



# Investigación Formativa en Química Analítica Ambiental (Macroalgas: Análisis y Aplicación)



Trabajo de Investigación II (1904)

Alumno: Rodríguez Pacheco Oscar Uriel

oscaruriel7@outlook.com

Tutora de estancia:

Dra. María Teresa de Jesús Rodríguez Salazar

Departamento de Química Analítica, Facultad de Química, UNAM

# Contenido

▶ Introducción.....	3
▶ Relación con investigaciones previas en el tema .....	16
▶ Objetivos.....	19
▶ Metodología.....	20
▶ Resultados .....	23
▶ Agradecimientos.....	30
▶ Referencias.....	33

# ¿Qué es una macroalga?

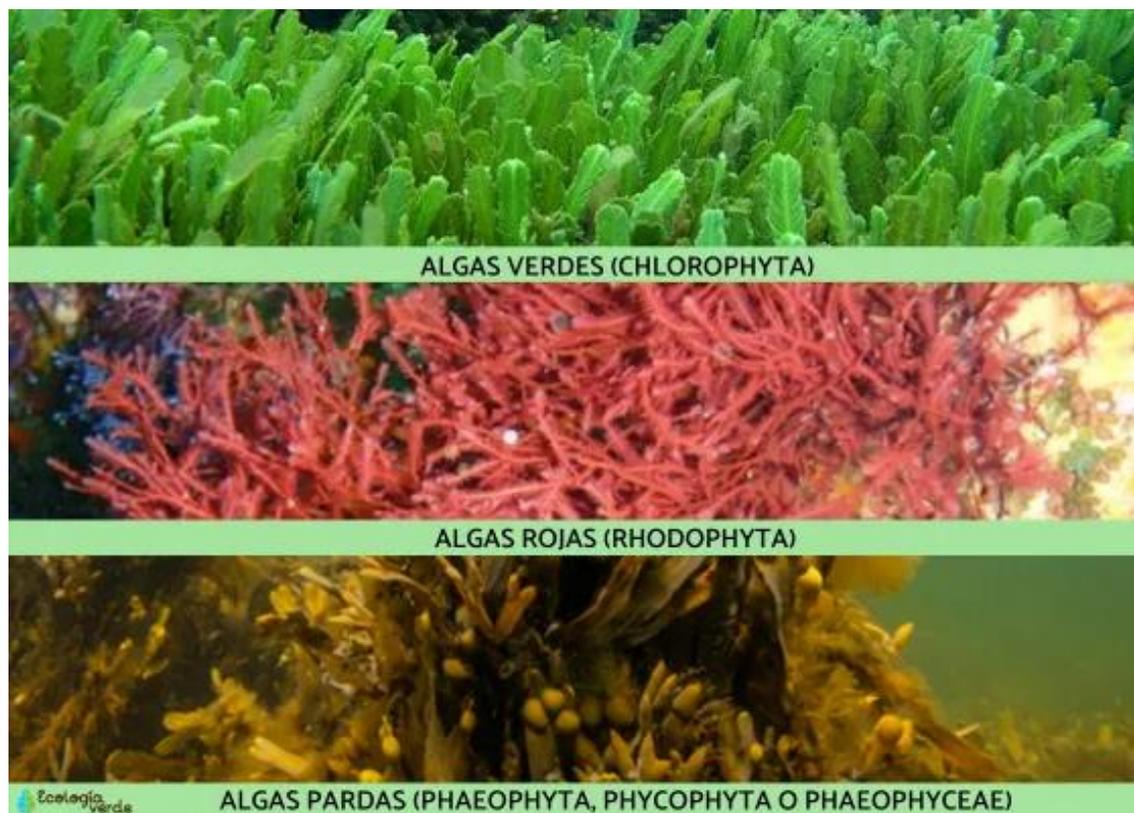


Imagen 3. Tipos de macroalgas

- ▶ Organismos fotosintéticos que viven adheridos a algún tipo de sustrato en la costa o en el fondo del mar.
- ▶ Son clasificadas de acuerdo a su pigmentación:
  - Macroalgas verdes (Clorofila a y b)
  - Macroalgas rojas (Ficolubina)
  - Macroalgas marrones (Fucoxantina)

# Internacional



Hijiki (*Sargassum fusiforme*)  
Mares de Asia, en suelos rocosos e incluso puede llegar a formar Arbustos que alcancen el metro de altura.



Nori (*Porphyra yezoensis*)  
Pertenece al grupo de las algas rojas, se puede encontrar en regiones como China, Japon y la Republica de Corea.



Wakame (*Undaria pinnatifida*)  
Alga parda que es ampliamente consumida principalmente en el continente asiatico.

# Nacional



- ▶ En el territorio Nacional Mexicano se han registrados 1 600 especies marinas y 1 102 dulceacuícolas de algas, además de 2 530 que son calcificadas como cianobacterias.
- ▶ Se distribuyen en regiones como:
  - Golfo de México
  - Mar Caribe
  - Océano Pacífico
  - Golfo de California

# Sargazo



- ▶ Llego a territorio nacional en grandes cantidades desde el 2011.
- ▶ Puede funcionar como hábitat para tortugas, invertebrados, peces y aves.

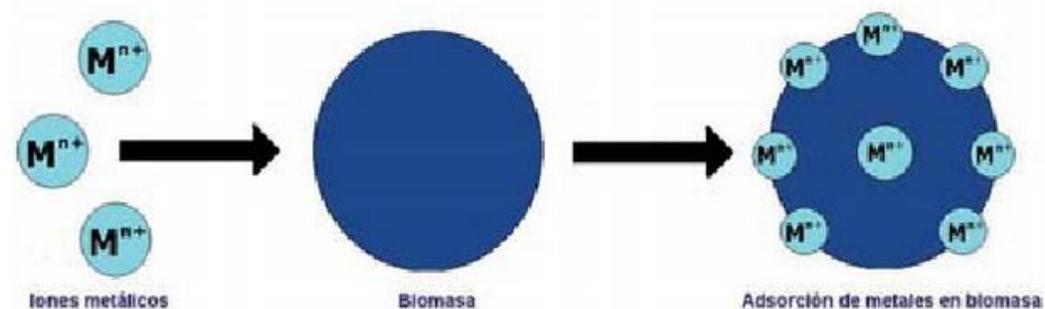
## Cantidades excesivas causa consecuencias negativas

- ▶ Al hundirse en el océano, sofoca a los corales y las praderas marinas, al igual que puede dificultar el movimiento y la respiración de algunas especies marinas.
- ▶ Su descomposición libera sulfuro de hidrógeno y genera un olor desagradable.
- ▶ El arribo masivo se debe:
  - ❖ Aumento de nutrientes.
  - ❖ Temperatura
  - ❖ Corrientes marinas y vientos.



