigón = 4, 27 \$/m³

Volumen de hormigón = 35 m

Costo de un reactor= \$300

Tabla 3.5.1. Costo de adquisición de los equipos.

Equipos	Cantidad	Costo original	Costo actualizado
tanque para agua	5	2 000	10 000
Reactor	75	300	22 500
Bomba centrífuga	6	7 500	45 000
Válvula de cuña	2	1 780	80
Compresor de gases	5	90 000	450 000
Filtro	5	2,70E+03	13 500
Compresor de aire	1	3,00E+04	30 000
Secadero	7	7000	49 000
Enfriador de gases	1	70 000	70 000
Válvulas de globo	4	116	464

Fuente. Elaboración propia.

3.5.2 Costo total de inversión (CTI)

Los datos fueron obtenidos de la tabla 17 (Peters & Timmerhaus, 1991).

CTI = Costos Fijo de Inversión (CFI) + Inversión de Trabajo (I_{Trabajo})

$I_{\text{Trabajo}} = 15\% \text{ CTI}$

$\text{CFI} = C_{\text{Directos}} + C_{\text{Indirectos}} + \text{Derechos de contrato} + \text{Contingencia}$

Tabla.3.5.2 Factores de costo y cálculo del CTI

Costo Directo		
Componente	%	Costo (\$)
costo total del equipamiento	100	690 544
Instalación	39	269 312
instrumentación y control	13	89770,7
tuberías	31	214 069
electricidad	10	69 054,4
edificaciones	29	200 258
movimiento de tierra	10	69 054,4
facilidades de servicio	55	379 799
tierras	6	41 432,6
CD		2 023 293
Costo Indirecto		
Componente	%	Costo (\$)
ingeniería y supervisión	32	220 974
gastos de construcción	34	234 785
CI		455 759
CD+CI		2 479 052,39
Otros aspectos	%	Costo (\$)
Derecho de contrato	5%(CD+CI)	123 953
Contingencia	10%(CD+CI)	247 905

Fuente. Elaboración propia.

$$CTI = CFI + I_{\text{trabajo}} = 3\,354\,012,05$$

$$I_{\text{trabajo}} = 503\,101,08$$

$$CFI = 2\,850\,910,24$$

3.5.3 Costo total de producción

Para la estimación del costo total de producción se utilizaron los factores de proporción y las ecuaciones correspondientes que se encuentran en la tabla 27 del (Peters & Timmerhaus, 1991).

$$CTP = \text{Costo de fabricación (C}_{\text{fabricación}}) + \text{Gastos Generales (GG)}$$

$$C_{\text{fabricación}} = \text{Costos directos (CD)} + \text{Cargos Fijos } C_{\text{fijos}} + \text{Costos Indirectos (CI)}$$

$$\text{Depreciación} = \frac{CFI - VR}{Vd}$$

Donde el VR es el valor residual que se asume igual a cero y Vd es la vida útil igual a 20 años. Los cálculos se proceden como se demuestra en las tablas 4.3 y 4.4 que se expresan a continuación:

Tabla 3.5.3. Factores de costo y cálculo del costo directo, indirecto y cargo fijo.

Costo directo de producción		
Componente	%	Costo (\$)
materia prima	10% CTP	
mano de obra	10%CTP	
supervisión	15% mano de obra	
requerimientos	20% CTP	
mantenimiento y reparación	2%CFI	57 018,2
suministro	0.5%CFI	14 254,55
	69800,55 + 0.315* CTP	
Cargos fijos		
Componente	%	Costo (\$)
Depreciación		142 545,5
Impuestos	1% CFI	28 509,1
Seguros	0.4 CFI	11 403,09
C_{fijos}		182 458,3
Costos indirectos		
	5%CTP	0.05*CTP

Fuente. Elaboración propia.

Tabla 3.5.4. Factores de costo y cálculo de los gastos generales.

Gastos generales	
componentes	%
administrativos	2%CTP
distribución y ventas	2%CTP
investigación y desarrollo	5%CTP
	0.09*CTP

Fuente. Peter

CTP = 465 561,48 \$/año

3.5.4 Cálculo de la ganancia.

Ganancia (G) = Valor de la Producción (VP) – CTP

Para ello es necesario el cálculo preliminar del valor de la producción

PV= precio de venta *cantidad de biomasa

Precio de biomasa = 250 \$/t

Cantidad de biomasa = 4 216,32 t/año

G= PV-CTP= 588 518,52 \$/año

3.5.5 Indicadores dinámicos de rentabilidad

La determinación de los indicadores dinámicos de rentabilidad: VAN (Valor Actual Neto), TIR (Tasa de Rendimiento Interna) y PRD (Plazo de Recuperación al Descontado) se realiza para valorar la factibilidad de la inversión de la planta. El cálculo de estos indicadores se puede desarrollar con la ayuda del Microsoft Excel, en el cual se programan los datos previos para calcular el VAN y la TIR, determinándose estos con la ayuda de funciones financieras. Se toma una tasa de interés de un 12%. Los cálculos fueron programados en Microsoft Excel.

