



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN MEDIOAMBIENTE
MAGÍSTER EN GESTIÓN AMBIENTAL

**Estudio de Pre – factibilidad para el cultivo de
macroalgas en el sector Bahía Quintero Región de
Valparaíso Chile, como materia prima principal para un
proceso de producción de biogás por digestión
anaerobia.**

TRABAJO FINAL PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN
GESTIÓN AMBIENTAL

Estudiante: Roberto Jesus Herrera Herrera.

Profesor Guía: Dr. Ociel Cofré Carvajal

Sábado 05 de Agosto 2023

RESUMEN

La crisis energética mundial ha sido una oportunidad que permite la evaluación de alternativas energéticas en el sector privado o estatal, lo que impulsa una cultura hacia la producción sustentable de energía en el país.

El siguiente trabajo tiene por objetivo establecer la pre-factibilidad técnica de un proceso productivo para la generación de biogás a base de macro algas *Clorophytas*, *Phaeophytas* y *Rodophytas* en la zona costera bahía de Quintero Región de Valparaíso. La pre-factibilidad se estableció mediante la aplicación de constantes de producción de biogás equivalentes a 65,3 ml/kg, 65 ml/kg, 46 ml/kg y 185 ml/kg de peso seco de algas. Así mismo, el estudio se centra en la producción de biomasa teórica en un sistema de cultivo flotante para las especies de *Macrocystis pyrifera* (Huiro), *Agarophyton chilense* (Pelillo), *Sarcothalia crispata* (Luga), *Porphyra – piropia spp.* (Luche), algas que se encuentran de manera natural en el litoral costero de la zona. También se presenta una caracterización de parámetros físicos, químicos y biológicos de la bahía de Quintero, tales como la intensidad del viento, temperatura, pH, oxígeno disuelto, salinidad, especies presentes en la zona y su interacción con las especies de algas propuestas para el proceso, esto para establecer si la zona puede sustentar el crecimiento y prácticas de acuicultura a escala industrial. Por otro lado, el trabajo define los procesos y etapas de producción del biogás, partiendo desde la selección y cultivo de especies, secado, triturado y lavado, pre-tratamiento del sustrato, digestión, post-tratamiento y utilización energética.

Los resultados obtenidos logran dar cuenta que especies Rodophytas y Phaeophytas tienen mejores tasas de crecimiento, lo que aseguraría el abastecimiento y mayores producciones, estimando aproximadamente 26,669 m³ de biogás por ha de cultivo, equivalente a 18,66 litros de gasolina, 64 kWh o 16 m³ de gas natural.

Finalmente, el presente trabajo permite conocer preliminarmente los aspectos técnicos y producciones estimadas en una planta de biogás con alimentación de algas mediante el cultivo de estas.

Abstract:

The global energy crisis has been an opportunity that allows the evaluation of energy alternatives in the private or state sector, which drives a culture towards sustainable energy production in the country.

The following work aims to establish the technical pre-feasibility of a production process for the generation of biogas based on macroalgae Chlorophytas, Phaeophytas and Rodophytas in the coastal area of Quintero Bay Valparaíso Region. Pre-feasibility was established by applying biogas production constants equivalent to 65.3 ml/kg, 65 ml/kg, 46 ml/kg and 185 ml/kg dry weight of algae. Likewise, the study focuses on the production of theoretical biomass in a floating culture system for the species of *Macrocystis pyrifera* (Huiro), *Agarophyton chilense* (Pelillo), *Sarcothalia crispata* (Luga), *Porphyra – piropia* spp. (Luche), algae that are naturally found on the coastal coast of the area.

It also presents a characterization of physical, chemical and biological parameters of Quintero Bay, such as wind intensity, temperature, pH, dissolved oxygen, salinity, species present in the area and their interaction with the species of algae proposed for the process, this to establish if the area can sustain the growth and aquaculture practices on an industrial scale. On the other hand, the work defines the processes and stages of biogas production, starting from the selection and cultivation of species, drying, crushing and washing, substrate pre-treatment, digestion, post-treatment and energy use.

The results obtained show that Rodophytas and Phaeophytas species have better growth rates, which would ensure supply and higher productions, estimating approximately 26,669 m³ of biogas per ha of cultivation, equivalent to 18.66 liters of gasoline, 64 kWh or 16 m³ of natural gas.

Finally, the present work allows to know preliminarily the technical aspects and estimated productions in a biogas plant with algae feeding through the cultivation of these.

ÍNDICE

1. Introducción.....	1
1.1 Caracterización y descripción de Macroalgas “Clorophyta, Phaeophyta y Rodophyta”.....	3
1.1.1 Algas verdes (Chlorophyta).....	4
1.1.2 Algas Rojas (Rodophytas).....	5
1.1.3 Algas Pardas (Phaeophyta).....	6
1.2 Composición bioquímica de las algas.....	7
1.3 Factores limitantes para el crecimiento de Algas.....	11
1.3.1 Mareas y exposición al oleaje.....	11
1.3.2 Luz.....	12
1.3.3 Sustrato.....	13
1.3.4 Competencia.....	13
1.4 Macroalgas como fuente de energía.....	14
1.4.1 Bioetanol.....	15
1.4.2 Biodiesel.....	15
1.4.3 Biogas.....	16
1.5 Digestión Anaerobia.....	17
1.6 Cultivo de Macroalgas.....	20
1.7 Caracterización física, química y biológica de la bahía de Quintero.....	26
1.7.1 Caracterización parámetros físicos.....	27
1.7.1.1 Vientos.....	28
1.7.1.2 Temperatura.....	28
1.7.2 Caracterización parámetros químicos.....	28
1.7.2.1 Salinidad.....	29
1.7.2.2 Oxígeno disuelto.....	29
1.7.2.3 pH.....	29
1.7.2.4 Metales pesados	30
1.7.3 Caracterización biológica.....	31

2. Problema.....	32
3. Objetivos.....	33
3.1 Objetivo general.....	33
3.2 Objetivos específicos.....	33
4. Metodología.....	34
5. Resultados.....	44
5.1 Revisión bibliográfica utilizada para cada objetivo.....	44
5.2 Estimación de biomasa por periodos de cultivo para <i>Macrocystis pyrifera</i> (Huiro), <i>Agarophyton chilense</i> (Pelillo), <i>Sarcothalia crispata</i> (Luga), <i>Porphyra – piropia spp.</i> (Luche).....	47
5.3 Estimación biogás producido por biomasa de algas cosechadas.....	50
5.4 Definición y caracterización parámetros físicos y químicos.....	53
5.5 Delimitación zona de cultivo.....	55
5.6 Definición de etapas y operaciones.....	59
5.7 Estimación y rendimientos de biogás producido en una propuesta de cultivo marino de 1 ha.....	63
6. Discusión.....	68
6.1 Rendimiento de producción de biomasa.....	68
6.1.1 Rendimientos de producción de biogás.....	70
6.2 Caracterización parámetros físicos, químicos, biológicos y delimitación zona de cultivo.....	73
6.3 Etapas y operaciones requeridas para la producción de biogás a partir de macro-algas	76
7. Conclusiones.....	81
8. Bibliografía.....	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Morfología macroalgas donde se representa la estipe, lamina y rizoide como estructuras comunes. Especie: <i>Undaria pinnatifida</i>	3
Figura 2: Digestión anaerobia de moléculas complejas como proteínas, carbohidratos y lípidos.....	19
Figura 3: Alternancia entre los ciclos de vida de una <i>Rodophyta</i> “ <i>Agarophyton Chilense</i> ” llamada por su nombre común Pelillo.....	20
Figura 4: Cultivo en laboratorio de gametófitos de laminarias en botellones dentro de cámaras de simulación ambiental para la obtención de plántulas.....	21
Figura 5: Siembra sobre hilos para ser insertados sobre cabos para su cultivo en mar.....	21
Figura 6: Sistema tridimensional para cultivo en suspensión de macroalgas.....	23
Figura 7: Parque de cultivo con algas laminarias.....	23
Figura 8: Siembra en profundidad con técnica de horquilla desde superficie.....	24
Figura 9: Siembra en profundidad con técnica de horquilla mediante buceo.....	25
Figura 10: Cosecha de laminarias después de 5 meses de cultivo en el mar. La producción alcanza unos valores de hasta 16 kg (en peso fresco) por metro lineal de cabo.....	26
Figura 11: Cartografía utilizada perteneciente al SHOA, la Carta Náutica Electrónica N° CL5VA005, correspondiente al área de la Bahía de Quintero (Carta papel N° 4321, confeccionada en escala 1:10.000).....	27
Figura 12: Diagrama de síntesis para el trabajo metodológico en el objetivo N°1.	36
Figura 13: Diagrama de síntesis para el trabajo metodológico en el objetivo N°2.	39
Figura 14: Diagrama de síntesis para el trabajo metodológico en el objetivo N°3.	40
Figura 15: Diagrama de síntesis para el trabajo metodológico en el objetivo N°4.	43
Figura 16: Áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos entregados por SERNAPESCA en la bahía de Quintero.....	56
Figura 17: Área propuesta como zona de cultivo y explotación de macroalgas para la generación posterior de biogás.....	58
Figura 18: Diagrama de bloques para para las etapas de cultivo y digestión de macroalgas.....	59

Figura 19: Grafico de equivalencia en litros de gasolina a partir del promedio de biogás para las especies Huiro, Pelillo, Luga y Luche.....	66
Figura 20: Grafico de equivalencia en kWh a partir del promedio de biogás para las especies Huiro, Pelillo, Luga y Luche.....	66
Figura 21: Grafico de equivalencia en gas natural a partir del promedio de biogás para las especies Huiro, Pelillo, Luga y Luche.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Taxonomía de Algas Verdes.....	5
Tabla 2: Taxonomía de Algas Rojas.....	6
Tabla 3: Taxonomía de Algas Pardas.....	7
Tabla 4. : Contenido de proteínas, cenizas, lípidos y azúcares totales de cuatro algas marinas (% peso / peso seco).....	8
Tabla 5: Contenido bioquímico de Ulva.....	9
Tabla 6: Composición de macroalgas (% peso/peso de biomasa seca) para una variedad de especies.....	9
Tabla 7: Valores mínimos y máximos para vientos y temperatura de la columna de agua en la bahía de Quintero entre los años 2015 – 2018.....	28
Tabla 8: Valores mínimos y máximos para salinidad, oxígeno disuelto y pH en la columna de agua bahía de Quintero entre los años 2015 – 2018.....	30
Tabla 9: Valores registrados de metales pesados en la bahía de Quintero 2021..	30
Tabla 10: Datos para la estimación de producción de biogás a partir del cultivo de macroalgas.....	35
Tabla 11: Coordenadas para la medición de los parámetros físicos y químicos de la bahía Quintero.....	38
Tabla 12: Operaciones unitarias del proceso de cultivo y producción de biogás...41	41
Tabla 13: Macroalgas de interés comercial y estimación de producción de biomasa por tiempo de cultivo.....	48
Tabla 14: Contenido de biomasa cosechada y estimación en peso seco para el Huiro, Pelillo, Luga Negra y Luche.....	49
Tabla 15: Resultados de las publicaciones utilizadas para la estimación de biogás de este estudio.....	51
Tabla 16: Estimación de biogás para las especies <i>Macrocystis pyrifera</i> (Huiro), <i>Agarophyton chilense</i> (Pelillo), <i>Sarcothalia crispata</i> (Luga), <i>Porphyra – piropia spp.</i> (Luche) a partir de las constantes registradas en la revisión bibliográfica.....	52
Tabla 17: Resultados Parámetros físico – químicos bahía Quintero.....	54
Tabla 18: Superficie en hectáreas (ha) de las AMERB en la zona de Quintero...56	56

Tabla 19: Promedio de producción de biogás por especie cultivada.....	63
Tabla 20: Rendimiento de biogás en una hectárea de cultivo por biomasa en peso seco de las especies <i>Macrocystis pyrifera</i> (Huiro), <i>Agarophyton chilense</i> (Pelillo), <i>Sarcothalia crispata</i> (Luga), <i>Porphyra – piropia spp.</i> (Luche).....	64
Tabla 21: Equivalencia del biogás estimado para el proceso en litros de gasolina, kWh y gas natural.....	65

1. Introducción:

En la actualidad, 81% de la energía en el planeta se produce con combustibles fósiles (International Energy Agency, 2020) para satisfacer necesidades relacionadas con el transporte, la industria, la vivienda la alimentación y otras. Los combustibles fósiles son la principal fuente de energía utilizada en el mundo, el incremento de la población mundial ha acelerado la disminución de las reservas o fuentes de energía no renovable; además su combustión libera dióxido de carbono (CO₂) a la atmósfera, un gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global (Candía, 2018). A nivel mundial en el 2018, el consumo final de energía fue de 9,9381 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep), duplicándose con respecto al consumo registrado en 1973; concentrándose entre los países OCDE y China quienes participan con aproximadamente el 59% del consumo total mundial en tanto que América Latina y el Caribe contribuye con el 4.6%. (International Energy Agency, 2020).

La producción y utilización de energías está directamente relacionada con la emisión de gases de efecto invernadero tales como el dióxido de carbono, metano, vapor de agua, óxido nitroso, sulfuro de hidrogeno entre otros, tal como se observa en países como Estados Unidos o China donde el uso de energía tiene una participación del 86 % del total de producción de GEI (Usepa, 2013).

Chile no es la excepción, entendiéndose que en la matriz energética primaria predominan los recursos fósiles con una representación del 68% del total, que corresponde a la suma del petróleo crudo (30%), carbón mineral (22%) y gas natural (16%). Con menor participación destaca la energía primaria proveniente de la biomasa (23%), seguido por aquellas de origen hídrico (5%), solar (2%) y eólica (1%). En Chile el consumo final de energía representado por la matriz de energía secundaria alcanzó 301.629 Tcal en 2019, destacando que los derivados del petróleo y la electricidad son los principales componentes, concentrando el 58% y 22% respectivamente. (Ministerio de Energía, 2020).

La generación de electricidad en base a combustibles fósiles ha tenido una participación que históricamente ha oscilado entre el 45% y 67% del total, donde, el mayor aporte es producido por las centrales a carbón, seguidas por las que consumen gas natural y en menor proporción las petroleras. (Ministerio de Energía, 2021).

Es de esta manera que fuentes alternativas como los biocombustibles pueden ayudar a suplir la demanda energética, así como también disminuir las emisiones de CO₂, ya que tienen un gran potencial para proveer de rutas carbono-neutrales durante su producción (Dorado, 2017; Bahadar & Bilal Khan, 2013; Razzak *et al.*, 2013).

El CO₂ se puede utilizar como materia prima para generar biomasa y por consiguiente su utilización para la obtención de energía. Las macroalgas en este caso tienen ventajas considerables frente a otras fuentes de materia prima, donde una de ellas es la utilización de las costas para su cultivo, no necesita agua dulce para su crecimiento, ni tampoco necesita de un sustrato en tierra, lo que evita la competencia con los cultivos agrícolas, también son fuente de numerosos productos beneficiosos para el hombre como extracto de ficocoloides o gomas marinas como agar, alginatos y carrageninas para la industria de alimentos tanto para consumo humano como animal, cosmetología, farmacología y otros. (Molina, 2017).

1.1. Caracterización y descripción de Macroalgas “Clorophyta, Phaeophyta y Rodophyta”

Las algas son un grupo de individuos eucariotas con capacidad fotosintética, ausencia de un embrión verdadero y escasa diferenciación de tejidos. Existen individuos unicelulares como pluricelulares; pese a la simplicidad de muchos de ellos, poseen flagelos de locomoción, filamentos, sifones, láminas, pseudoparénquimas como estructuras básicas. Su ciclo reproductivo se alterna entre asexual y sexual dependiendo de ciertas condiciones físicas, químicas del medio, y de las especies caracterizadas (Haydelba *et al.*, 2020).

Las macroalgas son organismos de gran tamaño que contienen un conjunto de tejidos llamados talo. Se distingue en rizoides, que es una estructura equivalente a la raíz, y se encuentra en la base de las algas con función de fijarse al sustrato; la estirpe, el equivalente al tallo de las plantas vasculares, pueden ser cortas o de grandes estructuras dependiendo la especie; las láminas son las partes equivalentes a las hojas de las plantas; muchas poseen vesículas llenas de gas lo que les proporciona flotabilidad (Salinas & Simarra, 2019). A continuación en la Figura 1 se muestran estructuras comunes encontradas en macroalgas.



Figura 1. : Morfología macroalgas donde se representa la estipe, lamina y rizoide como estructuras comunes. Especie: *Undaria pinnatifida*. (Rita, 2019).

En general son organismos de ambientes húmedos/acuáticos cuya coloración depende de los pigmentos encontrados en los plastos de sus células. Su función principal es la producción de nutrientes, por lo que son conocidos como productores primarios; base de las cadenas tróficas de la materia orgánica tanto en agua dulce como salada. Se pueden clasificar en dos grupos según las características de agregación celular: macroalgas (multicelulares) y microalgas (unicelulares). (García, 2015). A nivel multicelular, donde la clasificación corresponde a: Chlorophyta, Ochrophyta (Phaeophyta) y Rhodophyta (Miranda *et al.*, 2018).

1.1.1. Algas verdes (Chlorophyta):

Son los individuos más relacionados con las plantas. Presentan pigmentos fotosintéticos como carotenos, xantofilas y clorofila (A y B) responsables de su coloración verde oscuro a amarillo verdosa que las hace características a la hora de su reconocimiento. Su sustancia de reserva corresponde al polisacárido almidón (Quitral *et al.*, 2012).

Habitan ambientes acuáticos o terrestres, aproximadamente el 10% de ellas son marinas, colonizando litorales rocosos y arenosos, arrecifes coralinos, lagunas costeras, estuarios, manglares o comunidades de pastos marino, suelen encontrarse en la zona supramareal, intermareal o submareal; suelen estar adheridas a rocas; vivir en arena; estar fijas a raíces o encontrarse flotando (León *et al.*, 2017).

Las especies de estas algas marinas son reconocidas y varían según su estado de desarrollo, diferenciación estructural y presencia y tipo de ramificación, una manera sencilla de distinguir los distintos géneros de algas verdes es a través de

su nivel de organización, entendido como el conjunto de caracteres morfológicos y estructurales que conforman el talo o cuerpo del alga (León *et al.*, 2017).

A continuación en la Tabla 1 se muestra la clasificación taxonómica de las algas verdes.

Tabla 1: Taxonomía de Algas Verdes. (Algabaseae, 2019).

Imperio:	Eukaryota
Reino:	Plantae
Phylum:	Chlorophyta
Clase:	Ulvophyceae
Orden:	Bryopsidales
Familia:	Codiaceae
Género:	<i>Codium</i>
Especie:	<i>Codium isabelae</i>

1.1.2. Algas Rojas (Rhodophyta):

Las Rhodophyta, rodófitos o algas rojas se reconocen usualmente por su coloración típica rojiza, su tonalidad se debe por la presencia de pigmentos ficobilínicos junto a las xantofilas, clorofila y ficocianina; presentan tilacoides individuales; esta división agrupa diferentes formas de vida, desde filamentos unicelulares, simples o ramificados, formas palmeloides, hasta estructuras que forman pseudotejidos (Vallejos, 2014).

La mayoría de las especies crecen cerca de las costas tropicales y subtropicales debajo de la línea intermareal. Las algas rojas de agua dulce son principalmente bentónicas. Las algas rojas proporcionan una serie de coloides, principalmente agar-agar y carragenano, el agar que se utiliza en microbiología para la preparación de medios de cultivo, también puede ser empleado en la elaboración

de cápsulas que contienen antibióticos, sulfamidas, vitaminas y otros compuestos. (Quitral *et al.*, 2012). A continuación en la Tabla 2 se muestra la clasificación taxonómica de las algas rojas.

Tabla 2: Taxonomía de Algas Rojas. (Algabaseae, 2019).

Imperio:	Eukaryota
Reino:	Plantae
Phylum:	Rhodophyta
Clase:	Florideophyceae
Sub- Clase	Rhodymeniophyceae
Familia:	Rhodomelaceae
Género:	<i>Acanthophora</i>
Especie:	<i>Acanthophora spicifera</i>

1.1.3. Algas Pardas (Phaeophyta):

Las algas pardas abarcan alrededor de 2000 especies con cerca de 250 géneros entre ellas; la clasificación taxonómica está conformada solo por las Phaeophyceae, en donde estas también forman parte de las Heterokontophyta. La coloración de estas algas se debe porque presentan pigmentos carotenoides; son reconocidas por su crecimiento rápido y su gran tamaño. Morfológicamente son muy diversas, su pared celular está constituida fundamentalmente de polisacáridos sulfatados como los fucoidanos (Gutiérrez, 2016).

Sus hábitats suelen ser principalmente las costas rocosas de zonas templadas, formando bosques submarinos que pueden alcanzar hasta 60 metros de longitud. Sus pigmentos fotosintéticos son clorofilas (A y C) y xantofilos (fucoxantina y flavoxantina) responsables del color amarillo pardo a pardo oscuro. Como sustancias de reserva poseen polisacáridos como la laminaria con producción

excesiva de mucus para proteger sus tejidos (Quitral *et al.*, 2012). A continuación en la Tabla 3 se muestra la clasificación taxonómica de las algas pardas.

Tabla 3: Taxonomía de Algas Pardas. (Algabaseae, 2019)

Imperio:	Eukaryota
Reino:	Plantae
Phylum:	Ochrophyta
Clase:	Phaeophyceae
Sub- Clase	Dictyotophycidae
Familia:	Dictyotaceae
Género:	<i>Padina</i>
Especie:	<i>Padina durvillaei</i>

1.2. Composición bioquímica de las algas:

Para determinar el potencial de producción de biogás por fermentación, es necesario poder realizar una serie de análisis químicos a las algas marinas con el fin de determinar la cantidad de moléculas complejas que serán degradadas en cada uno de los pasos de la digestión anaerobia. Las macroalgas generalmente contienen sólo el 10-15% de materia seca. Algunos contienen celulosa y/o almidón (especialmente verde y rojo). La composición bioquímica y el contenido de cenizas tiene variaciones estacionales; por ejemplo, el contenido almacenado de carbohidratos alcanza su valor máximo en otoño (Roesijadi, 2010).

La composición química de especies de macroalgas es significativamente diferente de las plantas terrestres. Incluyen un menor contenido de carbono, hidrógeno y oxígeno y altos contenidos de nitrógeno y azufre en comparación a la biomasa lignocelulósica terrestre. Además, el valor calorífico de varias algas marinas es a menudo mucho más bajo que los valores correspondientes para los cultivos energéticos y otros tipos de biomasa; por el contrario, el contenido de

cenizas es generalmente más alto. Por otra parte, tienen mayor contenido de metal y halógenos. Algas marinas y macroalgas a menudo contienen bromo y yodo, mientras que la biomasa terrestre a menudo contiene mayor contenido de cloro. Ellos no tienen lignina ni celulosa (Salinas & Simarra, 2019).

