

# Variación en la concentración de aminoácidos tipo micosporinas en macroalgas de las regiones de Valparaíso y Magallanes, Chile

Variation in Mycosporine-like amino acids concentrations in seaweeds from Valparaíso and Magellan Regions, Chile

Catalina Velasco-Charpentier<sup>1\*</sup>, Felipe Pizarro-Mora<sup>1</sup> y Nelso P. Navarro<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias del Mar y de Recursos Naturales, Universidad de Valparaíso, Casilla 5080, Viña del Mar, Chile.  
\*cata.velasco91@gmail.com

<sup>2</sup>Departamento de Ciencias y Recursos Naturales, Universidad de Magallanes, Avenida Bulnes 01855, Punta Arenas, Chile

**Abstract.** The synthesis and accumulation of photoprotective compounds, as mycosporine-like amino acids (MAAs), is a mechanism of protection against UV radiation. The photoprotective compounds synthesis can be induced under different stress factors, including intensity and spectral quality: PAR or UVR. The aim of this study was to assess the MAA concentration of 5 intertidal red seaweeds that inhabit the coast of Valparaíso. The results were compared with the MAAs concentration of the same species collected from Magellan Region in order to assess the latitudinal variation of these UV-absorbing compounds. The results indicate that MAA concentration changes with a latitudinal variation, being the species from Valparaíso (lower latitude and consequently, higher solar radiation) exhibited the higher photoprotective compound concentration.

**Key words:** Rhodophyta, photoprotection, UV radiation

## INTRODUCCIÓN

La radiación solar es vital para las algas, sin embargo, puede causar efectos deletéreos que dependen de su intensidad y calidad espectral. La radiación ultravioleta (UV) puede causar efectos perceptibles desde el nivel celular hasta el ecosistémico, afectando incluso ciclos biogeoquímicos importantes (Zep *et al.* 1998). A nivel celular, puede causar lesiones en el ADN (van de Poll *et al.* 2001, Roleda *et al.* 2004) y en proteínas asociadas al proceso de fotosíntesis (Bischof *et al.* 2000, 2002). La radiación UV también ha sido apuntada como responsable de la degradación de pigmentos fotosintetizantes (Figuerola *et al.* 1997, Aguirre-Von-Wobeser *et al.* 2000, Navarro *et al.* 2010a, b), así como del incremento de especies reactivas de oxígeno (ROS) (Malanga & Puntarulo 1995, Lee & Shiu 2009). Es por esto que en las macroalgas se han promovido diversos mecanismos de protección, como por ejemplo, foto-reparación del ADN (Mitchell & Karentz 1993, Pakker *et al.* 2000), acumulación de antioxidantes (Cockell & Knowland 1999, Aguilera *et al.* 2002, Dummermuth *et al.* 2003, Connan *et al.* 2006), síntesis y acumulación de compuestos que absorben UV, como aminoácidos tipo micosporinas (MAAs: del inglés Mycosporine like-amino acids) (Korbee-Peinado *et al.* 2004, Huovinen *et al.* 2004, Korbee *et al.* 2005, Navarro *et al.* 2014 a, b).

Los MAAs se distribuyen en una amplia variedad de grupos taxonómicos, y en el caso de las macroalgas se presentan

principalmente en las rodófitas (Korbee *et al.* 2006). Estos compuestos han sido llamados metabolitos secundarios multipropósito debido a que pueden cumplir diversos roles en la célula (Oren & Gunde-Cimerman 2007): i) fotoprotección contra la radiación UV (Dunlap & Chalker 1986, Karentz *et al.* 1991, Dunlap & Shick 1998, Korbee-Peinado *et al.* 2004); ii) antioxidantes (Dunlap & Yamamoto 1995, Franklin *et al.* 2003); iii) compuestos osmorreguladores (Oren & Gunde-Cimerman 2007, Rosic & Dove 2011), entre otras funciones en condiciones de estrés.

