

Análisis de hierro y polifenoles en macroalgas pardas y rojas de la Antártida

Analysis of Iron and Polyphenols in Brown and Red Macroalgae from Antarctica

Mirtha Yarlequé Chocas¹

Universidad Femenina del Sagrado Corazón - Lima, Perú
<https://orcid.org/0000-0002-3440-1780>

Giannina la Torre Gallardo²

Universidad Femenina del Sagrado Corazón - Lima, Perú
<http://orcid.org/0000-0002-8296-6751>

Yadira Jiménez Arrunátegui³

Universidad Femenina del Sagrado Corazón - Lima, Perú
<https://orcid.org/0000-001-5509-8568>

Marinalva Santos Bandy⁴

Universidad Femenina del Sagrado Corazón - Lima, Perú
<https://orcid.org/0000-0002-2241-0997>

RESUMEN

La Antártida, Continente Blanco, es el refugio de especies típicas donde las temperaturas oscilan entre -85 a 2 oC, con radiación UV capaz de penetrar 30 m de profundidad y salinidad de 32-34%. Dentro de ellas, las macroalgas pardas (Pheophytas) y rojas (Rhodophytas) son importantes para evaluarlas como potenciales recursos en alimentación y salud de la humanidad. Las macroalgas colectadas en febrero de 2019 se clasificaron taxonómicamente en 6 especies: *Desmarestia confervoides*, *Desmarestia antarctica*, *Himantothallus grandifolius*, *Palmaria decipiens*, *Gigartina skottsbergii* y *Curdiea racovitzae*. Se determinó la materia orgánica que fue del 12-20%, se determinó el hierro (Absorción Atómica), polifenoles y flavonoides (métodos cuantitativos). Los resultados indican que el contenido de hierro fluctuó entre 6.72 a 154mg%, los polifenoles entre 22.4 a 78.4mg% y los flavonoides del 10.09 al 21.31mg%. Concluimos que esta investigación permitió conocer las características férricas y antioxidantes de 6 especies más comunes de la Antártida.

Palabras clave

Antártida, macroalgas, hierro, flavonoides, polifenoles.

ABSTRACT

Antarctica, the White Continent, is the refuge of typical species, where temperatures range from -85 to 2 oC, UV radiation can penetrate 30 m depth and salinity reaches 32-34%. Among these species, brown macroalgae (Pheophytas) and red macroalgae (Rhodophytas) are mainly evaluated as potential food and health resources for mankind. The macroalgae collected in February 2019 were taxonomically classified into 6 species: *Desmarestia confervoides*, (*hacer la consulta con el autor/IMARPE*) *Desmarestia antarctica*, *Himantothallus grandifolius*, *Palmaria decipiens*, *Gigartina skottsbergii* and *Curdiea racovitzae*. This research determined organic matter ranging from 12 to 20%, iron (atomic absorption), polyphenols and flavonoids (quantitative methods). The results revealed that the content of iron ranged from 6.72 to 154 mg%, polyphenols from 22.4 to 78.4 mg% and flavonoids from 10.09 to 21.31 mg%. We conclude that this research allowed us to know the iron and antioxidant characteristics of 6 most common Antarctic species.

Keywords

Antarctica, macroalgae, iron, flavonoids, polyphenols.



Cualquier uso que se haga de este artículo debe incluir: Autor / Título original de la publicación / ISSN.

1. Doctora en Ciencias Biológicas. mirthayarlequec@unife.pe.
2. Licenciada en Nutrición y Dietética. giannina.latorreg@unife.pe
3. Maestra en Nutrición y Dietética, MBA. yjimenez@unife.edu.pe
4. Doctora en Salud Pública. marinalvasantosb@unife.edu.pe

INTRODUCCIÓN

La descripción de la flora antártica comenzó hace 200 años con la expedición de Gaudichaud y Hooker entre 1817 - 1843 (Wiencke y Clayton, 2002, p. 159), y desde entonces hasta 1960 se habían reportado un total de 120 especies; los inventarios actualizados en esta última década indican que el número de especies registradas es de 150. Sin embargo, se considera que no hay muchos estudios dedicados al reconocimiento de las especies debido a las dificultades para obtener este material biológico.

A pesar de ello, los investigadores que han realizado diversos viajes a esta zona han reportado la presencia de numerosos invertebrados como crustáceos y moluscos, algas de diferentes tipos y mamíferos como las ballenas, focas y lobos marinos; algunas aves como las skúas, los pingüinos, los gaviotines antárticos y las golondrinas, entre otros (Bonicelli, López, Ochoa y Shreeve, 2008, p. 160).

Dentro de la búsqueda de alimentación futura para las crecientes poblaciones humanas y de nutrientes de gran eficacia, para combatir peligrosas enfermedades, las algas pheophytas y rhodophytas antárticas, representan un grandioso capital a explorarse.