# Biosorción

- La biosorción es un proceso de remoción de contaminantes del medio ambiente utilizando materiales biológicos, como microorganismos, plantas o subproductos de organismos vivos, para adsorber y acumular los contaminantes presentes en un medio.



\*Rojas, E., Hinojosa, L., Sánchez, V., Rivera, F., & Rodríguez, J. (2023). Capacidad biosortiva del *Nostoc commune* en la separación del plomo de aguas contaminadas. ALFA. [Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias, 7\(19\), 37-44.](#)

\*Pérez-Bou, L., Martínez-Sardiñas, A., & Salgado-Bernal, I. (2021). Biosorción de zinc y cadmio por bacterias inactivadas pretratadas. [Minería y Geología, 37\(1\), 90-104](#)

\*Torres, E. (2020). Biosorption: A Review of the Latest Advances. *Processes*, 8(12), 1584. DOI: 10.3390/pr8121584

# Mecanismo de Adsorción

- ▶ El proceso de biosorción en algas marinas implica la unión física de los metales a la superficie de las células o componentes de las algas. Los iones metálicos se adhieren a grupos funcionales, como carboxilos, aminos y sulfatos presentes en las algas.

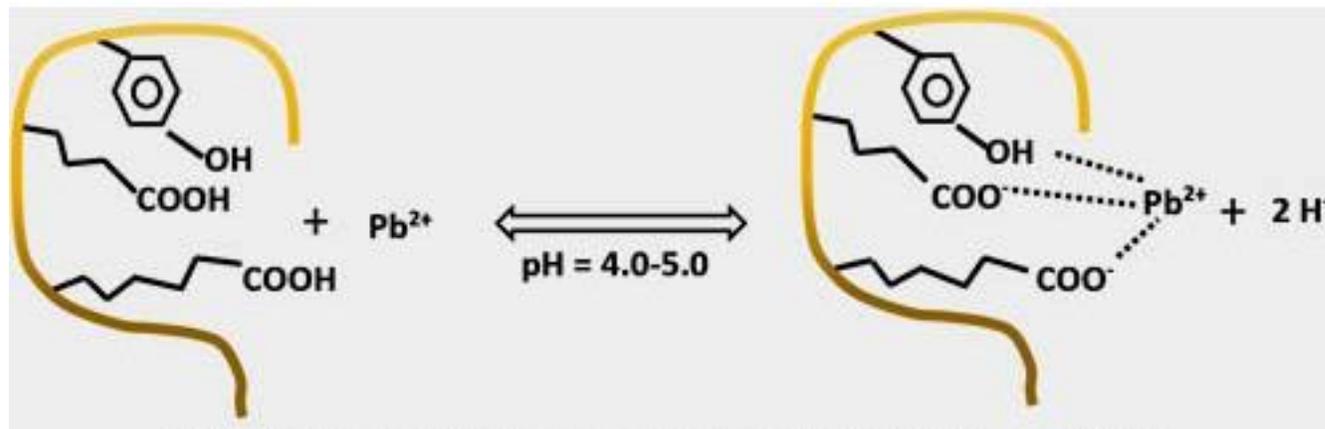
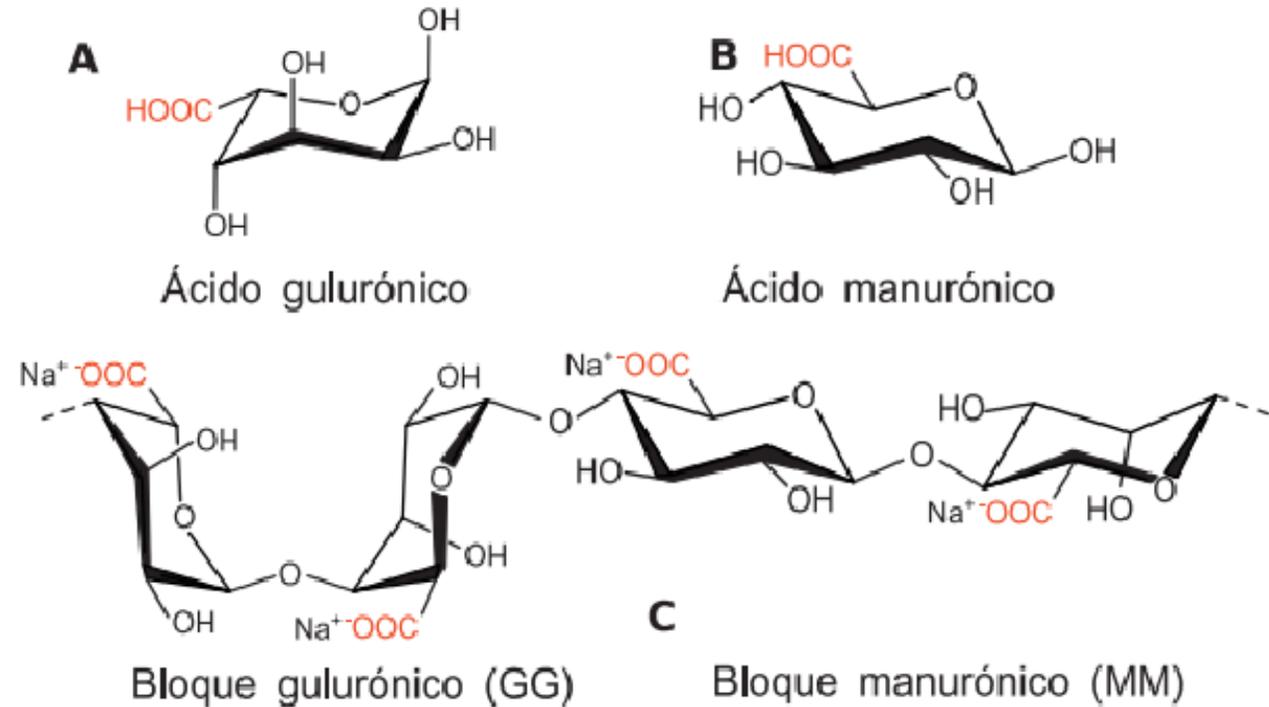


Imagen 2. Mecanismo de Adsorción

# Alginato

- ▶ Polisacárido más abundante en las algas marinas.
- ▶ ácido β-D-manurónico y ácido α-L-gulopiranosilurónico
- ▶ 40% de su peso seco
- ▶ Componente estructural de la pared celular.
- rigidez
- elasticidad
- Flexibilidad



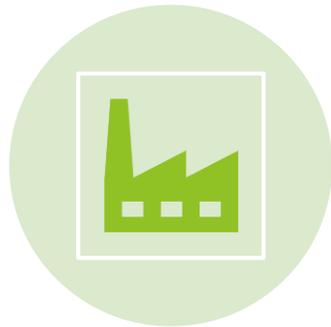
Avendaño, G. (2013). Propiedades de los alginatos y aplicaciones en alimentos. Temas selectos de ingeniería de alimentos, 87-96.