A medida que se acumula información referente a estos compuestos, se sugiere que no existen patrones claros sobre la inducción de MAAs, indicando además que su inducción, formación y acumulación es un mecanismo muy flexible y especie-específico (Höyer *et al.* 2001, Navarro *et al.* 2014a). Sin embargo, de modo general, se puede mencionar que aquellas algas sujetas a constantes variaciones en los niveles de radiación UV, como las que habitan la región intermareal, tendrían mayores concentraciones de MAAs que aquellas algas del submareal, las cuales no sufren variaciones bruscas en su exposición a la radiación. En adición, se ha mencionado que especies de bajas latitudes, expuestas a altas dosis de radiación, presentan una mayor concentración de MAAs que aquellas algas de altas latitudes (Höyer *et al.* 2001, Korbee *et al.* 2006). En concordancia con lo anterior, la hipótesis de este trabajo es

que las algas rojas de la región de Valparaíso, que están expuestas a mayores intensidades de radiación solar (PAR y UV), poseen mayor concentración de MAAs que las algas de la Región de Magallanes. Por lo tanto, el objetivo del trabajo fue comparar la concentración de MAAs en 5 especies de macroalgas rojas del intermareal (*Pyropia columbina*, *Mazzaella laminarioides*, *Nothogenia* sp., *Corallina officinalis* y *Polysiphonia* sp.), presentes en las regiones de Valparaíso y de Magallanes de Chile.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Las 5 especies de macroalgas fueron recolectadas en la bahía de Montemar (32°57'23''S, 71°32'59''W), región de Valparaíso, y en Bahía Mansa (53°36'38''S, 70°55'52''W), región de Magallanes, durante un período de baja marea en noviembre 2014. Debido a que la concentración de compuestos fotoprotectores puede variar durante el día (Navarro *et al.* 2014a), las diferentes especies fueron recolectadas a la misma hora (11:00 AM). De los ejemplares colectados, se usaron las secciones apicales a modo de evitar la variación intratalo verificada en otras especies (Karsten *et al.* 1999, Höyer *et al.* 2001). Por otra parte, con el fin de evitar variación por otros factores asociados a condiciones climáticas, los muestreos se realizaron en días con condiciones semejantes (nublado). De esta manera, el muestreo en Bahía Mansa fue realizado el 1 de noviembre, mientras que en Montemar se realizó el 4 de noviembre. Valores de dosis diarias de radiación solar (PAR y UV) para los días 1 y 4 de noviembre de 2014 se presentan en la Tabla 1. Esos valores corresponden a dosis diarias obtenidas a partir del modelo TUV (Tropospheric Ultraviolet Visible Model) desarrollado por Madronich *et al.* (1995). Para dichos

cálculos se utilizaron valores de niveles de Ozono para cada sitio de muestreo (obtenido en <<http://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/tools/ozonemap/>>). Estos datos muestran que los valores de radiación difieren entre diferentes latitudes (Díaz *et al.* 2006), siendo mayores en bajas latitudes (Montemar) cuando son comparadas con altas latitudes (Bahía Mansa).

Los compuestos fotoprotectores fueron extraídos a partir de 0,15 g de masa fresca en 15 mL de metanol absoluto (P.A.) durante 24 h, en oscuridad. El extracto metanólico fue analizado en un espectrofotómetro (Spectroquant Pharo 300), realizando un barrido entre 250 y 750 nm. La concentración de fotoprotectores fue estimada en base a la absorción observada en la región UV. A pesar que el método más adecuado para la identificación y caracterización de MAAs requieren cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC), el análisis del extracto metanólico mediante espectrofotometría puede ser un buen estimador de la concentración de MAAs utilizando la altura de los picos, así como el área bajo la curva en la región UV de acuerdo a Dunlap *et al.* (1995), Helbling *et al.* (2004) y Jiang *et al.* (2008). El área bajo la curva en la región UV fue calculada utilizando el programa OriginPro 5 (OriginLab Corporation, Northampton). Los datos de área bajo la curva fueron estandarizados por biomasa húmeda, obteniéndose la concentración en mg de MAAs por gramo de biomasa húmeda (mg g<sup>-1</sup> BH).

