



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE QUÍMICA**

*Trabajo monográfico de actualización:*

**“Sargazo: Fertilizante natural, alternativa sustentable”**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
QUÍMICO FARMACÉUTICO BIÓLOGO**



**PRESENTA**

**ERIC DAVID DELGADILLO MENDOZA**

**CDMX**

**AÑO 2022**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

**JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:** Profesora: Gutiérrez Lara María Rafaela

**VOCAL:** Profesora: Rodríguez Salazar María Teresa de Jesús (Asesora)

**SECRETARIO:** Profesor: Andraca Ayala Gema Luz

**1er. SUPLENTE:** Profesor: Mendoza Campos Alejandra

**2° SUPLENTE:** Profesor: Manríquez Tolsá Úrsula

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:** DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA, FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM.

**ASESOR DEL TEMA:** MARÍA DE TERESA DE JESÚS RODRÍGUEZ SALAZAR

**SUSTENTANTE:** ERIC DAVID DELGADILLO MENDOZA

## **AGRADECIMIENTOS ACADÉMICOS**

Quiero agradecer especialmente al **proyecto DGPA-UNAM-PAPIME-PE210820 "Sargazo: Contribución a la Química Analítica desde la Docencia e Investigación Formativa"** y a la **Universidad Politécnica de Santa Rosa Jauregui**. Por el apoyo dado al desarrollo de esta tesis para seguir formando profesionistas, con el objetivo de impulsar el desarrollo y superación del personal académico de la Facultad de Química de la UNAM y mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje.

A la **Doctora María Teresa de Jesús Rodríguez Salazar** por todo su apoyo académico y personal, por su asesoramiento, paciencia y consejos brindados de forma incondicional, dedicación y entrega a la investigación científica, para sacar adelante este trabajo.

A mi **jurado**: A la **Mtra. Gutiérrez Lara María Rafaela** y la **Dra. Andraca Ayala Gema Luz**, por su tiempo dedicado al realizar sus observaciones y revisión de mi tesis al contribuir a mejorar el contenido de mi trabajo.

Con la Doctora **Araceli Peña Álvarez** (jefa del Departamento de Química Analítica), por ser mi mentora en los meses de septiembre del 2019 a marzo del 2020, por abrirme las puertas de su laboratorio y aprender en él los conocimientos de mi interés como la cromatografía de gases y de líquidos entre otros, gracias a eso recuperé mi amor a la ciencia.

A la M. en C. **Rocío Del Carmen Juárez Ciprés**, por su apoyo durante mi estancia estudiantil en los meses de septiembre del 2019 a marzo del 2020, gracias, maestra por su conocimiento y consejos brindados.

También es importante para mí el apoyo de la **Dra. Perla Castañeda López** (Secretaría Académica de Docencia) y de la **Dra. Lila Lubianka Domínguez** (Coordinadora de la de carrera de QFB), quienes en todo momento me ayudaron con las dificultades que encontré en la facultad al regresar a concluir

mis estudios, de verdad estoy más que agradecido, muchas gracias doctoras, son excelentes personas y seres humanos.

A la Facultad de Química por permitirme realizar mis estudios de licenciatura, por formarme como profesional de la química, por ser un excelente lugar para llevar a cabo el ejercicio de la ciencia.

A mi querida alma mater la Universidad Nacional Autónoma de México por ser mi segundo hogar durante varios años y el de otros muchos estudiantes, por contribuir con el progreso de México.

## LUGARES EN DONDE SE HA PRESENTADO ESTE TRABAJO.

- ❖ La red de twitter con el enlace <https://twitter.com/DelgadillEric/status/1439995186503892999?s=20&t=O7jGXitVfDqoBgDtpi5mMQ> en The #LatinXChem Conference en septiembre del 2021 con el poster **#Ana64** titulado:

### **Sargazo: Fertilizante, alternativa sustentable**

- ❖ En el seminario, en la base de datos **AMyD** (Administración de Manuales y Documentos) con el enlace: [https://amyd.quimica.unam.mx/pluginfile.php/14419/mod\\_resource/content/1/seminario%20EDDM%2020210618.pdf](https://amyd.quimica.unam.mx/pluginfile.php/14419/mod_resource/content/1/seminario%20EDDM%2020210618.pdf) del proyecto DGPA-UNAM-PAPIME-PE210820 "Sargazo: Contribución a la Química Analítica Desde la Docencia e Investigación Formativa". Con la presentación titulada:

### **Sargazo: Fertilizante natural, alternativa sustentable**

## **DEDICATORIAS**

Es posible que en estas dedicatorias haya personas que no mencione, tratare de ser lo más general posible para no olvidarme de ellas porque no me abandonaron, ni dejaron de alentarme, se los agradezco. Estas personas saben quiénes son porque esta tesis se las he de compartir yo mismo. Porque de todos ellos aprendí algo muy bueno e incluso cosas que no sabía ni de mí y de los límites que había en mi cabeza.

Quiero darles las gracias a mis padres y a mi hermana por estar ahí conmigo todo este tiempo, alentándome a seguir adelante, por apoyarme en todo, porque sin ellos no lo habría logrado y a Dios por permitirme estar en esta vida con ellos.

Especialmente a mi madre que ha estado a mi lado de una forma incondicional y a pesar de todo, quiero que sepa que la amo y que siempre está presente, quiero que sepas que valió y siempre valdrá la pena todo lo que has hecho por mí, que no has sido suerte, que eras tú la que siempre le pide a Dios por mí, te amo "má".

A mi padre porque a pesar de todo siempre está ahí conmigo tratando de explicarme las cosas de la vida, por tu cariño y afecto, aunque no me lo dices seguido sé que estás muy orgulloso de mi y yo de ti, gracias "pá" por siempre apoyarme.

Polet, querida hermana, mi fiel confidente de la vida, también tú has jugado un papel importante para mí, por recordarme lo que tenía que hacer y hacía donde iba mi camino, me perdí, pero, me ayudaste a encontrarme, y ayudarme a darle la vuelta a la tortilla y ser ese ángel para mí.

A todos mis amigos y familia que me han apoyado, por todas esas aventuras que nos enseñaron a crecer, a todos aquellos que me acompañaron cuando

las cosas estaban más difíciles y no dejaron de alentarme, gracias por compartir este camino conmigo, por todo su apoyo, ayuda y cariño.

Gracias Diego, mi querido amigo que jamás te cansas de creer en mí, por ayudar a muchas personas eres un gran ser humano, gracias por la fe y confianza.

A María Fernanda Leyvas Acosta, por ayudarme en la resolución de dudas y ser mi compañera durante la investigación, gracias, amiga por tu apoyo y amistad.

A ti Karla Daniela Gonzáles por tu amistad y afecto, por ayudarme y brindarme tu ayuda en tus ratos libres de trabajo, gracias.

Quiero agradecer a Daniel Hernández Hernández por sus consejos brindados, gracias, Dani, porque para mí fuiste un gran maestro en la vida, por tu confianza y fe puestas en mí.

A mi carnal Luis Alberto por estar ahí conmigo en las buenas, en las malas y en las peores, gracias carnal ha sido bueno el viaje juntos, un logro más.

Mi estimado David que buenos recuerdos bro juntos terminando nuestros últimos días en nuestra querida facultad gracias por esos días de compañía en que soñábamos el futuro.

A ti Bárbara por acompañarme y alentarme en este camino, gracias por las vivencias juntos, por tu cariño y afecto.

Y claro no podía faltar mi otra familia: Alberto, Pablo, Armando, Gustavo, Norma, Uriel, Sandra, El Dani-Chanfle, mi tía Magos, y mi primo Beto, gracias, mis hermanos, por ayudarme y estar siempre conmigo todo este tiempo.

iViva México!, iViva nuestra querida Universidad! Gracias México por ser mi país y enseñarme el gran valor de la educación pública y gratuita, por abrirle las puertas a América Latina mediante la UNAM.

**iGRACIAS!**

“Todos los caminos llevan a Neza”

*“Como no creer en Dios, si después de todo  
sigo aquí feliz, vivo y mirándote a los ojos”*

*Eric David*

“Que elegancia la de Francia, pero, más belleza la de Neza”

## **RESUMEN**

Durante el desarrollo de las prácticas agrícolas el uso de fertilizantes químicos es indispensable para acelerar la producción de cultivos y satisfacer así la demanda alimenticia de la población que lo requiera, ya que de forma natural esto no podría suceder. Sin embargo, el uso excesivo de fertilizantes químicos provoca daños como son: Erosión, acidez, lixiviación, eutrofización, entre otros. Disminuyendo la capacidad productiva del suelo, con lo cual surge la necesidad de buscar una nueva alternativa para la fertilización, actualmente se ha demostrado que el empleo de algas como fertilizantes orgánicos mejora las condiciones del suelo, restaurando su capacidad productiva.

Particularmente las algas cafés del género “Sargassum” (conocido comúnmente como sargazo), debido a su alto contenido en materia orgánica como: Fitohormonas, vitaminas, ácidos grasos, reguladores del crecimiento, micro y macroelementos.

Este trabajo monográfico de actualización presenta los diferentes resultados de investigaciones bibliográficas sobre la aplicación de los fertilizantes derivados del sargazo para el mejoramiento de cultivos y regeneración del suelo; como base de futuras investigaciones para proveer evidencia de que el sargazo es viable para la mejora de cultivos como: Tomate, cilantro, arroz, frijol, rábano, maíz, entre otros.

La revisión documental demostró que las investigaciones se están enfocando en la forma de aplicación del sargazo ya sea en forma sólida o líquida. Además, de estudiar el contenido de materia orgánica y elementos metálicos presentes en el alga, los cuales permiten restaurar la capacidad productiva del suelo, dando así la posibilidad de aplicación a un mayor número cultivos.

El presente trabajo manifiesta la necesidad de evaluar el uso de sargazo como fertilizante, estudiar los compuestos bioactivos que le dan ese potencial, analizar cultivos que se pueden beneficiar e identificar las áreas de oportunidad para implementar la aplicación de fertilizantes derivados del sargazo en México y reducir la acidificación de los suelos por la aplicación de fertilizantes químicos.

## **Unidades**

**ev.** Electrovoltios

**Kev.** Kilo electrovoltios

**Kg.** Kilogramo

**L.** Litro

**m.** Metro.

**mm.** Milímetro

**m/z.** Relación masa carga

**mg.** Miligramos

**µm.** Micrometro

**ng.** Nanogramos

**Pa.** Pascales

**ppm.** Partes por millón

**s.** Segundos

**torr.** Torricellis

## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Morfología.....	2
1.3	Movilidad, deriva y arribo masivo del sargazo a las costas.....	4
1.4	Aprovechamiento del sargazo como fertilizante.....	5
1.5	Potencial y contenido del sargazo como fertilizante.....	6
2.	OBJETIVOS.....	8
2.1	Objetivo general.....	8
2.2	Objetivos particulares.....	8
3.	METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	9
3.1	Proceso de investigación documental.....	9
3.2	Selección de tema.....	10
3.3	Recopilación de la información.....	10
3.4	Sistema de análisis de información (Base de datos).....	12
3.5	Integración, redacción y presentación de la información.....	12
3.6	Normas APA (American Psychological Association).....	12
4.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	13
4.1	Fertilizantes.....	13
4.2	Clasificación de los fertilizantes: Químicos y de origen natural.....	13
4.2.1	Fertilizantes químicos.....	13
4.2.2	Fertilizantes de origen natural.....	13
4.3	El uso de fertilizantes.....	14
4.4	Daños causados por el uso de fertilizantes químicos.....	14
4.5	Fertilizantes elaborados a base de sargazo.....	15
4.6	Formas de aplicación.....	16
4.6.1	Forma líquida.....	16
4.6.2	Forma sólida.....	17
4.7	Normatividad en los fertilizantes orgánicos.....	18

5.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS .....	20
5.1	Cromatografía de gases .....	20
5.2	Cromatografía de líquidos de alta eficacia .....	22
5.3	Espectrometría de masas .....	23
5.4	Espectrometría de masas-plasma acoplado por inducción (ICP-MS) .....	24
5.5	Espectrometría de absorción atómica .....	25
5.6	Volumetría ácido-base (titulación) para la determinación del porcentaje de nitrógeno en proteínas mediante el método de Kjeldahl-Gunning.....	27
5.7	Espectrometría de UV-visible .....	29
5.8	Espectrometría de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR). ..	30
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	32
	1. Walsh et al. (2020). Examining the quality of a compost product derived from Sargassum. Department of agricultural Science, 30 (3), 331-336 ...	32
	2. Thompson et al. (2020). Efficiency of hydrothermal pretreatment on the anaerobic digestion of pelagic sargassum for biogas and fertiliser recovery. Fuel 279 (2020) 118527 .....	35
	3. Sunarpi et al. (2020). Effect of Solid and Liquid Extracts of Lombok Sargassum cristafolium on Growth and yield of Rice Plants (Oryza sativa L.). Journal Biology Tropis., 20(3): 320-328.....	38
	4. Sriyuni et al. (2020). Application on seaweed extract Sargassum cristaefolium and amino acid to growth and yield of upland rice (Oryza sativa L.). International Journal of Scientific & Technology research, volume 9 .....	40
	5. Silva et al. (2019). Production of biofertilizer from Ascophyllum nodosum and Sargassum muticum (Phaeophyceae). Journal of oceanology and Limnology. Springer Link. 37(3), 918-927.....	42
	6. Mahmoud et al. (2019). Utilization of seaweed (Sargassum vulgare) extract to enhance growth, yield, and nutritional quality of red radish plants. Annals of Agricultural Sciences 64 (2019) 167-175 .....	46
	7. Nurcahya et al. (2019). The addition of different starters on characteristics Sargassum sp liquid fertilizer. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 246 .....	52
	8. Uthirapandi et al. (2018). Bio-fertilizer potential of seaweed liquid extracts of marine macro algae on growth and biochemical parameters of	

<i>Ocimum sanctum</i> . <i>Journal of Pharmcognosy and Phytochemistry</i> 2018; 7(3), 3528-3532 .....	55
9. Bharath et al. (2018). Biofertilizing efficiency of <i>Sargassum polycystum</i> extract on growth and biochemical composition of <i>Vigna radiata</i> and <i>Vigna mungo</i> . <i>Asian Pacific Journal</i> ; 7(1), 27-32 .....	59
10. Uribe et al. (2018). Efecto del alga marina <i>Sargassum vulgare</i> C. Agardh en el suelo y el desarrollo de plantas de cilantro. <i>IDESIA</i> , 36(3), 69-76 .....	63
11. Sutharsan et al. (2017). Effects of seaweed ( <i>Sargassum crasifolium</i> ) extract foliar application on seedling performance of <i>Zea mays</i> L. <i>Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences.</i> , 5(4): 1-5.....	66
12. Tensingh et al. (2017). Effect of seaweed liquid fertilizer of <i>Sargassum wightii</i> on the yield characters of <i>Abelmoschus esculentus</i> (L. Moench). <i>International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology</i> ; 4(9), 4511-4518.....	70
6.1 Conclusión general .....	76
6.2 Conclusiones particulares .....	76
7. GLOSARIO Y ABREVIATURAS.....	78
ANEXO I.....	81
ANEXO II.....	88
ANEXO III.....	90
ANEXO IV .....	94
8. BIBLIOGRAFÍA.....	102

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Límites permitidos de metales pesados en la agricultura. Concentración de referencia totales (CR <sub>T</sub> ) por tipo de uso de suelo (DOF, 2007).....	18
<b>Tabla 2.</b> Límite de contaminantes de biosólidos agregados al suelo (EPA, 1994).....	19
<b>Tabla 3.</b> Protocolos de las diferentes mezclas de composta para evaluar la proporción adecuada de sargazo (recuperado de: Walsh et al., 2020). ....	33
<b>Tabla 4.</b> Comparación de resultados en la calidad de los protocolos A, B, C y D para evaluar la proporción adecuada de sargazo como ingrediente para otras compostas, para ser utilizado a gran escala en sistemas de compostaje (recuperado de: Walsh et al., 2020). ....	34
<b>Tabla 5.</b> Macronutrientes distribuidos en el digestato, muestra sin pretratamiento hidrotérmico (recuperado de: Thompson et al., 2020).....	37
<b>Tabla 6.</b> Macronutrientes distribuidos en el digestato, muestra con pretratamiento hidrotérmico (recuperado de: Thompson et al., 2020).....	37
<b>Tabla 7.</b> pH contenido de sólidos totales y rendimiento en el fertilizante de <i>Sargassum sp</i> (recuperado de: Nurchaya et al., 2019). ....	53
<b>Tabla 8.</b> Macronutrientes contenidos en fertilizante de <i>Sargassum sp</i> (recuperado de: Nurchaya et al., 2019).....	53
<b>Tabla 9.</b> Micronutrientes contenidos en fertilizante de <i>Sargassum sp</i> (recuperado de: Nurchaya et al., 2019).....	53
<b>Tabla 10.</b> Efecto del fertilizante de alga sobre parámetros como: Largo de la raíz, número de hojas, ancho y largo de hojas (Nurchaya et al., 2019). ....	54
<b>Tabla 11.</b> Composición elemental y análisis hormonal del extracto líquido de alga de <i>Sargassum wightii</i> (recuperado de: Uthiripandi et al., 2018).....	56

<b>Tabla 12.</b> Aplicación foliar de los extractos líquidos de las algas en los parámetros de crecimiento de <i>Ocimum sanctum</i> (recuperado de: Uthiripandi et al., 2018). .....	57
<b>Tabla 13.</b> Aplicación foliar del extracto de <i>Sargassum wightii</i> en los parámetros bioquímicos de <i>Ocimum sanctum</i> (recuperado de: Uthiripandi et al., 2018). .....	58
<b>Tabla 14.</b> Contenido elemental de <i>Sargassum polycystum</i> (recuperado de: Bharath et al., 2018). .....	60
<b>Tabla 15.</b> Parámetros físicos de <i>Sargassum polycystum</i> (recuperado de: Bharath et al., 2018). .....	61
<b>Tabla 16.</b> Contenido hormonal de <i>Sargassum polycystum</i> (recuperado de: Bharath et al., 2018). .....	61
<b>Tabla 17.</b> Potencial del extracto líquido a diferente concentración %v/v de <i>S. polycystum</i> en los parámetros de crecimiento en <i>Vigna radiata</i> (recuperado de: Bharath et al., 2018).....	61
<b>Tabla 18.</b> Análisis fisicoquímico de la harina de <i>Sargassum vulgare</i> (recuperado de: Uribe et al., 2018). .....	64
<b>Tabla 19.</b> Análisis fisicoquímico de la harina de <i>Sargassum vulgare</i> (recuperado de: Uribe et al., 2018). .....	64
<b>Tabla 20.</b> Análisis fisicoquímico de suelo con harina de <i>Sargassum vulgare</i> (recuperado de: Uribe et al., 2018). .....	64
<b>Tabla 21.</b> Propiedades fisicoquímicas del extracto líquido de <i>S. crassifolium</i> utilizado para este estudio preliminar. CE: conductividad eléctrica (recuperado de: Sutharsan et al., 2017).....	67
<b>Tabla 22.</b> Efecto de la aplicación foliar del extracto líquido de <i>S. crassifolium</i> , en la altura a los 21 días, después de sembrar <i>Zea mays L</i> (recuperado de: Sutharsan et al., 2017).....	67

<b>Tabla 23.</b> Efecto de la aplicación foliar del extracto líquido de <i>S. crassifolium</i> , en el área de hoja a los 21 días, después de sembrar <i>Zea mays L</i> (recuperado de: Sutharsan et al., 2017). .....	68
<b>Tabla 24.</b> Efecto de la aplicación foliar del extracto líquido de <i>S. crassifolium</i> , en el peso fresco y seco del tallo a los 21 días, después de sembrar <i>Zea mays L</i> (recuperado de: Sutharsan et al., 2017). .....	69
<b>Tabla 25.</b> Efecto de la aplicación foliar del extracto líquido de <i>S. crassifolium</i> , en el peso fresco y seco de la raíz a los 21 días, después de sembrar <i>Zea mays L</i> (recuperado de: Sutharsan et al., 2017). .....	69
<b>Tabla 26.</b> Efecto del extracto líquido <i>S. wightii</i> en parámetros físicos (recuperado de: Tensingh et al., 2017). .....	71
<b>Tabla 27.</b> Contenido del extracto líquido de <i>S. wightii</i> (recuperado de: Tensingh et al., 2017). .....	72
<b>Tabla 28.</b> Artículos, especies y géneros de sargazo, contenido de: Elementos moléculas orgánicas, hormonas reguladoras, concentración óptima del sargazo en sus diferentes formas de aplicación y el país donde se desarrolló cada estudio. ....	74
<b>Tabla 29.</b> Se enlistan otras aplicaciones empleando los compuestos del sargazo, la información se puede visualizar en: <a href="https://amyd.quimica.unam.mx/course/view.php?id=662&amp;section=5">https://amyd.quimica.unam.mx/course/view.php?id=662&amp;section=5</a> .....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Clasificación de las algas marinas (Silva et al., 2019; Mahmoud et al., 2019). .....	1
<b>Figura 2.</b> Características y morfologías del sargazo pelágico en las zonas del caribe. L/A, relación largo y ancho (Schell et al., 2015). .....	3
<b>Figura 3.</b> Morfología del <i>S. fluitans</i> III, <i>S. natans</i> I, <i>S. natans</i> VIII (Cox y Degia, 2021). .....	3
<b>Figura 4.</b> Diagrama flujo que muestra las distintas etapas de investigación documental (Tancara, 1997). .....	9
<b>Figura 5.</b> Fuentes de información adecuadas (Chong, 2007). .....	11
<b>Figura 6.</b> Equipo de cromatografía de gases (Delgadillo, 2020). .....	21
<b>Figura 7.</b> Componentes básicos de un cromatógrafo de líquidos de alta eficiencia. (Gary, 2009). .....	22
<b>Figura 8.</b> Sistema de espectrometría de masas (Skoog, 2009). .....	23
<b>Figura 9.</b> Componentes principales del Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Gutiérrez, 2011). .....	26
<b>Figura 10.</b> Diagrama en el cual se muestra la digestión de los compuestos de nitrógeno para el método Kjeldahl-Gunning. .....	28
<b>Figura 11.</b> Esquema de una medida de la absorción de radiación UV-Visible, empleando un espectrofotómetro UV-Visible de haz simple (Gallego et al., 2013). .....	29
<b>Figura 12.</b> Condiciones recomendadas para el compostaje (Dougherty, 1999). .....	35
<b>Figura 13.</b> Diagrama de flujo del tratamiento del sargazo para la obtención de bio-gas y el digestato. ....	36

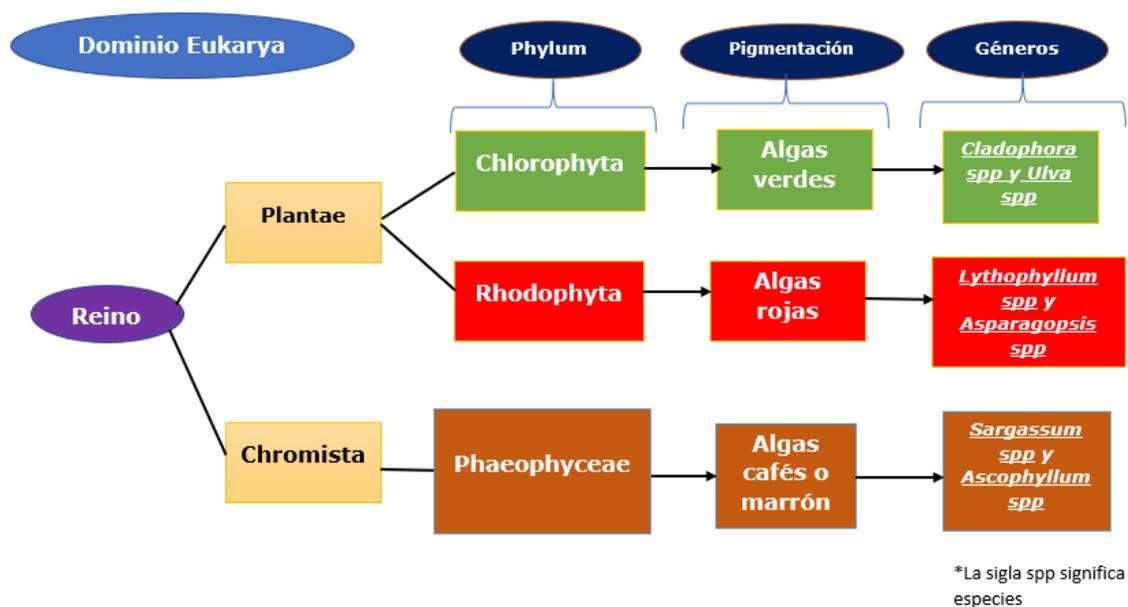
<b>Figura 14.</b> Efecto del extracto sólido y líquido de <i>S. cristafolium</i> ; control (sin extracto sólido, ni líquido); P0 + Esc (sin extracto sólido, con extracto líquido); P+E0 (con extracto sólido, sin extracto líquido) (recuperado de: Sunarpi et al., 2020).....	39
<b>Figura 15.</b> Hormona de crecimiento y elementos esenciales contenidos en el extracto líquido y sólido de <i>S. cristafolium</i> (recuperado de: Sunarpi et al., 2020).....	39
<b>Figura 16.</b> 1) <i>S. cristaefolium</i> sin aminoácidos, 2) <i>S. cristaefolium</i> + glutamina, alanina y glicina (1.6, 0.8 y 1.4%), 3) <i>S. cristaefolium</i> + alanina, glicina y triptófano (0.8, 1.4 y 0.01 %) 4) <i>S. cristaefolium</i> + glutamina, alanina y triptófano (1.6, 0.8 y 0.01%), 5) <i>S. cristaefolium</i> + glutamina, alanina, glicina y triptófano (1.6, 0.8, 1.4 y 0.01%) (recuperado de: Sriyuni et al., 2020). ....	41
<b>Figura 17.</b> 1) <i>S. cristaefolium</i> sin aminoácidos, 2) <i>S. cristaefolium</i> + glutamina, alanina y glicina (1.6, 0.8 y 1.4%), 3) <i>S. cristaefolium</i> + alanina, glicina y triptófano (0.8, 1.4 y 0.01 %) 4) <i>S. cristaefolium</i> + glutamina, alanina y triptófano (1.6, 0.8 y 0.01%), 5) <i>S. cristaefolium</i> + glutamina, alanina, glicina y triptófano (1.6, 0.8, 1.4 y 0.01%). Efecto de <i>S. cristaefolium</i> agregado con aminoácidos en la producción de clorofilas. (recuperado de: Sriyuni et al., 2020). ....	42
<b>Figura 18.</b> Análisis de porcentaje de germinación (PG); índice de germinación de semillas (IGS) y porcentaje de materia seca (PMS) para lechuga verde y morada (recuperado de: Silva et al., 2019). ....	44
<b>Figura 19.</b> Influencia de los 4 tratamientos en el desarrollo de lechuga verde y morada (recuperado de: Silva et al., 2019). ....	45
<b>Figura 20.</b> Parámetros analizados en las muestras de suelo (recuperado de Silva et al., 2019).....	45

<b>Figura 21.</b> Composición química del producto de extracto líquido de <i>Sargassum vulgare</i> ACTION® (recuperado de: Mahmoud et al., 2019).....	47
<b>Figura 22.</b> Efecto del extracto de alga en semillas remojadas previamente a la siembra como en la aplicación foliar de <i>S. vulgare</i> 20 días después de la siembra en largo y hojas por planta (recuperado de: Mahmoud et al., 2019). .....	47
<b>Figura 23.</b> Efecto del extracto de alga en semillas remojada previamente a la siembra como en la aplicación foliar de <i>S. vulgare</i> 20 días después de la siembra en hojas y raíces (recuperado de: Mahmoud et al., 2019). ....	48
<b>Figura 24.</b> Efecto del extracto de alga en semillas remojada previamente a la siembra, como en la aplicación foliar de <i>S. vulgare</i> 20 días después de la siembra, en peso seco de hojas y raíces (recuperado de: Mahmoud et al., 2019).....	49
<b>Figura 25.</b> Efecto del extracto de alga en semillas remojada previamente a la siembra como en la aplicación foliar de <i>S. vulgare</i> 20 días después de la siembra en contenido elemental en nitrógeno, fósforo y potasio (recuperado de: Mahmoud et al., 2019). ....	50
<b>Figura 26.</b> Efecto del extracto de alga en semillas remojada previamente a la siembra como en la aplicación foliar de <i>S. vulgare</i> 20 días después de la siembra en contenido elemental de hierro, zinc y manganeso (recuperado de: Mahmoud et al., 2019). ....	51
<b>Figura 27.</b> Longitud total (cm) de las plantas a los 90 días de la siembra ± desviación estándar. Tratamientos: T: testigo; F: fertilizante 3 g de harina de <i>S. vulgare</i> ; 3g, 6g y 9g (recuperado de: Uribe et al., 2018).....	65

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

Las algas son organismos marinos que viven dentro del océano, comúnmente unidos a sólidos y suelen encontrarse en la superficie de las aguas costeras (Akila y Jeyadoss, 2010; Pereira y Correia, 2015). El sargazo es un alga del género "*Sargassum*", la cual está ampliamente distribuida en la región del Indo-Pacífico y en la zona conocida como El Giro del Atlántico, dicha flora se distribuye al azar hacia el sur de Europa, Norte de América y el Caribe (Soto et al., 2015; Righton et al., 2016). Las algas marinas se clasifican como se muestra en la figura 1.



**Figura 1.** Clasificación de las algas marinas (Silva et al., 2019; Mahmoud et al., 2019).

El sargazo es un alga marina cuya clasificación es la siguiente:

Dominio: Eukarya

Reino: Plantae

Phylum: Phaeophyceae (algas cafés o marrones)

Género: Sargassum

Especies: Existen 335 especies reportadas hasta el momento (Marquez et al., 2014). Algunos ejemplos son:

S. muticum, S. vulgare, S. myriocystum, S. johnstonii, S. cristafolium, S. wightii, S. polycystum, S. sp., S. fluitans y S. natans. (Khan et al., 2009; Silva et al., 2019; Thompson et al., 2020; Sunarpi et al., 2020; Mahmoud et al., 2019; Nurcahya et al., 2019; Uthirapandi et al., 2018; Bharath et al., 2018; Soto et al., 2015; Sutharsan et al., 2014; Kumari et al., 2013; Kalaivanan et al., 2012).

