

El procedimiento permite valorizar un residuo algal, reducir el impacto ambiental y obtener un bioproducto de alto valor para las industrias alimentaria y farmacéutica.



Recuperación sostenible de carragenina a partir de residuos de *Chondracanthus chamissoi* en Pisco, Perú

“Sustainable Recovery of Carrageenan from Chondracanthus chamissoi Residues in Pisco, Peru”

RESUMEN

La carragenina es un hidrocoloide de alto valor presente en el alga roja *Chondracanthus chamissoi* («yuyo»), abundante en Pisco, Perú. Durante la selección manual para comercialización, grandes cantidades son descartadas en playa, generando contaminación costera.

Este estudio desarrolló un proceso sostenible para recuperar carragenina a partir de dichas algas desechadas mediante extracción alcalina, precipitación por cambio de solvente, decoloración y secado. La carragenina obtenida se caracteriza por FT-IR, y se confirma su estructura química característica.

El procedimiento permite valorizar un residuo algal, reducir el impacto ambiental y obtener un bioproducto de alto valor para las industrias alimentaria y farmacéutica. Los resultados sientan las bases para una industria local de biorrefinería alineada con la economía circular y el desarrollo sostenible.

ABSTRACT

Carrageenan is a high-value hydrocolloid found in the red alga *Chondracanthus chamissoi* (locally known as “yuyo”), which is abundant in Pisco, Peru. During manual sorting for commercialization, large quantities are discarded on the beach, causing coastal pollution.

This study developed a sustainable process to recover carrageenan from these discarded algal residues using alkaline extraction, precipitation via solvent exchange, decolorization, and drying. The obtained carrageenan was characterized by FT-IR spectroscopy, confirming its characteristic chemical structure.

The procedure allows for the valorization of an algal waste product, reduces environmental impact, and yields a high-value bioproduct for the food and pharmaceutical industries. The results lay the foundation for a local biorefinery industry aligned with the principles of the circular economy and sustainable development.



Palabras Claves

Carragenina, yuyo, *Chondracanthus chamissoi*, biorrefinería, FT-IR (espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier), Pisco, Perú

Key words

Carrageenan, yuyo, *Chondracanthus chamissoi*, biorefinery, FT-IR (Fourier Transform Infrared spectroscopy), sustainability, Pisco, Peru.

INTRODUCCIÓN

La carragenina es un hidrocoloide sulfatado de alto valor comercial, ampliamente utilizado en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética por sus propiedades gelificantes, espesantes y estabilizantes [2, 4]. En Perú, una de sus principales fuentes es el alga roja *Chondracanthus chamissoi*, conocida localmente como «yuyo» y valorada tanto como ingrediente tradicional en la gastronomía costera (ceviche, tiradito) como recurso industrial [3, 5]. En Pisco (Ica), durante la selección manual para consumo humano y comercialización nacional, un porcentaje significativo de biomasa algal es descartado directamente en la playa por no cumplir estándares organolépticos o de calidad comercial. Estos residuos generan contaminación costera, malos olores y afectan el paisaje y la salud pública [2, 6]. Al mismo tiempo, representan una fuente subutilizada de carragenina de tipo κ de alto valor.

El presente estudio optimizó un proceso sostenible de recuperación de carragenina a partir de algas *C. chamissoi* desechadas, empleando extracción alcalina seguida de caracterización estructural mediante espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR). Los resultados permiten valorizar un residuo costero, reducir el impacto ambiental y sentar las bases para una biorrefinería marina local que combine conservación del recurso algal, protección del litoral y desarrollo de una industria biotecnológica responsable y competitiva.

Las carrageninas son galactanos, es decir, polisacáridos formados por galactosa y anhidrogallactosa sulfatados, estas se presentan unidas entre sí por enlaces β -1,4 y α -1,3, con distintos grados de sulfatación [5].



Figura 1. Alga roja conocida en la mayoría del Perú como yuyo (*Chondracanthus chamissoi*)

Fuente: Elaboración propia.

Las carrageninas se presentan en la naturaleza bajo tres formas: kappa, iota y lambda.

- Kappa-carragenina (a): Forma geles firmes con potasio; contiene un grupo sulfato por disacárido tal como se muestra en la figura 2.
- Iota-carragenina (b): Forma geles suaves y elásticos con calcio; tiene dos grupos sulfato por disacárido.
- Lambda-carragenina (c): No forma geles, solo aumenta la viscosidad; tiene tres grupos sulfato por disacárido.