La concentración de MAAs de una misma especie en ambas localidades fue comparada utilizando una prueba de t-student, previa verificación de la normalidad de los datos (Kolmogorov-Smirnov,  $P > 0,05$ ). Los análisis estadísticos fueron realizados utilizando el programa STATISTICA 7 (Copyright© Statsoft, Inc. USA).

**Tabla 1. Dosis diaria de UVB, UVA y PAR (W.m<sup>-2</sup>) registrados el 1 y 4 de noviembre de 2014 en Montemar, región de Valparaíso y en Bahía Mansa, Región de Magallanes. Los datos fueron obtenidos a partir del modelo TUV (Tropospheric Ultraviolet Visible Model) considerando 278 Unidades Dobson (UD) para Montemar y 360 UD para Bahía Mansa según información obtenida en <<http://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/tools/ozonemap/>> / Daily doses of UVB, UVA and PAR (W.m<sup>-2</sup>) on the 1<sup>st</sup> and 4<sup>th</sup> of November 2014 in Montemar, Valparaíso and Bahía Mansa, Magallanes Region. Data was obtained from TUV model (Tropospheric Ultraviolet Visible Model) considering 278 Dobson units (UD) for Montemar and 360 UD for Bahía Mansa according to information from <<http://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/tools/ozonemap/>>**

	01-nov-2014		04-nov-2014	
	Montemar	Bahía Mansa	Montemar	Bahía Mansa
Radiación				
UVB (280-315nm)	11,6	5,7	11,8	6,1
UVA (315-400nm)	427	349	433	359
PAR (400-700nm)	3332	2809	3376	2883
Radiación ponderada				
Daño en ADN	1,01	0,32	1,04	0,34
Eritema humano CIE	1,57	0,75	1,61	0,79

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los espectros de absorción obtenidos de los extractos metanólicos se muestran en la Figura 1. Se observa una alta absorción en la región UV, principalmente entre 310-350 nm. La forma, así como la altura del pico de absorción en esa región es diferente en cada una de las especies, así como la misma especie en cada sitio de muestreo. Esto puede significar diferencias no solo en la concentración, sino también diferencias en la composición de MAAs. En los organismos marinos se han descrito alrededor de 23 MAAs que difieren en los rangos de absorbancia máxima (Korbee *et al.* 2006). En algas rojas apenas 6 de ellos son los más frecuentes: porphyra-334 ( $\lambda_{\text{max}} = 334\text{nm}$ ), shinorina ( $\lambda_{\text{max}} = 334\text{nm}$ ), palitínol ( $\lambda_{\text{max}} = 332\text{nm}$ ), asterina-330 ( $\lambda_{\text{max}} = 330\text{nm}$ ), palitina ( $\lambda_{\text{max}} = 320\text{nm}$ ) y micosporina-glicina ( $\lambda_{\text{max}} = 310\text{nm}$ ). Se ha reportado que la especie *P. columbina* posee 5 tipos de MAAs, con un porcentaje superior al 90% de porphyra-334 (Navarro *et al.* 2014a). De esta manera, el máximo de absorción estaría en la longitud de onda 334 nm, lo cual concuerda con lo mostrado en la Figura 1. En el caso de *M. laminarioides*, se ha reportado la presencia de 4 MAAs, con mayor concentración de shinorina y un creciente porcentaje de micosporina-glicina dependiendo de la cantidad de radiación incidente (Navarro *et al.* 2014b).

Así, el máximo de absorción estaría en 334 nm e incluso podría moverse hacia longitudes de onda menores debido a la presencia de micosporina-glicina ( $\lambda_{\text{max}} = 310\text{ nm}$ ).

