



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
**POSGRADO EN CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGÍA**  
**INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGIA**

**Aislamiento e identificación de metabolitos secundarios de  
*Gracilaria parvispora* (Gracilariaceae, Rhodophyta) de la  
Playa San Vicente, Juchitán de Zaragoza, Oaxaca, México.**

**TESIS**  
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
**MAESTRA EN CIENCIAS**  
QUÍMICA ACUÁTICA

PRESENTA:  
**BIOL. MAR. IXCHEL ADRIANA LOA RAMÍREZ**

TUTOR PRINCIPAL:  
**DR. LEOVIGILDO QUIJANO**  
INSTITUTO DE QUÍMICA UNAM

COMITÉ TUTOR:  
**DRA. JUDITH SÁNCHEZ RODRÍGUEZ**  
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGIA  
**DR. ROBERTO ARREGUÍN ESPINOSA DE LOS MONTEROS**  
INSTITUTO DE QUÍMICA UNAM  
**DRA. EVA AGUIRRE HERNÁNDEZ**  
FACULTAD DE CIENCIAS UNAM  
**DR. JOSÉ ALBERTO RIVERA CHÁVEZ**  
INSTITUTO DE QUÍMICA UNAM

**Ciudad Universitaria, CDMX. Julio 2022**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**Aislamiento e identificación de metabolitos secundarios de  
*Gracilaria parvispora* (Gracilariaceae, Rhodophyta) de la Playa  
San Vicente, Juchitán de Zaragoza, Oaxaca, México.**

**TESIS**  
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:  
**MAESTRA EN CIENCIAS**  
QUÍMICA ACUÁTICA

PRESENTA:  
**BIOL. MAR. IXCHEL ADRIANA LOA RAMÍREZ**

TUTOR PRINCIPAL:  
**DR. LEOVIGILDO QUIJANO**  
INSTITUTO DE QUÍMICA UNAM

COMITÉ TUTOR:  
**DRA. JUDITH SÁNCHEZ RODRÍGUEZ**  
INSTITUTO DE CIENCIAS DEL MAR Y LIMNOLOGIA  
**DR. ROBERTO ARREGUÍN ESPINOSA DE LOS MONTEROS**  
INSTITUTO DE QUÍMICA UNAM  
**DRA. EVA AGUIRRE HERNÁNDEZ**  
FACULTAD DE CIENCIAS UNAM  
**DR. JOSÉ ALBERTO RIVERA CHÁVEZ**  
INSTITUTO DE QUÍMICA UNAM

**Ciudad Universitaria, CDMX. Julio 2022**



POSGRADO EN  
CIENCIAS DEL MAR Y  
LIMNOLOGÍA



INSTITUTO  
DE QUÍMICA

El presente trabajo se realizó en el laboratorio 2-6 del departamento de Productos Naturales del Instituto de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, bajo la dirección del Dr. Leovigildo Quijano y con la beca otorgada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)

## RESUMEN

*Gracilaria parvispora* IAAbbott, 1985 es una macroalga marina de importancia ecológica y comercial. Es una fuente de recursos alimenticios valiosos y una fuente prometedoras de compuestos bioactivos para algunas importantes industrias. Se realizó por primera vez el estudio fitoquímico de esta alga utilizando técnicas convencionales de cromatografía y se realizó la identificación de los compuestos mediante la técnica de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masa. Los principales compuestos identificados fueron: ácido palmítico, mirístico, oleico y palmitato de metilo, se identificaron 6 esteroides derivados del colesterol, 3 tres de estos, son nuevos registros para el género, 3-Benzoato del 5 Colesten-3 $\beta$ , 7 $\beta$ -diol, Acetato del colest-3,5-dien-3-ol, Colest-4,6-dien-3-ona. Se realizó la extracción de agar, teniendo un rendimiento del 13.6% respecto al peso seco del alga.

Palabras clave: Ácidos grasos, Agar, colesterol, *Gracilaria*.

*Para Agnes*

*Mi gran maestra*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo otorgado en la realización de este proyecto por medio de la beca nacional de posgrado para mis estudios de maestría.

Al posgrado de Ciencias del Mar y Limnología me permitió formarme académica y profesionalmente.

A mi tutor principal Dr. Leovigildo Quijano del Instituto de Química, por aceptar y apoyar mi proyecto, por todas las facilidades y aprendizajes para la realización y conclusión del proyecto. Y gracias por adentrarme al maravilloso mundo de los productos naturales.

A la Dra. Celia Bustos por todo el apoyo y aprendizaje en el laboratorio.

Al Dr. José Rivera Chávez por todo el apoyo que me brindó en este proceso y por todo el aprendizaje de los productos naturales.

A los miembros del comité tutorial, Dra. Judith Sánchez Rodríguez, Dr. Roberto Arreguín Espinoza de Los Monteros, Dra. Eva Aguirre Hernández y Dr. José Rivera Chávez.

A mi compañera Ingrid Martínez Aldino por tanto apoyo y enseñarme a utilizar los equipos del laboratorio.

A los técnicos de los laboratorios del Instituto de Química por la realización de los análisis a las muestras.

A mis compañeros de laboratorio Karol, Sahid y Enrique por su apoyo, conocimiento y pláticas.

A mi mamá porque todo lo que he conseguido es gracias a su esfuerzo y amor.

A mi familia por siempre estar presente y apoyándome con su cercanía y amor.

A mis amigas que me ayudaron a concluir este proceso difícil y pandémico, Amanda, Malú, Edgar, Kevin, Thalía.

A Eva Puig por el acompañamiento y por ser una gran maestra, sin olvidar a las Apolo 21.

# Índice

<b>RESUMEN</b> .....	4
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	6
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	10
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	11
<b>ABREVIATURAS</b> .....	12
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	13
<b>2. GENERALIDADES</b> .....	15
<b>3. ANTECEDENTES</b> .....	21
<b>4. JUSTIFICACIÓN</b> .....	39
<b>5. HIPÓTESIS</b> .....	40
<b>6. OBJETIVOS</b> .....	41
Objetivo General.....	41
Objetivos Particulares.....	41
<b>7. METRIALES Y MÉTODOS</b> .....	42
Área de estudio.....	42
Muestreo .....	42
Identificación taxonómica.....	43
Obtención de extractos.....	44
Separación y purificación de los componentes de los extractos. ....	44
Identificación de los componentes aislados.....	45
<b>7.2 TRABAJO EXPERIMENTAL</b> .....	47
Extractos de <i>Gracilaria parvispora</i> .....	47
Extracto hexánico (Hx) .....	47
Extracto de Diclorometano (DCM).....	48
Extracto metanólico (MeOH) .....	49
Extracción de agar .....	50
<b>8. RESULTADOS</b> .....	52
Extracto de Hexano.....	52
Extracto de DCM .....	59
Extracto de metanol .....	66
Extracción de Agar.....	69

<b>9. DISCUSIÓN</b> .....	70
<b>10. CONCLUSIONES</b> .....	79
<b>11. REFERENCIAS</b> .....	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Talo de <i>Gracilaria parvispora</i> recolectado durante el presente estudio en playa San Vicente, Juchitán, Oaxaca. ....	17
Figura 2. Zona de colecta de <i>G. parvispora</i> , Playa San Vicente en la Laguna Superior del Sistema Lagunar Huave.....	42
Figura 3: Diagrama de la metodología para la obtención de extractos.....	46
Figura 4: Diagrama de la metodología para la obtención fracciones para el extracto de hexano.....	47
Figura 5: Diagrama de la metodología para la obtención fracciones para el extracto de DCM.....	48
Figura 6: Diagrama de la metodología para la obtención fracciones para el extracto de metanol.....	49
Figura 7: Diagrama de la metodología para la obtención fracciones para la fracción MeOH-D.....	49
Figura 8. Cromatograma CG-EM de la fracción Hx-BH del extracto hexánico.....	52
Figura 9. Cromatograma CG-EM de la fracción Hx-BI del extracto hexánico.....	54
Figura 10. Cromatograma CG-EM de la fracción Hx-H del extracto hexánico.....	56
Figura 11. Pescadores limpiando la Playa San Vicente de la presencia de <i>G. parvispora</i> . Foto tomada del periódico IstmoPress.....	76

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Alcanos saturados e insaturados reportados para el género <i>Gracilaria</i> ...	21
Tabla 2. Ácidos grasos saturados reportados para el género <i>Gracilaria</i> .....	22
Tabla 3. Ácidos grasos monoinsaturados reportados para el género <i>Gracilaria</i> ...	23
Tabla 4. Ácidos grasos poliinsaturados y derivados reportados para el género <i>Gracilaria</i> .....	24
Tabla 5. Esteroles reportados para el género <i>Gracilaria</i> .....	26
Tabla 6. Ácidos dicarboxílicos saturados reportados para el género <i>Gracilaria</i> ....	27
Tabla 7. Compuestos fenólicos reportados para el género <i>Gracilaria</i> .....	28
Tabla 8. Compuestos sacáridos y derivados reportados para el género <i>Gracilaria</i> .....	30
Tabla 9. Compuestos halogenados reportados para el género <i>Gracilaria</i> .....	32
Tabla 10. Compuestos nitrogenados reportados para el género <i>Gracilaria</i> .....	33
Tabla 11. Compuestos ésteres y alcoholes reportados para el género <i>Gracilaria</i> .....	34
Tabla 12. Otros compuestos reportados para el género <i>Gracilaria</i> .....	35
Tabla 13. Compuestos identificados de la fracción Hx-BH del extracto hexánico.....	51
Tabla 14. Compuestos identificados de la fracción Hx-BI del extracto hexánico.....	54
Tabla 15. Compuestos identificados de la fracción Hx-H del extracto hexánico.....	58
Tabla 16. Alcanos identificados en el extracto de DCM.....	60
Tabla 17. Ácidos grasos identificados en el extracto de DCM.....	61
Tabla 18. Esteroles identificados en el extracto de DCM.....	63
Tabla 19. Esteroles y alcoholes identificados en el extracto de DCM.....	64
Tabla 20. Compuestos identificados de la fracción B del extracto MeOH.....	67
Tabla 21. Compuestos identificados de la fracción C del extracto MeOH.....	67

## ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
°C	Grados centígrados
CC	Cromatografía de columna
CCF	Cromatografía de capa fina
CG-EM	Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas
DCM	Diclorometano
Hx	Hexano
Kg	Kilogramo
MeOH	Metanol
mg	Miligramos
min	Minutos
mL	Mililitros
RMN	Resonancia Magnética Nuclear
UV	Ultravioleta
%	Porcentaje

## 1. INTRODUCCIÓN

Los productos naturales también llamados metabolitos secundarios son moléculas sintetizadas por organismos de todos los reinos, la función principal de estos metabolitos es meramente ecológica y pueden ser utilizados por los organismos que los producen como defensa contra depredadores y para la competencia por hábitat o alimento, también son utilizados como intercomunicadores entre especies y para un sinnúmero de actividades de comunicación entre los seres vivos.

Los productos naturales han sido utilizados empíricamente como extractos de plantas y animales desde la antigüedad y aún en el presente, en casi todas las culturas del mundo en la que nos referimos como medicina tradicional.

El mayor número de productos naturales aislados e identificados son de origen terrestre dejando en números muy bajos a los productos naturales de origen marino, sin embargo el medio marino alberga más del 80 % de especies representantes de los 5 filos del planeta que podrían ser utilizados de manera responsable para la obtención de productos naturales (McCarthy y Pomponi, 2004).

En cuanto a algas marinas se refiere, se han descrito aproximadamente 150,000 especies entre micro y macroalgas que son una fuente primaria de productos naturales (Falcão, 2006) ; estas sintetizan una gran variedad de compuestos, como: carotenoides, terpenoides, xantofilas, clorofilas, vitaminas, ácidos grasos poliinsaturados, aminoácidos, acetogeninas, antioxidantes tales como polifenoles,

alcaloides, compuestos halogenados y polisacáridos tales como agar, carragenano, proteoglicanos, alginatos, polímeros de la glucosa (glucanos) como la laminarina y polímeros de la fucosa (fucoidanos), entre otros. Se estima que las algas marinas contribuyen alrededor del 9 % de los compuestos biomédicos obtenidos de la mar (Jha y Zi-rong, 2004).

Las algas marinas han sido una de las fuentes más ricas y prometedoras para el aislamiento e identificación de metabolitos primarios y secundarios bioactivos (Faulkner, 2002). En este contexto, el desarrollo nuevas técnicas y el nivel de las investigaciones mundiales han ido en crecimiento, lo que ha ocasionado que las investigaciones en el área de los productos naturales se hayan incrementado considerablemente dentro del campo de la química (Brizuela *et al.*, 1998).

## 2. GENERALIDADES

### **Phylum Rhodophyta**

Las algas rojas o rodofitas son un grupo de organismos fotosintéticos eucariontes que con aproximadamente 7,100 especies aprobadas taxonómicamente (Guiry y Guiry, 2014). El color rojo que presentan algunas especies se debe a los pigmentos accesorios que son los ficobilínicos: ficocianina, ficoeritrina y aloficocianina que ayudan a la clorofila. Sin embargo este grupo puede presentar color verde, pardo o amarillo debido a la cantidad de los pigmentos sobre otros.

Este grupo, presenta una pared interna de fibrillas de celulosa y una externa amorfa compuesta de polímeros de galactanos sulfatados, agares y carragenanos y el almidón florídeo como sustancia de reserva (Popper *et al.*, 2011).

### **Género Gracilaria**

Se han descrito más de 300 especies para el género, de las cuales han sido aceptadas taxonómicamente 160 (Skriptsova *et al.*, 2001).

Son algas que se distribuyen en todo el planeta, en aguas tropicales y subtropicales, presentan talos bien definidos en ejes individuales (aislados) o gregarios (próximos), poseen ramas que en corte transversal, pueden ser cilíndricos, aplanados o laminares y un pie de fijación, son epifíticas o flotantes, forman céspedes o mechones o cabelleras o matorrales (Dreckmann *et al.*, 2017).



Los ejes son producidos a partir de una germinación espórica; es decir, una vez adherida al sustrato, la espóra se divide una o más veces en un plano perpendicular que dan lugar a una masa hemisférica, la arquitectura es uniaxial; es decir, el crecimiento es a partir de una única célula apical. Se presentan 2 tipos de esporas: a) tetrasporas producidas meióticamente (meiosporas) en tetrasporangios de división cruzada corticales, y b) carposporas producidas mitóticamente en el

cistocarpo del carposporofito. El sistema reproductivo femenino es el característico de Florideophycidae, está constituido de una rama carpogonial de 3 células y un tricógino conspicuo, o protricógino, ubicado en el extremo distal de la célula femenina, oogonio, o carpogonio (León Álvarez *et al.*, 2017).

La talla de las especies del género *Gracilaria* tiene un intervalo de 3-5 cm en hábitats intermareales, tanto del Pacífico como del golfo de México y Caribe, hasta 15-20 cm en hábitats inframareales estuarinos en ambos litorales y arrecifales en el golfo de México y Caribe (León Álvarez *et al.*, 2017).

### ***Gracilaria parvispora* I.Abbott, 1985**

*G. parvispora* pertenece al imperio Eukaryota, reino Plantae, subreino Biliphyta, phylum Rhodophyta, subphylum Eurhodophytina, clase Florideophyceae, subclase Rhodymeniophycidae, orden Gracilariales y género *Gracilaria*.

### **Taxonomía *Gracilaria parvispora***

Posee una ramificación dicotómica a irregular en varios planos y con pocos órdenes de ramificación, de manera que es difícil determinar un eje principal, aunque en ocasiones se distingue un eje dominante de 0.8-3.5 mm de diámetro (Figura 1); la longitud de las interdicotomías es variable. Los ejes son cilíndricos excepto en los puntos de ramificación, en donde presentan constricciones ocasionales en las bases de las ramas; generalmente tienen un diámetro constante de 500-1,000  $\mu\text{m}$  con una consistencia flácida. Los ápices son redondeados, el estípite es largo y esbelto mientras que la superficie posee de pocas a abundantes proliferaciones sencillas (Abbott, 1999; Dreckmann, 1999).

*G. parvispora* ha sido el foco de numerosos estudios sistemáticos, sin embargo, la taxonomía de las especies basada en las características morfológicas es difícil. *Gracilaria parvispora* I.A. Abbott (Abbott 1985) es una especie que se consideró endémica de las aguas de Hawái. Sin embargo, como parte de una evaluación sistemática de la familia Gracilariaceae a lo largo de la costa noroeste de México, se dispuso de talos de *G. parvispora* y se confirmó su presencia en el área basada en evidencia molecular y morfológica

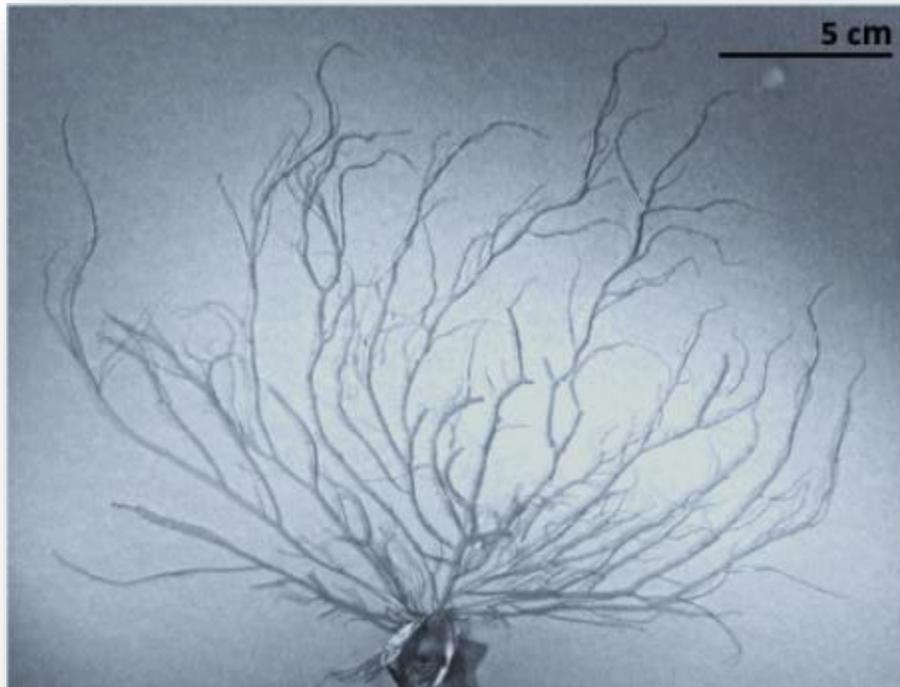


Figura 1. Talo de *Gracilaria parvispora* recolectado durante el presente estudio en playa San Vicente, Juchitán, Oaxaca.

