

Diseño de un experimento para la obtención de un hidrogel con agar extraído de algas rojas de deriva de la playa Penacho del Indio, Veracruz

Cisneros Rosete, Ximena

2022-12-02

<https://hdl.handle.net/20.500.11777/5590>

<http://repositorio.iberopuebla.mx/licencia.pdf>

Diseño de un experimento para la obtención de un hidrogel con agar extraído de algas rojas de deriva de la playa Penacho del Indio, Veracruz

Cisneros Rosete Ximena (tercer semestre en Ingeniería Biomédica)^{1,*}, Murillo Chimal Axel (tercer semestre en Ingeniería en Biotecnología)¹, Perea Morales Jesús Emilio (tercer semestre en Ingeniería Biomédica)¹, Valdés Ávila Gladys Michelle (tercer semestre en Ingeniería en Biotecnología)¹, Morúa Álvarez Nora del Rocío (profesor responsable)¹, Acevedo Escalante Manuel Francisco (profesor asesor)¹, Ramírez Rodríguez Rocío (profesor asesor)¹.

¹Universidad Iberoamericana Puebla, San Andrés Cholula, Puebla, México

La Playa Penacho del Indio, Veracruz, ha presentado desde el 2019 una acumulación total de 285 g/m² de algas rojas de deriva, las cuales son desechadas constantemente debido a que desfavorece al paisaje turístico de la playa. Las algas rojas (*Rhodophyta*) son macroalgas que se caracterizan principalmente por la abundancia de un hidrocoloide denominado agar. El agar es extraído de las paredes celulares del alga y contiene una propiedad gelificante que lo hace un compuesto idóneo para la elaboración de un hidrogel natural. En este trabajo se diseñó un experimento para la obtención de un hidrogel a partir del agar extraído de algas rojas de deriva de la Playa Penacho del Indio, Veracruz. La metodología de este trabajo se dividió en tres secciones: la identificación morfológica de las algas rojas, la extracción de agar y el análisis de las propiedades físicas del hidrogel. Para la extracción del agar, se empleó la metodología de Laura González sobre la extracción de agar de *Gracilaria* spp, de la cual se modificó la cantidad de agua y agar y el tiempo de congelamiento. Se obtuvo un hidrogel al cual se le caracterizaron las propiedades de absorción de agua y pH. El experimento se repitió tres veces, para comprobar la efectividad de la metodología. Finalmente, se logró obtener el agar a partir de la segunda muestra de la prueba dos, permitiendo la obtención de un hidrogel con un pH promedio de 7.19 y una absorción de agua de 493.75%.

Palabras clave: Algas rojas, hidrogel, agar.

***Autor Corresponsal:** ximena.cisneros@iberopuebla.mx

Introducción

Las algas rojas son especies que crecen en el fondo del mar, las cuales pertenecen a la división *Rodphyta*, dentro del reino *Plantae*. Existen alrededor de 7,300 especies, lo que constituye la diversidad más alta de todos los grandes grupos de macroalgas [1]. Aunque este tipo de algas se desarrolla en todas las latitudes, se encuentran en mayor cantidad en regiones templadas y tropicales, superando por mucho a los grupos de macroalgas restantes [2]. Toda la masa que conforma la estructura de las algas rojas contiene una alta cantidad de filamentos. Gran parte de ellas son pluricelulares, por lo que constan de diversas ramas que le confieren un aspecto similar al de los árboles [2]. Presentan rizoides, una especie de raíz característica de las algas marinas, y poseen zarcillos, término con el que se identifica a las partes que utiliza para adherirse a las rocas, a otras algas o a ella misma. La coloración de las algas rojas resulta de la presencia de pigmentos como la clorofila contentiva en los rodoplastos, aunque por encima de ella destacan la ficoeritrina y la ficocianina. A pesar de que la aplicación de este tipo de algas en la industria es diversa por sus características, a nivel mundial su importancia no es reconocida, no obstante, estas suelen cubrir grandes extensiones de materia prima en las playas, las cuales posteriormente son desechadas [3].

