

VARIACIÓN EN EL RENDIMIENTO Y VISCOSIDAD DEL K-CARRAGENINA DE *Chondracanthus chamissoi* Y *Mazzaella canaliculata* DURANTE INVIERNO Y VERANOVariation of yield and viscosity of κ -carrageenan from *Chondracanthus chamissoi* and *Mazzaella canaliculata* during the winter and summer seasonsSarita Romani Vásquez^{1*} ; José Carlos Arango De La Cruz² , Orlando Advincula Zeballos³ , Fermín Humberto Arévalo Ortiz⁴ ¹Tesis de estudiante del laboratorio de Biología Aplicada ubicado en el CEMTRAR, Lima, Perú.² Investigador asociado del Laboratorio de Biología Aplicada ubicado en CEMTRAR, Lima, Perú.³ Investigador asociado del Laboratorio de Biología Aplicada ubicado en CEMTRAR, Lima, Perú.⁴ Profesor de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.*Email: 20141032@lamolina.edu.pe

Recibido: 12/05/2023; Aceptado: 20/12/2023; Publicado: 29/12/2023

ABSTRACT

Seasonal variations affect κ -carrageenan biosynthesis due to producing the impact on yield and quality. This study analyzes the difference in yield and viscosity of κ -carrageenan semi-refined between *Chondracanthus chamissoi* (C. Agardh) Kützing and *Mazzaella canaliculata* (C. Agardh) Arakaki & M. E. Ramírez, during the summer and winter collection in two different phases (gametophyte and tetrasporophyte) to guarantee a sustainable k-carrageenan industry. The results obtained in the yield of κ -carrageenan showed mainly variations in the gametophytes phase, where *M. canaliculata* presented 31.74% in the yield during the winter harvest. However, in summer its yield was reduced to 24.32%. In contrast, *C. chamissoi* showed a better yield in the summer season with 28.41%, while in winter, it presented a yield of 23.29%. About the κ -carrageenan profile obtained by FTIR-ATR, all treatments were identified as κ -carrageenan due to two representative peaks of this colloid between 920-930 cm^{-1} and 846-845 cm^{-1} . Meanwhile, the viscosity was no significant difference between the seasons but it was between the species *M. canaliculata* and *C. chamissoi* and their life phases, *C. chamissoi* in gametophytes, which presented greater viscosity with 19.60 cps and 19.29 cps in summer and winter, respectively. In contrast, *M. canaliculata* was presented at 17.70 cps in summer and 17.19 cps in winter. Therefore, the knowledge of seasonal variation and phase stages of seaweeds such as *C. chamissoi* and *M. canaliculata* can be used for the development of the κ -carrageenan industry in Peru.

Keywords: *Mazzaella canaliculata* | *Chondracanthus chamissoi* | k-carrageenan | yield | viscosity | FTIR-ATR

Forma de citar el artículo(Formato APA):

Romani, S., Arango, J., Advincula, O., & Arévalo, F. (2023). Variación en el rendimiento y viscosidad del κ -carragenina de *Chondracanthus chamissoi* y *Mazzaella canaliculata* durante invierno y verano. *Anales Científicos*, 84(2), 149-164. <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v84i2.924>

Autor de correspondencia (*): Romani, S. Email: 20141032@lamolina.edu.pe

© Los autores. Publicado por la Universidad Nacional Agraria La Molina.

This is an open access article under the CC BY.

RESUMEN

Las variaciones estacionales afectan la biosíntesis de κ -carragenina debido al impacto en el rendimiento y la calidad. Este estudio analiza la diferencia en rendimiento y viscosidad de κ -carragenina semirefinada entre *Chondracanthus chamissoi* (C. Agardh) Kützing y *Mazzaella canaliculata* (C. Agardh) Arakaki & M. E. Ramírez, durante la recolección de verano e invierno en dos fases diferentes (gametofito y tetrasporofito) para garantizar una industria sostenible de κ -carragenina. Los resultados obtenidos en el rendimiento de κ -carragenina mostraron principalmente variaciones en la fase de gametofitos, donde *M. canaliculata* presentó 31,74% en el rendimiento durante la cosecha de invierno. Sin embargo, en verano su rendimiento se redujo al 24,32%. En contraste, *C. chamissoi* presentó un mejor rendimiento en la temporada de verano con 28,41%, mientras que en invierno presentó un rendimiento de 23,29%. Respecto al perfil de κ -carragenina obtenido por FTIR-ATR, todos los tratamientos se identificaron como κ -carragenina debido a dos picos representativos de este coloide entre 920-930 cm^{-1} y 846-845 cm^{-1} . Mientras tanto, en la viscosidad no hubo diferencia significativa entre las estaciones, pero sí entre las especies *M. canaliculata* y *C. chamissoi* y sus fases de vida, *C. chamissoi* en gametofitos, que presentó mayor viscosidad con 19,60 cps y 19,29 cps en verano e invierno, respectivamente. En cambio, *M. canaliculata* se presentó en 17,70 cps en verano y 17,19 cps en invierno. Por lo tanto, el conocimiento de la variación estacional y las etapas de fase de algas como *C. chamissoi* y *M. canaliculata* puede usarse para el desarrollo de la industria de κ -carragenina en el Perú.

Palabras claves: *Mazzaella canaliculata* | *Chondracanthus chamissoi* | κ -carragenina | rendimiento | viscosidad | FTIR-ATR

1. INTRODUCCIÓN

La carragenina es un tipo de poligalactano sulfatado que se obtienen de la pared celular de las algas rojas (Campo et al., 2009) y representa el principal mercado de derivados de algas (Campbell & Hotchkiss, 2017) debido a su uso en la industria alimentaria (Van de Velde et al., 2005), como propiedades reológicas, gelificantes y la capacidad de mejorar de la viscosidad (Olatunji, 2020), son esenciales para mejorar la textura de los quesos, el control de la viscosidad de pudines y postres, además de su función como estabilizante en la producción de pates, salchichas y hamburguesas bajas en grasa (Campo et al., 2009). Este poligalactano también desempeña un papel crucial en los productos lácteos, actuando como recubrimiento en frutas cortadas a gran escala evitando la decoloración, manteniendo la textura y

brindando protección anti-bacterial (García et al., 2016).

Este polisacárido ha sido clasificado según la presencia del monosacárido 3,6 anhidro-galactosa; la posición y el número de grupos sulfatados (Campo et al., 2009; Necas & Bartosikova, 2013) siendo las comerciales: iota (ι), lambda (λ) y kappa (κ)-carragenina cada uno con diferencias en su estructura química y propiedades (García et al., 2016).