En ambas localidades, *Pyropia columbina* presentó la mayor concentración de MAAs (Fig. 2), lo que concuerda con estudios realizados en otras localidades de Chile (Huovinen *et al.* 2004; Korbee 2004, Navarro 2015). Diferencias en el contenido de MAAs entre las especies podría ser explicado tomando en consideración la clasificación propuesta por Höyer *et al.* (2001), quienes exponen que las algas podrían clasificarse como i) especies que no poseen MAAs, ii) especies con valores constantes de MAAs independiente de las condiciones ambientales, y iii) especies que poseen un nivel básico de MAAs, el cual puede ser ajustable en relación a los cambios en las condiciones ambientales. En este contexto, *Mazzaella laminarioides* y *Polysiphonia* sp. podrían considerarse como especies que poseen una concentración constante de MAAs e independiente de las condiciones ambientales (incluyendo los cambios en los niveles de radiación según la latitud). Por otro lado, *Pyropia columbina*, *Nothogenia* sp. y *Corallina officinalis* podrían ser consideradas como especies con concentraciones de MAAs ajustables dependiendo de las condiciones ambientales debido a que sus concentraciones

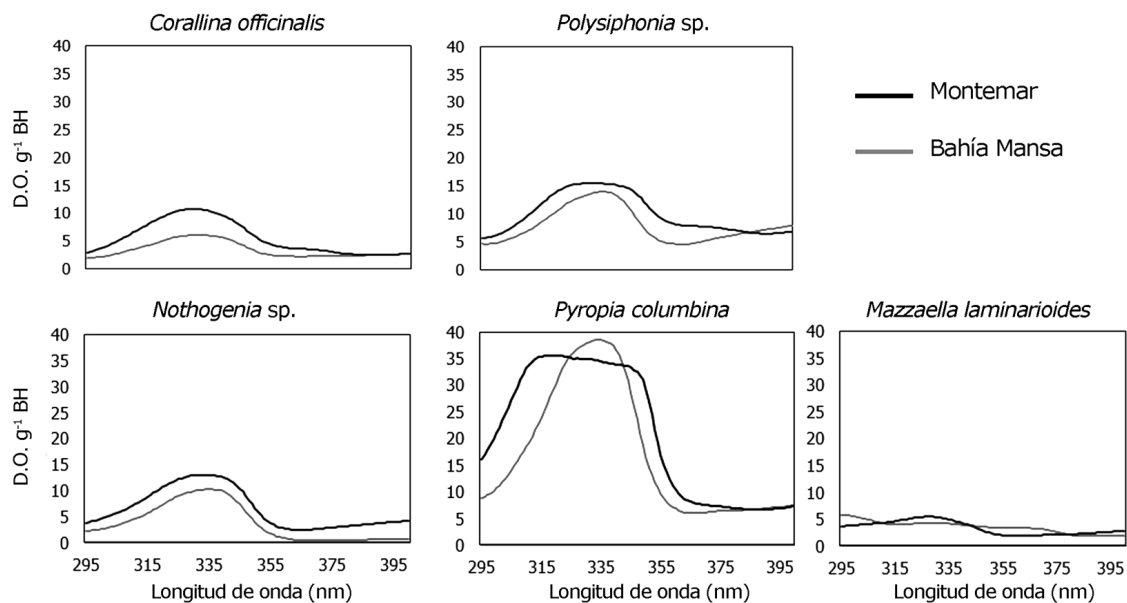


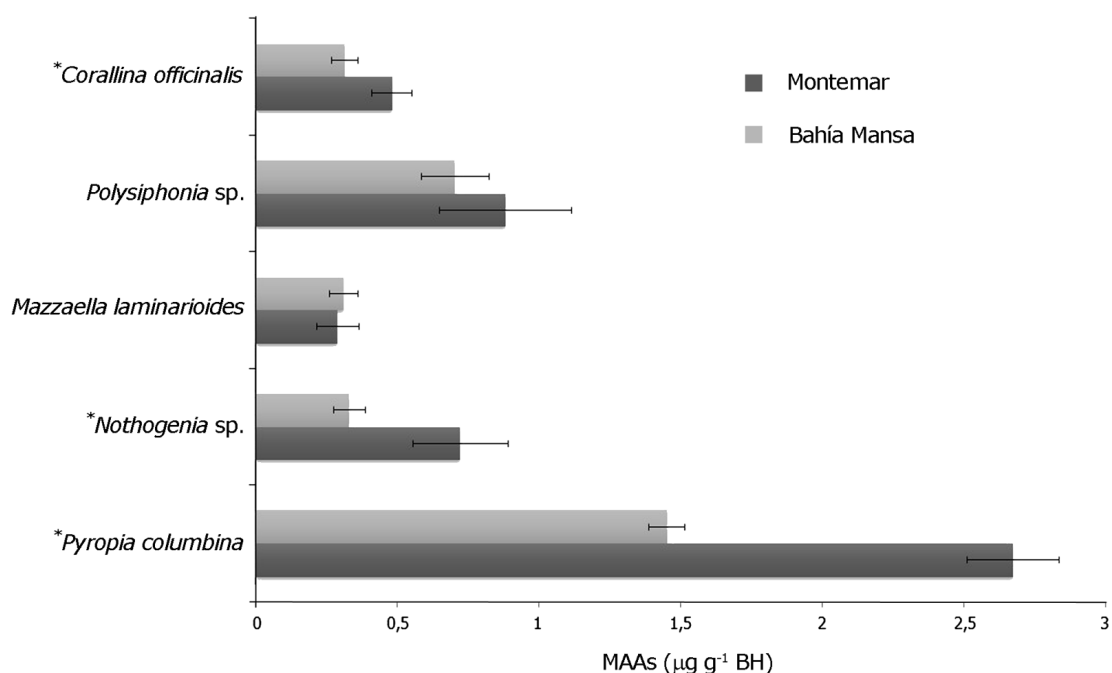
Figura 1. Características de absorción de extractos metanólicos de 5 especies de algas rojas colectadas en Montemar (región de Valparaíso) y Bahía Mansa (región de Magallanes). Los valores de la ordenada muestran la densidad óptica (D.O.) medida con cubeta de cuarzo de 1 cm / Absorption characteristics of methanolic extracts from 5 red algae species collected in Montemar (Valparaíso Region) and Bahía Mansa (Magellan Region). The data show optic density (D.O.) measured with 1 cm quartz cuvette