Las macroalgas tiene algunos componentes únicos, incluyendo carragenina, manitol, agar, laminarina, manano, ulvan, fucoidina, y alginato, todos los cuales no se encuentran en cualquiera de la biomasa lignocelulósica o de microalgas (Rodríguez, 2017)

En los trabajos de (Frikha *et al.*, 2011), se muestra la cantidad y composición de biomoléculas en algas verdes, rojas y pardas las cuales se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 4. : Contenido de proteínas, cenizas, lípidos y azúcares totales de cuatro algas marinas (% peso / peso seco). (Frikha *et al.*, 2011).

Composición	<i>Ulva rigida</i>	<i>Codium bursa</i>	<i>Cystoseira barbata</i>	<i>Ceramium Diaphaman</i>
Proteínas	7.31	5.03	5.60	14.00
Lipidos	0.80	0.95	2.51	1.18
Ceniza	25.74	29.08	14.24	11.35
Azucares totales	16.74	10.41	13.20	18.70

Así mismo, en el trabajo expuesto por Eliané Arias Molina, en el 2017 en su estudio de cultivo de macroalgas, se expone el contenido bioquímico de una de las algas más estudiadas, *Ulva Lactuca* perteneciente al Phylum de las Clorophytas o algas verdes. A continuación en la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos para la composición bioquímica de esta macroalga.

Tabla 5. : Contenido bioquímico de *Ulva Lactuca* (Arias *et al.*, 2017)

Composición	Rango
Proteínas	5.9 – 18.38%
Fibra	7.6 – 27.4%
Cenizas	25.5 – 33.4%
Carbohidratos	49.2 – 68.9%
Materia organica / demanda Química de Oxígeno DQO	2726. – 3456 mg/L

En el trabajo expuesto por (Escobedo *et al.*, 2021) "Biomasa microalgal con alto potencial para la producción de biocombustibles" realiza una comparación sobre la cantidad de biomoléculas presentes en algas verdes, rojas y pardas, las cuales se encuentran en la siguiente tabla.

Tabla 6. : Composición de macroalgas (% peso/peso de biomasa seca) para una variedad de especies. (Escobedo *et al.*, 2021).

Composición	Algas Verdes	Algas Rojas	Algas Pardas
Polisacaridos	Manano Ulvan Almidón Celulosa (38%-52%)	Carragenina Agar (Hasta 52%) Celulosa Lignina	Laminaria (Hasta 35%) Manitol Alginato (Hasta 40%) Glucano Celulosa
Monosacaridos	Glucosa Manosa Ácido Urónico	Glucosa Galactosa Agarosa	Glucosa Galactosa Ácido Urónico
Representante	<i>Ulva lactuca</i>	<i>Gelidium amansii</i>	<i>Laminaria japónica</i>
Carbohidratos	54,3 %	83,6%	59,5%

Lípidos	6,2%	0,9%	1,5%
Proteínas	20,6%	12,2%	30,9%
Cenizas	18,9%	3,3%	8,1%

Las macroalgas rojas se componen principalmente de polímeros de galactosa modificado: carragenina y agar. *Palmaria palmata* contiene la más alta concentración de carragenina de 354 mg/g evaluando 20 macroalgas, y debido al alto contenido de carragenina hace que el rendimiento de bioetanol sea factible.

Las algas pardas, por otro lado, son ricas en alginato y contienen grandes cantidades de laminarina e importante cantidad de manitol en otoño (Kim *et al.*, 2017).

Las algas pardas y rojas muestran una composición de lípido bajo (menos del 5%) (Ross *et al.*, 2008 y Bucholc *et al.*, 2014), este porcentaje es demasiado bajo para ser convertido a biodiesel. Algunas especies de algas verdes son ricas en celulosa (Valoniatypes hasta 70% de celulosa) y la mayoría son ricos en almidón (20-30%). Además, las macroalgas tienen relativamente mayores contenidos de metales alcalinos y de halógenos (0.5-11%) que los de la biomasa terrestre (1-1.5%). El contenido de nutrientes (N, P) depende principalmente de la morfología macrófita y luego por la contaminación en nutrientes del medio ambiente (Bucholc *et al.*, 2014).

1.3. Factores limitantes para el crecimiento de Algas:

La distribución, composición y abundancia de las comunidades de macroalgas, dependen de diversos factores químicos (salinidad, gases disueltos, pH), físicos (mareas, exposición al oleaje, luz, temperatura) y biológicos (competencia, depredación y herbivoría) (Krause – Jensen *et al.*, 2007)

1.3.1. Mareas y exposición al oleaje:

Los movimientos periódicos de subida y bajada del nivel del mar son llamadas mareas. Así, a lo largo del día, mes y año, las mareas cambian. Las mareas se producen por la combinación de fuerzas provocadas por la rotación de la Tierra y la Luna y por las fuerzas gravitatorias entre la Luna y el Sol sobre los océanos. Generalmente, hay dos ciclos de mareas por día (semi-diurnas): marea alta (nivel marea alta) y marea baja (nivel máximo de marea baja). Las características antes mencionadas obligan a los organismos a poder adaptarse bajo estas condiciones. (Little *et al.*, 2010)

Uno de los factores decisivos en la distribución de las macroalgas es la acción de las olas. En lugares muy expuestos a la acción del oleaje se instalan macroalgas con un sistema de fijación sobre el sustrato lo suficientemente resistente para soportar el impacto mecánico producido por el embate de las olas. En las zonas de aguas tranquilas, se favorecen los depósitos de sedimentos y solo unas pocas especies adaptadas a este tipo de sustrato pueden vivir (Schiel *et al.*, 2004).

Aunque las ondas ejercen un efecto mecánico destructivo, favorecen la circulación de agua, permitiendo la distribución y deposición de sedimentos, renovando el oxígeno y reduciendo el CO₂ disuelto. Además, también afectan el movimiento de organismos, limitando en última instancia su alimentación y escape de los depredadores (Little *et al.*, 2010).

1.3.2. Luz:

La incidencia de la luz sobre las algas depende tanto de su intensidad como de su calidad. Estas varían según la profundidad y la latitud en que se desarrollan, y de acuerdo la hora del día y la estación del año. La temperatura controla el índice del metabolismo de las plantas, 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 sobre o debajo de este rango. Las temperaturas óptimas para la productividad coinciden con 15 a 20°C para la fotosíntesis (Edding, Tala & Vásquez, 2006).

La intensidad de la luz en la superficie varía regularmente a lo largo del día y las estaciones del año, dependiendo de la inclinación de los rayos del sol y la nubosidad. La cantidad de luz que alcanza diferentes niveles del ecosistema marino depende de la transparencia del agua, asociada a la agitación del mar y al grado de profundidad. Así que desde cierta profundidad (aproximadamente 35 metros), la cantidad de luz disponible es insuficiente para la fotosíntesis, por lo tanto la presencia de algas a este nivel es casi nulo. (González & Raboso, 2007).

Las macroalgas verdes, cuyos pigmentos absorben predominantemente la radiación cercana al rojo del espectro solar, suelen ubicarse en los niveles más superficiales; a Las macroalgas rojas, que utilizan la radiación verde azulada para la fotosíntesis, son más abundante a mayor profundidad; mientras que las macroalgas pardas generalmente ocupan niveles intermedios. A pesar de esto, esta distribución de las macroalgas en relación con la profundidad no es totalmente absoluto, hay numerosas excepciones debido a las interacciones de los diferentes factores implicados en su fisiología (Rita, 2019).

1.3.3. Sustrato:

Las macroalgas tienen el agua de mar como única fuente de elementos nutritivos, por lo que son indiferentes a la naturaleza química del sustrato, utilizándolo únicamente como soporte para fijarse. Sin embargo, las características físicas como la dureza, el estado de la superficie (áspera o lisa) y, sobre todo, el grado de división de los elementos que la componen (rocas, bloques, grava, arena o limo) juegan un papel decisivo en este momento de su fijación (González & Raboso, 2007).

Los sustratos más favorables son aquellos constituidos por rocas duras y rugosas que facilitan la fijación de las macroalgas, proporcionándoles la estabilidad necesaria para su desarrollo; sustratos formados por elementos no consistentes son desfavorables y no constituyen un medio adecuado para la fijación y posterior desarrollo de las macroalgas. (Rita, 2019).

1.3.4. Competencia

Los principales factores para que se produzca la competencia se deben fundamentalmente a la disponibilidad de comida y espacio. Los organismos desarrollan diversas estrategias para eliminar individuos vecinos. En el caso de las macroalgas, establecen relaciones epífitas o epizoicas, lo que provoca crecimientos de otras especies encima de ellas, aplastándolas o bloqueándoles la luz solar (Cecílio, 2012; González & Raboso, 2007)

1.4. Macroalgas como fuente de energía:

Las macroalgas marinas han despertado recientemente un gran interés para la obtención de diferentes biocarburantes por su composición química y la factibilidad para producir biomasa en el tiempo (Gosch *et al.*, 2012; Hughes *et al.*, 2012; Langlois *et al.*, 2012; Kraan, 2013; Wei *et al.*, 2013). Las macroalgas como fuente de biocombustibles presentan importantes ventajas respecto a otras materias primas: tienen un mayor crecimiento que las plantas agrícolas empleadas hasta ahora, además de que su empleo no compromete la producción de alimentos básicos u otros productos derivados de las cosechas, y su cultivo a gran escala es factible, rentable y no ocupa tierras ni requiere aporte de agua dulce (Pteiro *et al.*, 2016).

La biomasa de las macroalgas marinas contiene polisacáridos, lípidos y proteínas entre otros componentes orgánicos, que se pueden utilizar para producir diferentes biocarburantes:

- A) Bioetanol, a partir de la fermentación alcohólica (en ausencia de oxígeno o en anaerobiosis) de los polisacáridos (Kraan, 2013; Wei *et al.*, 2013)
- B) Biodiésel derivado de los lípidos mediante un proceso químico conocido como transesterificación (Gosch *et al.*, 2012).
- C) Biogás producido por una digestión o descomposición de los compuestos orgánicos de la biomasa (Hughes *et al.*, 2012; Langlois *et al.*, 2012).

1.4.1. Bioetanol:

El bio-etanol se obtiene principalmente del maíz, sorgo, caña de azúcar y remolacha, siendo el principal productor USA, seguido por Brasil, como resultado de los investigaciones se revela que las algas pueden producir más de 2,000 galones por año de producción (7,580 L). La materia prima de otras fuentes producen menores cantidades, así tenemos por ejemplo:

Azúcar de caña —450 galones por el acre por año (1,705 L).

Maíz — 250 galones por el acre por año (947 L)

En comparación con materiales comestibles y de biomasa lignocelulósica, la biomasa de algas está ganando amplia atención como una materia prima alternativa renovable para la producción de bioetanol. Fermentación por *B. Custersii* produjo 11.8 g/L de etanol a partir de 90 g/L de azúcar en un reactor discontinuo, y 27.6 g/L de etanol a partir de 72.2 g/L de azúcar en un reactor continuo.

1.4.2. Biodiesel:

En tanto, el biodiesel obtenido por transesterificación (alcoholisis) de triglicéridos se deriva comercialmente de aceites vegetales o de grasas de animales. Las macroalgas se consideran para la fabricación de biogás y bioetanol en lugar de biodiesel, ya que por lo general no contienen triglicéridos. Hasta la fecha, el biodiesel a partir de macroalgas se ha informado con moderación y los rendimientos son mucho más bajos que los de microalgas (Afify *et al.*, 2010 y Maceiras *et al.*, 2011). El primer informe sobre producción de biodiesel de macroalgas centrado en la comparación entre licuefacción termoquímica y técnicas de extracción de dióxido de carbono supercrítico (Aresta *et al.*, 2005) y otro informe, compararon la producción de biodiesel tanto de macroalgas

(*Cladophora fracta*) y microalgas (*Chlorella protothecoides*) y se demostró las deficiencias de la anterior para el biodiesel.

1.4.3. Biogás:

Uno de los biocombustibles más comunes y conocidos es el biogás, el cual puede ser obtenido mediante la bioconversión de diferentes materias orgánicas.

El contenido de agua en las macroalgas es mayor que en la biomasa terrestre (80-85%), haciéndolas más apropiadas para la conversión microbiana que para el proceso termoquímico de conversión. Biogás de macroalgas es más viable técnicamente que para otros combustibles ya que todos los componentes orgánicos (carbohidratos, proteínas, etc.) en macroalgas se puede convertir en biogás por digestión anaeróbica (AD), y también el bajo contenido lignocelulósico permite que su biodegradación más fácil si lo comparamos con microalgas para producir niveles significativos de biogás (Peu *et al.*, 2011). Los rendimientos de metano se relacionan tanto con el contenido de cenizas y nivel de almacenamiento de azúcares que pueden variar con la composición bioquímica.

En trabajos de laboratorio realizados en Cuba, cuyo objetivo ha sido el obtener gas combustible mediante la bioconversión del alga marina *Ulva Lactuca*, una vez determinada la composición físico– química de las algas y diseñado un sistema de digestión para obtener biogás a nivel de laboratorio, se logró obtener 0,017 m³/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 aplicación para estos fines, ya que no contiene lignina en cantidades que obstruya el proceso de bioconversión, no es necesario hacer pretratamiento 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. (Díaz, 2010)

1.5. Digestión anaerobia:

La digestión anaerobia es un proceso bioquímico durante el cual la materia orgánica compleja se descompone, en ausencia de oxígeno, por varios tipos de microorganismos anaerobios. Es un proceso que consta de una sucesión de etapas, donde el material inicial es continuamente degradado en unidades más pequeñas, es decir, desde polímeros complejos a monómeros simples. Este proceso es común en ambientes naturales como sedimentos marinos, el estómago de rumiantes o en turberas. En cada etapa están involucrados grupos específicos de microorganismos. Estos microorganismos descomponen sucesivamente los productos de las etapas anteriores (Seadi *et al.*, 2008)

Etapas de la digestión Anaerobia:

La digestión anaerobia es un tipo de fermentación que conduce al rompimiento de compuestos orgánicos biodegradables complejos, en un proceso de 4 etapas en el que se encuentran involucrados diferentes grupos de microorganismos con requerimientos fisiológicos específicos.

- **Hidrólisis:**

Proceso inicial en el que las macromoléculas como proteínas, grasas y polisacáridos (como celulosa y almidón) son degradados por bacterias hidrolíticas a monómeros como los aminoácidos, ácidos grasos de cadena larga y azúcares simples (Abbasi *et al.*, 2012).

- **Acidogénesis:**

Azúcares simples (Monosacáridos / disacáridos) , aminoácidos y ácidos grasos son degradados en acetato, CO₂ e Hidrógeno (70%) así como en otros ácidos grasos volátiles de cadena corta (30%) principalmente ácido láctico, propiónico, butírico y valérico. Aquí participan bacterias fermentadoras. (Abbasi *et al.*, 2012; Seadi *et al.*, 2008).

- **Acetogénesis:**

En esta etapa las bacterias consumen estos productos de fermentación y generan principalmente ácido acético, CO₂ e Hidrógeno y la realizan un grupo de bacterias acetogénicas productoras de hidrógeno (Abbasi *et al.*, 2012; Seadi *et al.*, 2008).

- **Metanogénesis:**

Finalmente, los organismos metanogénicos consumen el acetato, hidrógeno y una parte del CO₂ para producir Metano. Tres rutas bioquímicas son usadas por los metanógenos para lograr esto: a) ruta acetotrófica b) ruta hidrogenotrófica y c) ruta metilotrófica. En esta etapa se encuentran involucrados 2 grupos fisiológicamente diferentes de microorganismos metanogénicos uno convierte el hidrógeno y CO₂ en metano y el otro grupo forma metano de la descarboxilación de acetato.

La velocidad a la que ocurre el proceso es determinada por la reacción más lenta del proceso de digestión anaerobia. En el caso de producir biogás a partir de sustratos complejos, como aquellos que contienen celulosa, hemicelulosa, por ejemplo en el caso de las macroalgas, la hidrólisis es la etapa que determina la velocidad de reacción del proceso. (Seadi *et al.*, 2008).

En la figura 2 se muestra el diagrama del proceso de digestión anaerobia partiendo desde la hidrólisis de moléculas complejas, hasta la obtención de metano.

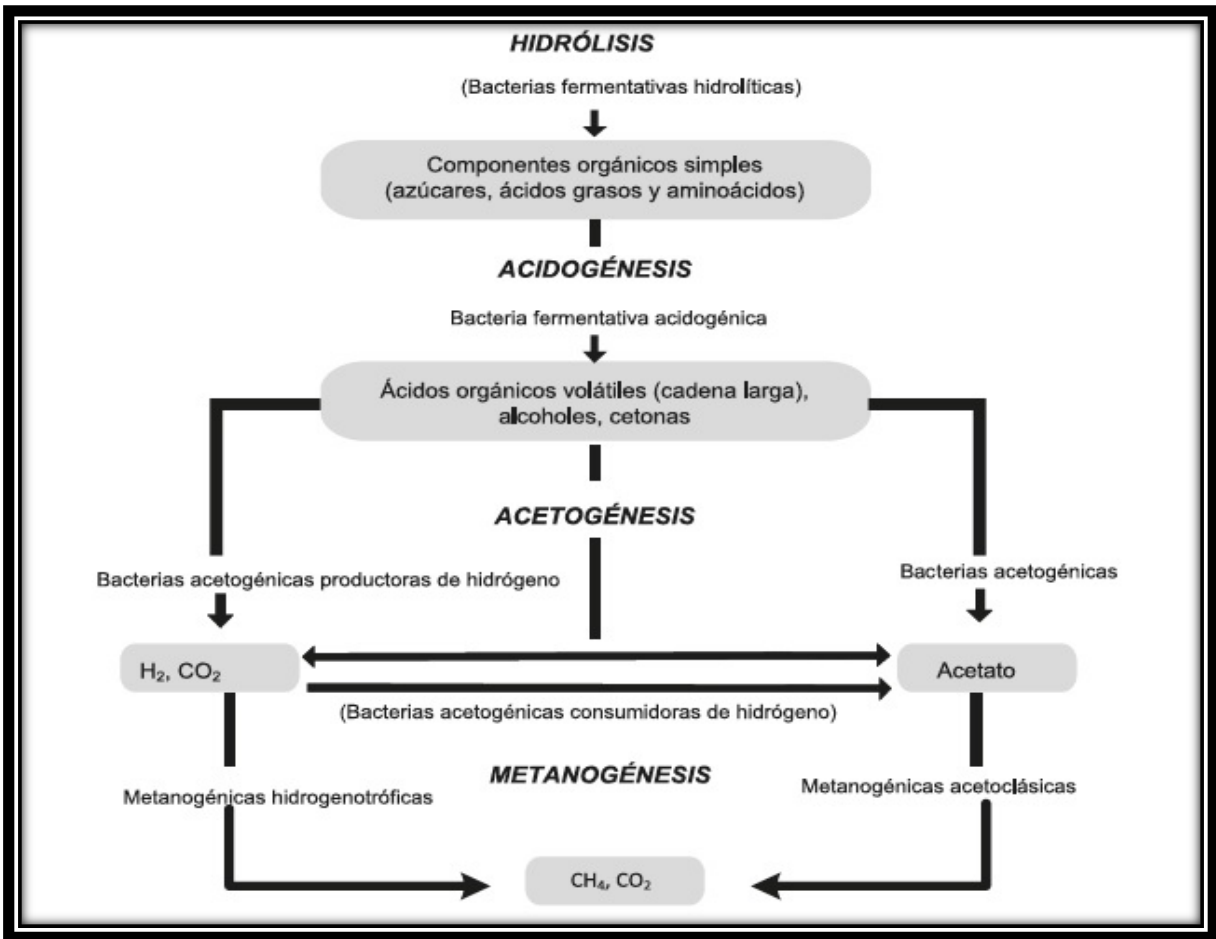


Figura 2. : Digestión anaerobia de moléculas complejas como proteínas, carbohidratos y lípidos (Moraes *et al.* ,2015).

1.6. Cultivo de macroalgas:

En los cultivos de algas o prácticas de acuicultura lo que se busca es reproducir las fases del ciclo de vida que caracteriza a las algas en general, donde hay una alternancia entre una generación formada por filamentos microscópicos (llamado gametófito por producir gametos) y una generación formada por una fronde macroscópica (conocida como esporófito porque a su vez produce esporas). La siguiente figura muestra el ciclo de vida del Pelillo, un alga roja de alto valor comercial.