La ι -carragenina presenta una estructura en donde se une 4- α -D-galactopiranos (G4S) y 3,6-anhidro- α -D-galactopiranos 2-sulfato (Campo et al., 2009) que le ha permitido mostrar una mayor sensibilidad a los iones de Ca^{+2} , cuya presencia le permite formar geles de textura más elástica y coloración más clara que los de κ -carragenina (Featherstone, 2015; Blakemore & Harpell, 2010). Por otro lado, la κ -carragenina a

nivel estructural está conformado por una cadena larga de sulfo-galactanos en donde se une 4 α -D-galactopiranosas (G4S) y la 3,6-anhidro- α -D-galactopiranosas (DA) (Campo et al., 2009), por lo que contiene un grupo de sulfato de éster por dímero (Zia et al., 2017) se caracteriza por ser más sensible a los iones de K^+ , cuya presencia le permite formar geles rígidos, ligeramente opacos y térmicamente reversibles (Featherstone, 2015); mientras que, en presencia de iones de calcio forma geles quebradizos (García et al., 2016). Finalmente la λ - carragenina es un polisacárido que presenta una estructura y está constituida por β -D-galactopiranosas 2-sulfato y α -D-galactopiranosas 2,6-bisulfato (Campo et al., 2009) conteniendo 3 grupos de sulfato de éster por dímero (Zia et al., 2017) debido al alto nivel de grupos sulfatos esta carragenina no presenta una actividad gelificante, pero forma soluciones con alto grado de viscosidad (García et al., 2016; Zia et al., 2017).

Por otro lado, las algas rojas más utilizadas en la extracción de carragenina son del género *Kappaphycus* y *Eucheuma*, representando el 90% de la κ -carragenina a nivel mundial proviene de estas algas (Campbell & Hotchkiss, 2017). Sin embargo, el 37% de las algas rojas utilizadas en la industria de los ficocoloides, como la κ -carragenina, proviene de América Latina (Hayashi et al., 2014), principalmente en países como Argentina, Brasil, Chile, México y Perú (Hayashi et al., 2014; Alemañ et al., 2019).

En América del Sur, existen dos algas de la familia Gigartinales que representan una gran importancia en la extracción de κ -carragenina, las cuales son *C. chamosoi* y *M. canaliculata*. *C. chamosoi* se cosecha en Chile y Perú (Hayashi et al., 2014) y se considera una de las algas rojas más destacadas para la extracción de κ -carragenina y el consumo humano directo (Arakaki y Ramírez, 2021). Mientras que *M. canaliculata* se extiende desde la costa

central de Perú (12°S) hasta Chile (41°S) (Arakaki & Ramírez, 2021) y es reconocida en Chile como una de las 20 especies más importantes para el proceso de extracción de κ -carragenina (Edding et al., 2008).

Por otra parte, el mercado de la carragenina demanda un producto de alta calidad y cantidad (Pariona & Gil-Kodaka, 2011) por lo que las etapas de vida son importantes, debido a que la biosíntesis de carragenina en *Gigartinales* depende de la alternancia de fases (Pereira et al., 2009). Esto se observa en diferentes estudios donde el mayor rendimiento de λ -carragenina fue en tetrasporofitos mientras que κ -carragenina predominó en gametofitos en *C. chamosoi* y *M. canaliculata* (Pereira et al., 2009, Véliz et al., 2017). Al mismo tiempo las variaciones estacionales a lo largo del año han generado cambios en la biomasa de las algas (Bulboa & Macchiavello, 2001; Vásquez & Vega, 2001) y en el contenido de κ -carragenina (Wakibia et al., 2006 y Véliz et al., 2017) debido a condiciones ambientales como las horas de luz solar, insolación, irradiancia, precipitación, velocidad del viento y temperatura (García et al., 2012). Por lo tanto, la información relacionada con los patrones de rendimiento y viscosidad de la κ -carragenina en función de las variaciones estacionales y las fases de vida son relevante para el desarrollo de la industria de la κ -carragenina.

En ese sentido, la presente investigación tiene como objetivo analizar el efecto de las fases de vida (gametofitos y esporofitos) y la variación estacional (invierno y verano) en dos algas rojas (*C. chamosoi* y *M. canaliculata*) en el rendimiento y viscosidad del κ -carragenina del centro-sur de Perú con el fin de incrementar el conocimiento y mejora de la industria del κ -carragenina a través de una producción sustentable mediante estrategias de recolección adecuadas y cepas de selección.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Extracción de material biológico.

Las algas rojas (*Chondracanthus chamissoi* [(C. Agardh) Kützinger] y *Mazzaella canaliculata* [(C. Agardh) Arakaki & M. E. Ramirez]) fueron recolectadas en playa Mendieta, Pisco, Ica, Perú (14°3'15"S 76°15'43"W) durante dos temporadas en septiembre (invierno) de 2021 y enero (verano) de 2022 mediante buceo por parte de pescadores autorizados de la empresa COTRAPALMAR (Cooperativa de Pescadores) en dos puntos aleatorios por unidad de área (Tabla 1) cerca del litoral marino.

Preprocesamiento de muestras

Se lavaron las algas para eliminar impurezas (Hernández-Carmona, 2013). Luego, se separaron por fases de ciclo de vida en base a la observación visual de los gametofitos femeninos, los cuáles pueden reconocerse por la presencia de cistocarpos (estructuras prominentes y esféricas a lo largo de los márgenes de las láminas), mientras que los tetrasporofitos se identificaron por medio de soros tetrasporongiales (estructuras aplanadas y redondas de color oscuro distribuidos a lo largo de los márgenes de las láminas) (Véliz et al., 2017). Posteriormente, las algas que no pudieron ser diferenciadas morfológicamente mediante la observación visual (algas vegetativas y gametofitos masculinos); se les realizó un análisis químico mediante el método de Resorcinol-Acetaldehído (Herrera, 2005).

Cuando las algas ya estuvieron clasificadas, se enjuagaron en agua para eliminar la sal y restos de impurezas; posteriormente se secaron al sol por 4 horas (Suherman et al., 2018) y luego en estufa a 40°C hasta llegar a peso constante (Véliz et al., 2017).

Extracción de carragenina

Se pesó 10 g de alga seca de cada fase de vida (gametofito o esporofito), proveniente de los 10 kg de alga fresca que fue secado por la metodología de peso constante, en ambas especies, y se colocó en un vaso precipitado con 300 ml de agua desionizada por 10 minutos para que se rehidrate, pasado el tiempo se descartó el agua (Salas et al., 2008). Después, se agregaron 200 ml de NaClO (2%) manteniendo un pH = 7,0 con agitación durante 20 minutos. Luego se descartó el NaClO y se le agregó 200 ml de agua desionizada, manteniendo el pH anterior. Posteriormente, la suspensión de algas se transportó al baño maría, que se encontraba a una temperatura de 90°C. A continuación, se vertieron 0,8 g de tripolifosfato sódico, manteniendo el pH a 8,0 durante 3 horas. Después de este paso, la temperatura se redujo a 70°C y se filtró a través de filtros de polipropileno de 150 μ m para eliminar los residuos de algas. A continuación, se añadió KCl al 2% (Manuhara et al., 2016). La solución final se centrifugó en tubos Falcon de 50 ml a 5000 rpm durante 15 min, formando dos fases. Luego, la fase gelificante se colocó en recipientes y se congeló durante 18 horas. A continuación, se descongeló y se eliminó el residuo sobrenadante. Posteriormente, la

Tabla 1. Ubicación de los puntos de colecta en la temporada de verano e invierno en la playa Mendieta

Estación	Puntos	Latitud	Longitud
Invierno	Punto 1	14° 03 801'S	076° 16 161' W
	Punto 2	14° 03 827' S	076° 16 056' W
Verano	Punto 1	14° 03 798'S	076° 16 147' W
	Punto 2	14° 03 840'S	076° 16 060' W

muestra se secó a 50°C hasta peso constante, obteniendo κ -carragenina. Finalmente, se calculó el rendimiento de κ -carragenina de *C. chamissoi* y *M. canaliculata* en cada una de sus fases (gametofito y esporofito) a partir del (%) de algas secas (Véliz et al., 2017).