variaron de acuerdo al sitio de muestreo ( $P < 0,05$ ). Las mayores concentraciones fueron observadas en las especies de Montemar, principalmente en *P. columbina*, *C. officinalis* y *Nothogenia* sp. (Fig. 2), debido posiblemente a los mayores niveles de radiación solar. En este contexto, se podría argumentar que el hecho de no haber recolectado las muestras en el mismo día en ambas regiones podría constituir una fuente de sesgo de estos resultados. Sin embargo, las condiciones meteorológicas y los niveles de radiación solar se mostraron homogéneas (día nublado) el 1 y 4 de noviembre en cada sitio de muestreo (Tabla 1). Las diferencias en niveles de radiación entre las localidades se deben principalmente a las diferencias latitudinales; consecuentemente, se asume que el desfase en el tiempo de muestreo no afecta los resultados.

Es importante resaltar que las diferencias en las concentraciones de MAAs en especies de un mismo sitio de muestreo podrían estar relacionadas a que la producción de MAAs no es el único mecanismo que previene o evita los efectos dañinos de la radiación UV. En este sentido, fotoinhibición dinámica (Figuroa & Gómez 2001), incremento de carotenoides (Lee & Shiu 2009), aumento de actividad

antioxidante (Aguilera *et al.* 2002), fotodegradación de pigmentos accesorios (Figuroa *et al.* 1997, Aguirre-Von-Wobeser *et al.* 2000), cambios ultraestructurales (Navarro *et al.* 2010a, Schmidt *et al.* 2009, 2012), así como cambios morfológicos (Navarro *et al.* 2010b) podrían estar asociado a la tolerancia a la radiación. De esta manera, cada especie podría variar su tolerancia a la radiación solar no sólo mediante su concentración de MAAs, sino que también a través del uso de varios de estos mecanismos.