Lupo C. (2012). Microencapsulación con alginato en alimentos. Técnicas y aplicaciones. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos, 130-151.

# Importancia

- ▶ Es esencial en la eliminación de metales pesados en aguas. Al utilizar materiales biológicos para atrapar y eliminar estos contaminantes, la biosorción juega un papel vital en la protección y conservación de los ecosistemas.
- ▶ Metales pesados que promueven
  - Na
  - K
  - Mg
  - Ca
  - V
  - Mn
  - Fe
  - Co
  - Ni
  - **Cu**
  - Zn
  - Mo
  - Pb

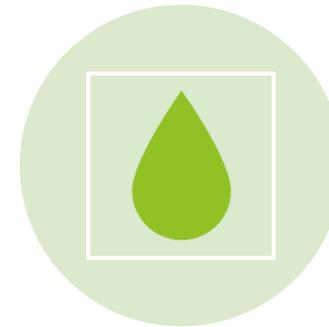
# Aplicaciones de la biosorción.



TRATAMIENTO DE AGUAS  
INDUSTRIALES .



REMEDIACIÓN DE  
SUELOS CONTAMINADOS.

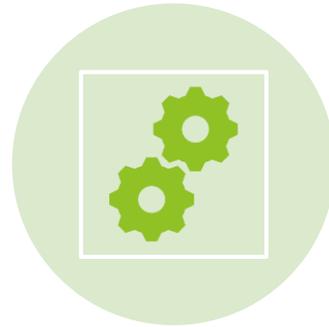


PURIFICACIÓN DE AGUAS  
SUPERFICIALES Y  
SUBTERRÁNEAS.

# Desventajas



VARIABILIDAD EN LA  
COMPOSICIÓN QUÍMICA  
DE LAS MACROALGAS.



OPTIMIZACIÓN PROCESO  
DE RECOLECCIÓN.



ESCALABILIDAD  
INDUSTRIAL.

# Biosorbentes

14

## Algas Marinas.

- **Macroalgas**
- Microalgas

## Biomasa microbiana.

- Hongos
- Bacterias
- Levaduras

## Origen alimenticio.

- Cáscara de crustáceos
- Cáscara de plátano
- Cáscaras de frutas cítricas

# Propiedades de las Algas Marinas



Afinidad  
Química

Eficiencia

Selectividad

## Relación con investigaciones previas en el tema



“Sargazo y biosorción (investigación documental preliminar 2016-2022)”

3er Congreso Internacional de Educación Química-modalidad híbrida(2022), Sociedad de Química de México

Leyvas Acosta María Fernanda

[https://amyd.quimica.unam.mx/pluginfile.php/16971/mod\\_resource/content/2/ext%20Memorias-3%C2%B0CIEQ.pdf](https://amyd.quimica.unam.mx/pluginfile.php/16971/mod_resource/content/2/ext%20Memorias-3%C2%B0CIEQ.pdf)



PECI (2022) ”Química Analítica sustentable y espectrofometría rango visible”

Leyvas Acosta María Fernanda, Rodríguez Pacheco Oscar Uriel

(<https://drive.google.com/file/d/1a4H0v59f5ER0QhTBx6GpuuAC3NBuiA37/view?usp=sharing>)

# “Sargazo y biosorción (investigación documental preliminar 2016-2022)”

CIEQ-CCD-CE04

## **Sargazo y biosorción (investigación documental preliminar 2016-2022)**

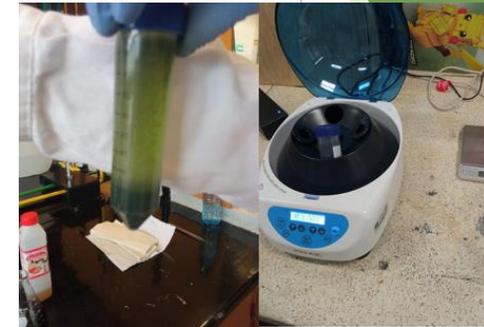
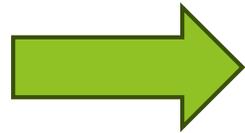
**María Fernanda Leyvas Acosta**, María Teresa de Jesús Rodríguez Salazar, Minerva Monroy Barreto

Depto. de Química Analítica, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Ciudad Universitaria, CDMX, México, CP04510; 2Facultad de Química, UNAM.  
[312007661@quimica.unam.mx](mailto:312007661@quimica.unam.mx)

### **RESUMEN**

Se presentan los resultados de investigación documental de estudios reportados empleando la macroalga sargazo en conjunto con otros materiales biosorbentes como la rizobacteria y la hidroxiapatita. Los estudios comparan la capacidad de adsorción entre un sistema compuesto de sargazo y otro biosorbente, con la de un sistema que este formado únicamente por sargazo (con o sin tratamiento químico). Los metales que son estudiados para su remoción en medio acuoso por la biomasa de sargazo son; Ag, Cu, Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb, Sr, Th, U y Zn, así mismo se encontró que la macroalga es capaz de adsorber también colorantes utilizados comúnmente en la industria textil (azul de metileno, naranja ácido 52, etc.).

