



Estudio de la producción de la carragenina y su demanda a nivel mundial y nacional

Lasluisa Chicaiza, Marjorie Gabriela

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Petroquímica

Trabajo de Unidad de Integración Curricular, previo a la obtención del título de Petroquímica

Ing. López Ortega, Jessenia Estefanía. Msc.

13 de abril del 2021



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA CARRERA DE
PETROQUÍMICA**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de Unidad de Integración Curricular, “**ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN DE LA CARRAGENINA Y SU DEMANDA A NIVEL MUNDIAL Y NACIONAL**” fue realizado la señorita Lasluisa Chicaiza, Marjorie Gabriela el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 13 abril del 2021

Ing. López Ortega, Jessenia Estefanía

C.C.: 1804377347

REPORTE DE VERIFICACIÓN



Document Information

Analyzed document	UIC-Lastuisa_Marjorie_FINAL.docx (D101381992)
Submitted	4/12/2021 4:43:00 PM
Submitted by	Jessenia López
Submitter email	jelopez14@espe.edu.ec
Similarity	3%
Analysis address	jelopez14.espe@analysis.arkund.com

Sources included in the report

W	URL: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/12258/Mendoza_Alex_Tapia_Efra ... Fetched: 12/7/2020 11:18:32 PM		3
SA	EVALUACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LAS ALGAS ROJAS RHODOPHYTA BURBANO 0.docx Document EVALUACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LAS ALGAS ROJAS RHODOPHYTA BURBANO 0.docx (D40870879)		2
W	URL: https://docplayer.es/139436529-Universidad-nacional-agraria-la-molina.html Fetched: 3/14/2020 4:11:29 PM		2
W	URL: https://acoedacris.ulpgc.es/bitstream/10553/10935/6/0686411_00000_0002.pdf Fetched: 11/11/2020 11:09:01 AM		1
W	URL: http://opac.pucv.cl/pucv_txt/txt-3000/UCF3108_01.pdf Fetched: 12/4/2020 7:47:23 PM		8
W	URL: http://www.fao.org/3/y3550s/y3550s04.htm Fetched: 11/17/2020 1:03:46 PM		1
W	URL: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-38802011000200001 ... Fetched: 4/12/2021 4:49:00 PM		1



El reporte de verificación generado por:
JESSENIA
ESTEFANIA LOPEZ
ORTEGA



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS EXACTAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE PETROQUÍMICA

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, Lasluisa Chicaiza, Marjorie Gabriela, con cédula de ciudadanía N° 171852789-6 declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de Unidad de Integración Curricular: **“ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN DE LA CARRAGENINA Y SU DEMANDA A NIVEL MUNDIAL Y NACIONAL”** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 13 de abril del 2021

A handwritten signature in blue ink, which appears to be 'Marjorie Chicaiza', is written over a horizontal line.

Lasluisa Chicaiza, Marjorie Gabriela

C.C.: 171852789-6



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS EXACTAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE PETROQUÍMICA

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, Lasluisa Chicaiza, Marjorie Gabriela, con cédula de ciudadanía N° 171852789-6, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de Unidad de Integración Curricular: **“ESTUDIO DE LA PRODUCCIÓN DE LA CARRAGENINA Y SU DEMANDA A NIVEL MUNDIAL Y NACIONAL”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 13 de abril del 2021

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Lasluisa Chicaiza', is written over a horizontal line.

Lasluisa Chicaiza, Marjorie Gabriela

C.C.: 171852789-6

DEDICATORIA

Este escrito hecho con mucho esfuerzo y dedicación se lo dedico especialmente a mi madre Ernestina Guadalupe, quien ha sido una pieza clave en este proceso, me ha ayudado a superar todas las adversidades, me ha apoyado en toda decisión, me ha sabido guiar, me ha dado la mano y me ha levantado después de cada caída, me ha sabido compartir sus experiencias y me ha ayudado a crecer y a superarme.

A mi abuelita Rosario, que con su amor, paciencia y sabiduría me ayudó a forjar mi camino y aunque ya no me acompañe siempre estará presente en cada logro alcanzado, dedico este trabajo a mi padre Marcos quien ha estado al frente en los momentos difíciles, a mi hermana Paulina que me ha visto crecer y me ayudado a tomar buenas decisiones, a mi hermano Marco Patricio que ha seguido junto a mí este trayecto, a mis pequeños sobrinos Valentina y Nicolás quienes han cambiado mi vida desde su llegada y a todas las personas que siempre han creído en mí.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi familia por el apoyo incansable, por los malos momentos que hemos sabido superar y los buenos momentos que hemos sabido disfrutar.

Agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas porque siempre me abrió sus puertas, a los excelentes docentes que conocí en toda mi trayectoria universitaria, los mismos que me supieron guiar, aconsejar y de vez en cuando me ayudaron con ese pequeño empujón que todos necesitamos.

Al Lcdo. Romeo Carvajal MSc., que siempre estuvo dispuesto a darme la mano en cualquier situación, gracias por aconsejarme con sabiduría y ayudarme a no rendirme, a luchar por lo que quiero y obtener lo que merezco.

Agradezco mi tutora Ing. Jessenia López, que me ha ayudado a hacer una excelente investigación.

A los buenos amigos que he tenido el privilegio de conocer y a todas las personas que me han acompañado en este largo camino, que se han alegrado con mis logros, me han apoyado y me han ayudado a crecer personal y académicamente, esta etapa de mi vida me ha llenado de felicidad y buenos e inolvidables momentos, siento mucha gratitud por todo lo que me ha enseñado la vida, por todo lo que aprendí y por todo lo que aprenderé, gracias a todos los que rieron y lloraron junto a mí porque hoy gracias a ellos y aunque el camino no ha sido fácil, no me he rendido y estoy aquí celebrando este gran triunfo.

Tabla de contenidos

Carátula	1
Certificación	2
Reporte de verificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento	7
Tabla de contenidos	8
Índice de tablas	11
Índice de figuras	12
Resumen	13
Abstract	14
Introducción	15
Antecedentes	15
Planteamiento de problema.....	16
Justificación e importancia.....	17
Objetivos.....	18
<i>Objetivo General</i>	18
<i>Objetivos Específicos</i>	18
Hipótesis	19
Variables dependientes e independientes	19
<i>Variables dependientes</i>	19
<i>Variables independientes</i>	19
Fundamentación teórica	21
Algas Marinas	21
Alga roja.....	23
Polisacáridos del alga roja	25
Carragenina	27
Métodos de obtención de la carragenina	28
Aplicaciones de la carragenina	32
Metodología	37

Composición de las algas rojas	37
Estructura y tipos de carragenina	37
Métodos de extracción	37
Propiedades físico-químicas de la carragenina	37
Principales productores de carragenina a nivel mundial	37
Importancia del polisacárido en el mercado ecuatoriano.....	38
Demanda Nacional de carragenina	38
Selección del Mercado objetivo	38
Capacidad de la Planta	38
Consumo Per cápita	38
Resultados y discusión	40
Composición de las algas rojas.	40
<i>Evaluación físico-química de las algas rojas (Rhodophytas) existentes en la parroquia Ballenita provincia Santa Elena.....</i>	<i>40</i>
<i>Composición química del alga roja Kappaphycus alvarezii Doty (Solieriaceae)</i>	<i>41</i>
<i>Composición química del alga roja Ceramium diaphanum en (Túnez)</i>	<i>43</i>
Estructura y tipo de carragenina	45
Métodos de extracción	49
<i>Extracción de Carragenina Refinada (RC)</i>	<i>49</i>
<i>Extracción clásica de k-carragenina</i>	<i>53</i>
<i>Extracción de κ-carragenina con agua subcrítica (SWE).....</i>	<i>55</i>
<i>Extracción asistida por ultrasonido (UAE)</i>	<i>57</i>
Propiedades físico-químicas de la Carragenina.....	58
Principales productores de carragenina a nivel mundial	61
Demanda mundial de polisacárido	62
Importancia del polisacárido en el mercado ecuatoriano.....	64
Demanda Nacional.....	66
Mercado objetivo, capacidad de la planta y consumo per cápita	70
Conclusiones y recomendaciones	75
Conclusiones.....	75
Recomendaciones	78
Bibliografía	79

ANEXOS.....85

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Clasificación de algas y sus pigmentos</i>	21
Tabla 2 <i>Diferentes tipos de Hidrocoloides disponibles en las algas</i>	22
Tabla 3 <i>Polisacáridos del alga roja (Rhodophyta)</i>	26
Tabla 4 <i>Algas rojas productoras de carragenina</i>	28
Tabla 5 <i>Carragenina aplicada en productos alimenticios</i>	32
Tabla 6 <i>Composición, caracterización y aplicaciones de polímeros naturales y sintéticos a base de carragenina</i>	36
Tabla 7 <i>Resultados del análisis físico-químico de las algas Rhodophytas en la parroquia Ballenita, provincia de Santa Elena</i>	40
Tabla 8 <i>Compuestos identificados de la primera fracción mediante CG-EM</i>	42
Tabla 9 <i>Compuestos identificados de la segunda fracción mediante CG-EM</i>	42
Tabla 10 <i>Contenido de proteínas, cenizas, lípidos y azúcares totales, medias de dos réplicas (%de peso/peso seco)</i>	44
Tabla 11 <i>Contenido de minerales, medias de dos réplicas (%de peso/peso seco)</i>	44
Tabla 12 <i>Contenido de éster-sulfato y 3,6-anhidrogalactosa en la estructura de la carragenina</i>	49
Tabla 13 <i>Rendimiento (%) de carragenina extraída de Hypnea musciformis utilizando diferentes métodos de extracción</i>	57
Tabla 14 <i>Resumen de las propiedades de la carragenina y su interacción con productos y sistemas alimenticios</i>	59
Tabla 15 <i>Empresas Importadoras de carragenina en Ecuador</i>	64
Tabla 16 <i>Importaciones de Carragenina a Ecuador</i>	66
Tabla 17 <i>Producto Interno Bruto (PIB) de Ecuador del año 2015 al año 2020</i>	67
Tabla 18 <i>Información del Mercado Objetivo</i>	71
Tabla 19 <i>Información del Mercado Objetivo</i>	72

Índice de figuras

Figura 1 Información de la estructura de los polisacáridos abundantes en la biomasa de las algas.....	23
Figura 2 Morfotipos coloreados de <i>Kappaphycus alvarezii</i>	25
Figura 3 Diagrama de fases de agua pura, agua sub crítica y agua supercrítica.....	31
Figura 4 Microscopía óptica (40x), morfología de la (κ)- carragenina	46
Figura 5 Estructura molecular de la especie kappa-carragenina	46
Figura 6 Estructura molecular de la especie Iota-carragenina	47
Figura 7 Estructura molecular de la especie lambda-carragenina	47
Figura 8 Conversión química de las carrageninas comerciales (kappa y Iota) durante tratamiento alcalino	48
Figura 9 Diagrama de bloques para el proceso de obtención de carragenina refinada (RC).....	50
Figura 10 Diagrama de bloque para la obtención de carragenina SRC y PES.....	53
Figura 11 Diagrama de flujo de extracción con agua caliente presurizada de k-carragenina	55
Figura 12 Sistema de agua supercrítica de tipo continuo.....	56
Figura 13 Producción mundial de <i>Eucheuma Cottonii</i>	62
Figura 14 Producción mundial de <i>Eucheuma Denticulatum</i>	63
Figura 15 Usos de la carragenina en Ecuador	65
Figura 16 Importaciones de carragenina del 2015 al 2020	68
Figura 17 Importaciones de carragenina por empresa productora	69
Figura 18 País de origen de la carragenina importada	70

Resumen

El presente trabajo se enfoca en la revisión bibliográfica como fuente y base de investigación para el diseño de una planta de producción de carragenina; a nivel mundial este polisacárido es muy cotizado para varias industrias debido a su amplia aplicabilidad, para ASDReports, Europa y América del Norte han representado más del 50% de ingresos mundiales del mercado de carragenina, en 2020 este mercado tuvo un valor de 687 millones USD y se espera que para el 2027 alcance los 1,170 millones USD. En 2018 se estimó una producción de 71,5 mil toneladas que representó aproximadamente el 50% del total de hidrocoloideos producidos a nivel mundial. El gobierno de Ecuador se encuentra impulsando la producción de alga *Eucheuma Cottonii*, de donde se obtiene kappa-carragenina; sin embargo, no se ha desarrollado aún la producción del hidrocoloide. Al realizar el estudio de las importaciones del polisacárido al país desde el año 2015 al 2020, se determinó que Ecuador importa aproximadamente un promedio de 121 toneladas anuales. Para satisfacer la demanda tanto nacional como mundial y tomando en cuenta la introducción de carragenina nacional en mercados extranjeros, la capacidad de la planta será de 1000 toneladas por año, que corresponde a un porcentaje de entre el 1-2% de la producción mundial. La industria alimenticia ocupa del 70% al 80% del total de la producción mundial de carragenina, sin embargo, también tiene aplicabilidad en otras industrias como la farmacéutica, cosmética y debido a la creciente investigación de la Química Verde, este polisacárido también se puede posesionar en nuevas industrias como petroquímica, en la producción de nanopartículas y mediante modificación del polisacárido con polímeros naturales y sintéticos, en la producción de nuevos materiales biodegradables, por este motivo y debido a la capacidad de la planta se podrá satisfacer la demanda nacional.

PALABRAS CLAVE

- EUCHEUMA COTTONII
- CARRAGENINA
- MERCADO MUNDIAL Y NACIONAL
- CAPACIDAD DE LA PLANTA
- MERCADO OBJETIVO

Abstract

The present work focuses on the bibliographic review as a source and research base for the design of a carrageenan production plant; Worldwide this polysaccharide is highly valued for various industries due to its wide applicability, for ASDReports Europe and North America they have represented more than 50% of world revenues from the carrageenan market, in 2020 this market had a value of 687 million USD and it is expected to reach USD 1.17 billion by 2027. In 2018, it estimated a production of 71.5 thousand tons that represented approximately 50% of the total hydrocolloids produced worldwide. The government of Ecuador is promoting the production of the seaweed *Eucheuma Cottonii*, from which kappa-carrageenan is obtained; however, the production of the hydrocolloid has not yet been developed. When carrying out the study of imports of the polysaccharide to the country from 2015 to 2020, it was determined that Ecuador imports approximately an average of 121 tons per year. To satisfy both national and world demand and taking into account the introduction of national carrageenan in foreign markets, the capacity of the plant will be 1000 tons per year, which corresponds to 1-2% of world production. The food industry occupies between 70% to 80% of the total world production of carrageenan, however, it also has applicability in other industries such as pharmaceuticals, cosmetics and due to the growing research of Green Chemistry, this polysaccharide can also be Possess in new industries such as petrochemicals, in the production of nanoparticles and by modifying the polysaccharide with natural and synthetic polymers, in the production of new biodegradable materials, for this reason and due to the capacity of the plant, the national demand will be able to be satisfied.

KEYWORDS

- EUCHEUMA COTTONII
- CARRAGEENAN
- WORLD AND NATIONAL MARKET
- PLANT CAPACITY
- TARGET MARKET

CAPÍTULO I

1. Introducción

1.1. Antecedentes

El planeta Tierra en la actualidad está sufriendo varios impactos negativos para el medio ambiente, un claro ejemplo de esto es la sobrepoblación, sumado el nivel de vida de los mismos ha desencadenado la demanda global de espacio vital, alimentos, energía y otros recursos naturales.

Tomando en cuenta que los océanos cubren más del 70% de nuestro planeta y con el surgimiento de la llamada economía azul, se ha prestado más atención a los recursos y productos oceánicos. Cuantitativamente la biomasa más grande del océano son las algas, estas son una fuente única de materias primas para la producción de bioproductos a base de algas. Se las puede obtener a gran escala, son ecológicas, respetuosas con el medio ambiente y renovables, lo que puede ser un complemento importante a los recursos terrestres. El cultivo de algas y su procesamiento se están convirtiendo en una industria verde sostenible con muchas aplicaciones de alto valor (Qin, 2018b).

Las macroalgas también denominadas algas marinas, se dividen por su pigmentación en algas rojas, verdes y pardas (Saravana & Chun, 2017). La producción de algas es importante a nivel mundial, ya que se pueden utilizar como fuente de alimento debido a su alto valor nutricional, su composición química, bajo contenido calórico, alto contenido de fibra y minerales (como magnesio, potasio, yodo y hierro). Su importancia también se enfoca en las aplicaciones que se dan en la industria, cada especie de alga es materia prima para la extracción de polisacáridos (agar, alginato, carragenina) que se utilizan en la industria alimenticia, farmacéutica, en la producción de fertilizantes, polímeros, bioetanol entre otros (Venkatesan et al., 2017).

Según (Saravana & Chun, 2017), la expansión de los polisacáridos en el mercado representa un gran desafío en el cultivo de alga a gran escala al utilizar métodos de extracción amigables con el medio ambiente ya que deben ser rentables, cuantitativos, ahorrar tiempo y ser no destructivos.

Las algas rojas son filamentosas, pseudoparenquimatosas o parenquimatosas, crecen en su mayoría en aguas tropicales y templadas, contiene pigmentos conocidos como ficobiliproteínas que son los principales captadores de luz y estas algas solo producen clorofila "a". Las algas rojas productoras de carragenina son las especies *Eucheuma* que contribuyen con el 80% de la producción mundial de carragenina (Baweja et al., 2016).

Comercialmente existen tres clases de carragenina (kappa, lambda y iota) que tienen diferentes aplicaciones de acuerdo a su capacidad de gelificación, la clase lambda no gelifica solo se usa como espesante en productos lácteos, en presencia de iones calcio la carragenina iota forma geles blandos y en presencia de iones potasio la carragenina kappa forma geles rígidos (Qin, 2018c), se usan como emulsionante, aglutinante o para suspensión y estabilización en una amplia gama de productos en la industria alimentaria, farmacéutica y cosmética (Valderrama et al., 2015), actualmente también se usa la kappa-carragenina junto con almidón de yuca para la fabricación de películas biodegradables que se pueden utilizar como paquetes de alimentos (Lima et al., 2020), la principal fuente de kappa-carragenina es la especie *Kappaphycus alvarezii* conocida también como *Eucheuma Cottonii* (Baweja et al., 2016).

Por lo mencionado anteriormente, resulta atractivo el estudio de producción de carragenina a partir del cultivo de algas rojas *Eucheuma Cottonii* a nivel nacional, actualmente Ecuador no cuenta con una industria dedicada a la producción de ese polisacárido; por lo tanto, se debe importar grandes cantidades de carragenina para satisfacer la demanda del mercado nacional.