En conclusión, a la luz de estos resultados es posible aceptar la hipótesis de trabajo, ya que la concentración de MAAs efectivamente varió según la latitud en aquellas especies con concentración de MAAs variable. A menor latitud (mayor radiación solar), mayor fue la concentración de compuestos fotoprotectores. Sin embargo, más datos empíricos son necesarios para comprobar si efectivamente esta diferencia en las cantidades de fotoprotectores se mantiene constante durante el día y si las especies que no presentaron diferencias significativas pudieran tenerla a una mayor separación latitudinal.



**Figura 2.** Concentración de aminoácidos tipo micospolina (MAAs) en 5 especies de algas rojas colectadas en Montemar (región de Valparaíso) y Bahía Mansa (región de Magallanes). Las concentraciones están expresadas en  $\mu\text{g g}^{-1}$  BH, siendo BH la biomasa húmeda. \* Indica diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) y las barras de error de la desviación estándar/ Concentration of mycosporine-like amino acids (MAAs) in 5 red macroalgae species collected in Montemar (Valparaíso Region) and Bahía Mansa (Magellan Region). Concentrations are expressed as  $\mu\text{g g}^{-1}$  of wet biomass (BH). \* Indicate significant differences ( $P < 0,05$ ) and error bars represent the standard error

Los estudios sobre compuestos fotoprotectores en algas son muy importantes en la actualidad debido no sólo al problema creciente del debilitamiento de la capa de ozono, sino que también podrían constituirse en alternativas para la producción de protectores solares de amplio espectro (Navarro 2015). Sin embargo, el uso de MAAs derivados de algas en productos biotecnológicos está limitado por la baja concentración de estos compuestos y por la inherente dificultad para asegurar la biomasa suficiente para la extracción durante todo el año. De esta manera, especies con altas concentraciones de MAAs son deseables. En el caso de las especies con alta concentración de MAAs de la región de Valparaíso podrían constituirse en una alternativa para la diversificación de fuentes de MAAs para la producción de protectores solares naturales.

#### AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado parcialmente por el Programa 027110 (Universidad de Magallanes, Punta Arenas, Chile).