Tabla 3.5.5. Indicadores dinámicos.

Indicadores	Valores
VAN	\$1 402 645,54
TIR	59 %
PRD	2 años

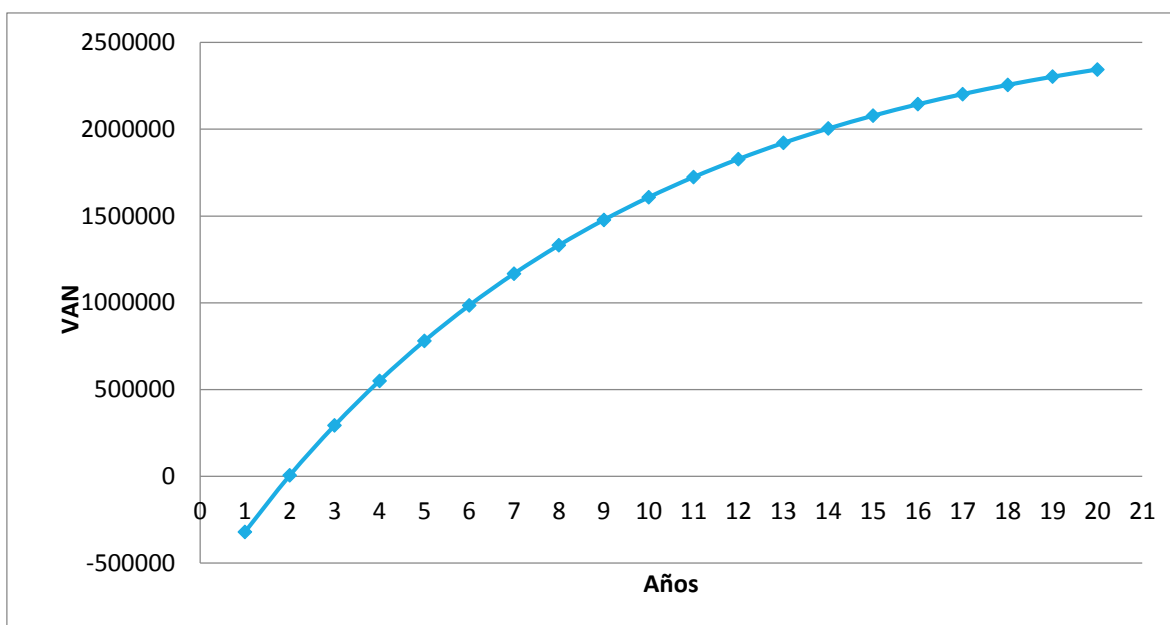


Figura 4.1. Comportamiento del VAN.

3.6 CONSIDERACIONES SOCIALES Y AMBIENTALES.

3.6.1 Impacto ambiental.

La utilización de gases de combustión de la Empresa Termoeléctrica de Cienfuegos para el cultivo de la macroalga “*Ulva Lactuca*”, reducirá la cantidad de gases vertidos a la atmósfera en una cifra de 110 544 kg/día.

3.6.2 Impacto social.

La puesta en marcha de dicha instalación genera puestos de trabajo, que necesitará fuerza de trabajo bien capacitada en el tema y otra que solo necesitará una capacitación básica garantizada por los inversionistas.

Esta planta desarrolla nuevas tecnologías para la sociedad cubana, que pudiera ser aplicada a otras empresas termoeléctricas del país y a otros focos emisores de gases a la atmósfera como la industria cementera.

CONCLUSIONES

1. La macroalga “*Ulva Lactuca*” genera una biomasa con múltiples potenciales económicos, especialmente como alimento animal, obtención de biodiesel, cosmética etc.
2. El cultivo intensivo de “*Ulva Lactuca*” se logra de forma eficiente en tanques abiertos, utilizando el CO₂ como nutriente principal, asegurando un adecuado control del pH.
3. De acuerdo a lo régimen experimentado el suministro de gases de la ETE al agua de mar, mantiene un índice de pH medio de 6,8, adecuado para el cultivo de la “*Ulva Lactuca*”.
4. El oxígeno presente en la corriente gaseosa, actúa sobre el agua de mar disminuyendo la turbidez y la materia orgánica, mientras que las demás variables, no presentan alteraciones apreciables.
5. Se demuestra que el equipo de limpieza de gases propuesto cumple con la función de enfriamiento de los gases por contacto directo y no requiere de otra adaptación para los intereses, ya que elimina físicamente las partículas en los gases de combustión.
6. Mediante la evaluación económica se obtiene un costo total de inversión de 3 354 012 \$/año, un costo total de producción de 465 561,48 \$/año, lo que determina un VAN de \$1 402 645,54, una TIR de 59% y un PRD de 2 años.