Medidas reológicas

Para las medidas reológicas se trituroó la κ -carragenina por medio de un molino de café, luego se pesó 0.5 g de κ -carragenina molida de cada fase de vida (gametofito o esporofito) en ambas especies. Después se diluyó en 100 ml de agua destilada a 90°C y se agitó constantemente por 20 minutos a 90°C en el baño maría. Durante el proceso del baño María, se ajustó el Reómetro de Brookfield DV-II, AMETEK Brookfield, Connecticut, EEUU por medio del programa Rheocalc V3.3 para que realice la medición a una temperatura de 75°C (Solís, 2004; Stanley, 1990) con una velocidad de 200RPM por 20 minutos. Después se colocó 8 ml de muestra y se midió la viscosidad, usando el husillo SC4-2, que tiene 16.76 mm de diámetro y 31.24 mm de largo. Finalmente, los resultados fueron expresados en centipoise (cps) y se comparó con los patrones de carragenina comercial “SIGMA” y κ -carrageenan “SIGMA”.

Determinación de κ -carragenina por medio del espectrofotómetro infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR) utilizando la metodología reflectancia total atenuada (ATR)

Para la determinación de κ -carragenina a través de FTIR-ATR, las muestras secas de κ -carragenina se trituroaron hasta formar hojuelas de 1-2 mm de diámetro y luego colocadas en tubos Falcon además de la κ -carragenina marca “SIGMA” (control), para ser analizadas en el Laboratorio de Micología y Biotecnología (LMB). Previo al análisis, fueron compactadas en pastillas por medio de la prensa “Econo-Press” durante 1 minuto. Luego se llevaron las

pastillas al espectrofotómetro infrarrojo por transformadas de Fourier (FTIR) Nicolet iS10 marca “Thermo Scientific” y se colocaron sobre el cristal de reflectancia total atenuada, con las siglas ATR en inglés, para realizar las medidas correspondientes (Pereira et al., 2003). En primer lugar, se tomó la lectura del fondo, para después adquirir el espectro de cada muestra en un rango de 4000-500 cm^{-1} (Hong et al., 2021), tomando en cuenta un promedio de 32 escaneos (Gómez-Ordoñez & Rúperez, 2011) de 2 segundos cada uno. Finalmente, los resultados obtenidos fueron llevados al programa Origin2022 y se determinó los picos más significativos para la identificación de κ -carragenina. Para realizar la comparación de la extracción correcta de κ -carragenina se realizó una comparación con el patrón κ -carragenina marca “SIGMA”.

Análisis estadístico

Se empleó el diseño de bloques completamente al azar (DBCA) siendo el bloque la fecha de extracción de la κ -carragenina. Se realizaron en total 10 extracciones en fechas independientes, con 8 tratamientos y 5 repeticiones. Las variables evaluadas fueron: rendimiento de κ -carragenina semi-refinada obtenido en 10 g de alga y viscosidad de κ -carragenina semi-refinada. Posteriormente, los resultados fueron interpretados con un análisis de varianza (ANOVA) y las diferencias de las medias se compararon con la prueba de Tukey al 5% utilizando el programa INFOSAT.

3. RESULTADOS

Rendimiento de κ -carragenina

Los contenidos de κ -carragenina analizados en *C. chamissoi* y *M. canaliculata* mostraron que los gametofitos tenían mayor contenido de κ -carragenina en comparación con los tetrasporofitos a pesar de los cambios estacionales, donde *M. canaliculata*

presentó 20-30% de rendimiento de κ -carragenina en los gametofitos y en los tetrasporofitos obtuvieron menos del 15%. Por otro lado, *C. chamissoi* tuvo un rendimiento de κ -carragenina del 22-29% y los tetrasporofitos mostraron menos del 10%.

En cuanto a las estaciones (verano e invierno), la κ -carragenina procedente de los gametofitos, presentó en *M. canaliculata* durante el invierno un rendimiento de 31,74% \pm 2,76 y en verano 24,32% \pm 3,44, mientras que el κ -carragenina de tetrasporofitos en verano fue de 11,19% \pm 2,99 y en invierno 8,46% \pm 0,69.

En cuanto a especies, *M. canaliculata* su rendimiento de κ -carragenina procedente de gametofitos fue 31,74% \pm 2,76 y en *C. chamissoi* presentó un resultado de 22,28% \pm 2,15 en invierno. Los resultados se detallan en la Tabla 2.

Viscosidad del κ -carragenina

Respecto a las especies, *C. chamissoi* y *M. canaliculata* durante su fase gametofítica presentaron una viscosidad de 19.6 y 17.19 cps en invierno, respectivamente; mientras que, en verano, *C. chamissoi* presentó un

valor de 19,29 cps y *M. canaliculata* 17,79 cps. Sin embargo, los tetrasporofitos de *C. chamissoi* y *M. canaliculata* no mostraron diferencias significativas entre ellos (valor de $p > 0,05$).

Por otro lado, en relación con las fases de vida, la viscosidad de los gametofitos en *C. chamissoi* fue significativamente mayor que los tetrasporofitos en ambas estaciones (invierno y verano) (valor $p < 0,05$); mientras que *M. canaliculata* solo presentó este comportamiento en verano. Los resultados se visualizan en la Tabla 3.

Determinación del perfil de κ -carragenina mediante FTIR-ATR.

El perfil de κ -carragenina en FTIR-ATR procedente de las especies *C. chamissoi* y *M. canaliculata* en la estación invierno se encuentra representado en la Tabla 4 y la Figura 1; mientras que, el perfil de la κ -carragenina patrón se visualiza en la Tabla 4 y Figura 2.

Por otro lado, el perfil de κ -carragenina en FTIR-ATR procedente de las especies (*M. canaliculata* y *C. chamissoi*) en la estación verano se encuentra representado en la Tabla 5 y la Figura 3.

Tabla 2. Rendimiento de κ -carragenina de dos algas (*M. canaliculata* y *C. chamissoi*) en la temporada de invierno y verano.

Estación	Especie	Fase de vida	Rendimiento de κ -carragenina (%)
Invierno	<i>M. canaliculata</i>	Gametofito	31,74 \pm 2,76 ^a
	<i>C. chamissoi</i>	Gametofito	23,29 \pm 2,15 ^b
	<i>M. canaliculata</i>	Tetrasporofito	8,46 \pm 0,69 ^b
	<i>C. chamissoi</i>	Tetrasporofito	9,23 \pm 1,02 ^a
Verano	<i>M. canaliculata</i>	Gametofito	24,32 \pm 3,44 ^b
	<i>C. chamissoi</i>	Gametofito	28,41 \pm 3,72 ^a
	<i>M. canaliculata</i>	Tetrasporofito	11,19 \pm 2,99 ^a
	<i>C. chamissoi</i>	Tetrasporofito	10,29 \pm 2,01 ^a

a>b, letras iguales no difieren entre si al 5% de probabilidad ($p < 0,05$). Obtenido durante la prueba de LSD Fisher. El contenido de κ -carragenina se expresa como % del peso seco de carragenano de 10 g de algas secas (ANEXO 1-4).