### **Distribución de *Gracilaria parvispora***

Esta especie presenta una distribución pantropical; se distribuye tanto en el océano Atlántico como en el Indopacífico. Se ha reportado para Japón, Corea, islas del Pacífico central (Polinesia francesa, islas de Hawái). En México se encuentra en: Baja California, Guerrero, Oaxaca y Chiapas (Abbott 1985, Dreckmann 1999, Kim *et al.*, 2008, García-Rodríguez *et al.*, 2013, Krueger-Hadfield *et al.*, 2016). Generalmente crece en aguas con temperaturas de 15 - 30 °C y salinidad de 15 ppt hasta 60 ppt en casos extremos, aunque su nivel óptimo de salinidad es de 30 ppt (Lüning, 1990).

Las poblaciones de *G. parvispora* suelen formar grandes mantos en la zona eulitoral o justo en el comienzo de la zona sublitoral, sobre sustrato arenoso o en sedimentos fangosos que las protegen de las olas (McHugh, 2003). *G. parvispora* habita en planicies de arrecifes y en ambientes arenosos con turbulencia baja a moderada, acompañada de altos niveles de salinidad y nutrientes; también suele crecer en ambientes mixohalinos (lagunas y estuarios) sobre cantos rodados y conchas de moluscos. Generalmente permanece sumergida y forma amplios mantos a una profundidad de 0.5 - 1.5 m. Los talos son rojos o pardos y en algunas ocasiones verdes (Dreckmann, 1999; García-Rodríguez *et al.*, 2013).

### ***Gracilaria parvispora* una especie invasora**

Abbott (1985) consideró a *G. parvispora* como una especie endémica de Hawái. Posteriormente Nelson *et al.* (2009) contradijeron lo anterior al encontrar registros históricos de la especie para Japón, estos autores propusieron que la especie fue introducida en aguas hawaianas a inicios de 1885, por japoneses contratados para trabajar en los campos de caña de azúcar ya que esta alga era una fuente directa de alimentación para estos trabajadores; aunque no descartaron cierto grado de endemismo de la especie en Hawái.

*G. parvispora* fue reportada por Dreckmann (1999) para lagunas costeras de Oaxaca y Chiapas, entre los sitios reportados figuran Playa Paredón en el Mar Muerto y Playa San Vicente en la Laguna Superior. Estudios de Kim y colaboradores (2010) demostraron que el taxón es idéntico para Japón, Corea y Hawái.

De acuerdo con García-Rodríguez y colaboradores (2013), *G. parvispora* es la treceava especie de alga introducida en Baja California y la segunda especie invasora identificada para el noroeste de México, después de *G. vermiculophylla*, también se identificó la presencia de *G. parvispora* en muestras de contenido estomacal de tortuga verde (*Chelonia mydas* Linnaeus, 1758).

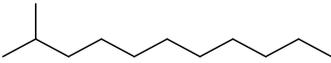
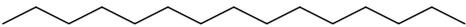
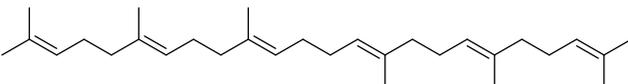
Por otra parte, García-Rodríguez y colaboradores (2013) encontraron dos haplotipos diferentes en las poblaciones mexicanas que pueden indicar la existencia de introducciones múltiples desde Hawái y/o aguas del este de Asia. Mientras que especies previamente reportadas como *G. pacifica*, *G. vermiculophylla* y *Gracilariopsis* en la laguna San Ignacio, Baja California Sur, México, estas fueron identificadas como *G. parvispora* mediante el análisis molecular de la combinación de marcadores moleculares (Krueger-Hadfield *et al.*, 2016).

### 3. ANTECEDENTES

El género *Gracilaria* ha sido un blanco de muchos estudios por su importancia comercial, por su capacidad para lograr altos rendimientos de agar y al mismo tiempo producir extractos comercialmente valiosos (Capo *et al.*, 1999). Los ficololoides presentes en las especies de *Gracilaria* tienen usos importantes en la industria y biotecnología, los principales compuestos del género *Gracilaria* son agar  $\alpha$ - (1,4) -3,6-anhidro- l -galactosa y  $\beta$ - (1,3) - d -galactosa.

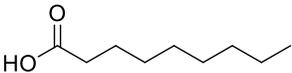
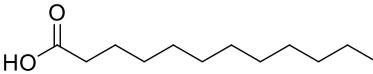
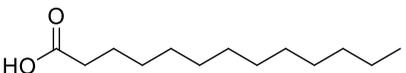
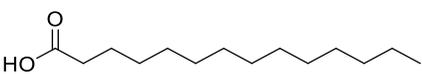
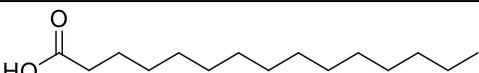
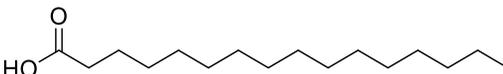
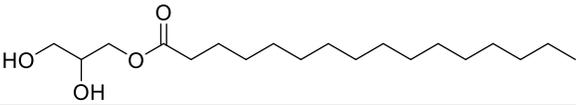
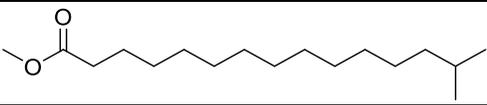
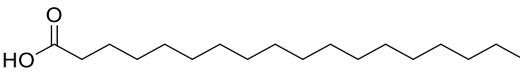
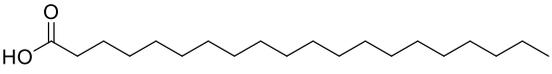
Para el género *Gracilaria* se han reportado importantes metabolitos secundarios, desde alcanos saturados, como el pentadecano y el eicosano, presentes en *G. verrucosa*. El escualeno que se podría calificar como hidrocarburo y terpeno ya que es la base de la síntesis de compuestos terpenicos. Sermakkani y Thangapandian en 2012 reportan que el escualeno tiene actividad antitumoral, inmunoestimulante, quimioterapia preventiva, inhibidor de la lipoxigenasa y preventivo del cáncer (Tabla 1) (Aydoğmus *et al.*, 2008; Hema *et al.*, 2015; Ragunathan *et al.*, 2019).

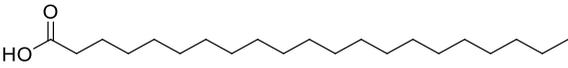
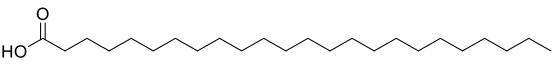
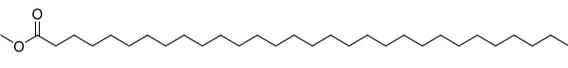
Tabla 1. Alcanos saturados e insaturados reportados para el género *Gracilaria*

Compuesto	Estructura	Especie	Autores
<b>Alcanos saturados y poliinsaturados</b>			
2-metilundecano		<b><i>G. corticata</i></b>	Ragunathan <i>et al.</i> , 2019
Pentadecano		<b><i>G. verrucosa</i></b>	Aydogmus <i>et al.</i> , 2008
Eicosano		<b><i>G. verrucosa</i></b>	Aydogmus <i>et al.</i> , 2008
Escualeno		<b><i>G. dura</i></b>	Cyriac y Eswaran, 2015

Los compuestos lipídicos en el género se presentan de manera abundante y son los que han sido mayormente reportados. Khotimchenko y colaboradores (2002), reportan que en los ácidos grasos saturados de cadena larga, predominantes son: el ácido palmítico, el ácido mirístico, el ácido esteárico. Estos reportados para cinco especies de *Gracilaria* (*G. verrucosa*, *G. vermiculophylla*, *G. dura*, *G. corticata*, *G. blodgettii*) (Tabla 2). Los derivados del ácido acrílico y los eicosanoides de C<sub>20</sub>, ácidos grasos poliinsaturados, sintetizados a través del metabolismo de vías oxidativas que se originan principalmente a partir de ácido araquidónico y ácidos eicosapentaenoico, los precursores de prostaglandinas (Imbs *et al.*, 2001). Cyriac y Eswaran (2015), reportan que el ácido palmítico ha sido probado en estudios de actividad antioxidante, hipocolesterolémico, nematocida, pesticida, antiandrogénico, hemolítico, el ácido mirístico en estudios de actividad antimicrobial.

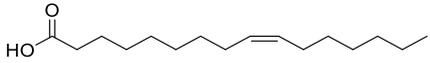
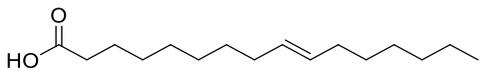
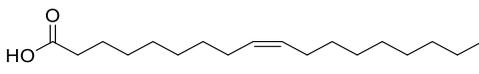
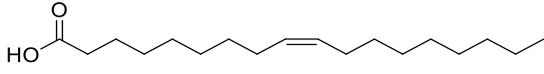
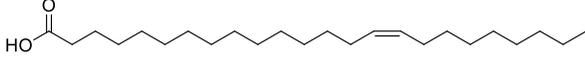
Tabla 2. Ácidos grasos saturados reportados para el género *Gracilaria*

Compuesto	Estructura	Especie	Autores
<b>Ácidos grasos saturados</b>			
Pelargónico C9:0		<i>G. corticata</i>	Ragunathan <i>et al.</i> , 2019
Ácido láurico C12:0		<i>G. verrucosa</i> <i>G. dura</i> <i>G. blodgettii</i>	Aydogmus <i>et al.</i> , 2008 Xu <i>et al.</i> , 2015 Rodríguez Sánchez, 2016
Ácido tridecanoico C13:0		<i>G. verrucosa</i>	Aydogmus <i>et al.</i> , 2008
Ácido mirístico C14:0		<i>G. verrucosa</i> <i>G. vermiculophylla</i> <i>G. dura</i> <i>G. blodgettii</i>	Khotimchenko, 2005 Nylund <i>et al.</i> , 2011 Xu <i>et al.</i> , 2015 Rodríguez Sánchez, 2016
Ácido pentadecanoico C15:0		<i>G. verrucosa</i> <i>G. corticata</i>	Aydogmus <i>et al.</i> , 2008 Ragunathan <i>et al.</i> , 2019
Ácido palmítico C16:0		<i>G. verrucosa</i> <i>G. vermiculophylla</i> <i>G. dura</i> <i>G. dura</i> <i>G. blodgettii</i> <i>G. corticata</i>	Khotimchenko, 2005 Nylund <i>et al.</i> , 2011 Cyriac y Eswaran, 2015 Xu <i>et al.</i> , 2015 Rodríguez Sánchez, 2016 Ragunathan <i>et al.</i> , 2019
Palmitato de 2,3-dihidroxi-propilo		<i>G. corticata</i>	Akbari <i>et al.</i> , 2020
Isopalmitato de metilo		<i>G. dura</i>	Cyriac y Eswaran, 2015
Ácido esteárico C18:0		<i>G. verrucosa</i> <i>G. dura</i> <i>G. blodgettii</i>	Khotimchenko, 2005 Xu <i>et al.</i> , 2015 Rodríguez Sánchez, 2016
Ácido araquídico C20:0		<i>G. verrucosa</i> <i>G. blodgettii</i> <i>G. corticata</i> <i>G. dura</i>	Aydogmus <i>et al.</i> , 2008 Rodríguez Sánchez, 2016 Ragunathan <i>et al.</i> , 2019 Xu <i>et al.</i> , 2015

Ácido heneicosanoico C21:0		<i>G. verrucosa</i>	Aydogmus <i>et al.</i> , 2008
Ácido lignocérico C24:0		<i>G. verrucosa</i>	Aydogmus <i>et al.</i> , 2008
Ácido melissico metil éster C30:0		<i>G. corticata</i>	Ragunathan <i>et al.</i> , 2019

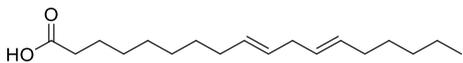
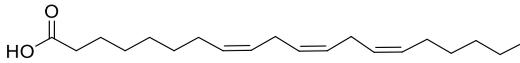
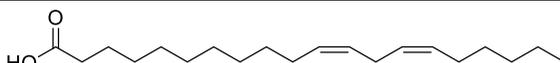
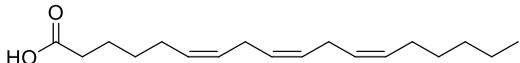
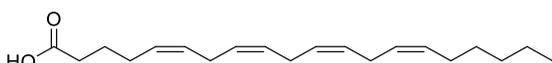
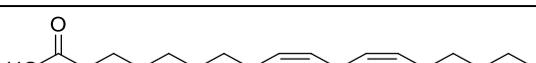
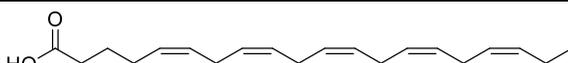
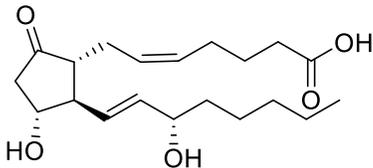
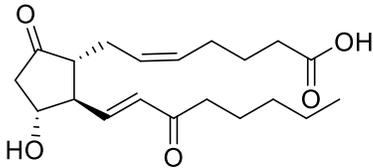
El ácido graso monoinsaturado de mayor abundancia y con mayores reportes es el ácido oleico, seguido del palmitoleico, este segundo es un ácido graso no esencial que se encuentra en grasas de origen animal y vegetal, así como en aquellas producidas por organismos marinos (Tabla 3).

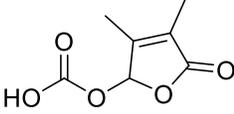
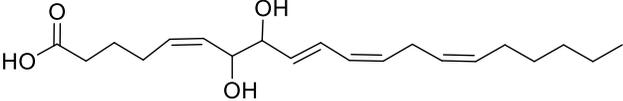
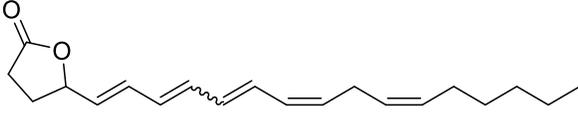
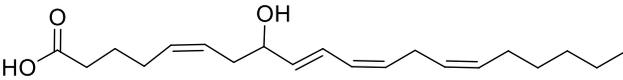
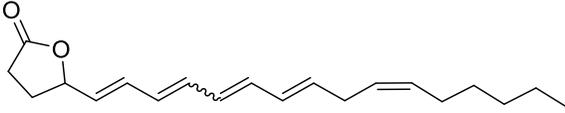
Tabla 3. Ácidos grasos monoinsaturados reportados para el género *Gracilaria*

Compuesto	Estructura	Especie	Autores
<b>Ácidos grasos monoinsaturados</b>			
Ácido palmitoleico C16:1		<i>G. verrucosa</i>	Khotimchenko, 2005
		<i>G. dura</i>	Cyriac y Eswaran, 2015
		<i>G. dura</i>	Xu <i>et al.</i> , 2015
Ácido 9(E) hexadecenoico C16:1		<i>G. verrucosa</i>	Khotimchenko, 2005
Ácido oleico C18:1		<i>G. verrucosa</i>	Khotimchenko, 2005
		<i>G. vermiculophylla</i>	Nylund <i>et al.</i> , 2011
		<i>G. dura</i>	Cyriac y Eswaran, 2015
		<i>G. dura</i>	Xu <i>et al.</i> , 2015
		<i>G. corticata</i>	Ragunathan <i>et al.</i> , 2019
Ácido elaídico C18:1		<i>G. verrucosa</i>	Aydogmus <i>et al.</i> , 2008
		<i>G. dura</i>	Cyriac y Eswaran, 2015
		<i>G. dura</i>	Xu <i>et al.</i> , 2015
		<i>G. verrucosa</i>	Aydogmus <i>et al.</i> , 2008
Ácido nervónico C24:1, n9		<i>G. blodgettii</i>	Rodríguez Sánchez, 2016

Para los ácidos grasos poliinsaturados reportados para el género *Gracilaria*, se encuentra el ácido linolénico de la familia omega-3, el ácido araquidónico de la familia omega-6, este último da lugar a las prostaglandinas, se reportan dos para la especie *G. vermiculophylla* (Tabla 4).