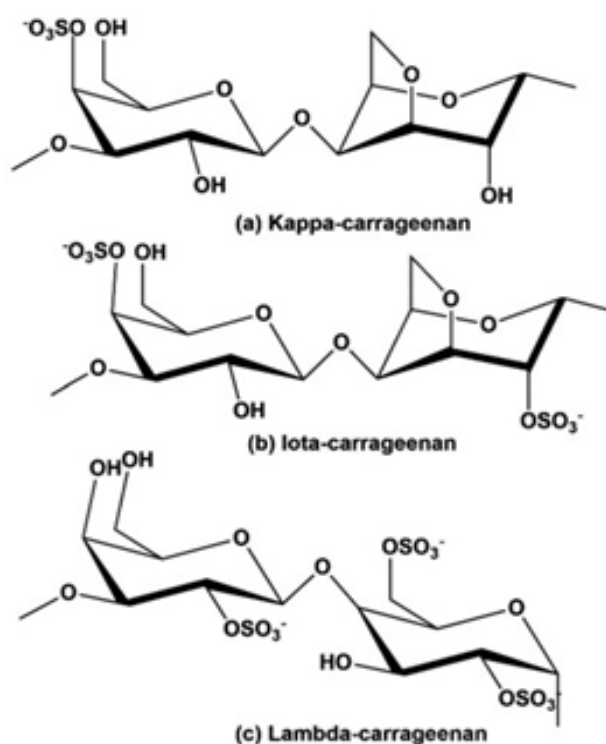


Figura 2. Tipos de carrageninas en algas rojas

Fuente: [6].

- Iota-carragenina (ι): Forma geles suaves y elásticos con calcio; tiene dos grupos sulfato por disacárido.
- Lambda-carragenina (λ): No forma geles, solo aumenta la viscosidad; tiene tres grupos sulfato por disacárido.

Investigaciones previas han demostrado que *Chondracanthus chamissoi* contiene altas concentraciones de carragenina, cuya estructura depende del método de extracción [4]. Salas *et al.* [4] reportaron la obtención de κ -carragenina y λ -carragenina de esta alga para aplicaciones alimentarias, como puede verse en la figura 2.

METODOLOGÍA

La figura 3 representa el diagrama del proceso de extracción de carragenina a partir de desechos de algas conocidas como yuyo donde se proporciona las etapas que se aplicaron para finalmente obtener la carragenina.

Se aplicó el protocolo adaptado por [4], que incluyó lo siguiente: preparación y secado de algas; tratamiento alcalino con KOH al 6 % [3]; decoloración con hipoclorito al 5 % [6]; fraccionamiento térmico y químico; y secado controlado [2], donde se presentan las etapas de proceso de obtención de carragenina para, finalmente, realizar la caracterización.

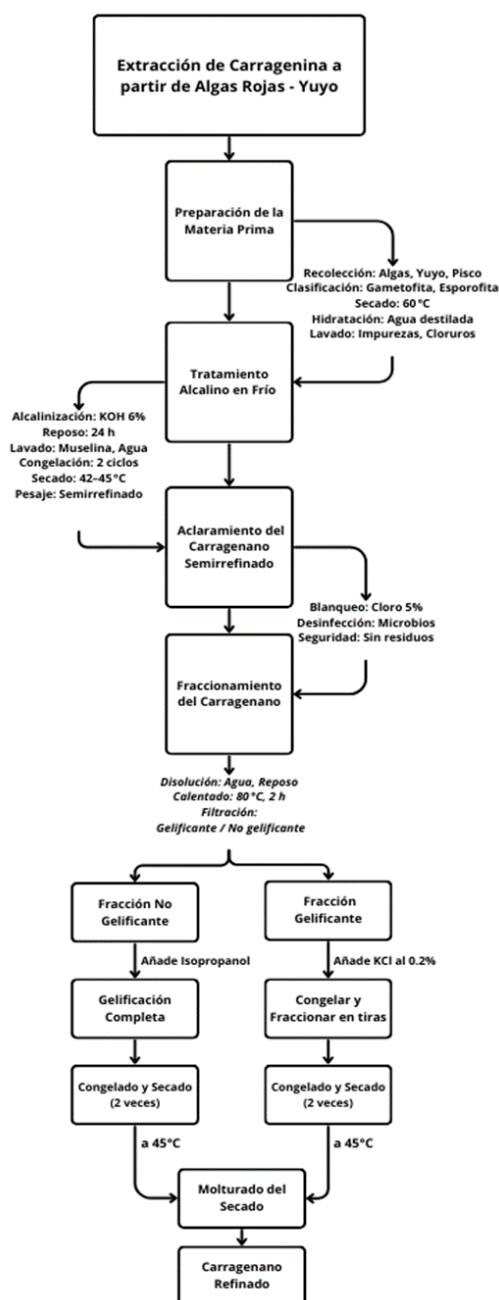


Figura 3. Proceso general de extracción de carragenina en *Chondracanthus chamissoi*

Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

Caracterización de la carragenina

Para la caracterización, se empleó una prueba cualitativa preliminar de reconocimiento preliminar de azúcar reductor por acción de la hidrólisis de la carragenina para el reconocimiento de azúcar reductor (galactosa) [3].