Las arribazones son eventos periódicos que comprenden la acumulación de grandes cantidades de biomasa de macroalgas en playas arenosas y rocosas que se clasifican en dos tipos, béntico y pelágico [4]. Las de tipo béntico surgen por desprendimiento de macroalgas adheridas al sustrato, mientras que las de origen pelágico provienen de

poblaciones de macroalgas que durante todo su ciclo de vida se han mantenido flotando en ciertas regiones del océano [4]. Las arribazones pueden tener orígenes diferentes dependiendo del área geográfica y las condiciones meteorológicas, oceanográficas y ecológicas del sitio [5]. Las playas del estado de Veracruz presentan largos períodos de arribazones ocasionados por los frentes fríos provenientes de latitudes medias hacia el Golfo de México [5]. La playa Penacho del Indio está ubicada a 2 km al norte de Boca del Río, Veracruz, en las coordenadas 19°08'58.0"N 96°05'35.7"W y con la cercanía del arrecife Ingenieros. Se trata de un clima cálido subhúmedo, con una temperatura media anual mayor de 22° C y temperatura del mes más frío mayor a 18° C, por otro lado, la precipitación de este mismo es entre 0 y 60 mm. Esta playa se encuentra dominada por el pasto marino *Thalassia testudinum*, asociado a macroalgas como *Ulva Linnaeus* y *Gracilaria Greville* [6]. Esta diversidad de algas se puede visualizar en la Fig.1, en la que se muestra la biomasa total en el 2019 de las arribazones de macroalgas [1]. Toda esta biomasa suele ser desechada a primera hora de la mañana por el servicio público de limpieza debido a que la acumulación de estas arribazones desfavorece al paisaje de la playa y genera un aroma desagradable para las personas que concurren en el lugar, sin embargo, la presencia de alga roja son las que más predominan en las arribazones de Veracruz, considerando macroalgas como *Hypnea cervicornis*, *Gracilaria bursa-patoris* y *Acanthophora spicifera*. Las principales características de estas algas rojas son presentan clorofila a, ficobiliproteínas, carotenoides y principalmente hidrocoloides [7].

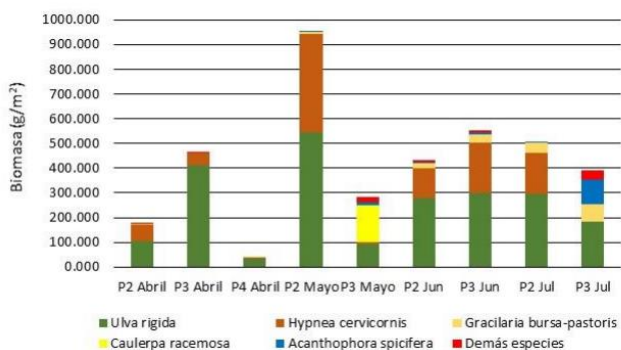


Fig. 1. Abundancia por biomasa colectada en Veracruz durante los meses de abril a julio de 2019 [1].

Los hidrocoloides son un compuesto bioactivo importante en la industria extraído principalmente de la pared celular de las algas rojas. Estos son ampliamente utilizados en las industrias debido a sus características fisicoquímicas, las cuales le dan versatilidad en sus aplicaciones y en la formulación de diferentes productos, como alimentos, fármacos, pinturas, cosméticos, entre otros. Las especies de *Gelidium* y *Gracilaria* son las principales productoras de los hidrocoloides, tales como el agar y los carragenatos extraídos de las algas rojas [8].

El agar es un hidrocoloide poco investigado en la actualidad a comparación de los carragenatos, por lo que se está haciendo un compuesto con mayor interés científico [9]. El agar es un polisacárido sin ramificaciones obtenido de la pared celular de varias especies de algas rojas de los géneros *Gelidium*, *Eucheama* y *Gracilaria*. Es un compuesto conformado químicamente por repeticiones de los monómeros de D- y L-galactosa [10]. El agar es insoluble en agua fría, lo cual permite la separación de estos mediante un proceso de congelamiento. Para solubilizar el agar, se necesita que el agua esté caliente, cerca de su punto de ebullición de 90°C, y al dejar enfriar la mezcla este se gelifica a 40°C. Una concentración entre 0.5% y 1% de agar es suficiente para gelificar una solución diluida [10]. La fuerza del gel depende directamente de las moléculas, su fuerza de unión y de la temperatura a la que se encuentre. Su viscosidad puede variar dependiendo del alga roja [11].