Las algas marinas en general son un recurso natural que poseen un excelente valor económico, ya que pueden ser utilizadas en la alimentación por contener una gran variedad de aminoácidos, carbohidratos no digeribles y ácidos grasos esenciales, pero con bajo aporte calórico; son una excelente fuente de compuestos bioactivos como vitaminas, minerales, polifenoles, fibra y

varios polisacáridos funcionales (Quitral, Morales, Sepúlveda y Schwartz, 2012, p. 199; Heo et al., 2010, p. 2050; Das, Ren, Hashimoto y Kanazawa, 2010, p. 6090). Además, poseen polifenoles que se les relaciona con la capacidad antioxidante y su favorable efecto biológico en la expresión de genes, inhibiendo de esta manera el desarrollo de varias enfermedades relacionadas con el envejecimiento, como las enfermedades cardiovasculares y varios tipos de cánceres (Shimoda, Tanaka, Shan, y Maoka, 2010, p. 1137; Wang, Jónsdóttir y Ólafsdóttir, 2009, p. 243).

Investigaciones sobre algas pardas reportan niveles importantes de compuestos fenólicos, con actividad biológica y con mayor contenido de antioxidantes que las algas verdes y rojas (Montero, Sánchez-Camargo, Ibáñez y Gilbert-López, 2018; Balboa, Conde, Moure, Falqué y Domínguez, 2013). Shannon y Abu-Ghannam (2019) reportan que las algas rojas *Palmaria palmata* contienen hierro de 6.4mg/ 8g de alga. Pangestuti, Siahaan y Kim (2018) señalan que “los polifenoles y sus derivados en las macroalgas marinas tienen actividades fotoprotectoras, por inhibir el daño inducido por fotorradiación UV, capacidad antioxidante, inhibidores de las metaloproteinasas de la matriz mitocondrial, (antienvejecimiento) y actividad de inmunomoduladores” (p. 5).

El ejército peruano tiene una base en la Antártida: Estación Científica Antártida Machu Picchu (ECAMP), la cual es visitada cada verano austral para conocer los principales cambios ambientales que se originan y acoger a los investigadores que estudian los aspectos geológicos, geográficos y biológicos de esta interesante pero lejana zona del planeta. Es así, que en

el verano de 2019 (febrero) nuestro grupo participó en una misión de estudio en el BAP Carrasco en el cual viajamos alrededor de 35 investigadores de diferentes áreas, instituciones y nacionalidades.

Un tema que llamó nuestra atención fue la presencia de las macroalgas pardas y rojas las cuales pueden ser fuentes importantes de polifenoles, entre ellos los flavonoides cuyo uso en medicina e industria ha tenido grandes éxitos a partir de sus similares que habitan otras regiones del mundo. La identificación de dichas macroalgas y el análisis del hierro presentes en ellas, fue una de nuestras prioridades, y otra, la existencia de polifenoles que contienen importantes compuestos antioxidantes como los flavonoides.

De esta manera, podemos predecir que el hierro sería una fuente futura para la prevención y/o tratamiento de las anemias ferropénicas, mientras que, los flavonoides podrían cumplir un rol eficaz en la prevención de trastornos cardiovasculares y en el control de la producción de células tumorales por bloqueo a nivel molecular de genes específicos que originan dichas enfermedades.

Por tanto, el objetivo de este trabajo fue conocer el contenido de hierro de las muestras colectadas en este viaje, así como cuantificar los polifenoles totales y los flavonoides que poseen actividad antioxidante.

Método de investigación

Las macroalgas fueron recolectadas en los alrededores de la Estación Científica Antártida Machu Picchu (ECAMP), en la Bahía Almirantazgo en la Isla Rey Jorge, desde el 31 de enero hasta el 14 de febrero

de 2019 durante el verano austral, las coordenadas fueron 62°5'29" S, 58°28'16" W. Las muestras fueron obtenidas de las siguientes formas: por varazón natural, recolectadas a poca profundidad y las que quedaban atrapadas en las botellas Niskin que llegaban a profundidades entre los 10 – 40 m (figuras 1 y 2). Las aguas presentaban las siguientes características: niveles de Oxígeno 14.8-15.3 mg/L, Salinidad 34 %, pH 8.14 -8.27 y Temperatura de 1 °C.

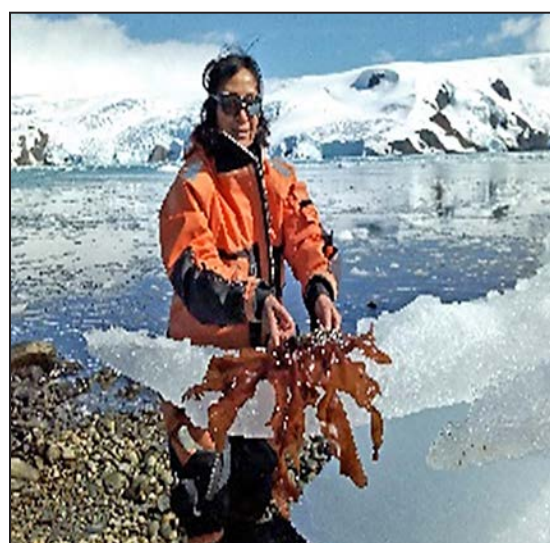


Figura 1. Recolección de macroalgas a poca profundidad



Figura 2. Recolección de macroalgas por varazón natural

Procesamiento de las macroalgas en los Laboratorios del ECAMP

Lavado y estabilizado de las macroalgas

Las macroalgas fueron lavadas con mucha agua de caño y con agua destilada para escurrir el exceso de agua y colocarlas en un deshidratador a temperatura entre 38 °C – 40 °C. El volumen de cada muestra fresca de macroalgas fue de aproximadamente de 1.5 kg.