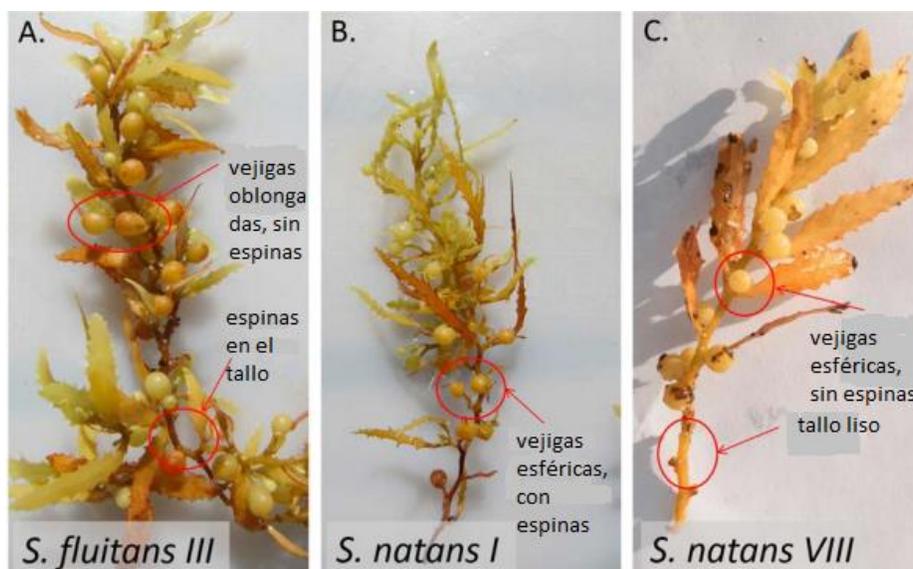
## **1.2 Morfología**

El sargazo pelágico Sargassum fluitans y Sargassum natans, son las principales especies que abundan principalmente en el Océano Atlántico, el Mar Caribe y el Golfo de México. Cada especie exhibe una diversidad de formas morfológicas, todas las especies de S. fluitans tiene espinas mientras que todas las de S. natans tiene talos lisos (Schell et al., 2015)

En las figuras 2 y 3 se muestra la morfología del S. natans y S. fluitans.



**Figura 2.** Características y morfologías del sargazo pelágico en las zonas del caribe. L/A, relación largo y ancho (Schell et al., 2015).



**Figura 3.** Morfología del *S. fluitans III*, *S. natans I*, *S. natans VIII* (Cox y Degia, 2021).

En el área del Atlántico Norte, el Golfo de México y el Mar Caribe, *S. natans* VIII, *S. natans* I y *S. fluitans* III, son las especies más comunes de sargazo pelágico que habitan estas zonas. Predominando en el Caribe *S. natans* VIII (Schell et al., 2015).

### **1.3 Movilidad, deriva y arribo masivo del sargazo a las costas**

Estos organismos flotantes se dirigen hacia las costas y alcanzan su valor máximo de crecimiento y masa cada año durante el verano. Al llegar a las costas estas algas se acumulan formando enormes pilas que alcanzan hasta cuatro pies de altura y se expanden a lo largo de las playas (Williams y Feaging, 2010).

En estas circunstancias el sargazo se vuelve un problema para el atractivo turístico especialmente para los bañistas durante el verano al no permitir el fácil acceso a la playa por el olor y aspecto desagradable (Williams y Feaging, 2010).

A nivel mundial con el aumento de las temperaturas en los océanos, el incremento de la urbanización y el derrame de fertilizantes los cuales contienen fosfatos son llevados en las corrientes acuíferas lo cual es consumido por las algas provocando un incremento de sargazo lo que predice que en el futuro continuará siendo un problema para las comunidades costeras (Walsh et al., 2020; Rodríguez-Martínez et al., 2016).

Desde un punto de vista socioeconómico la llegada del sargazo a las costas ha causado una pérdida económica importante en México, Cuba y varios países de Las Antillas (Trinidad y Tobago, República Dominicana, Haití, Puerto Rico, Cuba y Martinica), al impedir el acceso a las playas y los olores desprendidos por su descomposición, lo cual provoca una disminución de su belleza y atracción turística (Rodríguez-Martínez et al., 2016).

En este mismo contexto el arribo masivo de sargazo a las costas del Caribe mexicano ha generado una preocupación a nivel ecológico, económico y social, sin embargo, se ha procedido a llevar a cabo el diseño de estrategias para su aprovechamiento (Martínez, 2020).

#### **1.4 Aprovechamiento del sargazo como fertilizante**

Una de las estrategias para aprovechar esta alga es llevar a cabo la producción de nuevos productos derivados del sargazo, entre estos se encuentra la elaboración de fertilizantes de origen natural como alternativa sustentable en la agricultura.

La agricultura a nivel mundial depende del consumo de fertilizantes químicos para elevar su producción y satisfacer la necesidad de alimentos, sin embargo, con su uso excesivo contribuyen a la degradación de los suelos, disminuyendo la calidad y rendimiento de los cultivos (Pérez y Landeros, 2009; Kramer et al., 2006). Ya que el uso elevado y desmedido de fertilizantes químicos ha causado severos daños como: La erosión del suelo, contaminación del agua, salinización, depleción de la biodiversidad, anegamiento, daños a la salud y medio ambiente (Vijayanand et al., 2014).

En los últimos años el consumo de fertilizantes químicos se ha incrementado exponencialmente en el mundo, provocando graves problemas de salud por su contenido en metales pesados, por ejemplo, la contaminación del agua. La fertilización con estos productos puede causar también la acumulación de metales pesados en el suelo y sistemas vegetales entrando así a la cadena alimenticia, provocando la contaminación del aire, suelo, agua y alimentos (Savci, 2012).

Este problema sobre la degradación de los suelos ha tomado relevancia a nivel mundial con la cual nace el interés de buscar una alternativa en fertilizantes

de origen natural que puedan mejorar la salud y productividad del suelo (Lobley et al., 2009).

La situación a nivel nacional también es grave, en México hay un gran deterioro en la capacidad productiva del suelo por los altos niveles de erosión física y pérdida de fertilidad a causa del uso intenso e irracional de fertilizantes químicos. Ante esta situación hay interés por reducir el uso de estas sustancias, que además de ser tóxicas resultan ser de precio elevado para el agricultor (González et al., 2012).

El objetivo es utilizar fertilizantes de origen natural que permitan optimizar la producción agrícola, ayudar a la economía de los agricultores y al cuidado conservación, mantenimiento y recuperación del suelo (González et al., 2012; Corona, 2018).

El mantenimiento y cuidado del suelo son necesarios para la producción de alimentos, esto lo hace un recurso importante en los ecosistemas y para las personas que dependen de él como un producto activo, especialmente los habitantes de las zonas rurales, pues su bienestar, economía y productividad laboral se relacionan con la tierra (Corona, 2018).

Teniendo en cuenta los daños causados al suelo por los fertilizantes químicos, el presente trabajo monográfico de actualización (TMA) se enfoca en la utilización y aplicación del sargazo como fertilizante y ser una alternativa sustentable para el cuidado y mantenimiento de los suelos en territorio mexicano.

### **1.5 Potencial y contenido del sargazo como fertilizante**

El potencial del sargazo se deriva de su contenido de elementos en su pared celular como: Potasio, calcio, fósforo, azufre, cobre, nitrógeno, hierro, entre otros. La pared celular se compone también de vitaminas, proteínas, ácidos

algínicos, además, la pared esta recubierta por una matriz compuesta de mucilaginatos, alginatos y flucoidanos, sus cloroplastos contienen alfa y beta carotenoides, clorofilas a y c (Dreckmann et al.,2013; Quitral et al., 2012; Moreira et al., 2007).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Hacer una compilación documental que avale el uso del sargazo como fertilizante en los cultivos agrícolas y ser una alternativa sustentable para sustituir el uso de fertilizantes químicos.

### **2.2 Objetivos particulares**

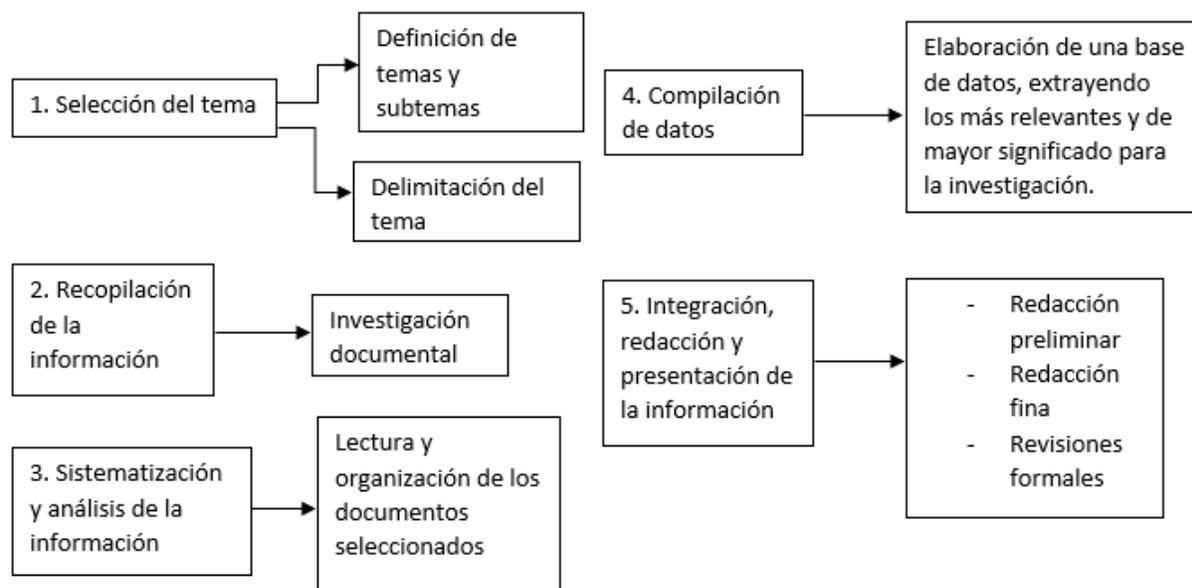
- a. Evaluar la aplicación del sargazo como fertilizante.
- b. Identificar los compuestos bioactivos benéficos para el crecimiento de las plantas.
- c. Identificar el tipo de cultivos agrícolas que podrían beneficiarse con la aplicación del sargazo como fertilizante.
- d. Identificar las áreas de oportunidad para implementar en México su aplicación y reducir la acidificación de los suelos que se genera con el uso de fertilizantes químicos.
- e. Elaborar una propuesta experimental para la asignatura de Analítica Experimental II con clave 1607, 6º semestre de las carreras de Química Farmacéutico-Biológica (QFB) y Química de Alimentos (QA). Clave 1700 de 7º Semestre de la carrera de Química (Q), y así contribuir con el proceso de investigación y formación de estudiantes de la Facultad de Química de la UNAM.

### 3. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para llevar a cabo este trabajo monográfico de actualización se realizó el proceso de investigación documental la cual es importante, porque sin ella no habría investigación sistemática (Chong, 2007).

#### 3.1 Proceso de investigación documental

Para llevar a cabo la investigación documental se realizó un conjunto de métodos y técnicas, para buscar, procesar y almacenar información a partir de documentos como: Tesis, artículos y revistas científicas, para la presentación sistemática, coherente y argumentada de nueva información científica, y así presentar las bases científicas que den respaldo a la utilización del sargazo como fertilizante (Tancara, 1997; Chong, 2007). En la figura 4 se muestra el diagrama de las distintas etapas de la investigación documental.



**Figura 4.** Diagrama flujo que muestra las distintas etapas de investigación documental (Tancara, 1997).

### **3.2 Selección de tema**

Actualmente México ha sufrido una pérdida de fertilidad en sus suelos debido a actividades antropogénicas como el uso excesivo de fertilizantes químicos, de los cuales algunos llegan a ser tóxicos, costosos y afectan la capacidad productiva de la tierra, por la pérdida de minerales y nutrientes necesarios para el desarrollo y crecimiento de los cultivos, además, provocan lixiviación, acidificación y pérdida de biodiversidad afectando la economía del agricultor, consumidor y desarrollo humano (González et al., 2012; Licona y Martínez, 2015).

Otro factor que contribuye a la elección de este tema es que el Sargazo en México, se encuentra en grandes cantidades en las playas de Cancún, Playa del Carmen, Tulum, Cozumel, Othon Puente Blanco, Chetumal e Islas Mujeres. En 2015 se reportaron 28 124 toneladas de sargazo en una semana, dichas cantidades tan elevadas pueden ser aprovechadas para la elaboración de fertilizante de origen natural (Murillo et al., 2017).

### **3.3 Recopilación de la información**

Mediante una investigación documental se buscó y compilo información relacionada con el uso de sargazo como fertilizante, su forma de aplicación y los resultados obtenidos, en los siguientes recursos (Tancara, 1997):

- a) Tesis de licenciatura y posgrados
- b) Artículos de investigación y
- c) Normas oficiales (Tancara, 1997)

En la figura 5 se muestran las entidades adecuadas para obtener información.



**Figura 5.** Fuentes de información adecuadas (Chong, 2007).

### **3.4 Sistema de análisis de información (Base de datos)**

Una vez recopilada toda la información se procedió a clasificarla por el contenido elemental, molecular, cenizas, fibra, sólidos totales, humedad, entre otros, en la base de datos del proyecto DGPA-UNAM-PAPIME-PE210820 "Sargazo: Contribución a la Química Analítica Desde la Docencia e Investigación Formativa" cuyo link es: <https://amyd.quimica.unam.mx/course/view.php?id=662gion=5> (Rodríguez et al., 2020), con el objetivo de tener una clasificación por categorías y así desarrollar el tema y subtemas del presente trabajo monográfico (Chong, 2007).

### **3.5 Integración, redacción y presentación de la información**

Este trabajo es resultado de la investigación documental exhaustiva llevada a cabo al extraer información de las diferentes fuentes documentales, la cual fue clasificada, sintetizada y tomada en cuenta para realizar un análisis sobre el uso de sargazo como fertilizante natural y las ventajas que tiene su uso, mostrando ser una vía alterna y sustentable para sustituir a los fertilizantes químicos (Tancara, 1997).

### **3.6 Normas APA (American Psychological Association)**

En este trabajo monográfico de actualización se utiliza el formato APA ya que permite presentar de forma clara y ordenada nuestra información, además, permite que otros investigadores consulten de manera fácil, los documentos utilizados y actúan como una guía para facilitar la lectura, estas normas son aceptadas a nivel internacional (APA, 2010).

## **4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

### **4.1 Fertilizantes**

Son un producto natural o manufacturado, sólido o líquido agregado al suelo para suministrar uno o más nutrientes esenciales, para el desarrollo de propiedades y crecimiento de una planta es llamado fertilizante. Los fertilizantes en el más amplio sentido son productos, para mejorar los niveles de disponibilidad de los nutrientes de las plantas y/o propiedades físicas y químicas del suelo, por lo cual directa o indirectamente mejoran el crecimiento, rendimiento y calidad de un cultivo. (Gowariker et al., 2009).

### **4.2 Clasificación de los fertilizantes: Químicos y de origen natural**

#### **4.2.1 Fertilizantes químicos**

Son productos que contienen cantidades sustanciales de uno o más de un elemento primario como lo son: Nitrógeno, fósforo y potasio. En su proceso de elaboración interfieren reacciones químicas, así como la refinación de elementos necesarios para la producción de fertilizantes (Licona y Martínez, 2015).

#### **4.2.2 Fertilizantes de origen natural**

Se denomina fertilizante natural al producto cuya composición de elementos provienen de la naturaleza los cuales no pasan por ninguna transformación química (Licona y Martínez, 2015).

### **4.3 El uso de fertilizantes**

Son utilizados para compensar el déficit nutricional que tienen los cultivos para alcanzar un mejor desarrollo y rendimiento para cubrir la demanda alimenticia de las poblaciones, además, de mantener el ingreso económico de los agricultores (Licona y Martínez, 2015).

### **4.4 Daños causados por el uso de fertilizantes químicos**

Para mejorar la producción de las cosechas se han utilizado estas sustancias químicas. Sin embargo, con el uso constante e indiscriminado ha provocado en la tierra un desgaste continuo, incluso llegando a tener alimentos contaminados por metales pesados (Licona y Martínez, 2015; Savci, 2012).

A nivel global el excesivo uso de estas sustancias en la agricultura ha tenido como resultado una gran cantidad de problemas al medio ambiente como la erosión y salinización del suelo, acumulación de metales pesados, contaminación del agua, disminución de biodiversidad, acumulación de nitratos, contaminación del aire con gases que contienen nitrógeno y azufre contribuyendo de este modo con el efecto invernadero. Cabe mencionar que la producción de óxido nitroso de los fertilizantes orgánicos sólidos es menor en un 23% en comparación a la de los fertilizantes sintéticos (Savci, 2012; Vijayanand et al., 2014; Aguilera et al., 2013).

A nivel nacional en el estado de Guerrero por tomar un ejemplo, el 75% de los suelos presentan una disminución en su capacidad productiva a causa de la erosión física por el uso intenso de fertilizantes químicos (González et al., 2012). Otro de los daños es la emisión del óxido nitroso como resultado de la fertilización, el cual contribuye con el efecto invernadero (González-Estrada, 2017; DOF, 2021).

Ante tal situación hay un creciente interés por los mismos agricultores en reducir el uso de sustancias químicas que, además, de resultar tóxicas son caras y desean sustituirlas por sustancias de origen natural que mejoren la producción agrícola, que sean más accesibles y ayuden con la preservación de los recursos naturales (Ríos et al., 2009).

Una alternativa como fertilizante es el uso de algas las cuales desde la antigüedad se han utilizado para mejorar el suelo por su contenido en materia orgánica (Cabioch, 1976). Las algas con el principal potencial para ser utilizadas como fertilizantes son las algas cafés y entre ellas se opta por utilizar a las del género *Sargassum* ya que es el género más abundante en las aguas templadas y tropicales del mundo (Mc Hugh, 2003; Thirumaran et al., 2009; Critchley y Ohno, 1998).

#### **4.5 Fertilizantes elaborados a base de sargazo**

El sargazo cuyo nombre se deriva de su clasificación del género *Sargassum* perteneciente a las algas cafés (Phaeophyceae), tiene potencial para ser utilizado en la elaboración de fertilizantes que, además, de ser abundante es una fuente rica de elementos como; K, S, N y P, materia orgánica como; Fitohormonas, reguladores de crecimiento, citoquininas, auxinas, giberelinas, ácidos grasos que permiten la biorremediación, mantenimiento y desarrollo del suelo mejorando sus propiedades químicas, biológicas y físicas, además, de ayudar a la proliferación de microorganismos benéficos para la tierra mejorando su fertilidad. Son de bajo costo, accesibles y no son sometidos a tratamientos químicos, por lo cual son menos tóxicos para el medio ambiente (Silva et al., 2019; Marquez et al., 2014; Licona y Martínez, 2015).

Estos fertilizantes han mostrado un efecto positivo en cultivos de: Arroz, rábano, frijol, cilantro, lechuga, maíz, tomate, entre otros, al mejorar parámetros como: Rendimiento, florecimiento temprano, velocidad de

crecimiento, contenido de clorofilas, aumento en tamaño de: Hojas, tallos, frutos y raíces. Efecto atribuido al contenido de materia orgánica, metales, carbohidratos, aminoácidos, fibras, lípidos, fitohormonas y vitaminas. Razón por la cual se considera al sargazo un recurso viable para su explotación y empleo en la agricultura (Silva et al., 2019; Kumari et al., 2013; Uribe et al., 2018; Sutharsan et al., 2017; Mahmoud et al., 2019).

Estos fertilizantes se han aplicado en dos formas sólida y líquida.

#### **4.6 Formas de aplicación**

Para llevar a cabo la aplicación de sargazo en su forma sólida o líquida este es sometido a diferentes procesos para obtener ya sea una forma o la otra como a continuación se menciona.

##### **4.6.1 Forma líquida**

Existen diversos métodos de obtención para fertilizante líquido se puede llevar a cabo una extracción líquida con solventes orgánicos o agua, ya sea mediante un soxhlet, rotavapor o autoclave. A continuación, se presentan algunos ejemplos de obtención y aplicación:

##### *Ejemplo de extracción con agua destilada*

Se procede a lavar la muestra de *Sargassum muticum* con agua destilada después se pone a secar totalmente, una vez seca se reduce su tamaño triturándola, después se mezcla un kilogramo de muestra 1 600 mL de agua destilada y se calienta en una olla de presión, el líquido obtenido se filtra y se le retira toda clase de partículas, al enfriarse se almacena entre los 2 y 4 °C. Se considera al líquido obtenido con una concentración del 100 % v/v de (sargazo / agua). (Silva et al., 2019).

### Ejemplo de extracción con metanol

En este caso la muestra de *Sargassum muticum* también es puesta a secar totalmente y es triturada hasta polvo el cual es colocado dentro de un rotavapor 25 g de este polvo con 2 500 mL de metanol y al final del proceso la muestra es filtrada al vacío con ayuda de un matraz Kitasato, posteriormente a esa extracción acuosa se repone un volumen de agua destilada y se lleva a ebullición, se agita durante un tiempo de 2 h y se deja enfriar. Finalmente se filtra al vacío utilizando silica, desechando la parte sólida, la solución acuosa se considera de concentración al 100 % (v/v), se almacena entre 2 y 4 °C (Silva et al., 2019).

### **4.6.2 Forma sólida**

A la forma sólida también se le puede llamar harina de sargazo (Pinheiro et al., 1998; Uribe et al., 2018). Se muestra a continuación un ejemplo.

### Ejemplo de extracción sólida

En este método se procede a lavar la muestra de *Sargassum vulgare* con agua de la llave y después con agua destilada para eliminar toda clase de impurezas, se seca a 60°C en un horno hasta alcanzar un peso constante. Se tritura la muestra manualmente y después con un molino hasta obtener un polvo fino de harina, posteriormente se puede mezclar este polvo con el suelo en diferentes porcentajes % peso/peso, con el objetivo de determinar cuál es el que arroja mejores resultados en un cultivo (Uribe et al., 2018).

Una condición de los fertilizantes orgánicos es que los insumos con que están elaborados sean baratos, deben existir en grandes cantidades y ser fáciles de conseguir. Nuestro país cuenta con una gran fuente de sargazo en las costas del caribe (Murillo et al., 2017; Arango, 2017; Huerta et al., 2015).

Estos productos tienen una gran importancia ecológica, por ser empleados para cultivar alimentos y es por eso por lo que no deben rebasar límites de contaminantes dañinos para el ser humano.

#### 4.7 Normatividad en los fertilizantes orgánicos

De acuerdo con la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, la cual establece la cantidad máxima permisible de metales pesados en suelos agrícolas (DOF, 2007). En la tabla 1 se enlistan los límites de metales pesados establecidos para el uso de suelo en la agricultura.

**Tabla 1.** Límites permitidos de metales pesados en la agricultura. Concentración de referencia totales (CR<sub>T</sub>) por tipo de uso de suelo (DOF, 2007).

Contaminante	Uso agrícola/residencial/comercial (mg/Kg)	Uso industrial (mg/Kg)
Arsénico	22	260
Bario	5 400	67 000
Berilio	150	1 900
Cadmio	37	450
Cromo hexavalente	280	510
Mercurio	23	310
Níquel	1 600	20 000
Plata	390	5 100
Plomo	400	800
Selenio	390	5 100
Talio	5.2	67
Vanadio	78	1000

Otra norma con respecto al límite de metales pesados es la establecida por la EPA 503 (EPA: Environmental Protection Agency), de los Estados Unidos, en sus reglas aplicadas a biosólidos de aplicación al suelo (tabla 2).

**Tabla 2.** Límite de contaminantes de biosólidos agregados al suelo (EPA, 1994).

Contaminante	Límites máximos de concentración para todos los biosólidos (mg/Kg)
As	75
Cd	85
Cr	3 000
Cu	4 300
Pb	840
Hg	57
Mo	75
Ni	420
Se	100
Zn	7 500
Aplica a:	Todos los biosólidos que se aplican a la tierra

Es importante conocer los límites de metales con que deben cumplir los fertilizantes elaborados con sargazo para proteger la salud y medio ambiente (DOF, 2007).

Las algas como el sargazo contienen metales pesados, debido a que estos son removidos del agua por bioacumulación en su pared celular (Plaza, 2012).

Llevar a cabo el análisis del fertilizante elaborado a partir de algas es importante para conocer la concentración de moléculas, elementos y nutrientes, para verificar de acuerdo con los límites en las tablas 1 y 2 con respecto a metales pesados si estas no rebasan los límites establecidos para proteger los suelos. Con base en ello se tiene como sustento la base de datos del proyecto PAPIME 210820 <https://amyd.quimica.unam.mx/course/view.php?id=662&section=5> la cual confirma que estos límites de metales pesados en algas del género *Sargassum* no son rebasados (Rodríguez et al., 2020).

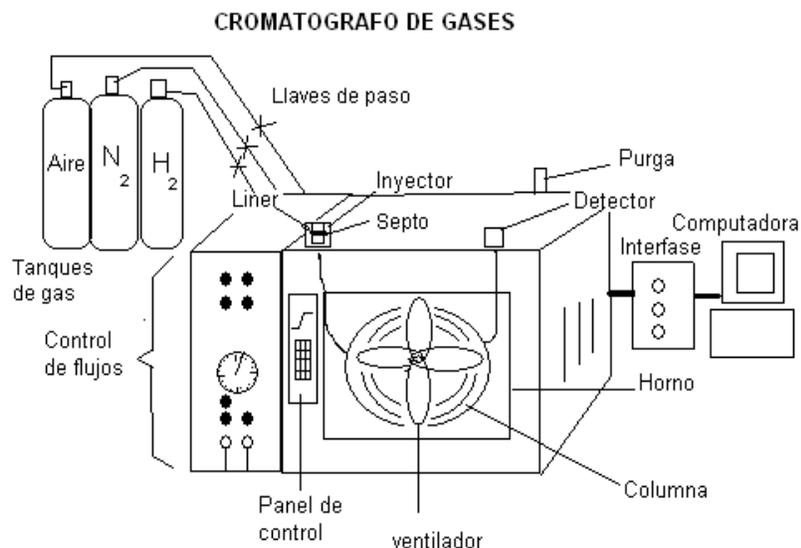
## **5. TÉCNICAS DE ANÁLISIS**

Dentro de estas técnicas se estudian las siguientes: Cromatografía de gases (CG), cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC), espectrometría de masas (MS), espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS), volumetría ácido-base mediante el método Kjeldahl-Gunning, espectrometría de UV-visible y espectroscopia de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR).

### **5.1 Cromatografía de gases**

La cromatografía de gases en los artículos compilados ha sido utilizada para la detección de moléculas orgánicas ejemplo de ello son los ácidos grasos como el ácido propiónico, ácido isobutírico, ácido butírico, etc. (Thompson et al., 2020).

La cromatografía de gases es una técnica física de separación basada en la distribución diferencial de los componentes de una mezcla entre dos fases, estacionaria (columna) y una móvil (gas acarreador), la muestra es arrastrada por esta fase y se lleva a cabo la separación (Polo, 2015). La figura 6 muestra los componentes principales de un cromatógrafo de gases.



**Figura 6.** Equipo de cromatografía de gases (Delgadillo, 2020).

Para introducir la muestra existen diversos métodos de inyección los cuales deben asegurar la completa evaporación de la muestra e incorporarse a la fase móvil e introducirse a la columna la cual está dentro de un horno a temperatura uniforme. Los compuestos se van separando de acuerdo con su presión relativa y afinidad por la fase estacionaria al finalizar este proceso de separación los diferentes analitos que componen a la muestra registran una señal a través de un detector, para finalmente procesar los datos en una computadora. (McNair et al., 1998; Harris, 2001).

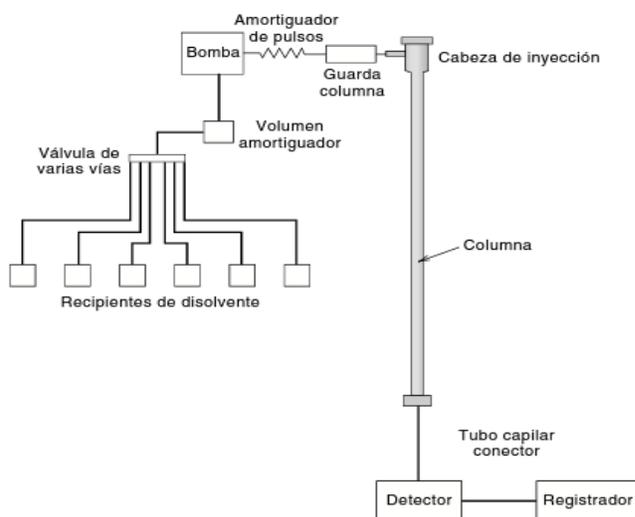
### Aplicaciones

La cromatografía de gases se puede aplicar al análisis de mezclas complejas de hidrocarburos, moléculas orgánicas, pesticidas, fármacos, aromas, saborizantes, fragancias y diversos productos químicos utilizados en la industria agrícola (Barquero, 2006).

## 5.2 Cromatografía de líquidos de alta eficacia

Se utilizó para la detección de moléculas orgánicas como el ácido indol-3-acético presentes en el sargazo (Sunarpi et al., 2020).

Técnica de separación que se basa en una interacción química con una columna cromatográfica. Se utiliza una presión elevada para forzar el paso del disolvente en la columna. Se suministra al equipo con un disolvente y una válvula de inyección para la muestra con un sistema de bombeo de alta presión, un detector y un equipo de cómputo para controlar el equipo y analizar resultados (Harris, 2012). En la figura 7 se muestran los componentes básicos de un cromatógrafo de líquidos.



**Figura 7.** Componentes básicos de un cromatógrafo de líquidos de alta eficiencia. (Gary, 2009).

La fase móvil que desplaza a través de la fase estacionaria para llevar a cabo la separación de la muestra y se lleva a cabo una separación por migración de los analitos hacia la fase estacionaria dependiendo su afinidad de forma gradual (Polo, 2015; Alfonso, 2008).