Basándose en las propiedades gelificantes del agar, éste tiene diferentes aplicaciones en la industria alimenticia, microbiológica, farmacéutica y biomédica. Por ejemplo, como materia prima base para la fabricación de agaros, como agente floculante y clarificante en la preparación de medios de cultivo y compuestos gelificantes como los hidrogeles [12].

Los hidrogeles son redes poliméricas tridimensionales hidrofílicas capaces de absorber grandes cantidades de agua o fluidos biológicos sin perder su estructura [13]. Es importante mencionar que normalmente el comportamiento de los hidrogeles depende de las condiciones externas a las que están expuestos, por lo que pueden responder a diferentes estímulos externos tales como: cambio de pH, composición del solvente, fuerza iónica, luz, temperatura, antígenos, entre otros [14]. Su entrecruzamiento está constituido por enlaces físicos, puentes de hidrógeno y algunas interacciones hidrofóbicas. Los hidrogeles tienen

una capacidad de absorción de 103 ml/g [14]. La clasificación de los hidrogeles se divide en seis grupos según: su origen, su entrecruzamiento, su preparación, su carga, su degradabilidad y su respuesta a estímulos [15].

De acuerdo con el tipo de polímero natural, existen tres tipos de hidrogeles: a base de proteínas, a base de polisacáridos y poliéster natural [16]. Los hidrogeles en el siglo XX, han despertado un gran interés científico en aplicaciones biomédicas, debido a que presentan características favorables para utilizarlos como vehículos para la liberación controlada y selectiva de fármacos en el organismo: poseen una estructura tridimensional que permite almacenar moléculas pequeñas, pueden ser biocompatibles debido al gran contenido de agua que poseen en su estructura, reduciendo de esta forma la irritación producida por fricción de los tejidos con los que entran en contacto, así como también disminuyendo la desnaturalización de proteínas [17]. Los hidrogeles de poliéster natural tales como el hidrogel a base de agar son altamente atractivos por su biocompatibilidad con el medio ambiente. Es por tanto que el objetivo del proyecto fue el diseño de una metodología para la obtención de un hidrogel a partir del agar extraído de algas rojas de deriva de la playa Penacho del Indio, Veracruz.

Metodología

A. Identificación morfológica de algas rojas de deriva

Se recolectó alga de deriva de la playa Penacho del Indio, Veracruz. Se lavó el alga con agua de llave para separarlo de la arena, basura y de material biológico que no fuera de interés. Se pesó el alga en estado húmedo con una balanza digital Model Scout Pro SP601.

Se separaron las algas con base a su ramificación y pigmentación en grupos diferentes para su posterior identificación. Se utilizó la guía de identificación de algas de Luis Tapia [18] para la identificación de especies de las algas por medio del tipo de ramificación y coloración presentes en las algas.

Se tomó una muestra de 100.8 g de algas, se pesó (P_T) y se separaron por especie. Después, se pesaron los grupos de algas (P_{Sh}) y se determinó su porcentaje con respecto al total (S) utilizando la Eq. (1).

$$\%S = \frac{P_{Sh} \times 100}{P_T} \quad (1)$$

B. Extracción de agar para obtener hidrogel

Se tomó como base la metodología de Laura González para la extracción de agar de *Gracilaria* spp. [19]. Se repitió la metodología tres veces con el propósito de determinar si se logra obtener el mismo producto siempre que se siga la metodología. En la primera, segunda y tercera prueba se realizaron una, dos y tres muestras respectivamente.

Para cada prueba se siguió el mismo procedimiento, no obstante, algunas cantidades se modificaron, las cuales fueron: el peso del polvo de alga, la cantidad de agua destilada y la temperatura de la autoclave. Para las tres pruebas, se pesaron las algas en estado húmedo.

Tabla 1: Datos de metodología de la prueba uno.

Muestra 1	
Peso del polvo de alga.	4.5 g
Cantidad de agua destilada.	45 ml
Temperatura en autoclave.	200°C
Tiempo de congelación.	4 días

Tabla 2: Datos de la metodología de la prueba dos.

	Muestra 1	Muestra 2
Peso del polvo de alga.	3.3 g	3.1 g
Cantidad de agua destilada.	36 ml	35 ml
Temperatura en autoclave.	115°C	115°C
Tiempo de congelación.	4 días	4 días

Tabla 3: Datos de la metodología de la prueba tres.