# PECI (2022) "Química Analítica sustentable y espectrofometría rango visible"



Se prepararon soluciones de Cloruro de Hierro (III)

Triturar y pesar 1g de alga Wakame

Poner en contacto con la solución de Hierro

Formar el complejo polifenolico (Té verde), lectura en espectrofotómetro comercial y prototipo de Flores Ávila. Et al (2021)



# Objetivos

► 1. Continuar con la investigación formativa en el tema para:

a) Identificar las especies químicas (especialmente elementos de transición) capaces de ser removidas por sistemas biosorbentes elaborados a base de macroalgas (especialmente: *Sargassum fusiforme*, *Udaria Pinnatifida* y *Porphyra Umbilicalis*).

b) Justificar la relevancia de evaluar la biosorción de cobre (Cu) por macroalgas.

c) Identificar fuentes antropogénicas de cobre en distintos comportamientos ambientales.

d) Seleccionar información base para la planificación de experimentos centrados en la biosorción de Cu utilizando macroalga

- 2. Optimizar la metodología analítica del TI I-1805 para cuantificar Cu con espectrofotometría visible y principios de Química Verde. Seleccionar la macroalga más adecuada entre Hiziki, Wakame y Nori.
- 3. Diseñar la evaluación experimental de la capacidad de biosorción de Cu por las macroalgas mencionadas, usando espectrofotometría visible bajo condiciones óptimas.
- 4. Realizar la biosorción experimental de Cu por la macroalga seleccionada, usando matrices sintéticas simples y muestras reales complejas
- 5. Evaluar los resultados analíticos comparándolos con estándares internacionales reconocidos
- 6. Crear una infografía y realizar una presentación de seminario basadas en el análisis y procesamiento de los datos obtenidos.
- 7. Difundir los materiales académicos generados en formato digital a través de la plataforma institucional de la Facultad de Química de la UNAM (AMYD), como parte del proyecto PAPIME PE201324.

# Metodología

## Tratamiento de muestra



Secar algas 60 °C,  
peso constante

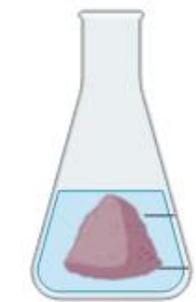


Triturar con  
mortero de  
Agata



Tamizar para  
obtener una muestra  
fina.

# Experimento de biosorción.



5 mg de Cu

pH=4-7  
HCl, NaOH  
(0.1M)

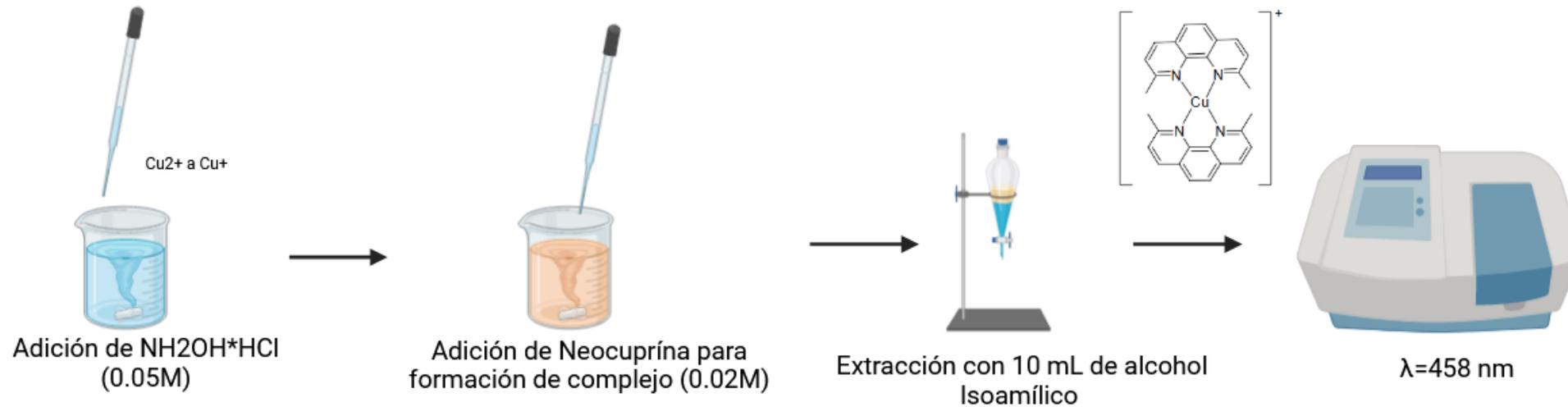


Centrifugar para separar  
fases, 1800 rpm por un  
tiempo de 30 minutos.



Filtrar a gravedad

# Cuantificación de cobre mediante UV-Vis



# Resultados Preliminares

## Tabla de Investigación Documental

Título	Especie macroalga	Elemento o Biosorbido	Preparación de biosorbente	Sistema de biosorción	Capacidad de biosorción con respecto al cobre	Condiciones óptimas para la biosorción
"Copper and Cadmium Biosorption by Dried Seaweed <i>Sargassum sinicola</i> in Saline Wastewater"	<i>Sargassum sinicola</i>	Cu, Cd	* Tratado por una hora con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (1M), NaOH (1M) para eliminar iones nativos presentes en la alga. * Lavar y secar.	* 50.0 ml de solución metálica en un tubo de propileno con 0,5 g de macroalga tratada. Agitación orbital a 100 rpm durante 24 h. Filtrado a través de un filtro de malla de nailon con poro de 400 µm.	Capacidad máxima: 116 mg/g	pH=5, 28°C
"Biosorption and Equilibrium Study of Copper by Marine Seaweeds from North West Coast of India"	<i>Sargassum tenerrimum</i> , <i>Iyengaria stellata</i> , <i>Lobophora variegata</i> , <i>Halimeda tuna</i> , <i>Cystoseira indica</i> , <i>Sargassum cinereum</i> , <i>Ulva lactuca</i>	Cu	Secado, molido, tamizado.	Biomasa en matraz Erlenmeyer con solución metálica de diferentes concentraciones, agitación a 120 rpm durante 24 h. Centrifugación.	Varios valores según especie: 17.92 - 60.97 mg/g	pH=5, 28°C
"Biosorption of copper (ii) by brown seaweed <i>sargassum ilicifolium</i> "	<i>Sargassum ilicifolium</i>	Cu	Secado al sol, al horno, molido y tamizado.	Biomasa en matraz Erlenmeyer con solución de cobre, agitación durante una hora	Aprox. 90%	pH=4.5, Temperatura ambiente

"Biosorption of Heavy Metals by Marine Algae"	Sargassum asperifolium, Cystoseira trinode, Turbinaria decurrens, Laurencia obtusa	Cr, Co, Ni, Cu, Cd	Lavado, secado, molido.	Alga en vial con buffer de acetato de sodio y solución metálica. Agitación por 24 h. Centrifugación.	Varios valores según especie: 91.2% - 98.2%	pH=4
"Equilibrium of Cu(II) and Ni(II) biosorption by marine alga Sargassum filipendula in a dynamic system: Competitiveness and selectivity"	Sargassum filipendula	Cu, Ni	Lavado, secado.	Biomasa en columna cilíndrica, agitación.	0.89 mmol/g	pH=4.5, Temperatura ambiente
"Biosorption of nickel and copper onto treated alga (Undaria pinnatifida): Application of isotherm and kinetic models"	Undaria pinnatifida	Ni, Cu	Secado, tratamiento con solución de CaCl <sub>2</sub> , lavado, secado.	Biomasa en matraz con solución de cobre, agitación.	38.82 mg/g	pH=4.0, Temperatura ambiente
"Biosorption of Hg(II) and Cu(II) by biomass of dried Sargassum fusiforme in aquatic solution"	Sargassum fusiforme	Hg, Cu	Secado, pulverizado, tamizado, secado.	Biomasa en matraz con solución de cobre, agitación.	7.69 mg/g	pH=8 y 10, Temperatura ambiente
"BIOSORPTION OF Cu(II) AND Pb(II) IONS BY USING MARINE BROWN ALGAE Padina pavonica"	Padina pavonica	Cu, Pb	Lavado con HCl, secado, molido, tamizado.	Biomasa en tubo Falcon con solución de iones metálicos, agitación.	2.74 mg/g	pH=6