Las disoluciones más utilizadas en la fase móvil con las combinaciones de agua purificada con líquidos orgánicos como metanol, acetonitrilo, ácido

trifluoroacético y soluciones amortiguadoras de pH. Cada analito tiene un gradiente óptimo para obtener la máxima separación de picos en el detector (Abburá, 2007).

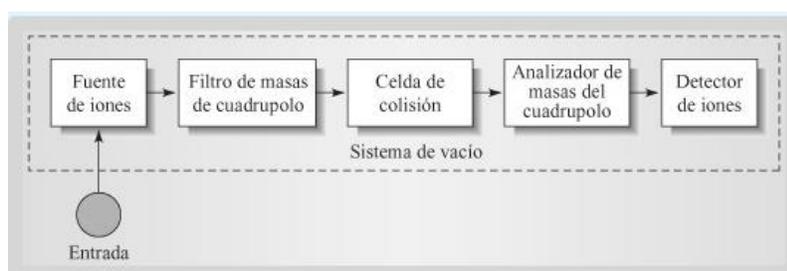
### Aplicaciones

La cromatografía de líquidos de alta resolución es adecuada para la separación de especies no volátiles o termolábiles. Es de interés de estudio para sustancias de la industria como; aminoácidos, carbohidratos, terpenoides, plaguicidas, esteroides, hidrocarburos, drogas, proteínas, antibióticos y otros (Barquero, 2004).

### 5.3 Espectrometría de masas

Se utiliza para determinar el peso molecular de las moléculas orgánicas presentes en las algas (Thompson et al., 2020). La figura 8 muestra los elementos principales de un sistema de espectrometría de masas.

Es una técnica utilizada para identificar y cuantificar los elementos presentes en las muestras. (Skoog, 2001).



**Figura 8.** Sistema de espectrometría de masas (Skoog, 2009).

Esta técnica proporciona información cuantitativa (masa molecular) y cualitativa (estructura), de las moléculas analizadas previamente convertidas en iones. Las moléculas de interés se someten a una fuente de ionización donde se ionizan adquiriendo una carga positiva o negativa. Los iones atraviesan el analizador de masas hasta alcanzar el detector, generando señales en un sistema informático y representadas en un espectro de masas que muestra la abundancia relativa de las señales en función de su relación masa-carga ( $m/z$ ) (Skoog, 2001; Mellon, 2003).

### Aplicaciones

La espectrometría de masas es aplicable a química inorgánica, química ambiental, síntesis orgánica, organometálica, productos naturales y la industria farmacéutica (Harris, 2012).

## **5.4 Espectrometría de masas-plasma acoplado por inducción (ICP-MS)**

Se utiliza para determinar de forma cualitativa y cuantitativa los metales presentes en el fertilizante elaborado a partir de sargazo (Sutharsan et al., 2017; Thompson et al., 2020).

Es una técnica de análisis inorgánico elemental e isotópico capaz de determinar y cuantificar la mayoría de los elementos de la tabla periódica desde nanogramos (ng) hasta miligramos (mg), además, de poder llevar a cabo la determinación de elementos en un análisis multi elemental que provee la composición de la muestra analizada (Taylor, 2001).

En estos instrumentos, los iones positivos de metales, producidos en una antorcha de plasma acoplado por inducción convencional, se introducen a través de una interfase de vacío diferencial unida a un espectrómetro de masas cuadrupolar. Los espectros producidos de esta manera, que son

notablemente más sencillos que los espectros ópticos de plasma acoplado por inducción convencionales consisten en una serie sencilla de picos isotópicos de cada elemento presente, estos espectros se utilizan para la determinación cualitativa de los elementos presentes en la muestra y para su medida cuantitativa (Skoog et al., 2001).

### Aplicaciones

Instrumentos de este tipo son particularmente adecuados para el análisis semicuantitativo de muestras que son difíciles de descomponer o disolver, como los materiales geológicos, aleaciones, vidrios, productos agrícolas, partículas en suspensión y suelos (Skoog et al., 2001).

## **5.5 Espectrometría de absorción atómica**

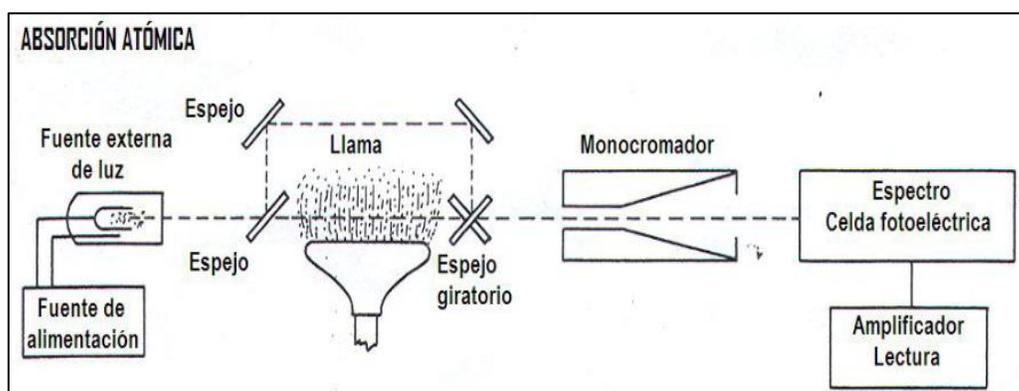
Sirve para determinar la cantidad de elementos metálicos presentes en las algas (Thompson et al., 2020; Mahmoud et al., 2019).

Es una técnica analítica para la determinación cuantitativa y cualitativa de un elemento en una muestra. Se basa en la absorción de la radiación de energía por los átomos libres, su fundamento es la absorción de la radiación a una longitud de onda determinada (Rocha, 2000). En la figura 9 se muestran los componentes principales de un espectrofotómetro de absorción atómica.

Se analiza el átomo, el cual está rodeado de electrones. Cada elemento tiene un número determinado de electrones, los cuales ocupan orbitales definidos. La configuración electrónica conocida del átomo corresponde al estado de energía más bajo, conocido como estado basal. Si se aplica la energía adecuada a un átomo, un electrón externo será promovido a un estado excitado. Este último estado es muy inestable, el átomo de forma inmediata y espontáneamente regresará a su posición estable y se emitirá una energía

radiante equivalente a la cantidad de energía absorbida inicialmente en el proceso de excitación (Skoog et al., 2010).

Al medir la cantidad de luz absorbida, se puede determinar de forma cuantitativa la cantidad de elemento presente. Se hace uso de fuentes de luz especiales y una cuidadosa selección de longitud de onda permite la determinación cuantitativa de los elementos individuales en la presencia de otros (Harris, 2012).



**Figura 9.** Componentes principales del Espectrofotómetro de Absorción Atómica (Gutiérrez, 2011).

### Aplicaciones

Esta técnica se puede aplicar para analizar la presencia de metales en diversas muestras en el ámbito químico se puede aplicar para la detección de cobre en orina, o la concentración de diversos metales en la industria minera, además, de otros productos químicos (Posada, 2015; Escobedo, 2013; Mahmoud et al., 2019).

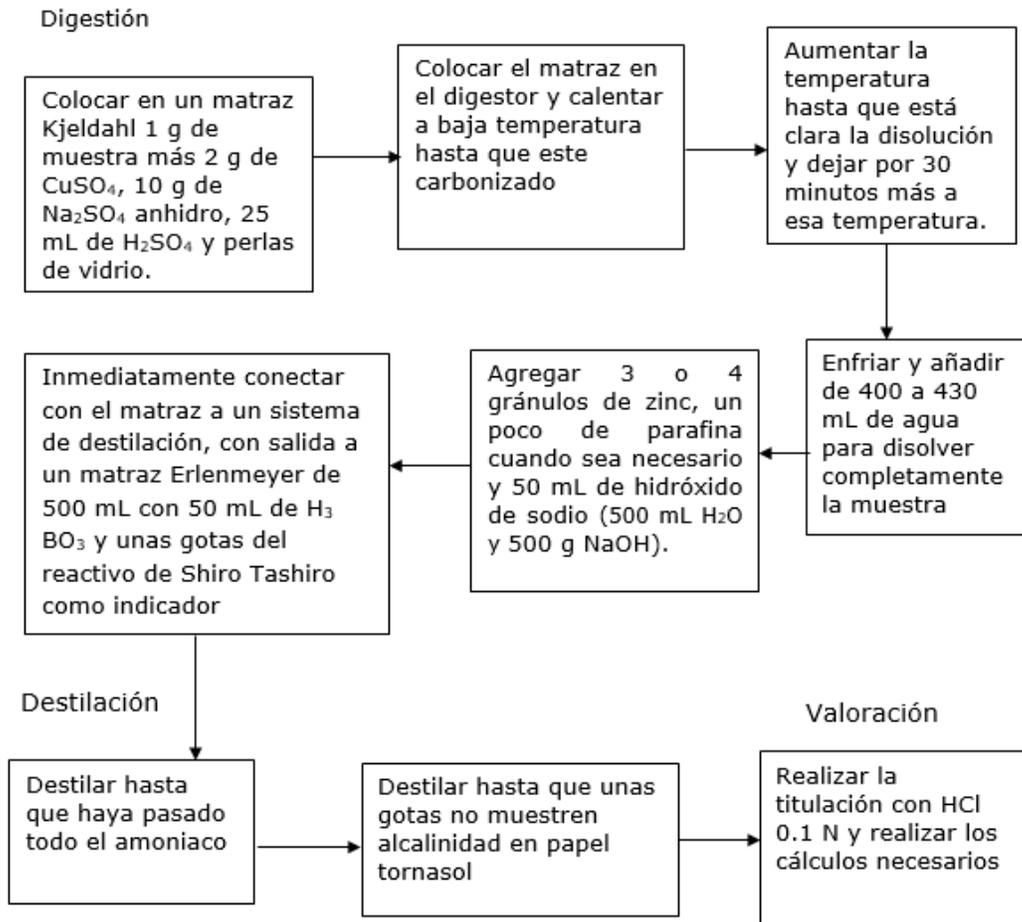
## **5.6 Volumetría ácido-base (titulación) para la determinación del porcentaje de nitrógeno en proteínas mediante el método de Kjeldahl-Gunning.**

Una titulación ácido-base es una reacción entre un ácido y una base al generar una neutralización, en la cual el objetivo es determinar el punto equivalente entre una disolución de concentración desconocida y volumen medido, la cual se va neutralizando al agregar una disolución titulante (disolución estándar), con ayuda de un indicador el cual cambia con el pH, para detectar el punto de equivalencia y se registra el volumen gastado del titulante. Finalmente, con los datos obtenidos se realizan los cálculos necesarios para conocer la concentración de la disolución problema (Gary, 2009; Brown et al., 2004).

En este caso la volumetría mediante el método de digestión Kjeldahl-Gunning se aplica para determinar el porcentaje de nitrógeno en proteínas presente en el sargazo (Mahmoud et al., 2019).

Este método se basa en la descomposición de los compuestos de nitrógeno orgánico por ebullición con ácido sulfúrico. El hidrógeno y el carbono de la materia orgánica se oxidan para formar agua y dióxido de carbono. El ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) se transforma en dióxido de azufre ( $SO_2$ ) el cual reduce el material nitrogenado a sulfato de amonio  $[(NH_4)_2SO_4]$  (DOF, 1980).

El amoníaco se libera después de la adición de hidróxido de sodio y se destila recibiendo en una disolución al 2% de ácido bórico. Se titula el nitrógeno amoniacal con una solución valorada de ácido, cuya normalidad depende de la cantidad de nitrógeno que contenga la muestra. En este método Kjeldahl-Gunning se usa sulfato de cobre como catalizador y el sulfato de sodio para aumentar la temperatura de la mezcla y acelerar la digestión (DOF, 1980). Como se muestra a continuación:



**Figura 10.** Diagrama en el cual se muestra la digestión de los compuestos de nitrógeno para el método Kjeldahl-Gunning.

Para realizar los cálculos utilice:

$$\% N = \frac{V \times N \times 0.014 \times 100}{m}$$

Donde:	
V	mL de ácido clorhídrico
N	Normalidad del HCl
m	masa en g de muestra
N%	porcentaje de nitrógeno

### Aplicaciones

Se aplica para la determinación de proteínas en alimentos como: Pan, trigo, arroz, germen de trigo, maíz, soya, cereales, pastas y leche (DOF, 1980).

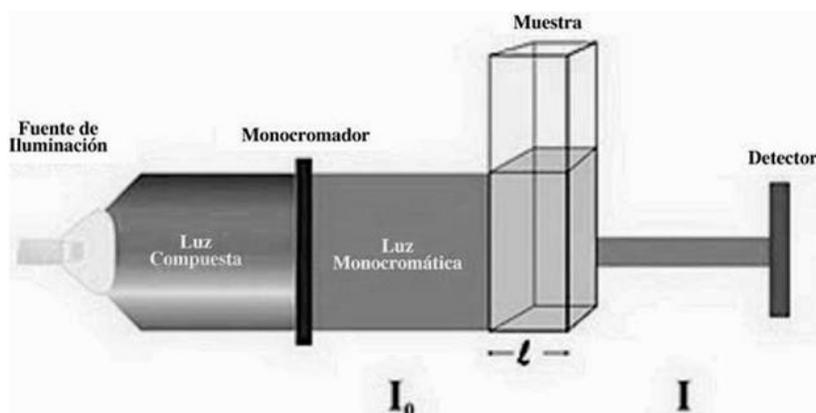
## 5.7 Espectrometría de UV-visible

Se aplicó para la cuantificación de moléculas orgánicas como; auxinas, giberelinas y citoquininas, también; Fe, Ca y Mg (Kumari et al., 2013).

La espectroscopía de absorción UV-Visible es una técnica instrumental que se basa en la absorción de radiación electromagnética por parte de analitos en la zona ultravioleta y visible del espectro (Gallego et al., 2013). En la figura 11 se muestra el esquema de una medida de absorción de radiación UV-Visible, empleando un espectrofotómetro UV-Visible de haz simple.

Para la medida de absorción de la radiación por parte de un compuesto presente en una disolución que absorbe fotones de longitud de onda visible y la obtención de su espectro característico, se utiliza un aparato denominado espectrómetro (Gallego et al., 2013).

La medida de absorbancia tiene mucho interés desde el punto de vista analítico, ya que se emplea muy frecuentemente para realizar análisis cuantitativos, puesto que la intensidad del haz de luz incidente se va atenuando a medida que atraviesa la cubeta con la muestra debido a la absorción de las moléculas presentes en la disolución (Gallego et al., 2013).



**Figura 11.** Esquema de una medida de la absorción de radiación UV-Visible, empleando un espectrofotómetro UV-Visible de haz simple (Gallego et al., 2013).

### Aplicaciones

Se hacen también determinaciones de grupos orgánicos cromóforos para hacer su determinación cuantitativa. También se absorben numerosas especies inorgánicas y son, por tanto, susceptibles de determinaciones directas como lo es en el caso de los metales de transición. Entre otras especies absorbentes están los iones nitrilo, nitrato y cromato, los tetróxidos de osmio y rutenio; el yodo molecular y ozono (Skoog et al., 2001).

### **5.8 Espectrometría de Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR).**

Es una técnica utilizada en las investigaciones realizadas para llevar a cabo la identificación de los grupos funcionales de las clorofilas presentes en el sargazo (Thompson et al., 2020).

La espectroscopía de infrarrojo es una técnica analítica que sirve para determinaciones cualitativas de grupos funcionales dentro de una molécula. Su análisis puede utilizarse para la identificación de sustancias puras (Navarro, 2018).

El espectro de infrarrojo es una de las propiedades características de un compuesto, ya que los espectros no son iguales para distinto tipo de compuestos. La región de importancia analítica destaca entre 4000 a 1 600  $\text{cm}^{-1}$ , porque es la región en la cual se encuentran las vibraciones características de los grupos funcionales particulares (Carey, 2006).

Las ventajas de un instrumento interferométrico en la espectrometría de FTIR es que su capacidad es mayor debido a que toda la radiación es transmitida. Porque interacciona con todas las longitudes de onda y no con una pequeña parte a la vez. Este instrumento mide todas las frecuencias del infrarrojo, por

tanto, se obtiene en pocos segundos un espectro cuya resolución es mejor al instrumento de rejilla (Gary, 2009).

### Aplicaciones

Análisis de polímeros, cuantificación de contaminantes, aplicaciones biológicas, identificación de pigmentos, aplicación en patrimonio cultural, productos de degradación, formulación de pinturas, análisis de fármacos, alimentos, minerales y arcillas (Stuart, 2004).

## 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Investigaciones que reportan la aplicación de sargazo como fertilizante.

De acuerdo con las investigaciones realizadas de forma previa con respecto al sargazo utilizado como fertilizante en suelos, el empleo de esta alternativa puede ser bastante amplio. A continuación, se describen los artículos que se enfocan en el empleo del sargazo como fertilizante.

El objetivo de presentar estas investigaciones es dar a conocer las aplicaciones que tiene el sargazo y se deje de ver simplemente como una imagen deficiente para el turismo, como una plaga o basura, que se conozcan las propiedades de esta alga, del contenido de nutrientes, de metales que benefician el crecimiento de los cultivos, la utilización de un fertilizante natural que no dañe los suelos y se vuelva una opción rentable para nuestros agricultores y los beneficios que este tiene al ser de origen natural para preservar la salud de nuestros suelos y se dé a conocer el tema en México.

#### 1. Walsh et al. (2020). Examining the quality of a compost product derived from Sargassum. Department of agricultural Science, 30 (3), 331-336

El propósito de este proyecto fue evaluar la proporción adecuada de sargazo de las especies *Sargassum fluitans* y *Sargassum natans* como ingrediente en compostas utilizadas a gran escala para crear un producto de calidad en la utilización de productos de agricultura y horticultura. En este estudio se utilizaron grandes cantidades de sargazo, residuos de comida, pescado y astillas de madera, los cuales son ingredientes fácilmente disponibles en las comunidades costeras, para determinar las proporciones adecuadas y crear una composta de calidad.

Las pilas colectadas de sargazo de las costas se mezclaban con regularidad para airearlas y mezclar los ingredientes, se monitorearon de 5 a 7 días de

acuerdo con los estándares industriales de composta establecidos en la guía de campo para el compostaje en granja (Dougherty, 1999). Se realizaron diversos muestreos para tomar las medidas promedio, las cuales fueron: pH entre 5.5 y 9.0, contenido de humedad entre 40 y 65%, temperaturas aproximadas de 62°C en un mínimo de 3 días. Todo el proceso de compostaje duró 5 meses y se dejó de curar las pilas.

Durante esta investigación se utilizaron residuos de comida (vegetales, carne, lácteos y pan) utilizados como fuente principal de nitrógeno. Especies invasivas de peces como el plecostomus (*Hypostomus plecostomus*) y tilapia (*Oreochromis sp*) se incluyeron como fuente adicional de nitrógeno, astillas de madera provenientes de la hojarasca de los árboles se usaron como fuente primaria de carbono y como agente para promover la aireación en las pilas de composta.

Se llevó a cabo el desarrollo cuatro protocolos con tres replicas cada uno se enlistan en la tabla 3.

**Tabla 3.** Protocolos de las diferentes mezclas de composta para evaluar la proporción adecuada de sargazo (recuperado de: Walsh et al., 2020).

<b>Protocolo</b>	<b>Residuos de comida (%)</b>	<b>Astillas de madera (%)</b>	<b>Sargazo (%)</b>	<b>Residuos de pescado (%)</b>
A	17	41.5	41.5	-
B	13	41.5	41.5	4
C	21	50	25	4
D	25	50	25	-

Después de la elaboración de las compostas estas se sometieron a medir las siguientes características: Contenido de sales solubles, pH, nitrógeno y carbono total, contenido de materia orgánica, relación carbono / nitrógeno,

fósforo, potasio, calcio, magnesio, aluminio, cobre y zinc. Los resultados se presentan en la tabla 4.

**Tabla 4.** Comparación de resultados en la calidad de los protocolos A, B, C y D para evaluar la proporción adecuada de sargazo como ingrediente para otras compostas, para ser utilizado a gran escala en sistemas de compostaje (recuperado de: Walsh et al., 2020).

Variable (unidades)	Protocolo A resultados	Protocolo B resultados	Protocolo C resultados	Protocolo D resultados	Rango Normal
pH	7.3	7.3	7.8	7.2	5.0–8.5
sales solubles (mmho/cm)	2.92	4.2	3.87	3.01	1–10
sólidos (%)	63.6	65.4	69.2	71.2	50–60
Humedad (%)	36.4	34.6	30.8	28.8	40–50
Materia orgánica (%)	21.6	36.4	25.9	21.7	30–70 (Peso seco)
Nitrógeno total (%)	0.84	1.56	1.16	1.06	0.5–2.5 (Peso seco)
Carbono (%)	12.6	23.6	15.4	14.7	<54 (Peso seco)
Carbono:nitrógeno (relación)	13.2	15.1	13.2	13.9	<20 (Peso seco)
Fósforo (%)	0.471	0.842	0.797	0.864	—
Potasio (%)	0.35	0.49	0.45	0.43	—
Calcio (%)	12.02	18.66	14.37	12.22	—
Magnesio (%)	0.4	0.46	0.4	0.33	—
Azufre (%)	0.18	0.23	0.21	0.18	—
Sodio (mg·kg <sup>-1</sup> )	1,410	2,646	2,043	1,610	—
Aluminio (mg·kg <sup>-1</sup> )	3,872.52	5,556.41	4,496.53	4,646.16	—
Hierro (mg·kg <sup>-1</sup> )	3,932.41	4,348.22	4,193.09	4,172.5	—
Manganeso (mg·kg <sup>-1</sup> )	206.26	155.9	187.86	145.46	—
Cobre (mg·kg <sup>-1</sup> )	19.09	15.74	17.8	16.78	—
Zinc (mg·kg <sup>-1</sup> )	49.01	61.29	59.99	59.13	—
Bioensayo: aparición (% de control)	100	100	100	100	>90 (muy maduro)
Bioensayo: vigor de plántula (%)	100	100	100	100	>95 (muy maduro)

El protocolo “B” fue el que obtuvo mejores resultados de acuerdo con la tabla 2 no rebasa los límites de metales.

Cumpliendo, además, con las condiciones para el compostaje activo en la figura 12.

Parámetro	Rango
Relación carbón:nitrógeno	20:1–40:1
Contenido de humedad	40–65%
Concentración de oxígeno	>5%
Tamaño de partícula (Diámetro en pulgadas)	0.5–2
Porosidad de la pila	>40%
Densidad a granel Lb/yd <sup>3</sup>	800–1,200
pH	5.5–9.0
Temperatura (°F)	110–150

**Figura 12.** Condiciones recomendadas para el compostaje (Dougherty, 1999).

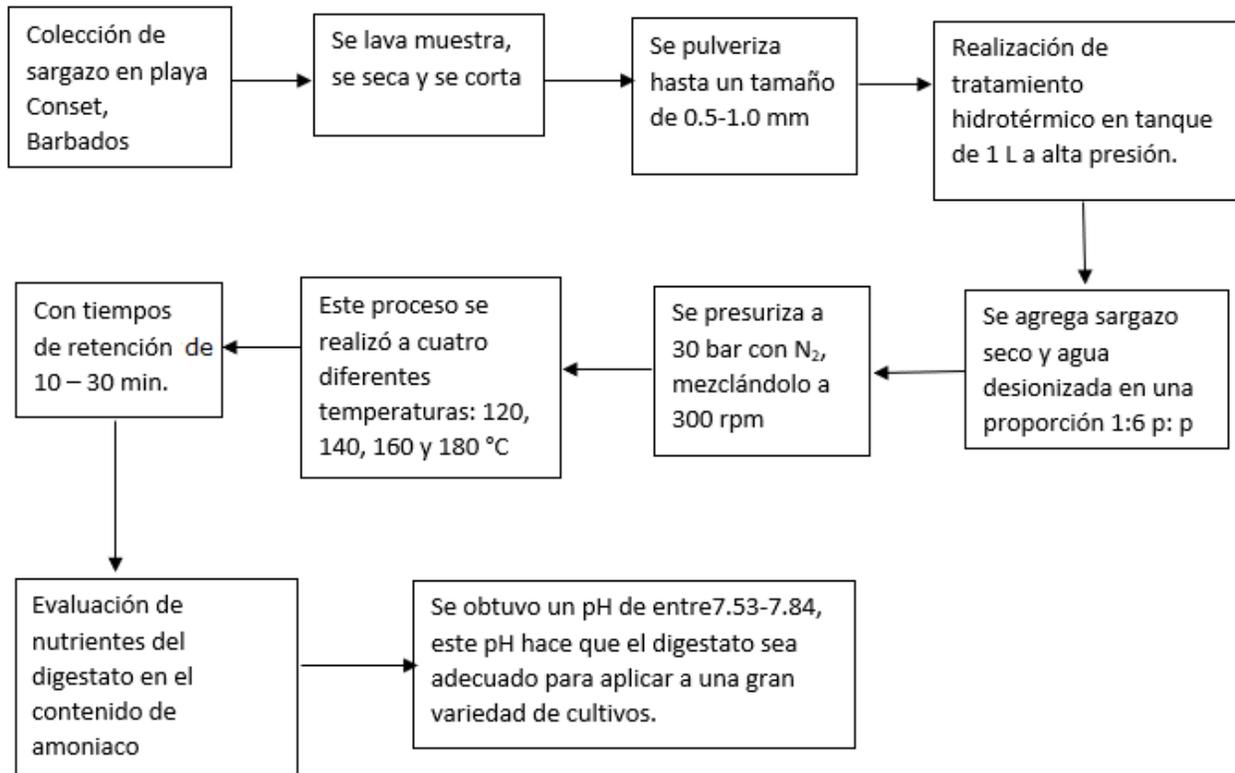
Se recomienda de forma adicional la instrucción a comunidades sobre la remoción de sargazo. Métodos como composteo, vertederos, el mantenimiento de las dunas, lo cual les permita tomar decisiones que permitan enfocarse en el mantenimiento de las playas.

Hay evidencia de que el sargazo es adecuado para ser utilizado como materia prima para el compostaje. Cuando evaluamos el manejo de grandes arribos de sargazo a las playas, cabe señalar que la flora costera se beneficia de ella. El proceso de compostaje se puede utilizar para descomponer apropiadamente la biomasa en grandes cantidades y ayudar a la Costa del Golfo a avanzar hacia metas de cero desperdicios.

2. Thompson et al. (2020). Efficiency of hydrothermal pretreatment on the anaerobic digestion of pelagic sargassum for biogas and fertiliser recovery. Fuel 279 (2020) 118527

Esta investigación se centra en el aprovechamiento de algas cafés en la producción de bio-gas y fertilizantes mediante un tratamiento hidrotérmico previo de la muestra, en este caso con dos especies de sargazo pelágico: Sargassum natans y Sargassum fluitans. Además, de evaluar sus propiedades

fisicoquímicas, el efecto del pretratamiento hidrotérmico en las condiciones de operación en la fermentación del metano microbiano y explorar la viabilidad de utilizar el digestato resultante en la agricultura como biofertilizante.



**Figura 13.** Diagrama de flujo del tratamiento del sargazo para la obtención de bio-gas y el digestato.

En las tablas 5 y 6 se puede ver la comparación de contenido entre la muestra sin y con pretratamiento hidrotérmico, para ver el efecto que este tiene.

Las técnicas utilizadas para el contenido de metales fueron determinados mediante espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo, el contenido de ácidos grasos volátiles fue analizado mediante cromatografía de gases.

**Tabla 5.** Macronutrientes distribuidos en el digestato, muestra sin pretratamiento hidrotérmico (recuperado de: Thompson et al., 2020).

<b>Muestra sin tratar (Control)</b>				
<b>Propiedad/Elemento</b>	<b>Fracción líquida (mg/L)</b>	<b>% de recuperación</b>	<b>Fracción sólida (mg/Kg)</b>	<b>% de recuperación</b>
pH	7.67±0.05	-	7.53±0.02	-
N-total	2697.15±62.47	51.83±1.29	2506.69±78.52	48.17±1.03
P	25.87±0.39	3.03±0.82	829.26±17.99	96.97±0.20
K	6039.93±45.90	12.09±1.11	43933.16±755.65	87.91±1.95
S	517.08±9.51	4.90±1.10	10032.17±214.69	95.10±1.31
Na	1928.67±17.17	12.95±1.34	12962.02±283.87	87.05±2.59
Mg	486.83±1.61	5.91±0.25	7746.95±127.83	94.09±1.50
Ca	361.21±2.75	0.74±0.11	48533.99±956.10	99.26±3.90

**Tabla 6.** Macronutrientes distribuidos en el digestato, muestra con pretratamiento hidrotérmico (recuperado de: Thompson et al., 2020).

<b>Muestra pretratada</b>				
<b>Propiedad/Elemento</b>	<b>Fracción líquida (mg/L)</b>	<b>% de recuperación</b>	<b>Fracción sólida (mg/Kg)</b>	<b>% de recuperación</b>
pH	7.78±0.02	-	7.84±0.03	-
N-total	3282.06±27.44	63.07±1.38	1921.77±62.65	36.93±2.59
P	32.89±0.40	3.85±0.17	822.24±9.95	96.15±4.45
K	6807.22±68.75	13.62±2.12	43165.87±483.46	86.38±3.22
S	921.28±14.28	8.73±1.71	9627.97±152.12	91.27±1.97
Na	2117.31±24.77	14.22±2.06	12773.38±235.03	85.78±.30
Mg	507.68±8.43	6.17±1.28	7726.10±63.35	93.83±0.79
Ca	446.73±5.58	0.91±0.18	48448.47±644.36	99.09±2.26

La carga de nutrientes en la fracción líquida con P y K produciría un fertilizante líquido de algas marinas de alta calidad o acondicionador de suelo, ampliando así su comercialización para mayores oportunidades. Por otro lado, la fracción sólida del digestato retuvo la mayoría de los nutrientes esenciales de la materia prima original y se puede aplicar en tierras agrícolas como biofertilizante.