1.2. Planteamiento de problema

El mercado mundial de carragenina en el año 2003 tuvo un valor aproximado de 300 millones de dólares (McHugh, 2003), mientras que en el periodo anual de abril 2007 se estimó un valor de mercado de 416 millones de dólares (Imeson, 2009), esta demanda se satisface en su mayoría con los cultivos comerciales de *Eucheuma Cottonii* (Sepulveda, 2014), debido a que esta especie es productora de Kappa-carragenina, la cual es uno de los tipos de carragenina más comercial (Campo et al., 2009), en la actualidad Ecuador cuenta con cultivo de *Gracilaria* en estanques para camarones que mitigan los efectos del "síndrome de Taura" en el cultivo de camarón (McHugh, 2002).

También se puso en marcha un plan de manejo ambiental para el cultivo de *Kappaphycus Alvarezii* en la provincia de Santa Elena en el año 2014 mediante la Cooperativa de Producción Pesquera Artesanal Santa Rosa de Salinas con el fin de identificar, valorizar y jerarquizar los posibles impactos que puede ocasionar esta actividad, contemplando medidas preventivas, correctivas y de control, que garantice el mantenimiento, conservación del entorno natural y el bienestar de la comunidad, en estricto cumplimiento a lo establecido en el Reglamento Ambiental (Sepulveda, 2014).

Debido a que la industria de algas aún se encuentra en desarrollo y no existe suficiente documentación científica sobre el estudio de las algas en Ecuador (Filian Cevallos & Vásquez García, 2018), no se ha podido ampliar su uso con la implementación de una industria para la producción de hidrocoloides como la carragenina, para así poder satisfacer la demanda, por lo que este polisacárido se debe importar mensualmente de acuerdo a la demanda en el mercado nacional, principalmente de países como España, Chile y China (Manifiestos, 2021).

1.3. Justificación e importancia

Debido a cambiantes estilo de vida y hábitos alimenticios de los consumidores, la demanda de hidrocoloides como la carragenina ha incrementado en los últimos años, el aumento de consumo de alimentos precocinados, dieta, nutrición y productos naturales disponibles, son algunos de los factores que han impulsado el crecimiento de este mercado. Un aspecto muy importante es el ocupado estilo de vida de los consumidores, el cual aumenta la preferencia por los alimentos de preparación rápida, esto contribuye directamente al aumento de la demanda de hidrocoloides que actúen como estabilizantes, aglutinante y espesantes en estos alimentos de rápida preparación (Markets and Markets, 2020).

Durante la última década la investigación sobre la carragenina ha incrementado, debido a que, además de ser utilizada ampliamente en la industria alimenticia se la puede utilizar en la formulación de fármacos, geles ambientadores, pasta de dientes, ingeniería de tejidos, aplicaciones en biosensores, producción de biopelículas, etc., con este incremento de utilidades modernas, también aumenta el valor comercial de este polisacárido (Venkatesan et al., 2017),

La carragenina tiene un precio variable de acuerdo a la empresa y al método de extracción por el que es procesada, sin embargo, un promedio medio del kilo de

carragenina semirefinada es de 20 US\$, lo que proporciona un escenario bastante atractivo para la industria de hidrocoloides como la carragenina en Ecuador (Sepulveda, 2014).

Debido a la importancia comercial de estos hidrocoloides se impulsa el desarrollo del cultivo de algas rojas productoras de carragenina lo cual contribuye a mejorar las condiciones económicas de países en desarrollo (Valderrama et al., 2015), promoviendo el desarrollo socioeconómico, innovando la industria y haciendo un cambio en la matriz energética, con la participación directa de pescadores artesanales del país, se evidencia que la aplicación de la Constitución de la República se cumple respecto al “Buen vivir”, la legislación ambiental y la reglamentación de desarrollo pesquero (Filian Cevallos & Vásquez García, 2018).

El recurso algal puede ser explotado de forma sustentable, debido a su valor comercial las empresas productoras de carragenina ayudan al desarrollo del sector pesquero, se compran las algas rojas cultivadas a los pescadores, dándoles un mercado adicional al que pueden acceder para la venta de sus productos, el alga roja también se puede exportar como alga seca; sin embargo, el procesamiento para la producción del polisacárido le da un valor agregado al producto, dándole rentabilidad a la industria de la carragenina (Altamirano Mancilla, 2009).

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Estudiar las características de la carragenina y su demanda a nivel mundial y nacional

1.4.2. Objetivos Específicos

Investigar la composición química de las algas rojas.

Investigar la estructura y tipos de carragenina comercial que se puede obtener a partir de ellas.

Establecer las propiedades físico- químicas de la carragenina.

Identificar los métodos de producción del polisacárido

Realizar una revisión bibliográfica de las aplicaciones y los principales productores del polisacárido.

Estimar la demanda mundial y nacional del polisacárido.

Elegir el mercado objetivo, la capacidad de la planta y el consumo per cápita.

1.5. Hipótesis

Se obtendrá toda la información bibliográfica necesaria para el estudio correspondiente.

Se establecerá los métodos de producción por revisión bibliográfica

Se analizará la capacidad de la planta de producción mediante el estudio del mercado nacional.

Se analizará el mercado y la demanda tanto nacional como internacional del polisacárido.

1.6. Variables dependientes e independientes

1.6.1. Variables dependientes

Revisión bibliográfica de la producción de carragenina a partir del alga roja *Eucheuma Cottoni*.

1.6.2. Variables independientes

Revisión bibliográfica de las características físicas y químicas tanto del alga roja *Eucheuma cottonii* como de la carragenina.

Análisis de la demanda mundial y nacional de la carragenina.

CAPÍTULO II

2. Fundamentación teórica

2.1. Algas Marinas

Las algas marinas son un conjunto diverso de organismos que van desde organismos unicelulares a multicelulares. Se clasifican en función de su composición química y pigmentación como: algas pardas (Phaeophyta), algas rojas (Rhodophyta) y verdes (Chlorophyta) (Saravana & Chun, 2017). Viven en diferentes ambientes (marinos y terrestres), son autótrofos, menos complejos morfológicamente que las plantas terrestres y se denominan también talofitas (Quitral R et al., 2012).

Tabla 1

Clasificación de algas y sus pigmentos

CLASIFICACIÓN	NOMBRE COMÚN	PIGMENTOS	EJEMPLOS
Chlorophyta o Clorofitas	Algas verdes	Clorofilas a y b, Xantófilas (luteína, violaxantina, neoxantina y enteroxantina)	Ulva spp., Codium spp.
Phaeophyta o Feófitas	Algas pardas	Xantófilas (fucoxantina y flavoxantina) y Clorofila a y c.	Laminaria spp., Lessonia spp., Sargassum spp., Durvillaea spp.
Rhodophyta o Rodófitas	Algas rojas	Ficoeritrina, ficobilina, clorofila a.	Gracilaria spp., Palmaria spp., Porphyra spp.

Nota. Tomado de (Quitral R et al., 2012).

Las algas pardas tienen un mayor tamaño que va desde los 30 cm hasta los 20 m de longitud, respecto a las algas rojas y verdes que tienen longitudes que van desde unos pocos centímetros hasta aproximadamente un metro (Qin, 2018b)

Las algas pardas son la especie más numerosa, produce grandes cantidades de mucosa protectora, su pigmentación varía de marrón amarillento a marrón oscuro. Las algas verdes (Chlorophyta) están presentes en menores cantidades que las algas rojas, su pigmentación varía desde el color verde amarillento hasta el verde oscuro (Arvinda Swamy, 2011), el segundo grupo más numeroso son las algas rojas (Rhodophyta) este grupo no siempre son rojas, su color varía desde púrpura hasta incluso rojo pardusco (Qin, 2018b).

Las algas tienen diferentes usos, en los países asiáticos se utilizan directamente como alimento, la ventaja es que son una fuente económica, atractiva y abundante, mientras que en los países occidentales, las algas se usan para la extracción de hidrocoloides alimentarios (Figura 1) muy importantes (Rajapakse & Kim, 2011) (Tabla 2).

Tabla 2

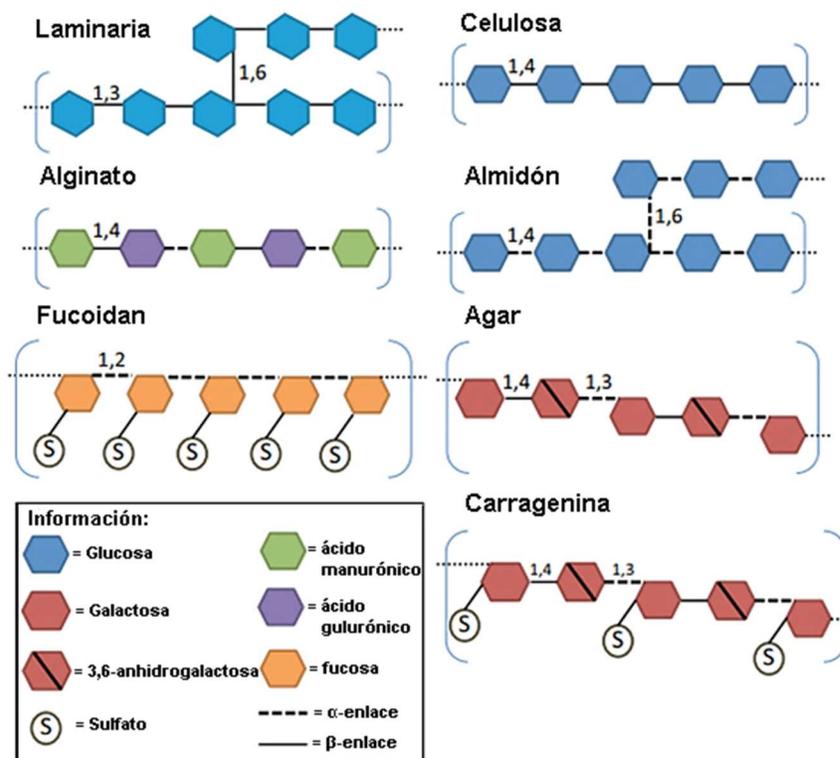
Diferentes tipos de Hidrocoloides disponibles en las algas

HIDROCOLOIDE	FUENTE	ESPECIE
Agar	Alga roja	Gracilaria, Gelidium, Pterocladia.
Carragenanos	Alga roja	Eucheuma, Chondrus, Hypnea, Gigartina.
Alginato	Alga parda	Macrocystis, Laminaria, Ascophyllum.
Fucoidan	Alga parda	Laminaria religiosa, Nemaecystus decipiens.
Laminarina	Alga parda	Laminaria japónica, Saccharina latissima.

Nota. Tomado de (Rajapakse & Kim, 2011).

Figura 1

Información de la estructura de los polisacáridos abundantes en la biomasa de las algas



Nota. Tomado de (Wei et al., 2013).

En 2018, se registró un récord histórico con la producción de 32,4 millones de toneladas de algas acuáticas con un valor de 13.300 millones de USD (FAO, 2020).

2.2. Alga roja

El alga roja o Rhodophyta, se encuentra en aguas frías como Nueva Escocia (Canadá) y el sur de Chile, en aguas templadas como las costas de Marruecos y Portugal y en aguas tropicales como Indonesia y Filipinas (McHugh, 2003), en aguas tropicales las plantas están disponibles durante todo el año por lo que la producción y cosecha se pueden planificar de acuerdo a la demanda, mientras que las especies de agua fría se recolectan anualmente solo en los meses de verano (Imeson, 2009).

Hay que señalar que las dos especies cultivadas originalmente en Filipinas fueron *Eucheuma cottonii* y *Eucheuma spinosum*, actualmente debido a un cambio de nombre *E. cottonii* es *Kappaphycus alvarezii*, mientras que *E. spinosum* es *Eucheuma denticulatum*, sin embargo, todos estos nombres todavía están en uso (Qin, 2018b).

La mayoría de las especies de algas rojas cultivadas en el mundo son *Kappaphycus* y *Eucheuma* con un aproximado de 5,68 millones de toneladas anuales, estas se cultivan principalmente como suministro de biomasa para extracción de carragenano, en segundo lugar, se produce la especie agarofita *Gracilaria* spp., con una producción anual de 2,8 millones de toneladas, otras especies agarofitas como *Gelidium* spp., producen 16.000 millones de toneladas en peso anualmente, y la tercera alga más producida en términos de biomasa es *Porphyra/Pyropia* spp., con una producción anual de 1,8 millones de toneladas (Marquez et al., 2015)

Las paredes celulares de las algas rojas están formadas por moléculas pécticas y celulósicas, además de muchas formas de hidrocoloides (agar y carragenina) o ésteres de polisulfato la mayoría de algas rojas son filamentosas, pseudoparenquimatosas o parenquimatosas, crecen en su mayoría en aguas tropicales y templadas, este tipo de algas contiene pigmentos conocidos como ficobiliproteínas (R-ficoeritrina y R-ficocianina) y clorofila "a" en sus cloroplastos, estos pigmentos hacen que los miembros de esta especie puedan tolerar una gama más amplia de niveles de luz que cualquier otro grupo de organismo fotosintético.

Los responsables de la coloración del alga roja son los pigmentos anteriormente mencionados, ficoeritrina y ficocianina y su coloración varía según la proporción de estos, por ejemplo, la especie *Kappaphycus* cultivada a lo largo de la costa de la India exhibe diferentes colores (Figura 2), y cuando esta alga muere se vuelve verde debido a que las ficobiliproteínas solubles en agua se eliminan fácilmente, dejando la clorofila como pigmento dominante (Baweja et al., 2016).

Figura 2

Morfotipos coloreados de Kappaphycus alvarezii



Nota. Tomado de (Baweja et al., 2016).

Según (Wei et al., 2013), existen aproximadamente 6000 especies de este tipo de alga, la composición de estas algas varía de una especie a otra. Se componen generalmente por celulosa, glucano y galactano. Debido al avance tecnológico, actualmente las algas rojas han sido fuente de investigación como biomasa para la producción de biocombustibles, químicos, entre otros (Yun et al., 2015).

El cultivo de algas productoras de carragenina, se ha convertido en una actividad comercial exitosa en varios países tropicales dotados de entornos intermareales claros y no contaminados y playas protegidas. A diferencia de otras formas de acuicultura, la producción de este tipo de algas tiene requisitos mínimos de tecnología, capital y como tal, puede brindar importantes oportunidades económicas a las comunidades costeras marginales con opciones limitadas de medios de vida (Valderrama et al., 2013).

2.3. Polisacáridos del alga roja

El contenido de polisacáridos en las algas cambia según la edad, la estación, la especie, la ubicación geográfica y las condiciones climáticas. Las paredes celulares de

cada grupo de algas varían debido a la existencia de una gran cantidad de polisacáridos. Las paredes celulares de las algas rojas están hechas de galactanos sulfatados, que generalmente se denominan carragenina y agar, contienen cierta cantidad de mananos, xilanos y celulosa en baja cantidad en comparación con las plantas terrestres (Saravana & Chun, 2017).

Hay muchas especies de algas rojas y todas tienen polisacáridos naturales que llenan los vacíos dentro de la estructura de la celulosa de la planta (Imeson, 2009), las algas rojas se clasifican en agarofitas y carragenofitas, según el tipo de carbohidrato más abundante que tenga en su composición, en las especies agarofitas el polímero de carbohidrato principal es el agar, mientras que en las especies carragenofitas el polímero de carbohidrato principal es el carragenano (Yun et al., 2015), las distintas especies comerciales de algas rojas de este tipo proporciona una subfamilia de extractos de carragenina, con diferente composición y conformación molecular, que conducen a un amplio espectro de perfiles reológicos, propiedades y texturas de gel, densidades de carga molecular e interacciones con gomas y proteínas (Imeson, 2009).

Tabla 3

Polisacáridos del alga roja (Rhodophyta)

ESPECIE	TIPO DE ALGA	HIDROCOLOIDE
	Kappaphycus alvarezii	Carragenina
	Eucheuma denticulatum	Carragenina
Carragenofita	Chondrus crispus	Carragenina
	Gigartina stellata	Carragenina
	Sarcothalia crispata	Carragenina
	Otros	Carragenina
	Gelidium	Agar
Agarofita	Gracilaria	Agar
	Pterocladia	Agar
	Otros	Agar

Nota. Tomado de (Qin, 2018a).

Las plantas gametofíticas producen carragenina de tipo híbrido κ / ι , también conocida como Kappa-2 o carragenanos Kappa de gelificación débil, son cadenas de

polisacáridos mixtos que contienen tanto unidades de κ como unidades de ι (Campo et al., 2009), las propiedades reológicas de estos hidrocoloides se refieren principalmente a las viscosidades de las soluciones acuosas, en diferente concentración, temperatura, etc.

La carragenina y el agar son polímeros naturales solubles en agua y pueden formar soluciones viscosas con la misma, debido a que contienen muchos grupos laterales hidrófilos a lo largo de las cadenas poliméricas, también pueden formar hidrogeles térmicamente reversibles con sus propias características individuales al calentar o enfriar sus soluciones acuosas (Qin, 2018c).

2.4. Carragenina

La carragenina es extraída de diferentes especies de Rhodophyta: Gigartina, Chondrus Crispus, Eucheuma e Hypnea (Campo et al., 2009). Estas algas se encuentran en las costas de Filipinas, Indonesia y otras islas del Lejano Oriente, también un porcentaje de estas algas se recolectan en América del Sur en las aguas profundas y frías de Perú y Chile (Saravana & Chun, 2017).

La carragenina se descubrió en Irlanda en el alga roja Chondrus crispus, que también se puede encontrar en Portugal, España, Francia y las provincias de la costa este de Canadá, sin embargo, cuando la industria de la carragenina creció, la demanda de la materia prima agotó el suministro del alga Chondrus crispus y se la tuvo que complementar con especies de Chile y España en 1970.

En este mismo transcurso de tiempo, en la década de 1970 Filipinas se dedicó al cultivo de especies Eucheuma que suministro a la industria de la carragenina una materia prima con una ventaja adicional, cada especie de alga contiene exclusivamente un tipo particular de carragenina, la especie Eucheuma cottonii contiene κ -carragenina, mientras que la especie Eucheuma Spinosum contiene ι -carragenina y cada especie tiene su propia aplicación, por este motivo hasta la actualidad estas especies son las principales materias primas para esta industria, mientras que una desventaja de la especie Chondrus es que no puede separar durante la extracción de su hidocoloide la mezcla de kappa y lambda carragenina (Qin, 2018b).