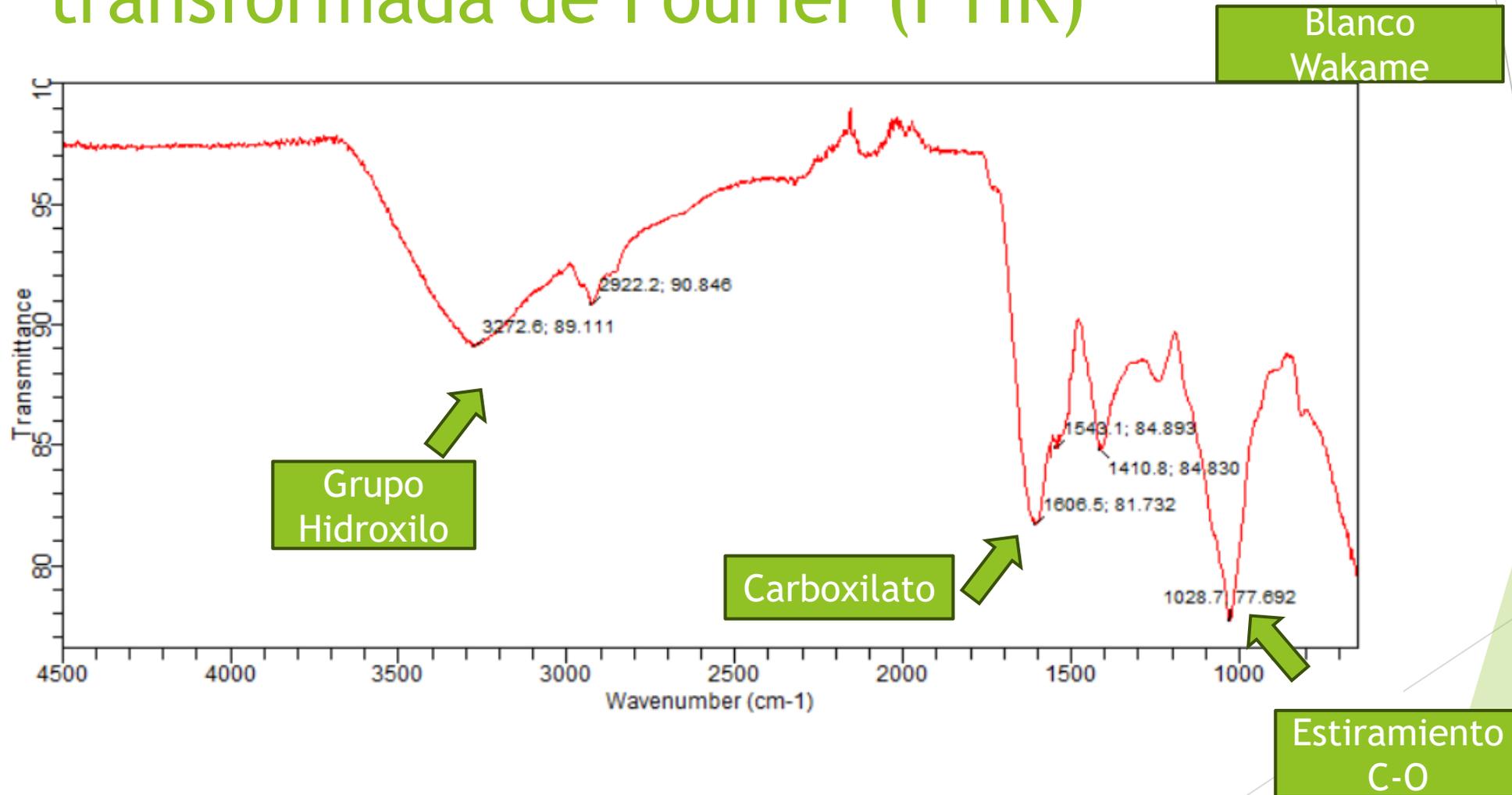
# Resultados preliminares



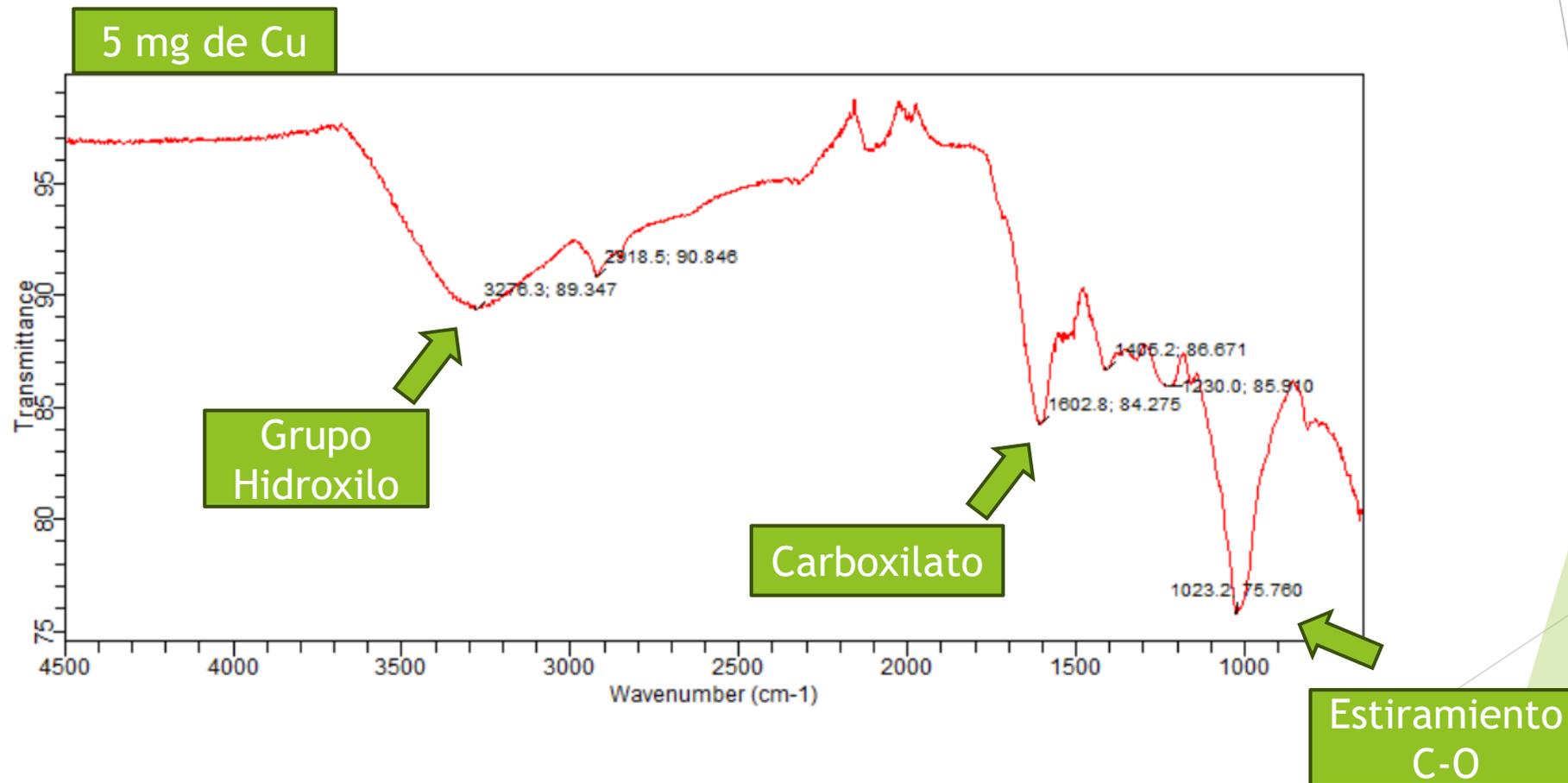
Imagen 4. Alga comestible  
*Undaria pinnatifida*

Cantidad de cobre	5 mg
Cantidad de cobre posterior al proceso	0.2 mg
Cantidad de cobre bioabsorbido	4.8 mg