Algunos ejemplares de las macroalgas fueron lavadas con agua de caño y con agua

destilada para luego realizar el prensado y su identificación en el Laboratorio.

Determinación de porcentaje de humedad

Se pesó 100 g de muestra de cada especie recolectada y se la colocó a 40 °C para su deshidratación por un periodo de 4 horas, luego se pesó nuevamente las macroalgas deshidratadas para hallar por diferencia el % de materia seca y la relación peso fresco/ peso seco (Pf/Ps) (figuras 3, 4 y 5).



Figura 3. Pesado de macroalgas frescas



Figura 4. Secado de macroalgas



Figura 5. Pesado de macroalgas secas

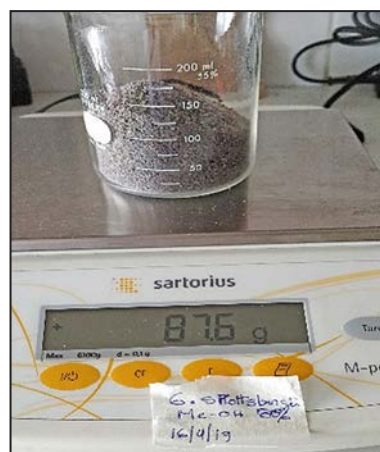


Figura 6. Pesado de macroalgas pulverizadas

Transporte de las muestras a Lima

Las muestras deshidratadas fueron colocadas en bolsas plásticas que contenían Silicagel (con indicador de humedad) para evitar se humedezcan durante el viaje en las bodegas del BAP Carrasco.

Procesamiento y análisis de las macroalgas

A. Elaboración de los extractos alcohólicos de las macroalgas

Las macroalgas secas fueron pulverizadas y colocadas en un frasco de boca ancha al que se le agregó alcohol de 96° por un periodo de 7 días (figura 6 y 7), luego se filtró utilizando una bomba de succión y la muestra fue recibida en un matraz Kitasato.

Posteriormente se realizó la evaporación del solvente utilizando una estufa a 40 °C, hasta su secado total.



Figura 7. Elaboración de los extractos alcohólicos de las Macroalgas

Evaluación Cualitativa de los Polifenoles.

- Se realizaron pruebas cualitativas para determinar la presencia de los fenoles totales y flavonoides (Lock, 2016).
- Grupos Fenólicos. - Es una prueba

colorimétrica tradicional para fenoles, que usa una disolución al 1% de cloruro de hierro (III) en etanol.

- A 0.2 mL de extracto etanólico 1mg/mL y se agregó 1 gota de solución de cloruro férrico al 0.1%, se observó la coloración. Coloraciones oscuras indican reacción positiva.
- Flavonoides (Shinoda)
En la reacción de Shinoda, el magnesio metálico es oxidado por el HCl concentrado, dando como productos al H₂, Si en estas condiciones se observa la aparición de coloración rojiza, violeta o naranja se considera positivo. Se preparó el extracto alcohólico a una concentración de 1mg/mL, de cada una de las muestras y se agregó pequeños trozos de magnesio metálico y unas gotas de ácido clorhídrico concentrado.

B. Determinación de polifenoles totales

La concentración de fenoles totales de los extractos fue medida utilizando la espectrofotometría, basándose en una reacción colorimétrica de óxido-reducción.

El agente oxidante utilizado fue el reactivo de Folin-Ciocalteu (Singleton, Orthofer, y Lamuela-Raventós, 1999). Se colocó 0,2 mL de solución del extracto en un tubo de ensayo y se agregó 0,2 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu, después de 4 min de reposo se agregó 1mL carbonato de sodio 15 %, se mezcló y después de 2 horas de reposo a temperatura ambiente, fue leído 760 nm, usando un espectrofotómetro Thermo Scientific Genesys 10S UV- Vis. Se expresaron los resultados en mg de equivalentes de ácido gálico / gr muestra.

C. Determinación de Flavonoides

Los flavonoides son un tipo de polifenoles que fueron determinados usando el método colorimétrico. Se colocó 250 μL del extracto hidroalcohólico, luego se agregó 75 μL de NaNO_2 y se dejó reaccionar 5 minutos. Posteriormente, 75 μL de AlCl_3 al 10 % fue adicionado y 500 μL de NaOH 1 M. Los flavonoides totales fueron expresados en mg CAT/100 g de muestra. La absorbancia fue medida a 415 nm usando un espectrofotómetro Thermo Scientific Genesys 10S UV-Vis. (Zhishen, Mengcheng, Jianming, 1999).