Tabla 4*Algas rojas productoras de carragenina*

TIPO DE ALGA ROJA	TIPO DE CARRAGENINA
Eucheuma cottonii o Alvarezii	Kappaphycus Kappa (κ) - carragenina
Eucheuma Spinosum o denticulatum	Eucheuma Iota (ι) - carragenina
Chondrus Crispus	kappa (κ) carragenina y lambda (λ) – carragenina

Nota. Tomado de (Qin, 2018b).

Los carragenanos tienen una estructura de galactosa, pero difieren en la proporción y ubicación de los grupos éster sulfato y la proporción de 3,6-anhidrogalaactosa, este polisacárido extraído de las algas no es asimilado por el cuerpo humano, proporciona solo fibra sin valor nutricional, pero proporciona características funcionales únicas (Imeson, 2009), este polisacárido se divide en 6 formas básicas, sin embargo, solo 3 de ellas son utilizadas comercialmente (Kappa, lambda y iota carragenina) (Campo et al., 2009).

2.5. Métodos de obtención de la carragenina

Desde 1810, en Irlanda se conoce el método de extracción acuosa de algas rojas para obtener hidrocoloides (Campo et al., 2009). El método original se utilizó hasta finales de la década de 1970 y principios de los años 1980; sin embargo, se desarrolló un método más económico del que se obtienen carrageninas semirrefinadas (SRC) (McHugh, 2003), según (Saravana & Chun, 2017) este método se describe como la extracción clásica de k-carragenina.

Para la obtención de la carragenina se utilizan diferentes procesos, cuando se requiere la elaboración del extracto de carragenina el proceso de extracción solubiliza el

carragenano y elimina los sólidos, mientras que, si se requiere la elaboración de la carragenina semirrefinada, también conocida como alga Eucheuma procesada (PES), el proceso deja la carragenina dentro de la matriz estructural celulósica de las algas. La principal característica de estos procesos se relaciona en si el carragenano está solubilizado o no.

Antes del proceso de obtención de la carragenina, la materia prima es decir las algas rojas, son sometidas a pruebas de calidad y rendimientos para su adecuada selección, los lotes se seleccionan de acuerdo con las funcionalidades finales requeridas de la carragenina, así se garantiza productos finales consistentes y de alta calidad.

Respecto a la elaboración de extracto de carragenina, una vez que se identifica un extracto en particular, las algas se lavan para eliminar las impurezas (arena y piedras), posterior a esto se aplica el álcali para hinchar las algas y extraer la carragenina, este tratamiento promueve el reordenamiento molecular interno que modifica la estructura de la carragenina, el puente anhídrido que se forma mediante esta reacción reduce eficazmente el número de dobles o "torceduras" en la cadena molecular, de modo que las asociaciones entre cadenas se optimizan y fortalecen, el álcali adecuado puede ser hidróxido de potasio, sodio o calcio, se selecciona de acuerdo al tipo de sal de carragenina que se quiera obtener, ya que interviene en las propiedades del extracto resultante, la dispersión, hidratación, espesamiento y formación de gel, una vez dado la extracción y modificación estructural la dilución de extractos de carragenina se filtran, se clarifican mediante centrifugación a alta velocidad y se concentran, las soluciones concentradas se precipitan por el método de Alcohol Press o Gel Press y finalmente las fibras prensadas se secan y muelen hasta el tamaño de partícula apropiado.

Se debe tomar en cuenta que los procesos de extracción no son procesos estándar, cada fabricante del polisacárido controla de manera diferente las materias primas y los parámetros del proceso para la producción de variedades de productos bien definidos (ANEXOS), que cumplan con los requerimientos del cliente y estén aptos para las aplicaciones de destino.

En el caso de la carragenina semirrefinada (PES), carragenina semirrefinada (SRC), carragenina refinada alternativamente (ARC) y harina modificada con álcali

(HMA), igual que en el primer proceso se lleva a cabo la etapa de selección y lavado, posteriormente, el alga se procesa mediante modificación alcalina directa de la estructura de carragenina dentro de la matriz estructural celulosa en las algas, en esta etapa se utiliza una solución de hidróxido de potasio debido a que un exceso de cationes de potasio evitan la solubilidad de la carragenina, en ocasiones también se suele combinar hidróxido de sodio / cloruro de potasio, los pasos de secado, trituración y mezcla son los mismos que el primero proceso, este es el proceso más económico ya que no necesita la extracción del polisacárido en la solución diluida ni el procedimiento de concentración que resulta ser costoso, además es común reutilizar o reciclar el álcali (Imeson, 2009).

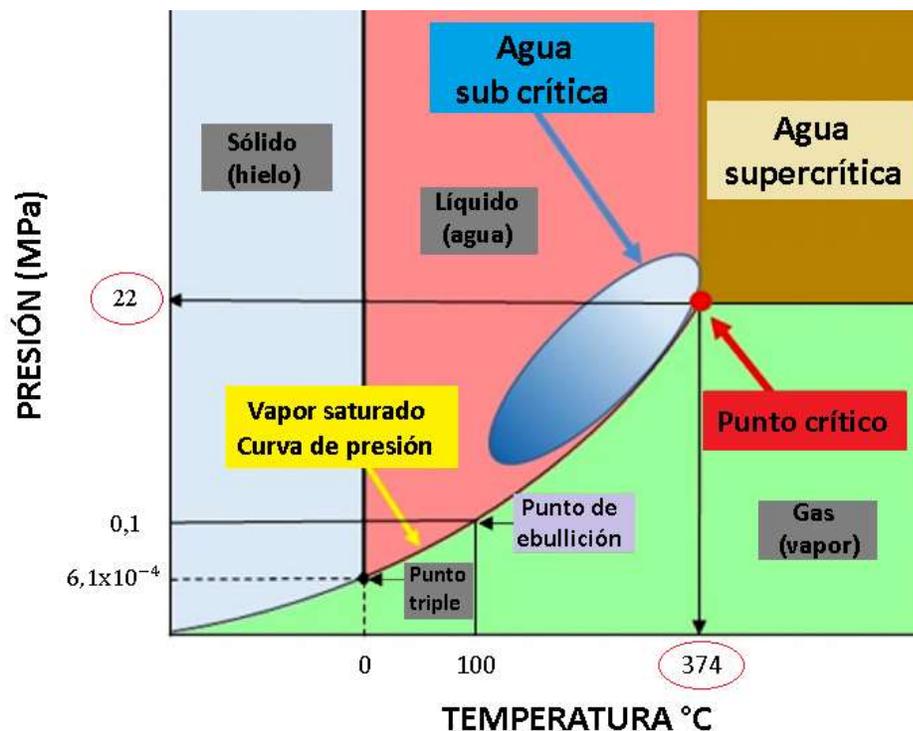
El mercado de la carragenina y su precio, crecen debido a las diferentes aplicaciones que se le puede dar a este polisacárido, estos precios vienen dados acorde al método de extracción que se lleva a cabo para su obtención, actualmente la carragenina, se extraen principalmente mediante técnicas convencionales, las mismas que tienen desventajas como mucho tiempo empleado y energía con una eficiencia comparativamente baja (Rafiqzaman et al., 2017).

Por este motivo se busca desarrollar métodos más eficientes y amigables con el medio ambiente, se han desarrollado nuevas técnicas y entre ellas se encuentra el SWE (Subcritical Water Extraction) por sus siglas en inglés, para la obtención de k-carragenina.

Esta técnica utiliza únicamente agua como solvente (extractante), es conocida como un método "verde", debido a que el agua tiene varias ventajas en términos de versatilidad y medio ambiente, el uso de este proceso SWE depende del material de destino y de su aplicación, las condiciones a las que se utiliza el agua son: una temperatura mayor a su punto de ebullición y menor a su punto crítico (100°C - 374°C), con un rango de presión que permita mantener el agua en estado líquido (0,1 MPa - 22,1 MPa) (Figura 3).

Figura 3

Diagrama de fases de agua pura, agua sub crítica y agua supercrítica



Nota. Tomado de (Saravana & Chun, 2017).

A estos parámetros las condiciones químicas y físicas del agua sufren cambios drásticos, la constante dieléctrica baja de 80 a 25°C (temperatura ambiente) hasta 33 a 200°C, este comportamiento hace que el agua actúe como disolvente orgánico polar similar al metanol.

Este proceso de extracción se denomina eficiente debido a que, al elevar la temperatura del agua, se reduce su tensión superficial y viscosidad, mientras aumenta su difusividad, la solubilidad también se altera, favoreciendo la solubilidad de varios compuestos y alterando su selectividad.

Esta técnica también es conocida como extracción líquida presurizada, extracción con agua sobrecalentada, extracción acelerada con solventes, extracción con agua caliente presurizada, agua presurizada de baja polaridad, entre otros (Saravana & Chun, 2017)

Otra técnica novedosa para la extracción de compuestos bioactivos de fuentes naturales, es el método de extracción asistida por ultrasonidos, con sus siglas en inglés

UAE, aunque esta técnica todavía se encuentra en etapas de desarrollo y perfeccionamiento, ya se ha utilizado este proceso para la extracción de carragenina de *H. musciformis*, en donde se encontró que el rendimiento de carragenina fue mayor a la técnica convencional en un 20% (Rafiquzzaman et al., 2017).

2.6. Aplicaciones de la carragenina

La carragenina es un biopolímero de importancia económica que se utiliza en las industrias farmacéutica, química y alimentaria (Rafiquzzaman et al., 2017), en la industria alimenticia, la carragenina se ha usado ampliamente con un porcentaje de entre el 70% y el 80% (Campo et al., 2009), proporcionando textura, estructura y estabilidad física a los productos alimenticios (Imeson, 2009), en la tabla 5, se presentan algunos ejemplos de cómo la carragenina proporciona características importantes a los productos alimenticios.

Tabla 5

Carragenina aplicada en productos alimenticios

PRODUCTO ALIMENTICIO	USO DE CARRAGENINA
Productos cárnicos (ave, jamón y embutidos)	Mejora la calidad y/o aumenta el rendimiento, la carragenina se incorpora para mejorar la retención de humedad, los rendimientos de cocción, las propiedades de corte, la sensación en boca y la succulencia.
Geles de postre de agua y glaseados para pasteles	Estos productos se basan en las propiedades de gel firme y quebradizo de la carragenina kappa con la textura modificada según sea necesario para el control de la elasticidad, cohesión y sinéresis utilizando carragenina iota u

PRODUCTO ALIMENTICIO	USO DE CARRAGENINA
Salsas y aderezos para ensaladas	otras gomas, como goma de algarrobo o konjac. Imparte cuerpo, proporciona espesor y estabiliza las emulsiones.
Productos lácteos líquido y postres lácteos	Ayuda con la estabilización del producto, interactúa con las proteínas lácteas para formar una red capaz de suspender partículas, la red evita la interacción y agregación proteína-proteína durante el almacenamiento. Esto evita la separación del suero en productos fluidos y reduce la contracción en el helado.
Cacao	Estabilización y sensación de boca.
Crema batida y aderezos	Ayuda a la conservación de su forma estable.
Pudines y rellenos de tartas	Crea geles estables.
Productos vegetarianos	Proporcionan apariencia y textura similares a los productos de gelatina tradicionales, al tiempo que brindan beneficios adicionales de fraguado rápido y estabilidad a temperatura ambiente.
Alimento para mascotas	Es el uso individual más grande para los HMA (harina modificada con álcali), proporcionan una textura cohesiva y elástica, aporta con control de la sinéresis.
Hierbas y verduras para ensaladas	Las propiedades de gel reversible de iota carragenano diluido se pueden utilizar para estabilizar

Nota. Tomado de (Imeson, 2009).

Es muy importante que los productos alimenticios mantengan la estabilidad, suspensión y apariencia visual durante la vida del producto, ya sea refrigerado a temperatura ambiente, debido a que los consumidores ven los defectos de la estabilidad de los productos como deterioro o procesamiento inadecuado (Imeson, 2009).

El polisacárido también se utiliza en distintos productos deslindados de la industria alimenticia, como en formulaciones farmacéuticas, cosméticas, de impresión y textiles, estabilizan las preparaciones de pasta de dientes, absorben los fluidos corporales cuando se formulan en apósitos para heridas e interactúa con el caroteno es por esto que se aplica en lociones para manos y shampoos (Campo et al., 2009), aplicaciones de biosensores, ingeniería de tejidos debido a su biodegradabilidad y biocompatibilidad (Venkatesan et al., 2017).

Actualmente, debido a un incremento en las investigación acerca de las propiedades de la carragenina se le ha dado usos más amplios a este polisacárido (Venkatesan et al., 2017), uno de ellos es en la síntesis de nanopartículas metálicas, en donde se utilizan principalmente para controlar el tamaño, evitando la aglomeración espontánea de nanopartículas y actúan como estabilizadores (Kaliaraj et al., 2017), según (Daniel-da-Silva et al., 2007) en la síntesis de nanopartículas de magnetita en presencia de carragenina, se utilizó el polisacárido como matriz biopolimérica, en donde actuó como nano-reactor autoensamblado para la formación de magnetita, lo que dio como resultado nanopartículas de magnetita encapsuladas en polímero, para este proceso se observó la mayor estabilidad frente a la oxidación del nanocompuesto del tipo de carragenina Iota, mientras que para el tipo kappa, el nanocompuesto presentó una estabilidad relativa y se recomienda tener en cuenta la oxidación a largo plazo, posterior a este estudio, posteriormente (Shanmuga et al., 2015) sintetizaron nanopartículas de óxido de Hierro utilizando carragenina, en este estudio se descubrió que la carragenina sintetizaba nanopartículas de óxido de hierro en el rango de 1 a 100 nm, además bloquea completamente la aglomeración de nanopartículas de óxido de hierro a pesar de que presenta un estado de oxidación superior, esto nos confirma que la aplicación del polímero como recubrimiento superficial de nanopartículas magnéticas son beneficiosas, ya que no son tóxicos, tienen una mayor disponibilidad y degradabilidad.

La carragenina también tiene aplicaciones importantes en el campo farmacéutico siendo las más importantes las de tipo kappa, Iota y lambda carragenina, este

polisacárido tiene múltiples actividades biológicas, como efectos anticoagulantes inhibiendo la agregación plaquetaria, inmunomoduladores, antivirales, antitumorales y antitrombóticos, la actividad anticoagulante y antitrombótica de lambda carragenina es aproximadamente 4 veces mayor a la especie kappa carragenina debido al mayor contenido de sulfato en lambda carragenina. También se ha demostrado que los geles extraído de *C. Crispus* inhibe selectivamente varios virus envueltos y bloquea la transmisión del virus del VIH.

Actualmente la carragenina se emplea cada vez más en la administración de fármacos tanto convencionales como avanzados como por ejemplo tabletas de matriz a base de carragenina, complejo polielectrolítico a base de carragenina como matriz de liberación sostenida, medicamentos contra el cáncer a base de carragenina, administración de genes y células a base de carragenina, además se está ampliando su utilización en la ingeniería de tejidos, por ejemplo los factores de crecimiento (GF) se podrían encapsular en perlas de hidrogel carragenina para promover la vascularización, también ayudó a potenciar la vacuna basada en péptidos y se usó como adyuvante (Guan et al., 2017).

Otra importante aplicación es la producción de biopolímeros, como se sabe actualmente los productos plásticos producidos a partir del petróleo son nocivos para el medio ambiente principalmente para los medios acuáticos porque no son biodegradables, en este contexto se investigan materiales alternativos a los plásticos fabricados a base de petróleo, sin embargo, a pesar de las características positivas de las películas y recubrimientos biodegradables, representan solo del 5 al 10% del mercado actual de los plásticos, debido a que los costos de producción son muy altos, debido a esto se ha hecho el estudio de la producción de películas biodegradables a partir de kappa carragenina y almidón de yuca con PVA y glicerol, en diferentes proporciones en peso de kappa-carragenina:almidón ya que esto desempeña un papel fundamental en las propiedades físicas, térmicas y mecánicas, este procedo produjo películas flexibles con alta estabilidad térmica, la presencia de kappa-carragenina proporciona rigidez y el almidón estabilidad térmica a las películas, así que las proporciones de kappa-carragenina:almidón varían de acuerdo a la aplicación deseada del polímero, estas películas biodegradables se produjeron con resultados de costos bajos y son ideales para utilizarlas en paquetes de productos alimenticios (Lima et al., 2020).

Actualmente con el desarrollo de nuevos materiales biodegradables se investigan los compuestos y mezclas de quitosano, almidón, celulosa, quitina, alginato-polímero/carragenina en la formación de biopolímeros y las aplicaciones industriales que estos productos pueden tener (Zia et al., 2017) (Tabla 6).

Tabla 6

Composición, caracterización y aplicaciones de polímeros naturales y sintéticos a base de carragenina

COMPOSICIÓN DEL MATERIAL	TÉCNICA DE CARACTERIZACIÓN	APLICACIONES
quitosano / κ -carragenina	SEM, WVP, EMC	Empaques de alimentos/ mejora las propiedades de la película.
quitosano / κ -carragenina	FTIR, XPS, SEM	Dispositivos médicos de contacto sanguíneo
Hidrogel de Carboximetil- κ -carragenina / quitosano	FTIR, H NMR.	Vendaje/ ingeniería de tejidos.
Nanocompuestos de magnetita quitosano / carragenina	FTIR, TEM, TGA, XRD	Fármacos
Nanocompuestos κ -carragenina / Carboximetilquitosano	TEM, SEM	Bio-nanocompuestos no tóxicos
Películas nanocompuestas de quitina / carragenina	FTIR, XRD, TGA	Películas para empaques de alimentos
κ -carragenina / mezcla de pectina	SEM, WVP	Películas compuestas biodegradables
Hidrogel nanocompuesto de κ -carragenina / PVA	SEM, TEM, VSM, TGA, XRD	Adsorción de colorante catiónico
Película bio-nanocompuesta de PLA / agar / κ -carragenina / arcilla	XRD, SEM, WVP, CA, TGA	Empaques de alimentos

Nota. Tomado de (Zia et al., 2017).

CAPÍTULO III

3. Metodología

3.1. Composición de las algas rojas

Para determinar la composición de las algas rojas se realizó una búsqueda bibliográfica exhaustiva tomando en cuenta investigaciones experimentales de diferentes lugares y de diferentes tipos de algas ya que cada alga tiene una composición diferente.

3.2. Estructura y tipos de carragenina

Para determinar la estructura y tipos de carragenina, se toma como base de investigación los trabajos experimentales realizados a cerca de la extracción del polisacárido a partir de algas rojas (Rhodophytas) y su caracterización.

3.3. Métodos de extracción

Para la investigación de métodos de extracción de carragenina, se buscaron los métodos más utilizados y más actuales en la industria, tomando en consideración el estudio de nuevas tecnologías que actualmente buscan minimizar la contaminación ambiental.