#### LITERATURA CITADA

- Aguilera J, A Dummermuth, U Karsten, R Schriek & C Wiencke. 2002.** Enzymatic defenses against photooxidative stress induced by ultraviolet radiation in Arctic marine macroalgae. *Polar Biology* 25: 432-441.
- Aguirre-Von-Wobeser E, F Figueroa & A Cabello-Pasini. 2000.** Effects of UV radiation on photoinhibition of marine macrophytes in culture systems. *Journal of Applied Phycology* 12: 159-168.
- Bischof K, D Hanelt & C Wiencke. 2000.** Effects of ultraviolet radiation on photosynthesis and related enzyme reaction of marine macroalgae. *Planta* 211: 555-562.
- Bischof K, G Kräbs, C Wiencke & D Hanelt. 2002.** Solar ultraviolet radiation affects the activity of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase-oxygenase and the composition of photosynthetic and xanthophyll cycle pigments in the intertidal green alga *Ulva lactuca* L. *Planta* 215: 502-509.
- Cockell C & J Knowland. 1999.** Ultraviolet radiation screening compounds. *Biological Reviews* 74: 311.
- Connan S, F Delisle, E Deslandes & E Ar Grall. 2006.** Intrathallus phlorotannin content and antioxidant activity in Phaeophyceae of temperate waters. *Botanica Marina* 49(1): 39-46.
- Díaz S, C Camilió, G Deferrari, H Fuenzalida, R Armstrong, C Booth, A Paladini, S Cabrera, C Casiccia, C Lovengreen, J Pedroni, A Rosales, H Zagarese & M Vernet. 2006.** Ozone and UV Radiation over Southern South America: Climatology and Anomalies. *Photochemistry and Photobiology* 82: 834-843.
- Dummermuth A, U Karsten, K Fisch, G König & C Wiencke. 2003.** Responses of marine macroalgae to hydrogen-peroxide stress. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 289: 103-121.
- Dunlap W & B Chalker. 1986.** Identification and quantitation of near-u.v. absorbing compounds (S-320) in a hermatypic scleractinian. *Coral Reefs* 5: 155-159.
- Dunlap W & J Shick. 1998.** Review-Ultraviolet radiation absorbing mycosporine-like amino acids in coral reef organisms: a biochemical and environmental perspective. *Journal of Phycology* 34(3): 418-430.
- Dunlap W & Y Yamamoto. 1995.** Small-molecule antioxidants in marine organisms: Antioxidant activity of mycosporine glycine. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part B* 112: 105-114.
- Dunlap W, G Rae, E Helbling, V Villafañe & O Holm-Hansen. 1995.** Ultraviolet-absorbing compounds in natural assemblages of Antarctic phytoplankton. *Antarctic Journal of the United States* 30: 323-326.
- Figueroa F & I Gómez. 2001.** Photosynthetic acclimation to solar UV radiation of marine red algae from warm-temperate coast of southern Spain: A review. *Journal of Applied Phycology* 13: 235-248.
- Figueroa F, S Salles, J Aguilera, C Jiménez, J Mercado, B Viñebla, A Flores-Moya & M Altamirano. 1997.** Effects of solar radiation on photoinhibition and pigmentation in the red alga *Porphyra leucosticta*. *Marine Ecology Progress Series* 151: 81-90.
- Franklin L, C Osmond & A Larkum. 2003.** Photoinhibition, UV-B and algal photosynthesis. In: Larkum A, S Douglas & J Raven (eds). *Photosynthesis in algae*, pp. 351-384. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Helbling E, E Barbieri, R Sinha, V Villafañe & D Häder. 2004.** Dynamics of potentially protective compounds in Rhodophyta species from Patagonia (Argentina) exposed to solar radiation. *Journal of Photochemistry and Photobiology* 75: 63-71.
- Höyer K, U Karsten, T Sawall & C Wiencke. 2001.** Photoprotective substances in Antarctic macroalgae and their variation with respect to depth distribution, different tissues and developmental stages. *Marine Ecology Progress Series* 211: 117-129.
- Huovinen P, I Gómez, F Figueroa, N Ulloa, V Morales & C Lovengreen. 2004.** Ultraviolet-absorbing mycosporine-like amino acids in red macroalgae from Chile. *Botanica Marina* 47(1): 21-29.
- Jiang P, J Wang, Y Cui, Y Li, H Lin & S Qin. 2008.** Molecular phylogenetic analysis of attached Ulvaceae species and free-floating *Enteromorpha* from Qingdao coasts in 2007. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology* 26: 276-279.
- Karentz D, F Mceuen, K Land & W Dunlap. 1991.** A survey of mycosporine-like amino acid compounds in Antarctic marine organisms: potential protection from ultraviolet exposure. *Marine Biology* 108: 157-166.
- Karsten U, K Bischof, D Hanelt, H Tüg & C Wiencke. 1999.** The effect of ultraviolet radiation on photosynthesis and ultraviolet-absorbing substances in the endemic Arctic macroalga *Devaleraea ramantecea* (Rhodophyta). *Physiologia Plantarum* 105: 58-66.