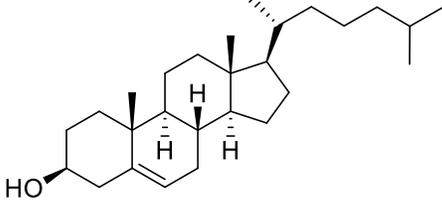
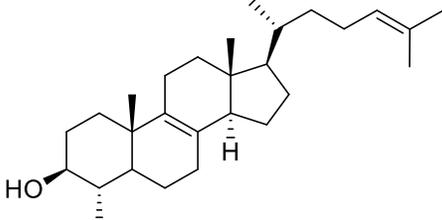
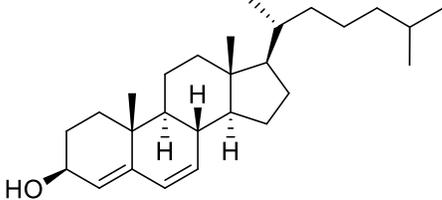
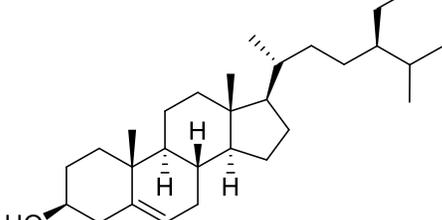
Tabla 4. Ácidos grasos poliinsaturados y derivados reportados para el género *Gracilaria*

Compuesto	Estructura	Especie	Autores
<b>Ácidos grasos poliinsaturados y derivados</b>			
Ácido E,E-linolelaídico		<i>G. dura</i>	Cyriac y Eswaran, 2015
Ácido dihomo-γ linolénico		<i>G. verrucosa</i> <i>G. dura</i>	Khotimchenko, 2005 Xu <i>et al.</i> , 2015
Ácido 11Z,14Z-eicosadienoico		<i>G. verrucosa</i>	Aydogmus <i>et al.</i> , 2008
Ácido gamma-linolénico GLA		<i>G. verrucosa</i>	Aydogmus <i>et al.</i> , 2008
Ácido araquidónico		<i>G. verrucosa</i> <i>G. vermiculophylla</i>	Khotimchenko, 2005 Nylund <i>et al.</i> , 2011
Ácido linoléico		<i>G. verrucosa</i>	Khotimchenko, 2005
Ácido timnodónico		<i>G. verrucosa</i>	Khotimchenko, 2005
Prostaglandina E2, (PGE2)		<i>G. vermiculophylla</i> <i>G. vermiculophylla</i>	Nylund <i>et al.</i> , 2011 Rempt <i>et al.</i> , 2012
15-dehidroprostaglandina E2, 15-ceto (PGE2)		<i>G. vermiculophylla</i> <i>G. vermiculophylla</i>	Nylund <i>et al.</i> , 2011 Rempt <i>et al.</i> , 2012

Ácido oxíciclopent-3-en-2-en-5-carbónico, 3,4-dimetil		<b>G. verrucosa</b>	Aydogmus <i>et al.</i> , 2008
Ácido 7,8-dihidroxi-5Z,9E,11Z,14Z-eicosatetraenoico		<b>G. vermiculophylla</b> <b>G. vermiculophylla</b>	Nylund <i>et al.</i> , 2011 Rempt <i>et al.</i> , 2012
5 - ((1E, 10Z) - hexadeca-1,3,5,7,10-pentaen-1-il) dihidrofuran-2 (3H) - ona		<b>G. vermiculophylla</b> <b>G. vermiculophylla</b>	Nylund <i>et al.</i> , 2011 Rempt <i>et al.</i> , 2012
Ácido 8-hidroxi-5Z,9E,11Z,14Z-eicosatetraenoico		<b>G. vermiculophylla</b>	Rempt <i>et al.</i> , 2012
5 - ((1E, 7E, 10Z) - hexadeca-1,3,5,7,10-pentaen-1-il) dihidrofuran-2 (3H) - ona		<b>G. vermiculophylla</b>	Rempt <i>et al.</i> , 2012

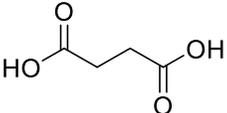
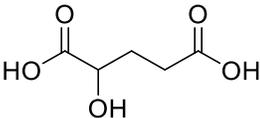
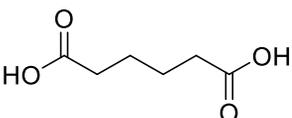
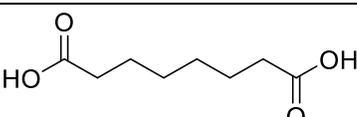
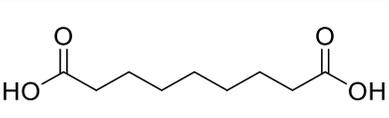
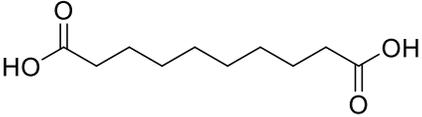
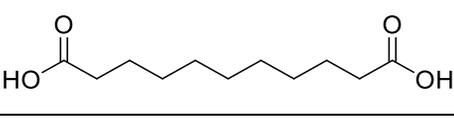
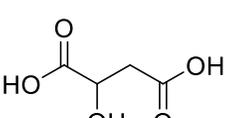
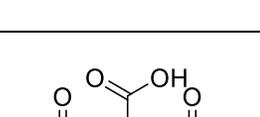
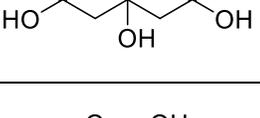
El colesterol se ha reportado para las especies *G. vermiculophylla*, *G. dura*, *G. blodgettii*, *G. vermiculophylla*. El clinoasterol y otros esteroides como colest-8,24-dien-3-ol, 4-metil-, (3 beta, 4 alfa)-, Colest-4,6-dien-3-ol y el  $\beta$ -sitosterol también presentes en estas especies (Tabla 5).

Tabla 5. Esteroles reportados para el género *Gracilaria*

Compuesto	Estructura	Especie	Autores
<b>Esteroles</b>			
Colesterol		<i>G. edulis</i> <i>G. vermiculophylla</i> <i>G. dura</i> <i>G. blodgettii</i> <i>G. vermiculophylla</i>	Das y Srinivas, 1992 Nylund <i>et al.</i> , 2011 Xu <i>et al.</i> , 2015 Rodríguez Sánchez, 2016 Pereira <i>et al.</i> , 2021
Colesta-8,24-dien-3-ol, 4-metil-, (3 beta, 4 alfa)-		<i>G. corticata</i>	Ragunathan <i>et al.</i> , 2019
Colesta-4,6-dien-3-ol		<i>G. dura</i>	Xu <i>et al.</i> , 2015
$\beta$ -Sitosterol		<i>G. dura</i>	Xu <i>et al.</i> , 2015

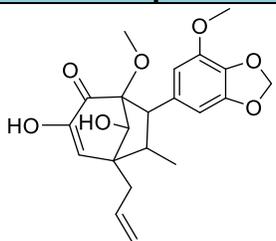
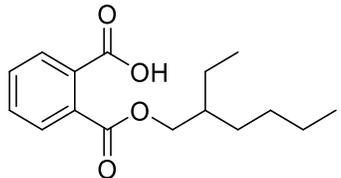
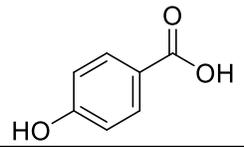
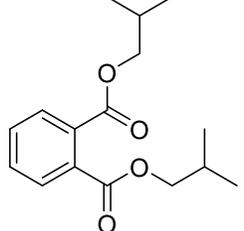
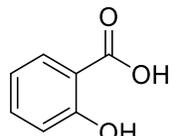
Los ácidos dicarboxílicos y tricarboxílicos succínico, adípico, subérico, azelaico, sebácico, undecanodioico, málico (2-hidroxi-butanodioico) y el ácido cítrico y el derivado metilcítrico son reportados para *G. dura* por Xu y colaboradores en 2015 (Tabla 6).

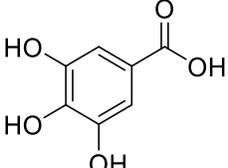
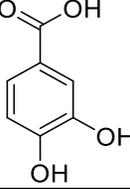
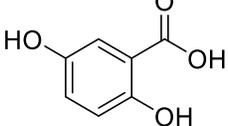
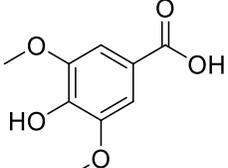
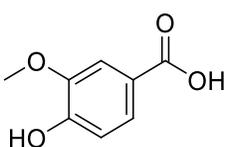
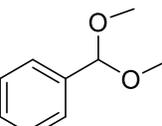
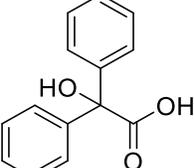
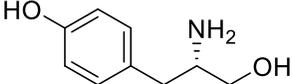
Tabla 6. Ácidos dicarboxílicos saturados reportados para el género *Gracilaria*

Compuesto	Estructura	Especie	Autores
<b>Ácidos dicarboxílicos y tricarboxílicos saturados</b>			
Ácido succínico		<i>G. dura</i>	Xu <i>et al.</i> , 2015
Ácido 2-hidroxi-glutarico		<i>G. dura</i>	Xu <i>et al.</i> , 2015
Ácido adipico		<i>G. dura</i>	Xu <i>et al.</i> , 2015
Ácido subérico		<i>G. dura</i>	Xu <i>et al.</i> , 2015
Ácido azelaico		<i>G. dura</i>	Xu <i>et al.</i> , 2015
Ácido sebácico		<i>G. dura</i>	Xu <i>et al.</i> , 2015
Ácido undecanodioico		<i>G. dura</i>	Xu <i>et al.</i> , 2015
Ácido málico		<i>G. vermiculophylla</i>	Nylund <i>et al.</i> , 2011
Ácido cítrico		<i>G. vermiculophylla</i>	Nylund <i>et al.</i> , 2011
ácido metilcítrico		<i>G. vermiculophylla</i>	Nylund <i>et al.</i> , 2011

El contenido de compuestos fenólicos se ha evaluado en especies del género, se identificaron, ácidos fenólicos, en extractos acuosos de *G. vermiculophylla*; el ácido gálico, protocatechuico, hidroxibenzoico, vainílico, siringico, salicílico. *G. vermiculophylla* contiene una gran cantidad de alcoholes alifáticos de cadena larga y monoglicéridos, incluidos 1-tetradecanol, 1-hexadecanol, 1-octadecanol, 1-eicosanol y 1-docosanol (Tabla 7) (Pereira *et al.*, 2021).

Tabla 7. Compuestos fenólicos reportados para el género *Gracilaria*

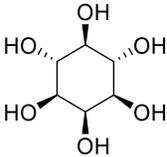
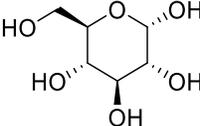
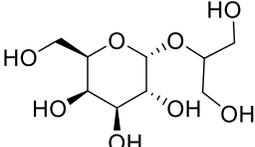
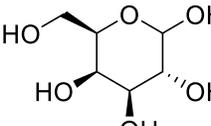
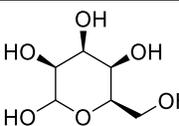
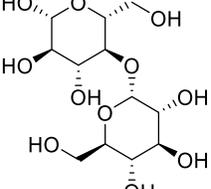
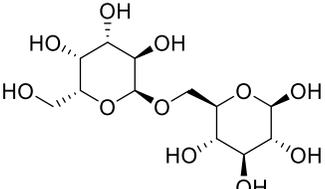
Compuesto	Estructura	Especie	Autores
<b>Compuestos fenólicos</b>			
Biciclo [3.2.1] oct-3-en-2-ona, 3,8-dihidroxi-1-metoxi-7- (7-metoxi-1,3-benzodioxol-5-il) -6-metil-5		<i>G. corticata</i>	Ragunathan <i>et al.</i> , 2019
Ácido ftálico		<i>G. dura</i>	Cyriac y Eswaran, 2015
ácido p-hidroxibenzoico		<i>G. dura</i>	Xu <i>et al.</i> , 2015
Diisobutil éster del ácido 1,2-bencendicarboxílico		<i>G. verrucosa</i>	Aydogmus <i>et al.</i> , 2008
Ácido 2-hidroxibenzoico		<i>G. vermiculophylla</i>	Pereira <i>et al.</i> , 2021

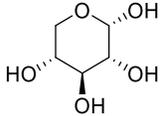
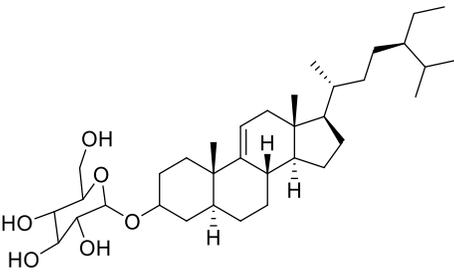
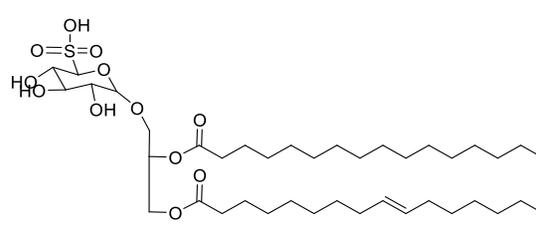
ácido gálico		<b>G. vermiculophylla</b>	Pereira <i>et al.</i> , 2021
Ácido protocatecuico		<b>G. vermiculophylla</b>	Pereira <i>et al.</i> , 2021
Ácido gentísico		<b>G. vermiculophylla</b>	Pereira <i>et al.</i> , 2021
Ácido siríngico		<b>G. vermiculophylla</b>	Pereira <i>et al.</i> , 2021
Ácido vainílico		<b>G. dura</b> <b>G. vermiculophylla</b>	Xu <i>et al.</i> , 2015 Pereira <i>et al.</i> , 2021
Acetato de dimetilo de benzaldehído		<b>G. verrucosa</b>	Aydogmus <i>et al.</i> , 2008
Ácido 2,2-difenil-2-hidroxiacético		<b>G. verrucosa</b>	Aydogmus <i>et al.</i> , 2008
Tirosol		<b>G. dura</b>	Xu <i>et al.</i> , 2015

Los sacáridos y derivados de *G. dura* son, inositol, alfa-D-glucopiranososa, floridosido, D-galactosa, talosa, maltosa, melibiosa, α-D-xylopiranososa y los derivados (24R) -5-

estigmast-9- (11) -en-3 -D-glucopiranosido y  $\alpha$ -D-glucopiranosil-1,2-O-diacilgliceroles (Tabla 8) (Akbari, Abedi, & Yegdaneh, 2020; Aydoğmus *et al.*, 2008; Xu *et al.*, 2015).

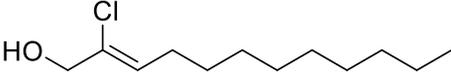
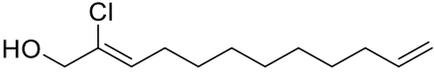
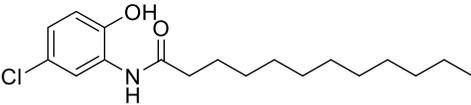
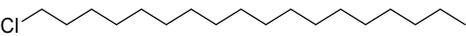
Tabla 8. Compuestos sacáridos y derivados reportados para el género *Gracilaria*

Compuesto	Estructura	Especie	Autores
<b>Sacáridos y derivados</b>			
Inositol		<i>G. dura</i>	Xu <i>et al.</i> , 2015
D-glucopiranososa		<i>G. dura</i>	Xu <i>et al.</i> , 2015
Floridosido		<i>G. dura</i>	Xu <i>et al.</i> , 2015
D-galactosa		<i>G. dura</i>	Xu <i>et al.</i> , 2015
Talosa		<i>G. dura</i>	Xu <i>et al.</i> , 2015
Maltosa		<i>G. dura</i>	Xu <i>et al.</i> , 2015
Melibiososa		<i>G. dura</i>	Xu <i>et al.</i> , 2015

$\alpha$ -D-xylopyranose		<b><i>G. dura</i></b>	Xu <i>et al.</i> , 2015
(24R) -5-estigmast-9- (11) - en-3 -D-glucopiranósido		<b><i>G. verrucosa</i></b>	Aydogmus <i>et al.</i> , 2008
$\alpha$ -D-glucopiranosil-1,2-O- diacil-glicerol		<b><i>G. corticata</i></b>	Akbari <i>et al.</i> , 2021

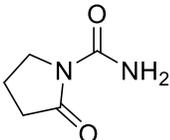
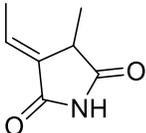
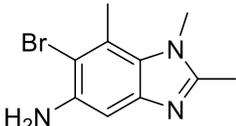
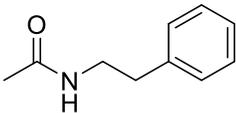
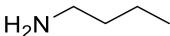
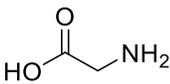
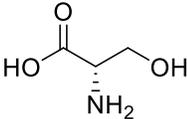
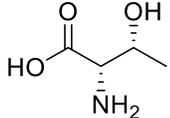
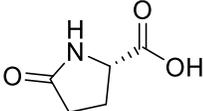
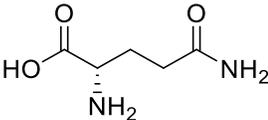
En general las algas son productoras de metabolitos secundarios halogenados con actividad antibiótica reconocida, algunos de estos compuestos en el medio natural actúan como defensa química contra algunos herbívoros. Para las especies *G. verrucosa* y *G. corticata* se han identificado el 2-clorodec-2-en-1-ol, 2-clorodec-2,11-dien-1-ol, 1-cloro-octadecano y el N- (5-cloro-2-hidroxifenil) dodecanamida, y el 6-bromo-1,2,7-trimetil-1H-benzimidazol-5-amina reportada para *G. blodgettii* (Tabla 9) (Rodríguez Sánchez, 2016).

Tabla 9. Compuestos halogenados reportados para el género *Gracilaria*

Compuesto	Estructura	Especie	Autores
<b>Compuestos halogenados</b>			
2-Clorodec-2-en-1-ol		<i>G. verrucosa</i>	Shoeb y Jaspars, 2003
2-Clorodec-2,11-dien-1-ol		<i>G. verrucosa</i>	Shoeb y Jaspars, 2003
N- (5-cloro-2-hidroxifenil) dodecanamida		<i>G. corticata</i>	Ragunathan <i>et al.</i> , 2019
1-cloro-octadecano		<i>G. verrucosa</i>	Aydogmus <i>et al.</i> , 2008

Los compuestos nitrogenados (Tabla 10) para el género están reportados para las especies *G. lemaneiformis*, *G. vermiculophylla* y *G. verrucosa*, algunos de ellos son, Squamolone, 2E-etiliden-3-metilsuccinimida, N-fenetil – acetamida, n-butilamina, glicerina, serina, treonina, ácido piroglutámico, glutamina, ornitina y los derivados de nucleósidos para *G. dura*, timina y 3-bromo-uracilo.