	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso del polvo de alga.	4.6 g	4.6 g	3.9 g
Cantidad de agua destilada.	52 ml	52 ml	44 ml
Temperatura en autoclave.	110°C	110°C	110°C
Tiempo de congelación.	4 días	4 días	4 días

Posteriormente, se deshidrataron en una superficie expuesta al sol durante el día y se resguardaban durante la noche por 6 días consecutivos. Una vez secas, se registró su peso y se trituraron las algas secas con una licuadora y un mortero de porcelana, y se filtraron con un tamiz de N°80 varias veces hasta obtener un polvo fino cuyo peso fue registrado con una balanza digital.

Luego, el polvo se colocó en un matraz de 250 ml y se mezcló con agua destilada medida con una probeta de 100 mL. Una vez tapada la mezcla con papel aluminio y rotulada, se metió a la autoclave marca All American modelo 1925X por 30 minutos a una temperatura superior a 100°C. Al finalizar el calentamiento, la muestra se dejó enfriar a temperatura ambiente y después se metió en el congelador de un refrigerador de la compañía Whirlpool a -18°C por 4 días. Se utilizaron mecheros Fischer y un tamiz N°100 para descongelar la muestra y separar el agar del agua y restos celulares.

La primera prueba, con su respectiva muestra, se utilizó para probar la metodología e identificar los materiales más adecuados. Se utilizó un sistema de filtrado al vacío y papel filtro.

En la prueba dos, se extrajo el agar de las dos muestras, el cual se pesó en una balanza analítica y después se dejó calentando en un horno de marca Riossa modelo H-41 aproximadamente a 75°C para poder deshidratarlo. Finalmente, se dejó encerrado en un recipiente de vidrio por 3 días. El agar seco se trituró con una espátula y se mezcló con agua destilada a 90°C con agitación constante en una parrilla Thermal Scientific. Nuevamente, se metió al congelador por 3 días y se volvió a descongelar, obteniéndose así el agar.

Para la prueba tres, después de la fase de descongelación, la primera muestra se dejó en un espacio con sombra dentro del laboratorio a una temperatura ambiente de 20°C para esperar resultados de separación diferentes a los del congelamiento.

El rendimiento del agar se calculó como el porcentaje de masa seca de agar (P_A) obtenida con respecto a un total de peso de alga seca (P_{sd}) utilizando la Eq. (2).

$$\%R = \frac{P_A \times 100}{P_{sd}} \quad (2)$$

C. Análisis de las propiedades físicas del hidrogel

Se midieron las propiedades físicas del hidrogel. Se utilizó un potenciómetro de la marca GroLine HI98115 calibrado con buffers de pH 4.0 y 7.01 para medir el pH. El porcentaje de absorción (%Swelling) se midió con la ecuación de Jyoti Chaudhary [20], la cual utiliza el peso seco (W_d) y el húmedo (W_s) del hidrogel.

$$\%Swelling = \frac{W_s - W_d}{W_d} \times 100 \quad (3)$$

Resultados y Discusión

A. Identificación morfológica de algas rojas de deriva

Se recolectaron 10 kg de alga de deriva. De la muestra colectada, se identificaron las especies *Gracilaria parvispora*, *Gracilaria sp.*, *Acanthophora spicifera*, *Halopteris paniculato* y *Rhodymenia coralina*, como se muestra en la Fig. 2.

Se determinó la proporción de las siguientes especies de algas rojas (Fig. 3): *Gracilaria parvispora* (1%), *Gracilaria sp.* (11%), *Acanthophora spicifera* (18%), *Rhodymenia coralina* (70%).

B. Extracción de agar para obtener hidrogel

La licuadora y el mortero fueron las herramientas más aptas para la trituración general del alga seca, y con el tamiz de malla N°80 se logró filtrar el polvo fino (Fig. 4).

Únicamente se obtuvo un hidrogel a partir de la hidratación del agar seco de la muestra dos de la prueba dos. Los resultados indican que es posible obtener agar a partir del alga roja de deriva siguiendo la metodología propuesta por

Laura González. Únicamente se obtuvo el agar de las muestras de la prueba dos (Tabla 4). El rendimiento de agar de las muestras (Fig. 5) fue del 14.85% de la primera, y de la segunda fue del 13.82%. En promedio, se obtuvo un rendimiento del 14.33%.