RECOMENDACIONES

Realizar estudios que muestren si hay o no presencia de contaminación biológica en el agua utilizada para el cultivo (bacterias, hongos, protozoos).

Analizar el agua residual del proceso de enfriamiento de gases, para determinar si se encuentra en los rangos permisibles de vertimiento a la bahía.

Completar el diseño del sistema de transporte de gases de la ETE hacia la planta de cultivo intensivo de la “*Ulva Lactuca*”.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, L. M. (2013). La truculenta historia de las algas. *Cuadrivio*, 6.
- Angelidaki, I., & Galanidis, S. (2011). *Cultivation of the green macroalgae Ulva Lactuca and Ulvaria splendens for biofuels production*. Canadá: Technical University Of Denmark.
- Basaure, P. (2012). *Alga Ulva Lactuca, composta y biogas*. Santiago de Chile, Chile.
- Bastos, A., Álvarez, E., & Represa, G. (2015). Cultivo de algas para la producción de biocombustibles. *REVBIGO*, 6, 136-147.
- Betancourt, F. (2006). Características de la macroalga Ulva Lactuca. *Centro azúcar*, 4, 20-24.
- Castro, A. L. (2008). *Cultivo y transformación de algas*. Asturias, España
- Castro, B. I. C. (2015). *Crecimiento de Ulva sp. en respuesta al enriquecimiento con nutrientes en condiciones de laboratorio*. (Tesis de Diploma), Universidad Autónoma de Baja California Sur, La Paz, .
- Cobelas, M. Á., & Gallardo, T. (1989). Una revisión sobre la biotecnología de las algas. *Bot. Complutensis*, 15, 9-60.
- Cubadebate. (2012). Científicos buscan biocombustibles en las algas marinas. . from www.cubadebate.com
- Delgado, L. R. (2015). *Propuesta de una planta a escala piloto para el estudio del cultivo intensivo de macroalgas marinas utilizando CO₂ residual industrial*. (Tesis de Diploma), Universidad Central Marta Abreu de las Villas Santa Clara, Cuba.
- Edding, M., Tala, F., & Vásquez, J. (2006). *Fisiología Vegetal*. La Serena, Chile.: Universidad de La Serena, Chile.
- FAO, D. d. d. d. l. (2014). *Estado de la pesca y la acuicultura*. Roma, Italia: Retrieved from www.fao.org/3/a-i3720s.pdf
- Fernández, M. (2015). Seaweeds as source of new anti-inflammatory agents. . *Revista electrónica de la agencia de medio ambiente*.
- Flores, M. (2015). *V Congreso latinoamericano de biotecnología algal* Paper presented at the Puesta en valor de macroalgas de interes industrial del golfo de San Jorge,

- Argentina: una experiencia farmacognóstica. , Viña del Mar, Chile.
- Ganovski, K. (2010). Anti-inflammatory action of extracts from marine algae collected in the area of Burgas seacoast. *NAUKI*, 4, 105.
- Garcia, A. M. (2001). Evaluación de la biomasa anual de *Ulva Lactuca* localizado en las costas de Veracruz. Veracruz: Instituto Tecnológico del Mar #1 Boca del Río.
- García, J. R. (2016). *Propuesta de diseño preeliminar de una planta industrial de cultivo intensivo de macroalga Ulva Lactuca a partir del CO₂ residual de la Termoeléctrica Carlos Manuel de Céspedes*. (Tesis de Diploma), Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Santa Clara, Cuba.
- Gómez Hermoso, F. (2013). Breras a la producción de algas con fines energéticos.
- Gómez, J. G. (2017). Importancia económica y usos de las algas. *Ciencias*, 10.
- González, A. R. M. (2003). Variación de la composición y abundancia de macroalgas en la Bahía de Cienfuegos , Cuba. *Investigaciones Marítimas*, 2, 83-94.
- González, G. L. (2015). *Evaluación de la actividad antimicrobiana de Ulva lactuca.*, La Paz, Baja California Sur: Universidad autónoma de Baja California Sur,
- González, J. A. Z. (2012). Situación actual de la industria de macroalgas productoras de ficocoloides en América Latina y el Caribe. (D. d. pesca, Trans.).
- Hernel, M. (2014). Variación espacio-temporal de la biomasa del alga *Caulerpa Sertularioides* en poblaciones naturales y en condiciones de cultivo en estanques de camarón en la bahía de Tumaco, Pacífico colombiano. *Scielo*, 43.
- Herrera, M. H. (2015). *V Congreso latinoamericano de biotecnología algal* Paper presented at the Polisacáridos obtenidos de algas marinas como estimulantes del crecimiento vegetal Viña del Mar, Chile.
- Jiménez, T. G., Rivera, Y. H., Iglesias, O. V., & Menéndez, R. (2010). Seaweeds: source of nutrients and health. *Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente*, 19.
- L, F. F. (2013). *Valoración de la biomasa de macroalgas en acuicultura multitrofica integrada: aplicación en cosmética y nutraceutica.*, Universidad De Málaga, España.
- López González, G. E. (2015). *Evaluación de la actividad antimicrobiana de la Ulva Lactuca*. (Tesis de Diploma), Universidad Autónoma de Baja California Sur.
- Mansilla, A., & Krisler, A. (2012). *Biología Marina y Oceanía: Conceptos y Procesos*.