Tabla 10. Compuestos nitrogenados reportados para el género *Gracilaria*

Compuesto	Estructura	Especie	Autores
<b>Compuestos nitrogenados</b>			
Squamolone		<i>G. lemaneiformis</i>	Lu <i>et al.</i> , 2011
2E-etiliden-3-metilsuccinimida		<i>G. lemaneiformis</i>	Lu <i>et al.</i> , 2011
6-bromo-1,2,7-trimetil-1H-bencimidazol-5-amina		<i>G. blodgettii</i>	Rodríguez Sánchez, 2016
N-fenetil-acetamida		<i>G. verrucosa</i>	Aydogmus <i>et al.</i> , 2008
n-butilamina		<i>G. vermiculophylla</i>	Nylund <i>et al.</i> , 2011
Glicina		<i>G. vermiculophylla</i>	Nylund <i>et al.</i> , 2011
Serina		<i>G. vermiculophylla</i>	Nylund <i>et al.</i> , 2011
Treonina		<i>G. vermiculophylla</i>	Nylund <i>et al.</i> , 2011
Ácido piroglutámico		<i>G. vermiculophylla</i>	Nylund <i>et al.</i> , 2011
Glutamina		<i>G. vermiculophylla</i>	Nylund <i>et al.</i> , 2011

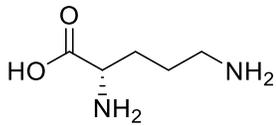
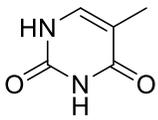
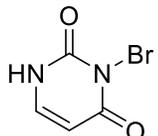
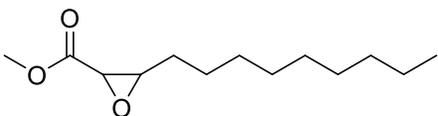
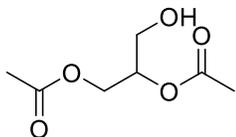
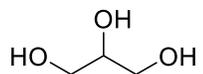
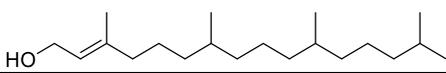
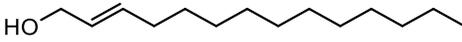
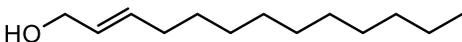
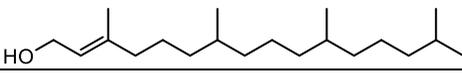
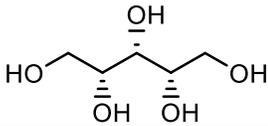
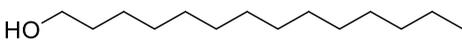
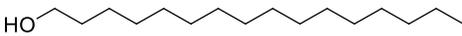
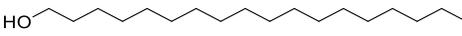
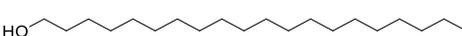
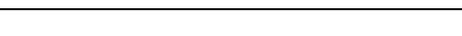
Ornitina		<i>G. vermiculophylla</i>	Nylund <i>et al.</i> , 2011
Timina		<i>G. dura</i>	Xu <i>et al.</i> , 2015
3-bromo-uracilo		<i>G. dura</i>	Xu <i>et al.</i> , 2015

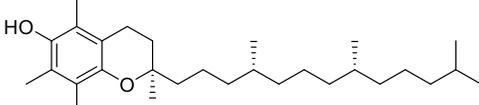
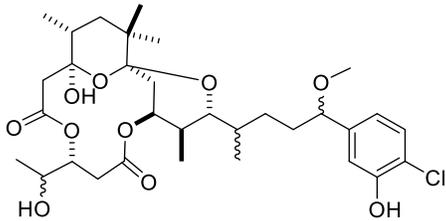
Tabla 11. Compuestos esteres y alcoholes reportados para el género *Gracilaria*

Compuesto	Estructura	Especie	Autores
<b>Ester/Alcohol</b>			
Éster metílico del ácido 3-noniloxirano-2-carboxílico		<i>G. verrucosa</i>	Shoeb y Jaspars, 2003
Diacetina		<i>G. dura</i>	Xu <i>et al.</i> , 2015
Glicerol		<i>G. dura</i>	Xu <i>et al.</i> , 2015
3,7,11,15-tetrametil-2-hexadecen-1-ol		<i>G. dura</i>	Cyriac y Eswaran, 2015
E-2-tetradecen-1-ol		<i>G. dura</i>	Cyriac y Eswaran, 2015
2-tridecen-1-ol, (E)-		<i>G. dura</i>	Cyriac y Eswaran, 2015
Fitol		<i>G. dura</i>	Cyriac y Eswaran, 2015
Xilitol		<i>G. blodgettii</i>	Rodríguez Sánchez, 2016
Tetradecanol		<i>G. vermiculophylla</i>	Pereira <i>et al.</i> , 2021

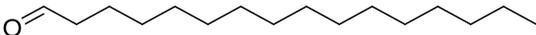
Hexadecanol		<b><i>G. vermiculophylla</i></b> Pereira et al., 2021
Octadecanol		<b><i>G. vermiculophylla</i></b> Pereira et al., 2021
Eicosanol		<b><i>G. vermiculophylla</i></b> Pereira et al., 2021
Docosanol		<b><i>G. vermiculophylla</i></b> Pereira et al., 2021

Otros compuestos (Tabla 12) reportados para el género son la vitamina  $\alpha$ -tocoferol, para *G. vermiculophylla*. En algunas partes de Asia y Hawái varias especies de *Gracilaria* son utilizadas para la alimentación humana, en el año 1994 se reportó una intoxicación en personas que habían consumido *G. coronopifolia*. Tres años después Nagai y colaboradores reportan las toxinas responsables de dicha intoxicación Manauealide A, Manauealide B, Manauealide C, Aplisiatoxina y Desbromoaplisiatoxina.

Tabla 12. Otros compuestos reportados para el género *Gracilaria*

Compuesto	Estructura	Especie	Autores
<b>Otros</b>			
Tocoferol		<b><i>G. vermiculophylla</i></b>	Pereira et al., 2021
Manauealide A		<b><i>G. Coronopifolia</i></b>	Nagai et al., 1997

19-Bromo-17-debromo-aplysiatoxina (Manaealida B)		<b>G. Coronopifolia</b>	Nagai <i>et al.</i> , 1997
Debromoaplysiatoxina (Manaealide C)		<b>G. Coronopifolia</b>	Nagai <i>et al.</i> , 1997
Aplysiatoxina		<b>G. Coronopifolia</b>	Nagai <i>et al.</i> , 1997
Desbromoaplysiatoxina (misma Manaealide C)		<b>G. Coronopifolia</b>	Nagai <i>et al.</i> , 1997
8-Hidroxi-4E,6E - octadien-3-ona		<b>G. Lemaneiformis</b>	Lu <i>et al.</i> , 2011
3-Hidroxi-5,6-epoxy-β-ionone (3β-hidroxi-5α,6α-epoxi-7-megastigmen-9-ona)		<b>G. lemaneiformis</b>	Lu <i>et al.</i> , 2011
Loliolida		<b>G. lemaneiformis</b>	Lu <i>et al.</i> , 2011
4-Fenilbutiramida (N-fenetilacetamida)		<b>G. lemaneiformis</b>	Lu <i>et al.</i> , 2011
1,2-Epoxi-dodecano (Oxirano, decil-)		<b>G. corticata</b>	Ragunathan <i>et al.</i> , 2019

Ácido fosfórico	$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{HO}-\text{P}-\text{OH} \\   \\ \text{OH} \end{array}$	<b><i>G. vermiculophylla</i></b> Nylund <i>et al.</i> , 2011
Glicerofosfato	$\begin{array}{c} \text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{OH})-\text{CH}_2-\text{O}-\text{P}(\text{O})(\text{O}^-)_2 \end{array}$	<b><i>G. vermiculophylla</i></b> Nylund <i>et al.</i> , 2011
Hexadecanal		<b><i>G. corticata</i></b> Ragunathan <i>et al.</i> , 2019

La revisión realizada por Almeida y colaboradores en 2011, recopilan la información publicada de 19 especies de *Gracilaria* donde realizan pruebas de bioactividad de sus extractos y fracciones en cuanto a toxicidad, citotóxico, espermicida, antiimplantación, antibacteriano, antiviral, antifúngico, antiprotozoario, antihipertensivo, antioxidante, antiinflamatorio, efectos analgésicos y espasmolíticos en el tracto gastrointestinal.

Uno de los aportes más importantes de *Gracilaria* es a la alimentación humana por la diversidad de compuestos esenciales como las xantofilas, clorofilas, proteínas, minerales, vitaminas, proteoglicanos, aminoácidos, ácidos grasos poliinsaturados y antioxidantes como polifenoles y terpenoides.

#### **4. JUSTIFICACIÓN**

El sistema Lagunar Huave recientemente se ha visto afectado por el establecimiento del alga no nativa *Gracilaria parvispora*, esto está afectando directamente la economía de la población.

Son mínimos los estudios acerca del impacto de esta alga y ninguno enfocado en su estudio químico. Por lo que resulta de suma importancia realizar el primer estudio sobre sus componentes químicos y su posible aprovechamiento.

## 5. HIPÓTESIS

Se ha documentado que especies del género *Gracilaria* son fuente de metabolitos secundarios de importancia como los antes mencionados, por esta razón se espera que de la especie *G. parvispora* se puedan aislar e identificar componentes que contribuyan al conocimiento químico y biológico de esta especie.

## 6. OBJETIVOS

### Objetivo General

Contribuir al conocimiento de los recursos marinos de México mediante el estudio químico del alga *Gracilaria parvispora* proveniente de las costas del estado de Oaxaca.

### Objetivos Particulares

- Generar conocimiento sobre los componentes químicos de la especie de estudio.
- Separar y purificar los componentes mayoritarios de los diferentes extractos o fracciones mediante técnicas cromatográficas convencionales.
- Identificar los componentes aislados y determinar las estructuras moleculares.
- Realizar una revisión bibliográfica de los compuestos reportados para el género *Gracilaria*.

## 7. METRIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

*Gracilaria parvispora*, fue colectada en La Playa de San Vicente (16.369147 N y - 94.959765 O) que se ubica en La Laguna Superior del Sistema Lagunar Huave, localizado en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca, México, el cual presenta una comunicación semipermanente con el Golfo de Tehuantepec (en el Océano Pacífico Tropical) a través de la “Boca de San Francisco”. La Laguna Superior se caracteriza por tener sedimentos lodosos dominantes. Las temperaturas a lo largo del año oscilan entre los 29.2 y 30°C, con salinidades altas de 44 a 54.7 UPS y oxígeno disuelto entre 5.0 y 6.7 mg/l (Cervantes-Hernández *et al.*, 2012).

### Muestreo

Se colectó *G. parvispora*, en febrero de 2020. La colecta fue realizada en La Playa de San Vicente, Juchitán de Zaragoza, Oaxaca, México (Fig. 2), cortando los talos del alga, cerca del sujetador a una profundidad entre 1 a 2 m, en la zona intermareal. Las muestras fueron lavadas con agua potable y deshidratadas a temperatura ambiente y a la sombra. Posteriormente, fueron trasladadas al Instituto de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), donde fueron molidas (en molino de cuchillas), y por último se pesaron, obteniendo un total de 710 g. se colocaron en bolsas y se etiquetaron para su almacenamiento a temperatura ambiente.

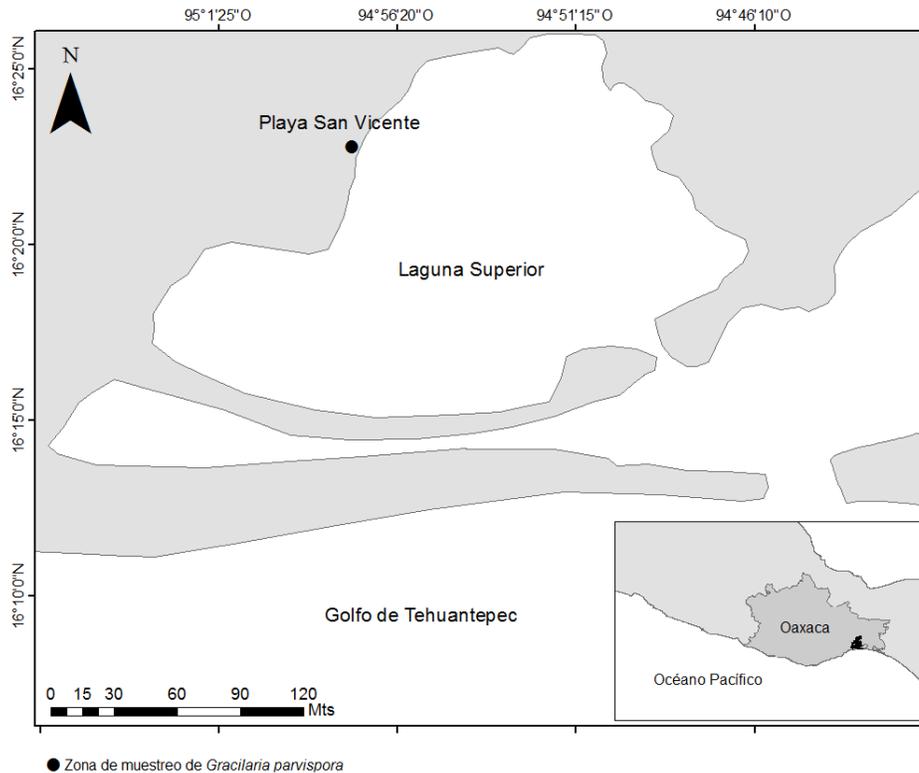


Figura 2. Zona de colecta de *G. parvispora*, Playa San Vicente en la Laguna Superior del Sistema Lagunar Huave.

### Identificación taxonómica

Para la identificación de la especie, se tomó una pequeña muestra del alga; se tuvo cuidado de que los ejemplares colectados tuvieran estructuras reproductivas, las cuales eran observadas fácilmente a simple vista. Una vez en el laboratorio, las muestras se rehidrataron con una solución de formol al 4 % en agua de mar durante 12 h, después se fijaron con una solución de alcohol etílico al 70 % en agua de mar; quedando así disponibles para la determinación de la especie. Para este fin, se colocó una porción de muestra en cajas Petri y se observaron mediante un microscopio estereoscopio, las estructuras morfológicas características de la especie. Durante la observación, la muestra se mantuvo inmersa en alcohol etílico

al 70 % en agua de mar. Se realizaron cortes transversales del talo y cortes longitudinales del pericarpo y cistocarpo para verificar la concordancia de las estructuras internas con las características descritas para *G. parvispora* de acuerdo con las descripciones de Abbott (1985), Dreckmann (1999) y García-Rodríguez *et al.* (2013).

### **Obtención de extractos**

El material botánico seco y molido (710 g), se extrajo por percolación exhaustiva con disolventes de polaridad ascendente: hexano, diclorometano, acetona, metanol y finalmente con agua fría y agua a 80°C.

Los extractos se concentraron a presión reducida en un evaporador rotatorio (BUCHI R-11) a un 20% del volumen aproximadamente.

### **Separación y purificación de los componentes de los extractos.**

La separación y purificación de los componentes de los extractos orgánicos se realizó mediante técnicas cromatográficas convencionales, como son cromatografía en columna (CC), cromatografía en capa fina (CCF), cromatografía flash (CF), cromatografía de líquidos (HPLC) y cromatografía de gases acoplada a masas (CG-Ms).

Las cromatografías en columna abierta (CC) se realizaron en columnas de vidrio empacadas con gel de sílice (malla 70 - 230) y sephadex. Para cromatografía en capa fina preparativa (CCFp), se utilizaron placas, de 20 x 20 cm y 0.25, 0.5, 1.0, 2.0 mm.

La visualización de las placas se llevó a cabo mediante exposición a luz UV a longitudes de onda de 254 nm y 336 nm y utilizando como revelador una solución de ácido acético, ácido sulfúrico y agua (Waksmundzka-Hajnos, 2008) seguido del calentamiento en parrilla durante 1 minuto a 100°C aproximadamente.

### **Identificación de los componentes aislados**

Para la identificación de los componentes y mezclas aislados se hizo uso de técnicas espectroscópicas, resonancia magnética nuclear (RMN) de hidrógeno (RMN-<sup>1</sup>H) y espectrometría de masas (EM).

Los espectros de masas se determinarán en un espectrómetro de masas, Jeol, SX 102A y las determinaciones por CG/EM en un cromatógrafo de gases acoplado a un espectrómetro de masas, Jeol GCMate 11.

Los espectros de RMN se determinarán en espectrómetros Jeol (Eclipse 300) y Bruker (Avance III 400), utilizando disolventes deuterados.

### **Espectrometría de masas CG-EM**

Se llevaron a cabo análisis CG-EM de las fracciones de los extractos, se disolvieron en 1 mL de DCM en el sistema CG-EM 7890B-5977MSD Agilent Technologies y cromatografía de gases interconectada a masa espectrómetro, que emplea lo siguiente condiciones: Columna HP-5MS 5% fenilo metilpolisiloxano, 30 m longitud x 250 µm diámetro x 0.25 µm espesor de película, temperatura del inyector 260°,

modo de inyección Split 20:1, volumen de la inyección 1  $\mu\text{L}$ , programación de la temperatura 40°C x 1 min; 8 °C/min; 300 °C x 6.5 min.

La identificación de los espectros se realizó mediante la comparación con la biblioteca NIST 14.

## 7.2 TRABAJO EXPERIMENTAL

### Extractos de *Gracilaria parvispora*

Se obtuvieron cuatro extractos crudos: hexano (Hx= 420 mg), diclorometano (DCM= 1.22 g), acetona (Acetona= 848 mg) y metanol (MeOH = 8.31).

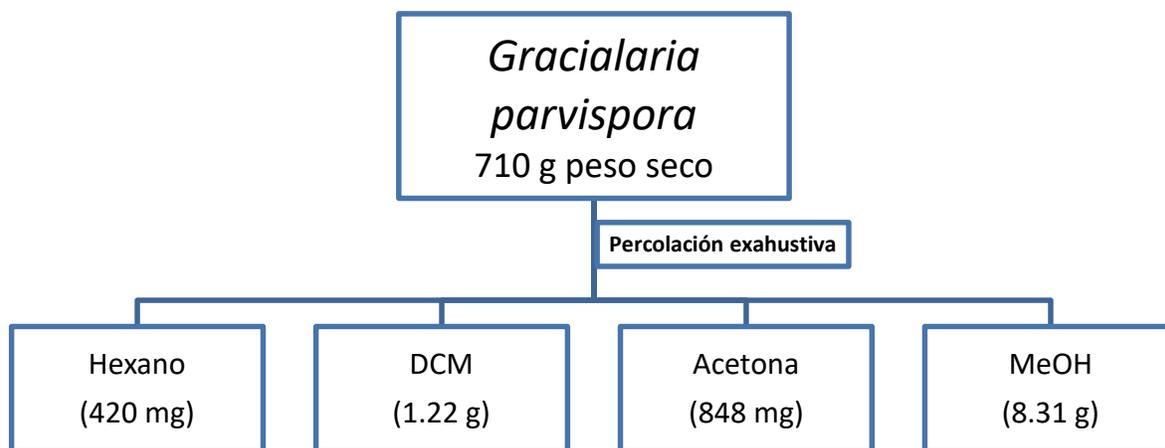


Figura 3: Diagrama de la metodología para la obtención de extractos

### Extracto hexánico (Hx)

Este extracto hexánico se fraccionó por cromatografía en columna utilizando sílica gel 70-230 como fase estacionaria y como fase móvil mezclas de hexano/AcOEt de polaridad ascendente (9:1, 8:2 1:1, 3:7), AcOEt y finalmente acetona. Se obtuvieron 34 fracciones que se reunieron de acuerdo con su similitud en cromatografía en capa fina, obteniéndose nueve fracciones primarias Hx (A-I), (Figura 4). Con base en el análisis cromatográfico y el rendimiento de las fracciones, se seleccionaron las fracciones Hx-B y Hx-H, para continuar con el estudio químico (Figura 4).