Se pesó 0,5 g de carragenina se diluyó en solución al 2 % de ácido clorhídrico en 20 ml y se llevó a ebullición por 3 horas. Luego, se tomó 2 ml de la solución y se realizó la reacción de Fehling. También se realizó la prueba cualitativa con reactivo de Tollens.

La carragenina se analizó por FT IR equipo Bruker Model Alpha FT-IR Spectrometer, obteniendo el respectivo espectro para su identificación.

Tabla 1
Valores del número de onda (cm^{-1}) y asignaciones

Pico (cm^{-1})	Asignación aproximada	Grupo funcional asociado	Observación
1666 – 1667	Estiramiento C=O (carbonilo)	Posible impureza de proteínas o grupos urónicos	No característico de carragenina pura, pero puede estar presente por residuos.
1440 – 1442	Deformación angular C-H o asimétrica COO ⁻	Anillos de galactosa o residuos carboxílicos	Asociado con vibraciones del anillo de galactosa.
1230	Estiramiento asimétrico S=O (sulfato)	Grupo sulfato ($-\text{SO}_3^-$)	Característico de carrageninas sulfatadas.
1077	Estiramiento C–O–C (éter)	Enlace glicosídico	Común en polisacáridos, refleja la estructura de galactanos.

Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

Los resultados de la prueba de Fehling generaron un precipitado rojizo de óxido cuproso demostrando la presencia de azúcares reductores. La reacción de Tollens generó un espejo de plata en el tubo de ensayo por tanto presencia de azúcares reductores como derivados de la hidrólisis de los galactanos.

La caracterización por métodos espectroscópicos se obtuvo los siguientes picos de los grupos presentes en el hidrocoloide mostrados en la tabla 1 según el número de onda y sus respectivas asignaciones.

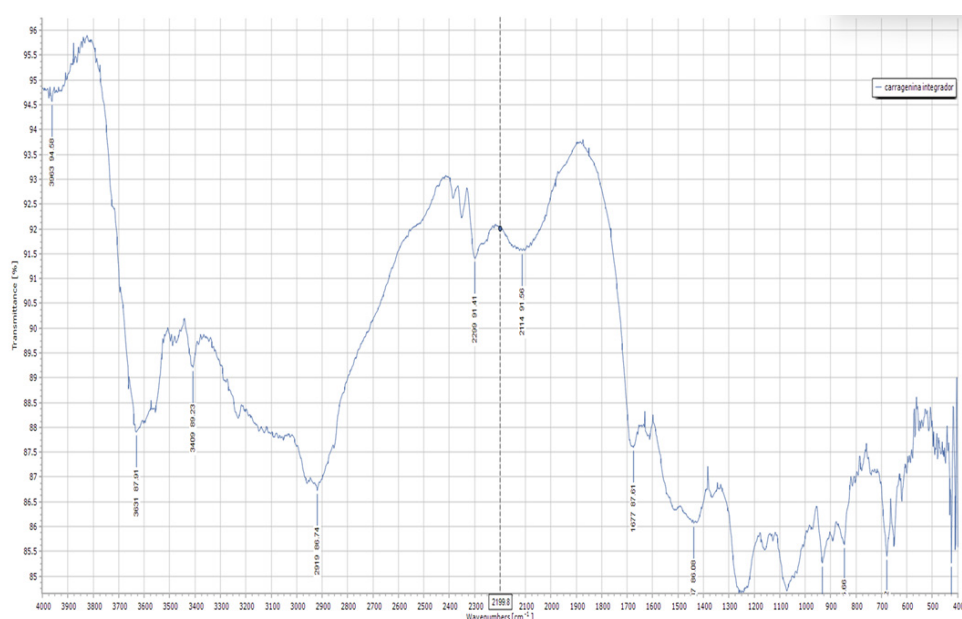


Figura 4. Espectro IR de la muestra de carragenina en el equipo Bruker Model Alpha FT-IT Spectrometer

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Se confirmó de manera contundente que el polisacárido extraído de *Chondracanthus chamissoi* («yuyo») es carragenina sulfatada, mediante la liberación de azúcares reductores en las pruebas de Fehling y Tollens, y la presencia inequívoca de las bandas diagnósticas en el espectro FT-IR: 1220–1230 cm⁻¹ (sulfato), 1070–1080 cm⁻¹ (enlace glicosídico) y 1430–1445 cm⁻¹ (anillo de galactosa). Estos resultados demuestran que el biopolímero obtenido corresponde al estándar estructural de las carrageninas comerciales extraídas de algas rojas.
2. Se desarrolló y validó un proceso de extracción simple, de bajo costo, 100 % acuoso y libre de solventes orgánicos tóxicos, capaz de recuperar carragenina de alta calidad a partir de biomasa algal fresca o, más importante aún, de residuos actualmente desechados por la industria pesquera y acuícola peruana.
3. Este trabajo demuestra que un residuo orgánico, considerado contaminante en las costas del Perú, se puede transformar en un producto de alto valor agregado utilizado globalmente en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética. Esto sienta las bases para una verdadera economía circular en el sector marino-costero.