# Espectroscopia Infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

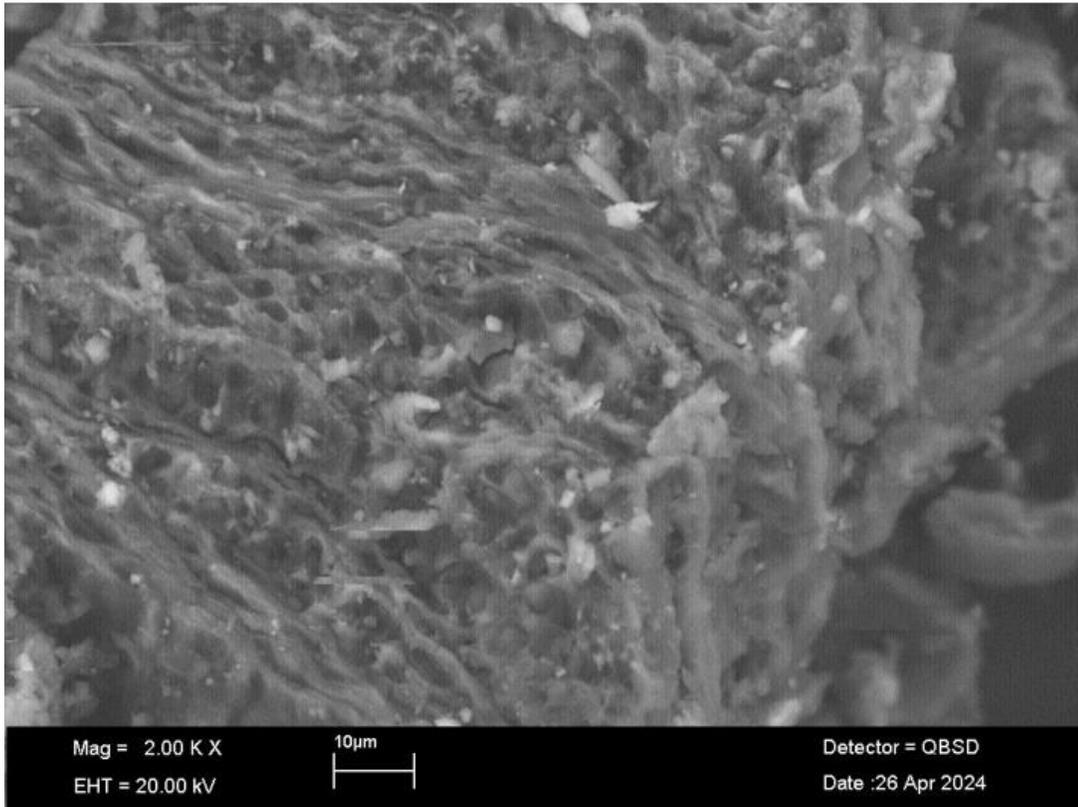


# Espectroscopia Infrarroja por transformada de Fourier (FTIR)

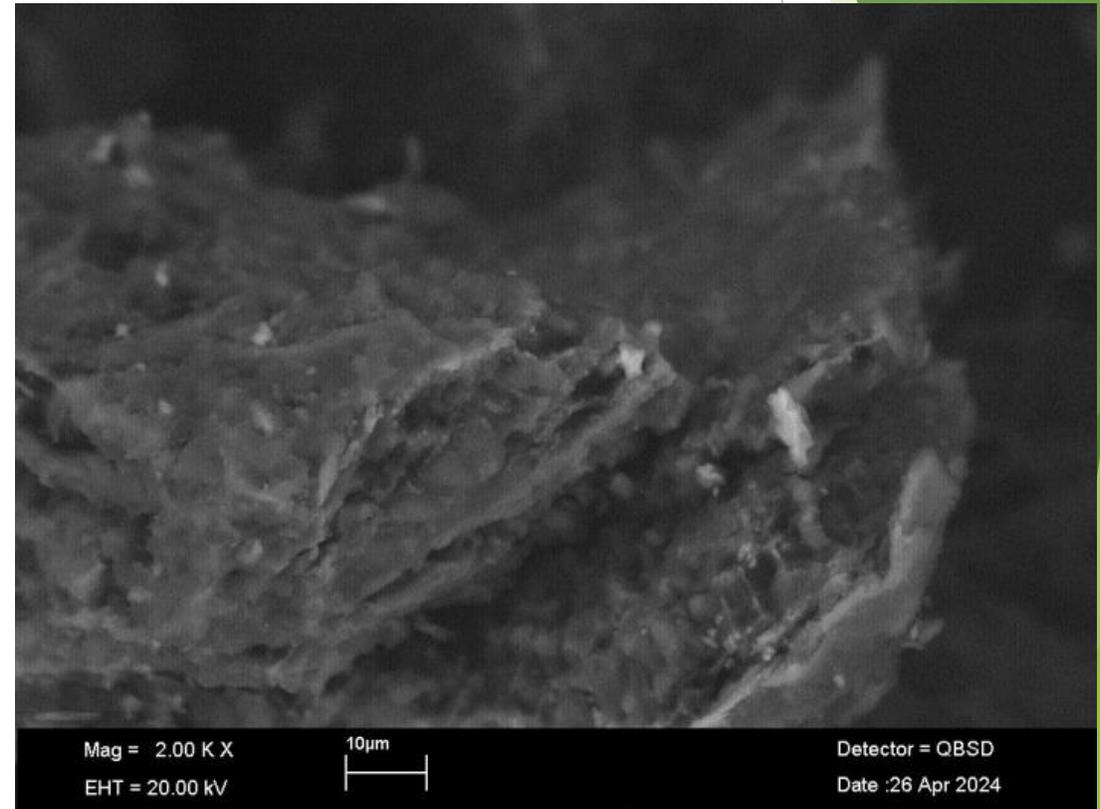


# Microscopia electrónica de barrido (SEM)

Wakame Blanco

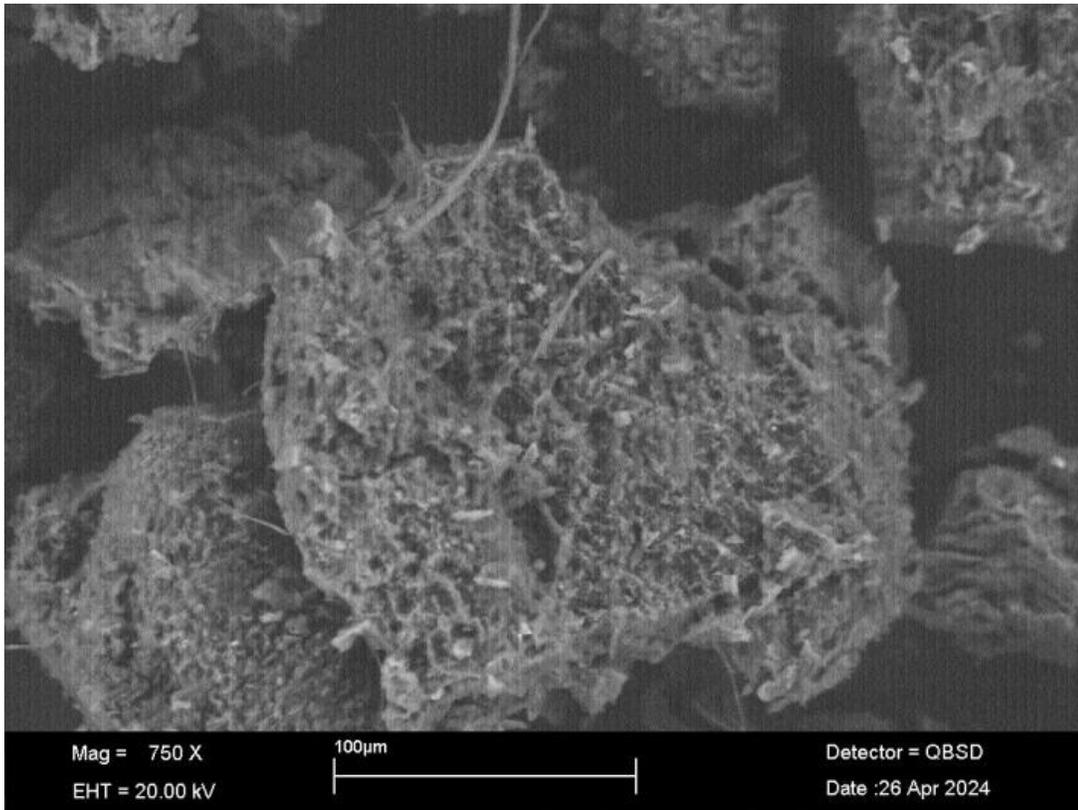


Wakame post proceso de biosorción

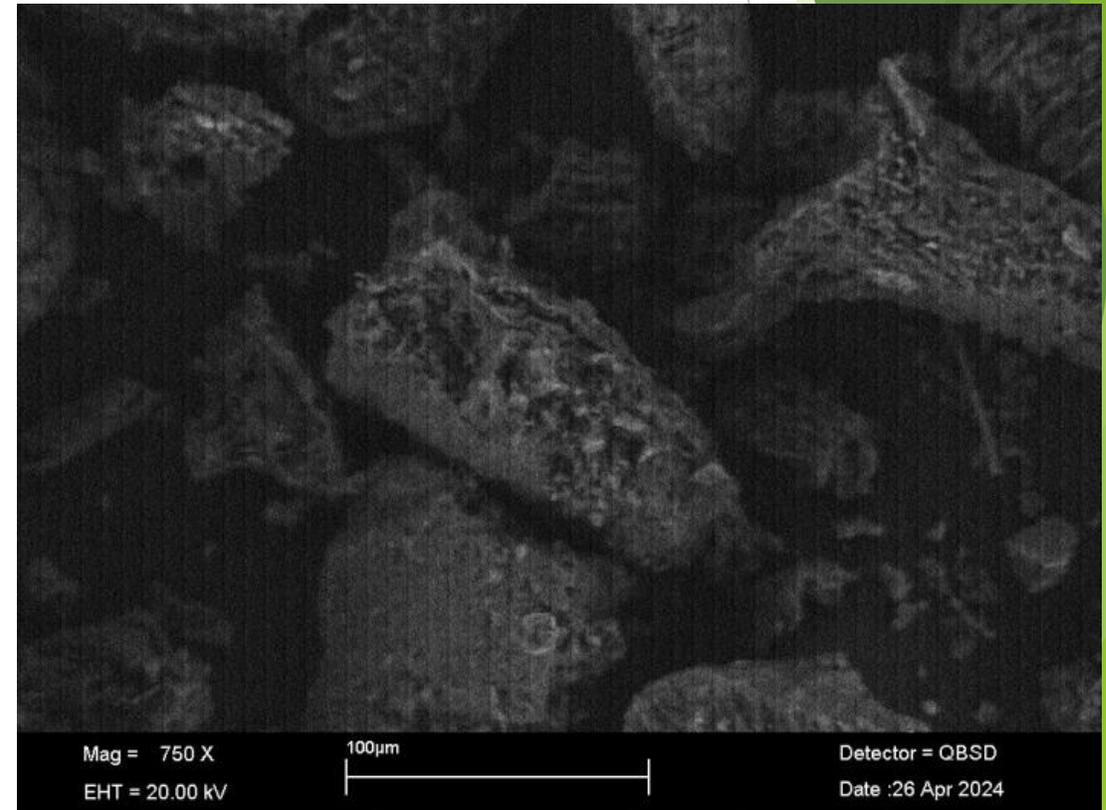


# Microscopia electrónica de barrido (SEM)

Hijiki Blanco



Hijiki post proceso de biosorción



# Agradecimientos

- ▶ Proyecto DGAPA-UNAM-PAPIME PE201324
- ▶ Dr. José Luz González Chávez
- ▶ Mta. Silvia Citlalli Gama González
- ▶ Dra. Minerva Monroy Barreto
- ▶ Marco Antonio Saavedra Pérez.
- ▶ Dra. N. Ruth López Santiago
- ▶ M. en C. Gabriela Solís P.
- ▶ Ma. Fernanda Leyvas Acosta
- ▶ Mta. Cecilia Salcedo Luna
- ▶ Dra. Nora Yolanda Barba Behrens
- ▶ Dr. Miguel Costas Basin

# Agradecimientos

- ▶ Dr. Alfredo Maciel Cerda
- ▶ Dra. Lourdes Soledad Bazán Díaz
- ▶ Mto. Juan Rolando Vázquez Miranda
- ▶ Dra. Anai Chiken Soriano
- ▶ M. en C. Alejandrina Acosta H.

# Referencias

- Avendaño, G. (2013). Propiedades de los alginatos y aplicaciones en alimentos. Temas selectos de ingeniería de alimentos, 87-96.
- Bonnano, G.; Bonace, M.O., Trace elements in Mediterranean seagrasses and macroalgae. A review, *The Science of the Total Environment* 618 (2018) 1152-1159
- Brown, A. F., Johnson, B. C., & Williams, D. L. (2020). Bioaccumulation of trace metals in macroalgae from coastal waters. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(7), 1-12.
- Cuizano, N. A., & Navarro, A. E. (2008). Biosorción de metales pesados por algas marinas: Posible solución a la contaminación a bajas concentraciones. *Anales de Química de la RSEQ*, 2, 120-125. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2662606>