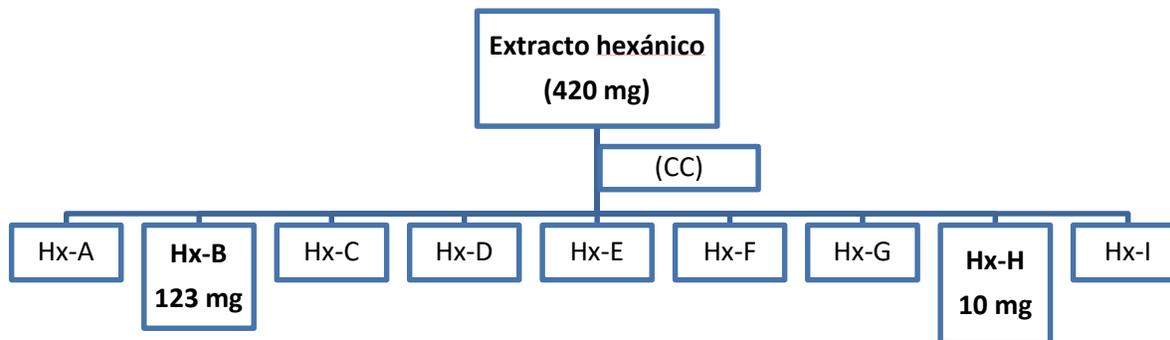


Figura 4: Diagrama de la metodología para la obtención fracciones para el extracto de hexano

**La fracción Hx-B** se sometió a cromatografía en columna utilizando sílica gel 70-230 como fase estacionaria y como fase móvil mezclas de hexano/AcOEt de polaridad ascendente (95:5, 9:1 8:2 1:1), AcOEt y finalmente acetona. El análisis espectroscópico por Gases Masas de la fracción indicó la presencia de ácidos grasos de cadena larga y esteroides.

### **Extracto de Diclorometano (DCM)**

El extracto de DCM se fraccionó por cromatografía en columna utilizando sílica gel 70-230 como fase estacionaria y como fase móvil mezclas de hexano/AcOEt de polaridad ascendente (9:1, 8:2, 6:4), AcOEt, y AcOEt/ MeOH (9:1, 8:2, 6:4, 4:6, 2:8). Se obtuvieron 19 fracciones (Figura 5). Con base en el análisis cromatográfico y el

rendimiento de las fracciones, se seleccionaran las fracciones DCM (0-8), para continuar con el estudio químico.

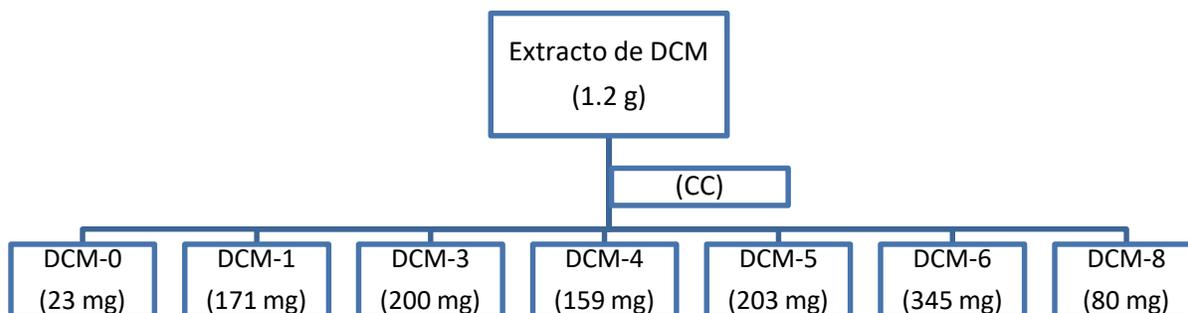


Figura 5: Diagrama de la metodología para la obtención fracciones para el extracto de DCM

### **Extracto metanólico (MeOH)**

El extracto metanólico se fraccionó por cromatografía en columna utilizando Sephadex como fase estacionaria y como fase móvil MeOH. Se obtuvieron 12 fracciones que se reunieron de acuerdo con su similitud en cromatografía en capa fina, obteniéndose 4 fracciones primarias MeOH (A-D) (Figura 6). Con base en el análisis cromatográfico y el rendimiento de las fracciones, se seleccionaran las fracciones MeOH-B y MeOH-C, para continuar con el estudio químico.

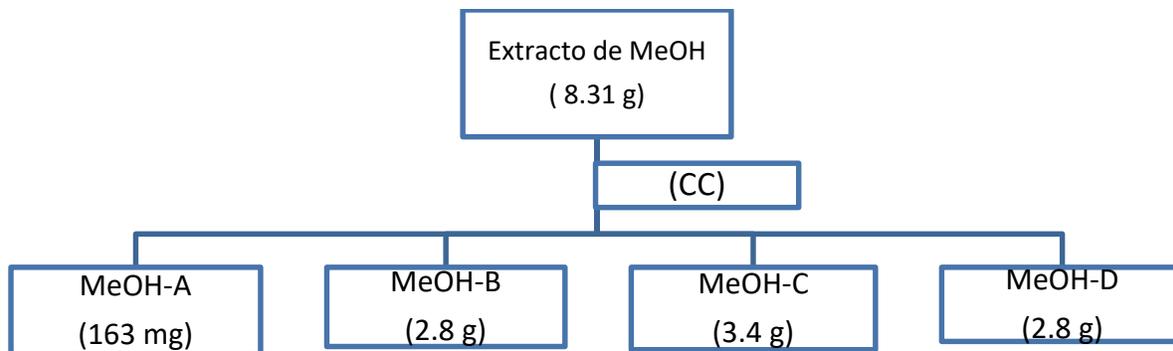


Figura 6: Diagrama de la metodología para la obtención fracciones para el extracto de metanol

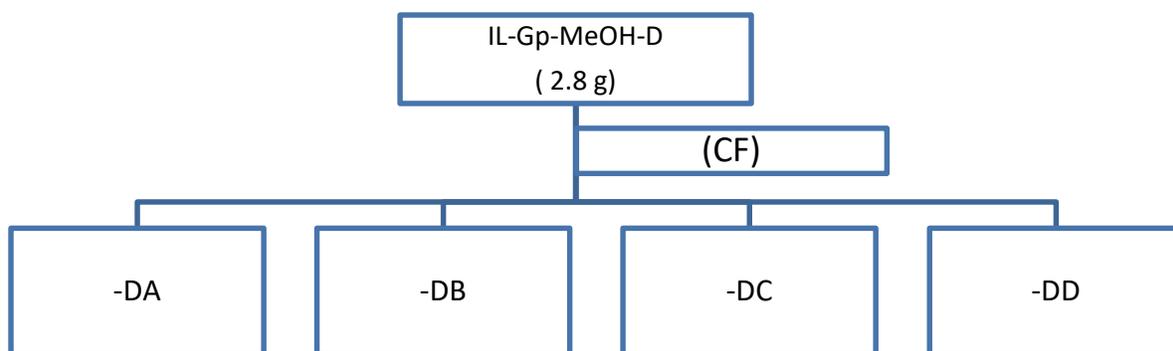


Figura 7: Diagrama de la metodología para la obtención fracciones para la fracción MeOH-D

### Extracción de agar

La extracción del agar se realizó con 25 g de alga seca y molida en 800 mL de agua destilada en un vaso de precipitado. Se calentó sobre una parrilla eléctrica con

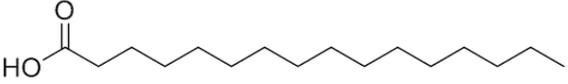
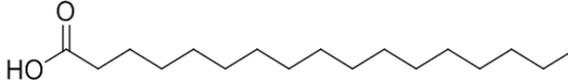
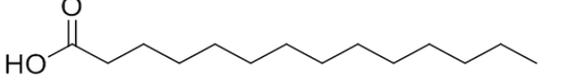
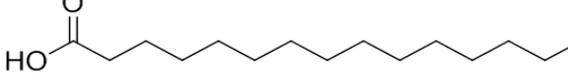
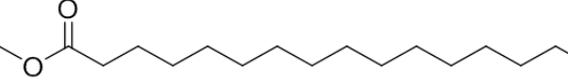
agitación constante hasta llegar a los 80 °C, a esa temperatura se ajustó el pH entre 6.2 y 6.3. Posteriormente, se continuó con el calentamiento de la muestra hasta ebullición para realizar la extracción. Se dejó hervir durante 90 minutos. Después de este tiempo la solución se filtró al vacío sobre tierra de diatomeas. La solución de agar obtenida se vertió en un recipiente de plástico y se dejó gelificar a temperatura ambiente. Posteriormente, se congeló durante 24 h y luego se descongeló a temperatura ambiente. En este paso el gel de agar se separó en gran parte del agua y se filtró sobre tela de nylon. El agar obtenido se deshidrató con etanol y se secó en una estufa a 60 °C durante 18 h. Por último, la muestra se pesó para obtener el rendimiento total.

## 8. RESULTADOS

### Extracto de Hexano

En el cromatograma de CG-EM de la fracción **Hx-BH** del extracto hexánico de *Gracilaria parvispora* que se presenta en la Figura 8 se identifican cinco compuestos con un tiempo de retención entre 20.37 y 24.41. El ácido palmítico registró el área de pico más alto (95.51%) en el cromatograma y los compuestos seguidos son el ácido esteárico (2.04%), ácido mirístico (0.64%), ácido pentadecanoico (0.35%). El área de pico más bajo es registrada para el palmitato de metilo (0,23%).

Tabla 13. Compuestos identificados de la fracción Hx-BH del extracto hexánico

No.	Nombre	T.R.	%	Estructura	P.M.
1	Ácido palmítico (C 16:0)	22.8	95.51		256.4
2	Ácido esteárico (C 18:0)	24.4	2.04		284.4
3	Ácido mirístico (C 14:0)	20.3	0.64		228.3
4	Ácido pentadecanoico (C 15:0)	21.6	0.35		242.3
5	Palmitato de metilo (C 17:0)	22.3	0.23		270.4

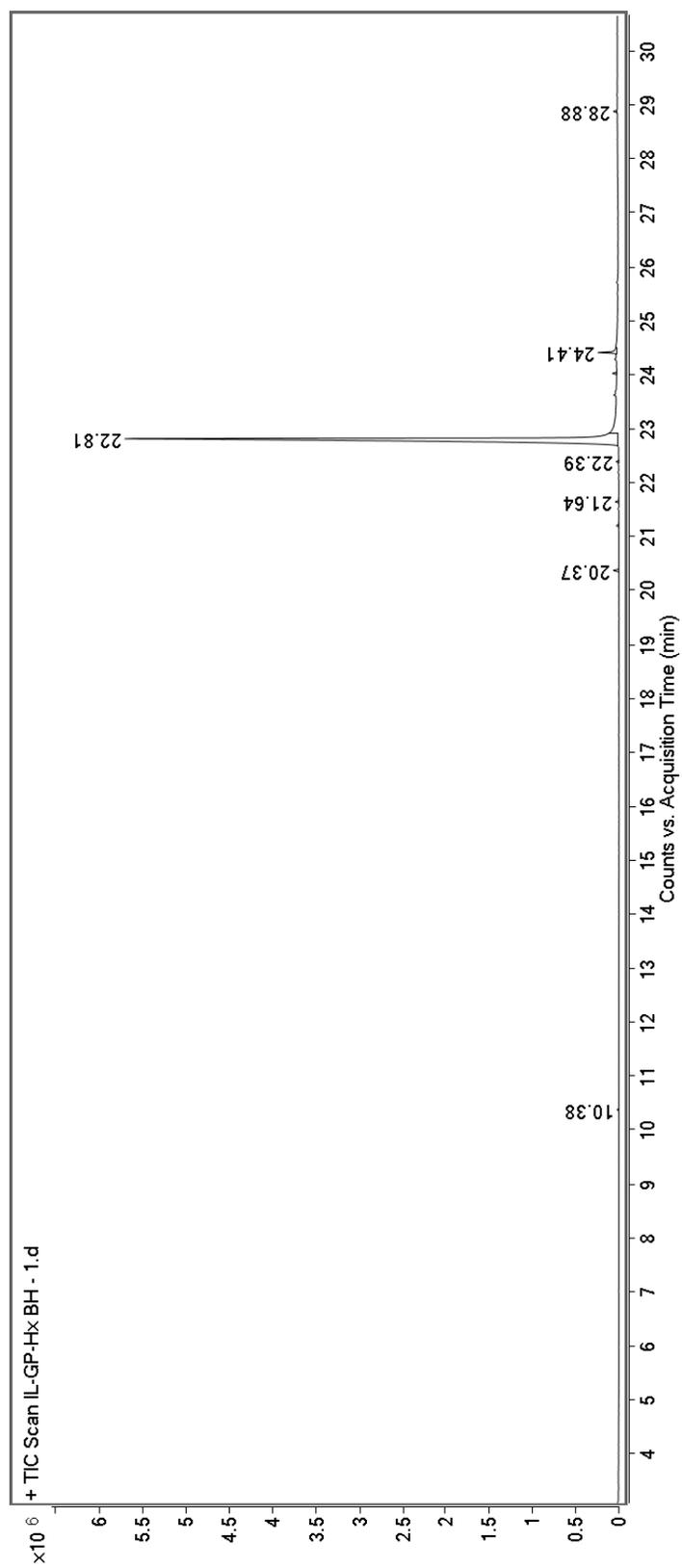
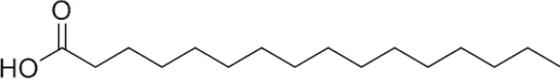
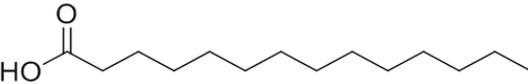
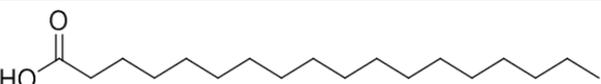
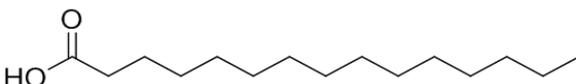
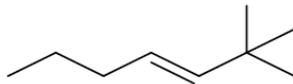


Figura 8. Cromatograma CG-EM de la fracción Hx-BH del extracto hexánico

Para la fracción **Hx-BI** del extracto hexánico se identificaron cinco compuestos que se muestran en el cromatograma CG-EM (Figura 9). Dichos compuestos se presentan en un tiempo de retención entre 20.38 y 24.4. En esta fracción nuevamente se encuentra el ácido palmítico, el cual registró el área de pico más alto (96.05%) en el cromatograma y los compuestos seguidos son el ácido mirístico (1.45%), ácido esteárico (1.07%), ácido pentadecanoico (0.51%). El área de pico más bajo registrado es para el 2,2 dimetil-3- hepteno trans (0.44%).

Tabla 14. Compuestos identificados de la fracción Hx-BI del extracto hexánico

No.	Nombre	T.R.	%	Estructura	P.M.
1	Ácido palmítico (C 16:0)	22.8	96.05		256.4
3	Ácido mirístico (C 14:0)	20.3	1.45		228.3
2	Ácido esteárico (C 18:0)	24.4	1.07		284.4
4	Ácido pentadecanoico (C 15:0)	21.6	0.51		242.3
6	2,2 dimetil 3- heptenotrans	22.5	0.44		127

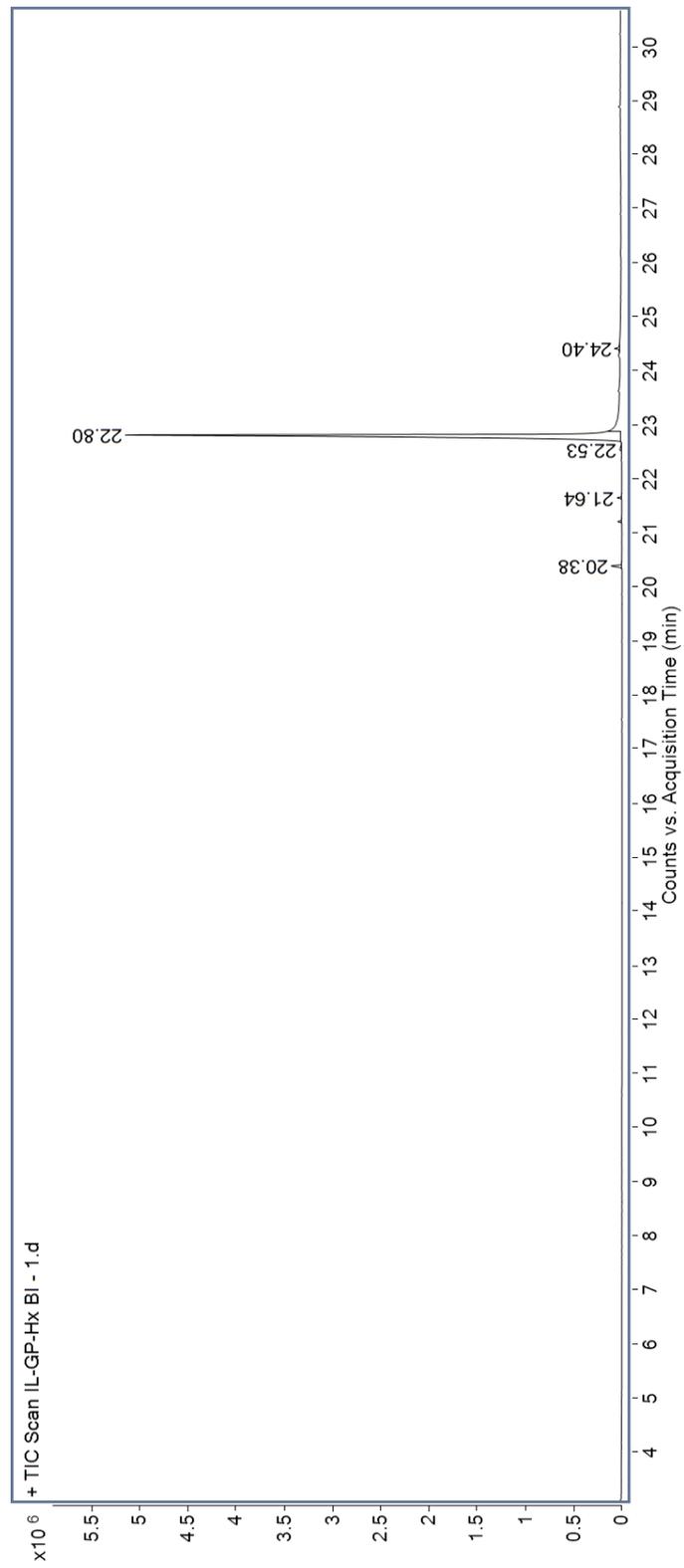


Figura 9. Cromatograma CG-EM de la fracción Hx-BI del extracto hexánico

Para la fracción **Hx-H**, se identificaron 11 compuestos que se muestran en el cromatograma CG-EM en la Figura 10. El esteroide 4,6-colestadien-3 $\beta$ -ol (15.17%) registró el pico más alto en el cromatograma, el siguiente fue el alcaloide hexadecamida (14.56%), seguido del ácido palmítico (6.54%), el ácido pelargónico (3.67%), pentanal 2 metil (2.31%), ácido butírico (1.97%), ácido caprílico (1.78%) y la 2-pirrolidimetamina,N- etil-(s) (1.38%).