3.4. Propiedades físico-químicas de la carragenina

Para la determinación de propiedades físico-químicas de la carragenina se analizaron investigaciones experimentales de varios autores, los cuales caracterizan el polisacárido mediante diversos métodos para la obtención de datos confiables.

3.5. Principales productores de carragenina a nivel mundial

Se analizaron varios autores que estiman el costo anual del mercado de carragenina en distintos años, también se utilizaron páginas web de empresas que se dedican a presentar análisis de mercado, con información estadística de tasas de crecimiento y reportes de empresas a nivel mundial, también se analizaron los principales países productores de algas rojas destinadas a la extracción de carragenina y los principales países productores de carragenina.

3.6. Importancia del polisacárido en el mercado ecuatoriano

Para determinar la importancia de la carragenina en el mercado ecuatoriano se describen sus características y se hace un análisis de las industrias que realizan importaciones para la utilización del polisacárido, también mediante investigaciones de estudios a nivel mundial se determina que actualmente está siendo un atractivo para la industria como la farmacéutica y en la fabricación de polímeros que pueden darle aplicabilidad a la industria petroquímica en el país.

3.7. Demanda Nacional de carragenina

Para el análisis de la demanda nacional de carragenina, se utilizan datos de la empresa Manifiestos en los años 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020, los datos adquiridos cuentan con información del peso en Kg, valores CIF en dólares norteamericanos, país de origen, empresa importadora, marca del producto entre otro tipo de información que nos permite llevar a cabo el análisis correspondiente.

3.8. Selección del Mercado objetivo

Para la selección del mercado objetivo se busca información de la industria nacional en donde tiene aplicabilidad la carragenina (tesis o artículos científicos) y se analiza el perfil del consumidor del producto, su necesidad y el área industrial al que va dirigido.

3.9. Capacidad de la Planta

Para determinar la capacidad de la planta se analizan datos de demanda mundial y nacional de carragenina, y se toma en cuenta una capacidad mayor a la demanda nacional del polisacárido considerando la demanda futura durante el tiempo que dure el proyecto.

3.10. Consumo Per cápita

El consumo aparente y per cápita de un producto, sirve como parámetro para medir la magnitud del consumo real de la población de una determinada zona o región, pues permite descontar las exportaciones e incluir las importaciones (Chiesa & Moctezuma, 1989).

$$\text{Consumo per cápita} = \frac{\text{Consumo del producto}}{\text{Población}}$$

CAPÍTULO IV

4. Resultados y discusión

4.1. Composición de las algas rojas.

4.1.1. Evaluación físico-química de las algas rojas (Rhodophytas) existentes en la parroquia Ballenita provincia Santa Elena

Ecuador tiene un recurso algal muy diverso que aún no ha sido explorado completamente, es por esto que no podemos encontrar información muy detallada de este recurso, sin embargo, (Filian Cevallos & Vásquez García, 2018) caracterizaron las algas rojas (Rhodophytas) existentes en la provincia de Santa Elena, parroquia de Santa Elena, para establecer su taxonomía, los compuestos químicos y las propiedades que presentan, mediante estudios de perfil lipídico, proteínas, humedad, grasas y cenizas.

Para el análisis físico-químico las algas son recolectadas y clasificadas, este proceso se debe realizar bajo cierto cuidado para evitar dañar el alga y recolectar las muestras necesarias, para obtener una buena reproducibilidad las muestras se analizaron entre 5 y 6 veces y se utilizaron las hojas secas que pasaron un proceso de secado que no dañe el alga si no que solamente le quite cierto grado de humedad y así se encuentre apta para el análisis, de todas las muestras se obtuvo un promedio y una desviación estándar, el % de sales insolubles nos permite determinar la presencia de sílice en el alga la cual es proveniente de la tierra.

Tabla 7

Resultados del análisis físico-químico de las algas Rhodophytas en la parroquia Ballenita, provincia de Santa Elena.

ANÁLISIS	CANTIDAD	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Humedad	71,39 %	2,21%
Cenizas totales	49,98%	2,59%

ANÁLISIS	CANTIDAD	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Cenizas Insolubles en HCl	48,08%	2,99%
Grasas Totales	0,95%	0,045%

Nota. Tomado de (Filian Cevallos & Vásquez García, 2018).

El % de humedad puede variar de acuerdo a como sea el secado de las hojas del alga, el % de cenizas nos permite determinar la ausencia de materia externa al alga como la arcilla que se puede encontrar en el momento de recolección de las muestras, la cantidad de grasas totales nos indican que tan saludables son para su consumo. Los resultados obtenidos se compararon con otros estudios experimentales y entraron en un rango de total aceptación.

4.1.2. Composición química del alga roja *Kappaphycus alvarezii* Doty (Solieriaceae)

Para este estudio se realizó un estudio fitoquímico y de bioactividad a los extractos del alga *Kappaphycus alvarezii* Doty, las muestras fueron recolectadas en la Isla de Cubagua, Venezuela, el material vegetal se lavó, se deshidrató y se pulverizó, los metabolitos secundarios o principios activos se extrajeron con éter de petróleo, posteriormente, se separó el filtrado y el residuo se volvió a re-extraer con los solventes más polares (cloroformo, acetato de etilo y metanol), siguiendo el proceso de extracción, cada uno de los filtrados se combinaron y fueron concentrados a presión reducida, una vez obtenidos los extractos crudos en distintos solventes, se pesaron y almacenaron bajo refrigeración para los análisis posteriores.

Para la caracterización estructural se utilizó cromatografía de gases-espectrometría de masas (CG-EM), los resultados de la primera fracción de extracto obtenidos fueron:

Tabla 8*Compuestos identificados de la primera fracción mediante CG-EM*

PICO	TR (MIN)	M	COMPUESTO	GRUPO QUÍMICO	FÓRMULA MOLECULAR
I	7,60	139	3-etil-4-metil-1 <i>H</i> -pirrole-2,5-diona	Cetona	$C_7H_9NO_2$
II	12,99	228	Ácido tetradecanoico	Ácido graso	$C_{14}H_{28}O_2$
III	15,12	256	Ácido hexadecanoico	Ácido graso	$C_{16}H_{32}O_2$
IV	16,39	284	Ácido octadecanoico	Ácido graso	$C_{18}H_{36}O_2$

Nota. Tomado de (D'Armas et al., 2020).

La segunda fracción presentó cuatro constituyentes en mayor proporción

Tabla 9*Compuestos identificados de la segunda fracción mediante CG-EM*

PICO	TR (MIN)	M+	COMPUESTO	GRUPO QUÍMICO	FÓRMULA MOLECULAR
I	7,74	136	Ácido 2-fenilacético	Ácido carboxílico	$C_8H_8O_2$
II	9,34	146	1-(1-propoxietoxi)propano	Alcano	$C_8H_{18}O_2$
III	10,19	220	Dieno-1,4-diona	Cetona Aromática	$C_{14}H_{20}O_2$

PICO	TR (MIN)	M+	COMPUESTO	GRUPO QUÍMICO	FÓRMULA MOLECULAR
IV	13,75	268	6,10,14-trimetil-2-pentadecanona	Cetona alifática	$C_{18}H_{36}O$
V	14,90	256	Ácido hexadecanoico	Ácido graso	$C_{16}H_{32}O_2$
VI	19,10	278	Dibutilftalato	Éster aromático	$C_{16}H_{22}O_4$
VII	22,92	372	Colestano	Esterol	$C_{27}H_{48}$

Nota. Tomado de (D'Armas et al., 2020).

Estas muestras mostraron una actividad biológica significativa (D'Armas et al., 2020).

4.1.3. Composición química del alga roja *Ceramium diaphanum* en (Túnez)

Se recolectaron las muestras y se lavaron con agua destilada, se secaron y se trituraron, para el respectivo análisis de la composición química y la presencia de actividades biológicas, los resultados fueron los siguientes:

Tabla 10

Contenido de proteínas, cenizas, lípidos y azúcares totales, medias de dos réplicas (%de peso/peso seco)

ESPECIE	COMPOSICIÓN			
	Proteínas	Lípidos	Ceniza	azúcar
Ceramium diaphanum	14	1,18	11,35	18,70

Nota. Tomado de (Frikha et al., 2011).

Tabla 11

Contenido de minerales, medias de dos réplicas (%de peso/peso seco).

ESPECIE	MINERALES							
	Na	K	Mg	Ca	Fe	Cu	Zn	Mn
Ceramium diaphanum	0,560	0,493	0,580	2,118	0,133	0,005	0,019	0,013

Nota. Tomado de (Frikha et al., 2011)

Los resultados obtenidos se los comparó con otros estudios realizados, entrando en un rango totalmente aceptable, la variación de los datos se da por las variaciones de clima entre especies, la localización geográfica, las condiciones de almacenamiento, entre otras (Frikha et al., 2011).

4.2. Estructura y tipo de carragenina

Los carragenanos son polisacáridos hidrófilos y representan entre el 30% y el 80% del total de componentes de la pared celular del alga roja. Como se mencionó anteriormente estas concentraciones están influenciadas por la estación, las especies y las condiciones en las que se desarrollan.

La carragenina está comprendida por unidades de disacárido repetidos de galactosa y 3,6-anhidrogalactosa (3,6 AG), tanto sulfatadas como no sulfatadas, unidas alternando enlaces glucosídicos α - (1,3) y β - (1,4) (Imeson, 2009). Las estructuras de los diversos tipos de carragenina difieren por el contenido de (3,6 AG), esta variación influye en las características estructurales y propiedades reológicas del polisacárido, la determinación directa cuantitativa (3,6 AG) es difícil, por lo que se utiliza la técnica de Yaphe, en donde se reporta que la carragenina extraída en medio alcalino presenta más contenido de (3,6 AG) (Rafiquzzaman et al., 2017), esta es una técnica colorimétrica con resorcinol, utilizada comúnmente para la determinación del contenido de (3,6 AG) y galactosa en los polisacáridos de algas marinas (Yaphe, 1960).

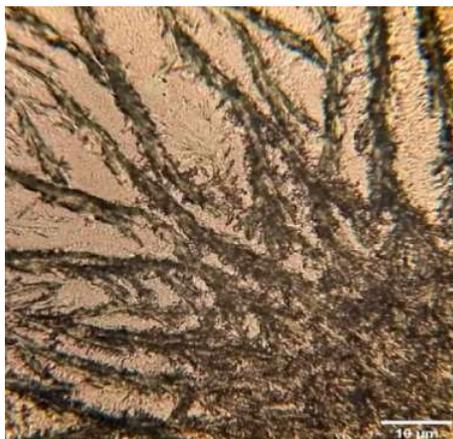
El carragenano consta de ésteres de sulfato de amonio, calcio, magnesio, potasio y sodio, se encuentran uno o dos grupos sulfato en la unidad de galactosa en las posiciones dos y/o seis (Saravana & Chun, 2017), con un contenido de éster-sulfato del 15 al 40% (Yun et al., 2015).

Este polisacárido se divide en 6 formas básicas: Iota (ι)-, Kappa (κ)-, Lambda (λ)-, Mu (μ)-, Nu (ν)-, y Theta (θ)- carragenina. Esta nomenclatura es importante para determinar su clasificación química y su producción comercial, cada tipo de carragenina difiere de una especie a otra (Campo et al., 2009).

La morfología de (κ)- carragenina corresponde a su estructura molecular, tiene una conformación de doble hélice donde las porciones lineales helicoidales pueden asociarse para formar una red tridimensional (Vargas et al., 2021).

Figura 4

Microscopía óptica (40x), morfología de la (κ)- carragenina

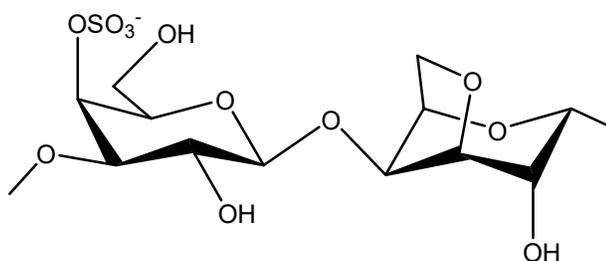


Nota. Tomado de (Vargas et al., 2021)

La (κ)- carragenina se extrae principalmente del alga tropical *Kappaphycus Alvarezii*, conocida comercialmente como *Euचेuma Cottonii* o simplemente *Cottonii*, tiene un solo grupo éster-sulfato (Campo et al., 2009), y se compone de unidades alternas de d-galactosa-4-sulfato y (3,6) -anhidro-d-galactosa (Saravana & Chun, 2017).

Figura 5

Estructura molecular de la especie kappa-carragenina

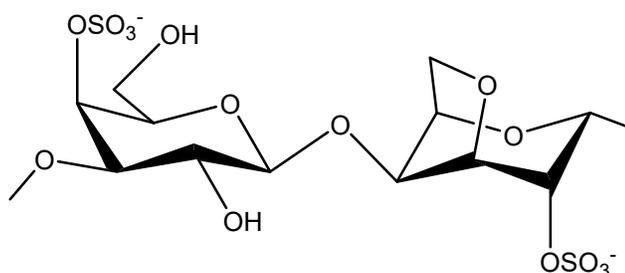


Nota. Tomado de (Campo et al., 2009).

La (ι)- carragenina se obtiene del alga *Euचेuma denticulatum* o comercialmente conocida como *Euचेuma Spinosum* o solo *Spinosum*, tiene dos grupos éster-sulfato (Campo et al., 2009) y solo se diferencia del k-carragenano por la adición de grupos sulfato en la posición dos de las unidades (3,6) -anhidro-d-galactosa (Saravana & Chun, 2017).

Figura 6

Estructura molecular de la especie Iota-carragenina

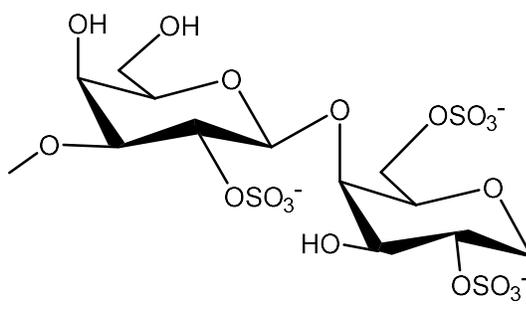


Nota. Tomado de (Campo et al., 2009).

La (λ)- carragenina se obtiene de diferentes especies de algas de géneros Gigartina y Chondrus, tienen tres grupos de éster-sulfato (Campo et al., 2009) y no tiene unidades (3,6) -anhidro-d-galactosa, sino unidades alternas de (1,3) -dgalactosa-2-sulfato y (1,4) -d-galactosa 2,6- disulfato (Saravana & Chun, 2017).

Figura 7

Estructura molecular de la especie lambda-carragenina

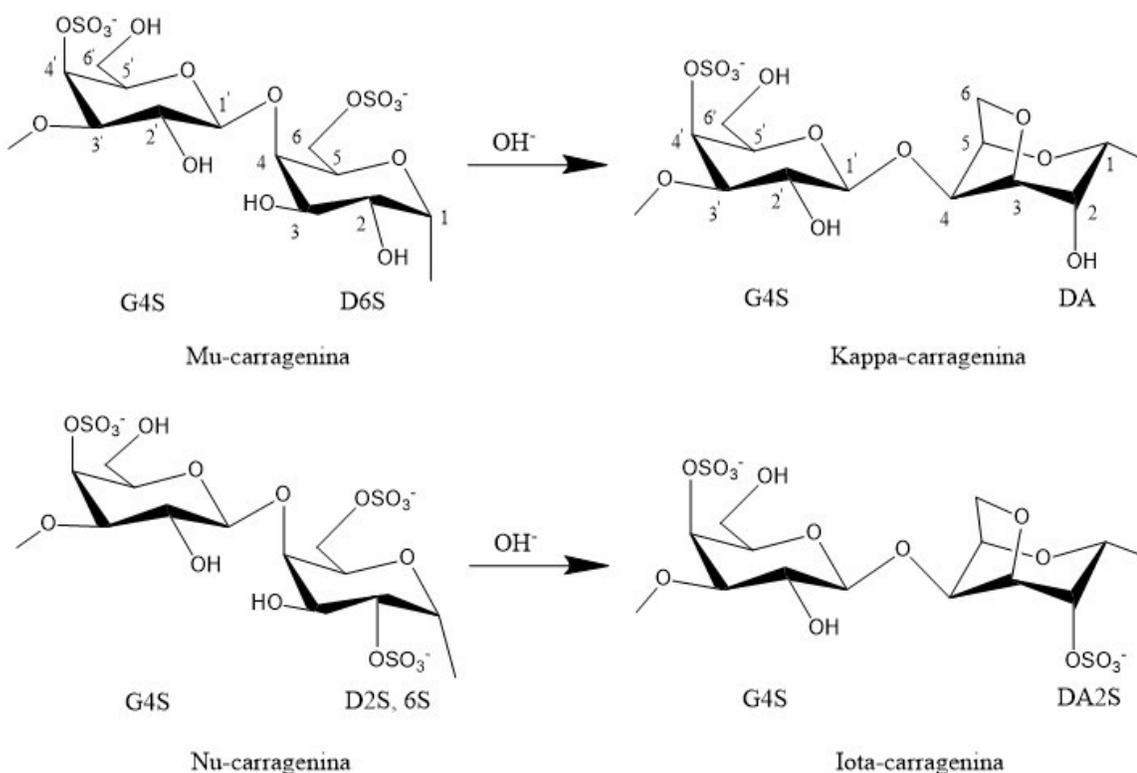


Nota. Tomado de (Campo et al., 2009).

Para el caso de Mu (μ)- carragenina y Nu (ν)- carragenina, se extraen de las algas marinas con álcali a altas temperaturas para transformar estos precursores biológicos en Iota (ι)- carragenina y Kappa (κ)- carragenina comerciales (Figura 8).

Figura 8

Conversión química de las carrageninas comerciales (kappa y iota) durante tratamiento alcalino



Nota. Tomado de (Campo et al., 2009)

Comercialmente los carragenanos más importantes son (κ)- carragenina, (ι)- carragenina, (λ)- carragenina. Además, de la galactosa y el sulfato, la carragenina también puede tener residuos de carbohidratos como la xilosa, glucosa, ácidos urónicos y algunos sustituyentes como metil éter y grupos piruvato.