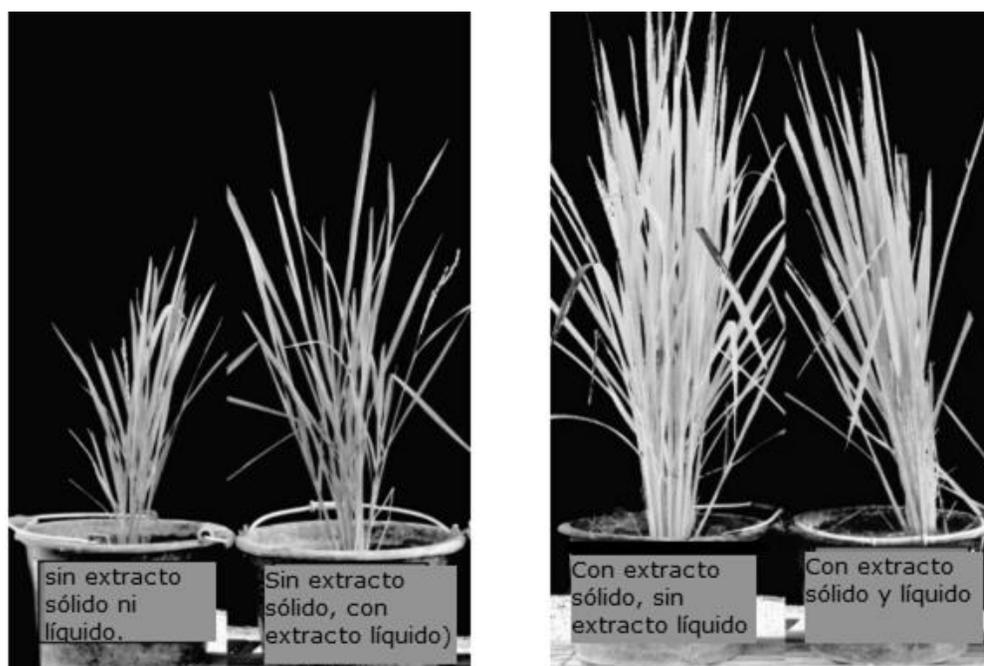
Este artículo ofrece una solución viable en la gestión y eliminación al desafío de la afluencia masiva de sargazo a las costas del Caribe, África Occidental, Golfo de México y América del Norte.

3. Sunarpi et al. (2020). Effect of Solid and Liquid Extracts of Lombok *Sargassum cristafolium* on Growth and yield of Rice Plants (*Oryza sativa* L.). *Journal Biology Tropis.*, 20(3): 320-328

El objetivo de este artículo fue estudiar las propiedades del fertilizante tanto en forma líquida como sólida que se pueden obtener de *Sargassum cristafolium* en plantas de arroz (*Oryza sativa* L.), y su efecto como fertilizante en cultivos de arroz al medir parámetros como: Crecimiento, rendimiento y una absorción más rápida de elementos esenciales.

Para el desarrollo del experimento se tomaron muestras de *S. cristafolium* fue colectada en las costas de la Playa Batulayar de Lombok en Indonesia, la muestra fue lavada y puesta a secar, para ser cortada en trozos pequeños para mezclar 350 g de muestra para obtener el extracto sólido y mezclarlo con 6 650 g de suelo. Para el extracto líquido se tomó sargazo seco y se mezcló en una proporción de 1 kg por cada 3 L de agua, se dejó hervir durante 30 minutos y así obtener el extracto. Esta última concentración se le consideró al 100% (v/v) con la cual se realizaron diluciones para alcanzar una concentración hasta el 10 (%v/v).

Se llevaron a cabo tres tratamientos. El primer tratamiento no incluía ni extracto sólido ni líquido, se tomó como control únicamente suelo, al segundo sin extracto sólido, pero, con extracto líquido, al tercero con extracto sólido, y sin extracto líquido, al cuarto con extracto sólido y con extracto líquido al 10%. Cada experimento se realizó por triplicado, el experimento duró 21 días a partir de la siembra. Los resultados fueron los mostrados en la figura 14.



**Figura 14.** Efecto del extracto sólido y líquido de *S. cristafolium*; control (sin extracto sólido, ni líquido); P0 + Esc (sin extracto sólido, con extracto líquido); P+E0 (con extracto sólido, sin extracto líquido) (recuperado de: Sunarpi et al., 2020).

Para las moléculas orgánicas de extractos líquidos se realizó la utilización de cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC) y para elementos metálicos en extractos sólidos se utilizó espectrometría de absorción atómica. Los resultados se muestran en la figura 15.

Extracto líquido	Extracto sólido	Contenido de hormona (mg/mL)	Contenido de elementos esenciales (% peso seco)
IAA (Ácido-3-indol acético)		0.191±0.01	
	N		0.52±0.02
	P		0.08±0.002
	K		6.11±0.28
	Ca		0.85±0.07
	Fe		55±2.10
	Mn		8.5±0.26

**Figura 15.** Hormona de crecimiento y elementos esenciales contenidos en el extracto líquido y sólido de *S. cristafolium* (recuperado de: Sunarpi et al., 2020).

Este artículo reportó el efecto de los extractos sólidos y líquidos de *Sargassum cristafolium* en plantas de arroz. Sin embargo, el extracto sólido mostró una influencia significativa, en todo el crecimiento y rendimiento de parámetros en las plantas de arroz.

Los datos indican que el extracto líquido estimula el crecimiento mediante la hormona de crecimiento ácido índol-3-acético (IAA), mientras que el extracto sólido provee elementos esenciales como: N, P, K, Ca, Fe y Mn. Debido a esto es la razón por la cual ambos extractos mejoran el crecimiento y producción de plantas de arroz de manera significativa.

Se concluye que el extracto sólido es la vía de aplicación más benéfica. Ya que esta forma provee elementos esenciales al suelo para mejorar el crecimiento y rendimiento de las plantas de arroz. En contraste con el extracto líquido que solo provee la hormona de crecimiento IAA, lo cual no es suficiente para mejorar el rendimiento y desarrollo del cultivo.

4. Sriyuni et al. (2020). Application on seaweed extract *Sargassum cristaeifolium* and amino acid to growth and yield of upland rice (*Oryza sativa* L.). International Journal of Scientific & Technology research, volume 9

El objetivo de este estudio fue analizar el efecto del extracto de *Sargassum cristaeifolium* enriquecido con aminoácidos para el crecimiento y rendimiento del arroz de montaña (*Oryza sativa* L.).

El alga fue colectada en la playa de Nirvana en la Ciudad de Padang al oeste de Sumateria. *S. cristafolium* fue limpiado totalmente, se lavó con agua corriente y se dejó secar durante 4 días. Finalmente fue triturada en un molinillo, después fue sumergida en agua caliente en una proporción de 1:20 (m/v), esta mezcla se agitó durante 24 h y filtrada. El filtrado se disolvió en un litro de agua destilada y se almacenó en una botella.

Los aminoácidos glutamina, alanina, glicina y triptófano fueron disueltos en agua destilada para agregarlos a cada tratamiento.

Se realizó un experimento aleatorio de cinco tratamientos con tres replicas cada uno: 1) *S. cristaefolium* sin aminoácidos, 2) *S. cristaefolium* + glutamina, alanina y glicina (1.6, 0.8 y 1.4%), 3) *S. cristaefolium* + alanina, glicina y triptófano (0.8, 1.4, y 0.01%), 4) *S. cristaefolium* + glutamina, alanina y triptófano (1.6, 0.8 y 0.01%), 5) *S. cristaefolium* + glutamina, alanina, glicina y triptófano (1.6, 0.8, 1.4 y 0.01%).

A cada tratamiento (cultivo de semillas) se le agregó 25 mL de la mezcla de extracto líquido más la adición de aminoácidos. El líquido se aplicó por aspersión en las hojas a los 15 días después de la siembra. Finalmente se procedió a medir diferentes parámetros mostrando los resultados de la figura 16. En la figura 17 se muestran los contenidos de clorofila a, clorofila b y clorofila total.

#### Preparación del extracto de *S. cristaefolium*

Tratamientos	Altura de planta (cm)	peso fresco del tallo (g)	peso seco del tallo (g)	peso fresco de raíz (g)	peso seco de raíz (g)	Edad de floración ( día)
Control	80,67	181,46	42,34	70,57	9,89	84,33
Aminoácido 1	78,00	239,86	49,49	93,87	15,97	83,00
Aminoácido 2	79,17	187,89	46,49	64,88	11,79	83,00
Aminoácido 3	81,83	179,39	44,66	63,80	10,21	84,00
Aminoácido 4	81,00	190,48	45,33	52,45	9,29	85,33

**Figura 16.** 1) *S. cristaefolium* sin aminoácidos, 2) *S. cristaefolium* + glutamina, alanina y glicina (1.6, 0.8 y 1.4%), 3) *S. cristaefolium* + alanina, glicina y triptófano (0.8, 1.4 y 0.01 %) 4) *S. cristaefolium* + glutamina, alanina y triptófano (1.6, 0.8 y 0.01%), 5) *S. cristaefolium* + glutamina, alanina, glicina y triptófano (1.6, 0.8, 1.4 y 0.01%) (recuperado de: Sriyuni et al., 2020).

Tratamientos	Clorofila a (mg/l)	Clorofila b (mg/l)	Clorofila total (mg/l)
Control	1,10	1,62	2,74
Aminoácido 1	1,22	2,09	3,31
Aminoácido 2	1,19	1,89	3,08
Aminoácido 3	1,03	1,39	2,43
Aminoácido 4	1,01	1,38	2,40

**Figura 17.** 1) *S. cristaefolium* sin aminoácidos, 2) *S. cristaefolium* + glutamina, alanina y glicina (1.6, 0.8 y 1.4%), 3) *S. cristaefolium* + alanina, glicina y triptófano (0.8, 1.4 y 0.01 %) 4) *S. cristaefolium* + glutamina, alanina y triptófano (1.6, 0.8 y 0.01%), 5) *S. cristaefolium* + glutamina, alanina, glicina y triptófano (1.6, 0.8, 1.4 y 0.01%). Efecto de *S. cristaefolium* agregado con aminoácidos en la producción de clorofilas. (recuperado de: Sriyuni et al., 2020).

En conclusión, los resultados mostraron que la aplicación de *S. cristaefolium* combinado con aminoácidos alanina, glutamina y glicina es recomendado para estimular el crecimiento. La aplicación de *S. cristaefolium* con glutamina, alanina, glicina triptófano es recomendada para mejorar el rendimiento de las plantas. El tratamiento 1 mostró los más altos resultados en peso seco y fresco de raíces, clorofila a, clorofila b y clorofila total.

5. Silva et al. (2019). Production of biofertilizer from *Ascophyllum nodosum* and *Sargassum muticum* (Phaeophyceae). Journal of oceanology and Limnology. Springer Link. 37(3), 918-927

Este trabajo se enfoca a realizar la evaluación de extractos obtenidos de las algas *Ascophyllum nodosum* y *Sargassum muticum* como biofertilizantes en lechuga verde y morada.

Las algas utilizadas fueron colectadas en el Norte de Praia en la Bahía de Buarcos. Fueron utilizados dos tipos de extractos: Extracto crudo acuoso y extracto procesado acuoso. Cuyos métodos de obtención son los siguientes:

### Extracción con agua destilada (Extracto crudo acuoso)

Se procede a lavar la muestra de *S. muticum* con agua destilada se pone a secar totalmente, después se reduce su tamaño triturándola, se mezcla con agua destilada y se calienta en una olla de presión (olla exprés) el jugo obtenido se filtra y se le retira toda clase de partículas, al enfriarse se almacena entre los 2 y 4 °C. A la concentración del extracto se le considera al 100% (v/v) (Oliveira et al., 1991).

### Extracción con metanol (Extracto procesado acuoso)

En este caso la muestra de *Sargassum muticum* también es puesta a secar totalmente es triturada y metida a un rotavapor con 2 500 mL de metanol al final del proceso la muestra es filtrada al vacío con ayuda de un matraz Kitasato, posteriormente a esa extracción acuosa se repone el volumen con agua destilada y se lleva a ebullición, se agita durante un tiempo de 2 h y se deja enfriar. Finalmente se filtra al vacío utilizando silica, desechando la parte sólida, la solución acuosa se considera de concentración al 100 % (v/v), se almacena entre 2 y 4 °C (Ghisalberti, 1979).

Para la extracción con agua y la realizada con metanol se realizaron diluciones para obtener concentraciones de 25, 75 y 100% (v/v) y un control con agua destilada para los dos tratamientos. Se aplicaron 50 mL de las diluciones en los medios de germinación en cajas Petri, los cuales se incubaron a 25 °C durante 7 días y se evaluaron parámetros como: porcentaje de germinación, índice de germinación y porcentaje de materia seca.

Las semillas provenientes de lechuga verde y morada germinaron en diferentes concentraciones tuvieron el máximo valor en porcentaje de germinación con la concentración del extracto al 25% de ambos tratamientos y se vio un efecto negativo con la concentración al 100%. La figura 18 muestra la influencia de los cuatro tratamientos a diferente concentración mostrando

el índice de germinación de semillas y porcentaje de materia seca en lechuga verde y morada, en la figura 19 muestra el contenido de materia orgánica, conductividad eléctrica (EC), pH, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, CaO y MgO. La medición de parámetros como diámetro de planta, largo de raíz, materia seca y fresca se muestran en la figura 20.

Tratamiento	Concentración extracto	PG		IGS		PMS	
		Verde	Morada	Verde	Morada	Verde	Morada
T0	0%	94	93	43.76	42.95	2.4	2.5
T1	100%	72	87	31.62	39.43	5.4	6.2
T1	75%	81	93	36.90	40.90	5.0	4.8
T1	25%	95	94	43.90	42.95	4.5	3.5
T2	100%	86	88	38.28	40.9	11.7	5.7
T2	75%	94	89	42.76	41.05	2.1	4.2
T2	25%	99	95	46.81	44.57	2.2	3.3
T3	100%	74	79	38.57	37.62	8.3	4.0
T3	75%	90	79	42.52	36.95	3.0	2.7
T3	25%	93	92	43.62	43.48	3.1	2.9
T4	100%	90	89	42.19	41.71	3.8	3.7
T4	75%	92	93	42.48	42.95	2.4	2.2
T4	25%	95	93	45.24	43.95	2.9	2.0

T0: Agua destilada (0% de extracto algal); T1 ECA *A. nodosum*; T2: ECA *S. muticum*; T3: EPA *A. nodosum* and T4: EPA *S. muticum*.  
ECA, Extracto acuoso EPA, Extracto acuoso procesado

**Figura 18.** Análisis de porcentaje de germinación (PG); índice de germinación de semillas (IGS) y porcentaje de materia seca (PMS) para lechuga verde y morada (recuperado de: Silva et al., 2019).

Parámetro	Muestra					
	Cero	T0	T1	T2	T3	T4
Materia orgánica (%)	26.42	26.51	24.40	34.78	31.53	26.06
pH (H <sub>2</sub> O)	6.6 N	6.6 N	7.1 N	7.2 N	7.1 N	7.1 N
EC (mS/cm)	0.21 N	0.20 N	0.11 N	0.12 N	0.10 N	0.12 N
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/L)	138.6 M	78.6 B	78.8 B	80.1 B	64.0 B	60.4 B
K <sub>2</sub> O (mg/L)	621 MA	312 A	342 A	312 A	192 M	183 M
CaO (mg/L)	87.5 B	76.9 B	70.0 B	65.8 B	61.6 B	4.1 MB
MgO (mg/L)	14.94 MB	14.94 MB	11.62 MB	12.45 MB	13.28 MB	8.31 B

T0: agua destilada (0% de extracto algal); T1: ECA 25% *A. nodosum*; T2: ECA 25% *S. muticum*; T3 EPA 25% *A. nodosum*, y T4: EPA 25% *S. muticum*; N: neutral; A: alto; B: bajo; M: mediano; MB: medio bajo; MA: medio alto

**Figura 19.** Influencia de los 4 tratamientos en el desarrollo de lechuga verde y morada (recuperado de: Silva et al., 2019).

Tratamiento Lechuga	Diámetro de planta (cm)	Largo de raíz (cm)	Materia fresca		Materia seca		
			Hojas (g)	Raíz (g)	Hojas (g)	Raíz (g)	
T0	Verde	26.30±5.25 <sup>a</sup>	35.30±6.40 <sup>a</sup>	78.15±14.38 <sup>a</sup>	83.03±14.19 <sup>b</sup>	9.79±1.55 <sup>a</sup>	19.03±0.11 <sup>a</sup>
	Morada	21.80±1.32 <sup>a</sup>	36.30±4.95 <sup>ab</sup>	50.80±8.17 <sup>b</sup>	43.54±5.43 <sup>bc</sup>	5.47±1.02 <sup>b</sup>	8.22±1.78 <sup>c</sup>
T1 (25%)	Verde	19.60±3.03 <sup>b</sup>	36.70±5.52 <sup>a</sup>	47.21±3.62 <sup>bc</sup>	56.36±15.73 <sup>b</sup>	7.47±2.19 <sup>a</sup>	11.67±4.70 <sup>b</sup>
	Morada	21.10±2.85 <sup>a</sup>	35.80±2.82 <sup>ab</sup>	55.64±13.52 <sup>a</sup>	47.02±8.22 <sup>b</sup>	7.51±1.53 <sup>a</sup>	9.64±3.06 <sup>bc</sup>
T2 (25%)	Verde	21.40±2.91 <sup>b</sup>	40.15±4.47 <sup>a</sup>	53.69±15.77 <sup>a</sup>	49.24±14.36 <sup>b</sup>	7.64±1.95 <sup>a</sup>	10.94±3.80 <sup>b</sup>
	Morada	22.00±2.31 <sup>b</sup>	40.00±3.27 <sup>a</sup>	54.21±9.37 <sup>a</sup>	38.03±6.62 <sup>bc</sup>	5.39±0.95 <sup>b</sup>	7.50±1.76 <sup>c</sup>
T3 (25%)	Verde	22.70±3.56 <sup>ab</sup>	36.90±4.25 <sup>a</sup>	52.22±13.58 <sup>a</sup>	52.70±16.60 <sup>b</sup>	8.05±2.03 <sup>a</sup>	11.93±5.46 <sup>b</sup>
	Morada	19.30±2.71 <sup>a</sup>	37.00±4.97 <sup>ab</sup>	49.33±6.65 <sup>b</sup>	34.68±7.40 <sup>c</sup>	4.94±1.01 <sup>b</sup>	5.35±1.31 <sup>a</sup>
T4 (25%)	Verde	25.70±2.26 <sup>a</sup>	36.80±4.42 <sup>a</sup>	36.80±4.42 <sup>c</sup>	105.99±25.9 <sup>a</sup>	12.07±2.05 <sup>a</sup>	24.79±10.38 <sup>a</sup>
	Morada	22.50±3.60 <sup>ab</sup>	34.20±3.22 <sup>b</sup>	62.94±9.66 <sup>a</sup>	63.61±14.68 <sup>b</sup>	6.40 ±1.26 <sup>b</sup>	12.29±5.59 <sup>b</sup>

T0: agua destilada; T1 ECA *A. nodosum*; T2: ECA *S. muticum*; T3: EPA *A. nodosum* T4: EPA *S. muticum*  
 ECA, Extracto crudo acuoso EPA, Extracto procesado acuoso

**Figura 20.** Parámetros analizados en las muestras de suelo (recuperado de Silva et al., 2019).

Comparando los valores de los diferentes parámetros con los tratamientos aplicados en las dos variedades de lechuga, incluido el control, los extractos de alga utilizados en este experimento, se observó que los extractos estimularon el crecimiento. A menores concentraciones el extracto de alga influye positivamente el crecimiento en el desarrollo de las estructuras vegetales y se encontró que al utilizar la concentración del extracto al 25% exhibieron un crecimiento significativo en comparación con las plantas de control.

En conclusión, para mejorar el cultivo orgánico y la producción de alimentos de la cual ha incrementado la demanda de la búsqueda de otras fuentes alternativas que puedan ser utilizadas para nutrir a las plantas y así bien para proteger la salud humana y ambiente. Aquí las algas pueden tomar parte como una fuente orgánica, saludable y fuente nutritiva.

Esto muestra que hay un reto interesante en futuros estudios para la aplicación de extracto de algas como biofertilizante.

6. Mahmoud et al. (2019). Utilization of seaweed (*Sargassum vulgare*) extract to enhance growth, yield, and nutritional quality of red radish plants. *Annals of Agricultural Sciences* 64 (2019) 167-175

El objetivo de este estudio fue investigar el efecto del extracto del alga café *Sargassum vulgare* contenido en un producto comercial ACTION®, Se puso a prueba el extracto líquido al remojar semillas de rábano rojo antes de la siembra en una concentración de 3mL de extracto en 1 L de agua destilada por 12 horas, se realizó una aplicación foliar del producto en tres diferentes diluciones: 1, 2 y 3 mL/L y agua la cual fue utilizada como control, la aplicación se llevó a cabo 20 días después de haber remojado las semillas.

El experimento se realizó de forma aleatoria distribuida en subcultivos que consistían en 3 filas de 2 m de largo y 0.7 m de ancho con un área de 4.2 m<sup>2</sup>. Cada fila representó una réplica es decir se realizó cada experimento por triplicado.

El contenido nutrimental del producto se enlista en la figura 21.

Componente	Valor	Componente	Valor
N	1%	Auxinas	11 mg/l
K	18.5%	Citoquininas	0.03 mg/l
Ca	0.17%	Otras hormonas	600 ppm
Mg	0.42%	Ácidos algínicos	10–12%
Fe	0.06%	Glicina	20%
S	2.2%		

**Figura 21.** Composición química del producto de extracto líquido de *Sargassum vulgare* ACTION® (recuperado de: Mahmoud et al., 2019).

Los parámetros medidos como el largo de planta y el número de hojas por planta por el efecto del extracto de alga en semillas previamente remojadas se presentan en la figura 22.

Tratamientos		Largo de la planta (cm)		hojas por planta	
Remojo de semillas		1o	2o	1o	2o
aplicación foliar					
<b>semillas remojadas en agua</b>	Control	25.3 ± 0.58	24.3 ± 0.58	10.7 ± 0.58	9.3 ± 0.58
	1 ml/l	28.7 ± 0.58	28.3 ± 0.58	13.3 ± 0.58	13.7 ± 0.58
	2 ml/l	30.0 ± 1.0	30.7 ± 1.15	14.0 ± 1.0	15.0 ± 1.0
	3 ml/l	30.7 ± 0.58	31.0 ± 1.0	14.7 ± 0.58	15.0 ± 1.2
	Control	28.7 ± 0.62	29.0 ± 0.53	12.3 ± 1.00	13.0 ± 0.58
<b>Semillas remojadas en extracto</b>	1 ml/l	32.3 ± 0.58	33.0 ± 1.0	15.0 ± 1.0	15.5 ± 1.00
	2 ml/l	34.0 ± 2.0	34.3 ± 0.58	16.7 ± 0.58	16.3 ± 0.58
	3 ml/l	34.0 ± 1.0	34.7 ± 0.58	17.3 ± 0.58	17.0 ± 0.29
	Control	27.0	26.6	11.5	11.2
	1 ml/l	30.5	30.7	14.2	14.6
<b>Medidas promedio</b>	2 ml/l	32.0	32.5	15.3	15.7
	3 ml/l	32.3	32.8	16.0	16.0
	Diferencia menos significativa al 5%				
semillas remojadas		0.62	0.62	0.62	0.18
aplicación foliar		0.75	0.72	0.50	0.74
interacción		1.06	1.02	0.71	1.05

**Figura 22.** Efecto del extracto de alga en semillas remojadas previamente a la siembra como en la aplicación foliar de *S. vulgare* 20 días después de la siembra en largo y hojas por planta (recuperado de: Mahmoud et al., 2019).

Los resultados arrojados por los parámetros medidos 20 días después del remojo de semillas se muestran en las figuras 23 y 24.

Tratamientos		peso fresco (g)			
		hojas		raíces	
Remojo de semillas aplicación foliar		1°	2°	1°	2°
semillas remojuadas en agua	control	64.8	64.3	46.3	45.1
		± 2.1	± 5.2	± 1.00	± 0.24
	1 ml/l	82.8	83.8	49.9	50.9
		± 5.4	± 3.0	± 1.52	± 0.59
	2 ml/l	92.3	99.1	53.6	54.0
		± 1.6	± 1.6	± 1.49	± 0.55
	3 ml/l	96.8	100.0	54.8	54.9
		± 2.3	± 0.3	± 0.46	± 0.53
Semillas remojuadas en extracto	control	78.4	75.6	49.0	48.7
		± 2.7	± 1.1	± 1.18	± 0.53
	1 ml/l	101.8	107.4	54.0	54.6
		± 8.2	± 1.8	± 0.54	± 1.14
	2 ml/l	128.5	133.5	60.4	60.8
		± 3.4	± 3.5	± 0.99	± 0.45
Medidas promedio	3 ml/l	131.8	135.7	61.6	61.0
		± 3.2	± 0.5	± 1.16	± 0.62
Diferencia menos significativa al 5%	Control	27.0	26.6	11.5	11.2
	1 ml/l	30.5	30.7	14.2	14.6
	2 ml/l	32.0	32.5	15.3	15.7
	3 ml/l	32.3	32.8	16.0	16.0
	semillas remojuadas	0.62	0.62	0.62	0.18
	aplicacion foliar	0.75	0.72	0.50	0.74
	interacción	1.06	1.02	0.71	1.05

**Figura 23.** Efecto del extracto de alga en semillas remojuada previamente a la siembra como en la aplicación foliar de *S. vulgare* 20 días después de la siembra en hojas y raíces (recuperado de: Mahmoud et al., 2019).

Tratamientos		peso seco (g)			
		hojas		raíces	
		1°	2°	1°	2°
<b>Remojo de semillas aplicación foliar</b>					
<b>semillas remojadas en agua</b>	<b>control</b>	17.6	17.4	14.3	13.2
		± 1.24	± 1.12	± 1.26	± 1.26
	1 ml/l	26.7	26.9	17.0	15.3
		± 0.99	± 1.23	± 1.00	± 0.58
	2 ml/l	34.9	35.3	18.0	17.5
		± 2.30	± 0.99	± 1.00	± 0.50
	3 ml/l	36.7	36.6	18.3	18.2
		± 0.78	± 0.57	± 0.58	± 0.39
<b>Semillas remojadas en extracto</b>					
	<b>control</b>	20.5	19.6	14.8	14.5
		± 1.50	± 0.51	± 1.25	± 0.59
	1 ml/l	31.5	29.30	18.0	17.4
		± 1.59	± 0.95	± 1.73	± 0.35
	2 ml/l	37.7	38.0	20.0	19.5
		± 2.14	± 0.68	± 1.00	± 0.50
<b>Medidas promedio</b>	3 ml/l	39.4	38.1	20.0	19.9
		± 1.20	± 1.72	± 1.00	± 0.10
<b>Diferencia menos significativa al 5%</b>	Control	19.1	18.5	14.6	13.9
	1 ml/l	29.1	28.1	17.5	16.4
	2 ml/l	36.3	36.7	19.0	18.5
	3 ml/l	38.0	37.3	19.2	19.1
	semillas remojadas aplicación foliar interacción	1.91	0.61	0.72	0.48
	1.98	1.38	0.98	1.03	
	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	

**Figura 24.** Efecto del extracto de alga en semillas remojada previamente a la siembra, como en la aplicación foliar de *S. vulgare* 20 días después de la siembra, en peso seco de hojas y raíces (recuperado de: Mahmoud et al., 2019).

En este estudio se llevó a cabo la determinación de nutrientes para la cantidad de nitrógeno utilizando volumetría ácido-base mediante el método de Kjeldahl para la determinación de nitrógeno contenido en proteínas, para de fósforo se usó espectrometría de UV visible, K, Fe, Zn, y Mn fueron determinados utilizando espectrometría de absorción atómica.

El contenido elemental se muestra en las figuras 25 y 26.

Tratamientos		%					
		N		P		K	
		1°	2°	1°	2°	1°	2°
<b>Remojo de semillas aplicación foliar</b>							
<b>semillas remojadas en agua</b>	<b>control</b>	3.78	3.87	0.23	0.22	1.08	0.99
		± 0.11	± 0.06	± 0.03	± 0.03	± 0.11	± 0.20
	1 ml/l	4.13	4.07	0.34	0.32	1.26	1.17
		± 0.12	± 0.11	± 0.02	± 0.01	± 0.13	± 0.13
	2 ml/l	4.37	4.34	0.37	0.37	1.26	1.35
	± 0.04	± 0.15	± 0.01	± 0.01	± 0.16	± 0.10	
	3 ml/l	4.53	4.39	0.37	0.39	1.44	1.44
		± 0.03	± 0.06	± 0.01	± 0.01	± 0.12	± 0.16
<b>Semillas remojadas en extracto</b>	<b>control</b>	4.20	4.17	0.33	0.33	1.26	1.26
		4.07	4.10	0.28	0.26	1.46	1.14
	1 ml/l	± 0.06	± 0.10	± 0.03	± 0.03	± 0.20	± 0.31
		4.40	4.42	0.40	0.43	1.65	1.62
	2 ml/l	± 0.18	± 0.09	± 0.03	± 0.01	± 0.18	± 0.10
	4.85	4.64	0.44	0.46	1.98	1.98	
	3 ml/l	± 0.06	± 0.21	± 0.01	± 0.01	± 0.12	± 0.12
		5.13	5.12	0.47	0.48	2.16	2.16
		± 0.11	± 0.11	± 0.01	± 0.03	± 0.14	± 0.18
<b>Medidas promedio</b>	<b>Control</b>	3.93	3.99	0.26	0.24	1.27	1.07
	1 ml/l	4.27	4.25	0.37	0.38	1.44	1.44
	2 ml/l	4.61	4.49	0.41	0.41	1.62	1.62
	3 ml/l	4.83	4.76	0.42	0.43	1.80	1.80
	semillas remojadas aplicación foliar	0.19	0.22	0.03	0.01	0.09	0.09
	interacción	0.13	0.16	0.02	0.01	0.09	0.09
		0.18	0.23	0.04	0.01	0.09	0.18

**Figura 25.** Efecto del extracto de alga en semillas remojada previamente a la siembra como en la aplicación foliar de *S. vulgare* 20 días después de la siembra en contenido elemental en nitrógeno, fósforo y potasio (recuperado de: Mahmoud et al., 2019).