- González, R., Pérez, S., Álvarez, M., & Rodríguez, E. M. (2018). Aplicación de macroalgas como bioindicadores de contaminación en ambientes acuáticos. *Revista de Química Analítica*, 27(2), 89-97.
- Isam, M., Baloo, L., Kutty, S. R. M., & Yavari, S. (2019). Optimisation and Modelling of Pb(II) and Cu(II) Biosorption onto Red Algae (*Gracilaria changii*) by Using Response Surface Methodology. Recuperado 25 de enero de 2024, de <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/11/2325>
- Kang, J.-K., Pham, B. N., Lee, C.-G., & Park, S.-J. (2023). Biosorption of Cd<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup> by four different macroalgae species (*Costaria costata*, *Hizikia fusiformis*, *Gracilaria verrucosa*, and *Codium fragile*). Recuperado 25 de enero de 2024, de <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-022-04700-z>
- Mansilla, A.; ALVEAL, K., Capítulo 16 Generalidades Sobre Las Macroalgas. *Biología marina y oceanografía: conceptos y procesos*, 2004, vol. 1, p. 347.
- Michalak, I., Chojnacka, K., & Witek-Krowiak, A. (2013). State of the Art for the Biosorption Process—a Review. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 170, 1389–1416
- Martínez-González, G. I. (2019). Sargassum: the atypical irruption of an ancient ecosystem. *Salud Pública De México/Salud Pública De México*, 61(5, sep-oct), 698. <https://doi.org/10.21149/10838>
- Lupo C. (2012). Microencapsulación con alginato en alimentos. Técnicas y aplicaciones. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 130-151
- Patil, V. (2012). Green Analytical Chemistry: An Overview. Recuperado 25 de enero de 2024, de [https://www.researchgate.net/publication/322676147\\_Green\\_Analytical\\_Chemistry\\_An\\_Overview](https://www.researchgate.net/publication/322676147_Green_Analytical_Chemistry_An_Overview)