D. Determinación del Contenido de Hierro

La determinación de hierro se realizó por el método de Absorción atómica en el laboratorio CENPROFARMA, Centro de Control Analítico de Facultad de Farmacia y Bioquímica-UNMSM.

E. Análisis Estadístico

Los valores obtenidos en cada una de las pruebas fueron analizados en tres experimentos independientes y se utilizó la estadística descriptiva presentando los resultados como promedios y desviación estándar.

Laboratorio de la UNIFÉ, obteniéndose las 6 especies: *Desmarestia confervoides*, *Desmarestia antarctica*, *Himantothallus grandifolius*, *Palmaria decipiens*, *Gigartina skottsbergii*, y *Curdiea racovitzae*, las 3 primeras pardas y las 3 siguientes rojas (figuras 8, 9, 10, 11, 12 y 13).

Macroalgas pardas

Desmarestia antarctica, es un alga endémica, con frondas largas, planas y ramificadas que pueden llegar a medir hasta 1.5 m. Se les encuentra en forma aislada (figura 8).

Desmarestia confervoides, alga anual, de tamaño 0.9 a 1 m, presenta talo pardo oscuro con numerosas frondas ramificadas que terminan en acícula y es endémica (figura 9).

Himantothallus grandifolius, es la gigante de las macroalgas ya que puede llegar a medir 10 m, sus frondas son amplias y muy largas, muy adaptada a vivir con poca luz a profundidades de 20 a 40 m. Es especie endémica (figura 10).



Figura 8. *Desmarestia antarctica*

RESULTADOS

Clasificación taxonomía de las algas

Se realizó la identificación de las muestras mediante caracterización y descripción de caracteres morfológicos macroscópicos, por comparación con imágenes de algas antárticas (Quartino, 2003, pp. 60-96; Ocampo, 2015, pp. 120-234), en el

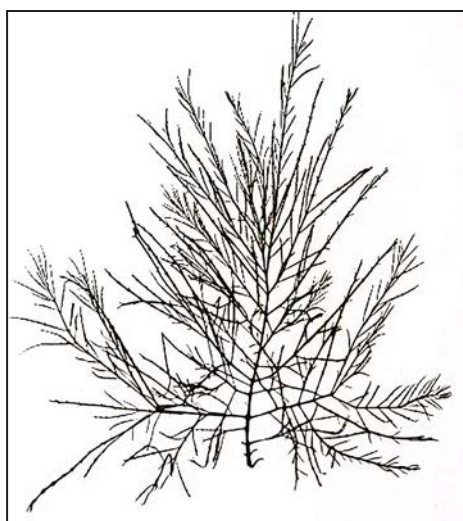


Figura 9. Desmarestia confervoides



Figura 10. Himantothallus grandifolius

Macroalgas rojas

Gigartina skottsbergii, es un alga muy grande cuyo diámetro puede llegar a medir 1.5 m. Su color va desde el rojo intenso hasta el pardo oscuro. Es característica la

presencia de papilas en la parte basal de las frondas, y por ello se le llama “cuero de chancho”. Vive a grandes profundidades hasta 30 m (figura 11).

Palmaria decipiens, puede llegar a medir más de 1 m, va de color rojo pálido hasta rosa, sus frondas son muy delicadas, largas y onduladas que pueden dividirse o no. Pueden habitar en grandes poblaciones en la zona intermareal durante el verano antártico, pero también se le puede encontrar a 30 m de profundidad (figura 12).

Curdiea racovitzae sus frondas pueden alcanzar 0.9 m de diámetro, pueden ser de color rojo oscuro y presentan laceraciones en forma de perforaciones. Puede vivir en el submareal a profundidades de 30 a 40 m, está adaptada a la escasa radiación solar (figura 13).

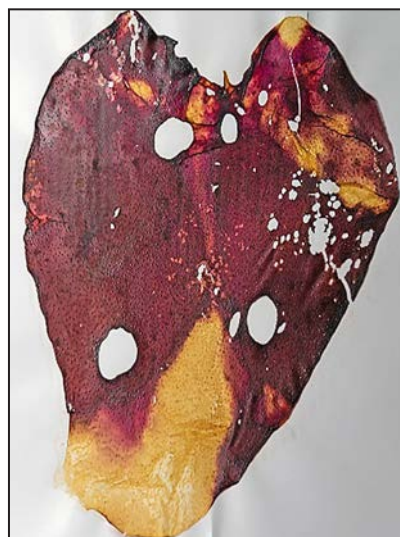


Figura 11. Gigartina skottsbergii

Figura 12. *Palmaria decipiens*Figura 13. *Curdiea racovitzae*

La humedad en las macroalgas antárticas

Se determinó la humedad con la idea de obtener datos de materia seca, encontrando que esta fluctuó entre el 12 al 20% y, además, se halló el valor de Pf/Ps que está entre 5-8.30 siendo el valor más bajo para *H. grandifolius* y el más alto para *D. antarctica* (tabla 1).