- Korbee N, P Huovinen, F Figueroa, J Aguilera & U Karsten. 2005.** Availability of ammonium influences photosynthesis and the accumulation of mycosporine-like amino acids in two *Porphyra* species (Bangiales, Rhodophyta). *Marine Biology* 146: 645-654.
- Korbee N, F Figueroa & J Aguilera. 2006.** Acumulación de aminoácidos tipo micospolina (MAAs): biosíntesis, fotocontrol y funciones ecofisiológicas. *Revista Chilena de Historia Natural* 79: 119-132.
- Korbee-Peinado N, R Abdala, F Figueroa & W Helbling. 2004.** Ammonium and UV radiation stimulate the accumulation of mycosporine-like amino acids in *Porphyra columbina* (Rhodophyta) from Patagonia, Argentina. *Journal of Phycology* 40(2): 248-259.
- Lee T & C Shiu. 2009.** Implications of mycosporine-like amino acid and antioxidant defenses in UV-B radiation tolerance for the algae species *Pterocladia capillacea* & *Gelidium amansii*. *Marine Environmental Research* 27: 8-16.
- Madronich S, R McKenzie, J Bjorn & M Caldwell. 1995.** Changes in ultraviolet radiation reaching the Earth's surface. *Ambio* 24: 143-152.
- Malanga G & S Puntarulo. 1995.** Oxidative stress and antioxidant content in *Chlorella vulgaris* after exposure to Ultraviolet-B radiation. *Physiologia Plantarum* 94: 672-679.
- Mitchell D & D Karentz. 1993.** The induction and repair of DNA in the environment. In: Young A, L Björn, J Moan & W Nultsch (eds). *Environmental UV photobiology*, pp. 345-377. Plenum Press, New York.
- Navarro NP. 2015.** Sunscreens of red algae from Patagonia: a biotechnological perspective. *Pure and Applied Chemistry* 87: 953-960. <DOI 10.1515/pac-2015-0406>.
- Navarro NP, A Mansilla & E Plastino. 2010a.** UVB radiation induces changes in the ultra-structure of *Iridaea cordata*. *Micron* 41: 899-903.
- Navarro NP, A Mansilla & E Plastino. 2010b.** *Iridaea cordata* (Gigartinales, Rhodophyta): Responses to artificial UVB radiation. *Journal of Applied Phycology* 22: 385-394.
- Navarro NP, A Mansilla, F Figueroa, N Korbee, J Jofre & E Plastino. 2014a.** Short-term effects of solar UV radiation and NO<sub>3</sub><sup>-</sup> supply on the accumulation of mycosporine-like amino acids in *Pyropia columbina* (Bangiales, Rhodophyta) under spring ozone depletion in the Subantarctic region, Chile. *Botanica Marina* 57(1): 9-20.
- Navarro NP, F Figueroa, N Korbee, A Mansilla, B Matsushiro, T Barahona & E Plastino. 2014b.** The Effects of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> supply on *Mazzaella laminarioides* (Rhodophyta, Gigartinales) from Southern Chile. *Photochemistry and Photobiology* 90(6): 1299-1307.
- Oren A & N Gunde-Cimerman. 2007.** Mycosporines and mycosporine-like amino acids: UV protectants or multipurpose secondary metabolites? *FEMS Microbiology Letters* 269: 1-10.
- Pakker H, C Beekman & A Breeman. 2000.** Efficient photoreactivation of UVBR-induced DNA damage in the sublittoral macroalga *Rhodomenia pseudopalmeta* (Rhodophyta). *European Journal of Phycology* 35: 109-114.
- Roleda M, W Van de Poll, D Hanelt & C Wiencke. 2004.** PAR and UVBR effects on photosynthesis, viability, growth and DNA in different life stages of two coexisting Gigartinales: implications for recruitment and zonation pattern. *Marine Ecology Progress Series* 281: 37-50.
- Rosic N & S Dove. 2011.** Micosporine-like amino acids from coral dinoflagellates. *Applied and Environmental Microbiology* 77(24): 8478-8486.
- Schmidt E, L Scariot, T Rover & Z Bouzon. 2009.** Changes in ultrastructure and histochemistry of two red macroalgae strains of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales), as a consequence of ultraviolet B radiation exposure. *Micron* 40(8): 860-869.
- Schmidt E, B Pereira, R Dos Santos, C Gouveia, G Costa, F Fariac, F Scherner, P Horta, R Martins, A Latini, F Ramlovf, M Maraschinf & Z Bouzong. 2012.** Responses of the macroalgae *Hypnea musciformis* after in vitro exposure to UV-B. *Aquatic Botany* 100: 8-17.
- Van De Poll W, A Eggert, A Buma & A Breeman. 2001.** Effects of UV-B-induced DNA damage and photoinhibition on growth of temperate marine red macrophytes: habitat-related differences in UV-B tolerance. *Journal of Phycology* 37: 30-38.

Recibido el 9 de mayo de 2016 y aceptado el 2 de septiembre de 2016

Editor: Claudia Bustos D.