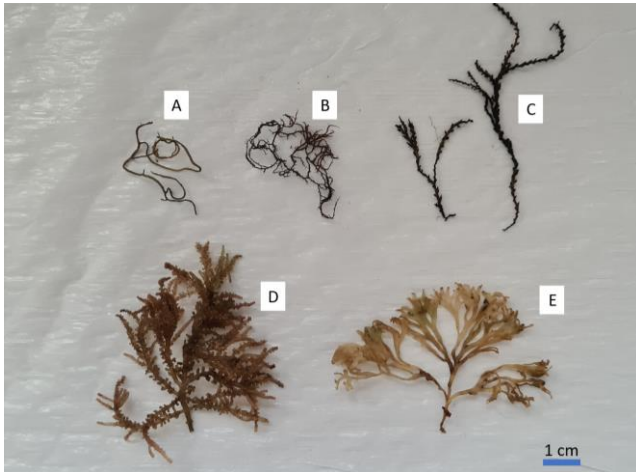


Fig. 2. Algas identificadas de la muestra colectada. *Gracilaria parvispora* (A), *Gracilaria sp.* (B), *Acanthophora spicifera* (C), *Halopteris paniculato* (D), *Rhodymenia coralina* (E).

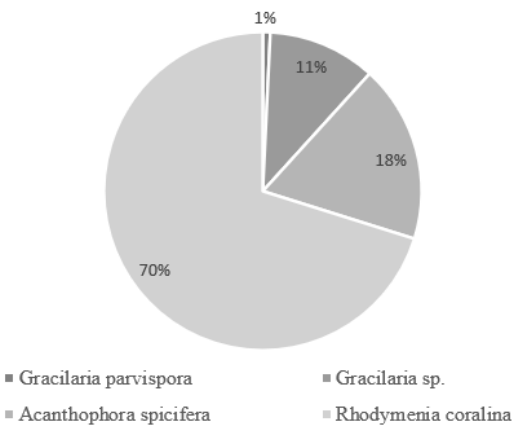


Fig. 3. Proporciones de las especies de algas rojas.



Fig. 4. A) Alga seca triturada. B) Polvo fino de alga.

Se repitió la metodología tres veces dividiéndolo en tres pruebas con un total de cinco muestras. En las tres pruebas se obtuvieron diferentes resultados, ya que algunas cantidades se modificaron, las cuales fueron: el peso del

polvo de alga, la cantidad de agua destilada y la temperatura de la autoclave.

Tabla 4: Datos de la extracción de la prueba dos.

	Muestra 1	Muestra 2
Extracción de agar (hidrogel).	11.38 g	9.75 g
Peso seco del agar.	0.48 g	0.43 g
Cantidad de agua destilada para hidratación.	10 ml	15 ml
Peso húmedo del agar.	3.24 g	2.85 g

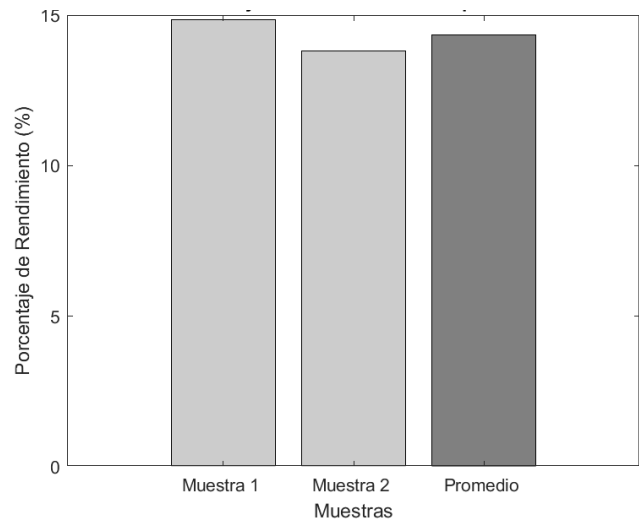


Fig. 5. Porcentaje de rendimiento de las muestras de la prueba dos.