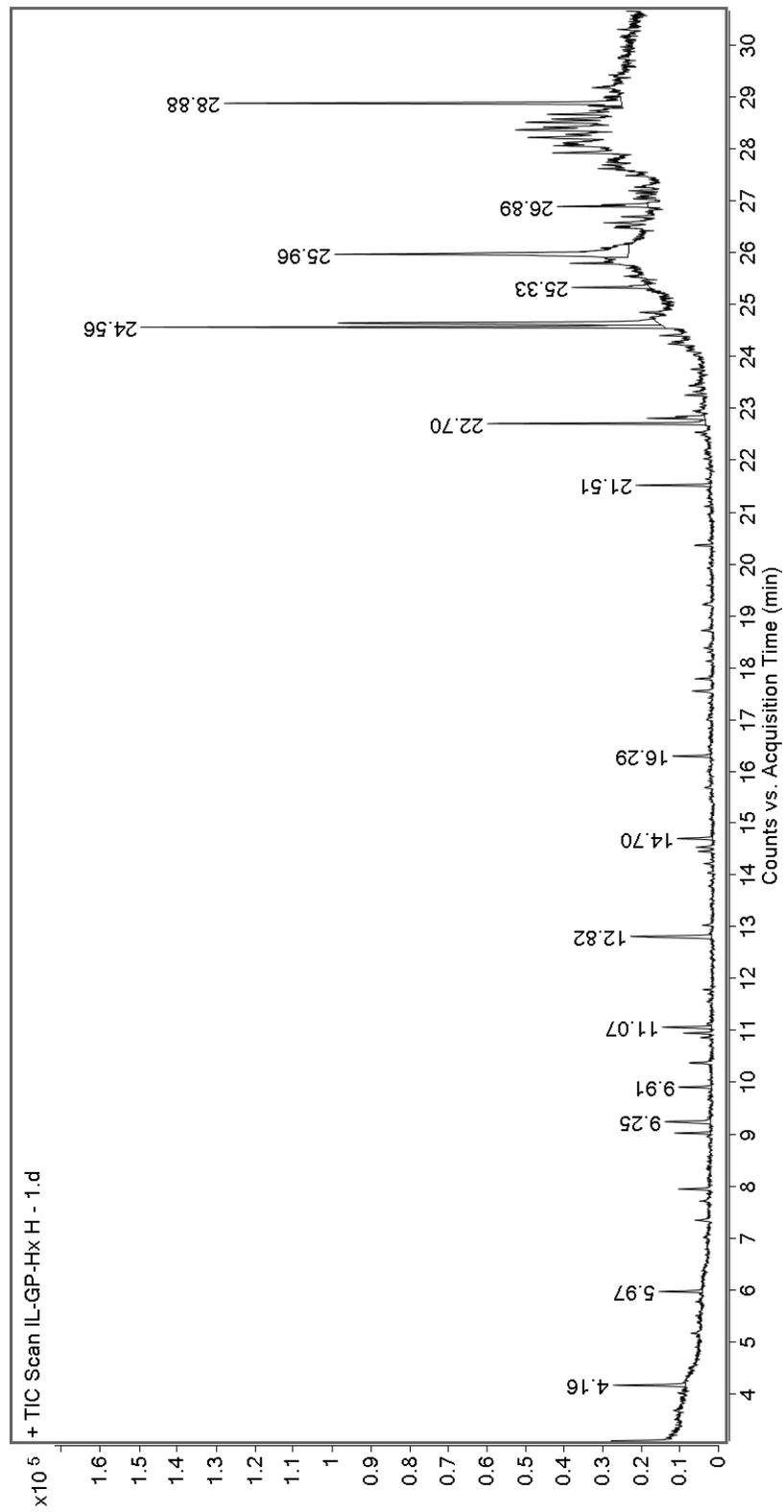
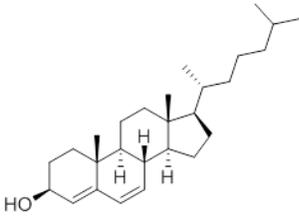
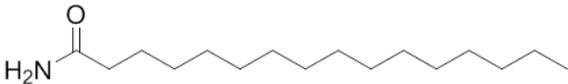
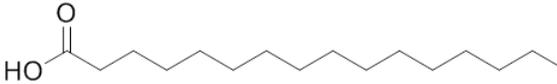
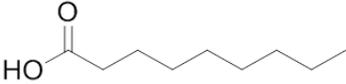
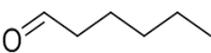
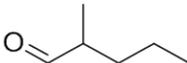
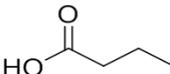
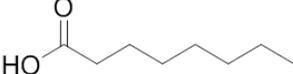
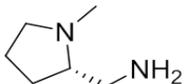


Figura 20. Cromatograma CG-EM de la fracción Hx-H del extracto hexánico

Tabla 15. Compuestos identificados de la fracción Hx-H del extracto hexánico

No.	Nombre	T.R.	%	Estructura	P.M.
7	4,6-colestadien-3 $\beta$ -ol	28.8	15.1		256.4
8	Hexadecamida	24.5	14.5		284.4
1	Ácido palmítico (C 16:0)	22.7	6.5		256.4
9	Ácido pelargónico (C 9:0)	12.8	3.7		242.3
10	Hexanal	4.16	2.5		270.4
11	Pental 2 metil	21.5	2.3		256.4
12	Ácido butírico (C 4:0)	9.2	1.9		284.4
13	Ácido caprílico (C 8:0)	11.07	1.7		228.3
14	2-pirrolidinametamina N-metil (s)	5.9	1.3		270.4

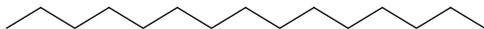
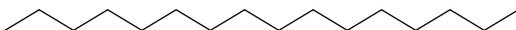
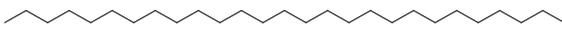
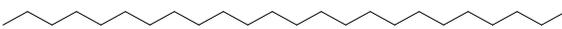
## Extracto de DCM

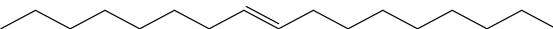
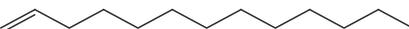
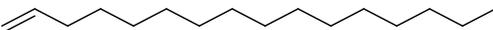
Se obtuvieron 7 fracciones del extracto de DCM, con un total de 47 compuestos identificados mediante análisis CG-EM. De estos 47 compuestos, solo diez compuestos se detectaron como picos principales en los cromatogramas.

Las siguientes tablas proporcionan los detalles de los compuestos identificados con su tiempo de retención y porcentaje en cada fracción.

En la Tabla 16 se muestran los alcanos y alquenos identificados en el extracto de DCM, estos compuestos se identificaron en las primeras dos fracciones, por lo tanto son compuestos de polaridades bajas. Se identificaron 5 alcanos, 3 alquenos y un alcano halogenado, el compuesto que tuvo el mayor porcentaje fue el pentadecano, seguido del hexadecano.

Tabla 16. Alcanos identificados en el extracto de DCM

No.	Nombre	Estructura	Fracción	%
<b>Alcanos y alquenos</b>				
15	Pentadecano		IL-Gp-DCM-0	1.24
16	Hexadecano		IL-Gp-DCM-0	0.41
			IL-Gp-DCM-1	0.79
17	Heptacosano		IL-Gp-DCM-0	0.35
18	Tetracosano		IL-Gp-DCM-0	0.43

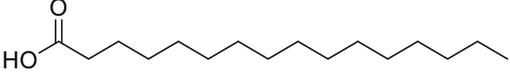
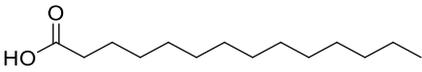
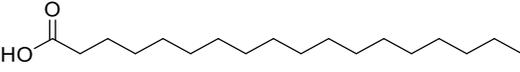
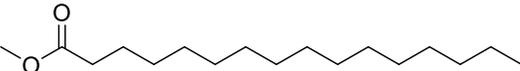
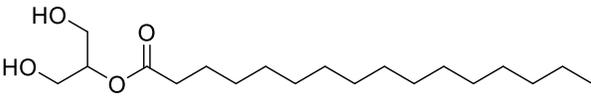
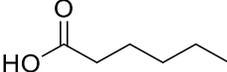
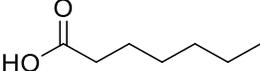
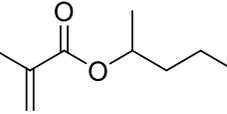
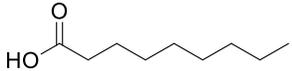
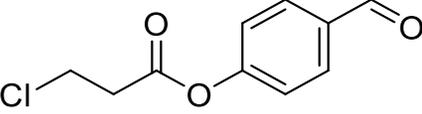
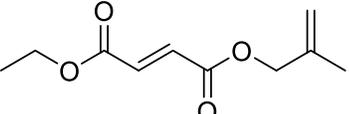
19	Eicosano		IL-Gp-DCM-0	0.34
20	8-heptadeceno		IL-Gp-DCM-0	0.33
21	1-Trideceno		IL-Gp-DCM-0	0.34
22	Ceteno		IL-Gp-DCM-0	0.64
23	1-cloro Dodecano		IL-Gp-DCM-0	0.28

Se identifican 12 ácidos grasos en el extracto de DCM, el ácido palmítico presente en 4 fracciones, mostro los picos más altos en los cromatogramas, siendo este compuesto el más abundante en el contenido del alga, seguido de ácido esteárico y mirístico (Tabla 17) .

Se identificaron 6 esteroides derivados del colesterol, el 5-colesteno-3beta, 7beta-diol 3-benzoato que se obtuvo en la fracción IL-Gp-DCM-8 fue el que presento mayor porcentaje.

Los esteroides 3-Benzoato del 5 Colesten-3 $\beta$ , 7 $\beta$ -diol, Acetato del colest-3,5-dien-3-ol, Colest-4,6-dien-3-ona son primeros reportes para el género *Gracilaria*.

Tabla 17. Ácidos grasos identificados en el extracto de DCM

No.	Nombre	Estructura	Fracción	%
<b>Ácidos grasos</b>				
1	Ácido palmítico		IL-Gp-DCM-3	75.81
			IL-Gp-DCM-4	45.72
			IL-Gp-DCM-5	75.63
			IL-Gp-DCM-6	48.51
3	Ácido mirístico		IL-Gp-DCM-4	0.90
			IL-Gp-DCM-5	0.90
			IL-Gp-DCM-6	5.14
2	Ácido esteárico		IL-Gp-DCM-3	5.81
			IL-Gp-DCM-4	1.12
5	Palmitato de metilo		IL-Gp-DCM-0	2.89
			IL-Gp-DCM-1	
24	Ácido palmítico, éster 2-hidroxi-1-(hidroximetil) etílico		IL-Gp-DCM-8	11.77
25	Ácido hexanoico		IL-Gp-DCM-8	1.23
26	Ácido heptanoico		IL-Gp-DCM-8	0.79
27	Ácido 2-propenoico, éster 2-metil-, 1-metilbutílico		IL-Gp-DCM-6	0.63
28	Ácido pelargónico		IL-Gp-DCM-6	2.21
29	Ácido propanoico, éster 3-cloro-, 4-formilfenílico		IL-Gp-DCM-6	0.74
30	Ácido fumárico, éster 2-metilalílico de etilo		IL-Gp-DCM-6	9.25

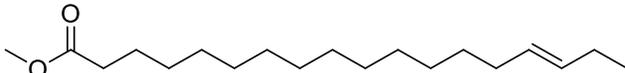
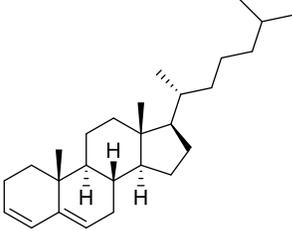
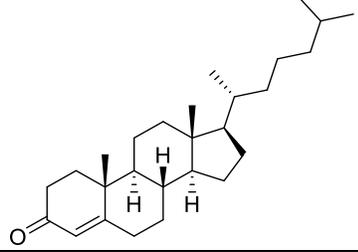
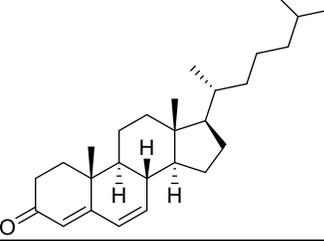
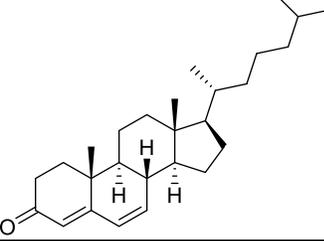
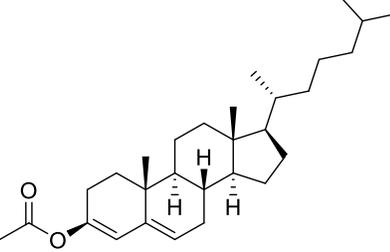
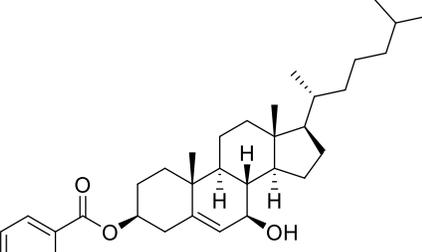
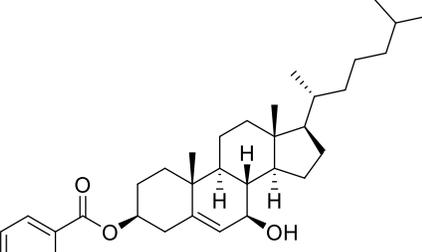
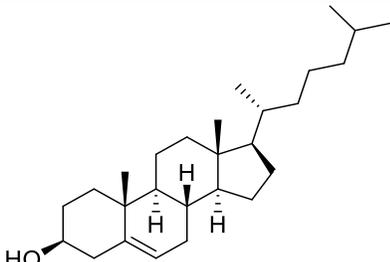
31	Ácido 15-estearico, éster metílico		IL-Gp-DCM-0	0.32
----	------------------------------------	--	-------------	------

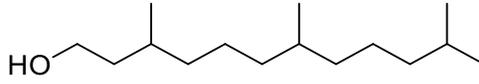
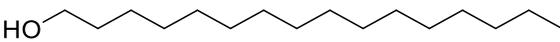
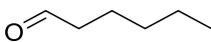
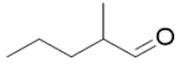
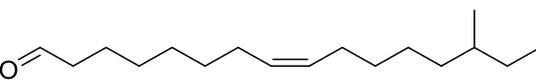
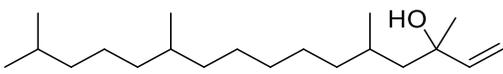
Tabla 18. Esteroles identificados en el extracto de DCM

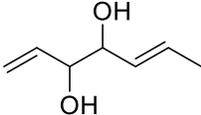
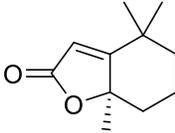
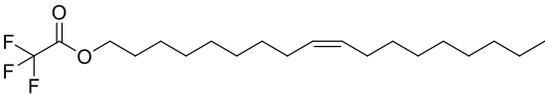
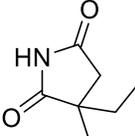
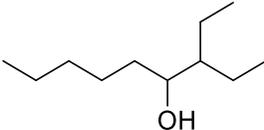
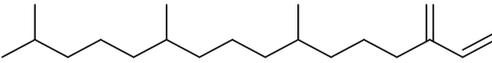
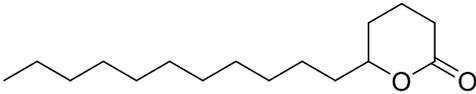
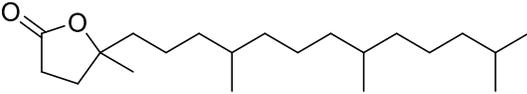
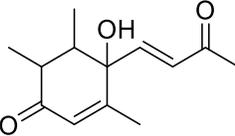
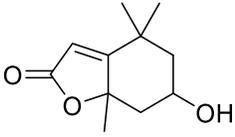
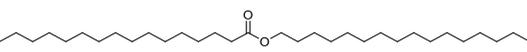
No.	Nombre	Estructura	Fracción	%
<b>Esteroles</b>				
32	Colesta-3,5-dieno		IL-Gp-DCM-3	4.73
33	Colesta-4-en-3-ona		IL-Gp-DCM-3	1.14
34	Colest-4,6-dien-3-ona		IL-Gp-DCM-1	3.76
			IL-Gp-DCM-3	4.73
35	Acetato del colest-3,5-dieno-3β-ol		IL-Gp-DCM-4	0.70
36	3-Benzoato del 5-Colesten-3β,7β-diol		IL-Gp-DCM-8	22.31
			IL-Gp-DCM-8	30.34