Tabla 1

Contenido de Materia seca en las macroalgas Antárticas

Macroalgas	% de materia seca	Pf/Ps
<i>D. antarctica</i> *	12	8.30
<i>D. conferviodes</i> *	13	7.69
<i>H. grandifolius</i> *	20	5.00
<i>G. skottsbergii</i> **	18	5.55
<i>P. decipiens</i> **	15	6.66
<i>C. racovitzae</i> **	14	7.14

*Algas pardas ** Algas rojas. n=3 Pf: peso fresco Ps: peso seco

Reacciones fitoquímicas cualitativas para polifenoles

En cuanto a la evaluación fitoquímica para compuestos fenólicos se realizaron reacciones cualitativas de color para los polifenoles encontrándose que todas las especies mostraban reacción positiva para fenoles con el reactivo de cloruro férrico, así como, para flavonoides con la reacción de Shinoda, que son un grupo importantes entre los polifenoles (tabla 2).

Tabla 2

Reacciones Cualitativas para polifenoles en macroalgas Antárticas

Macroalgas	Reacción de compuestos fenólicos: cloruro férrico	Reacción de flavonoides: Shinoda
<i>D. antarctica</i> *	+	+
<i>D. conferviodes</i> *	+	+
<i>H. grandifolius</i> *	+	+
<i>G. skottsbergii</i> **	+	+
<i>P. decipiens</i> **	+	+
<i>C. racovitzae</i> **	+	+

n=3. Reacción positiva (+): presencia. *Algas pardas.v** Algas rojas. Reacción negativa (-): ausencia.

Hierro, polifenoles y flavonoides en macroalgas antárticas

El mayor contenido de hierro lo presentó la macroalga parda *H. grandifolius* con 154 mg%, en cuatro muestras se obtuvo valores comprendidos entre 14.41- 23.43 mg% *C. recovitzae*, *P. decipiens*, *D. conferviodes*; los valores más bajos los presentaron las muestras de *D. antarctica* y *G. skottsbergii* con 6.72 y 9.7 mg%, respectivamente (tabla 3).

En cuanto a los polifenoles, en todas las muestras se encontró este metabolito, son las que presentaron mayor cantidad *D. conferviodes*, *C. recovitzae*, *P. decipiens* con valores comprendidos entre 75.6 a 78.4

mg/g; las que presentaron los valores entre 54.2 a 65.7 mg/g fueron *H. grandifolius* y *D. antarctica*, respectivamente, y la de *G. skottsbergii* presentó el menor valor con 22.4 mg/g (tabla 3).

Con respecto a los Flavonoides, se encontró que *P. decipiens* tiene los valores más altos con 21.31 mg/g (alga roja) seguida de *H. grandifolius* con 19.06 mg/g (macroalga parda); los valores comprendidos entre 15.92 a 16.37 mg/g se hallaron en *G. skottsbergii* y *D. antarctica*; las concentraciones más bajas las presentaron *C. recovitzae* y *D. conferviodes* con valores de 10.09 y 13.91 mg/g, respectivamente (tabla 3).

Tabla 3

Contenido de hierro, polifenoles y flavonoides en macroalgas antárticas

Macroalgas	Hierro en mg%	Polifenoles mg/g ± DS	Flavonoides mg/g ± DS
<i>D. antarctica</i> *	6.72	65.7 ± 0.02	16.37± 0.04
<i>D. conferviodes</i> *	23.46	75.6± 0.03	13.91± 0.01
<i>H. grandifolius</i> *	154.46	54.2± 0.02	19.06± 0.03
<i>G. skottsbergii</i> **	9.7	22.4± 0.02	15.92± 0.02
<i>P. decipiens</i> **	21.48	78.4± 0.01	21.31± 0.01
<i>C. recovitzae</i> **	14.41	75.9± 0.01	10.09± 0.02

*Algas pardas. ** Algas rojas. D.S: Desviación estándar. n=3

DISCUSIÓN

Las macroalgas son un recurso potencial renovable en el medio marino antártico, estas se clasificaron en seis especies diferentes: 3 Pheophytas: *D. antarctica*, *D. conferviodes*, *H. grandifolius*, y 3 Rhodophytas: *G. skottsbergii*, *P. decipiens* y *C. recovitzae*. Todas las pardas recolectadas

fueron reportadas previamente como endémicas de la Antártida (Quartino, 2003; Ocampo, 2015).