C. Análisis de las propiedades físicas del hidrogel

El hidrogel de la muestra dos de la segunda prueba tiene la apariencia de una película gelatinosa verde de fácil ruptura. Al examinar el vaso de precipitado y con ayuda de una espátula, se observa que puede mantener su forma al doblarse (Fig. 6).

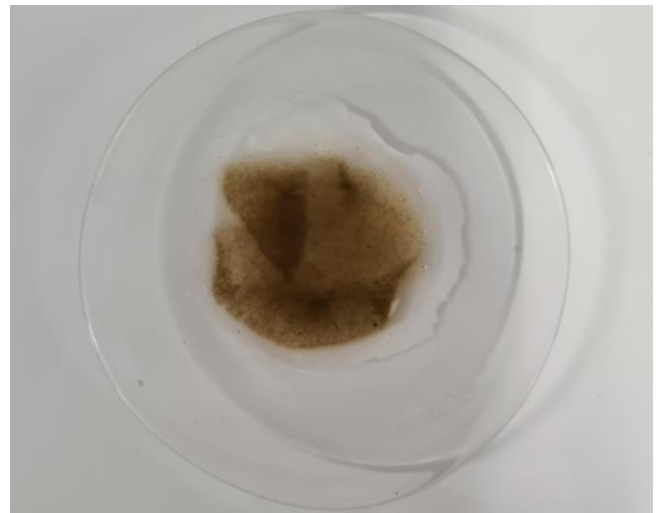


Fig. 6. Hidrogel a base de agar de algas rojas de deriva de la muestra dos de la prueba dos.

Se registró un peso de 0.43 g de agar seco y un peso de 6.60 g al hidratarlo con 15 ml de agua destilada (Fig. 7). Su porcentaje de absorción fue de 493.75%.

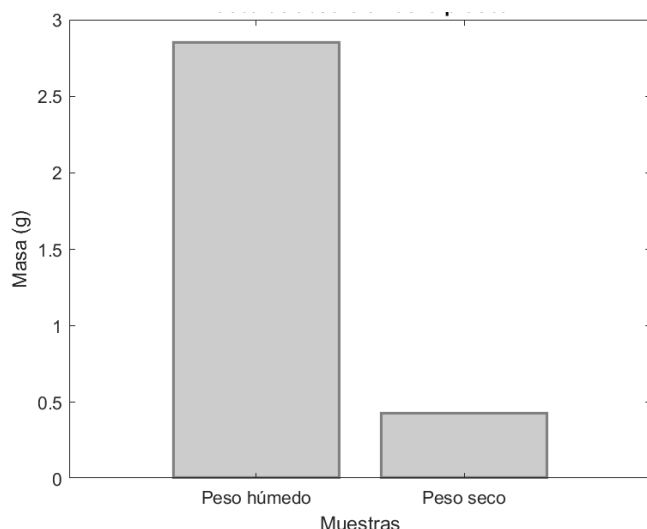


Fig. 7. Cambio del peso seco al peso húmedo de la muestra dos de la prueba dos.

Se registró un pH del hidrogel de 7.19, lo que indica un pH neutro. El tener un pH neutro indica que el hidrogel se comprime, porque todas las cargas están ionizadas y se atraen unas con otras [21]. En caso de que hubiese tenido un pH ácido o básico, este se hubiera hinchado. Para el caso de la absorción de agua, el tener entre 400% y 520%, nos indica que el volumen del solvente puede llevar a una reducción de su absorción total de agua [22]. No se logró medir la viscosidad del hidrogel debido a la baja cantidad de agar extraído, ya que mínimamente se necesitaba llenar un vaso de precipitado de 10 ml para el viscosímetro.

La película de hidrogel seco de la prueba tres, muestra uno (Fig. 8) fue obtenido de los restos celulares de la muestra. Este tiene una apariencia y consistencia muy similar a un plástico.



Fig. 8. Película de hidrogel seco de la muestra uno de la prueba tres.