Tabla3. Viscosidad promedio de la k-carragenina

Estación	Especies	Fases de vida	Viscosidad promedio (cps)
Invierno	<i>C. chamissoi</i>	Gametofito	19,60 ± 1.75 ^a
	<i>M. canaliculata</i>	Gametofito	17,19± 1.22 ^b
	<i>M. canaliculata</i>	Tetrasporofito	16,82 ± 0.66 ^b
	<i>C. chamissoi</i>	Tetrasporofito	16,11 ± 1.27 ^b
Verano	<i>C. chamissoi</i>	Gametofito	19,29 ± 1.36 ^a
	<i>M. canaliculata</i>	Gametofito	17,79 ± 0.92 ^b
	<i>M. canaliculata</i>	Tetrasporofito	16,31 ± 0.75 ^c
	<i>C. chamissoi</i>	Tetrasporofito	16,47 ± 0.70 ^c

a>b>c, las letras difieren significativamente ($\alpha=0,05$). Obtenido durante la prueba de LSD Fisher (ANEXO 5).

Tabla 4. Picos distintivos en el espectro-infrarrojo de la κ -carragenina de *M. canaliculata* y *C. chamissoi* en la temporada de invierno.

Número de onda (cm ⁻¹)							
N° picos ^a	1	2	3	4	5	6	7
A	3385,566	1635,409	1225,592	1065,523	1039,969	923,2924	846,1505
B	3386,048	1635,891	1224,146	1066,005	1040,452	923,2924	846,1505
C	3386,048	1635,891	1224,146	1066,005	1039,969	922,3281	845,6683
D	3376,888	1640,712	1209,682	1070,344	1042,862	929,0780	845,6683
E	3390,87	1634,927	1224,146	1064,559	1036,112	923,2924	845,2576

Espectro original de acuerdo a la **Figura 1 y 2.** (A) *C. chamissoi* en la fase gametofítica, (B) *M. canaliculata* en la fase gametofítica (C) *C. chamissoi* en la fase tetrasporofítica, (D) *M. canaliculatus* en la fase tetrasporofítica y (E) κ -carragenina patrón.

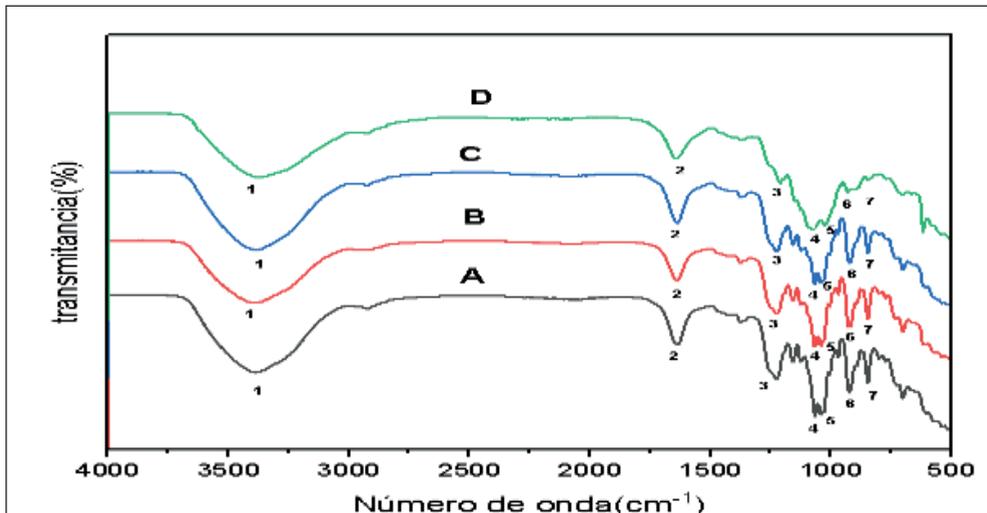


Figura 1. Espectro infrarrojo de κ -carragenina en la estación de invierno. (A) *C. chamissoi* en la fase gametofítica, (B) *M. canaliculata* en la fase gametofítica (C) *C. chamissoi* en la fase tetrasporofítica y (D) *M. canaliculatus* en la fase tetrasporofítica

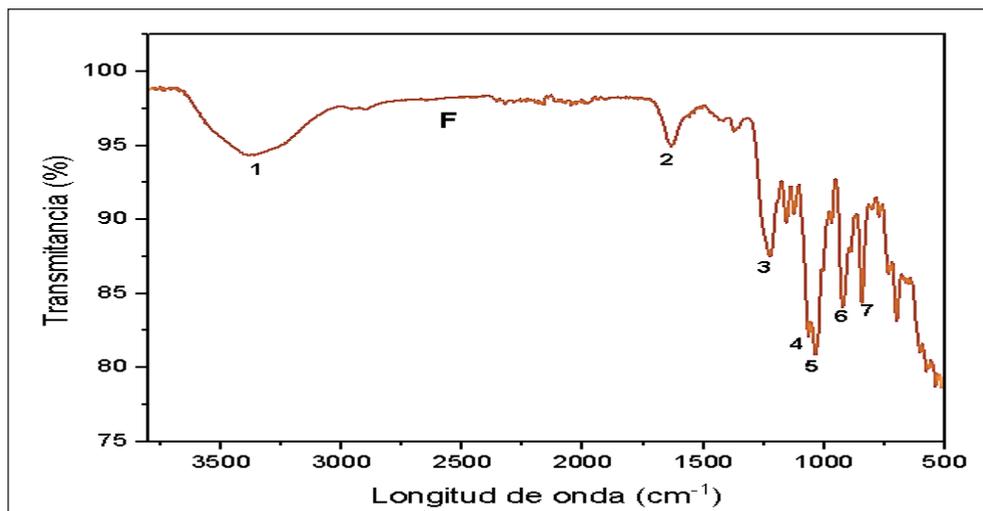


Figura 2. Espectroscopia infrarroja de la κ -carragenina patrón

4. DISCUSIÓN

Rendimiento de κ -carragenina

Los contenidos de κ -carragenina de *C. chamissoi* y *M. canaliculata* mostraron variaciones significativas entre las fases del ciclo de vida (gametofitos y tetrasporofitos) y las estaciones (invierno y verano; Tabla 2). En relación con las fases de ciclo de vida, *M. canaliculata* y *C. chamissoi* mostraron una alta proporción de κ -carragenina en la fase de gametofítica en comparación a la fase tetrasporofítica a pesar de los cambios de estación, concordando con Matsuhiro et al. (1996) y Véliz et al. (2017) sobre la proporción de κ -carragenina en ambas

fases de la vida en *M. canaliculata* y *C. chamissoi*. En general, las especies de la familia Gigartinaceae muestran variaciones recurrentes en las fases de vida en (*k*) y (*-* carragenina en cantidad y calidad (Pereira et al., 2009).