La diferencia entre cada tipo de carragenano se da por el número de grupos sulfato y anillos (3,6)-anhidro-d-galactosa, estas variaciones estructurales influyen en las propiedades fuerza del gel, textura, solubilidad, temperaturas de fraguado y fusión, sinéresis, sinergias e interacciones con otros hidrocoloides e ingredientes (Imeson, 2009). Por ejemplo, el ι -carragenano tiene dos grupos sulfatos que representan una cantidad significativa, pero contienen poco o ningún anillo (3,6)-anhidro-D-galactosa, lo que dificulta la gelificación de este tipo de carragenano (Campo et al., 2009).

Tabla 12

Contenido de éster-sulfato y 3,6-anhidrogalactosa en la estructura de la carragenina.

TIPO DE CARRAGENINA	CONTENIDO EN PORCENTAJE (%)	
	Éster-sulfato	3,6-anhidrogalactosa
(κ)- carragenina	22	33
(ι)- carragenina	32	26
(λ)- carragenina	37	0

Nota. Tomado de (Imeson, 2009).

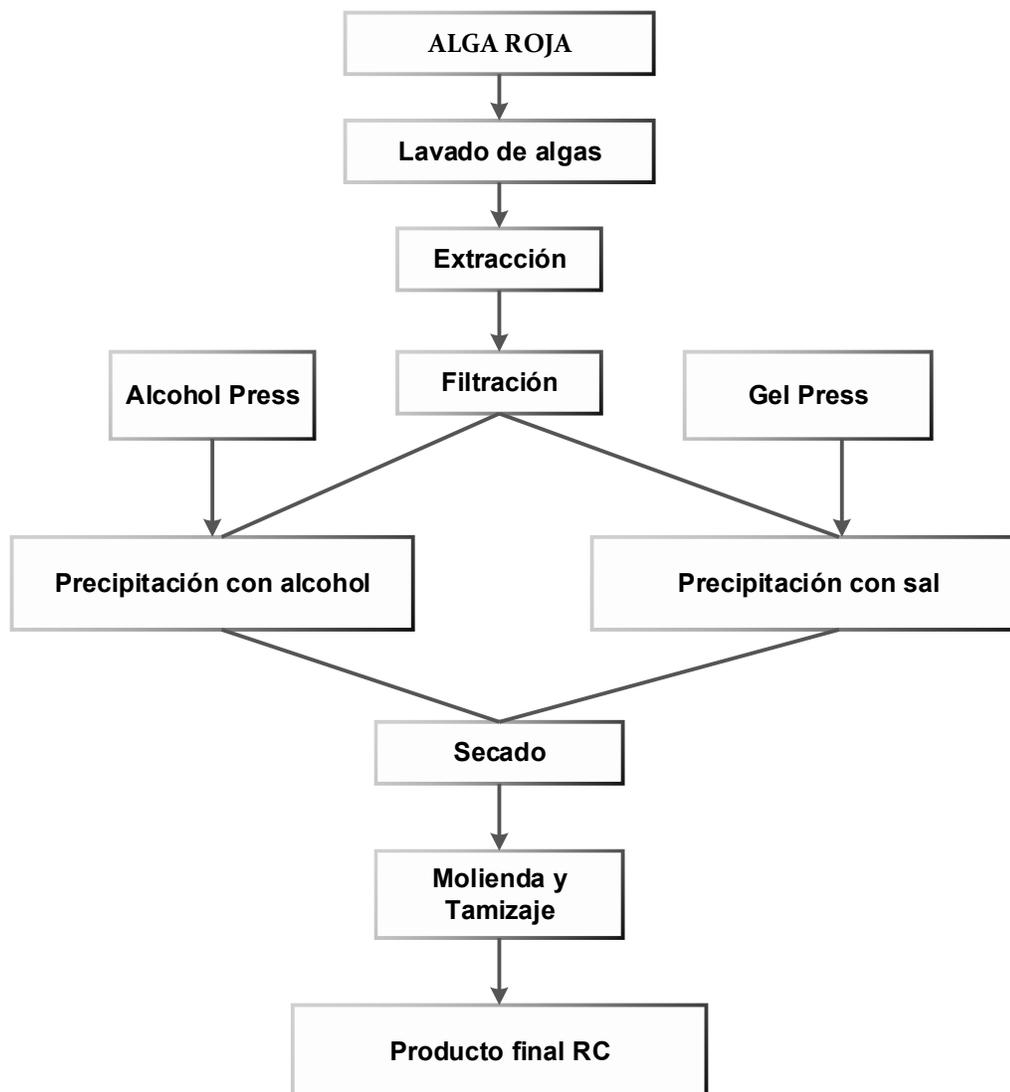
El contenido de sulfato se expresa como grado de sustitución, es el número medio de sulfato por unidad repetida de disacáridos en carragenina, estos valores son variables debido al método de extracción ya sea en medio acuoso donde se obtiene mayor contenido de sulfato o en medio alcalino (Rafiquzzaman et al., 2017), la variación también se atribuye a las diferencias que existe en las algas marinas y los lotes. Para la determinación del contenido de sulfato en carragenanos tenemos varios métodos, el método oficial propuesto por el comité mixto FAO/ OMS de expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA) es laborioso y requiere de grandes cantidades de muestra por esto de han presentado algunas alternativas a este método, como el análisis elemental, la espectroscopia infrarroja (IR), la resonancia magnética nuclear (Campo et al., 2009), gravimetría, espectrofotometría o la turbidimetría, siendo este último el más utilizado comúnmente (Rafiquzzaman et al., 2017).

4.3. Métodos de extracción

4.3.1. Extracción de Carragenina Refinada (RC)

Figura 9

Diagrama de bloques para el proceso de obtención de carragenina refinada (RC)



Nota. Tomado de (Manuhara et al., 2016).

Proceso de obtención de Kappa carragenina por precipitación Alcohol Press:

- **Lavado:** se lava el alga marina con agua corriente y se remoja en 3L de agua por 24 horas, para quitar residuos marinos como arena y sales, después se corta y se tritura el alga, lo que da como resultado la pulpa del alga.

- Mezcla: la pulpa se mezcla con agua en una proporción de 1:80 (v/v), y la mezcla se acondiciona a un pH de 9 con una solución alcalina de $Ca(OH)_2$, luego se realiza la extracción calentando la solución a 90°C durante 2 horas con agitación constante, la solución alcalina elimina algunos de los grupos sulfatos de las moléculas y promueve la formación de 3,6-anhidrogluctosa, este compuesto proporciona mayor fuerza de gelificación a la carragenina.
- Filtración: los materiales sólidos (desechos) se separan por filtrado viscoso, luego se neutraliza con una solución de HCl al 1% hasta un pH de 7, se vuelve a calentar a 60°C durante 30 minutos, el filtrado se cuagula usando una solución de KCl (1,5%, 2,5% o 3,5%) con filtrado y la relación de la solución de KCl fue de 1:1, el resultado se agitó continuamente durante 15 minutos, la mezcla final se filtró para separar el gel del carragenano y el agua.
- Precipitación: el gel de carragenina se empapa completamente en alcohol (etanol) al 96% durante una hora y se agita continuamente. Posterior a esto el alcohol y el agua se separa del gel de carragenina mediante filtración. Este proceso se lleva a cabo con una sal o con un alcohol de acuerdo al proceso comercial que se quiera llevar a cabo, alcohol Press o Gel Press, para este proceso se usó el método de alcohol Press.
- Secado y molienda: como último procedimiento el carragenano se seca usando un secador (armario) a 70°C durante 24 horas y se muele hasta obtener un tamaño de malla de 80 (Manuhara et al., 2016).

Proceso de obtención de Kappa carragenina por precipitación Gel Press:

- Lavado: se lava el alga marina con agua corriente y se remoja en 3L de agua por 24 horas, para quitar residuos marinos como arena y sales, después se corta y se tritura el alga, lo que da como resultado la pulpa del alga (Manuhara et al., 2016).
- Mezcla: se mezclan las algas *Eucheuma cottonii* natural y *Eucheuma cottonii* procesada, esto es opcional y se lo aplica para obtener un mayor rendimiento en

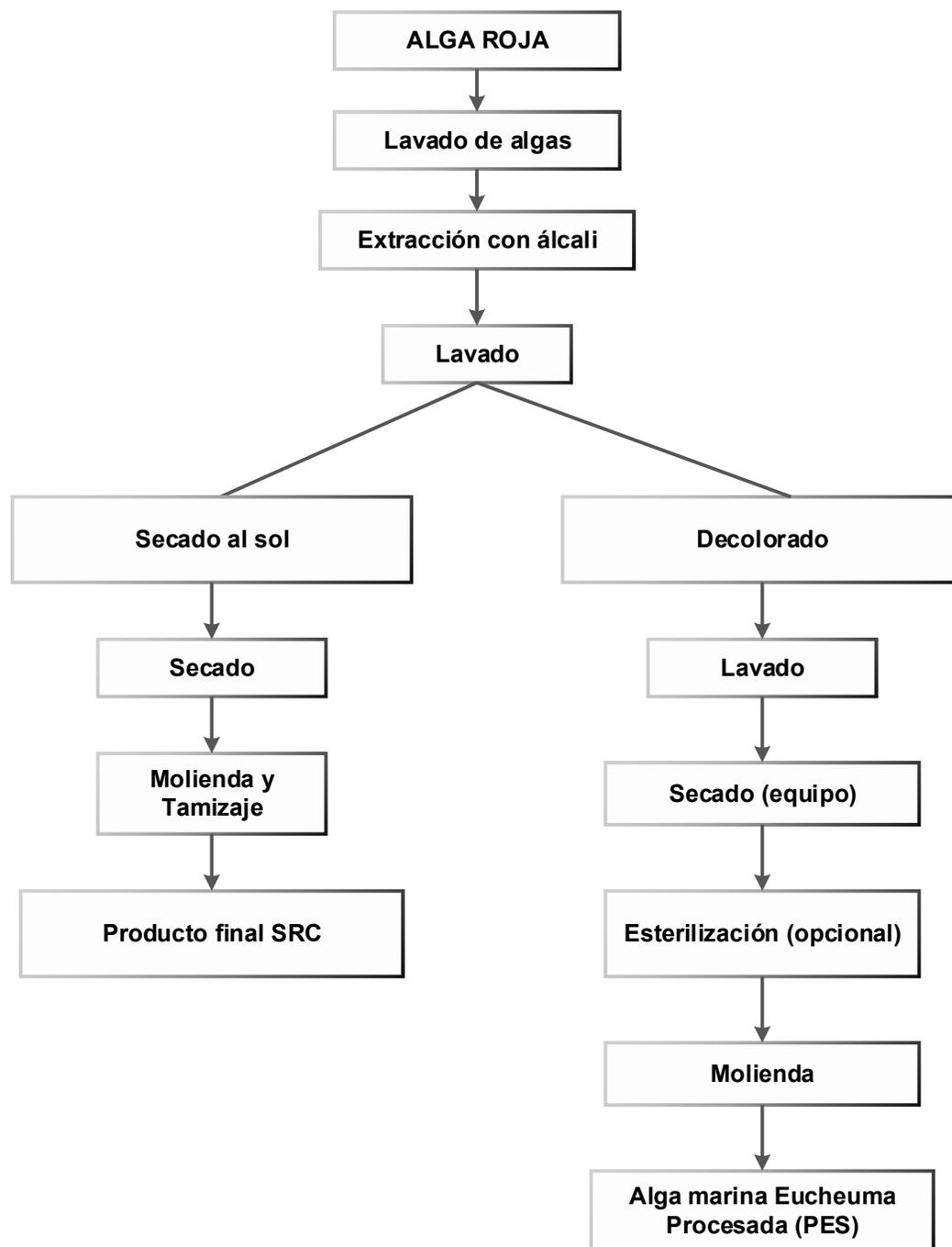
el proceso, en este proceso se lleva a cabo la modificación química del alga, esto se logra por la reacción entre una base hidróxido de sodio (NaOH) y el alga, además se añaden tierras filtrantes que se distribuyen homogéneamente en la solución y que serán requeridas en la etapa de filtración, para lograr la disolución de la mezcla se agita por 2 horas, manteniendo un rango de temperatura constante (85-95°C) y alcanzando un volumen de solución para que la viscosidad de la mezcla se en un rango (60-200 cp), este proceso de extracción se realiza en un sistema Batch.

- **Filtración:** este proceso se realiza para concentrar la solución del 1% de carragenina hasta un 4% de carragenina, también se elimina el material insoluble presente en el extracto como la celulosa y los restos sólidos presentes de la materia prima, se filtra cuando la mezcla aún está caliente para evitar que gelifique, el producto ya filtrado se conserva a unos 80°C en estanques que sirven para proporcionar una alimentación continua al sistema, luego se enfría hasta 40°C aproximadamente para garantizar una precipitación óptima.
- **Precipitación:** este proceso se obtiene mezclando la solución enfriada no gelificada con una sal, en este caso de utilizo cloruro de potasio (KCl, 15% en peso), el cual sirve como medio para la formación de precipitado. Luego se puede agregar mayor tiempo de maduración a la mezcla para mejorar la eficiencia del precipitado, se filtra el precipitado por medio del prensado, para liberarlo del agua y el KCl (2,5-1,5%), posterior a esto nuevamente se le adiciona una solución de KCl (2%), para precipitar cualquier residuo de carragenina que haya quedado en la solución, también se puede agregar cierta cantidad de cloro comercial (NaOCl) con el objetivo de blanquear y descontaminar la carragenina que se está produciendo, finalmente se vuelve a filtrar con prensado para eliminar el máximo de agua, todo el cloro y KCl que se haya disuelto en el agua.
- **Secado y molienda:** como último procedimiento la carragenina se seca por contacto directo con aire caliente a una temperatura de 90-105°C, en un tiempo que no supera los 60 minutos, y por último el producto terminado en molido para luego ser tamizado y obtener partículas de acuerdo a las necesidades del consumidor (# 100 – # 200) (Mancilla Martínez, 2012).

4.3.2. Extracción clásica de k-carragenina

Figura 10

Diagrama de bloque para la obtención de carragenina SRC y PES



Nota. Tomado de (McHugh, 2003).

En este método al inicio se elimina toda el alga que se disuelve en álcali y agua, dejando atrás la carragenina y otras materias insolubles como la celulosa, este residuo insoluble se seca y se vende como carragenina semirrefinada (SRC), así no es necesario recuperar el carragenano de la solución insoluble por lo que se considera el proceso más económico y más corto respecto al tiempo que necesita para llevarse a cabo.

Proceso de obtención de carragenina semirrefinada (SRC):

- Lavado: las algas se lavan con agua destilada para eliminar contaminantes y estandarizar el contenido de humedad de las algas, posterior a esto las algas húmedas se secan en un horno a 60°C en un periodo de 15 a 16 horas para eliminar el exceso de humedad.
- Mezcla: luego el alga se cose en una olla de cocción en una solución de Hidróxido de potasio (KOH), se debe controlar la temperatura para que sea constante en todo el proceso, este paso elimina algunos grupos sulfato y aumenta la formación de un anillo de 3,6-anhidrogalactosa para formar un gel más fuerte.
- Lavado: a continuación, las algas cocidas se enfriaron a temperatura ambiente y se lavaron con agua destilada para eliminar el exceso de KOH.
- Secado: posterior al lavado, la SRC se secó en un horno a 60°C durante 24 horas.
- Trituración: una vez sacada el alga se procede a disminuir el tamaño de la misma mediante corte simples o trituración en un molino, para la obtención de un polvo que es la carragenina semirrefinada (SRC) (Bono et al., 2014)

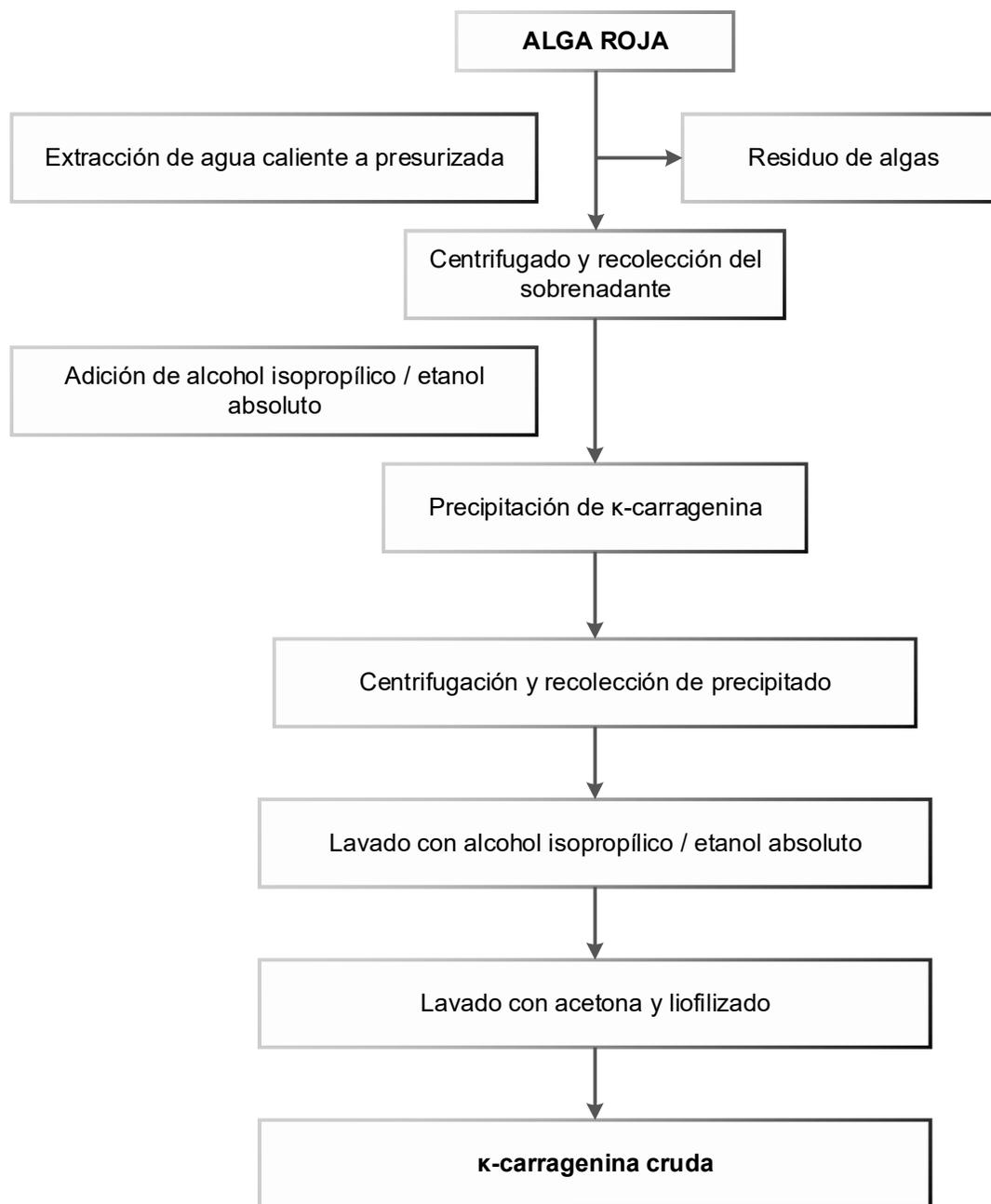
Actualmente este proceso busca ofrecer algún beneficio adicional frente a la carragenina (RC), por este motivo después del segundo lavado se corta y se trata el alga con blanqueador que por lo general es cloro comercial, y se lava nuevamente para quitar el resto de blanqueador, y posterior a eso el producto es secado y molido, para bajar la cuenta bacteriana también se tiene la opción de lavar el producto con alcohol

seguido de una evaporación a vacío, o solo se trata con vapor sobrecalentado (McHugh, 2003).