Conclusiones, perspectivas y recomendaciones

Fue posible obtener un hidrogel a partir de agar extraído de algas rojas de deriva de la Playa Penacho del Indio, no obstante, el hidrogel al tener un pH neutro y una capacidad de absorción dentro del promedio, sus aplicaciones se extienden a una posible aplicación biotecnología y biomédica, tales como impresión 3D, uso en el transporte de medicamentos, dentro del área de agricultura, entre otros. Por otro lado, la película obtenida puede llevarse a otros estudios en los cuales se identifique correctamente su formulación. Es importante considerar que el proceso de obtención debe tener parámetros preestablecidos para tener un mayor porcentaje de extracción de agar y producción del hidrogel. Modificar las características fisicoquímicas del hidrogel puede llegar a hacerlo más funcional y brindar diferentes posibilidades de aplicación, de manera que sea biocompatible y biodegradable.

Referencias

- [1] H. Báez Martínez, G. Loyda, Ferrer, E. León, A. Leticia, and P. Pinos, **Composición, abundancia y diversidad de macroalgas costeras de la zona conurbada Veracruz-Boca del Río**. [Online]. Available: <http://rctveracruz.org/descargarlibro/libros/ARNyCC12.pdf>. [Accessed: Nov. 13, 2022]
- [2] Luz Elena Mateo-Cid et al., **Lista actualizada y nuevos registros de las algas rojas (Rhodophyta) del litoral de Michoacán, México**. Revista mexicana de biodiversidad, vol. 91, 2020 [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/425/42571632084/html/>. [Accessed: Nov. 13, 2022]
- [3] J. A. Acosta-Calderón, L. E. Mateo-Cid, and Á. C. Mendoza-González, **An updated list of marine green algae (Chlorophyta, Ulvophyceae) from the Biosphere Reserve of Sian Ka'an, Quintana Roo, Mexico**. Check List, vol. 12, no. 3, p. 1886, May 2016, doi: 10.15560/12.3.1886. [Online]. Available: <https://www.biotaxa.org/cl/article/view/12.3.1886>. [Accessed: Nov. 13, 2022]
- [4] I. Ortégón-Aznar and Silvia Valery Ávila-Mosqueda, **Arribazón de sargazo en la península de Yucatán: ¿Problema local, regional o mundial?** Bioagrociencias, vol. 13, no. 2, 2020. Available: <https://www.revista.ceba.uady.mx/ojs/index.php/BAC/article/view/3535/1518>. Accessed: Nov. 13, 2022]
- [5] R. Leal Bautista, R. Tapia Tussell, and L. Gaviria, [Online]. Available: https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/71_4/PDF/11_71_4_1286_Sargazo_Potencial.pdf
- [6] R. Nava-Olvera, L. E. Mateo-Cid, Á. C. Mendoza-González, and D. Y. García-López, **Macroalgas, microalgas y cianobacterias epífitas del pasto marino *Thalassia testudinum* (Tracheophyta: Alismatales) en Veracruz y Quintana Roo, Atlántico mexicano**. Revista de biología marina y oceanografía, vol. 52, no. 3, pp. 429–439, Dec. 2017, doi: 10.4067/s0718-19572017000300002. [Online]. Available: https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-19572017000300002&script=sci_arttext&tlng=pt. [Accessed: Nov. 13, 2022]