Por otro lado, el efecto de la variación estacional (verano e invierno) en los contenidos de κ -carragenina de *C. chamissoi*, presento valores superiores en verano frente al invierno, donde la fase gametofítica presentó un rendimiento superior al 7,42% y la fase tetrasporofítica al 2,73% en la temporada verano en relación a la temporada invierno. Estos resultados fueron similares

Tabla 5. Picos distintivos en el espectro-infrarrojo de la κ -carragenina de *M. canaliculata* y *C. chamissoi* en la temporada de verano

Nº de picos ^a	Número de onda (cm ⁻¹)						
	1	2	3	4	5	6	7
A	3392,798	1640,712	1224,146	1066,969	1041,416	923,2924	846,1505
B	3387,012	1640,23	1224,146	1066,969	1039,487	922,8102	846,1505
C	3386,048	1640,712	1223,664	1066,969	1040,452	922,8102	845,6683
D	3386,53	1646,23	1223,664	1066,487	1039,487	923,2924	846,1505

^a Espectro original de acuerdo a la **Figura 3.** (A) *C. chamissoi* en la fase gametofítica, (B) *M. canaliculata* en la fase gametofítica (C) *C. chamissoi* en la fase esporofítica y (D) *M. canaliculata* en la fase esporofítica

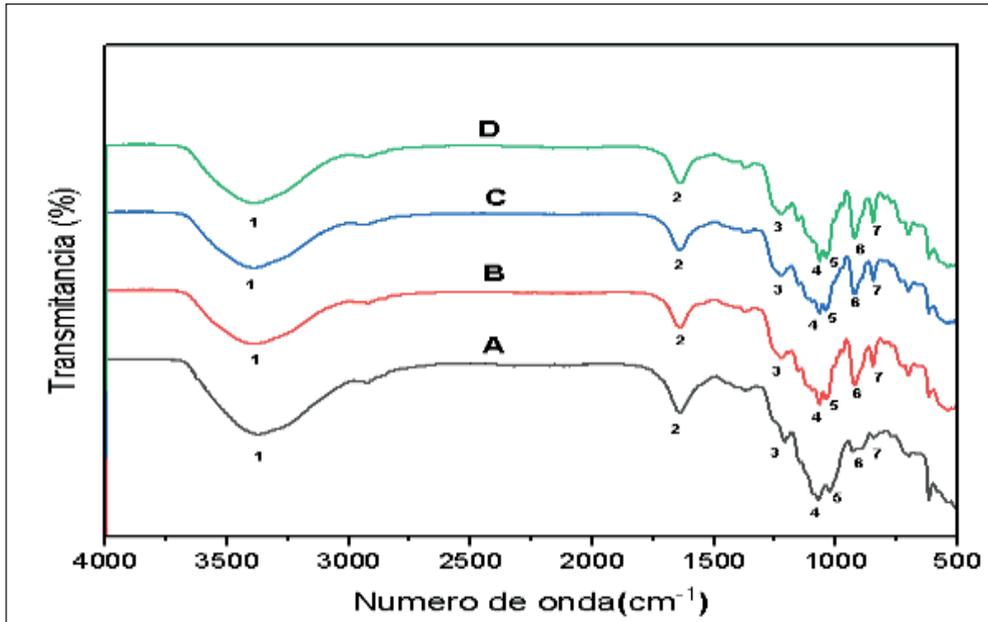


Figura 3. Espectro de FTIR-ATR de κ -carragenina en la estación de verano. (A) *C. chamissoi* en la fase gametofítica, (B) *M. canaliculata* en la fase gametofítica (C) *C. chamissoi* en la fase esporofítica y (D) *M. canaliculata* en la fase esporofítica

al estudio realizado por Véliz et al. (2017) donde la κ -carragenina mostró un mayor rendimiento en la temporada de verano que en la temporada de invierno. Además, otros estudios realizados con el mismo género como *Chondracanthus teedei* indicaron un mayor rendimiento de carragenina a inicio del verano en comparación con las otras estaciones del año (Pereira & Mesquita, 2004) además que el comportamiento fue similar en otras algas de la familia Gigartinales (Véliz et al., 2017). Según Fournet et al. (1999), la degradación del almidón permite la formación de carragenina, donde los ambientes con altos nutrientes y alta irradiancia, como el verano, tienen una mayor concentración de κ -carragenina y una menor concentración de almidón; en comparación con ambientes con altos nutrientes y baja irradiancia. Sin embargo, otros estudios señalan que la biosíntesis de carragenina puede aumentar en otoño

e invierno debido al estrés hidrodinámico (Wakibia et al., 2006), por lo que se alude una reacción lenta frente al estrés hidrodinámico por parte de *C. chamissoi* (Véliz et al., 2017). Por lo tanto, esta variación estacional afectaría la producción de polisacáridos estructurales, siendo la temporada más adecuada para la cosecha de *C. chamissoi*, la temporada de verano en las playas de Pisco, similar a los resultados obtenidos por Pereira & Mezquita (2004) y Véliz (2017).

Respecto a *M. canaliculata*, la fase gametofítica presentó un mayor rendimiento de κ -carragenina en la temporada de invierno en relación a la temporada de verano en un 7,42%. Estos resultados fueron similares a estudios realizados en otras especies de carragenina como *Eucheuma denticulatum* y *Eucheuma pisiformis* indicando que las bajas temperaturas y la luz reducida permiten un aumento de kappa-carragenina, condiciones

que se encuentran en la temporada de invierno (Buriyo et al., 2001; Freile-Pelegrín & Robledo, 2006) mientras que un alto rango de insolación es inadecuado para la producción de κ -carragenina (García-Tasende et al., 2012) similar a *M. canaliculata*. Además, estos autores enfatizaron que con altas irradiaciones las algas aumentan la fotosíntesis y reducen la tasa de respiración al dirigir los nutrientes hacia la producción de almidón en lugar de la síntesis de material de la pared celular como el κ -carragenina, principalmente en ambientes bajos en nutrientes (Fournet et al., 1999). Al mismo tiempo, la biosíntesis de carragenina puede aumentar en otoño e invierno en especies expuestas a olas más fuertes. En este caso, los altos contenidos de carragenina se deben al estrés hidrodinámico (Wakibia et al., 2006; Véliz et al., 2017). En general, la mejor estación para obtener κ -carragenina de *M. canaliculata* es el invierno, comportamiento similar al obtenido por *E. denticulatum* y *E. pisiformis*.

Determinación de la viscosidad de la κ -carragenina

La viscosidad es uno de los parámetros que se estudian para determinar la mejor condición en el tratamiento alcalino para la extracción de κ -carragenina, en donde mayor viscosidad, mayor calidad de la muestra (Bono et al., 2014). En los resultados obtenidos por el reómetro Brookfield, la κ -carragenina de las especies *M. canaliculata* y *C. chamissoi*, la viscosidad ha mostrado diferencias entre especies y las etapas de vida (gametofito y tetrasporofito). Sin embargo, no presentó diferencias significativas entre las estaciones (verano e invierno).

En relación con las fases de vida, la viscosidad de los gametofitos en *C. chamissoi* fue significativamente mayor que la de los tetrasporofitos en ambas estaciones (invierno y verano) (valor $p <$

0,05); mientras que *M. canaliculata* solo presentó este comportamiento en verano. Ese comportamiento en *C. chamissoi* fue similar al de Wakibia et al. (2006) donde *E. denticulatum* y *K. alvarezii* muestran un comportamiento similar a *C. chamissoi*. Por otro lado los tetrasporofitos de *C. chamissoi* y *M. canaliculata* no mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$). Sin embargo, la viscosidad en ambas especies (*M. canaliculata* y *C. chamissoi*) fue menor que la carragenina comercial marca “SIGMA” con 23,43 cps y la κ -carragenina marca “SIGMA” con 33,57 cps.