- Medina, J. P. V. (2012). *Utilización de la macroalga Ulva Lactuca y Gracilaria Parvispora en la formulación de dietas balanceadas para el camarón blanco Litopenaeus Vannamei*. (Tesis de Maestría), Instituto Politécnico Nacional Sinaloa, México
- Moraga, L. A. (2014). *Contribución al estudio de la reducción de emisiones industriales de CO₂ mediante cultivo intensivo de macroalgas marinas* (Trabajo de Diploma) Universidad Carlos Rafael Rodríguez, Cienfuegos.
- Morales, J. M. (2015). *V Congreso Latinoamericano de biotecnología algal*. Paper presented at the Evaluación de la actividad promotora de crecimiento en diferentes cultivos de plantas terrestres bajo el tratamiento de extractos elaborados a partir de algas, Viña del Mar, Chile.
- Moreno, S. M. (2015). *Producción de Ulva a partir de un sistema de recirculación acuícola* Universidad Politécnica de Cataluña.
- Ortiz, J. (2011). *Composición nutricional y funcional de las Algas Clorofíceas Chilenas: Codium fragile y Ulva lactuca*. Universidad de Chile., Chile
- Pedroche, F. (2012). Catálogo de Algas Marinas Bentónicas del Pacífico de México In U. A. d. B. California.
- Pérez, J. B. C. (2008). Potencial de algas verdes para la producción fotobiológica de hidrógeno. *Ciencia y Sociedad*.
- Peters, M., & Timmerhaus, K. (1991). *Plant design and economics for chemical engineers*. Colorado, Estados Unidos de América: M. G.-. Hill Ed..
- Portillo, E. (2002). Control biológico del fouling en tanques de cultivo de macroalgas mediante el gasterópodo *Osilinus atratus*. *Boletín español de oceanografía*, 18, 401-404.
- Pulida, Y. S. (2013). *Evaluación de un sistema experimental piloto para el cultivo intensivo de la macroalga marina Ulva Lactuca*. (Trabajo de Diploma), Universidad Marta Abreu de las Villas, Santa Clara, Cuba.
- Quintana, A. M. (2017). *Usos y aplicaciones de las macroalgas, microalgas y cianobacterias en agricultura ecológica*.
- Quintral R, V. (2012). Propiedades nutritivas de las algas marinas y su potencialidad como ingrediente funcional. *SciELO Analytics*, 39(196-202).
- R, V. Q., & G, K. M. (2012). Propiedades nutritivas y saludables de algas marinas y su

- potencialidad como ingrediente funcional. *Revista Chilena de Nutrición* 39, 196-202.
- Ramírez, D. R. (1993). *Cultivo, adaptación morfológica y fisiopatología de macroalgas marinas de interés industrial*. (Tesis de doctorado), Universidad de Las Palmas de Gran Canaria España.
- Rebollido, P. M. D. (2012). Obtención de gas combutible mediante la bioconversión de alga marina *Ulva Lactuca*. *SERIE OCEANOLÓGICA*, 52-60.
- Reyes, K. R., & Sánchez, E. Z. (2011). *Obtención de biocombustible a partir de algas marinas*. (Tesis de Diploma), Universidad Veracruzana, Veracruz.
- Rodríguez, A. G., Touset, J. P. H., Avilés, Y. F., & González, A. M. (2012). Evaluación de sistema experimental par el cultivo intensivo de macroalgas marinas. *Centro Azúcar*, 3, 21-27.
- Rodríguez, A. P. (2011). *Uso potencial de la macroalgaverde Ulva clathrata en el cultivo de camarón blanco Litopenaeus vannamei*. (Tesis de Doctorado), Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Rodríguez, F. A. (2015). *Optimización de las condiciones de cultivo de Ulva lactuca (Chlorophyta, Chlorophyceae) para la alimentación de Haliotis tuberculata*. . (Tesis de maestría), Universidade dos Açores, Horta
- Rosabal, M. J. (2006). *Hidrodinámica y Separaciones Mecánicas* (Vol. Tomo I). La Habana: Editorial Félix Varela.
- S.L., I. L. (2012). Macroalgas y cosmética
- Scott, J. A. (2015). Perspectivas para la producción de algas marinas en los países en desarrollo. *REDALYC*.
- Valdés, J. C. B. (2012). Tecnología de cultivo de microalgas en fotobiorreactores. *AQM*.
- Vega, J. R., & Puyans, L. G. (2010). *Hidrodinámica y separaciones mecánicas* (Vol. 1). La Habana Editorial Félix Varela
- Velázquez, J. R. (2013). *Métodos de acuacultura sostenible*. (Tesis de grado), Universidad Autónoma De Baja California., La Paz, Baja California Sur. .
- Weiss, R. (1974). Carbon dioxide in water and seawater: The solubility of non ideal gas. *Marine Chemistry*, 2, 203.
- Zazueta, M. G. B., Galaz, A. G., Millán, L. E. G., & Félix, E. A. (2013). Algae and other

marine organisms as sources of bioactive molecules. *Biotechnia*, 15, 25-32.