Se determinó la humedad de las macroalgas con la idea de hallar la relación peso fresco/ peso seco (Pf/Ps) y el porcentaje de materia orgánica. Las muestras evaluadas fueron pheophytas y rhodophytas en las

que encontramos como valores la relación Pf/Ps entre 5.00 a 8.30, mientras que para macroalgas análogas de las Islas Canarias (Clima Subtropical) los valores fueron de 5.81 a 6.16 (Caballero y Granada, 2004); como se puede observar, los valores hallados en nuestra investigación fueron mayores por dos unidades, lo que indica que hay mayor porcentaje de agua en las muestras evaluadas por nosotras. Por otra parte, el porcentaje mayor de materia orgánica lo mostró *H. grandifolius* con 20% mientras que el menor valor fue de *D. antarctica* con 12%; por otro lado, en las muestras de las Islas Canarias los valores estaban comprendidos entre el 21% hasta el 83%, valores muy superiores a los encontrados en las muestras antárticas. Estas diferencias halladas serían indicadores de adaptación a las temperaturas muy bajas, al clima muy seco y a la alta radiación UV que reciben las macroalgas en la Antártida.

En cuanto al contenido de hierro, podemos considerar lo siguiente: el hierro es un átomo muy importante en nuestro organismo porque está en relación directa con el transporte de oxígeno a los tejidos, ya que forma parte de la estructura de la hemoglobina, mioglobina y transferrina; pero, además, participa en reacciones celulares de óxido reducción por formar parte de los citocromos presentes en muchas enzimas, pudiendo actuar como cofactores o grupos prostéticos de enzimas relacionadas con la inactivación de los radicales libres en la célula, tales como, las catalasas, peroxidasas y oxidasas. En nuestro organismo, las moléculas de reserva son principalmente la ferritina y la hemosiderina. Es habitual consumir el hierro bajo dos formas químicas: el hierro hemínico de origen animal y hierro no hemínico de origen vegetal, este último se encuentra en las algas.

Uno de los problemas que enfrenta el Perú en los últimos años es la anemia ferropénica en niños menores de 2 años, por lo cual se generaron una serie de programas para erradicar esta deficiencia, en ese marco, nos propusimos hacer la medición de hierro en las macroalgas antárticas con la idea de que puedan ser utilizadas en algún momento para este fin.

Los resultados del contenido de hierro de las macroalgas estudiadas fluctuaron entre 6.72 a 154 mg%, siendo el contenido más pobre para *D. antarctica*, en tanto que el contenido más elevado correspondió *H. grandifolius*. La *P. decipiens* antártica presentó 21.48 mg%, mientras que *P. palmata*, que es una variedad del género, contenía 80 mg%, es decir, 4 veces más alto (Shannon et al., 2019). Por su parte, Astorga-España, Rodríguez, Rodríguez y Díaz (2015) estudian algunas variedades de macroalgas de la zona subantártica de Magallanes, Chile y señalan que las macroalgas verdes presentan mayor contenido de hierro que las pardas y rojas, cuyo valor es 126 mg%. Como puede observarse, el valor obtenido en algas verdes es menor al de la especie parda de la antártica *H. grandifolius* (154%). Rojas, Valdivieso y Arnao (2018) encontraron en *Rodhymenia howeana* (alga roja de Ancón, Perú) 50.2 mg%. Es, por tanto, interesante notar que los valores indicados están en los rangos encontrados por nosotras, sin embargo, hay que destacar que la *H. grandifolius* de la Antártida presentó 154mg%, un valor mucho más alto que el de las macroalgas reportadas de otros lugares del mundo. En este mismo camino, reportes sobre el contenido de hierro en macroalgas de la región en estudio han sido solo de tipo cualitativos (tabla 3).

En relación con el contenido de polifenoles, podemos señalar, en principio, que estos son sustancias bioactivas también llamadas fitoquímicos, caracterizadas por la presencia de más de un grupo fenólico. Los compuestos fenólicos son un grupo de metabólicos secundarios derivados del benceno que poseen uno o más grupos hidroxilo unidos directamente a un anillo aromático. Estos fitoquímicos tienen una amplia variedad de estructuras, desde simples hasta polímeros con alto peso molecular. Los compuestos fenólicos de las macroalgas antárticas varían desde moléculas simples como los ácidos fenólicos hasta compuestos altamente complejos llamados florotaninos (PHT) (Gómez y Huovinen, 2020). Estos compuestos presentes principalmente en las algas pardas, existen en formas solubles (en el citoplasma o en los organelos celulares) o en formas unidas a la pared celular como los taninos que participan principalmente previniendo la depredación de las algas por herbívoros y la protección a la radiación; los reportes indican que la actividad de fotoprotección está correlacionada fuertemente con el grupo hidroxilo (-OH) unido al anillo aromático que actúa como un donante de electrones para el radical libre u otra especie reactiva de oxígeno (ROS), inhibiendo así el daño ocasionado por estas moléculas y permitiendo que los procesos celulares no se alteren (Pangestuti et al., 2018; Vo et al., 2018).