Tratamientos		ppm					
		Fe		Zn		Mn	
Remojo de semillas aplicación foliar		1°	2°	1°	2°	1°	2°
semillas remojadas en agua	control	115.0	116.6	22.0	21.3	33.5	31.9
		± 5.00	± 5.77	± 0.60	± 1.15	± 0.60	± 1.68
	1 ml/l	129.0	128.3	23.3	23.0	37.1	36.7
		± 6.56	± 2.89	± 0.58	± 1.00	± 1.79	± 1.53
	2 ml/l	151.7	163.3	24.7	25.0	38.9	38.7
	± 7.46	± 2.89	± 0.58	± 1.73	± 1.10	± 1.15	
	3 ml/l	170.0	186.6	25.3	26.0	43.5	43.1
		± 10.45	± 11.15	± 1.35	± 1.00	± 1.14	± 0.90
Semillas remojadas en extracto	control	141.4	148.7	23.8	23.8	38.2	37.6
		128.3	131.6	23.4	22.7	36.4	35.3
	1 ml/l	± 5.17	± 6.11	± 0.76	± 2.13	± 1.8	± 2.67
		150.0	155.0	25.3	26.3	42.7	42.7
	2 ml/l	± 10.00	± 8.66	± 2.08	± 0.58	± 1.15	± 1.15
	186.7	190.0	30.7	31.3	55.0	55.0	
Medidas promedio	3 ml/l	± 11.55	± 10.00	± 0.58	± 1.53	± 3.16	± 3.46
		193.3	203.3	32.7	33.7	61.8	61.7
		± 7.64	± 5.77	± 1.53	± 0.58	± 2.59	± 2.89
	Control	121.7	124.1	22.7	22.0	35.0	33.6
	1 ml/l	139.5	141.6	24.3	24.7	39.9	39.7
	2 ml/l	169.2	176.6	27.7	28.2	46.9	46.8
	3 ml/l	181.7	195.0	29.0	29.8	52.7	52.4
Diferencia menos significativa al 5%	semillas remojadas	5.60	9.32	0.72	1.56	1.24	0.56
	aplicacion foliar	13.37	10.63	0.63	0.90	1.73	1.92
	interacción	N.S.	N.S.	0.89	1.27	2.45	2.72

**Figura 26.** Efecto del extracto de alga en semillas remojada previamente a la siembra como en la aplicación foliar de *S. vulgare* 20 días después de la siembra en contenido elemental de hierro, zinc y manganeso (recuperado de: Mahmoud et al., 2019).

Los resultados obtenidos se deben a la aplicación del extracto el cual tiende a incrementar en las hojas el contenido total de clorofila lo cual mejora la capacidad y eficiencia de los procesos fotosintéticos esto mejora la disposición y absorción de nutrientes. Este es un efecto positivo reflejado en el crecimiento, el cual puede ser atribuido a la presencia de fitohormonas naturales y nutrientes presentes en el alga.

En cuanto el crecimiento y rendimiento de las plantas y su contenido nutricional obtenido, se puede decir que el extracto de *Sargassum vulgare* se

puede utilizar como estimulante en el crecimiento de semillas de rábano. Se cree que puede ser aplicado en la agricultura sostenible como un bien prometedor.

7. Nurcahya et al. (2019). The addition of different starters on characteristics *Sargassum sp* liquid fertilizer. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 246

El propósito de este estudio fue determinar el efecto de la adición de diferentes iniciadores pan (alimento básico que se elabora con una mezcla de harina de trigo, agua, sal y levadura), cinta (alimento para caballos) y templado (manteca de cacao) al extracto líquido de *Sargassum sp* en la producción de carbono orgánico, nitrógeno, fósforo y potasio. Los iniciadores de microorganismos suelen contener bioactivadores de mohos y levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*) que aceleran el proceso de fermentación del fertilizante líquido.

La muestra de *Sargassum sp* fue colectada de las costas de Gunung Kidul, costa sur de Yogyakarta en Indonesia. El sargazo fue lavado a profundidad y se puso a secar. Posteriormente se dejó remojar en agua corriente durante 2 h y fue cortada en trozos de 1-2 cm. Se pesaron 150 g y se mezclaron con 500 mL de agua destilada. Esta mezcla se calentó hasta 90°C durante 15 minutos. A la mezcla enfriada se le agregó 50 mL de molasa y se dejó enfriar. Se agregaron hojas de lamtoro como fuente de nitrógeno se agregó en un 25% de la materia prima total.

La mezcla fue dividida en tres y cada porción se le agregó un iniciador distinto, pan, cinta y templado al 10% respectivamente, para dejarse fermentar durante 14 días.

Se midieron parámetros como: pH, rendimiento, sólidos totales, macro y micronutrientes, tablas 7, 8 y 9.

**Tabla 7.** pH contenido de sólidos totales y rendimiento en el fertilizante de *Sargassum sp* (recuperado de: Nurchaya et al., 2019).

	pH	Contenido de sólidos totales (%)	Rendimiento (%)
Control	4.13±0.32	93.70±0.44	49.12±4.97
Iniciador Pan	5.43±0.06	94.36±0.61	50.44±7.61
Iniciador Cinta	4.23±0.15	93.24±1.05	42.62±7.22
Iniciador templado	4.17±0.32	92.57±1.08	30.87±5.21

**Tabla 8.** Macronutrientes contenidos en fertilizante de *Sargassum sp* (recuperado de: Nurchaya et al., 2019).

	N (%)	P (%)	K (%)	C (%)
Control	1.4±0.03	0.019±0.001	0.3607±0.05	2.21±0.28
Iniciador pan	2.7±0.04	0.045±0.002	0.5020 ±0.24	2.65±0.49
Iniciador cinta	1.6±0.02	0.032±0.004 <sup>l</sup>	0.3730±0.03	2.31±0.23
Iniciador templado	1.8±0.02	0.030±0.000	0.4310±0.06	2.57±0.36

**Tabla 9.** Micronutrientes contenidos en fertilizante de *Sargassum sp* (recuperado de: Nurchaya et al., 2019).

	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)
Control	35.87±5.35	3.12±0.68	2.96±0,75	0.58±0,11
Iniciador pan	22.17±2.01	2.07±0.31	3.03±0,08	0.63±0,05
Iniciador cinta	34.14±5.72	3.40±1.11	3.78±0,76	0.93±0,27
Iniciador templado	38.77±8.54	4.74±0.92	4.20±0,41 <sup>l</sup>	0.57±0,33

Para el ensayo utilizaron col china (*Brassica rapa*) formando cultivos en bolsas de plástico, llenadas con 3 kg de tierra. El líquido de algas se vertió alrededor de los cultivos, los cuales se cosecharon después de 21 días.

El efecto del fertilizante sobre el crecimiento se muestra en la tabla 10, donde se registra el promedio de largo de raíz, número de hojas, largo y ancho de hojas.

**Tabla 10.** Efecto del fertilizante de alga sobre parámetros como: Largo de la raíz, número de hojas, ancho y largo de hojas (Nurchaya et al., 2019).

Muestra	Longitud de la raíz		Conteo de hojas		hojas anchas		Longitud de las hojas	
	(cm)		(piezas)		(cm)		(cm)	
	1er día	21o día	1er día	21o día	1er día	21o día	1er día	21o día
Pan 100%	7,33± 0,58	28.33±3.06	4.00±0.00	17.00±1.73	3.00±0.00	14.33±2.08	6,00±0,00	24,33±2,52
Cinta 100%	7,33 ±0,58	26.33±2.31	3,33±0,58	15,67±1,53	4,33±0,58	13,67±0,58	6,67±0,5	23,00±1,7
Templado 100%	7,00 ±1,00	23,50 ±2,78	3,67±0,58	16.33±1.53	4.00±0.00	13.00±1.80	6,67±1,15	23,17±2,1
pan 50%	7,33±0,58	26,33 ±2,31	3,33±0,58	17.00±1.00	3.33±0.56	13.33±1.53	6,33±0,5	23,33±2,3
Cinta 50%	7.00 ±0.00	24,83 ±1,04	4,00±0,00	18,33±3,51	4,00±0,00	14,67±2,31	6,67±1,15	23,67±2,52
Templado 50%	7,33±0,58	24.67±0.76	3.67±0.58	19,67±1,53	4,33±1,53	14,17 ±0,76	6,67±0,58	23,67±0,58
sin arrancador	7,33±1,53	25,33 ±1,15	3,67±0,58	16,33±1,53	3,33± 0,58	13.00±0.50	6,67±0,5	23,67±1,00
Urea	7,00±1,00a	25,00 ±0,00	4,00±0,00	17,33±1,15	4.33±0.58	14,67±1,53	6,33±0,58	24,67±0,58
Solo suelo de jardín	7,67±0,58a	23.67 ±1,53	3.33±0.58	14,67±1,53	4.00±0.00	14.67±2.65	6,33±0,58	20,00±2,00

La determinación de: K, Cu, Pb y Zn fueron determinados por espectrometría de absorción atómica de flama y para Cd se utilizó espectrometría de absorción atómica con horno de grafito.

La adición de iniciador como pan dio el más alto nivel de nitrógeno (2.7%), pH (5.43), rendimiento (50.44%) y sólidos totales (94.36%), mientras que al fertilizante de alga con iniciador de templado dio el más alto contenido de micronutrientes Fe (38.77 ppm), Zn (4.2 ppm) y Mn (4.74 ppm).

En conclusión, *Sargassum sp* es una macroalga que contiene nutrientes suficientes y estimulantes de crecimiento en plantas puede ser usado como un fertilizante orgánico.

8. Uthirapandi et al. (2018). Bio-fertilizer potential of seaweed liquid extracts of marine macro algae on growth and biochemical parameters of *Ocimum sanctum*. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 2018; 7(3), 3528-3532

En este artículo se busca exponer el uso de las algas como una alternativa viable de fertilizante debido a su alto contenido de materia orgánica, micro y macroelementos, vitaminas, ácidos grasos y reguladores del crecimiento.

Para este propósito se evaluó el potencial de los extractos líquidos de algas cafés como: *Turbinaria ornata*, *Sargassum wightii*, *Caulerpa racemosa* y el efecto de mezcla de los tres extractos en cultivos de albahaca (*Ocimum sanctum*). Con lo cual se procedió a obtener el extracto líquido de cada una de las diferentes algas en esta investigación.

Las algas fueron colectadas en las costas de Pambal una región del Golfo de Mannar localizada al sureste de Tamil Nadu en India. Las algas fueron lavadas con agua del mar para remover toda clase de impurezas, después con agua de la llave de 3 a 4 veces para remover todas la epifitas, arena y fauna. Después de secarse fueron cortadas en pequeñas piezas y se obtuvo un polvo grueso con ayuda de un molinillo.

El polvo grueso se procedió a obtener un extracto líquido a partir de él. El procedimiento consiste en cortar un kilogramo de alga y hervirla en un litro de agua destilada durante una hora y se filtra, a este filtrado se le considera la concentración al 100 % (v/v) (Bhosle et al., 1975).

A partir del extracto al 100 % (v/v) de cada una de las algas se obtuvieron diluciones al 10 % v/v para los cuatro tratamientos, *C. racemosa* (T1), *S. wightii* (T2), *T. ornata* (T3) y mezcla de los extractos líquidos (T4) el cual se componía de 3 % (v/v) de *S. wightii* 3 % (v/v) de *C. racemosa* y 4 % (v/v)

de *T. ornata* fueron mezclados y ajustados para hacer el 10 % (v/v) de la mezcla.

A cada vasija de prueba se le realizó una aplicación foliar de su respectivo extracto al 10% (v/v) después de 30 días de la germinación en cultivos de albahaca. Las vasijas recibieron 50 mL de extracto cada 5 días durante un periodo de 60 días.

Los parámetros de crecimiento a medir son: largo del tallo, largo de raíz, altura total de la planta, área de la hoja, número de hojas y ramas. Para los parámetros bioquímicos se midió el contenido de glucosa, proteínas, contenido de clorofila a, clorofila b y contenido total de clorofila. Para micro y macroelementos se midió el contenido de: Na, Mg, K, Fe, Mo, N. Fitohormonas: Auxinas, citoquininas y giberelinas tabla 11.

Diferentes respuestas fueron observadas en los parámetros de crecimiento tabla 12, cuando las plantas fueron tratadas con extractos al 10% de cada una de las algas como: *Caulerpa racemosa* (T1), *Sargassum wightii* (T2), *Turbinaria ornata* (T3) y mezcla de extractos líquidos de alga (SLE) (T4).

**Tabla 11.** Composición elemental y análisis hormonal del extracto líquido de alga de *Sargassum wightii* (recuperado de: Uthiripandi et al., 2018).

No	Analito	Sargassum wightii
<b>Composición elemental g/L)</b>		
1	Sodio (Na)	72.47
2	Magnesio (Mg)	0.812
3	Potasio (K)	153.06
4	Hierro (Fe)	0.85
5	Molibdeno (Mo)	0.03
6	Nitrógeno (N <sub>2</sub> ) %	1.93%
<b>Análisis Hormonal (mg/L)</b>		
1	Auxinas	3.0 mg/l
2	Citoquininas	3.9 mg/l
3	Giberelinas	2.2mg/l

**Tabla 12.** Aplicación foliar de los extractos líquidos de las algas en los parámetros de crecimiento de *Ocimum sanctum* (recuperado de: Uthiripandi et al., 2018).

Tratamiento	Largo de tallo (cm)	Largo de raíz (cm)	Altura total de planta (cm)	Área de hoja (cm <sup>2</sup> )
Control (T <sub>0</sub> )	28.2±0.56	9.53±0.20	37.55±0.25	11.3±0.45
<i>Sargassum wightii</i> (T <sub>2</sub> )	44.06±0.49 154	12.53±0.15 130	56.59±0.35 147	14.16±0.45 124
	Número de hojas (n)	Número de ramas (n)	Peso fresco (g)	Peso seco (g)
Control (T <sub>0</sub> )	37.2±0.55	5.3±0.45	4.56±0.51	1.01±0.06
<i>Sargassum wightii</i> (T <sub>2</sub> )	69.2±0.60 179	10.2±0.5 192	8.4±0.433 183	2.05±0.03 202

En el caso de los constituyentes bioquímicos en los tratamientos individuales al agregarles al 10% de *Turbinaria ornata* (T3), mejoró el contenido en almidón, glucosa, proteína, clorofila en 105%, 79%, 170%, 219%, 215% y 217% respectivamente. Los tratamientos individuales como T1 y T2 también mejoraron sus constituyentes bioquímicos, sin embargo, fue menor que T3. Pero, el 10% de mezclas de extractos líquidos (T4) exhibió un incremento máximo, en número de ramas (156%), glucosa (102%), proteína (208%), clorofila-a (266%), clorofila-b (254%) y contenido total de clorofila (259%) (Uthiripandi et al., 2018). En la tabla 13 se muestra el efecto del extracto líquido del tratamiento control T<sub>0</sub>, con el T<sub>2</sub> de *S. wightii*, en parámetros como el peso de ramas, contenido de: glucosa, proteína, clorofila a, clorofila b y clorofila total.

**Tabla 13.** Aplicación foliar del extracto de *Sargassum wightii* en los parámetros bioquímicos de *Ocimum sanctum* (recuperado de: Uthiripandi et al., 2018).

Tratamientos	Ramas mg/g	Glucosa mg/g	Proteína mg/g
Control (T <sub>0</sub> )	31.3±1.24	31.23±0.81	26.3±2.05
<i>Sargassum wightii</i> (T <sub>2</sub> )	60.3±1.24 186	51.6±1.24 165	59.6±2.05 226
	Clorofila a mg/g	Clorofila b mg/g	Clorofila total mg/g
Control (T <sub>0</sub> )	0.53±0.29	0.61±0.04	1.16±0.01
<i>Sargassum wightii</i> (T <sub>2</sub> )	1.54±0.28 288	1.72±0.14 278	3.29±0.16 283

En conclusión, los parámetros bioquímicos y de crecimiento de *Ocimum sanctum* presentaron un incremento significativo debido a los extractos líquidos. Entre los tres extractos líquidos, se presentaron mejores resultados en *Turbinaria ornata* al compararse con *Sargassum wightii* y *Caulerpa racemosa*. La mezcla de extractos líquidos presentó resultados positivos al ser comparados con el control. En general, magnesio y hierro juegan un papel importante en la formación de clorofila de la planta. En adición la presencia de ficocoloides en las algas cafés también podrían ser los responsables de mejorar el crecimiento y fisiología de *Ocimum sanctum*. Incrementa los parámetros de crecimiento y bioquímicos, se puede deber a la acumulación de fitohormonas, micro y macroelementos presentes en los extractos líquidos de algas.

En este estudio a pesar de estudiar extractos líquidos no solo del sargazo, es una pauta más para analizar que en efecto esta alga tiene potencial para ser utilizada como una alternativa de fertilizante orgánico.

9. Bharath et al. (2018). Biofertilizing efficiency of *Sargassum polycystum* extract on growth and biochemical composition of *Vigna radiata* and *Vigna mungo*. *Asian Pacific Journal*; 7(1), 27-32

En esta investigación se evaluó el efecto del alga café *Sargassum polycystum* en el crecimiento de *Vigna radiata* y *Vigna mungo*.

Las algas se colectaron en el Golfo de Mannar, Rameswaran, Tamil Nadu en India, se lavaron a fondo con agua del mar para remover toda clase de flora y partículas indeseadas, para completar esta limpieza se lavó dos veces más con agua corriente y al final con agua destilada. Se dejaron secar durante 7 días y almacenadas a 4°C, para ser finalmente molidas en un molinillo eléctrico.

Se agregaron 500 g de alga pulverizada en un litro de agua destilada. Después de hervir una hora la extracción fue filtrada. Al final a este filtrado se le consideró como el 100% (v/v) el cual fue utilizado para hacer diluciones a: 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 y 5.0 % (v/v), utilizando agua destilada como disolvente.

Los elementos químicos presentes en el extracto fueron analizados tales como: Magnesio, hierro, cloruros, sulfatos, cobre, sodio, cobalto, fosfato, potasio y manganeso. También reguladores de crecimiento como auxinas, giberelinas y citoquininas.

Los metales fueron determinados ICP-MS (APHA, 1995). Las moléculas orgánicas auxinas, giberelinas y citoquininas mediante espectrometría de UV-visible (Ünyayar et al. 1996).

Para el estudio se tomaron las semillas de *Vigna mungo* (frijol negro) y *Vigna radiata* (soja verde) las cuales fueron sembradas en secciones de (24 cm X 18 cm), con una mezcla de suelo rojo y arena. Se realizaron cinco tratamientos

para 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 y 5.0 % (v/v) y agua destilada como control. Los cultivos fueron humedecidos con regularidad.

Cada diez días se agregaban 50 mL de los extractos a los diferentes cultivos. Cada cultivo fue llevado a cabo por triplicado.

Las plantas fueron cosechadas con cuidado y al final de 30 días después de la siembra se procedió a medir parámetros como: Largo de raíz y tallo. Las plantas cosechadas fueron lavadas y secadas con papel para realizar el cálculo de peso fresco (mg/g). Posteriormente las plantas fueron secadas en un horno a 60 °C durante 24 horas para determinar su peso seco (mg/g). También fue calculado el número de nódulos radiculares, el área de hojas (mm<sup>2</sup>). Los resultados son mostrados en las tablas 14, 15, 16 y 17.

**Tabla 14.** Contenido elemental de *Sargassum polycystum* (recuperado de: Bharath et al., 2018).

Parámetros	Valores (mg/L)
Magnesio	21.6
Sodio	85.3
Potasio	6.81
Hierro	3.57
Fosfato	35.16
Calcio	69.37
Cloruro	75.02
Sulfato	46.62
Cobre	4.7
Zinc	1.86
Nitrato	56
Manganeso	2

**Tabla 15.** Parámetros físicos de *Sargassum polycystum* (recuperado de: Bharath et al., 2018).

Parámetros	Valores
Color	Café
pH	6.8

**Tabla 16.** Contenido hormonal de *Sargassum polycystum* (recuperado de: Bharath et al., 2018).

Parámetros	Valor (mg/L)
Auxinas	3.2
Giberelinas	4.15
Citoquininas	7.35

**Tabla 17.** Potencial del extracto líquido a diferente concentración %v/v de *S. polycystum* en los parámetros de crecimiento en *Vigna radiata* (recuperado de: Bharath et al., 2018).

Concentración (%)	Largo de tallo (cm)	Largo de raíz (cm)	Área de hoja (mm <sup>2</sup> )
Control	17.213±0.190	12.380±0.220	22.116±0.140
0.5	18.106±0.100	13.383±0.140	25.433±0.370
1	19.520±0.150	14.506±0.200	30.253±0.170
2	21.967±0.370	16.346±0.170	39.740±0.410
3	24.603±0.160	18.563±0.200	48.550±0.270
4	21.266±0.170	15.413±0.150	15.413±0.150
5	19.443±0.100	13.460±0.190	23.866±0.350
Concentración (%)	Nódulos por raíz	peso fresco (mg)	peso seco (mg)
Control	5.33±0.28	2.170±0.170	0.553±0.060
0.5	5.66±0.28	2.373±0.240	0.763±0.020
1	6.66±0.28	3.323±0.280	0.873±0.030
2	9.33±0.28	4.013±0.240	1.096±0.040
3	13.33±0.28	5.410±0.290	1.386±0.030
4	9.66±0.28	3.386±0.250	0.870±0.030
5	7.66±0.28	2.230±0.180	0.773±0.030

La presencia de citoquininas ha sido reportada con anterioridad en el *Sargassum wightii*, han sido reportadas en altas concentraciones investigaciones previas han reportado que el extracto de *Sargassum polycystum* sobre la germinación en *Cajanus cajan* (chicharo), promovió la germinación de semillas y rendimiento. Se observó que el efecto positivo era a bajas concentraciones en ese estudio a 1.5% (v/v).

Resultados obtenidos en investigaciones anteriores también mostraron que el extracto de *Sargassum plagiophyllum* en *V. mungo*, mejoró la germinación en semillas hasta en un 0.75%, mientras que el extracto comercial al 1.0 % (v/v), lo hacía en un 1,5 % en *V. radiata*.

La presencia de N, P y K en el extracto de alga ayuda a mejorar la tasa de crecimiento a concentraciones menores al 3% (v/v) incrementa la productividad del cultivo, mientras que en concentraciones más altas declina. Esto puede deberse al alto contenido de elementos como Mg, Ca, Cu, I, K, Zn y Na, los cuales retrasan la división celular.

Se obtiene como conclusión que los extractos de algas tienen potencial para estimular el crecimiento de las plantas.

En la actualidad el incremento a nivel mundial de la población exige incrementar la producción de alimento, proteger la calidad de los cultivos con fertilizantes de origen natural. El extracto líquido de alga es una alternativa al problema. Como evidencia se presenta este estudio el cual revela que *S. polycystum* es una alternativa adecuada para hacer un producto de costo-beneficio a los agricultores y amigable en la producción de cultivos sostenibles.

10. Uribe et al. (2018). Efecto del alga marina *Sargassum vulgare* C. Agardh en el suelo y el desarrollo de plantas de cilantro. IDESIA, 36(3), 69-76

El propósito de esta investigación fue evaluar el uso de la harina elaborada con *Sargassum vulgare* en el suelo y el crecimiento del cilantro. Con este motivo se procedió a coleccionar *S. vulgare* en Playa el Pulpo en el Municipio de Cazones en Veracruz, México. La muestra fue lavada y puesta a secar, después se trituró en un molino eléctrico hasta obtener una harina. Para realizar la prueba se tomó una muestra de suelo del Barrio de Xochiaca, Chimalhuacán en el Estado de México. Se procedió a llenar cinco vasos de unicel de medio litro hasta  $\frac{3}{4}$  partes de su capacidad con muestra de suelo, cada vaso contenía: 1) Testigo (solamente suelo), 2) 3g de fertilizante comercial, 3) 3 g de harina, 4) 6 g de harina y 5) 9 g de harina. En ello se inocularon las semillas de cilantro durante 90 días.

Al finalizar los 90 días se cosecharon muestras para analizar las propiedades fisicoquímicas del suelo mezclado con harina, por cada 100 g de muestra.

Para esta determinación de contenido las técnicas utilizadas fueron: espectrometría de absorción atómica, para metales cobre, cadmio, cromo, níquel, plomo y zinc. Mientras tanto el método Kjeldahl-Gunning fue utilizado para la determinación de proteínas.

Los resultados son los mostrados en las tablas 18, 19, 20 y la figura 27.

**Tabla 18.** Análisis fisicoquímico de la harina de *Sargassum vulgare* (recuperado de: Uribe et al., 2018).

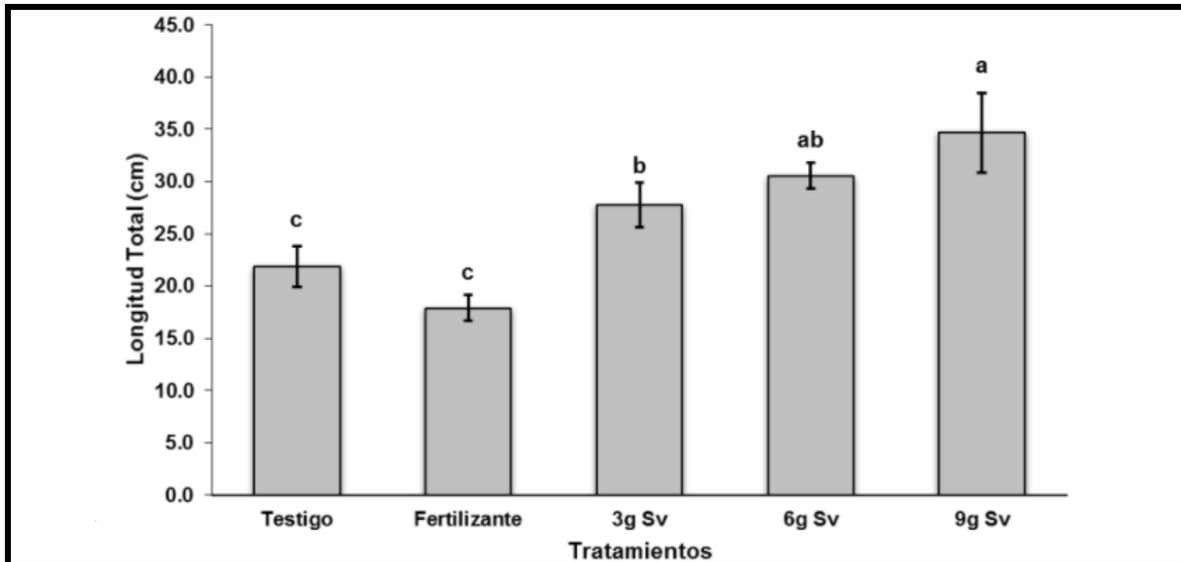
<b>Determinación</b>	<b>Resultados en 100 g</b>
Perdida por secado (Humedad)	11,00 g
Grasas (lípidos)	1,00 g
Fibra cruda	28,00 g
Proteína	9,0 g
Cenizas	15,00 g
Carbohidratos totales	36,00 g
Aporte energético	189 kcal, 802 kJ

**Tabla 19.** Análisis fisicoquímico de la harina de *Sargassum vulgare* (recuperado de: Uribe et al., 2018).

<b>Metal</b>	<b>Valores (mg/kg)</b>
Cu	3,251
Cd	1,025
Cr	1,400
Ni	6,001
Pb	8,002
Zn	17,604

**Tabla 20.** Análisis fisicoquímico de suelo con harina de *Sargassum vulgare* (recuperado de: Uribe et al., 2018).

<b>Metal</b>	<b>Valores (mg/kg)</b>
Cu	5,891
Cd	0,574
Cr	10,783
Ni	41,184
Pb	12,184
Zn	30,227



**Figura 27.** Longitud total (cm) de las plantas a los 90 días de la siembra  $\pm$  desviación estándar. Tratamientos: T: testigo; F: fertilizante 3 g de harina de *S. vulgare*; 3g, 6g y 9g (recuperado de: Uribe et al., 2018).

Analizando estos resultados de las tablas 18, 19 y 20, podemos ver que el potencial biotecnológico de la harina de sargazo se debe al contenido de materia orgánica como grasas, fibra cruda, proteína y carbohidratos, Zn, Ni, Cu y Cd. Al medir el pH de la harina se obtuvo de 6.38 considerado ligeramente ácido. Con base en estos resultados se puede determinar que la harina tiene una elevada concentración de elementos que contribuyen a la modificación del pH, conductividad eléctrica y materia orgánica lo cual hace del alga un recurso con alto potencial biotecnológico, para la aplicación como abono en los suelos dedicados a la agricultura y suelos con problemas de productividad.

Se concluye que la harina de *S. vulgare* tuvo efectos positivos en el suelo y el crecimiento, los tratamientos de 6 y 9 g de harina son los que mejor aportan nutrientes al suelo, observándose cambios en el pH y conductividad a partir de los 35 días, lo cual se ve reflejado en las variables evaluadas de longitud total y biomasa seca total a los 90 días, por lo tanto, la convierte en un recurso valioso en la agricultura.

11. Sutharsan et al. (2017). Effects of seaweed (*Sargassum crasifolium*) extract foliar application on seedling performance of *Zea mays* L. Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences., 5(4): 1-5

El objetivo de esta investigación es demostrar el potencial del *Sargassum crassifolium* para la aplicación foliar de semillas de *Zea mays* (maíz).

Para este estudio se colectó el alga *S. crassifolium* la cual se haya en abundancia fue colectada de la Playa de Pasikudah, en Sri Lanka, se enjuagó y fue puesta a secar, una vez seca se elaboró un polvo con el alga seca para elaborar una mezcla en una proporción de 1:20 (peso: volumen), seguido de meterlo en autoclave a 121 °C, a una presión de 15 lb/in<sup>2</sup> durante 20 minutos, finalmente se filtró y se centrifuga a 4000 rpm el extracto es colectado y se le consideró su concentración al 100% (v/v).