ANEXOS

ANEXO A VISTA SATÉLITE DE LA EMPRESA TERMOELÉCTRICA “CARLOS MANUEL DE CÉSPEDES” DE CIENFUEGOS.



Fuente. www.googlemaps.com

ANEXO B. COMPORTAMIENTO DEL CULTIVO DE LAS MACROALGAS EN PAÍSES ASIÁTICOS.

		1990	1995	2000	2005	2010	2012
China	Volumen (toneladas)	1 470 230	4 162 620	6 938 095	9 494 591	11 092 270	12 832 060
	Proporción del total mundial (porcentaje)	39,05	60,78	74,55	70,23	58,35	53,97
Indonesia	Volumen (toneladas)	100 000	102 000	205 227	910 636	3 915 017	6 514 854
	Proporción del total mundial (porcentaje)	2,66	1,49	2,21	6,74	20,59	27,40
Filipinas	Volumen (toneladas)	291 176	579 035	707 039	1 338 597	1 801 272	1 751 071
	Proporción del total mundial (porcentaje)	7,73	8,45	7,60	9,90	9,48	7,36
República de Corea	Volumen (toneladas)	411 882	649 099	374 463	621 154	901 672	1 022 326
	Proporción del total mundial (porcentaje)	10,94	9,48	4,02	4,59	4,74	4,30
Japón	Volumen (toneladas)	565 387	569 489	528 881	507 742	432 796	440 754
	Proporción del total mundial (porcentaje)	15,02	8,31	5,68	3,76	2,28	1,85
Malasia	Volumen (toneladas)	...	...	16 125	40 000	207 892	331 490
	Proporción del total mundial (porcentaje)			0,17	0,30	1,09	1,39
Zanzíbar (República Unida de Tanzania)	Volumen (toneladas)	8 080	39 170	49 910	73 620	125 157	150 876
	Proporción del total mundial (porcentaje)	0,21	0,57	0,54	0,54	0,66	0,63
Islas Salomón	Volumen (toneladas)	...	...	...	3 260	8 000	13 000
	Proporción del total mundial (porcentaje)				0,02	0,04	0,05
Subtotal	Volumen (toneladas)	2 846 755	6 101 413	8 819 740	12 989 600	18 484 076	23 056 431
	Proporción del total mundial (porcentaje)	75,60	89,08	94,77	96,08	97,24	96,97
Resto del mundo	Volumen (toneladas)	918 570	747 802	486 302	529 346	525 591	720 018
	Proporción del total mundial (porcentaje)	24,40	10,92	5,23	3,92	2,76	3,03
MUNDO	Volumen (toneladas)	3 765 325	6 849 215	9 306 042	13 518 946	19 009 667	23 776 449

ANEXO C: TÉCNICAS ANALÍTICAS EMPLEADAS POR LA ETE PARA CARACTERIZAR EL AGUA DE MAR.

Cloruros (mg/L)

- Se diluye 1 ml de muestra en 100 ml de agua Desmineralizada
- Se adiciona 1 ml de Cromato de Potasio
- Se valora con Nitrato de Plata
- Cálculo:

$$Cl^- = M/S \times 100$$

M: ml consumidos de Nitrato de Plata

S: ml de Muestra

Dureza total (mg/L)

- Se diluyen 5 ml de Muestra en 50 ml de Agua Desmineralizada
- Se añaden de 2 a 3 gotas de Buffer amoniacal
- Se añaden de 2 a 3 gotas de Indicador de Dureza
- Valorar con EDTA 0,02 N
- Cálculo:

$$DT = \text{ml consumidos de EDTA} \times 400 / \text{ml de Muestra}$$

Dureza cálcica (mg/L)

- Diluir 5 ml de Muestra en 50 ml de Agua Desmineralizada.
- Adicionar 1 ml de NaOH 1 N
- Añadir una pizca de Indicador de calcio
- Valorar con EDTA
- Cálculos:

$$DCa^{2+} = \text{ml de EDTA} / \text{ml de Muestra} \times 400$$

Dureza magnésica (mg/L)

$$DMg^{2+} \text{ (mg/L)} = DT - DCa^{2+} \times 0,606$$

Sulfatos (mg/L)

- Diluya 1 ml de Muestra en 100 ml de Agua Desmineralizada
- Adicionar 5 ml de Solución acondicionadora

- Añadir una pizca de BaCl_2
- Leer en Espectrofotómetro en cubetas de 5 cm a Longitud de Onda 420 nm.