4.3.3. Extracción de κ -carragenina con agua subcrítica (SWE)

Figura 11

Diagrama de flujo de extracción con agua caliente presurizada de κ -carragenina



Nota. Tomado de (Saravana & Chun, 2017)

El SWE se operó en un sistema discontinuo de 200 cm³ construido con Hastelloy C276 (sistema de agua supercrítica de tipo continuo, Phosentech, Corea del Sur) (Figura 12).

Figura 12

Sistema de agua supercrítica de tipo continuo.



Nota. Tomado de (Saravana & Chun, 2017).

Proceso de obtención de kappa-carragenina mediante (SWE):

- Alimentación: se cargan en el reactor 2 g de algas rojas (*K. alvarezii* o *Euचेuma Cottonii*) con 160 ml de agua y se cierra.
- Purga del reactor: se purga con gas N_2 a través de una válvula y se mantienen las condiciones de operación requeridas: temperatura 120°C, presión 50 bar, velocidad de agitación 200 rpm y tiempo de reacción 5 min.

La T y P se controlaron mediante un controlador de temperatura y un manómetro que se encuentran en el reactor.

- **Recolección de muestras:** después de la reacción se recogen las muestras hidrolizadas del reactor, usando una cámara de enfriamiento.
- **Filtrado:** para el proceso de filtración se utilizan filtros de membrana (tamaño de poro de 0,45 μm , Fisher Scientific).
- **Centrifugación:** los hidrolizados se centrifugan y el sobrenadante se añade al alcohol isopropílico o etanol absoluto en una relación de 1:3 (v / v) para precipitar carragenina en bruto y se centrifuga nuevamente.
- **Lavado:** se realizan dos lavados, primero se lava con etanol o alcohol isopropílico, luego se realiza el lavado con acetona.
- Finalmente se liofiliza y se lleva a cabo el proceso de molienda (Saravana & Chun, 2017).

4.3.4. Extracción asistida por ultrasonido (UAE)

Esta técnica de extracción se encuentra en etapa desarrollo para el uso a escala industrial, debido a que se requiere más investigación, sin embargo, ya se ha probado en la extracción de carragenina del alga *H. musciformis* obteniéndose un rendimiento de un 20% mayor en comparación con la técnica tradicional y no se ha encontrado ninguna variación respecto al contenido de sulfato y de (3,6 AG) entre los métodos convencionales y el UAE.

Tabla 13

*Rendimiento (%) de carragenina extraída de *Hypnea musciformis* utilizando diferentes métodos de extracción*

CONDICIONES DE EXTRACCIÓN	RENDIMIENTO (%)
Medio acuoso; convencional	39,78
Medio acuoso; UAE	49,01

CONDICIONES DE EXTRACCIÓN	RENDIMIENTO (%)
Medio alcalino; (3% KOH; convencional)	32,34
Medio alcalino; (3% KOH; UAE)	38,04

Nota. Tomado de (Rafiquzzaman et al., 2017)

Algunas de principales ventajas es que ofrece una alta eficiencia y reproducibilidad en menos tiempo, mayores rendimientos de compuestos bioactivos, facilidad de operación, disminución de la temperatura durante el procesamiento, menor consumo de solventes, mayor aporte de energía y costos reducidos, es llevada a cabo principalmente por la alteración de las paredes celulares, la reducción del tamaño de las partículas y una mayor transferencia de masa al contenido celular como resultado del colapso de la burbuja de cavitación.

La UAE pueden provocar el colapso de las burbujas de cavitación que generan suficiente energía para dar lugar a colisiones entre partículas vegetales en suspensión como en el caso de la extracción clásica por agitación. La potencia ultrasónica y el tiempo de sonicación son los parámetros más importantes a considerar para la extracción exitosa de carragenina utilizando el método UAE.

Estos parámetros deben manipularse según el tipo de compuesto, materia prima, tipo de disolvente, materia prima, etc. ya que la selectividad y el rendimiento de la extracción dependen tanto de la muestra como de las condiciones operativas. Durante la extracción ultrasónica, la temperatura baja debe mantenerse utilizando hielo para evitar la degradación de la carragenina (Rafiquzzaman et al., 2017).

4.4. Propiedades físico-químicas de la Carragenina

La carragenina aplicada al sector alimenticio es un polímero heterogéneo de alto peso molecular que va de 200 a 800 kDa, el carragenano de *Eucheuma* procesado es ligeramente superior con un peso molecular de 615 kDa (Saravana & Chun, 2017), mientras que la carragenina comercial tienen un valor de masa molecular que varía entre 100 y 1000 kDa (Kilodalton) (Campo et al., 2009), la viscosidad ha demostrado ser una herramienta adecuada para controlar el peso molecular del carragenano durante décadas (Imeson, 2009).

Tabla 14

Resumen de las propiedades de la carragenina y su interacción con productos y sistemas alimenticios.

Propiedades	Kappa (κ)	Iota (ι)	Lambda (λ)
Solubilidad			
Agua caliente (80°C)	Soluble	Soluble	Soluble
Agua fría (20°C)	Sal de Na ⁺⁺ soluble, hinchamiento limitado de sales de K ⁺ , Ca ⁺⁺	Sal de Na ⁺⁺ soluble, Ca ⁺⁺ produce partículas hinchadas tixotrópicas.	Todas las sales solubles
Leche caliente (80°C)	Soluble	Soluble	Soluble
Leche Fría (20°C)	Insoluble	Insoluble	Espesante
Soluciones (50% azúcar)	Soluble en caliente	Insoluble	Soluble
Soluciones (10% sal)	Insoluble	Soluble en caliente	Soluble en caliente
Gelificación			
Efectos de cationes	Geles fuertes con K ⁺	Geles fuertes con Ca ⁺⁺	No gelificante
Textura Gel	Quebradizo	Elástico	-
Sinéresis	Si	No	-
Histéresis	10-20 °C	5-10°C	-
Estabilidad de descongelmiento	No	Si	Si
Sinergia con goma de algarrobina	Si	No	No
Sinergia con sabor de konjac	Si	No	No
Sinergia con almidón	No	Si	No

Propiedades	Kappa (κ)	Iota (ι)	Lambda (λ)
Reversibilidad de cizallamiento	No	Si	Si
Estabilidad en ácidos	Hidrólisis Hidrólisis, aceleramiento por calor, bajo pH y tiempo, geles estables.		
Reactividad proteica	Reacción específica con caseína kappa	Fuerte interacción proteica en ácido	

Nota. Tomado de (Imeson, 2009).

El tipo lambda carragenano es el menos utilizado de los carragenanos primarios, en la mayoría de los casos simplemente proporciona funcionalidades secundarias a kappa carragenano, por ejemplo, dando a un gel de leche kappa carragenina una textura más cremosa, la producción de lambda carragenina pura es cara y poco común debido a que este tipo de carragenina comprende menos del 20% de la composición de la mezcla. (Imeson, 2009). Las propiedades funcionales varían de acuerdo a los distintos tipos de carragenina obtenida, ya que, por sus diferentes características cada una tiene su propia aplicación.

Todas las fracciones de carragenina son solubles en agua e insolubles en aceites, grasas y disolventes orgánicos, su solubilidad depende de los niveles de grupo sulfato y de sus cationes asociados, la presencia de un catión adecuado es un requisito primordial para que se lleve a cabo la gelificación, en consecuencia, estas características determinan la viscosidad de las soluciones o la fuerza de los geles formados por carragenanos.

La gelificación de (κ)- carragenina se da en dos pasos, transición de espiral a hélice al enfriarse y agregación dependiente de cationes entre hélices, para este tipo de carragenano los metales alcalinos (Li^+ , Na^+ , K^+ , Rb^+ , Cs^+) son capaces de llevar a cabo la gelificación (Campo et al., 2009).

El gel de (κ)- carragenina gelifica al enfriarse y según el catión que se añade a bajas concentraciones (0,5%), es más fuerte cuando se utiliza el potasio, cuando se utiliza el

calcio también es fuerte pero frágil y tiende a mostrar sinéresis (separación del líquido de su gel) (Saravana & Chun, 2017).

La viscosidad aumenta exponencialmente con el aumento de su concentración, y pueden ocurrir por dos mecanismos diferentes:

- Interacción entre las cadenas lineales, con disminución del espacio libre o aumento del volumen excluido.
- Formación de un gel físico causado por “reticulación” entre cadenas.

La viscosidad también depende de otras condiciones como la concentración, la temperatura y la presencia de otros solutos, el tipo de carragenano y su peso molecular. (Campo et al., 2009)

4.5. Principales productores de carragenina a nivel mundial

Las empresas que se dedican a la extracción de carragenina están promoviendo activamente el cultivo en otras zonas, como la India, África y las islas del Pacífico. Las dos especies *Eucheuma* representan actualmente el 85 % de la materia prima utilizada por la industria, mientras que *Chondrus* (procedente del Canadá, Francia, España, Portugal y República de Corea) representa el cinco por ciento y las especies de *Gigartina*, procedentes de Chile, Marruecos y México, representan el 10 % restante (McHugh, 2002).

Según los reportes de (ASD Reports, 2020), Europa y América del Norte fueron los primeros mercados para la carragenina y juntos en el 2019 representaron más del 50% de los ingresos mundiales, siendo Europa el que obtuvo mayor participación en los ingresos, las principales empresas dedicadas a la fabricación de carragenina en el mercado, son:

- Cargill, Incorporated
- DuPont de Nemours, Inc.
- Ceamsa
- Lauta Ltd.

- Ingredion Incorporated
- CP Kelco US, Inc.

Todas trabajan bajo estrictos criterios de calidad y cumplen con estándares y regulaciones de calidad internacional.

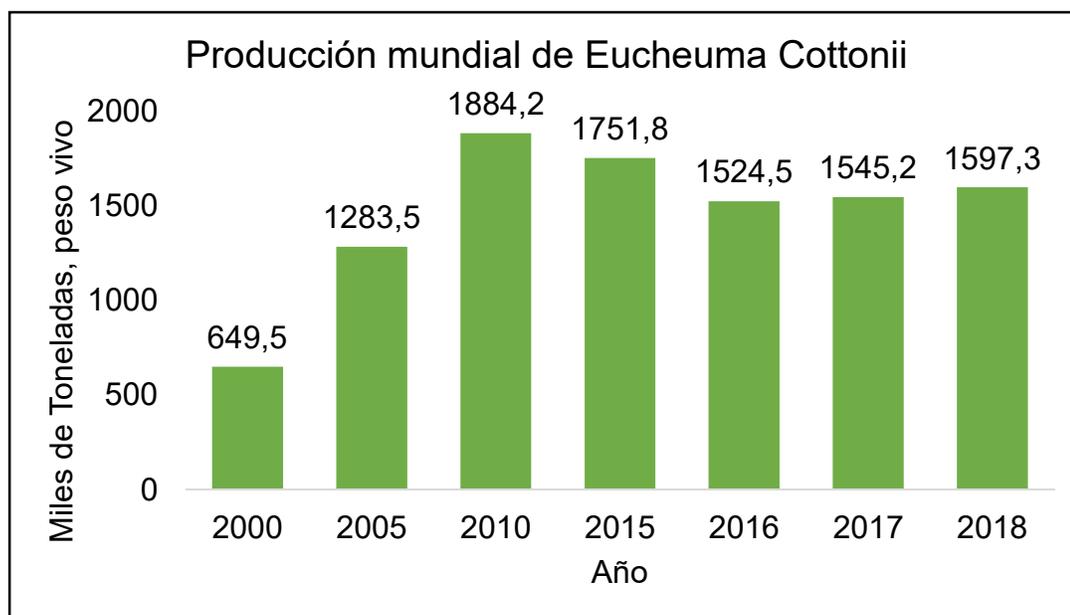
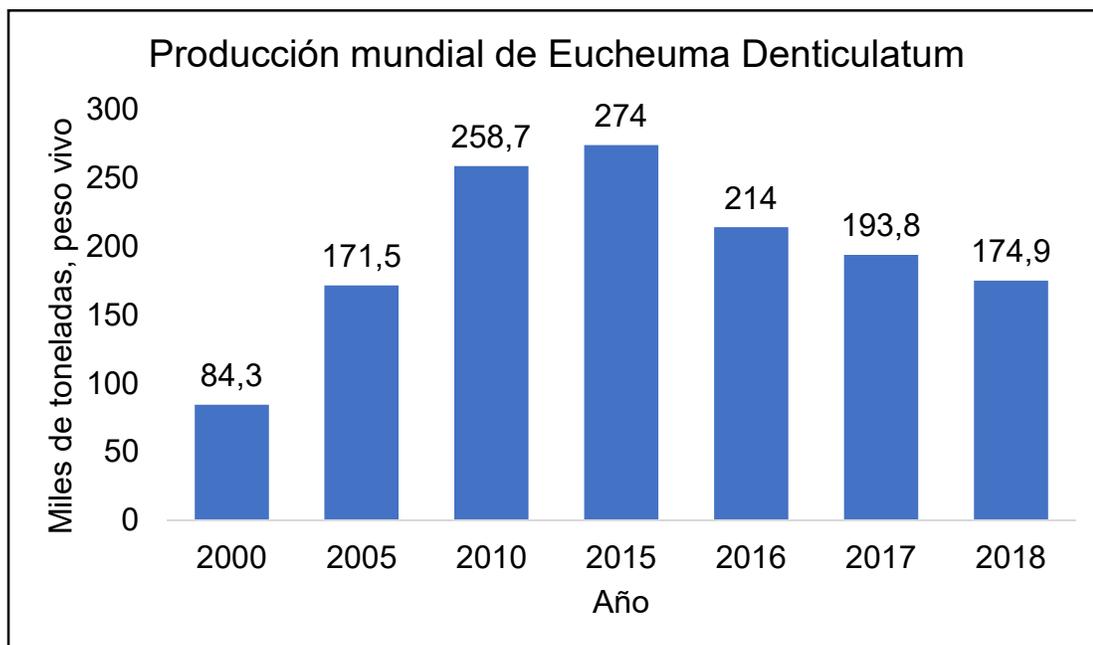
4.6. Demanda mundial de polisacárido

La carragenina es el hidrocoloide más consumido en todo el mundo, en 2018 se estimó una producción de 71,5 mil toneladas métricas que representa aproximadamente el 50% del total de hidrocoloides producidos a nivel mundial, se espera que la producción crezca en una tasa anual de 5,1% en los próximos años (ASD Reports, 2019).

Según la (FAO, 2020), no es posible tener datos completamente acertados de la producción de algas e hidrocoloides a nivel mundial, debido a que las empresas que se dedican a este mercado no suele siempre aportar con la información necesaria, en especial las empresas pequeñas, sin embargo, si se puede hacer una estimación con datos aproximados a la realidad.

En los últimos años se ha dado un rápido crecimiento del cultivo de especies de algas tropicales como *Eucheuma Denticulatum*, productora de Iota carragenina y (*Eucheuma Cottonii* o *Kappaphycus alvarezii*) que se utiliza como materia prima para la producción de kappa I carragenina, la producción de esta última especie de alga, solo en Indonesia aumentó de 4 millones de toneladas en 2010 a más de 11 millones de toneladas en 2016 y se mantuvieron niveles similares en el 2018, mientras que a nivel mundial se estima un amplio crecimiento desde el año 2000 hasta el 2018 pasando de una producción de 649,5 miles de toneladas a 1597,3 miles de toneladas.

Mientras que el alga *Eucheuma Denticulatum*, productora de Iota carragenina pasó de una producción de 84,3 miles de toneladas en el 2000 a una producción de 174,9 miles de toneladas a nivel mundial en 2018.

Figura 13*Producción mundial de Eucheuma Cottonii**Nota.* Tomado de (FAO, 2020).**Figura 14***Producción mundial de Eucheuma Denticulatum**Nota.* Tomado de(FAO, 2020).

El mercado total de carragenina en el 2003 tuvo un valor de aproximadamente 300 millones de dólares al año (McHugh, 2003) y para el año 2007 según (Imeson, 2009), un estimado del mercado global anual fue de 416 millones de dólares, que representa el 9% del mercado mundial de hidrocoloides.

En 2020 el mercado mundial del polisacárido tuvo un valor aproximado de 687 millones de dólares y se estima que para el 2027 alcance los 1.170 millones de dólares con una tasa anual de crecimiento del 5,9%; de los tipos de carragenina la que tuvo mayor participación en los ingresos del año 2020 fue el tipo kappa carragenina (ASD Reports, 2020).

La industria alimenticia hace uso de entre el 70% y el 80% de la producción mundial de carragenina, que aproximadamente son 50 000 toneladas métricas por año, de estas se distribuye aproximadamente el 45% para productos lácteos y el 30% a la carne y sus derivados (Campo et al., 2009).

4.7. Importancia del polisacárido en el mercado ecuatoriano

La carragenina tiene varias aplicaciones industriales, sin embargo, según los datos de importaciones hechas por el Ecuador se observa que un 91% se utiliza para la elaboración de productos alimenticios (Figura 15), mientras que el 9% se utiliza para la elaboración de productos químicos (Manifiestos, 2021).

Tabla 15

Empresas Importadoras de carragenina en Ecuador

EMPRESA IMPORTADORA	PORCENTAJE (%)	Productos
ESCANDON PACHECO JOSE	26,80	Alimenticios
ALITECNO	25,72	Alimenticios
ITALIMENTOS CIA. LTDA.	21,46	Alimenticios
OBSIDIAN CIA. LTDA.	7,20	Químicos
PROSE	4,20	Alimenticios
GRIFFITH FOODS S.A.S.	4,12	Alimenticios
CODAN CIA. LTDA.	2,67	Alimenticios

EMPRESA IMPORTADORA	PORCENTAJE (%)	Productos
JURIS CIA. LTDA.	2,20	Alimenticios (Cárnicos)
LOS ANDES AMBUANDES CIA. LTDA	1,66	Alimenticios (Cárnicos)
LEVAPAN S.A.	1,38	Alimenticios(Repostería)
TECNIAROMAS S.A	1,1	Químicos
OTROS	1,48	
TOTAL	100	

Nota. Tomado de (Manifiestos, 2021).