En vasijas de plástico se agregó una mezcla de tierra vegetal, tierra roja y abono de vaca en una proporción de 1:1:2 respectivamente. Se realizaron siete tratamientos a los que se agregó extracto líquido en las concentraciones siguientes: 5, 10, 15, 20, 50 y 100 % (v/v) respectivamente, más un control al cual solo se agregó agua. Las vasijas de tratamiento fueron rociadas tres veces por semana durante el periodo experimental de 21 días. Después de ese lapso de midieron parámetros como: Altura, área de las hojas, peso fresco del tallo, peso fresco de raíz, peso húmedo de tallo y peso húmedo de raíz.

Para la determinación del contenido de fósforo se utilizó el método de espectrometría de UV-Visible, y para elementos metálicos como: K, Mg, Ca, Fe, Mn, Zn y Cu, espectrometría de absorción atómica y el método Kjeldahl para nitrógeno orgánico en la tabla 21 y altura en la tabla 22.

**Tabla 21.** Propiedades fisicoquímicas del extracto líquido de *S. crassifolium* utilizado para este estudio preliminar. CE: conductividad eléctrica (recuperado de: Sutharsan et al., 2017).

Variables	Valor
Nitrógeno	400.0 ppm
Fósforo	9.0 ppm
Potasio	1520.0 ppm
Magnesio	176.0 ppm
Calcio	ND
Hierro	2.4 ppm
Manganeso	0.4 ppm
Zinc	3.2 ppm
Cobre	0.2 ppm
Color	Café
pH	9.0
CE	2.4 mS/ cm

**Tabla 22.** Efecto de la aplicación foliar del extracto líquido de *S. crassifolium*, en la altura a los 21 días, después de sembrar *Zea mays L* (recuperado de: Sutharsan et al., 2017).

Tratamientos	Altura planta (cm)
T1 (control)	60.47±0.73
T2 (5% SLE)	62.47±1.01
T3 (10% SLE)	64.57±1.11
T4 (15% SLE)	66.70 ±1.46
T5 (20% SLE)	75.63±1.23
T6 (50% SLE)	75.60±1.21
T7 (100% SLE)	58.26±1.71

**Tabla 23.** Efecto de la aplicación foliar del extracto líquido de *S. crassifolium*, en el área de hoja a los 21 días, después de sembrar *Zea mays L* (recuperado de: Sutharsan et al., 2017).

Tratamientos	Área de hoja (cm <sup>2</sup> )
T1 (control)	578.89±3.47
T2 (5% ELA)	592.30±4.47
T3 (10% ELA)	610.14±5.31
T4 (15% ELA)	673.40±11.70
T5 (20% ELA)	797.97±5.13
T6 (50% ELA)	667.91±9.47
T7 (100% ELA)	625.23±13.3

Las propiedades fisicoquímicas de *Sargassum crassifolium* se analizaron y en la tabla 21 se registran el contenido de elementos metálicos.

En la tabla 22 se muestra la altura del maíz las semillas fueron significativamente influenciadas por diferentes tratamientos comparados con el control. El tratamiento 5 al 20% es el óptimo ya que el extracto líquido incrementó la altura de la planta un 25% en comparación con el control el tratamiento 1 seguido de los tratamientos 6, 4 y 3. Este incremento podría ser debido a la presencia de micro y macronutrientes así bien como sustancias promotoras del crecimiento como auxinas y citoquininas.

En la tabla 23 se observa el efecto del extracto líquido en el área de las hojas a los 21 días después de remojar las semillas en el extracto. Se observan el efecto del extracto a diferentes concentraciones en parámetros de crecimiento en las tablas 24 y 25.

**Tabla 24.** Efecto de la aplicación foliar del extracto líquido de *S. crassifolium*, en el peso fresco y seco del tallo a los 21 días, después de sembrar *Zea mays L* (recuperado de: Sutharsan et al., 2017).

Tratamientos	Peso fresco del tallo (g)	Peso seco del tallo (g)
T1 (control)	52.053±1.17	7.53±0.43
T2 (5% SLE)	54.077±1.52	7.79±0.76
T3 (10% SLE)	58.853±0.91	8.74±0.43
T4 (15% SLE)	63.707±1.16	9.66±0.34
T5 (20% SLE)	72.643±1.43	10.84±0.54
T6 (50% SLE)	65.033± 1.09	7.90±0.09
T7 (100%SLE)	49.107±0.88	7.53±0.43

**Tabla 25.** Efecto de la aplicación foliar del extracto líquido de *S. crassifolium*, en el peso fresco y seco de la raíz a los 21 días, después de sembrar *Zea mays L* (recuperado de: Sutharsan et al., 2017).

Tratamientos	Peso fresco de raíz (g)	Peso seco de raíz (g)
T1 (control)	32.053±1.17	5.27±0.39
T2 (5% SLE)	34.350±1.71	5.19±0.18
T3 (10% SLE)	38.833±1.18	6.12±0.29
T4 (15% SLE)	42.653±1.49	6.56±0.22
T5 (20% SLE)	50.803±1.28	8.17±0.46
T6 (50% SLE)	44.000±2.28	6.39±0.32
T7 (100%SLE)	20.337±0.98	3.91±0.20

Todos los parámetros aquí evaluados en este experimento revelaron que a menores concentraciones del extracto se obtienen mejores rendimientos, mientras que altas concentraciones del extracto demuestran una inhibición en

el crecimiento de las semillas de *Zea mays L.*, en comparación con el control. Basados en la literatura se argumenta que el crecimiento inducido se debe al alto índice de sales del extracto de alga, el efecto hormonal de las algas es más efectivo a una menor concentración.

A partir de los resultados observados se concluye que el extracto de alga *Sargassum crassifolium* mejora al máximo los parámetros de semillas de maíz a una concentración del 20% (v/v), pero, reducido en altas concentraciones.

12. Tensingh et al. (2017). Effect of seaweed liquid fertilizer of *Sargassum wightii* on the yield characters of *Abelmoschus esculentus* (L. Moench). International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology; 4(9), 4511-4518

Estudiar en plantas de *Abelmoschus esculentus* (Oca), el efecto del extracto líquido del alga *Sargassum wightii* como una alternativa de tratamiento especialmente para la agricultura orgánica. El objetivo del estudio es demostrar que *A. esculentus* mejora su rendimiento con la aplicación de extracto líquido.

El alga *S. wightii* fue colectada de la Costa de Rameswaran, en Tamil Nadu en India las algas fueron secadas a la sombra colocando proporciones de 1 g de alga seca en 20 mL de agua destilada sometiéndola a un proceso de autoclave a 121 °C, a una presión de 15 lb/in<sup>2</sup> durante 20 minutos y al final se filtró, después se aplicó el método de Rama-Rao (Rama-Rao, 1990).

El filtrado obtenido fue considerado como el 100 % (v/v) a partir de la cual con agua destilada se realizaron diluciones a: 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7 %(v/v) y agua destilada como control. Cada dilución fue aplicada a un tratamiento individual para medir el rendimiento de cada característica. Las semillas de

ocra fueron sembradas en suelo mezclado en suelo negro, suelo rojo y arena en una proporción de 1:1:1.

Al primer tratamiento se le aplicó el extracto a los 10 días después de la siembra, y a los otros tres tratamientos se les agregó el extracto hasta los treinta días.

Los parámetros para medir fueron: Número de flores, largo del fruto e índice de cosecha. Estos parámetros se compararon entre plantas tratadas y plantas control.

Los macronutrientes del suelo como nitrógeno total, fósforo disponible y potasio; micronutrientes tales como hierro, manganeso, zinc y cobre fueron analizados en el laboratorio de la Estación de Investigación de Agricultura en Virudhunagar de Tamil Nadu en India.

Los resultados mostrados en la tabla 26 y 27.

**Tabla 26.** Efecto del extracto líquido *S. wightii* en parámetros físicos (recuperado de: Tensingh et al., 2017).

No.	Tratamiento Extracto líquido de alga% (v/v)	No. De flores por planta	No. De frutos por planta	Largo del fruto (cm)	Peso del fruto (g/fruto)	Índice de cosecha
1	Control	5 ±0.02	3 ±0.01	9.2 ±0.05	3.81 ±0.01	15.08 ±0.02
2	1	7 ±0.02	6 ±0.02	10.1 ±0.03	3.92g ±0.01	17.97±0.01
3	2	9 ±0.01	7 ±0.01	10.3 ±0.08	4.45 ±0.01	18.43 ±0.03
4	3	12 ±0.01	11 ±0.02	10.5 ± 0.08	4.61 ±0.02	19.78 ±0.02
5	4	15 ±0.02	14 ±0.02	10.7 ±0.08	4.82 ±0.01	22.10 ±0.03
6	5	22 ±0.02	20 ±0.01	11.9 ±0.01	5.50 ±0.01	25.24 ±0.01
7	6	18 ±0.01	16 ±0.03	10.8 ±0.06	5.11 ±0.02	23.11 ±0.02
8	7	16 ±0.01	13 ±0.06	10.6 ±0.03	5.04 ±0.01	21.52 ±0.02

**Tabla 27.** Contenido del extracto líquido de *S. wightii* (recuperado de: Tensingh et al., 2017).

No.	Tratamiento Extracto líquido de alga% (v/v)	Macronutrientes (ppm)			Micronutrientes (ppm)			
		N	P	K	Fe	Mn	Zn	Cu
1	Control	28.6 ±0.08	0.9 ±0.02	60 ±0.05	1.3 ±0.01	3.2 ±0.01	0.3 ±0.05	0.4 ±0.04
2	1	30.8 ±0.07	1.0 ±0.05	63 ±0.05	1.6 ±0.02	4.8 ±0.05	0.4 ±0.01	0.6 ±0.08
3	2	35.2 ±0.01	1.5 ±0.05	65 ±0.09	1.8 ±0.03	5.2 ±0.03	0.4 ±0.02	0.7 ±0.05
4	3	37.8 ±0.05	1.7 ±0.03	70 ±0.09	1.9 ±0.02	5.6 ±0.08	0.6 ±0.02	0.8 ±0.06
5	4	42.5 ±0.08	1.8 ±0.01	82 ±0.02	2.1 ±0.01	6.6 ±0.04	0.7 ±0.02	0.9 ±0.06
6	5	49.6 ±0.08	2.0 ±0.04	85 ±0.02	2.2 ±0.06	6.8 ±0.08	0.8 ±0.01	1.0 ±0.07
7	6	57.4 ±0.09	2.2 ±0.01	88 ±0.08	2.4 ±0.01	7.2 ±0.05	0.9 ±0.04	1.1 ±0.06
8	7	60.8 ±0.04	2.5 ±0.02	90 ±0.02	2.6 ±0.04	7.9 ±0.09	1.0 ±0.05	1.3 ±0.09

En el actual estudio se muestra que las características de la *Ocra* fueron mejoradas con el extracto líquido de sargazo. La respuesta positiva con respecto al extracto de *Sargassum wightii* entre las diferentes concentraciones la de 5.0 % (v/v) fue la que mejores resultados mostró. El estatus de nutrientes es el responsable del rendimiento de los caracteres de la *Ocra*. Se cree que parte del efecto positivo en los caracteres de la planta puede deberse a es conocido que las algas tienen alto contenido en reguladores del crecimiento como las citoquininas y giberelinas (Smith & Van Staden, 1984).

### Discusión de los resultados

En los resultados obtenidos en este trabajo monográfico de actualización se puede apreciar que el sargazo tiene las propiedades suficientes para ser utilizado como materia prima en la elaboración de fertilizante de origen natural lo cual coincide en los doce artículos aquí investigados.

Estas propiedades se deben al contenido de micro y macroelementos en los artículos (Walsh et al., 2020; Thompson et al., 2020; Sunarpi et al., 2020; Silva et al., 2019; Mahmoud et al., 2019; Nurcahya et al., 2019; Uthirapandi et al., 2018; Bharath et al., 2018; Uribe et al., 2018; Sutharsan et al., 2017; Tensingh et al., 2017).

- ❖ Macroelementos como: C, H, O, N, P, K, Ca, Mg y S
- ❖ Microelementos como: Cu, Mn, Fe, Zn, Co y Cr

Hormonas reguladoras de crecimiento como: giberelinas, citoquininas y auxinas en los artículos (Sunarpi et al., 2020; Mahmoud et al., 2019; Uthirapandi et al., 2018; Bharath et al., 2018). Moléculas orgánicas: Ácidos grasos, lípidos, vitaminas, entre otros son la base beneficiar los diferentes cultivos realizados en las pruebas. Esto se ve reflejado en que aumenta el porcentaje de rendimiento, efecto positivo en parámetros como la longitud de hojas, el florecimiento temprano, incremento en el número de frutos, entre otros en los artículos (Sunarpi et al., 2020; Sriyuni et al., 2020; Silva et al., 2019; Mahmoud et al., 2019; Uthirapandi et al., 2018; Bharath et al., 2018; Uribe et al., 2018; Sutharsan et al., 2017; Tensingh et al., 2017), es por eso por lo que se pueden considerar las diversas especies de sargazo como algas con potencial para ser utilizadas en la elaboración de fertilizantes de origen natural.

En la tabla 28 se presentan las diversas aplicaciones del sargazo de esta investigación. Mientras que en la tabla 29 se enlistan otras aplicaciones empleando los compuestos del sargazo.

**Tabla 28.** Artículos, especies y géneros de sargazo, contenido de: Elementos moléculas orgánicas, hormonas reguladoras, concentración óptima del sargazo en sus diferentes formas de aplicación y el país donde se desarrolló cada estudio.

Artículo y autor	Especies para el género <i>Sargassum</i>	Elementos, moléculas orgánicas y hormonas reguladoras	Cultivos	País
1. Walsh et al. (2020)	<i>S. fluitans</i> y <i>S. natans</i>	C, N, P, K, Ca, Mg, Al, Cu, y Zn		E. U.
2. Thompson et al. (2020)	<i>S. fluitans</i> y <i>S. natans</i>	N, P, K, S, Na, Mg y Ca		Barbados
3. Sunarpi et al. (2020)	<i>S. cristafolium</i>	N, P, K, Ca, Fe y Mn; IAA (ácido indol-3- acético)	Arroz	Indonesia
4. Sriyuni et al. (2020)	<i>S. cristaefolium</i>	Glutamina, alanina, glicina	Arroz	Indonesia
5. Silva et al. (2019)	<i>S.muticum</i>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O, CaO y MgO	Lechuga verde y morada	Portugal
6. Mahmoud et al. (2019)	<i>S. vulgare</i>	N, K, Ca, Mg, Fe, S; auxinas, citoquininas, ácido algínico, glicina	Rábano	Egipto
7. Nurcahya et al. (2019)	<i>Sargassum sp</i>	Fe, Mn, Zn, N, P, K, C	Col china	Indonesia
8. Uthirapandi et al. (2018)	<i>S. wightii</i>	Na, Mg, K, Fe, Mo, N; auxinas, citoquininas, giberelinas	Albahaca	India
9. Bharath et al. (2018)	<i>S. polycystum</i>	Mg, Na, K, Fe, P, Ca, Cl, SO <sub>4</sub> , Cu, Zn, NO <sub>3</sub> , Mn; auxinas, giberelinas, citoquininas	Frijol negro y soja verde	India
10. Uribe et al. (2018)	<i>S. vulgare</i>	Cu, Cd, Cr, Ni, Pb, Zn; lípidos, proteínas, fibra y carbohidratos	Cilantro	<b>México</b>
11. Sutharsan et al. (2017)	<i>S. crasifolium</i>	N, P, K, Mg, Ca, Fe, Mn, Zn, Cu	Maíz	Sri Lanka
12. Tensingh et al. (2017)	<i>S. wightii</i>	N, P, K, Fe, Mn, Zn y Cu	Ocra	India

**Tabla 29.** Se enlistan otras aplicaciones empleando los compuestos del sargazo, la información se puede visualizar en:  
<https://amyd.quimica.unam.mx/course/view.php?id=662&section=5>

Artículo y autor.	Tipo de muestra	Interés de aplicación del análisis químico	Elementos, moléculas orgánicas y hormonas reguladoras	País
Su et al., 2021	<i>Sargassum fusiforme</i>	Análisis cuantitativo de metales pesados en <i>Sargassum fusiforme</i>	As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pd, Zn	Wenzhou, China
Seepersaud et al., 2017	<i>Sargassum filipéndula</i> / <i>Sargassum vulgare</i>	Análisis del sargazo como biomarcador de la contaminación ambiental.	Cd, Cu, Ni, Pb, Mn, Zn, Fe	Trinidad and Tobago
Cong et al., 2016	<i>Sargassum fusiforme</i>	Caracterización y evaluación de la anti angiogénica del ficoidea (para el tratamiento contra el cáncer)	S, alginato, fucosa, xilosa, manosa, galactosa, ácido glucorónico y actividad antiangiogénica	farmacéutica Hu Qing Yu Tang en China
Soto et al., 2015	<i>Sargassum muticum</i>	Estudiar la viabilidad de digestión anaeróbica de <i>Sargassum muticum</i> para producir metano	Hg, Mo, Cd, Cr, Cu, Pb, Ni, Zn, Fe, Al, Mg, Na, Ca, K, Co y CH <sub>4</sub>	Coruña, España
Carrillo et al., 2012	<i>Sargassum spp</i>	Reducir el contenido de colesterol del huevo con la adición del alga marina en la dieta de gallinas ponedoras	Ca, Na, K, Mg, P, Cu, Zn, Fe, proteína fibra y energía bruta	Baja California, México
Magura et al., 2016	<i>Sargassum elegans</i>	Incorporación de algas a la dieta en función de sus beneficios y posible toxicidad	Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, As, Zn, Ni, Cr, Pb, Co, Se, Proteína, lípidos, y carbohidratos	Inyoni Rocks, KwaZulu-Natal
Praiboon et al., 2017	<i>Sargassum oligocystum</i>	Comparación de la composición química en función de la temporada de muestreo para la aplicación alimenticia y en farmacia	Mg, Na, Ca, K, Cu, Se, I, Zn, lípidos, fibra, carbohidratos y aminoácidos	Nang Rong Beach, Thailand
Di Filippo-Herrera, 2018	<i>Sargassum horridum</i>	Actividad bioestimulante de extractos de macroalgas y su evaluación sobre el crecimiento de frijol mungo ( <i>Vigna radiata</i> )	Ca, Na, P, Zn, N, C, K, Fe, lípidos, materia orgánica, proteína y carbohidratos	Costa de Baja California, México

## 6.1 Conclusión general

La utilización del sargazo como fertilizante en los cultivos agrícolas resulta ser una alternativa sustentable ya que puede sustituir a los fertilizantes químicos. Además de ser atractiva por su costo-beneficio.

## 6.2 Conclusiones particulares

- a. En la evaluación de su uso hemos obtenido que su aplicación es completamente benéfica ya que puede utilizarse en concentraciones desde el 10% como en el artículo 1 (Walsh et al., 2020) muestra efectos positivos como el aumento de rendimiento y crecimiento de los cultivos.
- b. Para los compuestos bioactivos el aporte de metales como: K, Ca, Mg, Na, Al, Fe, Cu y Zn, mejoran el contenido de humedad y conductividad eléctrica. El consumo de metales como Mg, Cu y Fe, mejoran la función de enzimas para la síntesis de clorofilas las cuales son importantes porque estas mejoran la capacidad y eficiencia de los procesos fotosintéticos y absorción de nutrientes. Además, el suministro de fitohormonas logra una germinación temprana en las semillas (Walsh et al., 2020; Sriyuni et al., 2020; Sutharsan et al., 2017; Uthirapandi et al., 2018; Uribe et al., 2018; Bharath et al., 2018)

También es importante el contenido de lípidos, proteínas y carbohidratos en el sargazo los cuales funcionan como fuente de carbono, nitrógeno y fósforo (Uribe et al., 2018).

- c. El tipo de cultivos que se conoce hasta ahora estudiados en esta investigación y que se producen en México, para implementar la utilización de sargazo para su beneficio en su rendimiento y producción, son los siguientes: Cilantro, arroz, lechuga, rábano, rojo, maíz, albahaca, frijol y soja.

- d. Algunas de las áreas de oportunidad para aplicar el sargazo en México serian en la agricultura orgánica, la horticultura con el fin de reducir el daño a los suelos, sobre todo en las playas llevar a cabo la instrucción a las comunidades sobre: métodos como composteo, el manejo de los restos de algas, elaboración de vertederos, manejo de biosólidos en si toda aquella acción que no solo conlleve al mantenimiento del aspecto de las playas si no al total aprovechamiento de esta biomasa.
- e. Se elaboró la propuesta de práctica "Análisis cuantitativo de hierro contenido en sargazo" para la asignatura de Analítica Experimental II con clave 1607, 6º semestre de las carreras de Química Farmacéutico-Biológica (QFB) y Química de Alimentos (QA). Clave 1700 de 7º Semestre de la carrera de Química (Q). Y así contribuir con el proceso de investigación y formación de estudiantes de la Facultad de Química de la UNAM.

## 7. GLOSARIO Y ABREVIATURAS

**Agricultura.** Ciencia aplicada al cultivo y mejor aprovechamiento de la tierra y de las plantas. La agricultura se realiza más allá de su función de producir alimentos y materias primas relacionadas con la provisión de bienes públicos. Estos bienes pueden tener un carácter económico y social (Raluy et al., 1978; Gómez et al., 2008).

**Acondicionador o mejorador de suelo.** Recursos de origen natural que ayudan a corregir las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, mejorando la capacidad de absorción de nutrientes (Valderrama, 2013).

**APCI.** Ionización química a presión atmosférica.

**APA.** American Psychological Association

**Auxinas.** Grupo de hormonas vegetales que regulan parte del desarrollo y crecimiento de las plantas. La especie más abundante es el ácido indol-3-acético (IAA), otras son el ácido 4-cloro-indolacético (4-Cl-IAA), ácido fenilacético (PAA), ácido indol butírico (IBA) y el ácido indol propiónico (IPA) (Ludwing-Müller & Cohen, 2002).

**BP.** British Petroleum

**Citoquininas.** Hormonas esenciales en procesos vinculados al crecimiento y desarrollo de las plantas relacionados a genes (Ludwing-Müller & Cohen, 2002).

**CO<sub>2</sub>** . Dióxido de Carbono

**Cultivo.** Acción y efecto de cultivar (Raluy et al., 1978).

**Cultivar.** Dar a la tierra y a las plantas las labores necesarias para que fructifiquen: cultivar un terreno, cultivar cereales, flores, etc. (Raluy et al., 1978).

**Digestato.** Es el material que queda después de la digestión anaeróbica de una materia prima biodegradable (Olea et al., 2013).

**Dínodo.** Electrodo de un fotomultiplicador.

**DOCA.** Desoxicorticosterona.

**ESI.** Ionización en electro spray.

**FAB.** ionización de bombardeo atómico rápido.

**Ficocoloides.** Familia de polisacáridos en las algas (agar, alginatos y carrageninas), los cuales funcionan como reserva energética del alga (Durazo y Viana, 2001; Gómez, 2013).

**FTICR.** Espectrometría de resonancia ciclotrónica por transformada de Fourier.

**Giberelinas.** Hormonas de crecimiento diterpenoides tetracíclicos involucradas en el desarrollo de vegetales (Ludwing-Müller & Cohen, 2002).

**Humus.** Capa superior del suelo, rico en residuos orgánicos del suelo, rico en residuos orgánicos que provienen de la descomposición de los organismos y los microorganismos benéficos, como hongos y bacterias, suelen aportar compuestos nitrogenados al suelo (González et al., 2017).

**H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.** Ácido sulfúrico

**HPLC.** Cromatografía de líquidos de alta eficacia.

**IAA.** Ácido Indol-3-acético

**IBA.** Ácido Indol Butírico

**ICP-MS.** Espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo

**IR.** Infrarrojo

**Lixiviación.** Acción de pasar un líquido a través de una sustancia mineral u orgánica y se extraen los componentes solubles (Raluy et al., 1978).

**Macronutrientes.** Son aquellos elementos que existen a niveles importantes en la biomasa. Son elementos que son primordiales para el funcionamiento de un organismo vivo y son requeridos para el funcionamiento de enzimas esenciales y son: C, H, O, N, P, K, Ca, Mg y S (Manahan, 2007).

**Micronutrientes.** Son aquellos elementos que se presentan en cantidades relativamente pequeñas, debido a que son requeridos por los organismos vivos en mínimas cantidades "en trazas". Estos son: Cu, Mn, Fe, Zn, Co, Cr, Se, Mo, I y B (Allowey y Ayres, 1993).

**SO<sub>2</sub>.** Dióxido de azufre

**Spectrometry FTIR.** Espectrometría por transformada de Fourier (Fourier Transformed Infrared).

**TMA.** Trabajo monográfico de actualización

**ANEXO I.** Seminario: "Sargazo: Fertilizante natural, alternativa sustentable"  
(Delgadillo y Rodríguez, 2021) el cual se encuentra en  
[https://amyd.quimica.unam.mx/pluginfile.php/14419/mod\\_resource/content/1/seminario%20EDDM%2020210618.pdf](https://amyd.quimica.unam.mx/pluginfile.php/14419/mod_resource/content/1/seminario%20EDDM%2020210618.pdf)



POLITÉCNICA  
SANTA ROSA  Bilingual  
International  
Sustainable  
University

## "SARGAZO: FERTILIZANTE NATURAL, ALTERNATIVA SUSTENTABLE"

### PROYECTO PAPIME UNAM 210820

Contribución de la química analítica desde la docencia e investigación formativa,  
seminario estudiantil Departamento de Química Analítica, Facultad de Química,  
Proyecto de Tesis

**Por:** Eric David Delgadillo Mendoza (Estudiante de QFB, FQ,  
UNAM/ericdelgadillo@comunidad.unam.mx **Tutora:** Ma. Teresa de Jesús Rodríguez  
Salazar (Depto. Química Analítica, FQ, UNAM /mtjr@quimica.unam.mx

Cd. Universitaria, CDMX 18 jun 2021

## Objetivo del trabajo monográfico de actualización

- Realizar una Investigación exhaustiva sobre la composición química del sargazo.
- Conocer los elementos metálicos y moléculas orgánicas que tienen un uso potencial como fertilizante.
- Proponer diversas aplicaciones en el uso como fertilizante en nuestro país.

## ¿Qué es el sargazo?

Es un alga que pertenece al dominio Eucaria y al reino plantae pertenece a las algas cafés, es un organismo bénticos es decir que se encuentran al fondo marino se encuentra en las superficies de las aguas costeras (Silva et al., 2019).



2021, imagen, sargazo,  
[www.eleconomista.com.mx/estados/Gobierno-de-Quintana-Roo-urge-reunion-por-tema-de-sargazo-20210616-0125.html](http://www.eleconomista.com.mx/estados/Gobierno-de-Quintana-Roo-urge-reunion-por-tema-de-sargazo-20210616-0125.html)

## Utilización de sargazo como fertilizante

- Se ha observado su uso potencial al utilizar un extracto líquido obtenido de esta alga en cultivos de frijol con efectos positivos al medir parámetros como velocidad de crecimiento largo de las raíces, altura del tallo, tamaño de la hoja, un incremento en el rendimiento. Esto se debe que le provee elementos como: Fe, Cu, Zn, Mn, N, P, K, S, Ca y Mg, además de reguladores de crecimiento como giberelinas y auxinas. también biomoléculas como metabolitos, carbohidratos y vitaminas. esto le permite al suelo mejorar sus propiedades químicas, físicas y biológicas (Vijayanand et al., 2014).

## Fertilizante

- Es cualquier producto natural o elaborado, sólido o líquido que al agregarse al suelo suministra uno o más nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de un vegetal.

## La presencia de metales

- K tiene un efecto positivo mejora la fotosíntesis y el crecimiento longitudinal (Silva et al.,2019).
- Ca Facilita la elongación, mejora la estabilidad celular y activación de las enzimas en las plantas (Silva et al.,2019).
- Mg Se ha mostrado un incremento de concentración de pigmentos, esto se debe a que el magnesio juega un papel importante en la organización de la clorofila (Silva et al.,2019).

## Presencia de metales en los cultivos

- En cultivos de rábano se ha visto un efecto significativo en el contenido de
- K, Fe, Zn y Mn
- Lo cual aumenta su valor nutricional (Mahmoud et al., 2019)
- La presencia de metales como: Na, K, Mg, Ca y Zn aumentan la porosidad del suelo y la capacidad de retener agua

Elementos  
metálicos  
presentes en  
el sargazo

(Vijayanand et al, 2014)

Elementos	Valor mg/L
<b>Fe</b>	0.88
<b>Co</b>	1.103
<b>K</b>	1.37
<b>Mn</b>	1.53
<b>Zn</b>	1.8
<b>Cu</b>	2.2
<b>Na</b>	5.3
<b>Mg</b>	16.31

## Biomoléculas

- El fertilizante a base de sargazo muestra también la presencia de reguladores y estimulantes de crecimiento como lo son: Auxinas, giberelinas y citoquininas (Nurcahya et al., 2019).
- El contenido de dichas moléculas ayudan a mantener la fertilidad del suelo, aceleran la germinación de los cultivos, el crecimiento platar y estimulan el crecimiento vegetativo (Mahmoud et al., 2019)

Moléculas orgánicas presentes en el fertilizante líquido (Vijayanand et al., 2014)

Componente	Valor mg/L
Auxinas	2.5
Citoquininas	5.5
Giberelinas	2.8

## Uso potencial del sargazo como fertilizante

- Se ha encontrado que contiene estimuladores de crecimiento como lo son fitohormonas, elementos traza (Fe, Cu, Zn, Co, Mn y Ni), vitaminas, aminoácidos. Se ha reportado que estimulan el crecimiento y rendimiento de las plantas, gracias a que desarrollan tolerancia al estrés ambiental, incrementa el consumo de nutrientes e incremento de propiedades antioxidantes (Sutharsan et al., 2014)

## Utilización de sargazo como fertilizante En planta de frijol en racimos

Se ha observado su potencial al utilizar un extracto líquido obtenido de esta alga en cultivos de frijol con efectos positivos al medir parámetros como velocidad de crecimiento largo de las raíces, altura del tallo, tamaño de la hoja, un incremento en el rendimiento. Esto se debe que le provee elementos como: Fe, Cu, Zn, Mn, N, P, K, S, Ca y Mg, además de reguladores de crecimiento como giberelinas y auxinas. también biomoléculas como metabolitos, carbohidratos y vitaminas. esto le permite al suelo mejorar sus propiedades químicas, físicas y biológicas (Vijayanand et al., 2014).