Respecto a la viscosidad de ambas especies (*M. canaliculata* y *C. chamissoi*) durante la temporada (verano e invierno), no presentó diferencias significativas, similar a los resultados de Westermeier et al. (2022), donde *Sarcopeltis skottsbergii* no presentó variación en la viscosidad durante las estaciones (verano e invierno). Sin embargo, ambas especies presentaron una viscosidad ligeramente mayor en invierno que en verano, aunque no de manera significativa. Sin embargo, esta diferencia de viscosidad según la estación se ha observado en otras especies de carrageninas como *E. denticulatum* y *Euchema pisiformis* (Buriyo et al., 2001; Freile-Pelegrín & Robledo, 2006), donde Breden & Bird (1994) señala que la viscosidad disminuye en las algas que se encuentran en altas concentraciones de nitrógeno y, además, la fuerza del gel de κ -carragenina aumenta en las algas que crecen a bajas temperaturas, similares a las temperaturas invernales.

Caracterización de κ -carragenina mediante FTIR-ATR

En relación a los resultados obtenidos, el primer pico de todas las muestras indica la presencia de un grupo OH- unido a otra estructura, la cual se encuentra en la región de 3500 – 3100 cm^{-1} (Hong et al., 2021).

En la estación de invierno, las muestras presentaron un pico entre $3387 - 3376 \text{ cm}^{-1}$; mientras que, las muestras de verano se encontraron entre $3392-3386 \text{ cm}^{-1}$. Esto se corroboró con la κ -carragenina patrón que presentó un pico en $3390,927 \text{ cm}^{-1}$ relacionado a la vibración de estiramiento -OH formada por el grupo hidroxilo del polisacárido (κ -carragenina) y el agua (Christopher et al., 2018).

En la región entre $1650 - 1635 \text{ cm}^{-1}$ se encuentra un pico que indica la interacción de moléculas de agua con la estructura polimérica (Velázquez et al., 2003), en este caso con la κ -carragenina, en donde las muestras de la temporada invierno mostraron un pico entre $1640 - 1635 \text{ cm}^{-1}$; mientras que, las muestras de verano presentaron un pico entre $1641 - 1640 \text{ cm}^{-1}$. Esto se comprobó con la κ -carragenina patrón, la cual presentó un pico en $1634,927 \text{ cm}^{-1}$, similar a los resultados obtenidos.

En la región de $1260 - 1010 \text{ cm}^{-1}$, el perfil de κ -carragenina en todas las muestras presentaron tres picos principales, el primero la cual representa la vibración del éster de sulfato (S=O) se encontró en la mayoría de las muestras de invierno entre $1225-1209 \text{ cm}^{-1}$ y en las muestras de verano entre $1224 - 1223 \text{ cm}^{-1}$, concordando con los datos de Pereira et al. (2003) quienes señalan que el rango se encuentra entre $1260 - 1210 \text{ cm}^{-1}$ y, corroborándose con la κ -carragenina patrón, la cual presentó un pico a $1224,146 \text{ cm}^{-1}$. El segundo pico en la región de $1260 - 1010 \text{ cm}^{-1}$, representaría la vibración de C-OH el cual se encuentra en el rango entre $1060 - 1071 \text{ cm}^{-1}$ (Ghani et al., 2018; Ortiz-Tafoya, 2018), concordando con las muestras de verano entre $1067 - 1066 \text{ cm}^{-1}$ y las de invierno que se encontraron entre $1070 - 1065 \text{ cm}^{-1}$. El tercer pico de la región entre $1260 - 1010 \text{ cm}^{-1}$, representa la vibración generada por los enlaces glucosídicos (Pereira et al., 2003

y Webber et al., 2012) el cual se encuentra entre $1041 - 1035 \text{ cm}^{-1}$ (Arockia et al., 2019) aproximadamente similar a la κ -carragenina patrón que presentó un pico en $1036,112 \text{ cm}^{-1}$, concordando con los datos de la temporada invierno que se encontraron en el rango de $1042 - 1035 \text{ cm}^{-1}$ y la temporada verano que se presentaron entre $1041 - 1039 \text{ cm}^{-1}$.

La región de $950 - 700 \text{ cm}^{-1}$, conocida como la región “*fingerprint*” o de reconocimiento, muestra dos picos importantes. El primer pico se encuentra entre $920 - 930 \text{ cm}^{-1}$ (Arockia et al., 2019) y permite la identificación de 3,6-anhidrogalactosa (Souza et al., 2018), en donde los perfiles de κ -carragenina de todas las muestras, en ambas estaciones, presentaron un pico entre $922 - 923 \text{ cm}^{-1}$ concordando con los rangos entre $920 - 930 \text{ cm}^{-1}$ (Arockia et al., 2019, Nanaki et al., 2010) y la κ -carragenina patrón con un pico en $923,2924 \text{ cm}^{-1}$. El segundo pico en la región de $950 - 700 \text{ cm}^{-1}$, permite la identificación de la galactosa - 4 - sulfato por medio de las vibraciones entre los enlaces C-O-SO₄ (Souza et al., 2018), el cual se presentó en todas las muestras en el rango $846 - 845 \text{ cm}^{-1}$, concordando con Pereira et al. (2003) quienes señalan que esta vibración se encuentra entre los $850 - 845 \text{ cm}^{-1}$ y la κ -carragenina patrón con 845.2576 cm^{-1} . Esto indica que todas las muestras, independientemente de su estación, presentan el perfil de κ -carragenina.

5. CONCLUSIÓN

Los resultados encontrados son coherentes y permiten concluir que las fases de vida de las algas rojas presentan una influencia en la producción de κ -carragenina en las especies *M. canaliculata* y *C. chamosi* debido a que el rendimiento y viscosidad de κ -carragenina es mayor en los gametofitos en comparación con los tetrasporofitos independientemente de la especie y la

estación. Por otro lado, en relación a la variación estacional, la fase gametofítica de *C. chamosoi* presentó el mayor rendimiento en la temporada de verano, mientras que *M. canaliculata* presentó un mayor rendimiento en la temporada de invierno. Finalmente, se recomienda llevar a cabo más estudios que incluyan otras condiciones ambientales, como salinidad, y variables respuesta, como la textura del material, para mejorar los sistemas incipientes de producción de κ -carragenina en el Perú.

Agradecimientos:

El apoyo financiero para este estudio fue proporcionado mediante el contrato N°490-2020-PNIPA-Subproyectos.

Conflicto de intereses

Los autores firmantes del presente trabajo de investigación declaran no tener ningún potencial conflicto de interés personal o económico con otras personas u organizaciones que puedan influir indebidamente con el presente manuscrito.

Contribuciones de los autores

Concepción, diseño, adquisición de datos e interpretación: RS; AJ; Redacción del artículo: RS, AJ, AO, AF; Aprobación: EMS.