- Patiño-Espinosa, S. G., Acosta-González, G., & Ardisson, P. (2022). Diversidad de macroalgas bentónicas y su relación con el sustrato en el Parque Nacional Arrecifes de Xcalak, Quintana Roo. *Revista Mexicana De Biodiversidad*, 93, e933953. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2022.93.3953>

# Referencias

- Pérez-Bou, L., Martínez-Sardiñas, A., & Salgado-Bernal, I. (2021). Biosorción de zinc y cadmio por bacterias inactivadas pretratadas. [Minería y Geología, 37\(1\), 90-104](#)
- Rojas, E., Hinojosa, L., Sánchez, V., Rivera, F., & Rodríguez, J. (2023). Capacidad biosortiva del *Nostoc commune* en la separación del plomo de aguas contaminadas. ALFA. [Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias, 7\(19\), 37-44](#).
- Sulaymon, A. (2014). Biosorption of Heavy Metals: A Review. Recuperado 25 de enero de 2024, de [https://www.researchgate.net/publication/266795209\\_Biosorption\\_of\\_Heavy\\_Metals\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/266795209_Biosorption_of_Heavy_Metals_A_Review)
- Torres, E. (2020). Biosorption: A Review of the Latest Advances. *Processes*, 8(12), 1584. DOI: 10.3390/pr8121584
- Victorava, L. F., & Feoktistova, Y. C. (2018). El metabolismo del cobre. Sus consecuencias para la salud humana. Recuperado 25 de enero de 2024, de <https://www.medigraphic.com/pdfs/medisur/msu/2018/msu184m.pdf>
- Victoria Besada, José Manuel Andrade, Fernando Schultze, Juan José González, Heavy metals in edible seaweeds commercialised for human consumption, *Journal of Marine Systems*, Volume 75, Issues 1–2, 2009, Pages 305-313, ISSN 0924-7963, <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2008.10.010>.