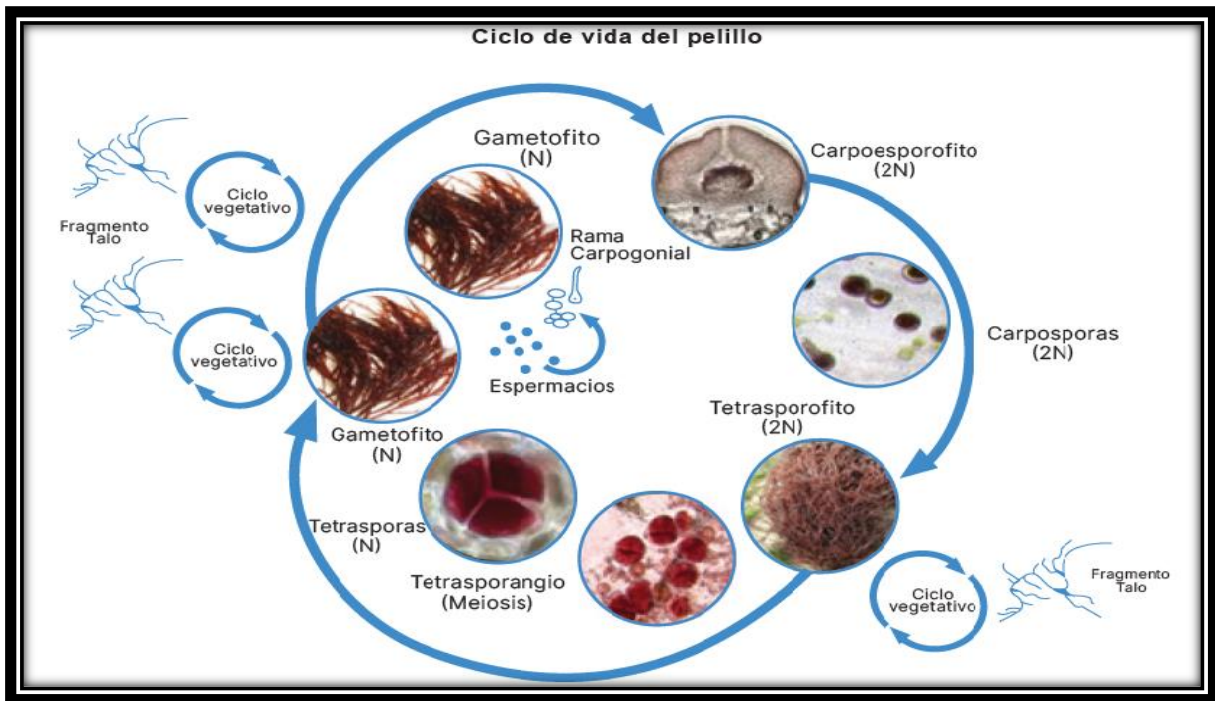


Figura 3. : Alternancia entre los ciclos de vida de una Rodophyta "*Agarophyton Chilense*" llamada por su nombre común Pelillo. Fuente: (Alveal, 1988)

El cultivo de algas se puede dividir en dos fases muy diferenciadas, una de cultivo en laboratorio y otra de cultivo en mar. La primera fase de laboratorio consiste en el cultivo en cámaras de simulación ambiental de gametófitos microscópicos que actúan como un "banco de semilla"), tal como lo muestra la figura 4 "Cultivo en laboratorio"



Figura 4. : Cultivo en laboratorio de gametófitos de laminarias en botellones dentro de cámaras de simulación ambiental para la obtención de plántulas. (Pteiro *et al.*, 2016)

Estos gametófitos posteriormente son sembrados sobre hilos y cultivados en tanques de embriogénesis con condiciones ambientales específicas producir plántulas (jóvenes esporófitos). Estos hilos con plántulas recibe el nombre de “semilla” en la maricultura de laminarias, tal como se muestra en la figura 5.

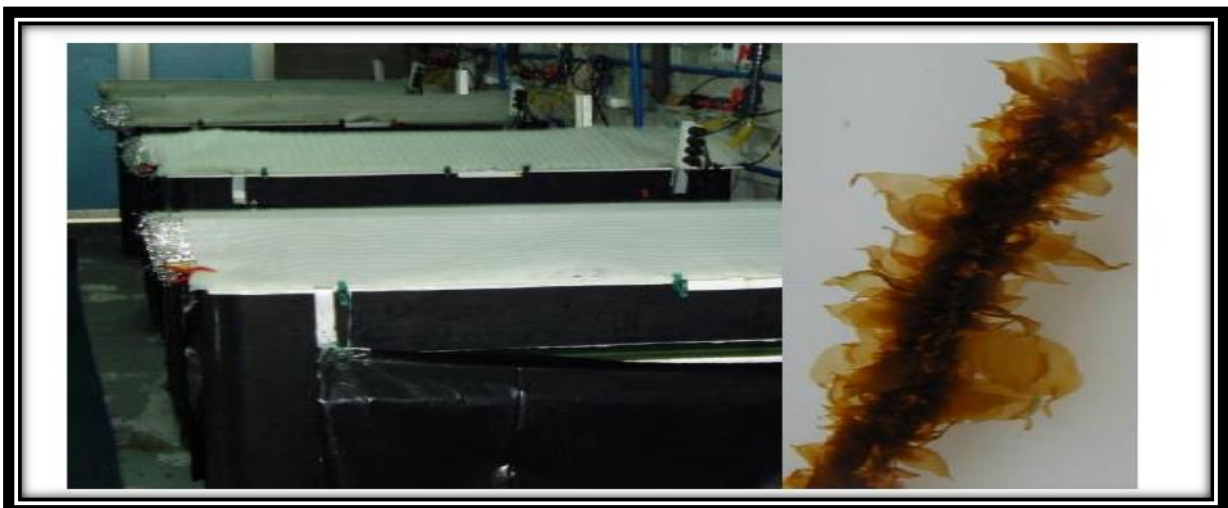


Figura 5. : Siembra sobre hilos para ser insertados sobre cabos para su cultivo en mar. (Pteiro *et al.*, 2016).

En la segunda fase la “semilla” es implantada sobre cabos o cuerdas que se colocan dentro de un parque de cultivo flotante, creciendo en el mar hasta que sus frondes presenten una talla comercial de más de metro y medio. La producción de biomasa en la maricultura puede llegar a alcanzar valores de hasta 16 kg peso fresco por metro lineal de cabo de cultivo, lo que equivale aproximadamente a unas 40 toneladas peso fresco por hectárea de cultivo, después de unos 5 meses de cultivo en mar (equivalente 4.7 toneladas peso seco) en una parque de cultivo de una hectárea (unos 2.500 metros de cabos sembrados). (Peteiro & Freire, 2013).

Para el cultivo marino se puede optar por el cultivo en suspensión o el cultivo en profundidad dependiendo de las características de la zona de cultivo y especies. El sistema de cultivo suspendido o long line consiste en mantener mediante flotadores una línea principal o “madre” suspendida de forma horizontal en la superficie o a una determinada profundidad. Este sistema se encuentra unido mediante cabos a un sistema de anclaje o fondeo, por lo general de hormigón o concreto, denominado “muerto” con el fin de mantener los cultivos en las zonas correspondientes y que producto de condiciones climáticas o mareas de alta intensidad se vean perjudicados. La longitud de la línea madre es variable, depende de los requerimientos y de las condiciones geográficas. Por lo general, se utilizan líneas de alrededor de 100 metros. La siembra de juveniles se realiza sobre el sistema suspendido; adosando en la línea madre otro cabo inoculado con semillas para su crecimiento. Estas líneas pueden ser dispuestas de forma horizontal o vertical según la especie. (Saavedra *et al.*, 2019). En la figura 6 y 7 se muestra un sistema de cultivo suspendido como referencia para la instalación y operación de este.



Figura 6. : Sistema tridimensional para cultivo en suspensión de macroalgas. Fuente: Manual Procedimientos para la instalación y operación de un cultivo de pelillo (*Agarophyton chilense*). Santiago 2021.



Figura 7. : Parque de cultivo con algas laminarias. (Peteiro *et al.*, 2016)

El sistema de cultivo de fondo, a diferencia del anterior, es un sistema de cultivo que básicamente no utiliza estructuras externas. Se asemeja a sistemas utilizados en agricultura, donde se siembra directamente al sustrato, mediante herramientas tales como palas u horquillas. Puede ser utilizado en sistemas intermareales y submareales.

Las variantes para ambos sistemas de cultivo recaen principalmente en el origen de la semilla y al desarrollo tecnológico de diferentes unidades de siembra. (Saavedra *et al.*, 2019). A continuación la figura 8 muestra un sistema de siembra por horquilla para realizar cultivo en profundidad, mientras que la figura 9 hace referencia a un cultivo mediante horquilla pero con buceo.

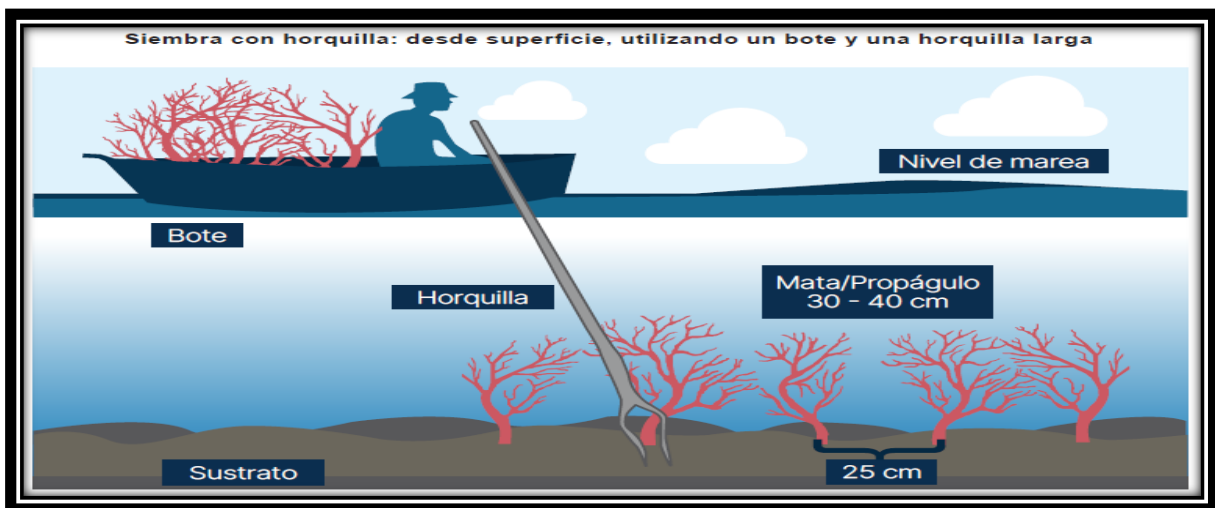


Figura 8. : Siembra en profundidad con técnica de horquilla desde superficie.

Fuente: Manual Procedimientos para la instalación y operación de un cultivo de pelillo (*Agarophyton chilense*). Santiago 2021.

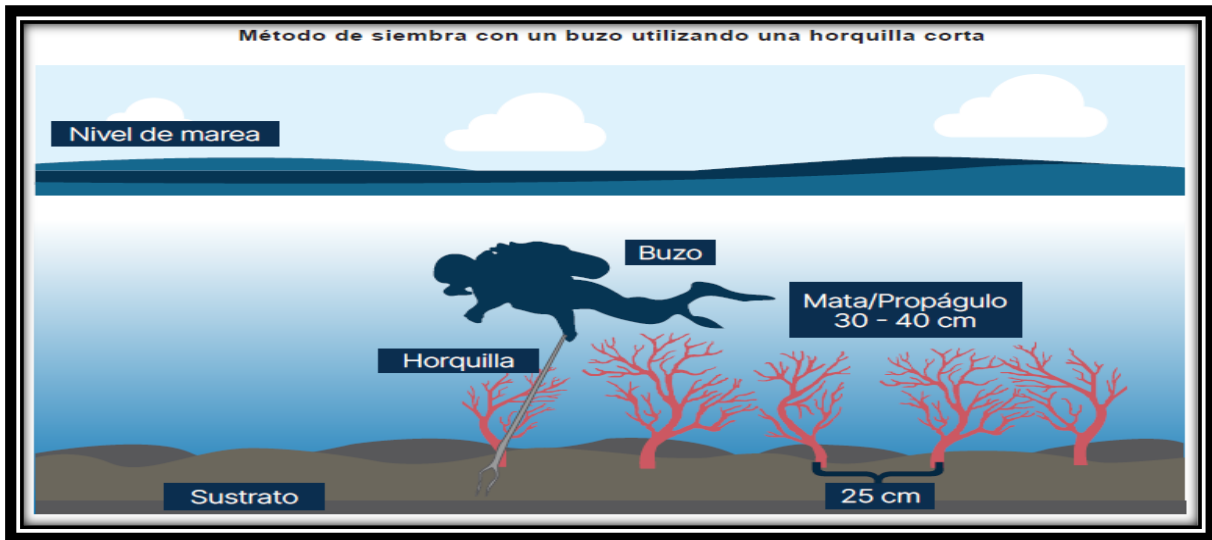


Figura 9. : Siembra en profundidad con técnica de horquilla mediante buceo.

Fuente: Manual Procedimientos para la instalación y operación de un cultivo de pelillo (*Agarophyton chilense*). Santiago 2021.

La etapa final del proceso corresponde a la cosecha y secado del cultivo, el cual dependerá de la especie y rapidez de crecimiento. El secado de algas se debe efectuar en superficies amplias y espacios abiertos, sobre tendales construidos en base de madera con redes, de manera que no se contaminen con pastos, restos de tierra o arena, y desechos fecales de origen animal. De preferencia se deben secar las algas en días soleados o con viento y no exponerlas a la lluvia. (Avila *et al.*, 2019. Manual de Buenas Prácticas para el cultivo del Pelillo. *Agarophyton chilensis* ex *Gracilaria chilensis*). En la siguiente figura se muestra el proceso de cosecha de un cultivo de laminarias en etapa para ser comercializada.



Figura 10. : Cosecha de laminarias después de 5 meses de cultivo en el mar. La producción alcanza unos valores de hasta 16 kg (en peso fresco) por metro lineal de cabo. (Pteiro *et al.*, 2016)

1.7. Caracterización física, química y biológica de la bahía de Quintero

Las bahías representan cuerpos de aguas donde la circulación interior define la difusión, dispersión y exportación de material en suspensión y contaminantes.

La bahía de Quintero es un cuerpo de agua semicerrado, abierto hacia el noroeste que se extiende entre la punta Liles por el sur y la punta Ventanillas por el norte, y que además es receptora de las aguas del estero Campiche cuya desembocadura se ubica hacia el sector NE de la bahía, específicamente, en caleta Ventanas.

El área de la bahía es de 13.064.000 m² y contiene un volumen de agua aproximado de 271.720.000 m³, el que fue estimado considerando los datos de profundidad que entrega la cartografía del Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada (DIRECTEMAR, 2019).



Figura 11. : Cartografía utilizada perteneciente al SHOA, la Carta Náutica Electrónica N° CL5VA005, correspondiente al área de la Bahía de Quintero (Carta papel N° 4321, confeccionada en escala 1: 10.000).

1.7.1. Caracterización parámetros físicos:

A continuación se realizó una caracterización del viento y la temperatura en la bahía de Quintero. La información recopilada proviene del complejo termoeléctrico ventanas unidad 3 y el ministerio de medio ambiente, los datos arrojados varían entre los años 2013 y 2018.

1.7.1.1. Vientos:

La bahía presenta una condición de viento con características entre brisa y viento suave con magnitudes menores a 5.5 m/s en invierno y verano, lo que se refleja en las series de tiempo de los índices de surgencia y de turbulencia. (MMA, 2019).

1.7.1.2. Temperatura:

En el período de invierno la columna de agua es más fría que la registrada en el periodo de verano, mostrando una temperatura superficial con valores en torno a los 16°C en invierno y 17°C en verano. Presenta un calentamiento superficial con el desarrollo de una discontinuidad térmica (termoclina) centrada en torno a los 3 m de profundidad, bajo esta capa la columna de agua mantiene un decaimiento gradual de la temperatura con ligeras variaciones hasta alcanzar los 13,0°C (invierno) y 14,0°C en verano. (Subsecretaría de pesca y Subsecretaría de pesca y acuicultura e instituto de fomento pesquero, 2016)

Tabla 7: Valores mínimos y máximos para vientos y temperatura de la columna de agua en la bahía de Quintero entre los años 2015 – 2018.

Parámetros Físicos Bahía Quintero	Valores
Vientos	Inferior a 5.5 m/s
Temperatura	Invierno: Mínima 13°C / Máxima 16°C Verano: Mínima 14°C / Máxima 17°C

1.7.2. Caracterización parámetros Químicos:

La caracterización de parámetros químicos fue realizada a través de los documentos aportados por la subsecretaría de pesca y acuicultura en los años 2015 y 2016, y los datos del POAL entregados por la DIRECTEMAR en el año 2021. Los parámetros a continuación descritos son la salinidad, oxígeno disuelto, pH y metales pesados.

1.7.2.1. Salinidad:

La concentración salina en la columna de agua presenta una distribución homogénea, también las variaciones en profundidad fueron menores, manteniéndose los valores en torno a los 33,7 psu (Unidades prácticas de salinidad). A nivel superficial para el período invernal se registraron valores de salinidad menores, alcanzando valores de 34,4 psu. (Subsecretaria de pesca y acuicultura, 2016).

1.7.2.2. Oxígeno disuelto:

En las aguas superficiales que están en contacto con la atmósfera, la cantidad de oxígeno disuelto tiende, como es natural, a estar en equilibrio con el atmosférico. La cantidad de oxígeno disuelto superficial oscila entre 1,4 y 12,1 mg/l, si bien una cantidad máxima puede ser sobrepasada en ocasiones, (en torno a 10 mg/l), llegando a un estado de sobresaturación en el sector inducido en ocasiones por una intensa actividad fotosintética. En el campo vertical los valores mínimos registrados son de 5,5 mg/l a 45 m de profundidad para periodos de invierno. (Subsecretaria de pesca y acuicultura, 2016).

1.7.2.3. pH:

La escala de pH fluctuante para las temporadas de verano e invierno va entre 3,58 y 11,1 respectivamente, con una media de 7,7 y un coeficiente de variación del 10%, mediciones registradas a una profundidad máxima de 20 metros en la columna de agua de la bahía de Quintero. (MMA, 2019)

Tabla 8: Valores mínimos y máximos para salinidad, oxígeno disuelto y pH en la columna de agua bahía de Quintero entre los años 2015 – 2018.

Parámetros Químicos Bahía Quintero	Valores
Salinidad	33,7 psu / 34,4 psu
Oxígeno Disuelto	5,5 mg/l / 12,1 mg/l
pH	3,58 / 11,1

1.7.2.4. Metales pesados:

Los principales metales pesados considerados como contaminantes liberados por la actividad industrial y que se encuentran presentes en el área delimitada como zona de estudio son: Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Plomo (Pb) y Zinc (Zn). A Continuación se presentan los datos entregados por el informe de sedimentos de la bahía de Quintero en relación a la cantidad de metales presentes en el cuerpo de agua. (DIRECTEMAR, 2021)

Tabla 9: Valores registrados de metales pesados en la bahía de Quintero 2021. (DIRECTEMAR, 2021)

Parámetro	Valor entregado por el informe	Coordenadas de monitoreo pesquera Quintero. (Latitud decimal, longitud decimal)
Arsénico	<1.2 mg/ kg	-32.77764 / -71.5238
Cadmio	<0.1 mg/ kg	-32.77764 / -71.5238
Mercurio	<0.01 mg/ kg	-32.77764 / -71.5238
Cobre	10.2 mg/ kg	-32.77764 / -71.5238
Cromo	17.41 mg/ kg	-32.77764 / -71.5238
Níquel	No registrado	-32.77764 / -71.5238
Plomo	<1.2 mg/ kg	-32.77764 / -71.5238
Zinc	No registrado	-32.77764 / -71.5238

1.7.3. Caracterización Biológica:

Los análisis faunísticos de especies encontradas en la bahía de Quintero pertenecen algunos al grupo de los poliquetos (Clase Polychaeta, moluscos (Phylum Mollusca, 36%), (Subphylum Crustacea, 24%), 1 a los equinodermos (Phylum Echinodermata, 2%) y 4 al grupo de Otros (9% del total), correspondiente a ejemplares de los Phyla Nemertea, Nematoda y Coelenterata (EcoTecnos S.A, 2013).

En relación a las principales especies de peces pelágicos se encuentra el Jurel (*Trachurus symmetricus*), Sardina Española (*Sardinops sagax*), la Merluza común (*Merluccius gayi*), la Sierra (*Thyriscites atun*), crustáceos como el Camarón Naylor (*Heterocarpus reedii*) y a la especie Gamba (*Haliporoides diomedea*), la Jaiba Mora (*Homalaspis plana*), la Jaiba Peluda (*Cancer setosus*), Lapas (*Fisurella spp.*) y Caracoles Negros (*Tegula atra*) (MMA, 2013). Además se han identificado poblaciones de Lobos Marinos (*Otaria flavescens*), Chungungos (*Lontra felina*) y pingüinos de Humboldt (*Spheniscus humboldti*) a lo largo de la bahía. (Subsecretaría de pesca y acuicultura, 2016).

A partir de los antecedentes entregados en este capítulo, a continuación se dará a conocer la problemática asociada a este proyecto de pre-factibilidad.

2. Problema:

En Chile la utilización de combustibles fósiles es casi de un 70% (petróleo crudo, carbón mineral y gas natural), mientras que la utilización de energías renovables solo abarca el 30 % (Biomasa- biogás, energía solar, eólica y geotérmicas). Debido a las diferentes estructuras productivas regionales, la magnitud y la composición del consumo energético varían substancialmente entre las regiones.

Así, las regiones con mayor consumo de energía total son Antofagasta, Valparaíso, Biobío y la Región Metropolitana. La principal zona industrializada de la región de Valparaíso corresponde a la bahía de Quintero – Puchuncaví, la zona de sacrificio más antigua de las 5 existentes en Chile que tiene por objetivo impulsar la economía y producción de energía en el país.

El presente trabajo, busca estudiar la pre-factibilidad técnica para la producción de biogás a partir del cultivo de macroalgas pertenecientes al Phylum Chlorophyta, Phaeophyta y Rodophyta, ubicadas en las costas de bahía Quintero Región de Valparaíso Chile. La propuesta busca otorgar una alternativa y proyección bioenergética a sectores categorizados como zonas de sacrificio en la región, con el fin de dar una respuesta a la problemática energética local, nacional y global, disminuyendo los impactos medio ambientales producidos por procesos industriales y la utilización de combustibles fósiles para las operaciones de estas, buscando así la protección, prevención, mejoramiento y restauración medio ambiente.

3. Objetivos:

3.1. OBJETIVO GENERAL:

Realizar un estudio de la pre-factibilidad técnica de un proceso productivo y ambiental para la generación de biogás a base de macro algas Clorophytas, Phaeophytas y Rodophytas en la zona costera bahía de Quintero Región de Valparaíso.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estimar el potencial teórico de producción de biogás de las algas Clorophytas, Phaeophytas y Rodophytas a partir del proceso Fermentación anaeróbica.

Definir las características de una zona geográfica ubicada en la bahía de Quintero que cumpla con las condiciones físicas, químicas, biológicas y ambientales adecuadas para sustentar el cultivo y recolección de macro-algas.

Definir las etapas y operaciones unitarias requeridas para la producción de biogás a partir de macro-algas.

Estimar los rendimientos asociados al proceso propuesto.

4. Metodología:

El enfoque metodológico que se utilizó para el desarrollo de este trabajo es de carácter no experimental y descriptivo, ya que se centra en la recolección, descripción y correlación de las variables implicadas en el estudio de la prefactibilidad técnica para el cultivo de macroalgas como fuente de obtención de biogás.

A continuación se presenta una explicación detallada para el cumplimiento de cada objetivo para después pasar a un diagrama de síntesis de cada uno de estos.