ID ORCID and e-mails

Romani, S.	20141032@lamolina.edu.pe
	https://orcid.org/0000-0002-688&8128
Arango, J.	jarango@lamolina.edu.pe
	https://orcid.org/0000-00E12-5564-9507
Advincula, O.	20040855@lamolina.edu.pe
	https://orcid.org/0000-0003-2042-7872
Arévalo, F.	fharevalo@lamolina.edu.pe.
	https://orcid.org/0fX10-0tXf3-0466-4181

6. REFERENCIAS

- Alemañ, AE, Robledo, D., & Hayashi, L. (2019). Desarrollo del cultivo de algas en América Latina: tendencias actuales y perspectivas de futuro. *Ficología*, 58(5), 462-471. <https://doi.org/10.1080/00318884.2019.1640996>.
- Arakaki, N., & Ramírez, ME. (2021). Peine de *Mazzaella canaliculata*. nov. basado en *Chondrus canaliculata* (Gigartinaceae, Rhodophyta) de Perú y Chile. *Fitotaxa*, 497(3), 211-228. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.497.3.2>.
- Arockia, I., Selvanayagam, S., Selvasekarapandian, S., Srikumar, SR, Ponraj, T., & Moniha, V. (2019). Membrana conductora de iones de litio basada en κ -carragenano complejo con bromuro de litio y sus aplicaciones electroquímicas. *Iónicos*. <https://doi.org/10.1007/s11581-019-03150-x>.
- Blakemore, W.R., & Harpell, A.R. (2010). Chapter 5: carrageenan. In: Imeson, A. (Ed.), *Food Stabilisers, Thickeners and Gelling Agents* (73–94). Reino Unido: Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781444314724.ch5>.
- Bono, A., Anisuzzaman, SM., & Ding, OW. (2014). Efecto de las condiciones del proceso sobre la viscosidad y la resistencia del gel de carragenano semirefinado (SRC) producido a partir de algas (*Kappaphycus alvarezii*). *Revista de la Universidad King Saud - Ciencias de la ingeniería*, 26(1), 3–9. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2012.06.06>.
- Bulboa, CR., & Macchiavello, JE. (2001). Los efectos de la luz y la temperatura en diferentes fases del ciclo de vida del alga productora

- de carragenina *Chondracanthus chamissoi* (Rhodophyta, Gigartinales). *Botánica Marina*, 44(4). <https://doi.org/10.1515/bot.2001.04728>.
- Breden, P. C., & Bird, K. T. (1994). Effects of environmental factors on carrageenan from *Gymnogongrus griffithsiae* (Gigartinales, Rhodophyta). *Journal of Applied Phycology*, 6(4), 371–380. <https://doi.org/10.1007/bf0218215>.
 - Buriyo, AS., Semesi, AK., & Mtolera, MS. (2001). El efecto de las estaciones sobre el rendimiento y la calidad de la carragenina del alga roja de Tanzania *Eucheuma denticulatum* (Gigartinales, Rhodophyta). *Revista Sudafricana de Botánica*, 3(67), 488-491. [https://doi.org/10.1016/S0254-6299\(15\)31168-6](https://doi.org/10.1016/S0254-6299(15)31168-6).
 - Campbell, R., & Hotchkiss, S. (2017). Descripción general del mercado de la industria de la carragenina. Tendencias, problemas y oportunidades del cultivo de algas tropicales (193-205). *Desarrollos en Ficología Aplicada*, 9. https://doi.org/10.1007/978-3-319-63498-2_13.
 - Campo, VL., Kawano, DF., Silva, DB da., & Carvalho, I. (2009). Carragenanos: propiedades biológicas, modificaciones químicas y análisis estructural: una revisión. *Polímeros de carbohidratos*, 77(2), 167–180. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.01.020>.
 - Christopher, S.P., Perumal, P., Selvasekarapandian, S. (2018). Study of proton-conducting polymer electrolyte based on K-carrageenan and NH₄SCN for electrochemical devices. *Ionics*, 24, 3535–3542. <https://doi.org/10.1007/s11581-018-2521-7>.
 - Edding, M., Fonck, E., Acuña, R., & Tala, F. (2008). Cultivo de *Chondrus canaliculata* (C. *Agardh*) Greville (Gigartinales, Rhodophyta) en ambientes controlados. *Acuicultura Internacional*, 16(4), 283-295. <https://doi.org/10.1007/s10499-007-9142-x>.
 - Featherstone, S. (2015). Ingredients used in the preparation of canned foods. A Complete Course in Canning and Related Processes, 147–211. <https://doi.org/10.1016/b978-0-85709-678-4.00008-7>.
 - Fournet, I., Zinoun, M., Deslandes, E., Diouris, M. y Floc'h, JY (1999). Contenidos de almidón y carragenina de Florida como respuestas del alga roja *Solieria chordalis* a las condiciones de cultivo. *Revista Europea de Ficología*, 34(2), 125-130.
 - Freile-Peigrín, Y., & Robledo, D. (2006). Carragenano de *Eucheuma pisiforme* (Solieriaceae, Rhodophyta) de Yucatán, México. II. Variaciones estacionales de la carragenina y características bioquímicas. *Botánica Marina*, 49(1). <https://doi.org/10.1515/bot.2006.009>.
 - García T., M., Cid, M., & Fraga, MI (2012). Variaciones espaciales y temporales del contenido de carragenina de *Chondrus crispus* (Gigartinaceae, Rhodophyta) en poblaciones naturales de Galicia (NO de España). *Revista de psicología aplicada*, 24(4), 941-951. <https://doi.org/10.1007/s10811-011-9715-y>.
 - Ghani, NAA., Othaman, R., Ahmad, A., Anuar, FH., & Hassan, NH. (2018). Impacto de la purificación de la iota de carragenina como electrolito de polímero sólido. *Revista Árabe de Química*. <https://doi.org/10.1016/j.arabic.2018.06.00>.
 - Hayashi, L., Bulboa, C., Kradolfer, P., Soriano, G. y Robledo, D. (2014).