Dentro de los productos químicos tenemos los que se utilizan para la industria farmacéutica, esta industria no abastece totalmente la demanda interna, pero es la que más se ha desarrollado en el país y ha recibido mayores impulsos por sus propias condiciones, es una actividad industrial muy importante, con importantes inversiones extranjeras como Bayer y Difare. La industria de un país se desarrolla acorde la economía avanza, en términos generales se puede decir que la industria química en Ecuador adquiere importancia conforme el país se desarrolla. (Romero Guaygua, 2011).

Figura 15

Usos de la carragenina en Ecuador



Nota. Tomado de (Manifiestos, 2021).

Actualmente el estudio, la producción y el consumo de productos ecológicos están incrementando y la carragenina junto con otros polisacáridos obtenidos de fuentes naturales cuentan con características esenciales para el desarrollo de materiales biodegradables, como es el caso de la fabricación de películas biodegradables para la envoltura de productos alimenticios (Zia et al., 2017), Ecuador siendo un país que no es ajeno a la realidad actual de la conservación del medio ambiente, podría expandir su industria en este campo, con la investigación de más aplicaciones para este hidrocoloide.

4.8. Demanda Nacional

La carragenina es ampliamente utilizada en el sector industrial, el mercado con mayor demanda a nivel nacional es el sector alimentario debido a las propiedades que poseen, la demanda total en el país solamente se satisface con importación del polisacárido debido que Ecuador no cuenta con una planta de producción de este hidrocoloide.

Para el análisis se tomó como base de datos las importaciones del polisacárido en el periodo del año 2015 al 2020, en este lapso de tiempo se importó aproximadamente 727 toneladas de carragenina de distintos países como: España, Chile, China, Argentina, Canadá, entre otros (Manifiestos, 2021).

Tabla 16

Importaciones de Carragenina a Ecuador

Año	Cantidad (Toneladas)
2015	147,09
2016	117,12
2017	90,76

Año	Cantidad (Toneladas)
2018	117,39
2019	118,91
2020	135,67

Nota. Tomado de (Manifiestos, 2021)

Como se observa en la Figura 16, la tendencia de crecimiento de importaciones a nivel nacional de carragenina es variable, esto se debe a las variaciones anuales del PIB (Producto Interno Bruto) (Tabla 16), en el año 2015 el PIB presenta un crecimiento del 0,2% en relación al año 2014, para el año 2016 se tiene una caída del PIB del 1,5% y junto con esto las importaciones tuvieron una caída del 6,4%, para el 2017 el PIB creció en un valor de 2,4%, sin embargo, las importaciones de productos de especies acuáticas tuvieron una inversión menor al año 2016 en un 43%, en el 2018 se vio un crecimiento del 1,4%, para el año 2019 se vio un crecimiento del 0,1%, para el año 2020 se vio una caída del PIB del 7,8% debido a la pandemia del COVID-19, en este año las importaciones cayeron un 7,9% en relación al 2019, sin embargo, cabe destacar que varios productos del sector alimenticio y agropecuario, así como aceites crudos y refinados, mostraron una mayor demanda externa viéndose en estos un crecimiento del 5% (Banco Central del Ecuador, 2021).

Tabla 17

Producto Interno Bruto (PIB) de Ecuador del año 2015 al año 2020

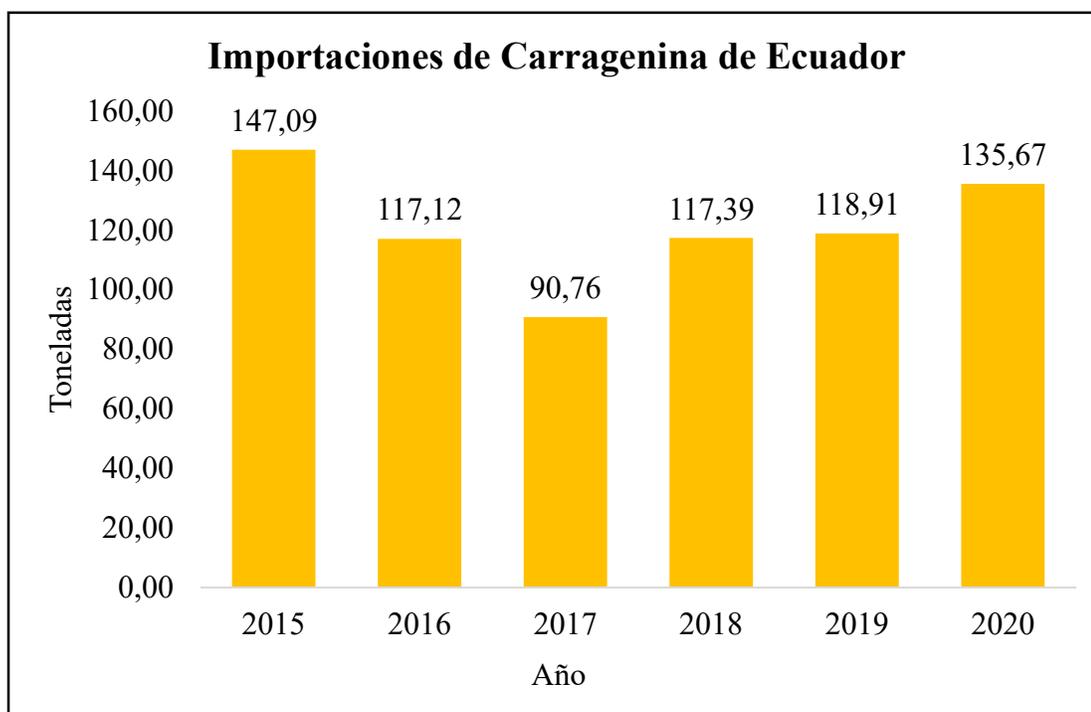
Año	PIB (millones de dólares)	Crecimiento (%)
2015	100.117	0,20

Año	PIB (millones de dólares)	Crecimiento (%)
2016	97.802,2	-1,5
2017	104.296	2,40
2018	108.398	1,40
2019	107.436	0,10
2020	66.308	-7,80

Nota. Tomado de (Banco Central del Ecuador, 2021)

Figura 16

Importaciones de carragenina del 2015 al 2020

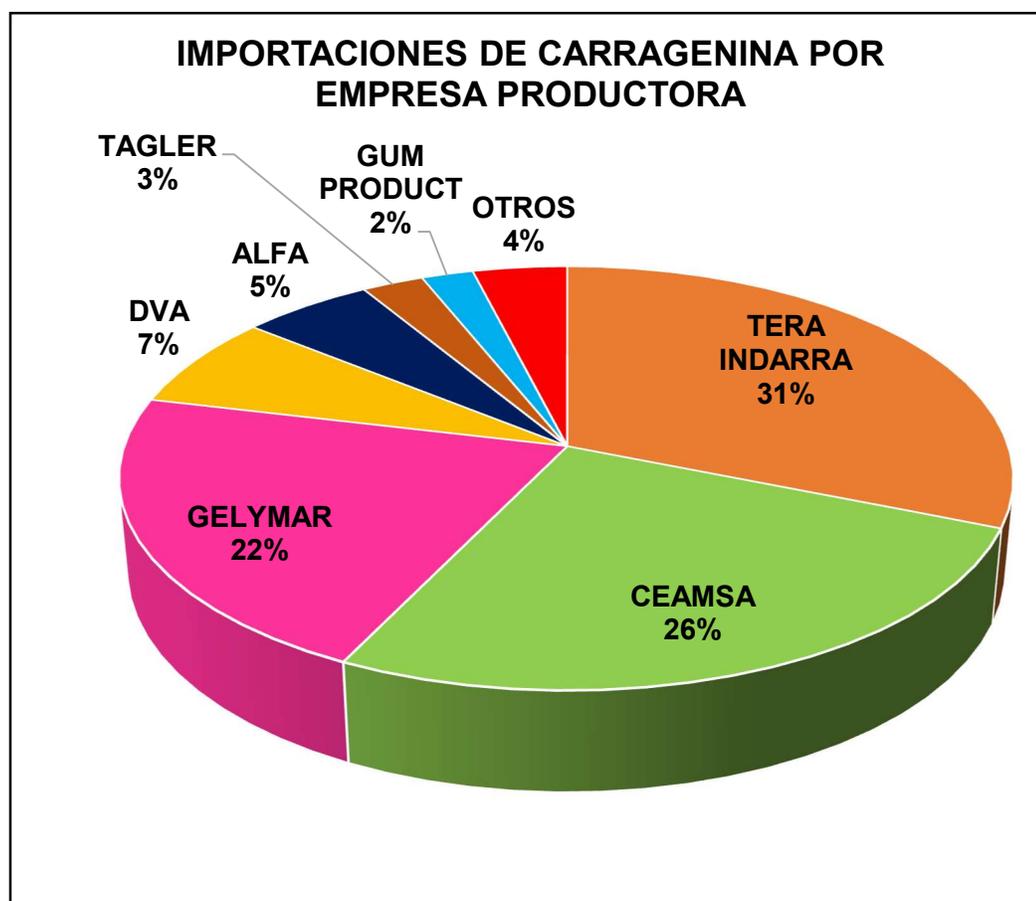


Nota. Tomado de (Manifiestos, 2021).

Las principales empresas de las que se importa la carragenina a Ecuador con un porcentaje alto son Tera Indarra y Ceamsa de España con un porcentaje de 31 y 26% respectivamente del total de importaciones y Gelymar de Chile con un porcentaje del 22% (Figura 17).

Figura 17

Importaciones de carragenina por empresa productora



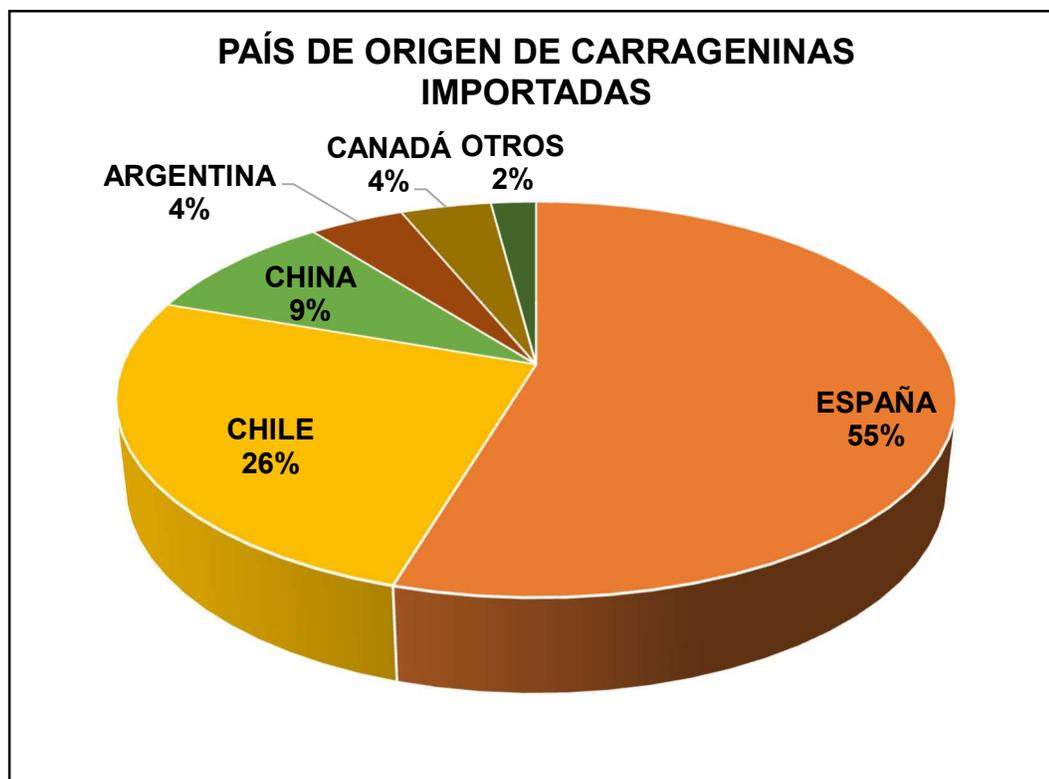
Nota. Tomado de (Manifiestos, 2021).

Hay que destacar que las empresas que se representan como "Otros" que corresponden al 4% de la figura 17, son empresas productoras que se encuentran en competencia por el mercado y en Ecuador tienen porcentajes muy bajos en las importaciones, entre estas empresas tenemos a Danisco, Marcel, CP Kelpo, entre otras, para mayor información observar la sección de ANEXOS.

Los países de donde provienen las importaciones de carragenina son 15 y los principales son España y Chile, los cuales aportan con aproximadamente 582,71 toneladas que representan el 80% del total de toneladas que ingresan al país (Manifiestos, 2021).

Figura 18

País de origen de la carragenina importada



Nota. Tomado de (Manifiestos, 2021).

4.9. Mercado objetivo, capacidad de la planta y consumo per cápita

4.9.1. Mercado objetivo

La demanda nacional de carragenina especificada por tipos (kappa, iota y lambda) no se encuentra disponible, debido a que no se encontró ningún registro detallado, en la información de la aduana se observó que este polisacárido se encontraba agrupado en una sola partida arancelaria, por otro lado, la información proporcionada por la " Empresa Manifiestos " presentó datos generalizados de la carragenina.

Como se observó en el apartado anterior, las importaciones de carragenina han incrementado en los últimos años y corresponden al crecimiento de la industria, el consumo de carragenina es inevitable y solo depende del campo de investigación en el que se aplique para ampliar su utilidad.

Tomando en cuenta que las industrias nacionales se encuentran en constante investigación y crecimiento, se eligió como mercado objetivo toda la industria del país, esto para que de acuerdo a la capacidad de la planta se pueda cubrir la demanda nacional.

Tabla 18

Información del Mercado Objetivo

INDICADOR	INFORMACIÓN AÑO 2021
Nombre oficial	República del Ecuador
Moneda	Dólar estadounidense (USD)
División política	Ecuador está dividido en 24 provincias: Esmeraldas, Santo Domingo de los Tsáchilas, Manabí, Los Ríos, Santa Elena, Guayas, El Oro, Loja, Azuay, Bolívar, Cañar, Chimborazo, Tungurahua, Cotopaxi, Pichincha, Imbabura, Carchi, Zamora Chinchipe, Morona Santiago, Napo, Pastaza, Orellana, Sucumbíos, Galápagos.
Población	17.513.460 millones de habitantes
Densidad poblacional	68, 52 habitante/km ²

INDICADOR	INFORMACIÓN AÑO 2021
Ciudades Importantes	Quito, Guayaquil, Cuenca, Santo Domingo.

Nota. Tomado de (INEC, 2021).

Tabla 19

Información del Mercado Objetivo

INDICADOR	INFORMACIÓN
Economía	PIB: 66.308 millones de dólares PIB PER CÁPITA: 6.183,82 dólares TASA DE INFLACIÓN: 0,08% EXPORTACIONES: 5.202,4 millones de dólares IMPORTACIONES: 4.097,7 millones de dólares
Recursos	Acuicultura y pesca Correo y Comunicaciones Agricultura Comercio Petróleo y Minas

Nota. Tomado de (Banco Central del Ecuador, 2021).

4.9.2. Capacidad de la planta

Según (McHugh, 2002), para que el cultivo de algas productoras de carragenina sea comercialmente viable, el volumen de producción de carragenina debe ser mayor a 1000 toneladas al año, posteriormente cuando la producción este completamente consolidada puede ascender a 2000 toneladas anuales para cubrir gastos de funcionamiento, con un precio de 200 dólares EE.UU por tonelada y la producción de 2000 toneladas anuales, se obtienen 400000 dólares EE.UU anuales, con lo que en un tiempo estimado de 5 años se recupera la inversión que viene siendo 2 millones de dólares EE.UU.

En la última década el crecimiento del mercado nacional e internacional de carragenina ha tenido un crecimiento positivo, tomando en cuenta que en el 2018, (ASD Reports, 2019) estimó que la producción de carragenina fue de 71,5 mil toneladas, por la apertura de nuevos mercados, junto con la creciente población mundial y los nuevos usos que se investigan se decide que la planta tendrá una capacidad anual de 1000 toneladas anuales que representan un porcentaje del 1 al 2% de la producción mundial de carragenina.

Con esta capacidad de planta se pretende cubrir la demanda nacional y parte de la demanda internacional, introduciendo la producción nacional en el mercado extranjero.

4.9.3. Consumo per cápita

Para establecer el consumo per cápita de la carragenina a nivel nacional, se obtuvo los siguientes datos:

En el año 2020 se observa que la demanda de carragenina a nivel nacional es de 135,67 toneladas (Manifiestos, 2021), si la tendencia de crecimiento anual del 5,1% se cumple como lo manifiesta (ASD Reports, 2019), la cantidad de toneladas para el año 2021 será de 139,43 toneladas.

Para determinar la cantidad de consumidores de carragenina, tomamos como dato la población de todo el Ecuador debido a que al utilizarse la carragenina en la elaboración de productos alimenticios y químicos (farmacéuticos, cosméticos, etc.) se puede intuir que toda la población consume el polisacárido, en el año 2021 Ecuador tiene 17.513.460 millones de habitantes (INEC, 2021).

$$\text{Consumo per cápita} = \frac{\text{Consumo del producto}}{\text{Población}}$$

$$\text{Consumo per cápita} = \frac{139,43 \text{ toneladas}}{17.513.460 \text{ habitantes}}$$

$$\text{Consumo per cápita} = 7,96 \times 10^{-6} \frac{\text{toneladas}}{\text{habitante}}$$

$$\text{Consumo per cápita} = 7,96 \frac{\text{gramos}}{\text{habitante}}$$

CAPÍTULO V

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

Existen 6 formas básicas de carragenina; sin embargo, solo 3 de ellas se utilizan comercialmente. Cada tipo de polisacárido se extrae de un tipo de alga específica, las especies *Euchemma Cottonii* y *Euchemma Chondrus* son fuente de kappa y iota carragenina respectivamente, mientras que la especie lambda carragenina se extrae de la especie de alga *Chondrus crispus*, hay que destacar que no son las únicas fuentes de carragenina, sin embargo, son las más utilizadas a nivel mundial.