Para el objetivo N°1 “Estimar el potencial teórico de producción de biogás de las algas Chlorophytas, Phaeophytas y Rodophytas a partir del proceso Fermentación anaeróbica”. Se utilizó información relacionada respecto a la obtención de combustible mediante la bioconversión de algas, utilizando los componentes bioquímicos de las macroalgas, refiriéndose al contenido de proteínas, lípidos y carbohidratos estimados por peso/peso seco de algas. En este caso es necesario especificar que el contenido de biomoléculas no será estimado para las muestras, esto debido a que los tiempos y planificación del proyecto no permiten la experimentación in situ. Para este objetivo, y a través del estudio de diferentes investigaciones de producción de biogás se determinó la utilización de diferentes constantes de producción establecidas en laboratorio por diferentes autores para la estimación teórica. La elección de constantes se discriminó según las siguientes variables:

- Tipo de alga utilizada (Macroalgas), producción y rendimiento de biogás por sobre el 50% (Roesijadi, 2010) y año de publicación a partir desde el 2010 en adelante.

Una vez obtenidos los datos de la composición bioquímica de macroalgas y establecida la constante de bioconversión de los diferentes autores, se delimitó la zona para el cultivo, ya que la extensión de este nos permitirá estimar la cantidad de biomasa producida para entrar al biodigestor y posteriormente la producción de energía (Saavedra *et al.*, 2018). Información obtenida de los manuales de cultivo y producción de biogás del ministerio de energía y utilizados en el cumplimiento del objetivo N°3. De esta manera, la cantidad de materia orgánica cultivada será proporcional a la cantidad de biogás producido.

Los resultados obtenidos como el lugar y metros lineales cultivados, estimación de biomasa producida y estimación de biogás producidos, fueron vertidos en la tabla N°9 que se muestra a continuación.

Tabla 10: Datos para la estimación de producción de biogás a partir del cultivo de macroalgas

Número de metros lineales de cultivo	Cantidad de biomasa cosechada (Kg)	Cantidad de biomasa cosechada peso / peso seco	Cantidad de Biogás producido

A continuación en la figura 12 se presenta un diagrama de síntesis para el trabajo metodológico en el objetivo N°1.

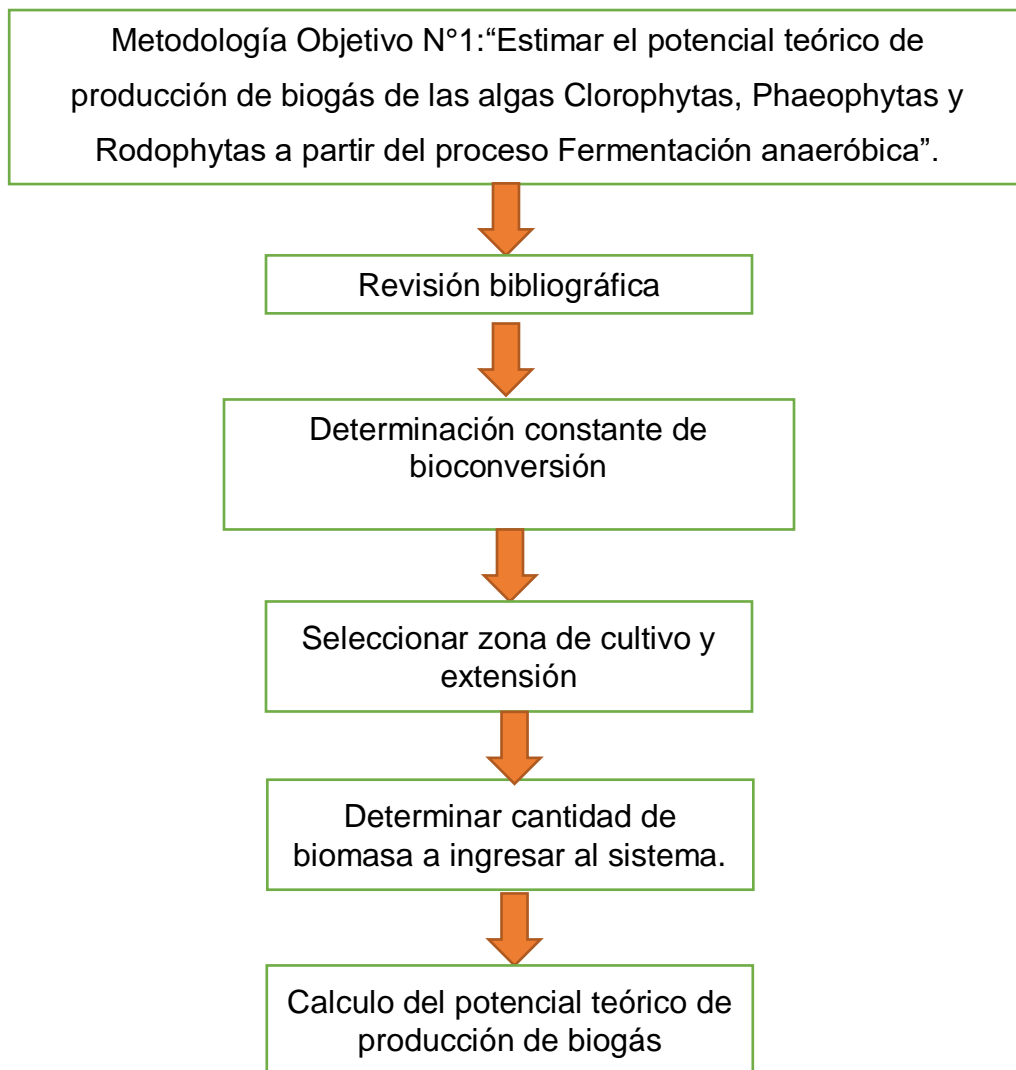


Figura 12: Diagrama de síntesis para el trabajo metodológico en el objetivo N°1.

Para el cumplimiento del Objetivo N°2 “Definir las características de una zona geográfica que cumpla con las condiciones físicas, químicas, biológicas y ambientales adecuadas para sustentar el cultivo y recolección de macro-algas.” Se utilizaron artículos académicos relacionados a la morfología y características geográficas y oceanográficas de la zona bahía Quintero como lugar de propuesta para el cultivo. Así mismo, se expusieron los parámetros físicos, químicos y biológicos del cuerpo de agua bahía Quintero.

Para el caso de la caracterización física se utilizaron datos arrojados entre el año 2013 y el 2018, Los que corresponden a los valores mínimos, máximos y al promedio de los parámetros antes mencionados. La información que se utilizo fue entregada por el Ministerio de medio Ambiente, subsecretaria de pesca y acuicultura, DIRECTEMAR, instituto de fomento pesquero y EcoTecnos S.A.

Para los resultados en la caracterización química de la Bahía de Quintero, se utilizaron datos recopilados entre el año 2015 y 2016 aportados por la subsecretaría de pesca y acuicultura.

El análisis de los documentos permitió realizar una comparación entre los factores limitantes para el crecimiento de algas, con la caracterización de la zona bahía de Quintero, con el fin de poder establecer si esta cumple con los rangos mínimos necesarios para sustentar un cultivo de macroalgas.

En los resultados por lo tanto se tendrá una revisión detallada de los parámetros descritos a continuación, cabe recordar que estos fueron seleccionados a partir de la comparación realizada por la revisión de los documentos antes detallados tanto para los parámetros físicos, químicos y biológicos.

Parámetros físicos:

- Vientos
- Mareas
- Temperatura

Parámetros Químicos:

- Salinidad
- Oxígeno disuelto
- pH

Parámetros Biológicos:

- Identificación de especies
- Interacciones

Los resultados antes mencionados fueron extraídos de las siguientes coordenadas, en donde se instalaron las estaciones de muestreo por parte de la subsecretaría de pesca y acuicultura y la DIRECTEMAR en el año 2018.

Tabla 11: Coordenadas para la medición de los parámetros físicos y químicos de la bahía Quintero.

Estación	Coordenada sur	Coordenada oeste
E1	32°43'47.10"S	71°31'4.26"O
E2	32°44'43.29"S	71°30'31.13"O
E3	32°45'3.41"S	71°29'41.51"O
E4	32°46'0.92"S	71°30'17.46"O
E5	32°45'49.59"S	71°29'56.59"O
E6	32°45'49.59"S	71°31'1.18"O
E7	32°45'48.77"S	71°31'5.44"O
E8	32°45'47.68"S	71°31'42.12"O
E9	32°44'18.76"S	71°30'52.44"O
E10	32°45'5.15"S	71°30'43.62"O

La definición de la zona de cultivo se estableció mediante el análisis de las áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos (AMERB) existentes o no en el sector de estudio. A través del régimen AMERB se otorgan derechos de uso o

explotación exclusiva sobre los recursos bentónicos (invertebrados bentónicos y algas), presentes en sectores geográficos previamente delimitados. Este régimen puede ser desarrollado exclusivamente por organizaciones de pescadores artesanales, legalmente constituidas, previa aprobación de un plan de manejo basado en la sustentabilidad de los recursos en el sector, esto establecido en la Ley general de pesca y acuicultura N° 18.892. Para la delimitación se utilizó como referencia la cartografía perteneciente al SHOA, Carta Náutica Electrónica N° CL5VA005, correspondiente al área de la Bahía de Quintero (Carta papel N° 4321, confeccionada en escala 1: 10.000). (DIRECTEMAR, 2019).

A continuación en la figura 13 se presenta un diagrama de síntesis para el trabajo metodológico en el objetivo N°2.

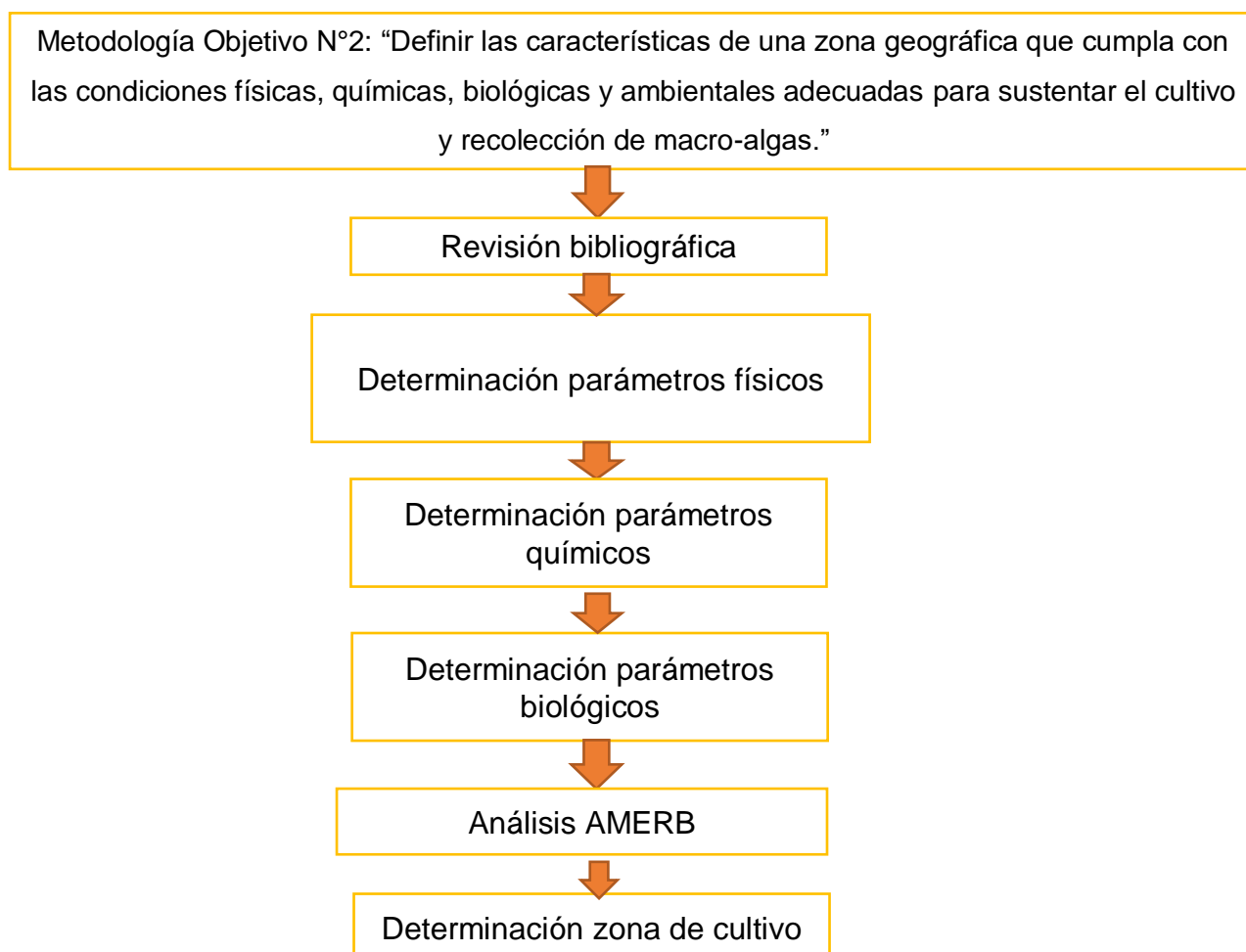


Figura 13: Diagrama de síntesis para el trabajo metodológico en el objetivo N°2.

Para el cumplimiento del objetivo N°3 “Definir las etapas y operaciones unitarias requeridas para la producción de biogás a partir de macro-algas”, se realizó la búsqueda de manuales y artículos relacionados al cultivo de macro-algas y producción de biogás. Se privilegió la búsqueda de maricultura en laminarias, acuicultura de macroalgas en Chile formuladas por el ministerio del medio ambiente y la subsecretaría de pesca y acuicultura, además de los manuales de biogás diseñados por el ministerio de energía. De esta forma y con los datos recopilados las etapas fueron ordenados mediante un diagrama de bloques que fue dividido en una etapa de cultivo / cosecha de algas y otro con las etapas de producción de biogás a partir de la materia prima obtenida.

A continuación en la figura 14 se presenta un diagrama de síntesis para el trabajo metodológico en el objetivo N°3.

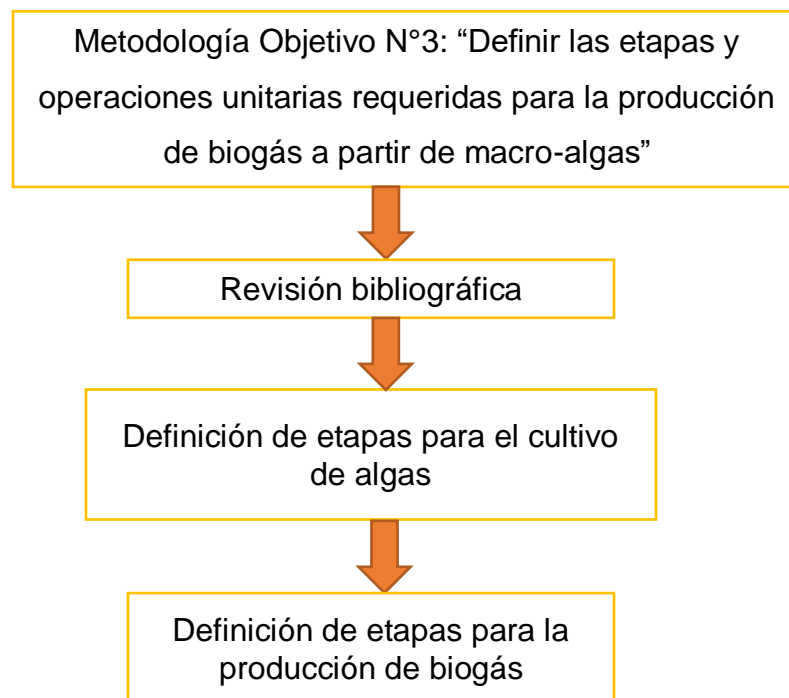


Figura 14: Diagrama de síntesis para el trabajo metodológico en el objetivo N°3.

Para el cumplimiento del objetivo N°4 “Determinar los rendimientos asociados al proceso propuesto”, se consideraron los resultados del objetivo N°1 y 3, donde se estimó la cantidad de producción teórica de biogás a partir de las constantes de conversión establecidas por diversos autores a partir del 2010 y que sus investigaciones cumplan con los criterios establecidos anteriormente descritos. Se tomó en cuenta para determinar los rendimientos cada una de las etapas del proceso productivo, desde el cultivo ya sea superficial o en profundidad de macro algas, posteriormente la cosecha al momento de alcanzar un tamaño adecuado, trituración, pre-tratamiento, digestión y almacenamiento de productos. A partir de esto se comparó la cantidad de biomasa cosechada tanto para *Macrocystis pyrifera* (Huiro), *Agarophyton chilense* (Pelillo), *Sarcothalia crispata* (Luga), *Porphyra – piropia spp.* (Luche) para posteriormente comparar la cantidad de biogás estimado en cada caso dependiendo de las constantes utilizadas. Finalmente se determinó y comparó el rendimiento energético de cada uno, esto utilizando los valores entregados por el ministerio de energía en el año 2011 de equivalencia al momento de hacer la conversión desde biogás a gasolina, electricidad y gas natural, donde el valor energético de 1 m³ de biogás con un 60% de metano equivale aproximadamente a 0,7 litros de gasolina o 2,4 kWh de electricidad o 0,6 m³ de gas natural.

Para este punto se tomó como referencia bibliográfica artículos que involucraron un sistema de gestión vinculado a la generación de biogás, privilegiando aquellos que utilizaron como fuente de materia prima a las macro algas.

Los datos para la estimación teórica y rendimientos asociados al proceso de producción se registraron en la tabla N° 12 presente a continuación.

Tabla 12: Operaciones unitarias del proceso de cultivo y producción de biogás.

Especie cultivada	Autor	Cosecha	Cosecha en peso seco	Estimación teórica	Estimación total del cultivo

La búsqueda bibliográfica se desarrolló utilizando la metodología propuesta por Medina en su trabajo denominado “Una propuesta metodológica para la realización de búsquedas sistemáticas de bibliografía” publicada en la revista Working Papers on Operations Management Vol. 1, N° 2 (13-30) en el año 2010.

En primer lugar se establecieron los criterios para la delimitación del campo investigativo bibliográfico, que derivará en la detección del problema de investigación, los objetivos generales y específicos, y los temas a exponer en la introducción del presente trabajo.

En segundo lugar fueron seleccionadas las fuentes de información a trabajar (Revistas – Actas de congresos – libros - Tesis - internet – informes, entre otros), las cuales se establecerán según los requerimientos de cada objetivo planteado.

Los criterios de búsqueda para filtrar los documentos a utilizar fueron los siguientes:

- Año de publicación
- Pertinencia con el trabajo (Tema)
- Paper
- Review
- Trabajo de tesis
- Numero de Citas
- Se privilegiaron aquellos documentos que fueron publicados a contar del año 2015 al 2022, sin exceptuar antecedentes previos que también aporten en la reseña bibliográfica.

A continuación en la figura 15 se presenta un diagrama de síntesis para el trabajo metodológico en el objetivo N°4.

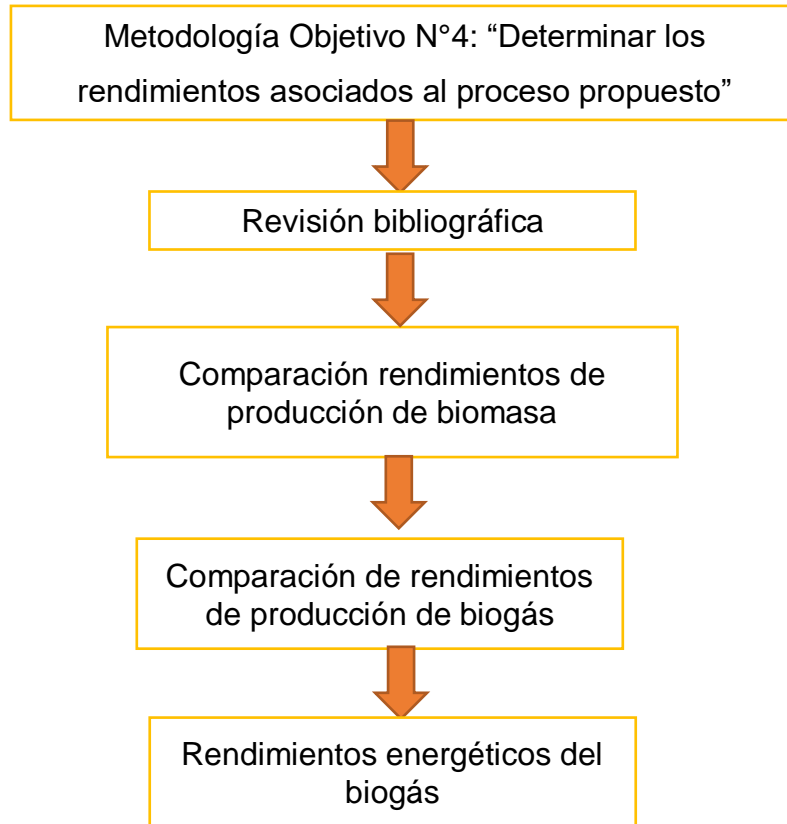


Figura 15: Diagrama de síntesis para el trabajo metodológico en el objetivo N°4.

5. Resultados

En el siguiente capítulo se darán a conocer los resultados obtenidos en este trabajo, con el fin de poder determinar la pre factibilidad técnica de un proceso productivo para la generación de biogás a base de macro algas Clorophytas, Phaeophytas y Rodophytas en la zona costera bahía de Quintero Región de Valparaíso.

5.1. Revisión bibliográfica utilizada para cada objetivo

A continuación se presentan los artículos y publicaciones obtenidos como resultado de la revisión bibliográfica que se utilizaron en específico para cumplir cada objetivo.

Para el objetivo N°1: Estimar el potencial teórico de producción de biogás de las algas Clorophytas, Phaeophytas y Rodophytas a partir del proceso Fermentación anaeróbica, se utilizaron los siguientes artículos y publicaciones:

- Arias, E. (2017). Estudio prospectivo de instalaciones industriales para cultivo intensivo de macroalgas marinas en Cuba (Doctoral dissertation, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Química Farmacia. Departamento de Ingeniería Química).
- Díaz, P. (2010). Obtención de gas combustible mediante la bioconversión del alga marina *Ulva lactuca*. Serie Oceanológica. No. 7, 2010 ISSN 2072-800x
- Frikha, F., Kammoun, M., Hammami, N., Mchirgui, R. A., Belbahri, L., Gargouri, Y., & Ben-Rebah, F. (2011). Composición química y algunas actividades biológicas de algas marinas recolectadas en Túnez. Ciencias marinas, 37(2), 113-124.

- Roesijadi, (2010). Macroalgas como materia prima de biomasa: un análisis preliminar.