Los estudios de las concentraciones de los compuestos fenólicos en las macroalgas muestran variaciones estacionales, geográficas y diarias, y son afectadas por los niveles de radiación UV, la concentración de nutrientes y la salinidad (Abdala-Díaz, Cabello-Pasini, Márquez-Garrido, y López, 2014). Nosotras encontramos valores de

fenoles totales de 22.4 a 78.4 mg/g para las muestras evaluadas, siendo el valor más alto para *P. decipiens*, muy cerca le siguen *C. recovitzae* y *D. conferviodes* con valores de 75.9 a 75.6 mg/g, respectivamente, y con valores de 65.7 mg/g para *D. antarctica*, 54.2 mg/g *H. grandifolius* y el valor más bajo lo encontramos en *G. skottsbergii* con 22.4 mg/g (tabla 3). Wang et al. (2009) reportan que la concentración de fenoles en macroalgas de la Antártida está entre 10 a 240 mg/g cuando se extraen los fenoles con acetona al 70% (p. 245); en nuestro caso, los extractos fueron preparados con etanol al 96% por lo que al parecer muestras extracciones no fueron tan eficientes. Sin embargo, al comparar los valores más bajos hallados en ambos casos nosotros encontramos en *G. skottsbergii* 22.4 mg/g de fenoles que es más del doble del valor encontrado por dichos autores 10 mg/g. Los mismos autores señalan que dentro de los fenoles estarían los flavonoides con alto poder antioxidante responsables de evitar la lipoperoxidación de las membranas celulares al neutralizar los efectos de los ROS, es por ello que a estos se les ha reportado con muchas aplicaciones incluyendo la conservación de alimentos. Montero et al. (2018) reportan que los compuestos fenólicos presentan capacidad de atrapar radicales libres, así como un efecto inhibitorio de la apoptosis inducida por peróxido de hidrógeno. Adicionalmente, estos compuestos incrementan la actividad de las enzimas antioxidantes superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT) y glutatión peroxidasa (GPx), presentando actividad protectora sobre el sistema nervioso. Waterman et al., 2017, señalan que *Ceratodon purpureus*, un musgo cosmopolita que se distribuye desde la Antártida hasta Australia (del clima muy frío al cálido), contiene metabolitos

secundarios capaces de absorber gran cantidad de iluminación, entre ellos un flavonoide con gran capacidad de neutralizar radicales libres formados por la absorción de luz UV. Encontramos estas moléculas en las macroalgas antárticas, su presencia podría indicar similares efectos a los mencionados para *C. purpureus*. Por su parte, los flavonoides en las plantas se han ubicado como uno de los principales metabolitos secundarios con gran importancia terapéutica, nutricional y, por tanto, para la salud.

Por todo lo descrito, la investigación sobre polifenoles y flavonoides de las macroalgas pardas y rojas antárticas abre un camino promisorio no solo para la conservación de las especies típicas del Continente Blanco sino por su utilidad en la alimentación y salud humana.

CONCLUSIONES

Esta investigación permitió identificar a las seis especies de macroalgas más abundantes y representativas de la Antártida, las que fueron agrupadas en Pheophytas (macroalgas pardas): *Desmarestia antarctica*, *D. conferviodes*, *Himantothallus grandifolius* y las Rhodophytas (macroalgas rojas): *Gigartina skottsbergii*, *Palmaria decipiens* y *Curdiea recovitzae*. En todas las macroalgas se encontró la presencia de hierro, pero la muestra que presentó mayor cantidad fue *H. grandifolius*. En todas las muestras se encontró polifenoles y flavonoides, pero la mayor concentración en estos dos fitoquímicos lo presentó *P. decipiens*.

Agradecimientos

Al Ministerio de Relaciones Exteriores-Asuntos Antárticos y al Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Femenina del Sagrado Corazón, UNIFÉ, por haber subvencionado el proyecto y brindado todas las facilidades para la participación y recolección de las macroalgas durante la expedición a la Antártida – ANTAR XXVI.