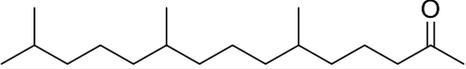
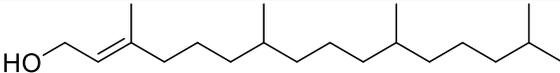
37	Colesterol		IL-Gp-DCM-3	2.78
----	------------	---	-------------	------

Para el grupo de esteres y alcoholes se identificaron 20 compuestos químicos. El compuesto más abundante es el 6, 10,14-trimetil-2-pentadecanona, en la fracción IL-Gp-DCM-1 y IL-Gp-DCM-3

Tabla 19. Esteros y alcoholes identificados en el extracto de DCM

No.	Nombre	Estructura	Fracción	%
<b>otros</b>				
38	1-Dodecanol, 3,7,11-trimetil-		IL-Gp-DCM-0	0.73
			IL-Gp-DCM-1	1.18
39	Alcohol palmitílico		IL-Gp-DCM-0	0.26
			IL-Gp-DCM-3	1.64
10	Hexanal		IL-Gp-DCM-8	0.36
40	Pentanal, 2-metil-		IL-Gp-DCM-8	0.28
41	8-hexadecenal, 14-metil-, (Z) -		IL-Gp-DCM-3	1.48
42	1-hexadecen-3-ol, 3,5,11,15-tetrametil-		IL-Gp-DCM-1	0.98

43	1,5-heptadieno-3,4-diol		IL-Gp-DCM-8	0.60
44	Lactona del ácido (2,6,6-trimetil-2-hidroxiciclohexiliden) acético		IL-Gp-DCM-5	1.11
45	Alcohol oleílico, trifluoroacetato		IL-Gp-DCM-5	1.01
46	Etosuximida		IL-Gp-DCM-6	1.39
47	3-Ethyl-4-nonanol		IL-Gp-DCM-8	1.64
48	Neoftadieno		IL-Gp-DCM-0	0.34
49	2H-Piran-2-ona, tetrahidro-6-undecil-		IL-Gp-DCM-3	1.21
50	4,8,12,16-tetrametilheptadecan-4-olido		IL-Gp-DCM-3	1.60
51	Oxetano, 2,2,3-trimetil-		IL-Gp-DCM-8	0.67
52	2-ciclohexen-1-ona, 4-hidroxi-3,5,6-trimetil-4- (3-oxo-1-butenil) -		IL-Gp-DCM-8	2.33
53	6-hidroxi-4,4,7a-trimetil-5,6,7,7a-tetrahydrobenzofuran-2 (4H) -ona		IL-Gp-DCM-8	1.64
54	Silano, dimetil octadeciloxi pentiloxi		IL-Gp-DCM-3	1.11

55	2-pentadecanona, 6,10,14-trimetil-		IL-Gp-DCM-1	63.17
			IL-Gp-DCM-3	1.85
56	Fitol		IL-Gp-DCM-6	12.20

## Extracto de metanol

Para extracto metanólico de *G. parvispora*, después del análisis CG-EM se identificaron 15 compuestos que incluyen ácidos grasos como ácido palmítico, ácido mirístico, ácido esteárico y los compuestos esteroideos como el colesterol y el Colesta-4,6-dien-3-ol, 3β.

Tabla 20. Compuestos identificados de la fracción B del extracto MeOH

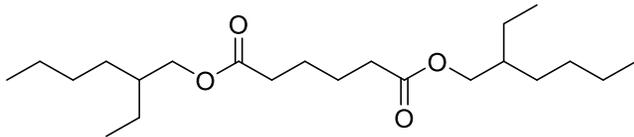
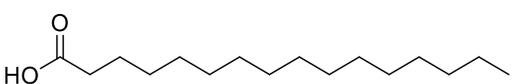
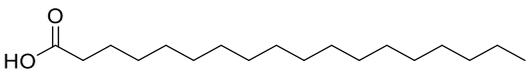
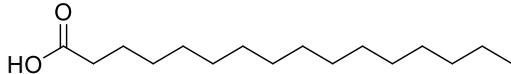
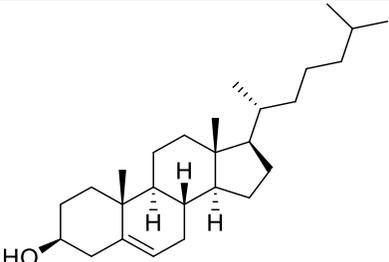
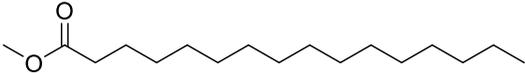
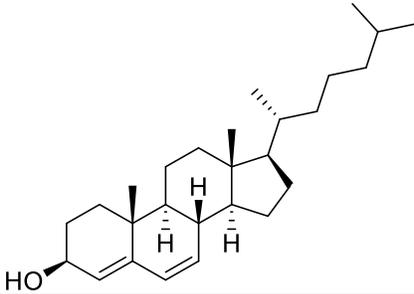
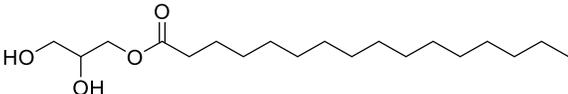
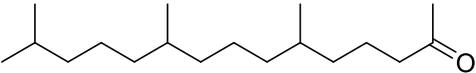
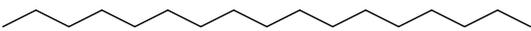
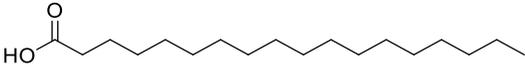
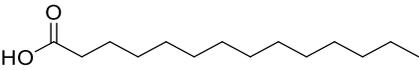
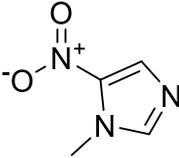
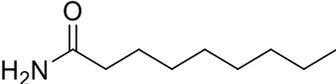
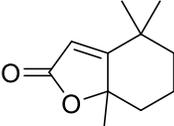
No.	Nombre	T.R.	%	Estructura	P.M.
57	Adipato de bis(2-etilhexilo)	26.00	62.73		370.57
1	Ácido palmítico	22.71	23.79		256.4
2	Ácido esteárico	24.39	12.06		284.48

Tabla 21. Compuestos identificados de la fracción C del extracto MeOH

No.	Nombre	T.R.	%	Estructura	P.M.
1	Ácido palmítico	22.76	53.38		256.4
37	Colesterol	30.65	16.60		386.65

5	Palmitato de metilo	22.39	7.17		270.46
7	Colesta-4,6-dien-3-ol, 3β	28.88	5.52		384.6
58	1-palmitato de glicerol	26.65	3.08		330.5
59	2-pentadecanona, 6,10,14-trimetil-	21.51	2.75		268.5
60	Heptadecano	19.57	1.89		240.47
2	Ácido esteárico	24.39	1.48		284.48
61	1-docoseno	24.26	1.46		308.6
3	Ácido mirístico	20.36	0.92		228.37
62	1H-imidazol, 1-metil-5-nitro-	17.78	0.89		127.1
63	Nonanamida	24.56	0.88		157.2

64	2 (4H) - benzofuranona, 5,6,7,7a- tetrahidro- 4,4,7a-trimetil-	17.32	0.70		180.2
----	--	-------	------	--	-------

## **Extracción de Agar**

El agar obtenido de *Gracilaria parvispora*, tuvo un rendimiento del 13.60 % respecto al total del peso seco, Trejo-Méndez y colaboradores (2021) reportan que los rendimientos de *G. parvispora* de la Laguna Superior de Juchitán Oaxaca, oscilan entre el 14% – 24 %, esto dependiendo de la época del año en que fueron colectadas, señalando época de lluvias y época de secas para la región.

## 9. DISCUSIÓN

### **Alcanos saturados y polinsaturados**

Las algas sintetizan alcanos en los que predominan cadenas de C<sub>15</sub>, C<sub>20</sub> y C<sub>29</sub>. En el presente estudio de *G. parvispora* se identificaron 5 alcanos saturados (pentadecano C<sub>15</sub>; hexadecano C<sub>16</sub>; eicosano C<sub>20</sub>; tetracosano C<sub>24</sub>; heptacosano C<sub>27</sub> y un hidrocarburo halogenado (1-cloro dodecano), Aydoğmus y colaboradores en 2008 realizan un estudio utilizando CG-EM e identificaron los alcanos saturados pentadecano C<sub>15</sub> y eicosano C<sub>20</sub>, con la misma técnica Ragunathan y colaboradores en 2019 identifican el alcano 2-metilundecano. Se reporta el escualeno por Cyriac y Eswaran en 2015, aunque este alcano también es considerado terpeno, ya que da lugar a diferentes compuestos terpenicos.

Se ha reportado que conocer la composición de hidrocarburos de algas marinas, da información sobre la contaminación del agua debido a problemas antropogénico.

Carlson y colaboradores en 2010 realizan un estudio para evaluar algas que produzcan combustible para el transporte, ellos reportan que los alcanos son la composición principal de los combustibles. Estos combustibles son una mezcla de diferentes hidrocarburos, incluidos alcanos lineales y ramificados. La gasolina es una mezcla de hidrocarburos con números de carbono que van desde C<sub>4</sub> a C<sub>9</sub>, el combustible para aviones es una mezcla de hidrocarburos con un rango general de carbono de C<sub>8</sub> a C<sub>14</sub>, y el diesel es una mezcla de hidrocarburos que van desde C<sub>12</sub> a C<sub>22</sub>.

## Ácidos grasos

Los ácidos grasos de las algas marinas desempeñan un papel importante en la formación de otros metabolitos secundarios bioactivos. Las algas marinas son ricas en ácidos grasos y son de gran valor potencial en la nutrición de humanos y animales. Entre los ácidos grasos identificados para *G. parvispora*, se encuentran, el ácido mirístico, palmítico, oleico y palmitato de metilo, se ha reportado que los extractos antibacterianos activos de diferentes algas pardas están compuestos por ácidos grasos saturados e insaturados (Bazes *et al.*, 2009).

Se ha asumido que el ácido palmítico es responsable de la actividad antibacteriana (Bazes *et al.*, 2009) y también puede ser un compuesto principal de los medicamentos contra el cáncer (Harada *et al.*, 2002).

En *G. parvispora*, el ácido palmítico registró los picos más altos en los cromatogramas de CG-EM, reafirmando lo antes mencionado por otros autores, que el género *Gracilaria* presenta ácido palmítico en mayor cantidad respecto a otros elementos químicos (Gressler *et al.*, 2010).

Kulkarani y colaboradores (2014) reportan que varias plantas medicinales son importantes en el campo de la biotecnología y las industrias farmacéuticas porque producen fitoconstituyentes, como el ácido pentadecanoico, fitol, ácido palmitoleico y ácido palmítico, todos estos presentes en *G. parvispora*.

Sermakkani y Thangapandian (2012) han reportado que el ácido eicosanoico, ácido pelargónico, ácido oleico y ácido pentadecanoico presentan actividades, antibacterianas, antifúngicas y antioxidantes. Aunado a esto se ha mostrado el potencial para inhibir bacterias patógenas y especies de hongos polimórficos como *Bacillus pumilus*, *Escherichia coli*, *Micrococcus luteus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Candida albicans*, *Candida tropicalis* y *Candida krusei*.

## **Esteroles**

Heilbron y colaboradores en 1935 reportan por primera vez la presencia de esteroles en algas, posteriormente Gibbons y colaboradores en 1967 establecieron la presencia del 22-dehidrocolesterol y el demosterol, en algas rojas, este último precursor inmediato del colesterol en la ruta de Bloch de biosíntesis del colesterol.

Los esteroles de algas juegan un papel clave en el medio marino porque las algas se encuentran en la parte inferior de la cadena alimentaria y estos compuestos son la base para otros metabolitos, como hormonas, importantes en la ecología marina. Se tenía la hipótesis de que el colesterol era un esteroide único del reino animal, en la actualidad, se conoce que está ampliamente distribuido en ambientes marinos y terrestres, para plantas, algas y animales, ya que este es biosintetizado a partir del escualeno (Bhakuni y Rawat, 2007).

Investigaciones han mostraron que el contenido de esteroides de las algas rojas era más variado de lo que se creía y esto podría ser un indicativo quimiotaxonómico. Idler y colaboradores en 1968 examinaron algunas especies de algas rojas y encontraron que las tres especies contenían esteroides C<sub>27</sub>, C<sub>28</sub> y C<sub>29</sub>, para *Gracilaria parvispora*, se reportan esteroides de C<sub>27</sub>, C<sub>29</sub> y C<sub>34</sub>.

Se ha demostrado que el colesterol es el principal esteroide en el filo Rhodophyta. Meunier y colaboradores en 1970 reportan datos comparativos de 14 especies de Rhodophyta, todas las especies examinadas contenían colesterol.

En *G. parvispora*, se identificaron 6 tipos de esteroides: Colesterol, Colesta-3,5-dieno, Colesta-4-en-3-ona, Colesta-4,6-dieno-3-ona, Acetato de colest-3,5-dieno-3.β-ol, 5-colesteno-3β, 7β-diol 3-benzoato, estos últimos 3 reportados por primera vez para el género *Gracilaria*

Los esteroides de algas marinas no son tóxicos y tienen la capacidad de reducir el nivel de colesterol en la sangre, también se informa que reducen la tendencia a formar un hígado graso y la deposición excesiva de grasa en el corazón (Bhakuni y Rawat, 2007).

## Otros compuestos

Debido que los metabolitos de *G. parvispora* están en concentraciones muy bajas y se utilizó la técnica de cromatografía de gases acoplada a masas, los compuestos que se pudieron identificar son de origen volátil que pudo detectar el equipo.

Algunos de importancia fueron el fitol, Pereira Costa y colaboradores (2014), realizan un estudio para evaluar el fitol en problemas de ansiedad, sugiriendo que el fitol presenta mecanismo de acción por interacción con el sistema GABAérgico, estos hallazgos sugieren que la administración de fitol ejerce un efecto ansiolítico en ratones. El fitol que se identifica en *G. parvispora* posiblemente es proveniente de las clorofilas que se encuentran en el alga. El 3-etil-3-metilpirrolidin-2,5-diona, una molécula que se ha utilizado en tratamientos contra la epilepsia, también llamada etosuximida, Glause y colaboradores (2010) reportan la eficacia en el tratamiento de la epilepsia de ausencia infantil y afirman que tiene menos efectos adversos que el tratamiento control.

## Agar

Las algas rojas son la fuente de agar y agarosa. Aunque estos polisacáridos no tienen un uso medicinal directo, su principal aprovechamiento es bien conocido en la industria alimentaria, donde se utiliza como gelificante o emulsificante. El agar es uno de los tres principales extractos de algas comerciales y el más caro en el mercado de hidrocoloides, con un precio que oscila entre 35 y 45 USD kg (Callaway,

2015). La industria mundial del agar se basa en las algas rojas de los géneros: *Gelidium*, *Gelidiella*, *Gracilaria* y *Pterocladia* (Armisen & Galatas, 1987; McHugh, 2003); sin embargo, la principal fuente de agar a nivel mundial (65%) se extrae de las especies de *Gracilaria* (McHugh, 2002).

Trejo-Méndez y colaboradores (2021) determinaron las tendencias espaciales y temporales de las propiedades del agar nativo de *G. parvispora* en tres localidades de los estados de Oaxaca y Chiapas, reportan que para la Playa San Vicente en temporada de sequías, un rendimiento del 14 – 18 %, mismo que se reporta en el presente estudio que es de 13.6%, sin embargo, para la temporada de lluvias llegan a un rendimiento hasta del 21% y en otra localidad con la misma especie el rendimiento llega hasta el 25% respecto a su peso seco.

### ***Gracilaria parvispora*, una especie no nativa**

Desde el año 1999 se registró la presencia de *G. parvispora* en las lagunas costeras del Golfo de Tehuantepec y en las costas de Chiapas, Oaxaca, Guerrero y Colima en el Pacífico Tropical Mexicano (Dreckmann, 1999). Krueger-Hadfield y colaboradores (2016) le dieron la categoría de no nativa para la costa de Baja California.

Acosta-Calderón y Chávez Sánchez (2019), realizan un estudio para registrar la biomasa de *G. parvispora* que se encuentra en el sistema Lagunar Huave, estudiaron 8 sitios de los cuales reportan hasta 1100 g m<sup>-2</sup>. *G. parvispora* es un alga

que puede crecer favorablemente entre los 30° - 35° C, y tolera salinidades hasta los 50 ppm.

Estas características fisicoquímicas que se encuentran en la playa San Vicente, dentro del complejo lagunar Huave, han favorecido para que esta alga se establezca y tenga crecimientos favorables, sin embargo esto ha perjudicado principalmente a los pobladores de la zona (Figura 11), evitando que puedan realizar la pesca de camarón, el principal recurso económico de la zona.



Figura 11. Pescadores limpiando la Playa San Vicente de la presencia de *G. parvispora*. Foto tomada del periódico IstmoPress.

## **Estrategias para el uso de *G. parvispora***

Esta alga es muy apreciada en los mercados de pescados y mariscos de Hawái y algunas partes de Asia, se comercializan como vegetales marinos comestibles por su gran aporte nutrimental.

*G. parvispora* es materia prima para la extracción de agar, como lo reporta Trejo-Méndez y colaboradores (2021) los rendimientos pueden llegar hasta el 24% respecto al peso seco del alga.

Por la gran cantidad de ácidos grasos y esteroides que presenta *G. parvispora*, de la playa San Vicente, y conociendo que en otras partes del mundo se puede consumir, la población podría buscar estrategias para comenzar a utilizarla como alimento para humanos o algunos animales. Sin olvidar que la extracción de agar es muy sencilla, la Fundación Chinquihue (2018) publicó un manual para la extracción artesanal, "Agregación de valor de las algas marinas, mediante la innovación y transferencia tecnológica, para la producción artesanal experimental de preproceso de agar-agar por parte de organizaciones de pescadores, algueras productoras o recolectoras del alga *Gracilaria*".