Para el objetivo N°2: Definir las características de una zona geográfica ubicada en la bahía de Quintero que cumpla con las condiciones físicas, químicas, biológicas y ambientales adecuadas para sustentar el cultivo y recolección de macro-algas, se utilizaron los siguientes artículos y publicaciones:

- DIRECTEMAR. (2019). Mapas de sensibilidad ambiental Bahías de Quintero, Concón y Valparaíso. Carta Náutica Electrónica N° CL5VA005.
- EcoTecnos S.A. (2013). "Estudio de ecología de comunidades biológicas, oxiquim ventanas, Región de Valparaíso". EcoTecnos S.A. Julio 2013.
- MMA. (2019). Análisis crítico de los informes de seguimiento ambiental y de los planes de vigilancia ambiental de los establecimientos que descargan residuos líquidos a la bahía de Quintero, región de Valparaíso.
- SUBPESCA. (2016). Determinación de los impactos en los recursos hidrobiológicos y en los ecosistemas marinos presentes en el área de influencia del derrame de hidrocarburo de Bahía Quintero, V Región. Subsecretaría de pesca y acuicultura.

Para el objetivo N°3: Definir las etapas y operaciones unitarias requeridas para la producción de biogás a partir de macro-algas, se utilizaron los siguientes artículos y publicaciones:

- Ávila. M., Aroca G., Rodríguez D., Riquelme R., Piel Ml., Ramírez ME., De Zarate C. (2019). Manual de Buenas Prácticas para el cultivo del Pelillo

(*Agarophyton chilensis ex Gracilaria chilensis*). Serie programa educativo para la Pesca Artesanal. VI Manual de buenas prácticas para el pelillo

- Ministerio de energía. (2011). Manual de biogás. Proyecto CHI/00/G32 “Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables”.
- Peteiro., *et al.* (2016). El potencial de la maricultura de laminarias como fuente para la obtención de biocombustibles y otros bioproductos en la costa atlántica de España.
- Saavedra S, Henríquez L, Leal P, Galleguillos F, Cook S, y Cárcamo F. (2019) - Cultivo de Macroalgas: Diversificación de la Acuicultura de Pequeña Escala en Chile. Convenio de Desempeño, Subsecretaría de Economía y Empresas de Menor Tamaño. Instituto de Fomento Pesquero. 106 pp.

Para el objetivo N°4: Determinar los rendimientos asociados al proceso propuesto, se utilizaron los siguientes artículos y publicaciones:

- Carrasco, J. (2015). Evaluación técnica y económica de una planta de biogás para autoabastecimiento energético: Una estrategia para diferentes contextos. Memoria para optar al título de ingeniero civil en biotecnología. Universidad de Chile, facultad de ciencias físicas y matemáticas, departamento de ingeniería química y biotecnología.
- Ministerio de energía. (2011). Manual de biogás. Proyecto CHI/00/G32 “Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables”.
- Nicora, F. (2020). Diseño y simulación de un biodigestor alimentado con energía solar para *Durvillaea Antártica*. Memoria de titulación para optar al

título de ingeniero civil mecánico, Universidad Federico Santa María, departamento de ingeniería mecánica.

- Perez, J. (2010). Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en pequeños ganaderos y lecheros. Universidad de Chile, facultad de ciencias físicas y matemáticas. 2010.
- Posada, A. (2021). Prefactibilidad técnica, económica y social para la producción de biogás a partir de residuos agropecuarios y macroalgas para la comunidad mapuche José Painecura. Universidad de Chile, facultad de ciencias físicas y matemáticas, departamento de ingeniería química, biotecnología y materiales.

Para la estimación de producción de biogás a partir del cultivo de algas se tomó en cuenta la cantidad de espacio disponible para el cultivo, cantidad de biomasa obtenida y producción de biogás a partir de esta.

5.2. Estimación de biomasa por periodos de cultivo para *Macrocystis pyrifera* (Huiro), *Agarophyton chilense* (Pelillo), *Sarcothalia crispata* (Luga), *Porphyra – piropia spp.* (Luche).

Los resultados asociados a la cantidad de biomasa producida fueron establecidos a través de artículos revisados hasta el año 2017 que documentaron experiencias de cultivo para *Macrocystis pyrifera* (Huiro), *Agarophyton chilense* (Pelillo), *Sarcothalia crispata* (Luga), *Porphyra – piropia spp.* (Luche), por lo cual fueron estas las especies utilizadas como base de estimación teórica.

A continuación en la Tabla 13, se muestra la estimación de producción, para especies como el Huiro, Pelillo, Luga negra y Luche realizada por diversos autores.

Tabla 13: Macroalgas de interés comercial y estimación de producción de biomasa por tiempo de cultivo.

Especie Cultivada	Estimación de producción	Autor
Huiro	14 kg/m ² en 8 meses 22 kg/m ² en 4 a 5 meses 25 kg/m ² en 9 meses 17 kg/m ² en 6 meses 15 kg/m ² en 5 y 6 meses	Gutiérrez <i>et al.</i> , 2006 Macchiavello <i>et al.</i> , 2010 Correa <i>et al.</i> , 2014 Guisado <i>et al.</i> , 2017 Camus <i>et al.</i> , 2017
Pelillo	26 kg/m ² en 5 meses 12,5 kg/m ² 5 kg/m ² 16 kg/m ² en 3 meses 90 kg /m ² en 1 año.	Método indirecto, mata-piedras Barrales y Pizarro, 1984 Método indirecto, mangas polietileno Pizarro, 1986 Método siembra directa Corfo, 1989. Método indirecto, cultivo suspendido de fondo Ávila <i>et al.</i> , 1999. Método mediante esporas J. Abaroa, com. pers.
Luga Negra	1,5 kg/m ² en 9 meses 3,5 m profundidad.	Romo <i>et al.</i> , 2001
Luche	94,6 g/m ² 0,946kg/m ² (Producción fase gametofito en redes) 1 m profundidad 5 meses.	Romo <i>et al.</i> , 2001

Para el caso del Huiro, la producción mínima de biomasa registrada es de aproximadamente 14 kg/m² durante un periodo de cultivo de 8 meses, por lo tanto, si se realiza una estimación anual, la cantidad mínima estimada de Huiro producida sería de aproximadamente 21 kg/m², así mismo, la producción máxima registrada en la bibliografía consultada, es de aproximadamente 22 kg/m² en un periodo de 4 meses, por lo tanto, anualmente se podría producir una cantidad de 66 kg/m² como rendimiento máximo estimado.

El periodo de cultivo para el Pelillo varía entre 5 y 12 meses, así mismo la producción mínima al cabo de 5 meses es de aproximadamente 5,2 kg/m² es decir, anualmente se podrían producir un mínimo de 62,4 kg/m². Por el contrario, la producción máxima registrada corresponde a 45 kg/m² en un cultivo de 6 meses, por lo tanto, se podrían registrar cosechas anuales de hasta 90 kg/m².

En el caso de la Luga y el Luche, la producción es muy inferior a comparación del Huiro y del Pelillo. Ambos tienen rendimientos anuales de aproximadamente 1,5 kg/m² para la Luga y 2 kg/m² para el Luche.

Es necesario considerar que de la cantidad total de biomasa en kg antes mencionada solamente es aprovechable el 20% aproximadamente, ya que el otro 80% corresponde al contenido de agua presente en las macroalgas como contenido celular, contenido que no se utiliza en la transformación de biomasa a biogás.

A continuación en la tabla 14 se presenta la cantidad de biomasa cosechada en peso peso seco estimado, descontando el porcentaje de humedad antes descrito.

Tabla 14: Contenido de biomasa cosechada y estimación en peso seco para el Huiro, Pelillo, Luga Negra y Luche.

Especie Cultivada	Autor	Cantidad de biomasa cosechada peso húmedo (kg/m ²).	Cantidad de biomasa cosechada peso seco estimado (kg/m ²).
Huiro	Gutiérrez <i>et al.</i> , 2006	14 kg/m ² en 8 meses	2,8 kg/m ² en 8 meses
	Macchiavello <i>et al.</i> , 2010	22 kg/m ² en 4 a 5 meses	4,4 kg/m ² en 4 a 5 meses
	Correa <i>et al.</i> , 2014	25 kg/m ² en 9 meses	5 kg/m ² en 9 meses
	Guisado <i>et al.</i> , 2017	17 kg/m ² en 6 meses	3,4 kg/m ² en 6 meses

	Camus <i>et al.</i> , 2017	15 kg/m ² en 5 y 6 meses	3 kg/m ² en 5 y 6 meses
Pelillo	-Método indirecto, Barrales y Pizarro, 1984	26 kg/m ² en 5 meses	5,2 kg/m ² en 5 meses (0,028 kg/m. lineal.)
	-Método indirecto, Pizarro, 1986	12,5 kg/m ²	2,5 kg/m ² (0,01 kg/m lineal)
	-Método siembra directa Corfo, 1989.	5 kg/m ²	1 kg/m ² (0,004 kg/m ²)
	-Método indirecto, Ávila <i>et al.</i> , 1999.	16 kg/m ² en 3 meses	3,2 kg/ m ² en 3 meses
	-Método mediante esporas J. Abaroa, com. pers.	90 kg /m ² en 1 año.	18 kg /m ² en 1 año. (0,072 kg/m ²)
Luga negra	-Romo <i>et al.</i> , 2001	1,5 kg/m ² en 9 meses 3,5 m profundidad.	0,3 kg/m ² en 9 meses 3,5 m
Luche	-Romo <i>et al.</i> , 2001	94,6 g/m ² (Producción fase gametofito en redes) 1 m profundidad	18,92 g/m ² (Producción fase gametofito en redes) 1 m profundidad Equivalente a 0,946kg/m ² (0,07568 kg/m ²)

5.3. Estimación biogás producido por biomasa de algas cosechadas.

Para la estimación de biogás en este estudio se utilizaron los datos y resultados expuestos por diferentes autores a partir del 2010, relacionados con la producción de biogás a partir de macroalgas. A continuación se registraron los resultados de las publicaciones donde se incluyen los autores y año de publicación, cantidad de

biogás obtenido, este último dato fue utilizado como constante de producción en este estudio, tipo de alga utilizada y características operacionales.

Tabla 15: Resultados de las publicaciones utilizadas para la estimación de biogás de este estudio.

Autor	Tipo de alga	Cantidad de biogás producido (ml/kg).	Temperatura	pH
Diaz, P. (2010)	<i>Ulva lactuca</i>	65.3 ml/kg de alga en peso seco	25°C / 30°C	6.8
Sangeetha p.s & Ramasamy R. (2011)	<i>Chaetomorpha litorea</i>	65ml/kg de alga en peso seco	55°C	7
Silvia T. & Stokes J.(2016)	<i>Laminaria digitata</i>	46ml/kg de alga en peso seco	35°C	No especificado
Tadesco S & Stokes J. (2017)	<i>Alga laminaria Fuccus sp</i>	187 – 185 ml/kg de alga en peso seco	27°C	No especificado

A continuación en la tabla 16 se muestra la estimación de biogás en relación a la cantidad de biomasa cosechada en peso seco registrada en la tabla 14 y a los resultados de producción de biogás entregados por los autores antes mencionados en la tabla 15.

Tabla 16: Estimación de biogás para las especies *Macrocystis pyrifera* (Huiro), *Agarophyton chilense* (Pelillo), *Sarcothalia crispata* (Luga), *Porphyra – piropia spp.* (Luche) a partir de las constantes registradas en la revisión bibliográfica.

Especie cultivada	Cantidad de biomasa cosechada peso seco estimado (kg/m ²)	Cantidad de Biogás estimado por kg de cultivo peso seco. Constante 65.3 ml/kg	Cantidad de Biogás estimado por kg de cultivo peso seco. Constante 65ml/kg	Cantidad de Biogás estimado por kg de cultivo peso seco. Constante 46ml/kg	Cantidad de Biogás estimado por kg de cultivo peso seco. Constante 185 ml/kg
Huiro	2,8 kg/m ² en 8 meses	182,84 ml/m ²	182 ml/m ²	128,8 ml/m ²	518 ml/m ²
	4,4 kg/m ² en 4 a 5 meses	287,32 ml/m ²	286 ml/m ²	202,4 ml/m ²	814 ml/m ²
	5 kg/m ² en 9 meses	326,5 ml/m ²	325 ml/m ²	230 ml/m ²	925 ml/m ²
	3,4 kg/m ² en 6 meses	222,02 ml/m ²	221 ml/m ²	156,4 ml/m ²	629 ml/m ²
	3 kg/m ² en 5 y 6 meses	195,9 ml/m ²	195 ml/m ²	138 ml/m ²	555 ml/m ²
Pelillo	5,2 kg/m ² en 5 meses (0,028 kg/m. lineal.)	339,56 ml/m ²	338 ml/m ²	239,2 ml/m ²	962 ml/m ²
	2,5 kg/m ² (0,01 kg/m lineal)	163,25 ml/m ²	162 ml/m ²	115 ml/m ²	462,5 ml/m ²
	1 kg/m ²	65,3 ml/m ²	65 ml/m ²	46 ml/m ²	185 ml/m ²
	3,2 kg/ m ² en 3 meses	208,96 ml/m ²	208 ml/m ²	147,2 ml/m ²	592 ml/m ²
	18 kg /m ² en 1 año.	1175,4 ml/m ²	1170 ml/m ²	828 ml/m ²	3330 ml/m ²
Luga negra	0,3 kg/m ² en 9 meses 3,5	19,59 ml/m ²	19,5 ml/m ²	13,8 ml/m ²	55,5 ml/m ²

	m				
Luche	18,92 g/m ² (Producción fase gametofito en redes) 1 m profundidad. Equivalente a 0,946kg/m ²	61,77 ml/m ²	61,49 ml/m ²	43,516 ml/m ²	175,01 ml/m ²

5.4. Definición y caracterización parámetros físicos y químicos.

Para la definición de los parámetros a estudiar en la bahía de Quintero es que se utilizó la guía ilustrada de macroalgas elaborada por (Rita, 2019), donde su estudio arroja que los parámetros a considerar en un cultivo de algas es la temperatura, oxígeno disuelto, viento, mareas, salinidad y pH.

Los niveles de temperatura fueron registrados por la subsecretaría de pesca y acuicultura en sus informes y resultados obtenidos el año 2016, estos establecieron una mínima de 11,2 °C en época invernal y a profundidades por sobre los 3 metros, en el caso de la máxima, esta arroja una temperatura de 22,06 °C en época de verano y en mediciones superficiales. Realizando un promedio entre ambos resultados, se estableció que entre ambas estaciones y con mediciones hasta los 45 metros de profundidad en la bahía, la temperatura bordea un promedio de 14 °C.

Con los datos entregados por el ministerio de medio ambiente el año 2019, los resultados de medición en relación al viento en la Bahía de Quintero, muestran que este es categorizado como brisa o viento suave, arrojando resultados entre los años 2015 y 2016 con mínimas en promedio de 0,5 m/s y con máximas que no superan los 5,5 m/s tanto en épocas de invierno y verano. En tanto a los horarios, arrojaron que las mínimas fueron registradas entre las 01:00 hrs y las 05:00 hrs,

mientras que las máximas fueron tomadas entre las 14:00 hrs y las 17:00 hrs tanto para invierno y verano.

Con los datos y resultados de SUBPESCA extraídos a través de sus informes de avances en la Bahía de Quintero entre el año 2015 y 2016, se logra estimar que la cantidad de oxígeno disuelto en la columna de agua en la bahía, varía tanto en la superficie como también en la profundidad. Los resultados arrojados entre las mediciones realizadas en el año 2015 y 2016 indican que el oxígeno disuelto en superficie va desde valores mínimos de 1,4 mg/l y con máximas de 12,1 mg/l. En tanto, las mediciones a profundidad de 45 m arrojaron niveles de 5,5 mg/l.

Así mismo, en el mismo informe emitido por la subsecretaria, los resultados para la medición de salinidad arrojaron valores uniformes en la columna respecto a este, donde la mínima fue de 33,7 PSU y la máxima de 34,4 PSU hasta una profundidad de 45 metros.

Los resultados obtenidos y emitidos por el ministerio de medio ambiente en el año 2019 respecto a las mediciones entre los años 2015 y 2018 señalan que los valores mínimos de pH fueron de 3,5 aproximadamente, mientras que los valores máximos bordean las 11 unidades. El promedio general para las estaciones de invierno y verano bordea los 7,7 y 7.9 en la escala de pH.

A continuación en la tabla 17 se muestran los resultados de la caracterización de los parámetros físicos y químicos de la bahía de Quintero.

Tabla 17: Resultados Parámetros físico – químicos bahía Quintero

Parámetro	Unidad	Min	Max	Promedio	Des. Est
Viento	m/s	0,5	5,5	3	0,25
Temperatura	°C	11,2	22,06	14,00	1,81
Oxígeno	mg/L	1,37	12,1	6,91	1,82

Disuelto					
Oxígeno saturado	%	15,8	142,1	84,29	23,92
Salinidad	Unidad PSU	33,7	34,4	34,05	No cuantificado
pH	Unidad	7,34	8,43	7,91	0,25

5.5. Delimitación zona de cultivo

La delimitación de la zona de cultivo no solamente depende de las características físicas, químicas y biológicas del cuerpo de agua, sino también de los aspectos legales que puedan dar sustento al proyecto. A continuación se registraron los resultados de los análisis AMERB como requerimiento legal para sustentar un cultivo de macroalgas.

Las áreas de manejo para la explotación de recursos bentónicos actualmente entregadas a la región de Valparaíso son 46 en total, de las cuales 4 se ubican en la zona propuesta para el estudio y que se mencionan a continuación (SERNAPESCA, 2023)

- El Papagallo
- Embarcadero
- Farallones de Quintero
- NW. Pen. De los Molles

En la siguiente figura 16 se muestran las AMERB de la bahía de Quintero.

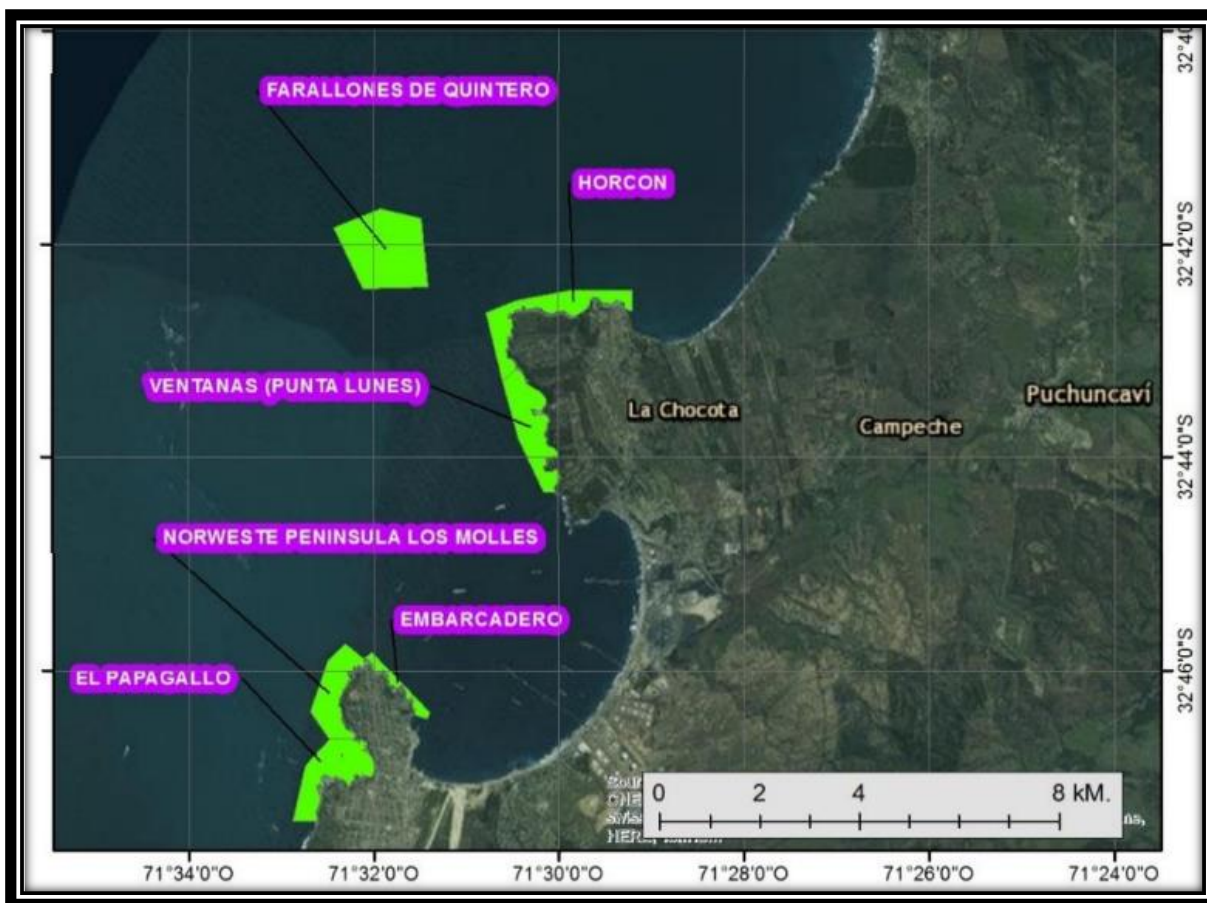


Figura 16: Áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos entregados por SERNAPESCA en la bahía de Quintero. (SERNAPESCA, 2023).

Tabla 18: Superficie en hectáreas (ha) de las AMERB en la zona de Quintero. (SERNAPESCA, 2023)

AMERB	Superficie en hectáreas
El Papagallo	73 ha
Embarcadero	22 ha
Norweste península Los Molles	97 ha
Farellones de Quintero	142,28 ha.

De las AMERB antes descritas, solo el Embarcadero y Norweste península Los Molles tienen cuotas de explotación de macroalgas. El área del Embarcadero explota especies como Huiro Negro, Huiro Palo y el Huiro Pito o Canutillo, mientras que el área de Norweste península Los Molles solo explota el Huiro Pito o Canutillo. Las otras áreas tienen la facultad de explotar otras especies como el Erizo, Lapa Negra, Lapa Reina, Lapa Rosada y Loco, pero no especies de algas (SERNAPESCA, 2023).

A partir de la revisión de los antecedentes antes mencionados se obtuvo como resultado que la zona que cumple tanto con los parámetros de cultivo físicos, químicos, biológicos y también legislativos corresponde a la zona del Embarcadero, mientras que el área de Norweste península Los Molles cumple solamente con los aspectos legislativos de explotación, ya que los estudios y resultados de los parámetros físicos, químicos y biológicos no cubren esta área, por lo tanto es incierto si es posible sustentar un proyecto de cultivo de algas en esta zona. A continuación en la figura 17 se muestra el área propuesta como zona de cultivo y explotación de macroalgas para la generación posterior de biogás. La cartografía utilizada pertenece al SHOA, la Carta Náutica Electrónica N° CL5VA005, correspondiente al área de la Bahía de Quintero (Carta papel N° 4321, confeccionada en escala 1: 10.000). (DIRECTEMAR, 2019).