- Cultivo de algas rojas: una perspectiva latinoamericana. *Revista de Ficología Aplicada*, 26(2), 719-727. <https://doi.org/10.1007/s10811-013-0143-z>.
- Hernandez-Carmona, G., Freile-Pelegrin, Y., & Garibay, E. (2013). Conventional and alternative technologies for the extraction of algal polysaccharides. *Functional Ingredients from Algae for Foods and Nutraceuticals*, 475-516. <https://doi.org/10.1533/9780857098689.3.475.64>.
 - Herrera, M. (2005). Variación mensual de los contenidos energéticos, porcentaje de rendimiento de carragenanos y análisis químico de los carragenanos en las fases del ciclo de vida de *Chondracanthus chamissoi* en Coquimbo, Chile. [Tesis para optar el título de biología Marina, Universidad de Chile]. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/fch565v/doc/fch565v.pdf>.
 - Hong, T., Yin, J. Y., Nie, S. P., & Xie, M. Y. (2021). Applications of infrared spectroscopy in polysaccharide structural analysis: Progress, challenge and perspective. *Food chemistry*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2021.100168>.
 - Kraan, S. (2012). Polisacáridos de algas, nuevas aplicaciones y perspectivas. En *Hidratos de Carbono -Estudios Integrales sobre Glicobiología y Glicotecnología* (489-524); *IntechOpen: Croacia*, <https://doi.org/10.5772/51572>.
 - Manuhara, GJ., Praseptiangga, D., & Riyanto, RA (2016). Extracción y caracterización de K-carragenina refinada de algas rojas [Kappaphycus Alvarezii (Doty ex PC Silva, 1996)] originarias de las islas Karimun Jawa. *Procedia acuática*, 7, 106-111. <https://doi.org/10.1016/j.aapro.2016.07.014>.
 - Matsuhiro, B. (1996). Espectroscopia vibratoria de galactanos de algas. En *Decimoquinto Simposio Internacional de Algas Marinas. Desarrollos en Hidrobiología*, 16, 481-489. https://doi.org/10.1007/978-94-009-1659-3_69.
 - Nanaki, S., Karavas, E., Kalantzi, L., & Bikiaris, D. (2010). Estudio de miscibilidad de mezclas de carragenanos y evaluación de su eficacia como portadores de liberación sostenida. *Polímeros de carbohidratos*, 79(4), 1157-1167. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2009.10>.
 - Necas, J., & Bartosikova, L. (2013). Carragenano: una revisión. *Veterinárni Medicina*, 58(4), 187-205. <https://doi.org/10.17221/6758-vetmed>.
 - Olatunji, O. (2020). *Aquatic Biopolymers*. Springer Series on Polymer and Composite Materials. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-34709-3>.
 - Ortiz-Tafoya, MC, & Tecante, A. (2018). Caracterización fisicoquímica del estearoil lactilato de sodio (SSL), monolaurato de polioxietilensorbitán (Tween 20) y κ -carragenano. *Datos breves*, 19, 642-650. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.05.064>.
 - Pariona, E., & Gil-Kodaka, P. (2011, June). Colonización de *Chondracanthus chamissoi* (Rhodophyta, Gigartinales) sobre sustratos calcáreos en Playa Mendieta, Reserva Nacional de Paracas. *Anales Científicos*, 72(1), 19-26. <https://doi.org/10.21704/ac.v72i1.854>.
 - Pereira, L., & Mesquita, JF. (2004). Estudios poblacionales y propiedades carrageninas de *Chondracanthus teedei* var. lusitanicus (Gigartinales, Rhodophyta). *Revista de fisiología*

- aplicada*, 16(5), 369–383. <https://doi.org/10.1023/b:japh.0000047948.1>.
- Pereira, L., Critchley, AT., Amado, AM., & Ribeiro-Claro, PJA. (2009). Un análisis comparativo de los ficocoloides producidos por carragenofitos subutilizados versus utilizados industrialmente (Gigartinales, Rhodophyta). *Revista de fisiología aplicada*, 21(5), 599–605. <https://doi.org/10.1007/s10811-09-9447-4>.
 - Pereira, L., Sousa, A., Coelho, H., Amado, AM., & Ribeiro-Claro, PJ. (2003). Uso de espectroscopía FTIR, FT-Raman y ^{13}C -NMR para la identificación de algunos ficocoloides de algas. *Ingeniería biomolecular*, 20(4-6), 223-228. [https://doi.org/10.1016/S1389-0344\(03\)00058-3](https://doi.org/10.1016/S1389-0344(03)00058-3).
 - Salas, N., Córdova, C., Lengua, L., Bazán, D., Becerra, E., Estrada, E., & Choque, V. (2008). Caracterización de κ -carragenano y λ -carragenano obtenidos a partir de macroalga *Chondracanthus chamissoi* y su aplicación en la industria alimentaria. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 11(2), 61-70. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/4727>.
 - Solís, I. (2004). *Estudio comparativo de las propiedades finales de extractos de carragenina κ -I/ κ -II utilizando distintas algas productoras de carragenina κ -II* [Tesis doctoral en Ciencia de los Alimentos, Universidad Austral de Chile]. Recuperado de: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/fas687e/doc/fas687e.pdf>.
 - Souza, RB., Frota, AF., Silva, J., Alves, C., Neugebauer, AZ., Pinteus, S., & Benevides, NMB. (2018). Actividades *in vitro* del kappa-carragenano aislado del alga marina roja *Hypnea musciformis*: potencial antimicrobiano, anticancerígeno y neuroprotector. *Revista internacional de macromoléculas biológicas*, 112, 1248-1256. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.02.029>.
 - Stanley, N.F. (1990). Carrageenans. *Food Gels*, 79–119. <https://doi.org/10.1007/978-94-009-0755-3333>.
 - Suherman, S., Djaeni, M., Kumoro, AC, Prabowo, RA, Rahayu, S. y Khasanah, S. (2018). Comparación del comportamiento de secado de algas en secadores solares, solares y de bandeja de horno. *MATEC Web de Conferencias*, 156. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20181560500>.
 - Van de Velde, F., Antipova, AS., Rollema, HS., Burova, TV., Grinberg, NV., Pereira, L. & Grinberg, VY. (2005). La estructura de los carragenanos híbridos κ/λ II. Transición bobina-hélice en función de la composición de la cadena. *Investigación de carbohidratos*, 340(6), 1113-1129. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2005.02.015>.
 - Vásquez, JA., & Vega, JMA. (2001). *Chondracanthus chamissoi* (Rhodophyta, Gigartinales) en el norte de Chile: aspectos ecológicos para el manejo de poblaciones silvestres. *Revista de Fisiología Aplicada*, 13(3), 267-277. <https://doi.org/10.1023/A:1011152922832>.
 - Véliz, K., Chandía, N., Rivadeneira, M., & Thiel, M. (2017). Variación estacional de carragenanos de *Chondracanthus chamissoi* con una revisión de la variación en los contenidos de carragenanos producidos por Gigartinales. *Revista de fisiología aplicada*, 29(6), 3139-3150. <https://doi.org/10.1007/>

- s10811-017-1203-6.
- Wakibia, JG., Bolton, JJ., Keats, DW., & Raitt, LM. (2006). Cambios estacionales en el rendimiento de carragenina y las propiedades del gel en tres *euchemoides* comerciales cultivados en el sur de Kenia. *Botánica Marina*, 49(3). <https://doi.org/10.1515/bot.2006.026>.
 - Webber, V., Carvalho, SM de., Ogliari, PJ., Hayashi, L., & Barreto, PLM. (2012). Optimización de la extracción de carragenina de *Kappaphycus alvarezii* mediante metodología de superficie de respuesta. *Ciencia y tecnología de los alimentos*, 32(4), 812–818. <https://doi.org/10.1590/s0101-20612012005000111>.
 - Westermeier, R., González, C., Murúa, P., Morales, J., Patiño, DJ, Fabres, N., & Müller, DG. (2022). Variación estacional del rendimiento de carragenano, fuerza del gel y viscosidad en *Sarcopeltis* (ex *Gigartina*) *skottsbergii* del sur de Chile. *Investigación psicológica*, 70(1), 42-49. <https://doi.org/10.1111/pre.12467>.
 - Yaphe, W., & Arsenault, GP. (1965). Reactivo de resorcinol mejorado para la determinación de fructosa y de 3,6-anhidrogalactosa en polisacáridos. *Bioquímica analítica*, 13 (1), 143-148. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(65\)90128-4](https://doi.org/10.1016/0003-2697(65)90128-4).ñ.
 - Zia, K.M., Tabasum, S., Nasif, M., Sultan, N., Aslam, N., Noreen, A., & Zuber, M. (2017). A review on synthesis, properties and applications of natural polymer based carrageenan blends and composites. *International journal of biological macromolecules*, 96, 282-301. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.11.095>.