REFERENCIAS

- Abdala-Díaz, R., Cabello-Pasini, A., Márquez-Garrido, E., y López, F. (2014). Variación intratelo de compuestos fenólicos, actividad antioxidante y actividad de la fenolsulfatasa en *Cystoseira tamariscifolia* (Phaeophyceae) del sur de España. *C. Mar.*, 40(1), 01-09. Recuperado de <https://dx.doi.org/10.7773/cm.v40i1.2350>.
- Astorga-España, M. S., Rodríguez, B., Rodríguez, E. M., y Díaz, C. (2015). Mineral and trace element concentrations in seaweeds from the sub-Antarctic ecoregion of Magallanes (Chile). *J. Food Com. Ana*, 39, 69-76. Recuperado de <https://dx.doi:10.1016/j.jfca.2014.11.010>.
- Balboa, E., Conde, E., Moure, A., Falqué, E. y Domínguez, H. (2013). In vitro antioxidant properties of crude extracts and compounds from brown algae. *Food Chem.*, 138, 1764–1785.
- Bonicelli, P., López D., Ochoa N. y Shreeve, R. (2008) Estructura comunitaria del zooplancton asociada con el fitoplancton y las masas de agua del estrecho de bransfield y la isla elefante durante el verano austral del 2006. *Ecol. Apl.*, 7(1-2), 159-164. Recuperado de <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v7n1-2/a19v7n1-2.pdf>.
- Caballero P. y Granado I. (2004). *Composición química de macroalgas marinas*. Las Palmas de Gran Canaria- España: Departamento de Biología. Facultad de Ciencias del Mar. ULPGC.
- Das, S., Ren, R., Hashimoto, T. y Kanazawa, K. (2010). Fucoxanthin induces apoptosis in osteoclast-like cells differentiated from RAW264. 7 cells. *J Agric Food Chem*, 58, 6090–5. Recuperado de [https://dx.doi:10.1016/s0076-6879\(99\)99017-1](https://dx.doi:10.1016/s0076-6879(99)99017-1).
- Gómez, I. y Huovinen, P. (2020). *Antarctic Seaweeds*. Switzerland: Springer Nature AG. Recuperado de <https://dx.doi:10.1007/978-3-030-39448-6>.
- Heo, S., Yoon, W. J., Kim K., Ahn, G., Kang, S., Kang, D. ... Jeon, Y.J. (2010). Evaluation of anti-inflammatory effect of fucoxanthin isolated from brown algae in lipopolysaccharide-stimulated RAW 264.7 macrophages. *Food Chem Toxicol*, 48, 2045–51. Recuperado de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20457205/>
- Lock O. (2016). *Investigación fitoquímica: métodos en el estudio de productos naturales*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Montero, L., Sánchez-Camargo, A.D., Ibáñez, E. y Gilbert-López, B. (2018). Phenolic Compounds from Edible Algae: Bioactivity and Health Benefits. *Curr. Med. Chem.*, 25, 4808–4826. Recuperado de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28545377/>
- Ocampo, I. (2015). *Flora marina antártica, Patrimonio de la biodiversidad*. Chile: Valdivia, Kultrún,
- Pangestuti, R., Siahaan, E. y Kim, K. (2018). Photoprotective Substances Derived from Marine Algae. *Marine Drugs*, 16(11), 399. Recuperado de <https://dx.doi:10.3390/md16110399>.

- Quartino, María Liliana. (2003). *Aspectos ecológicos de macroalgas marinas de Caleta Potter, Shetland del Sur, Antártida*. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires. Recuperado de http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_3607_Quartino.pdf
- Quitral, R., Morales, G., Sepúlveda L. y Schwartz, M. (2012). Propiedades nutritivas y saludables de algas marinas y su potencialidad como ingrediente funcional. *Rev Chil Nutr.*, 39(4), 196-202.
- Rojas, N., Valdivieso, R. y Arnao, I. (2018). Composición nutricional del alga roja *Rodhymenia howeana* de la bahía de Ancón, Perú. *Rev Soc Quím Perú*, 84(4), 488-498.
- Shannon, E. y Abu-Ghannam, N. (2019) Seaweeds as nutraceuticals for health and nutrition, *Phycologia*, 58(5), 563-577. Recuperado de <https://doi.org/10.1080/00318884.2019.1640533>.
- Shimoda, H., Tanaka, J., Shan, S. y Maoka, T. (2010). Anti-pigmentary activity of fucoxanthin and its influence on skin mRNA expression of melanogenic molecules. *J Pharm. Pharmacol.*, 62, 1137–45. Recuperado de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20796192/>
- Singleton, V. L., Orthofer, R. y Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152–178.
- Vo, T., Kim, K., Ryu, B., Ngo, D.H., Yoon, Y., Bach, G., Hang N. y Ngo, D.N. (2018). The suppressive activity of Fucofuroeckol-A derived from Brown Algal *Ecklonia stolonifera* Okamura on UVB-Induced Mast Cell Degranulation. *Mar. Drugs*, 16, 399. Recuperado de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29300311/>
- Wang, T., Jónsdóttir, R. y Ólafsdóttir, G. (2009). Total phenolic compounds, radical scavenging and metal chelation of extracts from Icelandic seaweeds. *Food Chem.*, 116, 240–8.
- Waterman, M., Nugraha, A., Hendra, R., Ball, G., Robinson S. y Keller PA. (2017). Antarctic moss biflavonoids show high Antioxidant and Ultraviolet-Screening Activity. *J Nat Prod.*, 80(8), 2224-2231. Recuperado de <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.7b00085>.
- Wiencke, C. y Clayton, M. N. (2002). Antarctic Seaweeds. En J. W. Wägele (ed.) *Synopses of the Antarctic Benthos*, 9, 159. Recuperado de <https://epic.awi.de/id/eprint/43647/1/Wiencke.pdf>.
- Zhishen, J., Mengcheng, T., Jianming, W. (1999). The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chem.*, 64, 555 – 559.

Fecha de recepción: 10 de mayo de 2020

Fecha de aceptación: 14 de junio de 2020