Como es citado anteriormente el agar es el producto de mayor valor económico que se puede extraer de las algas, teniendo un costo por Kg entre 35-45 dólares. Con estas propuestas de estrategias para su uso y manejo se podría aprovechar y

contribuir a la economía de los pobladores de la Playa San Vicente que se han visto afectados por esta alga no nativa.

## 10. CONCLUSIONES

El estudio químico del alga *G. parvispora*, proveniente de La Playa San Vicente, Juchitán Oaxaca se identificaron 64 compuestos por la técnica de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas.

- Es el primer estudio fitoquímico de la especie *G. parvispora*
- Los compuestos químicos identificados por CG-EM para la especie *G. parvispora* corresponden a los que están reportados previamente en la literatura.
- Por primera vez se realiza un estudio fitoquímico de la especie. El ácido palmítico es el principal compuesto de *G. parvispora*, como se ha reportado para especies del género.
- Se identificaron 3 nuevos esteroides para el género; 3-Benzoato del 5 Colesten-3 $\beta$ , 7 $\beta$ -diol, Acetato del colest-3,5-dien-3-ol, Colest-4,6-dien-3-ona.
- Se utilizó la técnica CG-EM ya que la cantidad de metabolitos secundarios presentes en los extractos se encuentran en cantidades muy bajas, esto se comprobó con la técnica de RMN.
- El rendimiento de agar es de 13.60 % respecto al peso seco del alga, sin embargo se reporta en la literatura que esta especie llega a tener hasta 24% de rendimiento dependiendo de la estación del año
- *G. Parvispora* de origen Hawaiano y/o Japonés, está reportada como una especie invasora para el pacífico Mexicano, y se sabe que su tolerancia a altos niveles de temperatura y salinidad, le han dado ventaja para poblar diferentes ambientes.

- Esta alga se podría aprovechar de manera directa como alimento humano o de algunos animales. Sin descartar la opción de extraer el agar de manera artesanal.

## 11. REFERENCIAS

- Abbott, I.A. (1985). New species of *Gracilaria* Grev. (Gracilariaceae, Rhodophyta) from California and Hawaii. In: Taxonomy of economic seaweeds with reference to some Pacific and Caribbean species. (Abbott, I.A. & Norris, J.N. Eds) Vol. I, pp. 115-121. California Sea Grant College Program.
- Abbott, I. (1999). Marine red algae of the Hawaiian Islands. Bishop Museum Press, Honolulu.
- Acosta-Calderón, J.A., & Chávez Sánchez, T. (2019). Registro de la biomasa de *Gracilaria parvispora* Abbott (Rhodophyta, Gracilariaceae) en una región del sistema lagunar Huave, Oaxaca. *Ciencia y Mar*, XXIII (69): 11-16.
- Akbari, V., Abedi, M., & Yegdaneh, A. (2020). Bioassay-Guided Isolation of Glycolipids from the Seaweed *Gracilaria Corticata*. *Research In Pharmaceutical Sciences*, 15(5), 473–480.
- Armisen, R. & F. Galatas. 2000. Agar. In: Phillips, G. & P. Williams (eds.). Handbook of Hydrocolloids. CRC, Boca Raton, FL, pp. 21-40.
- Aydoğmus, Z., Topcu, G., & Güven, K. C. (2008). Studies on Chemical Constituents of *Gracilaria Verrucosa*. *Natural Product Research*, 22(18), 1589–1596.
- Bazes A., Silkina A., Douzenel P., Fay F., Kervarec N., Morin D., Berge J., & Bourgougnon N. (2009). Investigation of the antifouling constituents from the brown alga *Sargassum muticum* (Yendo) fensholt. *J. Appl. Phycol.* 21(4):395–403
- Bhakuni, DS y Rawat, DS (2007). *Productos naturales marinos bioactivos*. Springer Science & Business Media.
- Brizuela, M. A., L. García, L. Pérez, & Mansur M. (1998). Basidiomicetos: nueva fuente de metabolitos secundarios. *Rev Iberoam Micol*, 15, 69-74.
- Capo, T. R., Jaramillo, J. C., Boyd, A. E., Lapointe, B. E., & Serafy, J. E. (1999). Sustained high yields of *Gracilaria* (Rhodophyta) grown in intensive large-scale culture. *Journal of Applied Phycology* 11,143.
- Cervantes -Hernández, P., Gómez -Ponce, M. A., & Torres -Hernández, P. (2012). Marine and lagoon recruitment of *litopenaeus vannamei* (boone, 1931)

- (decapoda: penaeidae) in the “cabeza de toro-la joya buenavista” lagoon system, chiapas, Mexico. *Cicimar Oceánides*, 27(2), 51.
- Chenieux JC, Verbist JF, Biard JF, Clement E, Le Boterff J, Maupas P., & Lecocq M. (1980). Seaweeds of French Atlantic coast with antimutagenic activity. *Planta Med*; 40:152–162
- Cyriac, B. & Eswaran, K. (2015). GC - MS determinación de componentes bioactivos de *Gracilaria dura* (C.Agardh) J. Agardh. *Science Research Reporter*, 5(2): 100–105.
- De Almeida, C. L. F., Falcão, H. D. S., Lima, G. R. D. M., Montenegro, C. D. A., Lira, N. S., De Athayde-Filho, P. F., Rodrigues, L. C., De Souza, M. D. F. V., Barbosa-Filho, J. M., & Batista, L. M. (2011). Bioactivities from marine algae of the genus *Gracilaria*. *Int J Mol Sci*, 12(7), 4550-4573.
- Dreckmann, K.M. 1999. El género *Gracilaria* (Rhodophyta) en el Pacífico Centro-Sur de México. I. *Gracilaria parvispora* I.A. Abbott. *Hidrobiológica* 9: 71-76.
- Dreckmann, K. M., & Senties, A. (2014). Biodiversity of Gracilariaceae (Rhodophyta) in Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 85.
- Dreckmann, K. M., Pedroche, F. F., & Senties-G., A. (2017). Lista florística de las algas marinas bentónicas de la costa norte de Michoacán, México. *Botanical Sciences*, 50, 19.
- Callaway, E. (2015). Lab staple agar runs low, dwindling seaweed harvest imperils reagent essential for culturing microbes. *Nature* 528: 171-172.
- Carlson, L.S., Lee, M.Y., Chukuemeka A.E., & Xu, A. (2010). ALGAE TO ALKANES. Senior Design Reports (CBE). 12
- Cervantes-Hernández, P., Gallardo-Berumen, M., & Serrano-Guzmán, S. (2012). Explotación y distribución de la captura de camarón en el Sistema Lagunar Huave, Oaxaca, México. *Rev. Mar. Cost.*, 4, 67-81.
- García-Rodríguez, L. D., Riosmena-Rodríguez, R., Kim, S. Y., López-Meyer, M., Orduña-Rojas, J., López-Vivas, J. M., & Boo, S. M. (2013). Recent introduction of *Gracilaria parvispora* (Gracilariales, Rhodophyta) in Baja California, Mexico. *Botanica Marina*, 56(2), 143–150.

- Gibbons, G., Goad L. J., & Goodwin, T. W. (1967). Los esteroides de algunas algas rojas marinas. *Fitoquímica*, 6(5), 677–683.
- Glauser, T. A., Cnaan, A., Shinnar, S., Hirtz, D. G., Dlugos, D., Masur, D., & Adamson, P. C. (2010). Ethosuximide, Valproic Acid, and Lamotrigine in Childhood Absence Epilepsy. *New England Journal of Medicine*, 362(9), 790–799.
- Glombitza KW. (1979) In: *Marine Algae in Pharmaceutical Science*. Hoppe HA, Levring T, editors. Vol. 1. Walter de Gruyter; New York, NY, USA. pp. 303–342
- Glickman M. (1987). Utilisation of seaweed hydrocolloids in the food industry. *Hydrobiology*; 151/152:31–47.
- Gressler, V., Yokoya, N.S., Fujii, M.T., Colepicolo, P., Filho, J.M., Torres, R.P., & Pinto, E. (2010). Lipid, fatty acid, protein, amino acid and ash contents in four Brazilian red algae species. *Food Chemistry*. 120, 585–590.
- Guiry, M. D., Guiry, G. M., Morrison, L., Rindi, F., Miranda, S. V., Mathieson, A. C., Parker, B. C., Langangen, A., John, D. M., Bárbara, I., Carter, C. F., Kuipers, P., & Garbary, D. J. (2014). AlgaeBase: An on-line resource for algae. *Cryptogamie, Algologie*, 35(2), 105–115.
- Falcão, V. (2006). Aspectos moleculares de nitrato redutase da macroalga marinha *Gracilaria tenuistipitata* (Rhodophyta): Seqüenciamento do gene e estudo da expressão do RNA mensageiro (Doctorado). Institute of Chemical, University of São Paulo; São Paulo, Brazil.
- Faulkner, D.J. (2002). Marine natural products. *Nat Prod Rep*, 19, 1-48.
- Fundación Chinquihue. (2018). Manual para la elaboración de agar-agar orgánico a partir del pelillo.
- Kim, M.S., Kim, M., Terada, R., Yang, E.C., & Boo, S.M. (2008). *Gracilaria parvispora* is the correct name of the species known as *G. bursa-pastoris* in Korea and Japan. *Taxon* 57: 231 – 237.
- Kim, K.Y., Nguyen, T.H., Kurihara, H., & Kim, S.M. (2010).  $\alpha$ -glucosidase inhibitory activity of bromophenol purified from the red alga *Polyopes lancifolia*. *J. Food Sci.* 75, 145–150.

- Khotimchenko, S. V. (2005). Lipids from the marine alga *Gracilaria verrucosa*. In *Khimiya Prirodnikh Soedinenii*. 41(3)
- Krueger-Hadfield, S.A., Hernández-Carmona, G., Terada, R., López-Vivas, J.M., & Riosmena-Rodríguez, R. (2016) New record of the non-native seaweed *Gracilaria parvispora* in Baja California—a note on Vergara-Rodante *et al.* (2016). *Cryptogam Algal* 37:257–263
- Kulkarni, A., Alpadi, K., Sirupangi, T., & Peters, C. (2014). A dynamin homolog promotes the transition from hemifusion to content mixing in intracellular membrane fusion. *Traffic* 15(5):558-71
- Harada, N., Miyoshi, H., Murai, N., Oshima, H., Tamai, Y., Oshima, M., & Taketo, M.M. (2002). Lack of tumorigenesis in the mouse liver after adenovirus mediate exoression of a dominant stable mutant of beta-catenin. *Cancer Res.*, 62, 1971–1977.
- Heilbron, I. M., Parry, E. G. & Phipers, R. F. (1935) *Biochem. J.* 29, 1376.
- Hema, R., Kumaravel, S., & Alagusundaramagardh, K. (2015). GC - MS Determination of Bioactive Components of *Gracilaria Dura*. *Journal of American Science*, 5(2), 100–105.
- Idler, D., Saito, A., & Wiseman, P. (1968). Sterols in red algae (Rhodophyceae) 1. *Steroids*, 11(4), 465–473.
- Imbs, A. B., Vologodskaya, A. V., Nevshupova, N. V., Khotimchenko, S. V., & Titlyanov, E. A. (2001). Response of prostaglandin content in the red alga *Gracilaria verrucosa* to season and solar irradiance. *Phytochemistry*. 58(7):1067-72.
- Jha, R.K., & Zi-rong, X. (2004). Biomedical compounds from marine organisms. *Mar Drugs*, 2, 123–146.
- León Álvarez, D., López Gómez, N. A., Ponce Márquez, M. E., Núñez Resendiz, M. L., Candelaria Silva, C., Cruz Rodríguez, A., & Dení, D. (2017). Géneros de algas marinas tropicales de México: III. Algas rojas (1 ed.). Ciudad de México: Facultad de Ciencias.

- Li, J. J., Zhao, F., & Li, J. (2011). Supramolecular Polymers Based On Cyclodextrins For Drug And Gene Delivery. *Advances In Biochemical Engineering/Biotechnology* (Vol. 125).
- Lu, H., Xie, H., Gong, Y., Wang, Q., & Yang, Y. (2011). Secondary metabolites from the seaweed *Gracilaria lemaneiformis* and their allelopathic effects on *Skeletonema costatum*. *Biochemical Systematics and Ecology*, 39(4–6), 397–400.
- Lüning, K. (1990). Light. En: Yarish, C. & H. Kirkman (eds), *Seaweeds*. Wiley, New York. pp 277-317.
- McCarthy, P. J., & Pomponi, S. A. (2004). A search for new pharmaceutical drugs from marine organisms. *Marine Biomedical Research*, 1-2.
- McHugh, D. J. (2002). Prospects for seaweed production in developing countries. *FAO Fisheries Circulars*. No. 968. FAO, Rome. 28 p.
- McHugh, D.J. A. (2003). *Guide to the Seaweed Industry*, FAO Fisheries Technical Paper, Núm.441, Rome, FAO, 105 pp.
- Meunier, H., Zelenski, S., & Worthe, L. (1970) In: *Food Drugs from the Sea* (edited by W. Heber and H. W. Youngkenj), Marine Technology Society, Washington D.C., p. 319.
- Nagai, H., Yasumoto, T., Hokama, Y., & Burns, J. A. (1997). *Manauaalides*, 1 Some of the Causative Agents of a Red Alga *Gracilaria coronopifolia* Poisoning in Hawaii. In *J. Nat. Prod* (Vol. 60). UTC.
- Nelson, S. G., Glenn, E. P., Moore, D., & Ambrose, B. (2009). Growth and distribution of the macroalgae *gracilaria salicomia* and *G. parvispora* (rhodophyta) established from aquaculture introductions at Moloka'i, Hawai'i. *Pacific Science*, 63(3), 383–396.
- Nylund, G. M., Weinberger, F., Rempt, M., & Pohnert, G. (2011). Metabolomic assessment of induced and activated chemical defence in the invasive red alga *gracilaria vermiculophylla*. *PLoS ONE* 6(12).
- Pereira-Costa, J. P., de Oliveira, G. A. L., de Almeida, A. A. C., Islam, M. T., de Sousa, D. P., & de Freitas, R. M. (2014). Anxiolytic-like effects of phytol:

- Possible involvement of GABAergic transmission. *Brain Research*, 1547, 34–42.
- Pereira, A. G., Fraga-Corral, M., Garcia-Oliveira, P., Lourenço-Lopes, C., Carpena, M., Prieto, M. A., & Simal-Gandara, J. (2021). The Use Of Invasive Algae Species As A Source Of Secondary Metabolites And Biological Activities: Spain As Case-Study. *Marine Drugs*, 19(4).
- Popper, Z. A., Michel, G., Hervé, C., Domozych, D. S., Willats, W. G. T., Tuohy, M. G., Kloareg, B., & Stengel, D. B. (2011). Evolution and diversity of plant cell walls: From algae to flowering plants. *Annual Review of Plant Biology*, 62, 567–590.
- Ragunathan, V., Pandurangan, J., & Ramakrishnan, T. (2019). Gas Chromatography-Mass Spectrometry Analysis Of Methanol Extracts From Marine Red Seaweed *Gracilaria Corticata*. *Pharmacognosy Journal*, 11(3), 547–554.
- Rempt, M., Weinberger, F., Grosser, K., & Pohnert, G. (2012). Conserved and species-specific oxylipin pathways in the wound-activated chemical defense of the noninvasive red alga *Gracilaria chilensis* and the invasive *Gracilaria vermiculophylla*. *Beilstein Journal of Organic Chemistry*, 8, 283–289.
- Sajiki, J., & Hakimi, H. (1998). Identification of eicosanoids in the red algae, *Gracilaria asiatica*, using high-performance liquid chromatography and electrospray ionization mass spectrometry. *J. Chromatogr.* 795:227–237.
- Skriptsova, A.V., Titlyanova, T.V., & Titlyanov, E.A. (2001). Red algae of the genus *Gracilaria* in south of the Russian Far East. *Russ J Mar Biol*, 27, 38-52.
- Sermakkani, M., & Thangapandian, V., (2012). GC-MS analysis of *Cassia italica* leaf methanol extract. *Asian J. Pharm. Clin. Res.* 5, 90–94.
- Shoeb, M., & Jaspars, M. (2003). Chlorinated C12 Fatty Acid Metabolites from the Red Alga *Gracilaria verrucosa*. *Journal of Natural Products*, 66(11), 1509–1511.
- Sims, J.J., & Pettus, J.A., (1976). Isolation of free cis and trans-phytol from the red alga *Gracilaria andersoniana*. *Phytochemistry*; 15: 1076–1077.

- Trejo-Méndez, M. de J., Hernández-Carmona, G., Arvizu-Higuera, D. L., Rosas-Alquicira, E.F., Montoya-Márquez, A., Rodríguez-Montesinos, Y.E. & Muñoz-Ochoa, M. (2021). Spatial and seasonal effects on physicochemical properties of native agar from *Gracilaria parvispora* (Rhodophyta) in the Tropical Mexican Pacific (Oaxaca-Chiapas). *Hidrobiológica* 31 (2): 125-135
- Tsuda, K., Akagi, S. & Kishida, Y. (1957). Descubrimiento de colesterol en algunas algas rojas. *Ciencia*, 126(3279), 927–928.
- Olabarria, C., & Vázquez, E. (2018). Las invasiones marinas: un elemento importante de cambio global. In a. Hernández-Zanuy, *Adaptaciones basadas en ecosistemas* (1st ed.). La Habana, Cuba: Instituto de Oceanología.
- Waksmundzka-Hajnos, M., Sherma, J., & Kowalska, T. (2008). *Thin layer chromatography in phytochemistry*. CRC Press.
- Xu, T., Sutour, S., Casabianca, H., Tomi, F., Paoli, M., Garrido, M., & Bighelli, A. (2015). Rapid Screening Of Chemical Compositions Of *Gracilaria Dura* And *Hypnea Muciformis* (Rhodophyta) From Corsican Lagoon. *International Journal Of Phytocosmetics And Natural Ingredients*, 2(1), 8.