Cálculos:

$$\text{SO}_4^{2-} = \text{mg/L SO}_4^{2-} \text{ leído en el Equipo} \times 100$$

Turbiedad

Se toma la muestra directamente, se agita y se lee en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 660 nm en cubetas de 50 mm, usando el blanco (agua desmineralizada) como solución de referencia para resetear a cero.

Oxígeno disuelto

Muestreo:

- Se debe realizar en el recipiente de muestreo antes descrito. Antes del análisis es necesario la determinación exacta del volumen de dicho frasco, sin que posea ninguna burbuja de aire.
- Llenar el pomo con la muestra de agua de mar hasta arriba tomando cuidado de no provocar burbujas de aire.
- Inmediatamente después de la operación de llenado del frasco, se le adiciona a la muestra 1 ml de la solución de Winkler A y un ml de la solución de Winkler B. Estas adiciones deben hacerse con pipetas de 1 ml sumergiendo lo más posible la misma dentro de la solución para no provocar burbujas de aire.
- Tapar el frasco con cuidado para que no quede ninguna burbuja de aire y agitar cuidadosamente y se deja en reposo por espacio de 30 minutos hasta que el precipitado formado se asiente.
- Cuando el precipitado se ha asentado se le adiciona 1 ml de Ácido Sulfúrico 1:1 con igual cuidado que las anteriores adiciones, se tapa nuevamente el frasco y se agita hasta que el precipitado se disuelva y libere el yodo.
- Traspasar a un Erlenmeyer de 500 ml y valorar con solución de tiosulfato de sodio 0,01N, usando como indicador 1 ml de almidón.

Cálculos:

El oxígeno disuelto se calcula por la siguiente expresión:

$$O_2 \text{ mg/L} = \frac{a \times N \times f \times 16 \times 1000}{2 (V - 2)}$$

donde:

a: ml de Tiosulfato de sodio consumidos.

N: Normalidad del tiosulfato de sodio.

f: factor del tiosulfato.

V: volumen del frasco donde se recogió la muestra.

pH

- Tome la muestra de agua en un beaker de vidrio limpio provisto con un Termómetro (si el equipo no tiene compensador automático de temperatura).
- Agite durante el período de medida del pH a una velocidad que evite salpicaduras y pérdida o ganancia de gases ácidos o básicos por intercambio con la atmósfera. Cuando sea necesario, agite bastante vivamente las distintas fases de una muestra de agua no homogénea.
- Inserte los electrodos y determine el pH.
- Mida porciones sucesivas de la muestra de agua hasta que las lecturas en dos porciones sucesivas, difiera no más de 0.05 unidades de pH.
- Registre el pH y la temperatura de la muestra.

Materia orgánicaAcciones.

- Se toman 100 ml de la muestra.
- Se vierten en un balón de fondo plano de aproximadamente 200 ó 300 ml.
- Se adicionan 6,3 ml de NaOH 1N y varios ebullidores para evitar proyecciones de la muestra.

- Se calienta la solución hasta casi ebullición y en el momento de comenzar la ebullición añade con una pipeta 20 ml de solución de KMnO_4 0,01N. Se mantiene 20 minutos ebullición.
- Posteriormente transfiera el balón a un baño de agua fría para interrumpir la oxidación
- Luego se le añaden 5 ml de H_2SO_4 1: 3 y 10 ml de KI 0,1 N
- La solución se valora con Tiosulfato de Sodio 0,01 N usando como indicador el almidón para la valoración final.
- Repita la misma operación usando un blanco de 100 ml de agua desmineralizada.

Cálculos:

El resultado obtenido debe ser expresado en mg/L de Oxígeno consumido aplicando el siguiente cálculo:

Materia Orgánica (mg/L) = $0,8 \times N \text{ (Tiosulfato)} \times 100 \times (V_{cb} - V_{cm})$.

N: Normalidad del Tiosulfato de sodio.

V_{cb} : Volumen de Tiosulfato consumido por el blanco.

V_{cm} : Volumen de Tiosulfato consumido por la muestra.

Conductividad

- Medida directa en el conductímetro, colocando la celda de conductividad dentro de la muestra.

ANEXO D TABLA DE VALORES EMPLEADOS PARA DETERMINAR EL FLUJO DE GASES UTILIZADOS EN EL EXPERIMENTO.

Central Termoeléctrica “Carlos M. de Céspedes” Unidad no 4.