## Utilización de sargazo como fertilizante En planta de rábano rojo

Se ha obtenido el extracto de *Sargassum vulgare* para remojar semillas de rábano rojo antes de su siembra, se reflejaron una mayor longitud en su crecimiento, incremento en el número de hojas, aumento en el diámetro de las raíces en comparación con solo remojar en agua las semillas (Mahmoud et al., 2019)

## Utilización de sargazo como fertilizante En cilantro (México)

En una mezcla de suelo con harina preparada a partir de *Sargassum vulgare* sobre un suelo pobre en nutrientes, que recibe desechos industriales como lo es el Borde de Xochiaca en Chimalhuacán Estado de México.

Se observaron resultados en el aumento en el peso y en la longitud del cilantro. Se observó que el harina mejora las propiedades fisicoquímicas del suelo al mejorar su retención de agua en un suelo arcilloso, además de suministrarle nutrientes (Uribe et al., 2018)

## Situación en México

- En el estado de Guerrero en México el 75% de los suelos presentan deterioro por el uso persistente de fertilizantes químicos que provocan la erosión e infertilidad al suelo he aquí un área de oportunidad en la utilización de sargazo como una alternativa de fertilizante orgánico (Silva et al., 2019; Vijayanand et al., 2014; Gonzáles et al., 2012).

## Agradecimientos Académicos

- Dra. Araceli Peña Álvarez
  - Maestra Iliana Zaldívar Coria
  - Dra. Minerva Monroy Barreto
  - Dra. Flora Mercader Trejo (Universidad Politécnica de Santa Rosa de Jáuregui, UPSRJ)
  - Dr. Raúl Herrera Basurto (Universidad Tecnológica de Querétaro, UTEQ)
  - Dra. Olivia Zamora Martínez ( DQA, FQ / Lab. Nacional de Geoq. y Mineralogía – LANGEM, Inst. de Geología, UNAM)
  - Dr. Julio C. Aguilar Cordero
- Responsable:** Dra Ma. Teresa de J. Rodríguez Salazar (DQA, FQ, UNAM)

## Bibliografía

- Eko, N. D., Laras, R., Apri, D. A. (2019). The addition of different starters on characteristics Sargassum sp. Liquid fertilizer. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 246
- González, M., Gómez, N. O., Muñiz, J., Valencia, F., Damaso, G., Figueroa, H. O. (2012). Rendimiento del maíz de riego tratado con zeolita más fertilizantes en el estado de Guerrero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(6), 1129-1144
- Mahmoud, S.H., Salama, D. M.; El Tnahy, A. M. , Abd El-Samad, E. H. Utilization of seaweed (Sargassum vulgare) extract to enhance growth, yield *Annals of Agricultural Sciences* 64, 167–175
- Ohtake, M., Natori, N., Sugai, Y., Tsuchiya, K., Aketo, T., Nishihara, G. N., Toda, T. (2020). Growth and nutrient uptake characteristics of sargassum macrocarpum cultivated with phosphorus-replete wastewater. *Aquatic Botany*, 163
- Reeta, K., Indeerdep, K., Bathnagar, A. Enhancing soil health and productivity of Lycopersicon *J Appl Phycol* (2013) 25: 1225-1235
- Silva, L., Bahcevandziev, K., Pereira, L. (2019). Production of Biofertilizer from *Ascophyllum nodosum* and *Sargassum muticum* (Phaeophyceae). *Journal of Oceanology and Limnology*, 37(3), 918-927
- Soto, S., Vázquez, M. A., de Vega, A., Vilariño, J. M., Fernández, G., de Vicente, M. E.S. Methane potential and anaerobic treatment feasibility of *Sargassum muticum* *Bioresource Technology* 189 (2015) 53-61

## Bibliografía

- Sutharsan, S., Nishanthi, S., Srikrishnah, S. Effects of Foliar Application of Seaweed (*Sargassum crassifolium*) Liquid Extract on the Performance of *Lycopersicon esculentum* Mill. In *Sandy Regosol of Batticaloa District Sri Lanka American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 14 (12): 1386-1396, 2014
- Thompson, T. M, Young, B. R., Baroutian, S. Efficiency of hydrothermal pretreatment on the anaerobic digestion of pelagic *Sargassum* for biogas and fertiliser recovery *Fuel* 279 (2020) 118527
- Uribe, M. E., Mateo, L. E., Mendoza, A. C., Amora, E. F., Gonzáles, D., Durán, D. (2018). Efecto del alga marina *Sargassum vulgare* C. Agardh en el suelo y el desarrollo de plantas de cilantro. *IDESIA*, 36(3), 69-76
- Vijayanand, N., Sivargansari, S., Rathinavel, S. (2014). Potencial of liquid extracts of *sargassum wightii* on growth biochemical and yield parameters of cluster bean plant. *Asian pacific journal of reproduction*. 3(2), 150-153
- Yu, Z., Robinson, S. M. C., Xia, J., Sun, H., Hu, C. Growth, bioaccumulation and fodder potentials of the seaweed *Sargassum hemiphyllum* grown in oyster and fish farms of South China, *Aquaculture* 464 (2016) 459-468

**ANEXO II.** Infografía del seminario: "Sargazo: Fertilizante natural, alternativa sustentable" (Delgadillo y Rodríguez, 2021),  
[https://amyd.quimica.unam.mx/pluginfile.php/14413/mod\\_resource/content/1/infografia%20EDDM%2020210618.pdf](https://amyd.quimica.unam.mx/pluginfile.php/14413/mod_resource/content/1/infografia%20EDDM%2020210618.pdf)



**"SARGAZO: FERTILIZANTE NATURAL, ALTERNATIVA SUSTENTABLE"**

PROYECTO PAPIME UNAM 210820

CONTRIBUCIÓN DE LA QUÍMICA ANALÍTICA DESDE LA DOCENCIA E INVESTIGACIÓN FORMATIVA, SEMINARIO ESTUDIANTIL DEPARTAMENTO DE QUÍMICA ANALÍTICA, FACULTAD DE QUÍMICA, PROYECTO DE TESIS

Por: Eric David Delgadillo Mendoza (Estudiante de QFB, FQ, UNAM/ericdelgadillo@comunidad.unam.mx) Tutora: Ma. Teresa de Jesús Rodríguez Salazar (Depto. Química Analítica, FQ, UNAM /mtjr@quimica.unam.mx)





### ¿Qué es el sargazo?

Es un alga que pertenece al dominio Eucaria y al reino plantae pertenece a las algas cafées, es un organismo béntico unido a sustratos sólidos se encuentra en las superficies de las aguas costeras (Silva et al., 2019).

### Utilización de sargazo como fertilizante

Se ha observado su potencial al utilizar un extracto líquido obtenido de esta alga en cultivos de frijol con efectos positivos al medir parámetros como velocidad de crecimiento largo de las raíces, altura del tallo, tamaño de la hoja, un incremento en el rendimiento. Esto se debe que le provee elementos como: Fe, Cu, Zn, Mn, N, P, K, S, Ca y Mg, además de reguladores de crecimiento como giberelinas y auxinas. también biomoléculas como metabolitos, carbohidratos y vitaminas. esto le permite al suelo mejorar sus propiedades químicas, físicas y biológicas (Vijayanand et al., 2014).

### Situación en México

En el estado de Guerrero en México el 75% de los suelos presentan deterioro por el uso persistente de fertilizantes químicos que provocan la erosión e infertilidad al suelo he aquí un área de oportunidad en la utilización de sargazo como una alternativa de fertilizante orgánico (Silva et al., 2019; Vijayanand et al., 2014; Gonzáles et al., 2012).

**Tabla 1.** Elementos presentes en el fertilizante líquido de sargazo (Vijayanand et al, 2014)

Elementos	Valor mg/L
Fe	0.88
Co	1.103
K	1.37
Mn	1.53
Zn	1.8
Cu	2.2
Na	5.3
Mg	16.31

**Tabla 2.** Moléculas orgánicas presentes en el fertilizante líquido (Vijayanand et al., 2014)

Componente	Valor mg/L
Auxinas	2.5
Citoquininas	5.5
Giberelinas	2.8

**Tabla 3.** Métodos de análisis y cuantificación de los elementos metálicos en diferentes especies de sargazo

Año	Autores	Sitio de muestreo	Muestra	Método de análisis	Contenido ppm							
					K	Fe	Mn	Zn	Cu			
2019	Eko, N. D., Laras, R., Apri, D. A.	Yogyakarta, Indonesia	Sargassum sp	Espectrofotometría de Absorción atómica	0.36	35.87	3.12	2.96	0.58			
					Contenido en mg/Kg							
Año	Autores	Sitio de muestreo	Muestra	Método de análisis	Zn	Pb	Ni	Cu	Cr	Cd		
2018	Uribe, M. E., Mateo, L. E., Mendoza, A. C., Amora, E. F., González, D., Durán, D.	Veracruz, México	Sargassum vulgare	Espectrofotometría de Absorción atómica	17.604	8.002	6.001	3.251	1.400	1.025		
					Contenido en mg/L							
Año	Autores	Sitio de muestreo	Muestra	Método de análisis	K	Cu	Mn	Zn	Fe	Co	Na	Mg
2014	Vijayanand, N., Sivasangari, S., Rathinavel, S.	Mandapam, India	Sargassum wightii	Espectrofotometría de Absorción atómica	1.37	2.2	1.53	1.8	0.88	1.103	5.3	16.31

**Tabla 4.** Método de análisis y cuantificación de moléculas orgánicas contenidas en el sargazo**Agradecimientos académicos:**

Dra. Araceli Peña Álvarez (jefa de DQA)

M. Monroy B., F. E. Mercader T., R. Herrera B., I. Zaldívar C., O Zamora M., Dr. J. C. Aguilar C., M. en I. Gutiérrez Lara María Rafaela., Dra. Andraca Ayala Gema Luz., M en C. Mendoza Campos Alejandra., I. Q. Manríquez Tolsá Úrsula

**Agradecimientos generales**

A mi compañera Fernanda Leyvas Acosta

Año	Autores	Sitio de muestreo	Muestra	Método de análisis	Moléculas orgánicas	Contenido en mg/L
2014	Vijayanand, N., Sivasangari, S., Rathinavel, S.	Mandapam, India	Sargassum wightii	HPLC	Auxinas	2.5
				Espectrofotometría de UV-vis	Giberelinas	2.8
				Espectrometría de masas	Citoquininas	5.5

**BIBLIOGRAFÍA**

- Eko, N. D., Laras, R., Apri, D. A. (2019). The addition of different starters on characteristics Sargassum sp. Liquid fertilizer. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 246
- Silva, L., Bahcevandziev, K., Pereira, L. (2019). Production of Biofertilizer from Ascophyllum nodosum and Sargassum muticum (Phaeophyceae). Journal of Oceanology and Limnology, 37(3), 918-927
- Ohtake, M., Natori, N., Sugai, Y., Tsuchiya, K., Aketo, T., Nishihara, G. N., Toda, T. (2020). Growth and nutrient uptake characteristics of sargassum macrocarpum cultivated with phosphorus-replete wastewater. Aquatic Botany, 163
- Vijayanand, N., Sivagansari, S., Rathinavel, S. (2014). Potencial of liquid extracts of sargassum wightii on growth biochemical and yield parameters of cluster bean plant. Asian pacific journal of reproduction. 3(2), 150-153
- Uribe, M. E., Mateo, L. E., Mendoza, A. C., Amora, E. F., González, D., Durán, D. (2018). Efecto del alga marina Sargassum vulgare C. Agardh en el suelo y el desarrollo de plantas de cilantro. IDESIA, 36(3), 69-76
- González, M., Gómez, N. O., Muñiz, J., Valencia, F., Damaso, G., Figueroa, H. O. (2012). Rendimiento del maíz de riego tratado con zeolita más fertilizantes en el estado de Guerrero. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 3(6), 1129-1144

**ANEXO III.** Poster presentado en el LatinXChem 2021 conference  
2021(Delgadillo y Rodríguez, 2021), presentado en  
<https://twitter.com/DelgadillEric/status/1439995186503892999?s=20&t=O7jGXitVfDqoBgDtpi5mMQ>



**PROYECTO PAPIME 210820**

**LatinXChem  
2021**

**"Sargazo: Fertilizante, alternativa sustentable"**

Por: Eric David Delgadillo Mendoza (Tesisista de QFB, FQ, UNAM/ericdelgadillo@comunidad.unam.mx)  
Tutora: María Teresa de Jesús Rodríguez Salazar (Dpto. Química Analítica, FQ, UNAM/mtrj@quimica.unam.mx)

## INTRODUCCIÓN

### Utilización de fertilizantes químicos

El consumo de fertilizantes en la agricultura es fundamental, ya que mejora la producción de alimentos. Sin embargo su uso excesivo de fertilizantes químicos ha provocado la degradación del suelo y el decline del rendimiento y calidad de los cultivos. Además de la erosión del suelo, contaminación del agua, anegamiento, agotamiento de la biodiversidad, etc. (Kumari, et al., 2013; Vijayanand, et al., 2014 )

### Situación en México

Actualmente en México en el estado de Guerrero el 75 % de los suelos presenta un deterioro por el uso persistente de fertilizantes químicos que provocan la erosión e infertilidad es por eso que aquí tenemos una oportunidad en la utilización de sargazo como alternativa de fertilizante orgánico del suelo (González, et al., 2012).

#### Alternativa sustentable

Es por eso que en la actualidad se buscan alternativas más agradables para el medio ambiente. Una alternativa es la utilización de abonos orgánicos. Se sabe que los fertilizantes orgánicos mejoran las propiedades fisicoquímicas del suelo, así como su humedad y capacidad de retención del agua (Kumari, et al., 2013).

Actualmente los extractos de algas cafés como lo es el caso del género *Sargassum* han mostrado un gran potencial como estimulantes del crecimiento natural de las plantas en cultivos agrícolas, esto puede ser atribuido a su contenido de materia orgánica, micro y macro nutrientes como : K, Cu, Mn, Zn, Fe, Co y Mg (Mahmoud, et al., 2019; Vijayanand, et al., 2014)

#### Utilización del sargazo como fertilizante

Se ha observado su potencial como fertilizante al utilizarse un extracto líquido obtenido del sargazo al aplicarse en cultivos de frijol de racimo, al observar efectos positivos al observar un aumento en la velocidad de crecimiento, largo de raíces, altura de tallo, tamaño de la hoja y rendimiento del cultivo (Vijayanand, et al., 2014)

## DATOS

Tabla 1. Elementos presentes en el fertilizante líquido de sargazo (Vijayanand et al, 2014)

Elementos	Valor mg/L
Fe	0.88
Co	1.103
K	1.37
Mn	1.53
Zn	1.8
Cu	2.2
Na	5.3
Mg	16.31

Tabla 2. Moléculas orgánicas presentes en el fertilizante líquido (Vijayanand et al., 2014)

Componente	Valor mg/L
Auxinas	2.5
Citoquininas	5.5
Giberelinas	2.8

Tabla 3. Métodos de análisis y cuantificación de los elementos metálicos en diferentes especies de sargazo

Referencia	Especie de sargazo	Técnica de análisis	Contenido en mg/L						
			K	Cu	Mn	Zn	Fe	Co	Na
Vijayanand, et al., 2014	wightii	Espectrofotometría de absorción atómica	1.37	2.2	1.53	1.8	0.88	1.103	5.3
			Contenido en mg/kg						
Uribe, et al., 2018	vulgare	Espectrofotometría de absorción atómica	Zn	Pb	Ni	Cu	Cr	Cd	
			17.604	8.002	6.001	3.251	1.4	1.025	
Reeta, et al., 2013	johnstonii	Espectrofotometría de absorción atómica	Contenido en µg/g			Contenido en % m/m			
			Zn	Cu	Mn	Mg	K	Fe	Na
			67.05	2001.7	0.036	0.0628	0.0682	0.5556	1.033

### Conclusiones

El extracto obtenido de sargazo tiene una influencia positiva en el crecimiento, propiedades fisicoquímicas, y rendimiento de la planta de frijol, Por lo cual el sargazo puede utilizarse como una fuente alternativa y sustentable en el uso de fertilizantes orgánicos.

### Agradecimientos

Dra. Araceli Peña Álvarez (jefa de DQA)  
M. Monroy B., F. E. Mercader T., R. Herrera B., I. Zaldívar C., O Zamora M., Dr. J. C. Aguilar C., M. en I. Gutiérrez Lara María Rafaela., Dra. Andraca Ayala Gema Luz., M en C. Mendoza Campos Alejandra., I. Q. Manríquez Tolsá Úrsula.

Agradecimientos especiales al proyecto [PAPIME- UNAM-210820](#)

**BIBLIOGRAFÍA**

- 1.Vijayanand, N., Sivasangari, S., Rathinavel, S. (2014). Potential of liquid extracts of *Sargassum wightii* on growth, biochemical and yield parameters of cluster bean plants. *Asian Pacific journal of Reproduction*. 3(2), 150-153
- 2.Mahmoud, S., Salama, D., El Tanahy, A., Abd El Samad, E. (2019). Utilization of seaweed (*Sargassum vulgare*) extract to enhance growth, yield and nutritional quality of red radish plants. *Annals of Agricultural Sciences*. Elsevier. 64(2019). Pp. 167-175
- 3.Kumari, R., Kaur, I., Bhatnagar, A. K. (2012). Enhancing soil health and productivity of *Lycopersicon esculentum* Mill. Using *Sargassum johnstonii* Setchell & Gardner as a soil conditioner and fertilizer. *Journal of Applied Phycology*, 5(2013), 1225-1235
- 4.González, M., Gómez, N. O., Muñoz, J., Valencia, F., Damaso, G. Figueroa, H. O. (2012). Rendimiento del maíz de riego tratado con zeolita más fertilizantes en el estado de Guerrero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(6), 1129-1144

**ANEXO IV.** Propuesta de práctica (Rodríguez et al., 2022),  
[https://amyd.quimica.unam.mx/pluginfile.php/15671/mod\\_resource/content/5/MTJRS%20et%20al-Cuadernillo%20Prop%20Pr%C3%A1cticas-DQA.pdf](https://amyd.quimica.unam.mx/pluginfile.php/15671/mod_resource/content/5/MTJRS%20et%20al-Cuadernillo%20Prop%20Pr%C3%A1cticas-DQA.pdf)

## PRÁCTICA No. 7

### Análisis cuantitativo de hierro contenido en sargazo

#### I. Introducción

##### I.I Fundamento de la técnica analítica

La espectroscopia de absorción atómica es una técnica que sirve para la determinación cuantitativa de un elemento metálico en una muestra. Se basa en la absorción de la radiación de energía por los átomos libres a una longitud de onda determinada a una longitud de onda determinada. La radiación es absorbida de manera selectiva, por los átomos que tengan niveles energéticos cuya diferencia energética corresponda al valor de energía de los fotones incidentes. La ley de Lambert-Beer determina la cantidad de fotones absorbidos, que relaciona la pérdida de poder radiante, con la concentración de la especie absorbente y con el espesor de la celda que contiene los átomos absorbentes (Rocha, 2000).

Se analiza el átomo, el cual está rodeado de electrones. Cada elemento tiene un número determinado de electrones, los cuales ocupan orbitales definidos. La configuración electrónica conocida del átomo corresponde al estado de energía más bajo, conocido como estado basal. Si se aplica la energía adecuada a un átomo y un electrón externo será promovido a un estado menos estable o estado excitado. Este último estado es muy inestable, el átomo de forma inmediata y espontáneamente regresará a su posición estable y se emitirá una energía radiante equivalente a la cantidad de energía absorbida inicialmente en el proceso de excitación (Skoog et al., 2010).

Si una longitud de onda determinada emite luz y esta incide sobre un átomo libre en estado basal, el átomo absorberá energía y va a pasar a un estado de mayor energía, es decir estará excitado, a este proceso se le llama absorción atómica. Esta propiedad de un átomo para absorber luz de una longitud de onda específica es utilizada en esta técnica (Harris, 2012).

La cantidad medida de interés en absorción atómica, es la medida de la luz a una determinada longitud de onda, la cual es absorbida cuando la luz pasa a través de una nube de átomos. Cuando el número de átomos en la trayectoria de la luz se incrementa, la cantidad de luz absorbida incrementa en una forma predecible. Al medir la cantidad de luz absorbida, se puede determinar de forma cuantitativa la cantidad de elemento presente. Se hace uso de fuentes de luz especiales y una cuidadosa selección de longitud de onda permite la determinación cuantitativa de los elementos individuales en la presencia de otros. La nube de átomos requerida para mediciones de absorción atómica es producida proporcionando la energía térmica suficiente para la disociación de los compuestos químicos en átomos libres.

La luz a la longitud de onda específica con una intensidad inicial ( $I_0$ ), se enfoca en la flama que contiene átomos en estado basal. La intensidad de luz inicial es disminuida por una cantidad determinada de concentración de átomos en la flama. La luz es dirigida a un detector donde la intensidad reducida ( $I$ ), es medida. La cantidad de luz absorbida es determinada al comparar  $I$  e  $I_0$  (Harris, 2012).

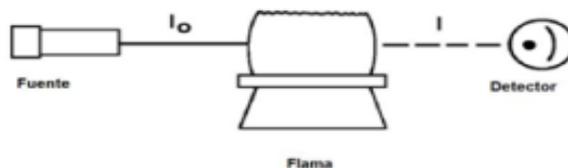


Figura 1. Proceso de absorción atómica (Sánchez, C. E., 2016)

La absorbancia es el término que más conviene para caracterizar la luz absorbida en la espectrofotometría de absorción, pues esta cantidad tiene una relación lineal con la concentración:  
La Absorbancia (A), es una cantidad puramente matemática:

$$A = \log(I_0/I)$$

La ley de Beer define esta relación:

$$A = abc$$

Donde:

A= Absorbancia

a= coeficiente de absorción, la cual es una característica de las especies absorbentes a una longitud de onda específica.

b= longitud del paso de la luz ocupado por la celda de absorción

c= Concentración de las especies que absorben en la celda de absorción

Esta ecuación establece que la absorbancia es directamente proporcional a la concentración de la especie absorbente para un conjunto dado de condiciones instrumentales (Skoog et al., 2010).

Cuando la absorbancia de las soluciones patrón de concentraciones conocidas del analito se mide y se realiza una gráfica de absorbancias con respecto a la concentración se obtiene una curva de calibración. En la región en la cual se observa la relación de la ley de Beer, la calibración produce una línea recta (Skoog et al., 2010).

Después de establecer la calibración, se mide la absorbancia de las soluciones de concentración desconocida y su concentración directamente a la curva de calibración (Harris, 2012).

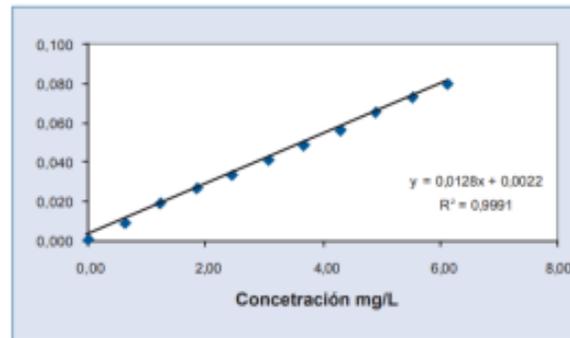


Figura 2. Curva de calibración para la determinación de hierro (Peñuela, O., 2005)

## 1.2 Aplicación de la técnica utilizada

La absorción atómica es una de las técnicas más utilizadas para la determinación de metales, el hierro elemental es esencial para las algas para producir enzimas que sean capaces de facilitar el consumo de nutrientes (Ohtake et al., 2020). El sargazo es un alga que al ser utilizada como fertilizante orgánico ha mostrado en cultivos de tomate el suministro de metales como Fe, Na, K, Mg, Ca y Zn, los cuales aumentan la porosidad y la capacidad de retención del agua y hacen que haya un incremento en el crecimiento en general. El sargazo utilizado como fertilizante orgánico provee varios macros y micros nutrientes, los cuales son requeridos para el crecimiento saludable y un mejoramiento en el rendimiento del cultivo de tomate (Kumari et al., 2013). Además, el Fe ayuda en los alimentos para que las personas que sufren anemia puedan mejorar en esta enfermedad, de ahí que el sargazo cobre una gran importancia en su uso como fertilizante orgánico (González et al., 2005).

El hierro es requerido por el organismo en cantidades muy pequeñas, razón por la cual se considera un micronutriente, cuya función es la de formar al grupo hem de la hemoglobina encargada de transportar oxígeno en el organismo (Silva, 2005).

Debido a que el consumo de hierro es importante para prevenir enfermedades como la anemia, por eso es por lo que debe ser cuantificado ya que al utilizar algas como fertilizantes, son una fuente de hierro a los cultivos que sirven de alimento (Silva, 2005).

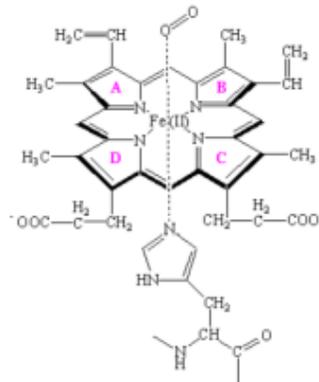


Figura3 . Estructura del grupo hem (Peñuela, O., 2005)

### Absorción atómica (Gadzhieva, 2016)

#### Condiciones de trabajo propuestas

Equipo: Thermo Scientific ICE 3300 AA

Wavelength 248.3 nm

Lamp Current 75%

Band pass 0.5 nm

Signal Continuous

Flame type Air Acetylene

Fuel Flow rate 0.9 L/min

Replicates 3 times

Measurement 4 s

#### Intervalo de trabajo para la determinación de hierro

Desde 0.5 a 10 mg/L

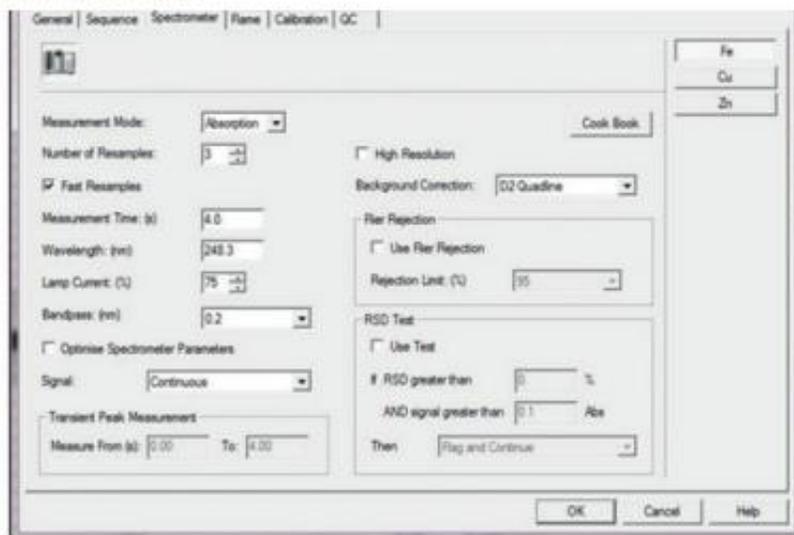


Figura 4. Condiciones recomendadas para la determinación de hierro, mediante Espectroscopía de absorción atómica (Gadzhieva, 2016).

## **II. Objetivos**

- Introducir al alumno a la aplicación de la técnica analítica: Espectrometría de absorción atómica
- Estimular el aprendizaje a través de la investigación bibliográfica, análisis y experimentación
- Determinar el contenido de elementos metálicos presentes en el alga sargazo utilizando la técnica analítica espectroscopia de absorción atómica.
- Aplicar sus conocimientos teórico-prácticos al tema de la práctica.

## **III. Actividad preliminar**

Elaborar un esquema que desglose, represente y relacione los diversos conceptos relacionados con la práctica.

Definir un intervalo lineal, para ello consultar el manual del instrumento el rango específico del instrumento analítico a utilizar.

De acuerdo con el intervalo lineal intrínseco del instrumento analítico: Proponga la concentración de los estándares de hierro a emplear en la curva de calibración. Elabore el diseño experimental para la preparación a partir de la disolución stock de 1000 mg/L.

¿Cuál es el estimado en concentración (mg/L) de Fe en la muestra original?

### **\*Notas:**

- Para el diseño experimental, se sugiere confirmar con el profesor de la asignatura la información de la figura 4 del presente documento.

- Consulte el siguiente link para obtener la información elemental requerida:

<https://iupac.org/what-we-do/periodic-table-of-elements/>

## **IV. Procedimiento experimental**

**Siga las indicaciones del profesor de la asignatura para la operación básica del equipo e instrumentación analítica a utilizar.**

### **Material, equipo e instrumentos**

Espectrómetro de absorción atómica: Thermo Scientific ICE 3300 AA

Quemador de aire acetileno

Lámpara de cátodo hueco de cobre

Parrilla de calentamiento con agitador

Embudo de filtración rápida

Papel filtro Whatman No.

Vaso de precipitados

Vidrio de reloj

Matraz volumétrico  
Campana de extracción  
Magneto de agitación

#### **Reactivos**

Gas acetileno grado comercial  
Aire comprimido  
Ácido nítrico 2 % m/v  
Ácido nítrico al 70 % m/v  
Disolución Stock de Fe a 1000 mg/L

\*Nota: Utilice para la experimentación: Agua tipo: \_\_\_\_\_ y la calidad de los ácidos grado:

#### **IV.1 Preparación de la muestra**

##### **Actividades**

Poner a secar al aire la muestra de alga hasta peso constante tomar y mezclar 0.5 g de muestra sólida y someterla a una digestión ácida en un matraz de 40 mL agregar la muestra 0.8 mL de ácido nítrico 70% y completar el volumen hasta 40 mL con agua desionizada. Programe a 60°C durante 30 min. Reponer el volumen con agua desionizada a 40 mL entonces filtre a un poro de 45  $\mu\text{m}$  (Soto et al., 2015).

Calcule la concentración (mg/L) de Fe en la solución resultante del procedimiento de digestión, realizando los cálculos necesarios (Soto et al., 2015).