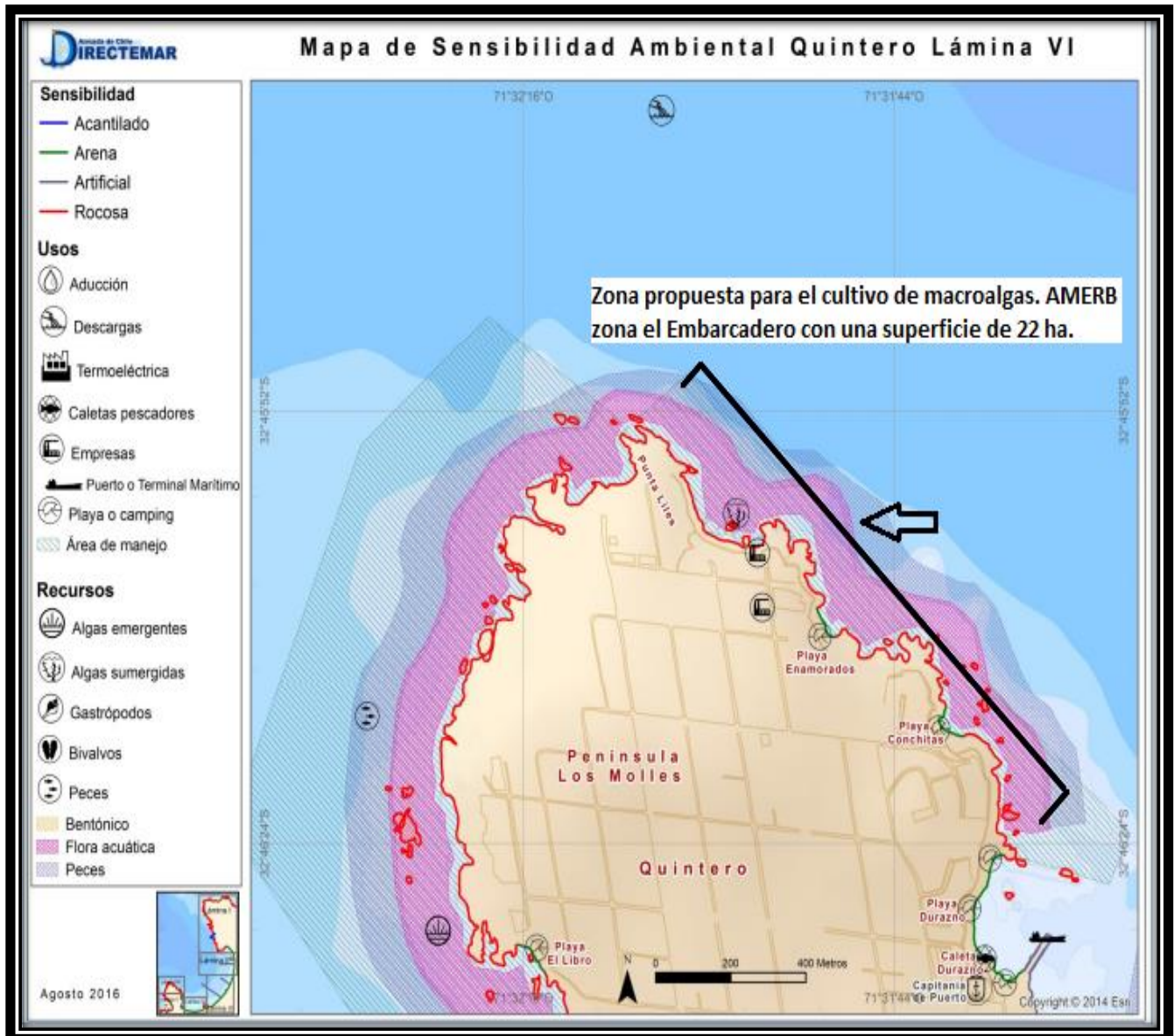


Figura 17: Área propuesta como zona de cultivo y explotación de macroalgas para la generación posterior de biogás. (DIRECTEMAR, 2019).

5.6. Definición de etapas y operaciones

La pre-factibilidad del proyecto en cuestión está sujeta a los siguientes dos procesos: Producción de algas o materia prima y producción de Biogás.

A continuación en la figura 18, se presentan las etapas de un proceso productivo completo desde el cultivo de algas como materia prima hasta la producción de biogás.

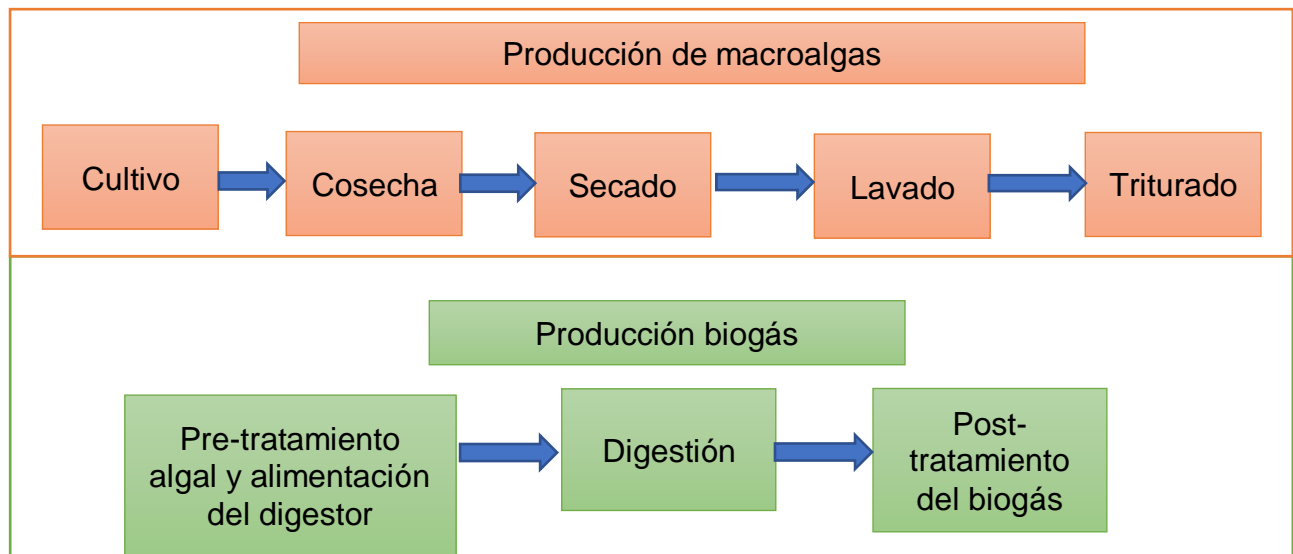


Figura 18: Diagrama de bloques para para las etapas de cultivo y digestión de macroalgas. (Elaboración propia).

Etapas para la producción de algas:

- Cultivo de algas
- Cosecha de algas
- Secado
- Triturado
- Lavado

Para la producción de algas se requieren las siguientes actividades:

- Construcción de laboratorio para gametófitos en cámaras de simulación ambiental.
- Construcción parque de siembra flotante
- Instalación de Fondeos de anclaje (Bloques de concreto).
- Instalación de cuerdas para siembra de plántulas.
- Instalación de boyas.
- Construcción de galpón como zona de secado, molienda, lavado y guarda.
- Instalación varas de secado.
- Instalación molino 2hp 3000rpm.
- Instalación red de agua.

Posteriormente de tener la biomasa requerida para el digester se procede a la producción de biogás, donde las etapas desprendidas de este son las siguientes:

- Pre- tratamiento de la materia prima y alimentación del digester: Se establece como etapa inicial debido a los efectos que tiene sobre un sustrato, según los reportes de la literatura existente, pueden ser: reducción del tamaño de la partícula, solubilización, incremento de la biodegradabilidad, formación de compuestos refractarios y pérdida del material orgánico. (Carlson *et al.*, 2012)
- Digestión: Etapa mediada por microorganismos donde se puede trabajar a distintos rangos de temperatura, desde experiencias mesofílicas hasta termofílicas. La producción de biogás en la digestión contiene concentraciones de dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno y principalmente metano. (Pachón, 2022), por lo cual debe pasar a un post-tratamiento para purificar el producto.

- Post- tratamiento biogás: Para la eliminación de gases contaminantes y de no uso energético, como el ácido sulfhídrico y dióxido de carbono, se utilizan tratamientos fisicoquímicos y biológicos. Tratamientos como la adsorción, absorción, precipitación de sulfuros, membranas, compresión y/o enfriamiento y tratamientos biológicos con bacterias sulfuro oxidantes, biofiltros de lecho fijo, biofiltro de lecho escurrido, lavado con reactor biológico. (Carrasco, 2015).
- Uso energético: El biogás puede ser aprovechado energéticamente mediante el uso de tecnologías que conviertan la energía química del combustible en energía útil, como energía térmica, eléctrica o mecánica. Los usos energéticos del biogás se pueden clasificar en generación de electricidad, de calor, de ambos (co-generación) y en producción como combustible. (Carrasco, 2015).

A partir de las etapas para la producción de biogás se desprenden las siguientes actividades:

- Dimensionamiento del biodigestor: El volumen del digestor debe ser considerado a partir de la materia orgánica como fuente de materia prima, así mismo bibliografías consultadas datan de reactores que van desde los 14 m³ hasta los 1270 m³, teniendo la posibilidad de aplicar reactores de apoyo si fuese necesario. (IDAE, 2007)
- Definición de los parámetros y cinética de crecimiento. Se consideran parámetros óptimos de crecimiento la temperatura, el pH, consorcio microbiano y tipo de sustrato. Los rangos de T° a utilizar van de la mano con el tipo de microorganismo, es así como los metanógenos acetoclásticos son en su mayoría microorganismos mesofílicos. Gran parte de los organismos del género *Methanosaeta* son mesofílicos, teniendo un rango de temperatura óptima para la producción de metano de 35-40°C. De forma

similar, *Methanosarcina sp.* tiene temperaturas de actividad entre los 35-37°C. (Pachón, 2022). Los rangos de pH óptimos para la producción de metano son variados, pero todos bordean la neutralidad. Es así como *Methanosaeta sp.* trabaja a un pH de 7.4 – 7.8, mientras que *Methanosarcina sp.* a un pH entre 6 – 8, siendo mejor su rendimiento cercano 7. (Yang, S. *et al.* 1987)

Una vez definido el volumen del digestor y los parámetros de operación, se procede a la instalación del sistema completo. Las actividades consideradas a continuación fueron extraídas desde el manual del biogás, 2011:

- Instalación digestor
- Instalación cúpula de gas.
- Instalación válvulas de seguridad y rompedora de vacío.
- Instalación apagallamas.
- Instalación válvulas térmicas.
- Instalación separadores de sedimentos.
- Instalación purgadores de condensado.
- Instalación medidores de gas.
- Instalación manómetros.
- Instalación reguladores de presión.
- Instalación almacenamiento del gas.
- Instalación quemador de los gases sobrantes.

5.7. Estimación y rendimientos de biogás producido en una propuesta de cultivo marino de 1 ha.

Los rendimientos asociados a la producción de biogás dependen de la cantidad de espacio de cultivo y de la especie cultivada. Se sugiere implementar la construcción de parques de cultivo de 1 hectárea, es decir, 10.000 m² de cultivo, los cuales se distribuyen en líneas de 100 m de largo por 100 m de ancho. Así también, la instalación de cuerdas de cultivo dentro del polígono se deben realizar a una distancia de entre 1 y 1.5 m entre sí. El total de líneas de cultivo presupuestadas en los rangos de distanciamiento antes mencionados varían entre 100 (a 1 metro) y 66 cuerdas cultivables (a 1.5 metros).

A continuación para la estimación de biogás por hectárea de cultivo primeramente se procedió a calcular el promedio de producción de biogás para cada especie, los datos utilizados fueron extraídos de la tabla 16. Posteriormente el promedio estimado fue utilizado para calcular el rendimiento por hectárea equivalente a 10.000 m².

Tabla 19: Promedio de producción de biogás por especie cultivada.

Especie cultivada	Promedio de producción de biogás
Huiro	336 ml/m ²
Pelillo	540,11 ml/m ²
Luga	108,39 ml/m ²
Lucho	85,44 ml/m ²

A continuación en la Tabla 20, se estimó el rendimiento de producción de biogás en un parque de cultivo en suspensión con cuerdas de cultivo vegetativo equivalente a 10.000 m².

Tabla 20: Rendimiento de biogás en una hectárea de cultivo por biomasa en peso seco de las especies *Macrocystis pyrifera* (Huiro), *Agarophyton chilense* (Pelillo), *Sarcothalia crispata* (Luga), *Porphyra – piropia spp.* (Luche).

Especie cultivada	Promedio de producción de biogás	Producción de biogás en una hectárea de cultivo (10.000 m ²)
Huiro	336 ml/m ²	3.360.000 ml
Pelillo	540,11 ml/m ²	5.401.100 ml
Luga	108,39 ml/m ²	1.083.900 ml
Luche	85,44 ml/m ²	854.400 ml

El promedio de producción de biogás estimado para una parcela de cultivo de 1 ha en el caso del Huiro fue de aproximadamente 3.360.000 ml, equivalentes a 3.360 litros o también a 3,36 m³ en un tiempo de 6 a 7 meses. Para el caso del Pelillo el promedio de producción de biogás estimado fue aproximadamente de 5.401.100 ml, equivalentes a 5.401,1 litros o también a 5,401 m³ en un tiempo aproximado de 8 meses. Para el caso de la Luga solo se reportó un informe de cultivo, por lo tanto el resultado de la bioconversión para estos datos aportados arroja una cantidad de biogás aproximada a 1.083.900 ml, equivalentes a 1083,9 litros o también a 1,083 m³ en 9 meses. Para el Luche, también se documentó solo un informe de cultivo, con los datos aportados por Romo en el año 2001 se logró obtener un rendimiento de 854.400 ml equivalentes a 854,4 litros o también 0,85 m³.

Los rendimientos antes mencionados para el proceso propuesto pueden ser ocupados y equivalentes a la capacidad de energía que el biogás puede producir. El valor energético de 1 m³ de biogás con un 60% de metano equivale

aproximadamente a 0,7 litros de gasolina o 2,4 kWh de electricidad o 0,6 m³ de gas natural (ministerio de energía, 2011) (Ponce, 2016). Por lo tanto, los resultados de la cantidad de biogás serían equivalentes en kWh a lo siguiente:

Tabla 21: Equivalencia del biogás estimado para el proceso en litros de gasolina, kWh y gas natural.

Especie	Promedio de estimación de biogás	Equivalencia en litros de gasolina	Equivalencia en kWh	Equivalencia gas natural
Huiro	3,36 m ³	2,352 litros	8,064 kWh	2,016 m ³
Pelillo	5,40 m ³	3,78 litros	12,96 kWh	3,24 m ³
Luga	1,08 m ³	0,756 litros	2,592 kWh	0,648 m ³
Luche	0,85 m ³	0,595 litros	2,04 kWh	0,51 m ³

A continuación los datos expuestos en la tabla 21 se pueden visualizar en las figuras 19, 20 y 21 que grafican la equivalencia realizada a partir del promedio estimado de biogás.

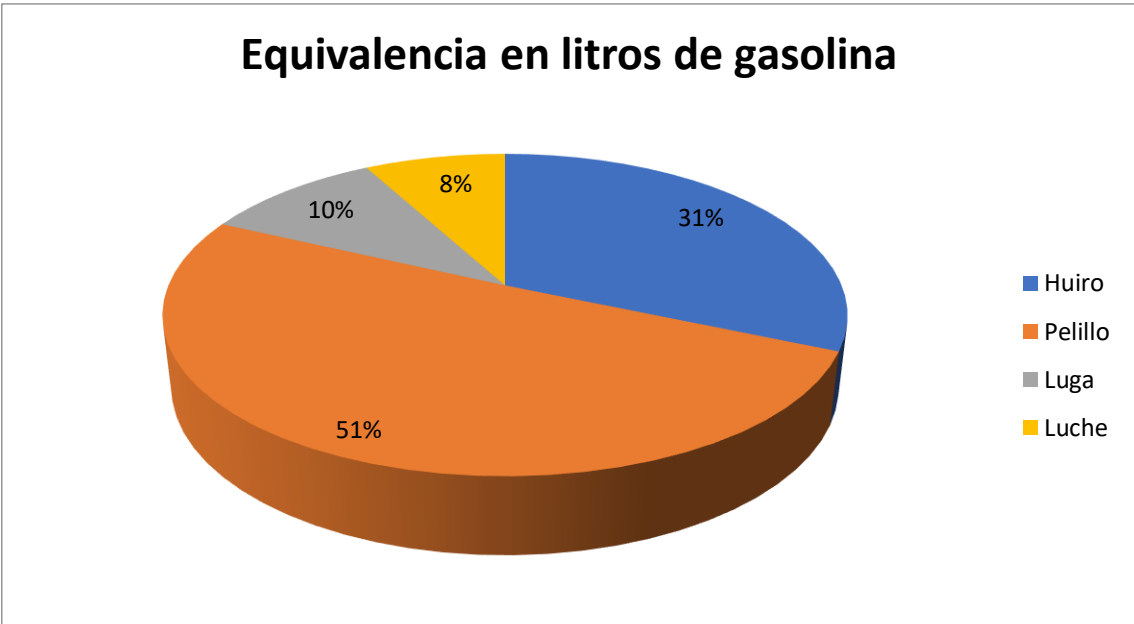


Figura 19: Grafico de equivalencia en litros de gasolina a partir del promedio de biogás para las especies Huiro, Pelillo, Luga y Luche.

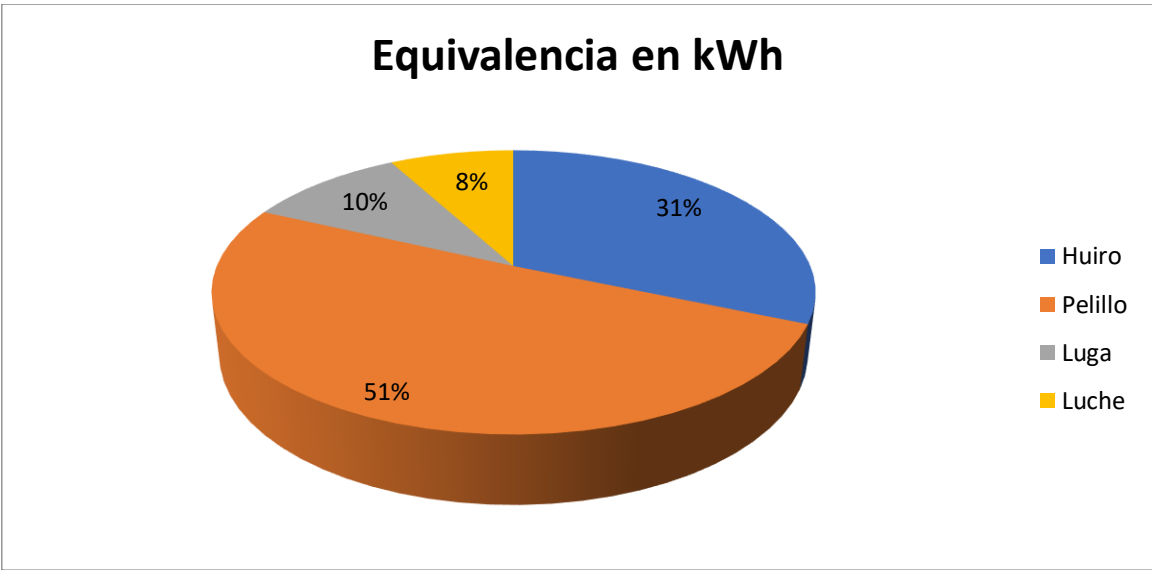


Figura 20: Grafico de equivalencia en kWh a partir del promedio de biogás para las especies Huiro, Pelillo, Luga y Luche.

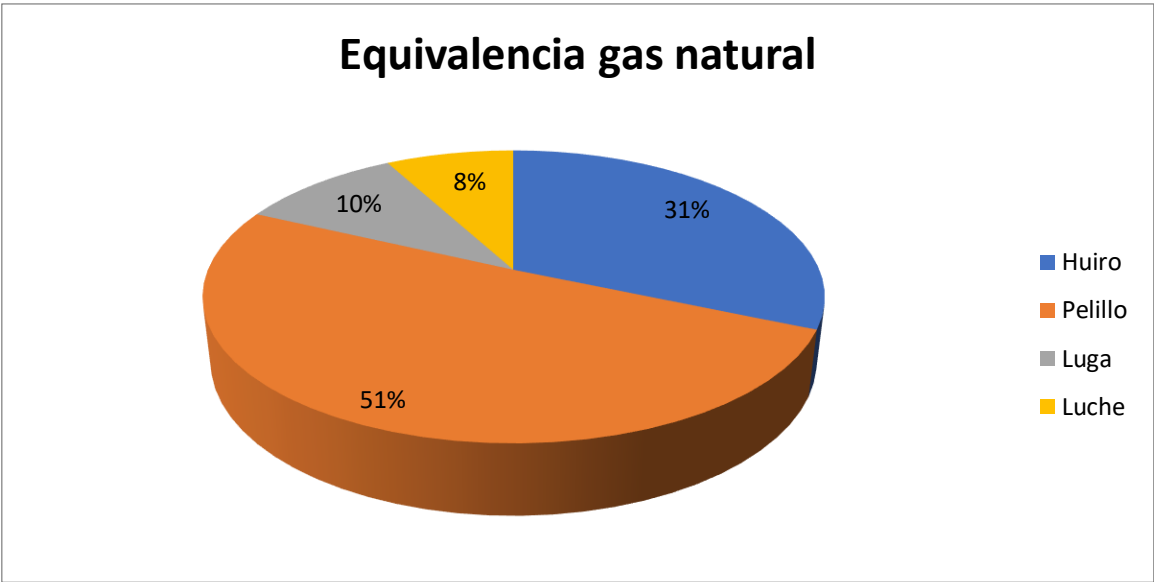


Figura 21: Grafico de equivalencia en gas natural a partir del promedio de biogás para las especies Huiro, Pelillo, Luga y Luche.

El resultado de equivalencia de biogás tanto en litros de gasolina, kWh y gas natural arrojan que tanto el Pelillo y el Huiro son las algas con mejores rendimientos energéticos, estimando un rendimiento entre el 20 y el 40% en comparación con la Luga y el Luche.