Mediciones de partículas sólidas y gases a la atmósfera

.FECHA			10/01/98	29/01/98	09/02/98	13/02/98
CARGA		MW	158	156	158	158
GASES			Sin aditivo		Después Lavado CAR A	Mínimo de CO
Entrada CAR A	O ₂	%	0.4	1.1	0.7	1.15
	CO ₂	%	15.7	14.8	15.3	14.9
	CO	ppm	362	54	180	5.0
Entrada CAR B	O ₂	%	1.7	1.2	1.0	1.45
	CO ₂	%	14.7	14.8	15.0	1.46
	CO	ppm	43	264	126	5.0
Salida CAR A	O ₂	%	4.2	5.8 - 6.4	5.0	5.25
	CO ₂	%	11.9	9.9	11.1	10.8
	CO	ppm	38	44	52	6.0
Salida CAR B	O ₂	%	7.0	7.7 - 9.0	9.0	8.5 – 10.0
	CO ₂	%	9.0	8.3 - 7.0	7.2	6.8
	CO	ppm	26	365-761	107	0.0
Infilt. CAR A	α	---	21.9	35.6	26.9	27.3
	α	---	38.1	58.1	67.9	68.2
CAR B						
Punto No 3						
Gases	O ₂	%	3.0	4.0	3.4 - 4.3	4.2
	Tg	°C	122	---	125	125
	CO	mg/Nm ³ O ₂ =3%	12ppm	---	75ppm	14

	NO _x	mg/Nm ³ O ₂ =3%	---	---	696	712
	SO ₂	mg/Nm ³ O ₂ =3%	---	---	4120	4286
Partículas						
	V _{gn}	Nm ³	0.632	---	0.653	---
	$\overline{V}_{me}$	m/s	23.63	---	26	---
	T _{me}	°C	121.94	---	125	125
	P _{me}	kPa	101.7	---	101.5	---
	C _m	mg/Nm ³ O ₂ =3%	625.5	598	574	---
	Inquem.	%	92.0	94.0	91.6	---
Punto No 2						
Gases	O ₂	%	6.5	---	7.0 – 8.0	7.8
	T _g	°C	124	---	127	128
	CO	mg/Nm ³ O ₂ =3%	10ppm	---	157ppm	10
	NO _x	mg/Nm ³ O ₂ =3%	---	---	743	754
	SO ₂	mg/Nm ³ O ₂ =3%	---	---	3845	4312
Partículas						
	V _{gn}	Nm ³	0.639	---	0.626	---
	$\overline{V}_{me}$	m/s	27.61	---	27	---
	T _{me}	°C	123.71	---	127	128
	P _{me}	kPa	101.7	---	101.5	---
	C _m	mg/Nm ³ O ₂ =3%	713.4	630	805	---
	Inquem.	%	92.0	94.0	94.0	---

ANEXO D. COMPOSICIÓN DE LOS GASES DE COMBUSTIÓN DE LA TERMOELÉCTRICA “CARLOS MANUEL DE CÉSPEDES” CIENFUEGOS.


MINISTERIO DE LA INDUSTRIA
UNION ELECTRICA
MANUAL DE PROCEDIMIENTOS
 ETE Cienfuegos
 Fecha: 30/11/2000
 Pág. 11 de 24

TC OA 0019.A2
 Análisis de gases Unidad CMC (4) (1/1)

DIA dd/mm/aa		CARGA (MW)		11/15/16		15.8	
L A D O	N T E S	CO ₂	%	14.13			
		O ₂	%	1.28			
		CO	%	0			
		α	-	-			
		NO _x	ppm	40.3			
		NO ₂	ppm	-			
		SO ₂	ppm	-			
		NO	ppm	391			
		γ	-	6.2			
		TA	°C	33.5			
D E R E C H O	A (A) R	TH	°C	-			
		CO ₂	%	13.72			
		O ₂	%	2.62			
		CO	%	7			
		α	-	-			
		NO _x	ppm	24.2			
		NO ₂	ppm	-			
		SO ₂	ppm	-			
		NO	ppm	33.2			
		γ	-	18.4			
I N F I L T R A C I O N	A (B) R	TA	°C	33.2			
		TH	°C	-			
		Infiltración CAR (A)	%	9.8			
		CO ₂	%	15.46			
		O ₂	%	0.57			
		CO	%	5.0			
		α	-	-			
		NO _x	ppm	245			
		NO ₂	ppm	-			
		SO ₂	ppm	-			
Z U I E R D O	A (B) R	NO	ppm	225			
		γ	-	2.7			
		TA	°C	38.9			
		TH	°C	-			
		CO ₂	%	14.22			
		O ₂	%	2.21			
		CO	%	2.4			
		α	-	-			
		NO _x	ppm	308			
		NO ₂	ppm	-			
F I R M A S	A (B) R	SO ₂	ppm	-			
		NO	ppm	33.0			
		γ	-	11.1			
		TA	°C	36.7			
		TH	°C	-			
		Infiltración CAR (B)	%	6.9			
		Infiltración promedio	%	8.4			
		Firmas de los ejecutores					
		Equipo de medición utilizado:					