¿Cuál es el factor de dilución a emplear de la solución digerida, para analizar la muestra en concentración estimada dentro del intervalo lineal del instrumento analítico a emplear? Prepare la muestra en la dilución correspondiente, empleando agua: \_\_\_\_\_ como diluyente (Soto et al., 2015).

#### **IV.2 Preparación de las disoluciones estándar: Método de calibración externo (Soto et al., 2015).**

- Los intervalos de linealidad para el hierro (Fe), están entre 0.5 y 8 mg/L
- Preparar 100 mL de una disolución patrón de 1000 mg/L afore con  $\text{HNO}_3$  al 2% m/v.
- A partir de la solución patrón diluciones estándar de 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0 y 8.0 mg/L.
- Se prepara un blanco con  $\text{HNO}_3$  al 2 % v/v.
- Solución de digestión de sargazo

### Manejo del espectrómetro de absorción atómica

Trabajar el espectrómetro, provisto de una lámpara multielemental para Fe, Cu, Cr, Ni, Mn y Co en modo "Energy" a una longitud de onda de 248.3 nm y una corriente de 5 mA. a encender el atomizador (llama aire acetileno oxidante). Aspirando la disolución de hierro de mayor concentración y trabajando en modo "Energy" se posiciona el mechero nebulizador y se ajusta el caudal de aspiración de tal manera que se obtenga la mayor intensidad de energía. Finalmente, al aspirar la disolución blanco se hará el cero de la absorbancia. Después se mide la absorbancia de las disoluciones estándar y de la muestra trabajando en modo "Data". La concentración de la muestra se hace por interpolación en la recta de calibrado a partir de las áreas de las disoluciones estándar medidas (Silva, 2009).

### RESULTADOS

#### Curva de calibración

Solución	Concentración (mg/Kg)	Absorbancia
1		
2		
3		
4		
5		

#### Muestras

Muestra	Absorbancia	Conc. [mg/L]
1		
2		
3		

Concentración promedio de hierro en la muestra: \_\_\_\_\_ mg/L

### CUESTIONARIO

1. ¿Por qué se debe tener la muestra totalmente seca?
2. ¿Por qué se lleva a cabo la digestión con ácido sulfúrico?
3. ¿Cuáles son los principales componentes de absorción atómica y cuáles son sus funciones?
4. ¿Cuáles son los diferentes tipos de calidad de agua?
5. ¿Qué tipo de agua se utiliza para absorción atómica?
6. Pregunta a tus compañeros los resultados obtenidos en la determinación de la concentración de tus analitos e informa de la repetibilidad y reproducibilidad de los resultados

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Díaz, J., Santana, J. (2009). Cuantificación de hierro, zinc, calcio y vitamina "A" en leche de soya en polvo, de tres marcas comercializadas en los alrededores del centro urbano "José Simeon Cañas". (Tesis de licenciatura). El Salvador: Facultad de Química y Farmacia, Universidad del Salvador
2. Gadzhieva, A. (2016). Iron, copper and zinc determination in wine using flame atomic absorption spectroscopy. Thermo scientific. Application note 43189
3. Gonzáles, Urrutia. (2005). Biodisponibilidad del hierro. Rev. Costarric. Salud pública, 14(26), 1-6
4. Harris, D. C. (2012). Análisis químico cuantitativo, 3ª Edición, España: Reverté.
5. Kumari, R., Kaur, I., Bhatnagar, A. K. (2012). Enhancing soil health and productivity of *Lycopersicon esculentum* Mill. Using *Sargassum johnstonii* Setchell & Gardner as a soil conditioner and fertilizer. Journal of Applied Phycology, 5(2013), 1225-1235
6. Mahmoud, S. H., Salama, D. M., El Thany, A. M., Abd El Samad, e. h. (2019). Utilization of seaweed (*sargassum vulgare*) extract to enhance growth, yield and nutritional quality of red *muticum* (phaephyceae). journal of oceanology and limnology, 37(3), 918-928
7. Ohtake, M., Natori, N., Sugai, Y., Tsuchiya, K., Aketo., Nishihara, G., Toda, T. (2020). Growth and nutrient uptake characteristics of *Sargassum macrocarpum* cultivated with phosphorus-replete wastewater. Aquatic Botany 163 (2020) 103208
8. Peñuela, O. (2005). Hemoglobina: Una molécula modelo para el investigador. Colombia médica: 36(3); 215-225
9. Nurcaya, e., rianingsih, I., Dwi, A. (2019) the addition of different starters on chacateristics *sargassum* sp. Liquid fertilizer. IOP Conf. Series and Environmental Science 246, 012045, 1-8
10. Silva, P. (2009). Validación de la metodología analítica para la cuantificación de hierro por espectroscopia de absorción atómica de llama en alimentos de la canasta básica costarricense. Tecnología en marcha: 22(2); 20-22
11. Rocha, E. (2000). Principios básicos de espectroscopia. México: Universidad Autónoma de Chihuahua.
12. Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., Crouch, S. R. (2010). Fundamentos de química analítica, 8ª Edición. México: Cengage Learning.
13. Sánchez, C. E. (2016). Determinación de metales pesados en muestras de diferentes tipos de residuos líquidos mediante la técnica de espectroscopia de absorbanza atómica (Tesina, grado de Especialista en Ingeniería Sanitaria). Facultad de Ingeniería. UNAM

## 8. BIBLIOGRAFÍA

Abburá, R. (2007). Evaluación y control de los impactos generados por sustancias y residuos no convencionales 2ª (parte). 1ª Edición. Editorial Encuentro: Argentina

Aguilera, E., Lassaletta, L., Sanz-Cobena, A., Garnier, J., Vallejo, A. (2013). The potential of organic fertilizers and water management to reduce N<sub>2</sub>O emissions in Mediterranean climate cropping systems. A review. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 164 (2013): 32-52

Akila, N., Jeyadoss, T. (2010). The potential of seaweed liquid fertilizer on the growth and antioxidant enhancement of *Helianthus annuus L.* *Oriental Journal of Chemistry*. 26 (4): 1353 – 136

Alfonso, M., (2008). Desarrollo de métodos para el aislamiento y la detección de toxinas marinas. Tesis doctoral. Facultad de veterinaria. Universidad de Santiago de Compostela.

Allowey, B.J., Ayres, D.C. (1993). *Chemical Principles of environmental pollution*. Ed. Chapman & Hall, Great Britain.

APA. American Psychological Association. (2010). *Manual de Publicaciones de la American Psychological Association*. 6ª edición. El manual moderno: México

APHA. American Public Health Association. (1995). *Standards methods for examination of water and wastewater analysis*. 19th ed. Washington: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation.

Arango, M. (2017). *Abonos orgánicos como alternativa para la conservación y mejoramiento de los suelos*. Especialización en gerencia agropecuaria. Corporación Universitaria Lasallista.

Barquero, M. (2006). Principios y aplicaciones de la cromatografía de gases. 1ª Edición. Universidad de Costa Rica: Costa Rica

Barquero, M. (2004). Mecanismos y aplicaciones de la cromatografía líquida de alto desempeño. 1ª Edición. Universidad de Costa Rica: Costa Rica

Bharath et al. (2018). Biofertilizing efficiency of *Sargassum polycystum* extract on growth and biochemical composition of *Vigna radiata* and *Vigna mungo*. Asian Pacific Journal; 7(1), 27-32

Bhosle NB, Untawale AG, Dhargalkar VK. (1975). Effect of seaweed extract on the growth of *Phaseolus vulgaris* L. Indian J Mar. Sci, 4:207-210.

Brown, T. L., LeMay, H. E., Bursten, B. E., Burdge, J. R. (2004). Química. La ciencia central. 9a Edición. Pearson. México

Cabioch, J. (1976). Utilization des Algues. Skol-Vreiz, 45: 20-24

Carey, F. (2006). Química Orgánica. 6ª Edición. McGraw-Hill Interamericana: México

Carrillo, Silvia, & Bahena, A., & Casas, M., & Carranco, M.E., & Calvo, C.C., & Ávila, E., & Pérez-Gil, F. (2012). El alga *Sargassum* spp. como alternativa para reducir el contenido de colesterol en el huevo. Revista Cubana de Ciencia Agrícola, 46(2),181-186

Chong, I. (2007). Métodos y técnicas de investigación Documental. Investigación y Docencia en Bibliotecología. México. Facultad de Filosofía y Letras. Dirección General de Asuntos del Personal Académico. Universidad Nacional Autónoma de México. 183-201

Cong, Q., Chen, H., Liao, W., Xiao, F., Wang, P., Qin, Y., Dong, Q. (2016). Structural characterization and effect on anti-angiogenic activity

of afucoidan from *Sargassum fusiforme*. *Carbohydrate Polymers* 136, 899–907

Corona, J. (2018). Erosión de los suelos agrícolas y pobreza por acceso a la alimentación en México: Una aproximación general. (Tesis de licenciatura). México: Facultad de Filosofía y Letras, UNAM

Cox, S. A. y Degia, A. K. (2021). *Sargassum white paper. Turning the crisis into a opportunity. UN environment programme. Ninth Meeting of the Scientific and Technical Advisory Committee (STAC) to the Protocol Concerning Specially Protected Areas and Wildlife (SPAW) in the Wider Caribbean Region. Kingston, Jamaica.*

Critchley, A., Ohno, M. (1998). *Seaweed Resources of the World. Japan International Cooperation Agency (JICA). Tokyo, Japan*

Delgadillo, E. D. (2020). Desarrollo de un método alternativo a la prueba de aliento con Urea-<sup>13</sup>C para el diagnóstico de *Helicobacter pylori* con la detección de gases endógenos, mediante el uso de la técnica de Headspace en microextracción en fase sólida y análisis por cromatografía de gases-espectrometría de masas. Informe de estancia estudiantil, Facultad de Química. UNAM. México

Delgadillo, E. D., Rodríguez, M. T. J. (2021). Seminario: "Sargazo: Fertilizante natural, alternativa sustentable". Proyecto PAPIME UNAM; "Sargazo: Contribución de la Química Analítica desde la Docencia e Investigación Formativas". (Seminarios Estudiantiles). AMyD (Administración de Manuales y Documentos). [https://amyd.quimica.unam.mx/pluginfile.php/14419/mod\\_resource/content/1/seminario%20EDDM%2020210618.pdf](https://amyd.quimica.unam.mx/pluginfile.php/14419/mod_resource/content/1/seminario%20EDDM%2020210618.pdf)

Delgadillo, E. D., Rodríguez, M. T. J. (2021). Infografía: "Sargazo: Fertilizante natural, alternativa sustentable". Proyecto PAPIME UNAM;

"Sargazo: Contribución de la Química Analítica desde la Docencia e Investigación Formativas". (Infografías). AMyD (Administración de Manuales y Documentos). [https://amyd.quimica.unam.mx/pluginfile.php/14413/mod\\_resource/content/1/infografia%20EDDM%2020210618.pdf](https://amyd.quimica.unam.mx/pluginfile.php/14413/mod_resource/content/1/infografia%20EDDM%2020210618.pdf)

Delgadillo, E. D., Rodríguez, M. T. J. (2021). Poster para #LatinXChem 2021: "Sargazo: Fertilizante natural, alternativa sustentable". Proyecto PAPIME UNAM; "Sargazo: Contribución de la Química Analítica desde la Docencia e Investigación Formativas". (Twitter). <https://twitter.com/DelgadillEric/status/1439995186503892999?s=20&t=O7jGXitVfDqoBgDtpi5mMQ>

Di Filippo-Herrera, D.A. (2018). Actividad bioestimulante de extractos de macroalgas y su evaluación sobre el crecimiento de frijol mungo (*Vigna radiata*). (Tesis doctoral). Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas

DOF. (1980). NMX-F-068-S-1980. "Alimentos determinación de proteínas". Normas mexicanas. Dirección general de normas mexicanas.

DOF. (2007). NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio.

DOF. (2021). NOM-023-SSA1-2021, Salud Ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). Valores normados para la concentración de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.

Dougherty, M. (1999). Field guide to on-farm composting. Natural Resource Agr. Eng. Serv., New York, NY.

Dreckmann, K. M., Senties, A., Núñez, M. L. (2013). Manual de prácticas de laboratorio Biología de Algas. División de Ciencias Biológicas de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana. 1ª Edición, México

Durazo, E., Viana, M. (2001). Efecto de la concentración de agar, alginato y carragenano en la estabilidad, dureza y lavado de nutrientes en alimentos en alimentos balanceados para abulón *Ciencias Marinas*, 27 (1); 1-19

EPA. (1994). A Plain English Guide to the EPA Part 503 Biosolids Rule. United States Environmental Protection Agency. Washington D.C.

Escobedo, G. (2013). Optimización del sistema de análisis de muestras por espectrometría de absorción atómica para compañías mineras. Tesis de especialidad en sistemas de calidad. FES Acatlán. UNAM

Gallego, A., Garcinuño, R., Morcillo, M. (2013). Experimentación en Química Analítica. 1ª Edición. Editorial UNED: España

Gary, C. (2009). Química Analítica. 6ª Edición. Mc Graw-Hill: México

Ghisalberti, E. L. (1979). Propolis: A review. *Bee World*, 60(2); 59-84

Gómez, J. A., Picazo, A. J., Reig, E. (2008). Agricultura, desarrollo rural y sostenibilidad medioambiental. Ciriec-España, *Revista de Economía Pública Social y Cooperativa*, 61, pp. 103-126

Gómez, Eva. (2013). Evaluación nutricional y propiedades biológicas de algas marinas comestibles. Estudios "in vitro" e "in vivo". Tesis Doctoral. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid.

González-Estrada, A., Camacho, M. (2017). Emisión de gases de efecto invernadero de la fertilización nitrogenada en México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 8(8): 1733-1745

González, M., Gómez, N. O., Muñiz, J., Valencia, F., Damaso, G. Figueroa, H. O. (2012). Rendimiento del maíz de riego tratado con zeolita más fertilizantes en el estado de Guerrero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 3(6), 1129-1144

González, R., Terán, M. A., Nuñez, D. B., Ibañez, D., Pérez, J. (2017). El humus de lombriz en la producción de plántulas de *Lycopersicon esculentum* Mill en una comunidad del Estado Cojedes, Venezuela. *Revista Centro Agrícola*; 44 (4); 23-29

Gowariker, V., Krishnamurthy, V. N., Gowariker, S., Dhanorkar, M., Paranjape, K. (2009). *The Fertilizer. Encyclopedia*, 1a Edición, Editorial Wiley. EUA

Gutiérrez, E. Y. (2011). Determinación y evaluación de la concentración de elementos minerales de vesículas seminales de zánganos (*Apis mellifera* L.) sexualmente maduros, mediante espectrometría de absorción, emisión atómica y colorimetría. (Tesis de médica veterinaria) Facultad de medicina, veterinaria y zootecnia, UNAM

Harris, D. (2001). *Análisis cuantitativo*, 2ª Edición, Reverte, España.

Harris, D. C. (2012). *Análisis químico cuantitativo*, 3ª Edición, Reverté. España

Huerta, E., Cruz, J., Aguirre, L., Caballero, R., Pérez, L. (2015). Toxicidad de fertilizantes orgánico estimada con bioensayo de germinación de lechuga. *Universidad Politécnica de Puebla. Terra Latinoamericana*; 1(33): 179-185

Kalaivanan, C., Venkatesalu, V. (2012). Utilization of seaweed *Sargassum myriocystum* extracts as a stimulant of seedlings of *Vigna mungo* (L.) Hepper. *Spanish Journal of Agricultural Research* 10(2); 466-470

Khan, W., Rayirath, U. P., Subramanian, S., Jithesh, M. N., Rayorath, P., Hodges, D. M., Critchley, A. T., Craigie, J. S., Norrie, J., Prithviraj, B. (2009). Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *J. Plant Growth Regul.* 28 386-399

Kramer S. B., Reganold J. P., Glover J. D., Bohannanb. J. M., Mooney, H. A. (2006). Reduced nitrate leaching and enhanced denitrifier activity and efficiency in organically fertilized soils. *Proc Natl Acad Sci* 103:4522-4527

Kumari, R., Kaur, I., Bhatnagar, A. K. (2012). Enhancing soil health and productivity of *Lycopersicon esculentum* Mill. Using *Sargassum johnstonii* Setchell & Gardner as a soil conditioner and fertilizer. *Journal of Applied Phycology*, 5(2013), 1225-1235

Licona, M. (2015). Producción de un fertilizante a base de componentes orgánicos para el enriquecimiento nutricional y fácil asimilación de los cultivos. (Tesis de ingeniería química). Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Lobley, M., Butler, A., Reed, M. (2009). The contribution of organic farming to rural development: an exploration of the socioeconomic linkages of organic and non-organic farms in England. *Land Use Policy.* 26; 723-735

Ludwing-Müller, J., Cohen, J. D., (2002). Identification and quantification of three active auxins indifferent tissues of *Tropaelum majus* *Physiologia Plantarum*, 115: 320-329

Magura, J., Moodley, R., Jonnalagadda, S.B. (2016). Chemical composition of selected seaweeds from the Indian Ocean, KwaZulu-Natal. *Journal of Enviromental Science and Health*, 51 (B) 8, 525–533

Mahmoud, S., Salama, D., El Tanahy, A., Abd El Samad, E. (2019). Utilization of seaweed (*Sargassum vulgare*) extract to enhance growth, yield and nutritional quality of red radish plants. *Annals of Agricultural Sciences*. Elsevier. 64(2019). Pp. 167-175

Manahan, S. (2007). *Introducción a la Química Ambiental*, 1ª Edición, Editorial Reverte, UNAM. México.

Marquez, P.G.B., Santiañez, W.J.E., Trono Jr., G.C., Montaña, M.N.E., Araki, H., Takeuchi, H., Hasegawa, T. (2014). Seaweed biomass of the Philippines: Sustainable feedstock for biogas production. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 38, 1056–1068.

Martínez, L. (2020). *Composición de isótopos estables de carbono y nitrógeno en especies pelágicas de sargazo*. (Tesis de Maestro en Ciencias). Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C.

Mc Hugh, D. J. (2003). *A guide to seaweed industry*. FAO Fisheries Technical Paper, 441: 73-90

Mc Nair, H. (1981). *Cromatografía de gases*, monografía N° 23, secretaria general de la organización de los Estados Unidos Americanos, EUA.

Mellon, F.A. (2003). *Mass Spectrometry / Principles and Instrumentation*, AFRC Institute of Food Research, Norwich, UK, Elsevier Science

Moreira, A., Lima. M. M., Nandenha, J., Macedo, G. (2008). Estudio del Mecanismo de Remoción de Hierro y Cobre presentes en Aceites Lubricantes Usados Mediante Bioadsorción. *Información tecnológica*. 19(1): 57-68

Murillo, M. (2017). *Proyecto de recolección de Sargazo en las costas del caribe mexicano. Diseño y evaluación*. (Tesis de maestría). Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.

Navarro, J. (2018). Extracción y cuantificación de tetraciclina presente en leche empleando espectroscopía de UV-visible e Infrarrojo. (Tesis de Licenciatura). Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México

Nurcahya et al. (2019). The addition of different starters on characteristics *Sargassum sp* liquid fertilizer. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 246

Olea, O., Poblaciones, M., Rodrigo, S., Santamaria, O. (2013). Los pastos: Nuevos Retos, Nuevas Oportunidades. Editorial SEEP. España

Pereira, L., Correia, F. (2015). Algas Marinhas da Costa Portuguesa- Ecologia, Biodiversidade e Utilizacoes. Nota de Rodapé Edicoes, Paris. 340 p

Oliveira, F., Akisue, G.; Akisue, M. K. (1991). Farmacognosia. São Paulo: Editora Atheneu, 1991. p.16-18.

Pérez, A., Landeros, C. (2009). Agricultura y deterioro ambiental. Elementos: Ciencia y Cultura, 73 (16): 19-25

Pinheiro, N., Pinheiro, F., Ribeiro, J. (1998). Effects of varying concentrations of *Sargassum vulgare* C. Agardh on growth of lettuce and coriander. Arq. Cien. Mar, Fortaleza, 31(1-2): 41-46

Plaza, J. (2012). "Remoción de metales pesados empleando algas marinas. (Tesis Doctoral). Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de la Plata.

Polo, L. (2015). Fundamentos de Cromatografía. (Primera edición). España; Dextra Editorial

Posada, M. (2015). Análisis bioquímico. 1ª Edición. Editorial Paraninfo: España

Praiboon, J., Palakas, S., Noiraksa, T., Miyashita, K. (2017). Seasonal variation in nutritional composition and anti-proliferative activity of brown seaweed, *Sargassum oligocystum*. *J Appl Phycol* 30:101–111

Quitral, V., Morales, C., Sepúlveda, M., Schwartz, M. (2012). Propiedades nutritivas y saludables de algas marinas y su potencialidad como ingrediente funcional. *Revista chilena de nutrición*. 39(4): 196-202

Raluy, A., Monterde, F. (1978) Diccionario Porrúa de la lengua española. (Cuarta edición). México: Editorial Porrúa, S. A.

Rama-Rao, K. (1990). "Preparation of liquid seaweed fertilizer from *Sargassum*." In: *Seaweed Research and Utilisation Association Workshop on Algal products and Seminar on Phaeophyceae in India Marine Algal Research Station*. 16p.

Righton, D., Westerberg, H., Feunteun, E., Okland, F., Gargan, P., Amilhat, E., Mercalfe, J., Lobon-Cervia, J., Sjoberg, N., Simon, J., Acou, A., Vedor, M., Walker, A., Trancart, T., Bramick, U. and Aarestrup, K. (2016). Empirical observations of the spawning migration of European eels: The long and dangerous road to Sargasso Sea. *Sci. Adv.* 2 (10): e1501694

Ríos, P. A.; Toledo, M. C. y Bartra, A. (Coords.). 2009. Construyendo el desarrollo rural integral y sustentable en Guerrero. Vol. II: La conversión del programa de subsidio al fertilizante. Gobierno del estado de Guerrero. Secretaría de Desarrollo Rural y FAO-México. México, D. F. 136 p

Rocha, E. (2000). Principios básicos de espectroscopía. México: Universidad Autónoma de Chihuahua.

Rodríguez, M. T. J., Mercader, F. E., Zamora, O., Zaldivar, I., Monroy, M., Herrera, R., Aguilar, J. C., Gutiérrez, C., Bernal, I. P., Gómez, A. G., Cortés, R. S, Mendoza, E. E., Delgadillo, E. D., Morales, A. J., Ramírez, S. R., & Skaldal, A. L. (2020). Proyecto PAPIME UNAM; "Sargazo: Contribución de la Química Analítica desde la Docencia e Investigación Formativas". (Base de datos). AMyD (Administración de Manuales y Documentos). <https://amyd.quimica.unam.mx/course/view.php?id=662gion=5>

Rodríguez, M. T. J., Monroy, M., Aguilar, J. C., Gutiérrez, C., Bernal, I. P., Gómez, A. G., Cañibe, L. C., Leyvas, M. F., Mendoza, E. E., Delgadillo, E. D., Morales, A. J., Ramírez, S. R., & Skaldal, A. L. (2022). CUADERNILLO DE PROPUESTAS TEÓRICAS DE PRACTICAS EXPERIMENTALES CON APLICACIÓN A LA MATRIZ SARGAZO. Producto correspondiente al Proyecto PAPIME (Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación); "Sargazo: Contribución de la Química Analítica desde la Docencia e Investigación Formativas". CLAVE PE210820. (Propuestas de prácticas). AMyD (Administración de Manuales y Documentos). [https://amyd.quimica.unam.mx/pluginfile.php/15671/mod\\_resource/content/5/MTJRS%20et%20al-Cuadernillo%20Prop%20Pr%C3%A1cticas-DQA.pdf](https://amyd.quimica.unam.mx/pluginfile.php/15671/mod_resource/content/5/MTJRS%20et%20al-Cuadernillo%20Prop%20Pr%C3%A1cticas-DQA.pdf)

Rodríguez-Martínez R. E., Van Tussenbroek, B y Jordán-Dahlgren, E. (2016). Afluencia masiva de sargazo pelágico a la costa del Caribe Mexicano (2014-2015) en Florecimientos algales nocivos en México, 1ª Edición. Capítulo 5. CICESE. México: 352-365

Savci, S. (2012). Investigation of Effect of Chemical Fertilizers on Environment. APCBEE Procedia 1: 287-292

Schell, J. M., Goodwin, D. S., Siuda, A. N. S. (2015). Recent Sargassum Inundation. Events in the Caribbean. Shipboard observations reveal dominance of a previously rare form. Oceanography. 28 (3); 8-10

- Seepersaud, M., Ramkissoon, A., Seecharan, S., Powder, Y., Mohammed, F. (2017). Environmental monitoring of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in *Sargassum filipendula* and *Sargassum vulgare* along the eastern coastal waters of Trinidad and Tobago, West Indies. *Journal of Applied Phycology* 30: 2143–2154
- Silva, L., Bahcevandziev, K., Pereira, L. (2019). Production of biofertilizer from *Ascomyces nodosum* and *Sargassum muticum* (Phaeophyceae). *Journal of oceanology and Limnology*. Springer Link. 37(3), 918-927
- Skoog, D. A., Holles, F. J., Nieman, T. A. (2001). *Principios de análisis Instrumental*, 5a Edición, España: McGraw Hill
- Skoog, D. A., & Crouch, S. R. (2009). *Principios de analisis instrumental*. Porto Alegre RS: Bookman.
- Skoog, D. A., West, D. M., Holler, F. J., Crouch, S. R. (2010). *Fundamentos de química analítica*, 8ª Edición. México: Cengage Learning.
- Smith, F. B. C., and Van Staden, J. (1984) "The effect of seaweed concentrate and fertilizer on growth and exogenous cytokinin content of *Phaseolus vulgaris*", *S. Afri. J. Bot*, Vol. 3, pp. 375-379
- Soto, M., Vázquez M. A., de Vega a, A., Vilariño, J.M., Fernández, G., de Vicente, M.E.S. (2015). Methane potential and anaerobic treatment feasibility of *Sargassum muticum*. *Bioresource Technology* 189 (2015); 53-61
- Sriyuni et al. (2020). Application on seaweed extract *Sargassum cristaefolium* and amino acid to growth and yield of upland rice (*Oryza sativa* L.). *International Journal of Scientific & Technology research*, volume 9

Stuart, B., (2004). Infrared Spectroscopy: Fundamentals applications. Editorial John Wiley & Sons, Ltd: England

Su, L., Shi, W., Chen, X., Meng, L., Yuan, L., Chen, X., Huang, G. (2021). Simultaneously and quantitatively analyze the heavy metals in *Sargassum fusiforme* by laser-induced breakdown spectroscopy. Food Chemistry (338), 127797

Sunarpi, H., Nikmatullah, A. Sunarwidhi, A., Ambaria, Y., Ilhami, B., Widyastuti, S., Hernawan, A., Prasedya, E. (2020). Effect of Solid and Liquid Extracts of Lombok *Sargassum cristifolium* on Growth and yield of Rice Plants (*Oryza sativa* L.). Journal Biology Tropis., 20(3): 320-328

Sutharsan, S., Nishanthi, S., Srikrishnah, S. (2014). Effects of Foliar Application of Seaweed (*Sargassum crassifolium*) Liquid Extract on the Performance of *Lycopersicon esculentum* Mill. In Sandy Regosol of Batticaloa District Sri Lanka. American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci., 14 (12): 1386-1396

Sutharsan, S., Nishanti, S., Srikrishnah, S. (2017). effects of seaweed (*Sargassum crasifolium*) extract foliar application on seedling performance of *Zea mays* L. Research Journal of Agriculture and Forestry Sciences., 5(4): 1-5

Tancara, C. (1993). La investigación documental. Temas sociales. 17: 2413-5720

Taylor, H. (2001). Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. Practices and Techniques. 1<sup>st</sup> Edition. Academic Press: USA

Tensingh et al. (2017). Effect of seaweed liquid fertilizer of *Sargassum wightii* on the yield characters of *Abelmoschus esculentus* (L. Moench).

International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology; 4(9), 4511-4518

Thirumaran, G., Arumugam, M., Arumugan, R., Anantharaman, P. (2009). Effect of seaweed liquid fertilizer on growth and pigment concentration of *Albelmoschus esculentus* (I) Medikus. American-Eurasian Journal of Agronomy, 2 (2): 57-66

Thompson, T.M., Young, B. R., Baroutian, S. (2020). Efficiency of hydrothermal pretreatment on the anaerobic digestion of pelagic sargassum for biogas and fertiliser recovery. Fuel 279 (2020) 118527

Ünyayar S, Topcuoglu SF, Ünyayar A. (1996). A modified method for extraction and identification of indole-3-acetic acid (IAA), gibberellic acid (GA3), abscisic acid (ABA) and zeatin produced by *Phanerochaete chrysosporium* ME446. Bulg J Plant Physiol; 22(3-4): 105-110

Uribe, M. E., Mateo, L. E., Mendoza, A. C., Amora, E. F., González, D., Durán, D. (2018). Efecto del alga marina *Sargassum vulgare* C. Agardh en el suelo y el desarrollo de plantas de cilantro. IDESIA, 36(3), 69-76

Uthirapandi et al. (2018). Bio-fertilizer potential of seaweed liquid extracts of marine macro algae on growth and biochemical parameters of *Ocimum sanctum*. Journal of Pharmcognosy and Phytochemistry 2018; 7(3), 3528-3532

Valderrama, A. (2013). Biodegradación de Residuos Sólidos Agropecuarios y uso del Bioabono como acondicionador del suelo. Universidad Pontificia Bolivariana. Formación Avanzada. Escuela de Ingeniería de Especialización de Biotecnología. Ecuador

Vijayanand, N., Sivasangari, S., Rathinavel, S. (2014). Potential of liquid extracts of *Sargassum wightii* on growth, biochemical and yield parameters of cluster bean plants. *Asian Pacific journal of Reproduction*. 3(2), 150-153

Walsh et al. (2020). Examining the quality of a compost product derived from *Sargassum*. *Department of agricultural Science*, 30 (3), 331-336

Williams, A. and Feagin, R. (2010). *Sargassum* as a natural solution to enhance dune plant growth. *Enviro. Mgt.* 46: 738-747