RECOMENDACIONES

1. Optimizar las condiciones de extracción (temperatura, tiempo, pH, relación alga/solvente y agente precipitante) utilizando diseño de experimentos para maximizar el rendimiento y la pureza del polisacárido.
2. Evaluar cuantitativamente la eficiencia del proceso mediante indicadores como rendimiento (g de carragenina / 100 g de alga seca), contenido de sulfato, porcentaje de proteína residual y costo por kg de producto obtenido.
3. Completar la caracterización estructural avanzada del polisacárido mediante: Espectroscopia de RMN-¹H, RMN-¹³C y experimentos 2D (HSQC, HMBC, COSY) para asignar completamente las señales y determinar la posición exacta de los grupos sulfato.
4. Dicroísmo circular (CD) para identificar el tipo de carragenina (κ , ι , λ o híbridos).
5. Cromatografía de exclusión por tamaño (SEC) acoplada a detectores multiángulo de dispersión de luz (MALS) para determinar peso molecular y distribución.

6. Incorporar etapas de purificación adicionales de bajo costo y evaluar su efecto sobre la calidad final del producto.
7. Comparar la carragenina obtenida de alga fresca versus residuos de acuicultura en términos de rendimiento, pureza y propiedades funcionales.
8. Promover, a mediano plazo, la creación de biorrefinerías costeras integradas que aprovechen los grandes volúmenes de residuos de *Chondracanthus chamissoi* generados por la acuicultura y la industria pesquera peruana, permitiendo la producción simultánea de carragenina, fertilizantes orgánicos y otros metabolitos de valor, en el marco de una bioeconomía azul sostenible.

REFERENCIAS

- [1] Gómez Ordóñez, E., & Rupérez, P. (2011). FTIR-ATR spectroscopy as a tool for polysaccharide identification in edible brown and red seaweeds. *Food Hydrocolloids*, 25(6), 1514–1520. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.12.021>
- [2] Kong, L., Stapleton, J., & Ziegler, G. R. (2017). Characterization of macromolecular orientation in κ -carrageenan fibers using polarized Fourier-transform infrared spectroscopy. *Vibrational Spectroscopy*, 94, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2017.12.004>
- [3] López, V., Torres, M., & Méndez, M. (2012). Secado y conservación de macroalgas para uso industrial. *Revista de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 10(1), 45–52.
- [4] McHugh, D. (2003). *A guide to the seaweed industry* (FAO Fisheries Technical Paper N.º 441, pp. 1–105). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- [5] Salas de la Torre, N., Córdova, C., & Estrada, A. (2008). Obtención de κ -Carragenano y λ -Carragenano a partir de macroalga *Chondracanthus chamissoi* y su aplicación en la industria alimentaria. *Industrial Data*, 11(2), 45–52.
- [6] Yashaswini Devi, G., Venkatesan, J., & Hawkins, S. A. (2021). Hydrocolloids from marine macroalgae: Isolation and applications. En *Algae for Food* (pp. 190–205). https://www.researchgate.net/publication/354452774_Hydrocolloids_from_Marine_Macroalgae_Isolation_and_Applications

ACERCA DEL AUTOR

Laurence Rommel Salmon Barrantes

Químico farmacéutico egresado de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), y de la maestría en química por la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP). Posee experiencia en la industria farmacéutica y cosmética, ha sido asesor en el Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (Indecopi) y docente en la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), la PUCP, la Escuela Naval del Perú (ESNA) y la Universidad Peruana Los Andes (UPLA). Además, ha desarrollado este rol desde 2013, en Tecsups, en cursos de química, química orgánica, química inorgánica. Además, dicta cursos en bioquímica, farmacología, microbiología, industrias alimentarias, química industrial y radioquímica.

 lsalmon@tecsup.edu.pe

Anderson Jair Álvarez Benito

Preprofesional de Procesos Químicos y Metalúrgicos en Tecsups, Lima. Se desempeñó como técnico en química en Quimpac.

Actualmente, se desempeña en el área de Laboratorio Minero Metalúrgico en Alfred King Callao.

 anderson.alvarez@tecsup.edu.pe

Recibido: 16-07-2025

Revisado: 30-09-2025

Aceptado: 30-10-2025



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons AtribuciónNoComercial 4.0 Internacional.