EMPRESA TERMoelectrica CIENFUEGOS
REPORTE MENSUAL DE COMBUSTIBLE
 Dirección: Carretera O' Bourke No 914, Cienfuegos
 Telefono: 43 521014
 MES ABRIL Año: 2015

PARAMETROS	Decena 1		Decena 2		Decena 3	
	Fuel	Crudo	Fuel	Crudo	Fuel	Crudo
Valor Calórico Superior (Kcal/kg)	10272	*	10148	*	10124	*
Valor Calórico Inferior (Kcal/kg)	9702	*	9583	*	9562	*
Densidad API	15.4	*	14.6	*	15.6	*
Gravedad Especifica a 60°F	0.9632	*	0.9685	*	0.9619	*
Agua % peso	0.10	*	0.90	*	1.00	*
Azufre % peso	2.015	*	2.214	*	2.099	*
Hidrógeno % peso	11.54	*	10.98	*	10.81	*
Carbono % peso	85.34	*	84.91	*	85.09	*
Residuo Carbón Conradson % peso	12.99	*	10.96	*	11.47	*
Asfaltenos % peso	3.9805	*	4.2471	*	4.3300	*
Cenizas % peso	0.0368	*	0.0638	*	0.0587	*
Vanadio ppm	112.6	*	122.5	*	202.8	*
Viscosidad CST a 50 °C	545.0	*	492.7	*	481.6	*
Viscosidad CST a 80 °C	95.07	*	88.43	*	87.24	*
Temp. de Calentamiento a 2.5 °E	134	*	131	*	129	*
Temp. de Calentamiento a 4 °E	112	*	109	*	110	*
P Punto Inflamación °C	97.2	*	99.2	*	83.3	*

OBSERVACIONES:

Ing. José M. Iglesias
 J. Dpto. Químico.
 ETE Cienfuegos.

ANEXO E. BORBOTEEO DIRECTO DEL GAS EXTRAÍDO A RAZÓN DE (0,2 L/MIN) POR EL CONDUCTO AL RECIPIENTE DE AGUA DE MAR (1 LITRO DE CAPACIDAD Y 25 CM DE PROFUNDIDAD), DURANTE DOS MINUTOS.



ANEXO F. HOJA DE CÁLCULO DE STATGRAPHICS -DATA HISTÓRICA.

	C1	DT (mg/l)	D Ca mg/l	D Mg mg/l	Turb mg/l	Cond (µs/cm)	O2 (mg/l)	pH	MD mg/l
19	18800	1824	456	829	2,29	51000	6,03	8,4	1,68
20	17800	2104	464	993,84	2,14	50100	6,35	8,52	1,2
21	18800	2744	440	2304	6,57	49800	6,48	8,42	1,68
22	16700	2192	376	1816	12,96	44600	5,64	8,3	2,32
23	18700	2360	400	1188	8,89	50800	6,35	8,35	1,12
24	20900	984	384	500	8,7	53900	7,19	8,31	0,96
25	20400	2640	512	1289	1,67	58500	7,29	8,34	0,64
26	21300	2872	472	1454	1,83	54000	7,45	8,31	0,96
27	20800	2656	418	1323,5	0,61	54500	6,45	8,23	1,04
28	21400	2560	456	1299	4,72	55200	6,9	8,5	0,96
29	21200	2704	648	1362	8,69	54600	6,13	8,04	0,64
30	20400	2448	368	1091	3,36	54500	6	8,49	1,12
31	20600	1992	464	1624	8,7	54200	6,21	8,46	1,15
32	18700	2624	376	1309	2,65	53600	8,23	8,57	0,88
33	19720	2360	376	1202,3	7,38	50700	6,61	8,58	2,32
34	18500	2536	880	1309	4,45	52400	5,35	7,64	3,68
35	18900	2800	350	1163,5	1,55	52200	13,48	8,19	1,52
36	21200	2200	410	1200	3,51	51200	6,01	8,2	1,02
37	33200	2624	480	1299,3	0,29	54400	7,35	7,44	0,56

Fuente. Elaboración propia.

ANEXO G. HOJA DE CÁLCULO DE STATGRAPHICS -AGUA ACONDICIONADA.

	Fecha	C1	DT (mg/l)	TURB (mg/l)	Cond (µs/cm)	O2 (mg/l)	pH	MD (mg/l)
1	23/02/17	20300	2704	6,43	55300	3,61	6,71	1
2	28/02/17	20600	2744	3,82	56000	3,19	6,67	0,24
3	01/03/17	20200	2736	6,9	56000	3,1	7,02	1,12
4	06/03/17	20400	2736	3,62	55700	3,15	6,83	0,24
5	07/03/17	21100	2728	4,82	55600	3,32	6,7	1,2
6	09/03/17	21000	2700	4,22	55100	3,5	7,1	1,06
7	14/03/17	21200	2704	4,22	55600	1,32	6,7	0,24

Fuente. Elaboración propia

ANEXO H. PROPUESTA DEL ENFRIADOR DE GASES.