La estructura de los diversos tipos de carragenina difieren por el contenido de 3,6-ahidrogalactosa y el número de grupos sulfato los cuales influyen en las características estructurales y propiedades reológicas, como fuerza del gel, textura, solubilidad, temperatura de fusión, sinéresis, entre otras.

Se estableció las propiedades físico-químicas de la carragenina, mediante revisión bibliográfica de los estudios experimentales realizados a las tres especies comerciales, en donde se determinó que el tipo comercial más utilizado para la industria era el tipo kappa debido a su algo grado de gelificación formando geles firmes y quebradizos, respecto al tipo iota que forma geles débiles y elásticos, mientras que la especie lambda no gelifica por lo que se la suele utilizar en su mayoría solo como espesante y no tiene mucho porcentaje de producción debido a la complejidad en su extracción con altos costos de producción.

Para la extracción de carragenina se utilizan distintos métodos, cada fabricante del polisacárido tiene su respectivo manejo de materia prima y control de parámetros del proceso acorde a los requerimientos del cliente y aplicación en la industria, los métodos convencionales se utilizan para la producción de distintos productos como carragenina refinada (RC) y carragenina semirrefinada (SCR), estos métodos a pesar de venirse desarrollando durante algún tiempo, poseen ciertas desventajas, como mucho tiempo empleado y una eficiencia relativamente baja. Es por este motivo que con el desarrollo de la tecnología actual se han buscado nuevos métodos de extracción que aumenten el rendimiento del producto, disminuyendo el tiempo de producción, restando

la mano de obra empleada en el proceso y considerando la industria ecológica que se vienen desarrollando actualmente, estos métodos son el SWE (Extracción con agua subcrítica) y UAE (Extracción asistida por ultrasonidos).

Se investigó las principales aplicaciones de la carragenina, estableciendo que este polisacárido tiene un amplio uso en la industria, se determinó mediante diversos autores que posee un alto porcentaje (70-80%) de aplicabilidad en la industria alimenticia, seguido de la industria farmacéutica y cosmética; sin embargo, debido a la creciente investigación de las propiedades del polisacárido enfocadas en otras industrias, como en la síntesis de nanopartículas y la producción de películas biodegradables que junto con otros polímeros naturales como la celulosa, el almidón, la quitina, el quitosano, pueden sustituir al plástico que por ejemplo se usa como envoltura de los productos alimenticios.

Se analizó a los principales productores de carragenina a nivel mundial, estableciendo que Europa y América del Norte representan más del 50% de ingresos totales a nivel mundial. La demanda a nivel mundial del polisacárido tiene una tasa ascendente de crecimiento económico anual del 5,9% y un crecimiento de producción del 5,1%.

Se analizó la demanda nacional del polisacárido mediante datos de importaciones correspondientes a un periodo del año 2015 al 2020, en donde se determinó que hubo un crecimiento descendente en los años del 2015 al 2017 siendo el 2017 el año más crítico, en donde se observó que las inversiones en el mercado de carragenina fueron menores en un 43% respecto al año 2016 generando una caída en la tasa anual de importaciones, todo esto debido también al crecimiento descendente del PIB en el país en estos años, sin embargo, del año 2018 al 2020 y a pesar de que en el 2020 se dio la pandemia del COVID – 19 la demanda se encuentra en trayectoria ascendente.

Se estimó una capacidad de la planta de 1000 toneladas anuales que representan entre el 1 y 2% de la producción mundial, con esto se plantea satisfacer toda la demanda nacional del polisacárido, para el consumo per cápita se relacionó el estimado de la cantidad de importación en toneladas anuales para el 2021 asumiendo la tasa de crecimiento de producción mundial reportada del 5,1%, con la cantidad de

habitantes en el país en este mismo año, el resultado fue de 7,96 gramos de carragenina anuales.

5.2. Recomendaciones

Es importante hacer una búsqueda exhaustiva de información, considerando investigaciones experimentales de diferentes autores, para una recopilación de datos.

Es fundamental la recopilación de datos en páginas web dedicadas al análisis de demanda mundial de productos, debido a que no es posible encontrar toda la información necesaria de organizaciones mundiales como la FAO o CEPAL.

Para el análisis de demanda nacional es importante comunicarse con una empresa dedicada al estudio de importaciones por producto, debido a que los datos de importaciones nacionales que se encuentran en la página web de la Aduana del Ecuador están involucrados en un solo conjunto de partidas arancelarias identificadas en el caso de la carragenina como "Mucílagos y espesantes derivados de los vegetales, incluso modificados", lo cual hace imposible la identificación de importaciones por producto.

Es necesario una recopilación más amplia de datos para el análisis de la demanda de carragenina de acuerdo a cada tipo comercial de polisacárido demandado por la industria nacional, debido a que el dato recopilado para esta investigación solo permitió el análisis de carragenina englobando todos los tipos sin distinción.

Es necesario considerar una capacidad de la planta acorde al crecimiento anual de producción y enfocándose en la ampliación del mercado, debido a que, si la demanda crece más rápido que el proyecto, podría ocasionar problemas con el cliente ya que este quedará insatisfecho.

Se recomienda hacer una investigación más amplia a cerca de los nuevos métodos de extracción de carragenina para una posible aplicación experimental de los mismos.

Se recomienda ampliar la investigación acerca de los usos que tiene el polisacárido en el resto de industrias a parte de la industria alimenticia, para posteriormente analizarlo de manera experimental y así contribuir en la expansión industrial de este hidrocoloide.

Bibliografía

- Altamirano Mancilla, J. L. (2009). *Descripción y análisis de la cadena de valor para la producción de carragenina como un producto derivado de las algas, en la región de Los Lagos* [Universidad Austral de Chile]. Recuperado el 15 de Febrero del 2021, de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bpmfea465d/doc/bpmfea465d.pdf>
- Arvinda Swamy, M. L. (2011). Marine Algal Sources for Treating Bacterial Diseases. In *Advances in Food and Nutrition Research* (pp. 71–84). Recuperado el 10 de Febrero del 2021, de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387669-0.00006-5>
- ASD Reports. (2019). *Mercado global de hidrocoloides de algas marinas: agar, alginatos y carragenina*. Mercado Global de Hidrocoloides de Algas Marinas: Agar, Alginatos y Carragenina. Recuperado el 15 de Febrero del 2021, de <https://www.asdreports.com/>
- ASD Reports. (2020). *Carragenina Informe de análisis de tamaño, participación y tendencias del mercado por producto (Kappa, Iota, Lambda), por función (espesante, agente gelificante, estabilizador), por aplicación, por región y pronósticos de segmento, 2020-2027*. Market Research Report. Recuperado el 15 de Febrero del 2021, de <https://www.asdreports.com/>
- Banco Central del Ecuador. (2021). *Boletines de prensa*. Comunicación. Recuperado el 01 de Febrero del 2021, de <https://www.bce.fin.ec/index.php/boletines-de-prensa-archivo>
- Baweja, P., Kumar, S., Sahoo, D., & Levine, I. (2016). Biology of Seaweeds. In *Seaweed in Health and Disease Prevention* (pp. 41–106). Elsevier. Recuperado el 10 de Enero del 2021, de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802772-1.00003-8>
- Bono, A., Anisuzzaman, S. M., & Ding, O. W. (2014). No Title. *Universidad King Saud-Ciencias de La Ingeniería*, 26(1), 3–9. Recuperado el 17 de Febrero del 2021, de <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jksues.2012.06.001>
- Campo, V. L., Kawano, D. F., Silva, D. B. da, & Carvalho, I. (2009). Carrageenans: Biological properties, chemical modifications and structural analysis - A review. *Carbohydrate Polymers*, 77(2), 167–180. Recuperado el 10 de Enero del 2021, de <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.01.020>

- Chiesa, M., & Moctezuma, P. (1989). *La pesca en Baja California*. Universidad Autónoma de Baja California. Recuperado el 19 de Febrero del 2021.
- D'Armas, H., Neyra, M., Segnini, M. I., Brito, L., & Jorge, B. (2020). Composición química y biotoxicidad del alga roja *Kappaphycus alvarezii* Doty (Solieriaceae). *AquaTechnica*, 2(1), 31–40. Recuperado el 14 de Febrero del 2021, de <https://doi.org/https://doi.org/10.33936/at.v2i1.2412>
- Daniel-da-Silva, A. L., Trindade, T., Goodfellow, B. J., Costa, B. F. O., Correia, R. N., & Gil, A. M. (2007). In situ synthesis of magnetite nanoparticles in carrageenan gels. *Biomacromolecules*, 8(8), 2350–2357. Recuperado el 17 de Febrero del 2021, de <https://doi.org/10.1021/bm070096q>
- FAO. (2020). El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2020. *La Sostenibilidad En Acción*. Recuperado el 07 de Enero del 2021, de <https://doi.org/10.4060/ca9229es>
- Filian Cevallos, K. E., & Vásquez García, G. N. (2018). *Evaluación Físico-Química de las Algas Rojas Rhodophyta, Parroquia Ballenita Provincia Santa Elena* [Universidad de Guayaquil]. Recuperado el 10 de Enero del 2021, de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/34628>
- Frikha, F., Kammoun, M., Hammami, N., Mchirgui, R., Belbahri, L., Gargouri, Y., Miled, N., & Ben-Rebah, F. (2011). Composición química y algunas actividades biológicas de algas marinas recolectadas en Túnez. Recuperado el 10 de Enero del 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-38802011000200001
- Guan, J., Li, L., & Mao, S. (2017). Applications of Carrageenan in Advanced Drug Delivery. In *Seaweed Polysaccharides: Isolation, Biological and Biomedical Applications*. Elsevier Inc. Recuperado el 07 de Febrero del 2021, de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809816-5.00015-3>
- Imeson, A. (2009). *Food Stabilisers, Thickeners and Gelling Agents* (A. Imeson (ed.); 1st ed.). Wiley-Blackwell. Recuperado el 13 de Febrero del 2021, de <https://doi.org/10.1002/9781444314724>
- INEC. (2021). *Contador Poblacional*. Ecuador En Cifras. Recuperado el 01 de Abril del 2021, de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas/>

- Kaliaraj, G. S., Subramaniyan, B., Manivasagan, P., & Kim, S.-K. (2017). Green Synthesis of Metal Nanoparticles Using Seaweed Polysaccharides. In *Seaweed Polysaccharides* (pp. 101–109). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809816-5/00007-4>
- Lima, C. De, Crepaldi, M. I., Oliveira, O. De, Oliveira, A. C. De, Martins, A. F., Garcia, P. S., & Bonafé, E. G. (2020). Biodegradable films based on commercial κ -carrageenan and cassava starch to achieve low production costs. *International Journal of Biological Macromolecules*, 165, 582–590. Recuperado el 15 de Febrero del 2021, de <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.150>
- Mancilla Martínez, J. (2012). *FACTIBILIDAD TÉCNICA-ECONÓMICA DE UNA PLANTA DE CARRAGENINA KAPPA I* [Pontificia Universidad Católica de Valparaíso]. Recuperado el 07 de Febrero del 2021, de <http://repositorio.ucv.cl/handle/10.4151/9269>
- Manifiestos. (2021). *Estadísticas de Importación*. Recuperado el 10 de Enero del 2021, de <http://www.manifiestos.com/>
- Manuhara, G. J., Praseptianga, D., & Riyanto, R. A. (2016). Extraction and Characterization of Refined K-carrageenan of Red Algae [Kappaphycus Alvarezii (Doty ex P.C. Silva, 1996)] Originated from Karimun Jawa Islands. *Aquatic Procedia*, 7, 106–111. Recuperado el 03 de Febrero del 2021, de <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2016.07.014>
- Markets and Markets. (2020). *Mercado de hidrocoloides por tipo (gelatina, goma xantana, carragenina, alginato, agar, pectina, goma guar, goma arábica, MCC y CMC), fuente (botánica, microbiana, animal, algas y sintética), función, aplicación y región - Pronóstico global hasta 2025*. Market Research Report. Recuperado el 01 de Abril del 2021, de <https://www.marketsandmarkets.com/>
- Marquez, G. P. B., Santiañez, W. J. E., Trono, G. C., de la Rama, S. R. B., Takeuchi, H., & Hasegawa, T. (2015). Seaweeds: a sustainable fuel source. In *Seaweed Sustainability* (pp. 421–458). Elsevier. Recuperado el 05 de Enero del 2021, de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-418697-2.00016-7>
- McHugh, D. J. (2002). PERSPECTIVAS PARA LA PRODUCCIÓN DE ALGAS MARINAS EN LOS PAÍSES EN DESARROLLO. In *FAO Circular de Pesca No.*

968. Recuperado el 07 de Enero del 2021, de <http://www.fao.org/3/y3550s/Y3550S00.htm>
- McHugh, D. J. (2003). Una guía para la industria de las algas (Documento técnico 441). *FAO Documento Técnico de Pesca N° 441*, 105. Recuperado el 07 de Enero del 2021, de <http://www.fao.org/3/y4765e/y4765e00.htm#Contents>
- Qin, Y. (2018a). Production of Seaweed-Derived Food Hydrocolloids. In *Bioactive Seaweeds for Food Applications* (pp. 53–69). Elsevier. Recuperado el 01 de Febrero del 2021, de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813312-5.00003-0>
- Qin, Y. (2018b). Seaweed Bioresources. In *Bioactive Seaweeds for Food Applications* (pp. 3–24). Elsevier. Recuperado el 15 de Febrero del 2021, de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813312-5.00001-7>
- Qin, Y. (2018c). Seaweed hydrocolloids as thickening, gelling, and emulsifying agents in functional food products. In *Bioactive Seaweeds for Food Applications: Natural Ingredients for Healthy Diets*. Elsevier Inc. Recuperado el 10 de Enero del 2021, de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813312-5.00007-8>
- Quitral R, V., Morales G, C., Sepúlveda L, M., & Schwartz M, M. (2012). Propiedades nutritivas y saludables de algas marinas y su potencialidad como ingrediente funcional. *Revista Chilena de Nutrición*, 39(4), 196–202. Recuperado el 10 de Febrero del 2021, de <https://doi.org/10.4067/S0717-75182012000400014>
- Rafiquzzaman, S. M., Rahman, A., & Kong, I. (2017). Ultrasonic-Assisted Extraction of Carrageenan. In *Seaweed Polysaccharides*. Elsevier Inc. Recuperado el 05 de Febrero del 2021, de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809816-5/00005-0>
- Rajakpase, N., & Kim, S.-K. (2011). Nutritional and Digestive Health Benefits of Seaweed. In *Advances in Food and Nutrition Research* (pp. 17–28). Recuperado el 08 de Febrero del 2021, de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387669-0.00002-8>
- Romero Guaygua, M. E. (2011). *La industria química en la economía nacional: el caso del rol e importancia de Fábrica de Diluyentes y Adhesivos Disther C. Ltda. 2009-2010*. Universidad de Guayaquil. Recuperado el 05 de Enero del 2021, de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/2560>

- Saravana, P. S., & Chun, B. S. (2017). Seaweed Polysaccharide Isolation Using Subcritical Water Hydrolysis. In *Seaweed Polysaccharides*. Elsevier Inc. Recuperado el 07 de Febrero del 2021, de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809816-5/00004-9>
- Sepulveda, M. (2014). *Cultivo Experimental de Macro Algas Marinas como alternativa productiva y sostenible para los Pescadores Artesanales del Ecuador*. Recuperado el 19 de Febrero del 2021.
- Shanmuga, S., Singhal, M., & Sen, S. (2015). Synthesis and Characterization of Carrageenan Coated Magnetic Nanoparticles for Drug Delivery Applications. *Translational Biomedicine*, 6(3), 1–5. Recuperado el 20 de Febrero del 2021, de <https://doi.org/10.21767/2172-0479.100019>
- Valderrama, D., Cai, J., Hishamunda, N., & Ridler, N. (2013). Social and economic dimensions of carrageenan seaweed farming. *FAO FISHERIES AND AQUACULTURE TECHNICAL PAPER*, 580, 217. Recuperado el 01 de Enero del 2021, de <http://www.fao.org/3/i3344e/i3344e.pdf>
- Valderrama, D., Cai, J., Hishamunda, N., Ridler, N., Neish, I. C., Hurtado, A. Q., Msuya, F. E., Krishnan, M., Narayanakumar, R., Kronen, M., Robledo, D., Gasca-Leyva, E., & Fraga, J. (2015). Aquaculture Economics & Management The Economics of Kappaphycus Seaweed Cultivation in Developing Countries : A Comparative Analysis of Farming Systems. *Aquaculture Economics & Management*, 19(2), 251–277. Recuperado el 07 de Febrero del 2021, de <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/13657305.2015.1024348>
- Vargas, S. A., Delgado Macuil, R. J., Ruiz Espinosa, H., Rojas López, M., & Amador Espejo, G. G. (2021). High-intensity ultrasound pretreatment influence on whey protein isolate and its use on complex coacervation with kappa carrageenan: Evaluation of selected functional properties. *Ultrasonics Sonochemistry*, 70, 105340. Recuperado el 17 de Febrero del 2021, de <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105340>
- Venkatesan, J., Anil, S., & Kim, S. (2017). Introduction to Seaweed Polysaccharides. In *Seaweed Polysaccharides*. Elsevier Inc. Recuperado el 07 de Febrero del 2021, de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809816-5/00001-3>

- Wei, N., Quarterman, J., & Jin, Y.-S. (2013). Marine macroalgae: an untapped resource for producing fuels and chemicals. *Trends in Biotechnology*, 31(2), 70–77. Recuperado el 01 de Febrero del 2021, de <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2012.10.009>
- Yaphe, W. (1960). Determinación colorimétrica de 3,6-anhidrogalactosa y galactosa en polisacáridos de algas marinas. *Analytic Chemistry*, 32(10), 1327–1330. Recuperado el 17 de Febrero del 2021, de <https://doi.org/https://doi.org/10.1021/ac60166a030>
- Yun, E. J., Choi, I.-G., & Kim, K. H. (2015). Red macroalgae as a sustainable resource for bio-based products. *Trends in Biotechnology*, 33(5), 247–249. Recuperado el 27 de Enero del 2021, de <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2015.02.006>
- Zia, K. M., Tabasum, S., Nasif, M., Sultan, N., Aslam, N., Noreen, A., & Zuber, M. (2017). A review on synthesis, properties and applications of natural polymer based carrageenan blends and composites. *International Journal of Biological Macromolecules*, 96, 282–301. Recuperado el 30 de Enero del 2021, de <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.11.095>

ANEXOS