6. Discusión:

6.1. Rendimiento de producción de biomasa

Respecto al rendimiento de producción de biomasa, se realizó un análisis de los resultados en relación a la cantidad producida de algas en periodos de cosecha individual para cada caso, y también proyectados en un periodo de un año. La estimación trabajada fue realizada con *Macrocystis pyrifera* (Huiro), *Agarophyton chilensis* (Pelillo), *Sarcothalia crispata* (Luga) y *Porphyra - pyropía spp* (Luche), de lo cual desprendió lo siguiente:

Para el caso del Huiro, la estimación de producción mínima fue de aproximadamente de 14 kg/m² durante un periodo de cultivo de 8 meses, mientras que la producción máxima registrada en la bibliografía consultada, es de aproximadamente 22 kg/m² en un periodo de 4 meses. La producción de biomasa en este caso se explica ya que *Macrocystis pyrifera* es una alga parda, reconocidas por su capacidad de crecimiento y formación de bosques submarinos (Gutiérrez, 2016). Esto se explica ya que habitan zonas intermedias en la columna de agua, por lo tanto logran captar intensidades de radiación suficientes para un crecimiento óptimo. (Rita, 2019). Es por esto que el rendimiento de biomasa en el caso del Huiro obtuvo mejores resultados a comparación con la Luga y el Luche. Ahora bien, los máximos registros de biomasa fueron registrados en lugares con clima templado, por lo tanto desde la cuarta región a la séptima podríamos registrar buenos rendimientos de cosecha por tener climas templados cálidos, algunos con más o menos periodos de sequía y otros con influencia mediterránea marcada. (Dirección Meteorológica de Chile, 2021).

Para el caso del Pelillo, su periodo de cultivo varía entre 5 y 12 meses, así mismo, la producción mínima al cabo de 5 meses es de aproximadamente 5,2 kg/m², mientras que la producción máxima registrada corresponde a 45 kg/m² en un cultivo de 6 meses, por lo tanto, se podrían registrar cosechas anuales de hasta

90 kg/m². Si bien es cierto el pelillo es una alga roja y se debiesen obtener menores índices de productividad en biomasa, no siempre se cumple, en este caso la elección de cultivo puede cambiar la productividad del sistema. Primero que todo, un cultivo natural utilizando el sustrato rocoso da buenos resultados, entendiendo de que tiene características similares de anclaje mecánico que el Huiro. Ahora bien, si no existen las condiciones del fondo marino para esto, y es un fondo más bien arenoso, se sugiere simular las condiciones óptimas, como por ejemplo utilizar rocas de 400 g adosadas a un núcleo vegetativo para que crezca en el fondo marino, esta experiencia documentada ha permitido lograr un incremento acumulado de biomasa de 13 veces respecto de la biomasa inicial en 5 meses de cultivo (Barrales & Pizarro, 1984). Por otro lado, Pizarro (1986), utilizó mangas de polietileno rellenas con arena (“chululos”) como método de anclaje para un conjunto de 5 manojos de pelillo de 90 g de peso. En esta experiencia se pudo lograr una producción en 1/4 hectárea de 12,5 kg/m². Estos autores también experimentaron usando como sistema de cultivo retículos suspendidos, atando talos individuales sobre ellos, obteniendo incrementos de hasta 1400% mensual respecto de talos iniciales de 30 cm de longitud. También se ha probado el cultivo en cuerdas suspendidas atadas a estacas enterradas en el fondo del río Quenuir (X Región). En estas cuerdas se colocaron 27 manojos de 100 g cada uno, al término de 3 meses se logró incrementar 6 veces la biomasa inicial con una tasa de crecimiento de 4,2 % (Ávila, et al., 1999). Es así como las diferencias entre la productividad mínima y máxima registradas en los resultados difieren casi 9 veces entre una y otra, y es que las características del sistema de cultivo conociendo el ciclo de vida, el desarrollo y aprovechamiento del sustrato van a incidir en el producto final.

En el caso de la Luga y el Luche, la producción es muy inferior a comparación del Huiro y del Pelillo. Ambos tienen rendimientos anuales de aproximadamente 1,5 y 2,5 kg/m². Esto se explica ya que sus dimensiones no son mayores a 1 m de largo de frondas en el caso de la Luga, mientras que en el caso del Luche sus dimensiones suelen ser en promedio entre 30 y 60 cm (Saavedra S, et al. 2019)

Ahora bien, para el caso de la Luga sus dimensiones pueden estar dadas por su rango de temperatura y radiación óptimas, los cuales bordean aproximadamente los 14 ° C y con crecimiento en profundidades máximas de 10 metros. Por lo tanto no se encuentran expuestas ni tampoco su metabolismo está adaptado fisiológicamente para metabolizar tasas altas de radiación. Así mismo, el Luche es cultivado para fines comestibles y también como sub-producto del cultivo de bivalvos, ya que para su crecimiento necesitan de un sistema de anclaje al igual que las otras algas, la diferencia, es que es capaz de también colonizar sustratos supra mareales, es decir, puede soportar altos grados de radiación.(IFOP, 2019) Esto logra explicar por qué su crecimiento es inferior, ya que al ser capaz de soportar amplios periodos de desecación y perdiendo gran parte de su volumen en agua, su metabolismo disminuye a tal grado que pierde la capacidad celular para un crecimiento de mayores dimensiones. Es decir, su adaptación al medio privilegia el colonizar sustratos expuestos a factores limitantes como la radiación, pero a cambio, disminuye su crecimiento como estrategia metabólica. (Rita, 2019)

6.1.1. Rendimientos para la producción de biogás

En cuanto a los rendimientos para la producción de biogás se observó en los resultados que estos varían de forma considerable entre las especies anteriormente descritas, el espacio de cultivo, porcentaje de humedad y peso seco y las constantes de bioconversión en laboratorio fueron parámetros estándares para todas las especies, la diferencia para la producción por lo tanto radica en el tiempo de cultivo, las cuales varían entre 3 y los 12 meses aproximadamente, por lo tanto, es importante a la hora de la planificación de un plan de gestión de este tipo considerar la tasa de crecimiento junto con la cantidad de biomasa estimada.

Es así como tanto el Huiro y el Pelillo tienen los mejores resultados a la hora de comparar sus rendimientos, los resultados estiman que el Huiro tendría una mínima productividad anual de aproximadamente 276 ml/m² de biogás con una

constante de producción de 46 ml de biogás por kg de cultivo en peso seco, mientras que la máxima esperable se estimó en 1953,6 ml/m² con una constante de 185 ml de biogás por kg de biomasa en peso seco. Así mismo, para el caso del Pelillo los datos son muy diferentes entre sí, la mínima que se estimó es de aproximadamente 574,08 ml/m² de biogás por una constante mínima de 46 ml/ kg de cosecha en peso seco, mientras que el rendimiento máximo es de aproximadamente 3330 ml/m² con una constante máxima de producción de 185ml de biogás por kg de cosecha en peso seco.

Para la estimación de biogás por biomasa acumulada se sugiere realizar una cuantificación de cada uno de los componentes celulares ya que cada uno de ellos es aprovechado en el proceso de digestión, ya sea en fases iniciales de hidrólisis o en las fases de metanogénesis utilizando sub – productos del proceso. Para efectos de este trabajo, la cuantificación de biomoléculas no fue posible debido al acotado tiempo de estudio y planificación de la propuesta. Así mismo, si bien es cierto existen investigaciones donde caracterizan la concentración de proteínas, lípidos y carbohidratos de algas, estas son escasas y no aportan datos suficientes para extrapolarlos a especies cultivadas. A partir de esto, otra alternativa de estimación de rendimientos es aplicar una constante teórica de producción de biogás a partir de materia prima, en este caso la revisión bibliográfica arrojó 14 investigaciones donde se utilizaban tanto microalgas y macroalgas como materia prima, de estas solo 4 cumplieron con los criterios de selección que correspondían a publicaciones desde el 2010 en adelante, macroalgas como materia prima y rendimientos superior al 50% en producción de biogás. Por lo tanto las constantes utilizadas fueron de 65,3 ml de biogás por kg de cultivo en peso seco (Díaz, 2010), 65 ml de biogás por kg de cosecha en peso seco (Ramasamy & Sanggeetha, 2011), 46 ml de biogás por kg de cosecha en peso seco (Silvia & Stokes, 2016) y 185 ml de biogás por kg de cosecha en peso seco (Stokes & Tadesco, 2017). Al analizar las características operacionales utilizadas por cada autor estas dan cuenta que los mejores rendimientos se obtuvieron a temperaturas que van desde los 25°C hasta los 30°C, siendo a los 27°C el mejor rendimiento, así mismo, los

rangos de pH utilizados solo dos de las cuatro publicaciones utilizadas lo registraron, siendo estas a un rango de 6.8 y 7.0 en la escala de pH.

Los resultados establecen que en promedio el Pelillo y el Huiro tienen la mayor tasa de productividad en biogás con aproximadamente 2668,93 ml/m² y 1266,38 ml/m² anuales respectivamente, equivalentes a 26.669.300 ml/ha o 26,669 m³ de biogás por hectárea de cultivo, así mismo el Huiro tiene una equivalencia de 12.663.600 ml/ha de cultivo o 12,663 m³ de biogás por hectárea de cultivo. Esta cantidad de gas producido equivale aproximadamente a 64 y 30 kWh, 18,6 y 8,86 litros de gasolina, 16 y 7,5 m³ de gas natural para el Pelillo y el Huiro respectivamente. Con estos resultados se podrían aplicar múltiples usos, como por ejemplo la generación de calor o vapor, correspondiente al uso más simple que se le puede dar. En aquellos lugares donde los combustibles son escasos, los sistemas pequeños de biogás pueden proporcionar la energía calórica para actividades básicas como cocinar y calentar agua. Los sistemas de pequeña escala también se pueden utilizar para iluminación. (Ministerio de energía, 2019). La generación de electricidad o combinación de calor y electricidad es otra alternativa de uso, ya que los sistemas combinados de calor y electricidad utilizan la electricidad generada por el combustible y el calor residual que se genera. Algunos sistemas combinados producen principalmente calor y la electricidad es secundaria. Otros sistemas producen principalmente electricidad y el calor residual se utiliza para calentar el agua del proceso. El uso de biogás en estos sistemas requiere la remoción de H₂S (bajo 100 ppm) y vapor de agua. (Ministerio de Energía, 2019).

El uso vehicular del biogás es posible y en la realidad se ha empleado desde hace bastante tiempo. Para esto, el biogás debe tener una calidad similar a la del gas natural, para usarse en vehículos que se han acondicionado para el funcionamiento con gas natural. La no utilización masiva en el parque automotriz obedece a tres razones, la primera es el proceso de purificado necesario para estar contenido en recipientes de alta presión, la segunda razón es el costo de la

conversión de los motores y finalmente la falta de una red de abastecimiento y la energía involucrada en la compresión a gran escala de este tipo de uso. (Ministerio de Energía, 2019).

6.2. Caracterización parámetros físicos, químicos, biológicos y delimitación zona de cultivo.

La bahía de Quintero presenta oleajes de baja intensidad y vientos clasificados como brisa y viento suave, donde su valor es aproximadamente de 3,5 m/s. Este dato garantiza un cultivo en suspensión debido a que oleaje y vientos de mayor intensidad provocan pérdidas en cultivos de estas características. Por lo tanto, las cuatro especies de algas antes descritas podrían ser cultivadas sin que estos parámetros influyeran en tener pérdidas durante su fase de crecimiento. Es necesario dejar en claro, que tanto el Huiro y el Pelillo tienen mejor rendimiento en cultivos en profundidad adheridos a sustratos que les permita desarrollar un crecimiento a mayor escala (Ministerio de Medio Ambiente, 2019).

En tanto a la cantidad de luz y temperatura, es importante que los cultivos de superficie tengan buena flotabilidad ya que por debajo de los 3 metros de profundidad la cantidad de luz entrante al cuerpo de agua es menor, lo que provoca una disminución en la tasa fotosintética y a su vez un menor crecimiento. Las temperaturas óptimas para el crecimiento de algas se encuentran entre los 15 y los 20°C, teniendo una flexibilidad a temperaturas más bajas (Edding, 2006). Así mismo, la bahía de Quintero tiene temperaturas que van en época de invierno desde los 11°C hasta los 22°C en épocas de verano, obteniendo un promedio de 14°C aproximadamente, por lo tanto, se esperaría un crecimiento inicial un tanto más retardado producto de esta baja temperatura, que si bien es cierto es poco, puede retardar el crecimiento vegetativo de las algas. Aun así, en los artículos citados (Rita, 2019), el crecimiento y cultivos son factibles con estas temperaturas que se encuentran bordeando el óptimo de crecimiento.

Tanto el pH y la cantidad de oxígeno disuelto, estos se encuentran en rangos aceptables para sustentar el crecimiento de especies. Es importante hacer monitoreo de pH ya que existen zonas monitoreadas por el ministerio de medio ambiente y también por empresas propias de la zona que han arrojado cifras de pH igual a 3 y valores máximos igual a 11. El crecimiento óptimo es a un pH entre 7 y 8, que es prácticamente el común denominador para muchas especies, ya que el pH marino también bordea entre los 7.5 y 8.5, adaptándose a estos parámetros la gran mayoría de estas. Por lo tanto los océanos son ligeramente más alcalinos, y el que existan zonas con pH más ácido puede responder a la integración de CO₂ al cuerpo de agua, o por acción de otros compuestos desprendidos por las industrias de la zona. Otros factores a tener en cuenta son el estado de los instrumentos de medición, temperatura, presión y profundidad. Pero en sí, el promedio tanto en invierno y verano están entre los 7,7 y 7,9 en la escala de pH, lo que podría garantizar valores relativamente óptimos para un crecimiento algas y actividades de acuicultura.

Respecto a los resultados de las mediciones de metales pesados en la zona de Quintero establecidos por la DIRECTEMAR y el POAL, se estableció que existe la presencia de estos en la bahía y que su principal fuente proviene de la alta actividad antropogénica e industrial de la zona, evidenciando también un riesgo tanto para la vida acuática y la población residente en la zona. (Comisión de Recursos Naturales, Bienes Nacionales y Medio Ambiente, 2011). Es así como el cultivo de algas también podría ser usado como fuente de biorremediación, herramienta que usa organismos para la remoción de contaminantes ambientales y/o detoxificación de ellos (Chekroun & Baghour, 2013). Ante lo expuesto, queda como alternativa de investigación cuales serían los efectos a corto y largo plazo de un cultivo de macro algas en la zona propuesta como fuente de biorremediación en la eliminación de metales pesados.

El proceso de acuicultura en especies de algas y la posterior utilización como materia prima tiene fases diferenciadas de trabajo. La primera etapa concierne a todo lo relacionado al cultivo propiamente tal. Los manuales de cultivo como el realizado por el instituto de ciencia y tecnología 2019, sugiere la limpieza de la zona de cultivo, esto se explica ya que existen algas, poliquetos, bivalvos y crustáceos que pueden disminuir el rendimiento. La reducción de cerquillos en el medio podría también ayudar a disminuir la acumulación de sedimentos y estas especies, ya que provocan la poca circulación del agua. Obtener buenas fuentes de gametofitos logrará garantizar una buena siembra y cosecha en el tiempo, es por eso, que la fase de laboratorio y la elección de la especie son factores primarios de consideración. SERNAPESCA en su programa de vigilancia establecido el año 2015 propone realizar un seguimiento de algas nocivas que afectan a los cultivos acuícolas, en su revisión se menciona la existencia de algunas Clorophytas que han provocado pérdidas de hasta el 90% del cultivo total, es así como en el año 2013 en el río Maullin y en el Río Pudeto de Ancud se registró la presencia de un alga verde filamentosa llamada *Rhizoclonium spp.*, parece ser que las macroalgas verdes suelen estar asociadas a la producción de pelillo y otras algas pardas de buen crecimiento. Esto se podría explicar ya que las algas verdes tienden a ser de menor tamaño, así mismo sus relaciones interespecíficas de competencia por territorio, obligarían a este tipo de especie a ocupar a otras como sustrato de fijación, así aumentan su población y zonas de crecimiento a expensas de las cultivadas y el factor limitante de zona de crecimiento ya no sería un problema, esto les permitirá captar una mayor cantidad de luz y de esta forma aumentar su biomasa de forma exitosa. Una vez realizado el cultivo es importante el proceso de cosecha, este debe ser en los periodos óptimos de máximo crecimiento de las algas, este va depender del ciclo de vida de cada especie, especialmente del crecimiento vegetativo que es el que se estima producir en el medio marino (IFOP, 2021).

Con respecto a las zonas para el sustento del cultivo, solo 4 son consideradas como áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos, el Papagallo, el

Embarcadero, NW pen. Los Molles y Farellones de Quintero. De estas solo la zona del Embarcadero tiene facultades para la explotación de macroalgas, específicamente para Huiro Negro, Palo y Canutillo mientras que Los Molles solo extrae Huiro Canutillo. A partir de lo anterior es necesario dejar en claro que los parámetros descritos como resultados en este estudio solo abarcan 2 de las 4 zonas, el Embarcadero y Farellones de Quintero, por lo tanto se desconoce si física y químicamente la bahía puede sustentar un cultivo en las áreas no estudiadas. La zona que cumple con todos los requerimientos de cultivo para este estudio es la AMERB del Embarcadero, pero también se podría extender a las zonas más cercanas, entendiendo que NW. Pen. Los Molles tiene la facultad para la extracción y manejo de macroalgas y solamente se deberían medir los parámetros limitantes para el cultivo, mientras que la zona el Papagallo si bien es cierto no cuenta con la autorización marítima para la extracción y manejo de macroalgas, su cercanía a las 2 zonas antes descritas podría significar un aumento considerable en el área para el sustento de un posible cultivo, ya que el Embarcadero cuenta con 22ha, NW. Pen. Los Molles con 97ha y el Papagallo con 73ha, completando una zona posible de cultivo equivalente a 192ha, lo cual podría significar un aumento en los rendimientos de cultivo de casi un 200%.

6.3. Etapas y operaciones requeridas para la producción de biogás a partir de macro-algas

Para la producción de macroalgas se establecieron las etapas de cultivo, cosecha, secado, triturado y lavado. Dichas etapas se encuentran sujetas tanto al espacio, tipo de cultivo y uso de este.

Para el caso del cultivo según lo establecido en los manuales, estos pueden ser tanto de fondo como también suspendidos dependiendo de la batimetría del fondo marino. (Vergara, *et al.* 2021). En el presente trabajo la propuesta de cultivo es mediante un parque en suspensión ya que el fondo marino de la bahía presenta

una mayor pendiente en los primeros 250 m aproximadamente desde la línea de costa, y una menor pendiente hasta los 1600 m alejados de ésta (Carabias *et al.* 2014), es así como un cultivo en el fondo marino no sería sustentable a la larga debido a que se necesitan profundidades máximas de 5 a 10 m, por lo que el margen de cultivo sería casi nulo con una escasa productividad. De esta forma el cultivo en suspensión si es posible en todo el margen de la bahía por sus condiciones ya antes mencionadas. Así mismo, el cultivo por fijación a un fondo rocoso también se vería dificultado debido a que estudios de granulometría especifican que este se encuentra formado por una primera capa de arena fina entre los primeros 5 a 10 cm, una unidad 2 de grava arcillosa de 41,8 cm y una unidad 3 de arena fina arcillosa de 27,5 cm. (Vargas, *et al.* 2008).

Para el caso de la cosecha es importante realizar un monitoreo previo que permita establecer la cantidad de biomasa algal extrayendo periódicamente las líneas sembradas para ser masadas. La periodicidad de este procedimiento debe ser mensual y debe realizarse en época de crecimiento que corresponde generalmente entre los meses de abril a septiembre. Lo anterior se hace indispensable para asegurar una posterior cosecha que pueda sacar rendimientos de cultivo deseables como materia prima a utilizar. La cosecha en cultivos de suspensión es un sistema sencillo de realizar, se debe tomar cada una de las líneas, soltarlas de los extremos y subirlas a la embarcación, posteriormente se podan y es necesario dejar una porción similar a la encordada en un principio, de esta forma se pueden reincorporar al sistema de cultivo y asegurar un crecimiento para la próxima cosecha. (Vergara, *et al.* 2021).

Las algas tienen aproximadamente entre un 80 y el 98% de agua, es por esto que el periodo de secado es importante, algas que aún no pierdan este porcentaje pueden afectar el proceso en el digester disminuyendo la eficiencia de este. El corte y molienda son factores a considerar, ya que biomasa en grandes porciones puede generar un retraso en la metabolización de este por parte del consorcio microbiano y así aumentar el tiempo de retención hidráulico. (Ministerio de

energía, 2011). Así mismo, el corte y la molienda apuntan a reducir el tamaño de las partículas y lleva a un incremento del área superficial disponible para los microorganismos, lo que resulta en un doble beneficio, reduce el tiempo de la digestión entre un 23% y un 59% y causa un incremento en el rendimiento del biogás cuantificable entre un 5% y un 25% en la mayoría de las lignocelulosas. (Nicoria, 2020). Este paso puede ser considerado como parte del pre-tratamiento mecánico para alimentar un biodigestor. Un pre-tratamiento de la biomasa busca acondicionar la materia prima para obtener mejores rendimientos de transformación a biogás. El principio fundamental de la etapa se basa en facilitar la degradación de la materia prima, ya sea aumentando su superficie de contacto o degradando parcialmente la biomasa. Otros pre-tratamientos de escala industrial son los térmicos, que tienen por función inyectar calor al sistema, logrando aumentar la solubilidad de los compuestos, eliminación de microorganismos patógenos dependiendo de la temperatura aplicada, e inclusive aumentar los niveles de metano como producto de la digestión. (Hanjie, 2010).

Los tratamientos químicos también forman parte del pre-tratamiento utilizando principalmente agentes oxidantes en técnicas como la ozonización y peroxidación. Estas permiten la degradación del sustrato promoviendo la actividad de microorganismos, esto debido a la mayor facilidad para degradar la materia prima. Así mismo, los tratamientos termoquímicos son una combinación de ambos, se agrega un agente alcalino con inyección de calor. (Hanjie, 2010).

La selección de un bioreactor o biodigestor adecuado es especialmente crítica para maximizar la producción de bioenergía. La capacidad de retención de biomasa es una consideración importante para seleccionar un bioreactor adecuado debido a que los microorganismos anaeróbicos crecen de forma muy lenta durante la generación metabólica de metano, hidrógeno, etanol y butanol. (Ministerio de energía, manual de biogás 2011).