- [7] N. Quiroz-González, D. León-Álvarez, and Ma. G. Rivas-Acuña, **Biodiversidad de algas rojas marinas (Rhodophyta) en Tabasco, México**. *Acta Botanica Mexicana*, no. 123, pp. 103–120, Apr. 2018, doi: 10.21829/abm123.2018.1253. [Online]. Available: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-71512018000200103&script=sci_arttext. [Accessed: Nov. 13, 2022]
- [8] “E.a. Titlyanov, T.v. Titlyanova, Xiubao Li and Hui Huang (Auth.) - **Coral Reef Marine Plants of Hainan Island** (2016, Academic Press) - Libgen.lc,” Scribd, 2016. <https://es.scribd.com/document/540134981/E-a-Titlyanov-T-v-Titlyanova-Xiubao-Li-and-Hui-Huang-Auth-Coral-Reef-Marine-Plants-of-Hainan-Island-2016-Academic-Press-Libgen-lc> (accessed Nov. 13, 2022).
- [9] E. M. Ahmed, **Hydrogel: Preparation, characterization, and applications: A review**. *Journal of Advanced Research*, vol. 6, no. 2, pp. 105–121, Mar. 2015, doi: 10.1016/j.jare.2013.07.006. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090123213000969>. [Accessed: Nov. 13, 2022]
- [10] W.-K. Lee, Y.-Y. Lim, A. T.-C. Leow, P. Namasivayam, J. Ong Abdullah, and C.-L. Ho, **Biosynthesis of agar in red seaweeds: A review**. *Carbohydrate Polymers*, vol. 164, pp. 23–30, May 2017, doi: 10.1016/j.carbpol.2017.01.078. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0144861717300899?via%3Dihub>. [Accessed: Nov. 13, 2022]
- [11] **Facultad de ingeniería y computación escuela profesional de ingeniería industrial propuesta de mejora de procesos a través del modelamiento**. [Online]. Available: http://54.213.100.250/bitstream/20.500.12590/17029/1/TITO_VARGAS_JER_AGA.pdf. [Accessed: Nov. 13, 2022]
- [12] Qfb et al., **Aplicaciones médicas de biopolímeros**. [Online]. Available: <http://www.cienciacierta.uadec.mx/articulos/CC63/83AplicacionesMedicas.pdf>
- [13] G. Lokhande et al., **Nanoengineered injectable hydrogels for wound healing application**. *Acta Biomaterialia*, vol. 70, pp. 35–47, Apr. 2018, doi: 10.1016/j.actbio.2018.01.045. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1742706118300564?via%3Dihub>. [Accessed: Nov. 13, 2022]
- [14] Naín González, A. El-Halah, J. M. Contreras, and B. Rojas, **Estudio de la capacidad de absorción en hidrogeles semi-interpenetrados de poli(acrilamida)/poli(hidroxibutirato-co-hidroxivalerato)**. *Revista Colombiana de Química*, vol. 47, no. 3, pp. 5–12, 2018 [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/3090/309057412001/html/>. [Accessed: Nov. 13, 2022]
- [15] T. Ruiz, **Hidrogeles basados en polisacáridos para aplicaciones biomédicas**. *Addi.ehu.es*, Sep. 2021, doi: <http://hdl.handle.net/10810/54031>.
- [16] A. Ramírez, Benítez, José Luis, Luisa, and Blanca, **Materiales polímeros de tipo hidrogeles: revisión sobre su caracterización mediante ftir, dsc, meb y met**. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, vol. 36, no. 2, pp. 108–130, 2016 [Online]. Available: https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0255-69522016000200002. [Accessed: Nov. 13, 2022]
- [17] González Martín, Raúl, **Utilización de hidrogeles sensibles a los cambios de pH en microextracción analítica**. *Riull.ull.es*, 2019, doi: <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/15071>. [Online]. Available: <https://riull.ull.es/xmlui/handle/915/15071>. [Accessed: Nov. 15, 2022]
- [18] Chaudhary, J., Thakur, S., Sharma, M., Gupta, V. K., & Thakur, V. K. (2020). **Development of Biodegradable Agar-Agar/Gelatin-Based Superabsorbent Hydrogel as an Efficient Moisture-Retaining Agent**. *Biomolecules*, 10(6), 939. <https://doi.org/10.3390/biom10060939>
- [19] L. González, **Extracción de agar de Gracilaria spp.**, 19 de julio de 2012, Universidad Nacional Autónoma, México.
- [20] L. Tapia, “Algas, **Guía de biodiversidad**, vol. 1, no. 4, Jun. 2002, Accessed: Nov. 01, 2022. [Online]. Available: <https://intranetua.uantof.cl/crea/guia%20algas%20.pdf> [Accessed: Nov. 9, 2022]
- [21] Cimas, Axel Javier, **Síntesis y caracterización de hidrogeles y matrices poliméricas estímulo-responsivas con aplicaciones potenciales en agentes de sostén auto-suspendidos**. *Unlp.edu.ar*, 2022, doi: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/145467>. [Online]. Available: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/145467>. [Accessed: Nov. 15, 2022]
- [22] J. Chaudhary, S. Thakur, M. Sharma, V. K. Gupta, and V. K. Thakur, **Development of Biodegradable Agar-Agar/Gelatin-Based Superabsorbent Hydrogel as an Efficient Moisture-Retaining Agent**, *Biomolecules*, vol. 10, no. 6, p. 939, Jun. 2020, doi: 10.3390/biom10060939. [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2218-273X/10/6/939>. [Accessed: Nov. 15, 2022]