La temperatura de operación del digestor, es considerada uno de los principales parámetros de diseño, debido a la gran influencia de este factor en la velocidad de digestión anaeróbica. Por lo tanto, y como antes se mencionó, dependiendo de la cantidad de materia orgánica suministrada al reactor, el tipo de microorganismos utilizados y la velocidad de salida del efluente es que la preparación de las condiciones terminas al interior juegan un papel importante en el funcionamiento.

Las variaciones bruscas de temperatura en el digestor pueden gatillar la desestabilización del proceso. En estudios realizados por Lagrange, 1979 explica como los rangos de temperatura óptimos van de la mano con el tiempo de fermentación, es así como aquellos organismos psicrófilos tienen un rango óptimo de funcionamiento entre 15 y 18°C, lo que significa que su tiempo de fermentación es mayor, e incluso sobre 100 días. Para el caso de organismos mesofílicos estos trabajan a una temperatura optima entre 25 y 35°C con fermentaciones de entre 30 y 60 días, mientras que organismos termofílicos trabajan a temperaturas entre 50 y 60°C disminuyendo el tiempo de fermentación entre 10 y 15 días. Es así como también los periodos de digestión serán divididos en una fase dependiente de oxígeno, específicamente en la hidrólisis de proteínas, lípidos y carbohidratos, para finalmente trabajar a concentraciones mínimas de oxígeno, es decir, bacterias anaeróbicas o también facultativas, quienes podrán trabajar sin estrés metabólico en ambas condiciones.

El biogás en su producción posee distintos gases contaminantes que interfieren para los fines energéticos, los cuales deben ser separados de la mezcla. El post tratamiento puede ser clasificado en fisicoquímicos y biológicos, asegurando la eliminación de H₂S (Ácido sulfhídrico) como compuesto corrosivo para los equipos y toxico para la salud, pudiendo también reaccionar con el vapor de agua H₂O formando H₂SO₄ (Ácido sulfúrico). Así mismo, la mezcla posee CO₂ (Dióxido de Carbono) que disminuye la capacidad calorífica de la mezcla gaseosa. Aún más, conservar el gas crudo en el proceso y combustionar este, generara SOx (óxidos de azufre), CO (Monóxido de carbono) y NOx (Óxidos de nitrógeno), los que son

perjudiciales para el medio ambiente y cuyas emisiones se encuentran normadas por ley. (RINFI, 2019).

Una vez purificado el biogás este puede ser aprovechado energéticamente mediante el uso de tecnologías que puedan convertir la energía química del combustible en energía térmica, eléctrica o mecánica. De esta forma las etapas sobre la generación de biogás desde el pre-tratamiento hasta el post-tratamiento se hacen indispensables y deben ser evaluadas según el tipo de sustrato y la utilización de este.

7. Conclusiones:

Al utilizar constantes de producción de biogás en laboratorio con algas como materia prima, dimensiones de cultivo en suspensión de 1 ha, y teniendo la cantidad de biomasa producida por metro lineal de cultivo, si es posible estimar el potencial teórico de producción de biogás tanto en especies de algas Clorophytas, Phaeophytas y Rodophytas, estableciendo como por ejemplo que de las especies estudiadas es *Agarophyton chilense* (Pelillo) quien tiene el mayor potencial teórico de producción de biogás anual con 26,669 m³/ha, seguido por *Macrocystis pyrifera* (Huiro) con una estimación promedio de producción de biogás de 12,663 m³/ha, *Sarcothalia crispata* (Luga) con una estimación promedio de biogás de 0,74 m³ y finalmente *Porphyra – piropia spp.* (Luche), con una producción promedio de biogás cercana al 1,75 m³. Los datos concluyen que el Pelillo y el Huiro tienen una productividad anual superior entre 26 y 12 veces más respectivamente en comparación con la Luga y el Luche.

La definición de la zona geográfica ubicada en la bahía de Quintero corresponde al sector del Embarcadero que finalmente cumple con las condiciones físicas, químicas, biológicas, ambientales y también legislativas para el sustento de un cultivo de algas, estando sujeta a los factores limitantes de crecimiento, ya que a partir de estos se pudo realizar un análisis de diferentes documentos que permitieron establecer y concluir lo siguiente: El viento con un promedio de 3,5 m/s y con una clasificación de brisa suave es ideal para el cultivo de algas, la temperatura con un promedio de 14°C si cumple con los valores mínimos de crecimiento, el promedio de pH con valores entre 7,7 y 7,9 en la escala de pH también es el óptimo para el desarrollo de la biomasa algal, en cuanto a la biodiversidad de la zona, la bahía de Quintero en forma natural presenta desarrollo de especies tanto Clorophytas, Rodophytas y Phaeophytas, por lo tanto el desarrollo acuícola si es posible haciendo un correcto desarrollo desde el laboratorio o colecta hasta el cultivo, así mismo se concluye que el éxito de este dependerá del monitoreo de especies epifitas. En síntesis se concluye que la

definición y el estudio de los parámetros físicos, químicos y biológicos, en conjunto con la delimitación de áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos si pueden sustentar el cultivo y recolección de algas para la producción final de biogás.

La definición de las etapas del proceso son las siguientes: Cultivo de macroalgas, que incluye actividades como planificación, diseño y construcción del parque de cultivo, luego está la cosecha, secado, molienda y lavado. Posteriormente tenemos la etapa de pre-tratamiento y alimentación, digestión y post-tratamiento. Las etapas definidas asegurarán un correcto proceso, desde la elección de las especies a cultivar, hasta la purificación del producto para fines pertinentes.

Finalmente, la producción de biogás es promocionada como un tipo de energía limpia, sustentable y carbono neutral, sin embargo, se debe prestar atención a la composición del biogás, ya que contiene gases contaminantes. Los esfuerzos por obtener un gas limpio y con mayor poder calorífico, requieren de procesos de purificación de biogás para obtener el producto esperado y ser utilizado en beneficio directo de la población.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Abbasi, T. (2012). Chapter 1: Biogas and biogas Energy: An introduction. En su: Biogas Energy. Springer. New York Dordrecht Heidelberg London. Pp. 2-10.
- Afify, A. E. M. R., Shallaby, E. A. & Shanab, M. M. (2010). Enhancement of biodiesel production from different species of algae. GRASAS Y ACEITES 61 (4), 416 - 422.
- Algaebaseae. (2019). <https://www.algaebase.org/>. 2019
- Alveal, K. (1988). Gracilaria de Tubul: Historia y Significado de un recurso marino. Gayana Botánica 45(1-4):119-140.
- Aresta, M., Dibenedetto, A., Carone, M., *et al.*, (2005). Production of biodiesel from macroalgae by supercritical CO₂ extraction and thermochemical liquefaction. Environ. Chem. Lett. 3, 136 - 139.
- Arias, E. (2017). Estudio prospectivo de instalaciones industriales para cultivo intensivo de macroalgas marinas en Cuba (Doctoral dissertation, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Química Farmacia. Departamento de Ingeniería Química).
- Avila M., Aroca G., Rodríguez D., Riquelme R., Piel Ml., Ramírez ME., De Zarate C. (2019). Manual de Buenas Prácticas para el cultivo del Pelillo (*Agarophyton chilensis ex Gracilaria chilensis*). Serie programa educativo para la Pesca Artesanal. VI Manual de buenas prácticas para el pelillo
- Ávila, M., Candia A, Núñez M & Romo H. (1999). Reproductive biology of *Gigartina skottsbergii* (Gigartinaceae, Rhodophyta) from Chile.

Hydrobiología 398/399: 149-147.

- Barrales, H. & A. Pizarro. (1984). Prefactibilidad técnica del cultivo controlado del alga *Gracilaria* sp., II Parte. Convenio Universidad de Concepción SERPLAC II Región. Informe 213 pp.
- Basurto, B., & Alcívar, K. (2019). Determinación de las características fisicoquímicas del alga parda *Sargassum ecuadoreanum* en la zona intermareal, ubicada en Santa Elena.
- Bucholc, K., Szymczak-Żyła, M., Lubecki, L., Zamojska, A., Hapter, P., Tjernström, E., & Kowalewska, G. (2014). Nutrient content in macrophyta collected from southern Baltic Sea beaches in relation to eutrophication and biogas production. *Science of the Total Environment*, 473, 298-307.
- Camus, C & Buschmann H. (2017). *Macrocystis pyrifera* aquafarming: Production optimization of rope-seeded juvenile sporophytes. *Aquaculture* 468: 107–114.
- Candia, M. (2018). Microalgas como fuente de biomasa para la producción de biogás. Instituto Potosino de investigación científica y tecnológica, A.C.
- Carabias, D., Cartajena, I., Simonetti, R., López, P., Morales, C. & Ortega, C. (2014). Submerged Paleolandscapes: Site GNL Quintero 1 (GNLQ1) and the First Evidences from the Pacific Coast of South America. Springer, Science+Business Media, New York.
- Carlsson, M., Lagerkvist, A., *et al.* (2015). "The effects of substrate pre-treatment on anaerobic digestion systems: A review". *Waste Manage*, vol 32, num 9, 2012, p. 1634-1650.

- Carrasco, J. (2015). Evaluación técnica y económica de una planta de biogás para autoabastecimiento energético: Una estrategia para diferentes contextos. Memoria para optar al título de ingeniero civil en biotecnología. Universidad de Chile, facultad de ciencias físicas y matemáticas, departamento de ingeniería química y biotecnología.
- Castro, A., Chavez, N., Sotelo, A., & Sumarriva, L. (2019). Evaluación biológica de proteína, vitaminas, minerales y aminoácidos del alga comestible *Ulva lactuca* “Lechuga de Mar” del litoral peruano. *Rev Soc Quím Perú*. 85(1). 2019.
- Cecílio, T. M. P. (2012). Guia de Identificação Invertebrados Marinhos da Baía de Buarcos (Tese de Mestrado). Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Portugal.
- Correa T, Gutiérrez A, Flores R, Buschmann A, Cornejo P & Bucarey C. (2014). Production and economic assessment of giant kelp *Macrocystis pyrifera* cultivation for abalone feed in the south of Chile. *Aquaculture Research* 47(3) 698-707.
- Diaz, P. (2010) Obtención de gas combustible mediante la bioconversión del alga marina *Ulva lactuca*. Serie Oceanológica. No. 7, 2010 ISSN 2072-800x
- Dirección meteorológica de Chile.(2021). <http://www.meteochile.gob.cl/PortalDMC-web/index.xhtml>.
- DIRECTEMAR. (2019). Mapas de sensibilidad ambiental Bahías de Quintero, Concón y Valparaíso. Carta Náutica Electrónica N° CL5VA005.

- Dorado, A. D., Arellano, L., Fortuny, M., Gabriel, D., Gamisans, X., Gonzalez.Sánchez, A., Sierra, H. (2017). Purificación y usos del biogás Purification. (D. Gabriel & H. Sierra, Eds.). Universidad Autónoma de Barcelona.
- EcoTecnos S.A. (2013). "Estudio de ecología de comunidades biológicas, oxiquim ventanas, Región de Valparaíso". EcoTecnos S.A. Julio 2013.
- Edding, M., Tala, F., & Vásquez, J. (2006). Fotosíntesis, productividad y algas marinas. Fisiología Vegetal. Ediciones Universidad de La Serena, 1-39.
- Escobedo, M. *et al.*, (2021). Biomasa microalgal con alto potencial para la producción de biocombustibles. *Scientia Agropecuaria*, 12(2), 265-282.
- Frikha, F., Kammoun, M., Hammami, N., Mchirgui, R. A., Belbahri, L., Gargouri, Y., & Ben-Rebah, F. (2011). Composición química y algunas actividades biológicas de algas marinas recolectadas en Túnez. *Ciencias marinas*, 37(2), 113-124.
- Garcia, L. (2015). Caracterización Bromatológica de Macroalgas "Rodofitas, Clorofitas y Feofitas Marinas en la Zona Intermareal Rocosa del puerto de Manta (Vol. 9).
- González, E.M.L. y Raboso, J. Á. (2007). Algas Marinas de Asturias; Edita y promueve:Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras y Obra Social la Caixa; Asturias. 278 pp.
- Gosch B.J., Magnusson M., Paul N.A., de Nys R. (2012). Total lipid and fatty acid composition of seaweeds for the selection of species for oil-based biofuel and bioproducts. *Global Change Biology Bioenergy*, 4(6): 919-930.

- Guisado, C. (2017). Diseño y valoración de modelos de cultivo para la acuicultura de pequeña escala. Proyecto FIPA N°2015-02. 556 pp.
- Gutiérrez, R. (2016). Algas marinas como fuente de compuestos bioactivos en beneficio de la salud humana. Art. Biotecnia, 2016.
- Gutiérrez A, Correa T, Muñoz V, Santibañez A, Marcos R, Cáceres C & Buschmann AH. (2006). Farming of the giant kelp *Macrocystis pyrifera* in southern Chile for development of novel food products. *Journal of Applied Phycology* 18: 259-267.
- Hanjie, Z. (2010). Sludge treatment to increase biogas production, Stockholm.
- Haydelba, D., Marylin, N., Isabel, S. M., Leonor, B., & Jorge, B. (2020). Composición química y biotoxicidad del alga roja *Kappaphycus alvarezii* Doty (Solieriaceae) *AquaTechnica: Revista Iberoamericana de Acuicultura.*, 2(1), 31-40.
- Hormazabal, N. (2019). Habitar en una zona de sacrificio: Análisis multiescalar de la común de Puchuncaví. *Rev. Hábitat sustentable* vol. 9 N°2. Concepción Dic. 2019.
- Hughes A.D., Kelly M.S., Black K.D., Stanley M.S. (2012). Biogas from macroalgae: is it time to revisit the idea *Biotechnology for Biofuels*, 5: 1-86.
- IDAE. (2007). Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Departamento de energía "Biomasa: Digestores anaerobios. Madrid 2007.

- International Energy Agency. (2020). Key World Energy Statistics 2020. París: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/295f00f5-en>.
- Kim, M. H., Oh, H. C., & Bae, H. J. (2017). Comparison of red microalgae (*Porphyridium cruentum*) culture conditions for bioethanol production. *Bioresource Technology*, 233, 44-50.
- Kraan S. (2013). Mass-cultivation of carbohydrate rich macroalgae, a possible solution for sustainable biofuel production. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 18(1): 27–46.
- Krause-Jensen, D., Carstensen, J., & Dahl, K. (2007). Total and opportunistic algal cover in relation to environmental variables. *Marine Pollution Bulletin*, 55(1-6), 114-125.
- Lagrange, B. (1979). Biomethane. Principes, Techniques, Utilisation. Vol.2 . Edisual / Energies Alternatives. 249pp.
- León, D., Candelaria, C., Hernández, P., & H., L. (2017). Géneros de algas marinas tropicales de México: Algas Verdes. UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, 7-8.
- Little, C., & Lara, A. (2010). Restauración ecológica para aumentar la provisión de agua como un servicio ecosistémico en cuencas forestales del centro-sur de Chile. *Bosque (Valdivia)*, 31(3), 175-178.
- Maceiras, R., Rodriguez, M., Cancela, A., et al., (2011) Macroalgae: raw material for biodiesel production. *Applied Energy* 88, 3318 - 3323.

- Macchiavello, J, Araya E & Bulboa C. (2010). Production of *Macrocystis pyrifera* (Laminariales: Phaeophyceae) in northern Chile on sporebased culture. *Journal of Applied Phycology* 22: 691-697.
- MMA. (2019). Análisis crítico de los informes de seguimiento ambiental y de los planes de vigilancia ambiental de los establecimientos que descargan residuos líquidos a la bahía de Quintero, región de Valparaíso. Ministerio de medio ambiente.
- MMA. (2013). Análisis de riesgo ecológico por sustancias potencialmente contaminantes en el aire, suelo y agua, en las comunas de Concón, Quintero y Puchuncaví. Noviembre, 2013.
- Ministerio de Energía. (2021). Planificación Energética de Largo Plazo. Disponible en:https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/pelp2023-2027_informe_preliminar.pdf
- Ministerio de energía. (2011) Manual de biogás. Proyecto CHI/00/G32 “Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables”.
- Miranda, H., Tenorio, L., Jiménez, A., Vázquez, M., Salin, B., Giraud, M. F., & González-Halphen, D. (2018). Oxidative phosphorylation supercomplexes and respirasome reconstitution of the colorless alga *Polytomella* sp. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, 1859(6), 434-444.
- Molina, E. (2017). Estudio prospectivo de instalaciones industriales para cultivo intensivo de macroalgas marinas en Cuba (Doctoral dissertation, Universidad Central" Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Química Farmacia. Departamento de Ingeniería Química).

- Moraes, B.; Zaiat, M & Bonomi, A. (2015). Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane ethanol production in Brazil: Challenges and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 888-903.
- Nicora, F. (2020). Diseño y simulación de un biodigestor alimentado con energía solar para Durvillaea Antártica. Memoria de titulación para optar al título de ingeniero civil mecánico, Universidad Federico Santa María, departamento de ingeniería mecánica.
- Pachón, N. (2022). Biorreactor de digestión anaerobia para la determinación del potencial bioquímico de metano (BMP). Universidad Antonio Nariño facultad de ingeniería civil y ambiental, maestría en ingeniería de bioprocesos. Bogotá D.C Colombia 2022.
- Perez, J. (2010). Estudio y diseño de un biodigestor para aplicación en pequeños ganaderos y lecheros. Universidad de Chile, facultad de ciencias físicas y matemáticas. 2010.
- Peu, P., Sassi, J. F., Girault, R., Picard, S., Saint-Cast, P., Béline, F., & Dabert, P. (2011). Sulphur fate and anaerobic biodegradation potential during co-digestion of seaweed biomass (*Ulva* sp.) with pig slurry. *Bioresource technology*, 102(23), 10794-10802.
- Peteiro, C., et al. (2016). El potencial de la maricultura de laminarias como fuente para la obtención de biocombustibles y otros bioproductos en la costa atlántica de España.
- Peteiro C., Freire Ó. (2013). Epiphytism on blades of the edible kelps *Undaria pinnatifida* and *Saccharina latissima* farmed under different abiotic conditions. *Journal of the World Aquaculture Society*, 44(5): 706–715.

- Pizarro, A. (1986). Conocimiento actual y avances recientes sobre el manejo y cultivo de Gracilaria en Chile. Monografías Biológicas. P. Universidad Católica de Chile. 4: 63:96.
- Ponce, E. (2016). Métodos sencillos en obtención de biogás rural y su conversión en electricidad, Escuela Universitaria de Ingeniería Mecánica.
- Posada, A. (2021). Prefactibilidad técnica, económica y social para la producción de biogas a partir de residuos agropecuarios y macroalgas para la comunidad mapuche José Painecura. Universidad de Chile, facultad de ciencias físicas y matemáticas, departamento de ingeniería química, biotecnología y materiales.
- Quitral et al, M. (2012). Propiedades nutritivas y saludables de algas marinas y su potencialidad como ingrediente funcional. Revista Chilena de nutrición.
- RINFI. (2019). Diseño de una planta de producción de biogás, Universidad nacional de mar del plata.
- Rita, A. (2019). Guía ilustrada de macroalgas bahía de Buarcos. Universidad de Coimbra.
- Rodríguez, C. (2017). Revisión: Producción de Biodiesel a partir de algas.
- Roesijadi, (2010). Macroalgas como materia prima de biomasa: un análisis preliminar.
- Romo H, Ávila M, Candía A, Núñez M, Oyarzo C, Galleguillos F & Cáceres J. (2001). Manual de técnicas de cultivo de “Luche” (*Porphyra sp.*) Proyecto FONDEF D0111148. IFOP, 32 pp.

- Sangeetha, C., & Ramasamy R. (2011). Influence of different crop establishment methods on productivity of rice—A Review. *Agricultural Reviews*, 36(2), 113-124.
- Saavedra S, Henríquez L, Leal P, Galleguillos F, Cook S, y Cárcamo F. (2019). Cultivo de Macroalgas: Diversificación de la Acuicultura de Pequeña Escala en Chile. Convenio de Desempeño, Subsecretaría de Economía y Empresas de Menor Tamaño. Instituto de Fomento Pesquero. 106 pp.
- Salinas, E., & Simarra, J. (2019). Evaluaciòn Del Grado De Contaminaciòn Bacteriana (Aerobios, Coliformes Totales Y Fecales) En La Zona Supralitoral De 3 Tipos De Algas, Parroquia Ballenita.
- Schiel, D. R., Steinbeck, J. R., & Foster, M. S. (2004). Ten years of induced ocean warming causes comprehensive changes in marine benthic communities. *Ecology*, 85(7), 1833-1839.
- Seadi, T. A., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S., & Janssen, R. (2008). *Biogas Handbook*. Igarss 2014. <https://doi.org/10.1533/9780857097415.1.85>.
- SERNAPESCA. (2023). Áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos bahía de Quintero.
- Silvia, T. & Stokes, J. (2017). Valorización al biogás de las corrientes de residuos de macroalgas: un enfoque circular para los bioproductos y la bioenergía. Inglaterra: Universidad Metropolitana de Manchester, 2017.
- SUBPESCA. (2016). Determinación de los impactos en los recursos hidrobiológicos y en los ecosistemas marinos presentes en el área de

influencia del derrame de hidrocarburo de Bahía Quintero, V Región. Subsecretaría de pesca y acuicultura.

- Tedesco, S. & Stokes, J. (2017). Valorización de biogás de flujos de residuos de macroalgas: Un enfoque circular de bioproductos y bioenergía en Irlanda. Irlanda. Centro Nacional de Información Biotecnológica. 2017.
- Usepa U. S. Environmental Protection Agency. (2013). Inventory of U. S. Greenhouse gas emissions and sinks: 1990-2011. Washington, dc, ee. uu.: [nscep] National Service Center for Environmental Publications.
- Vallejos, S. (2014). "Algas diversidad vegetal". Argentina: Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura.
- Vargas, G. & Ortega, C. (2008). Contexto geomorfológico y análisis sedimentológico preliminar de muestras de la Bahía Quintero, V Región. Informe Proyecto Terminal GNL Quintero, en ARKA 2008: Evaluación arqueológica subacuática del sitio GNL Quintero 1. Septiembre, 2008.
- Vergara, J. & Vásquez, C. (2021). Manual de procedimientos para la instalación y operación de un cultivo de pelillo. Proyecto Fortalecimiento de la capacidad de adaptación en el sector pesquero y acuícola chileno al cambio climático (GCP/CHI/039/GFF). Santiago de Chile, FAO.
- Yang, S. & Okos, M. (1987). Kinetic study and mathematical modeling of methanogenesis of acetate using pure cultures methanogens, Biotechnol. Bioeng.