

Estudio ficoquímico y actividad biológica *in vitro* de *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar (Alariaceae) colectada en el norte y centro del Golfo San Jorge

Phycochemical study and biological *in vitro* activity of the *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar (Alariaceae) collected in north and central of the San Jorge Gulf

**Miriam Delma Escobar Daza¹, Diana Paula Quezada¹, Elisabet Braidot¹,
María Luján Flores^{1*} & Osvaldo León Córdoba²**

¹Farmacognosia y ²Química Biológica II; Grupo de Investigación en Química, Bioactividad y Metabolismo de Recursos Naturales Patagónicos (GQBMRNP-CRIDEDECIT); Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Km 4, s/N°, 9000, Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina.
Correspondencia: okyflores@yahoo.com.ar

Resumen: *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar (Alariaceae, Laminariales, Phaeophyta), “wakame”, es un alga parda alóctona para las costas patagónicas, que fue detectada en 1992 extendiéndose rápidamente hacia el sur de la Patagonia. Es originaria del este de China, Corea, Japón y sureste de Rusia en donde es utilizada en alimentación y medicina tradicional. Para este trabajo se colectaron ejemplares en primavera en las costas de Comodoro Rivadavia y de Bahía Bustamante, Golfo San Jorge, Chubut, Argentina. Las frondas secas y reducidas a polvo se extrajeron con etanol y se analizaron en su composición química y actividad biológica. El estudio químico evidenció para ambas zonas de colecta, hidratos de carbono, fenoles, péptidos, lípidos y esteroides; además en el material colectado en Comodoro Rivadavia se detectó el grupo cardenólido, mientras que el colectado en Bahía Bustamante evidenció quinonas y alcaloides. Los lípidos contenían ácidos grasos insaturados, sulfolípidos y glicósidos de esterol. Se detectó además fosfatidilcolina, marcador quimiotaxonómico de Scytosiphonales y Laminariales. La capacidad antioxidante fue importante para el extracto de Bahía Bustamante, con un 92 % de inhibición del DPPH y una $SC_{50} < 150 \mu\text{g/ml}$. El ensayo de inhibición del desarrollo radicular de trigo que presume actividad antitumoral, evidenció para la especie de Bahía Bustamante 34,7 y 83,5 % de inhibición para las diluciones al 0,05 y al 0,5 %, respectivamente. Los resultados obtenidos constituyen una base importante para el

conocimiento integral de la especie invasora de las costas patagónicas, a la vez que permitirán diseñar futuras aplicaciones, fundamentalmente en salud, utilizar el recurso racionalmente y contribuir así al control de su propagación.

Palabras claves: alga parda invasora; bioactividad; ficoquímica; Golfo San Jorge; *Undaria pinnatifida*; wakame.

Abstract: *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar (Alariaceae, Laminariales, Phaeophyta), "wakame", is an allochthonous brown algae from Patagonian coasts, that was detected in 1992, reproduced quickly to the south of Patagonia. It originates in eastern China, Korea, Japan and southeast Russia where it is used in food and traditional medicine. Specimens were collected in spring on the Comodoro Rivadavia and Bahía Bustamante coasts, Golfo San Jorge, Chubut, Argentina. Dried and powdered fronds were extracted with ethanol and analyzed for its chemical composition and biological activity. The chemical analysis evidenced in both collection areas, carbohydrates, phenols, peptides, lipids and steroids. Material collected in Comodoro Rivadavia showed the cardenolide group, while that material collected in Bahía Bustamante showed quinones and alkaloids. Lipids contained unsaturated fatty acids, sulfolipids and sterol glycosides. Phosphatidylcholine, a chemotaxonomic marker of Scytosiphonales and Laminariales were also detected. Antioxidant capacity was important in Bahía Bustamante extract, it showed 92 % inhibition of DPPH and an $SC_{50} < 150 \mu\text{g} / \text{ml}$. The inhibition test of wheat root development, which presumes antitumor activity, showed in Bustamante coasts species 34.7 and 83.5 % inhibition for the 0.05 and 0.5 % dilutions, respectively. These results obtained constitute an important basis to the integral knowledge of the invasive species of the Patagonian coasts, while its will allow to design future applications, mainly in health, to use the resource rationally and to contribute to the control of its propagation.

Keywords: kelp brown seaweed, bioactivity, phycochemistry, San Jorge Gulf, *Undaria pinnatifida*; wakame.

Introducción

La introducción de especies alóctonas en ambientes marinos es reconocida como una

potencial amenaza para estos ecosistemas, con posibles efectos importantes sobre el hábitat, la biodiversidad, la productividad y la pesca (Carlton, 1999; Bax *et al.*, 2001).

El alga parda *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar (Alariaceae, Laminariales, Phaeophyta) es una especie originaria del este de China, Corea, Japón y sureste de Rusia (Funahashi, 1966; Akiyama y Kurogi, 1982). En Argentina, fue detectada por primera vez en 1992 en el Golfo Nuevo (al norte de la provincia de Chubut), donde su ingreso fue atribuido al transporte por medio del agua de lastre de buques internacionales (Piriz y Casas, 1994; Casas y Piriz, 1996). De allí continuó expandiéndose hacia el sur alcanzando en pocos meses el Golfo San Jorge. Más recientemente, en la primavera de 2005, fue registrada en el interior de la Ría Deseado (provincia de Santa Cruz), aumentando notablemente su límite de distribución. Este último registro puso de manifiesto la progresiva expansión de la especie, la cual podría estar relacionada al tránsito de embarcaciones pesqueras y de transporte entre los puertos costeros de la Patagonia, como así también podría tratarse de un nuevo ingreso de la especie a través de buques provenientes de puertos internacionales (Martín y Cuevas, 2006).

La alta capacidad invasora de *U. pinnatifida* se atribuye en gran parte al hecho de que, tal como ocurre con otras especies oportunistas, posee una fase gametofítica longeva y resistente, que puede mantenerse en estado de latencia largos períodos de tiempo (hasta dos años), en diversas condiciones ambientales

(temperaturas de 0 hasta más de 20 °C; pH ácido u alcalino), a la espera de reproducirse (Hay, 1990). Por otro lado, está demostrado que los gametofitos se ven estimulados tanto en crecimiento como en maduración sexual, por las variaciones estacionales de temperatura e irradiación lumínica (Morita *et al.*, 2003; Choi *et al.*, 2005), lo que hace pensar que, según dónde se encuentren, su cronología del desarrollo y maduración será distinta.

Teniendo en cuenta la alta capacidad invasora, lo cual también ha sido indicado en otras regiones del mundo (Stuart, 2004; Minchin y Nunn, 2014), así como la imposibilidad de erradicación de la especie, iniciamos un estudio integral que permita determinar la potencialidad para aplicaciones biotecnológicas y planificar un aprovechamiento racional del recurso. En este trabajo presentamos resultados generales del análisis químico y de actividad biológica *in vitro* del alga colectada en el norte y en el centro del Golfo San Jorge.

Materiales y Métodos

Material algal

Los ejemplares de *Undaria pinnatifida* (*Up*) se colectaron manualmente en primavera, en las playas de Bahía Bustamante (45° 05' S, 66° 25' W), *UpBB* 2008, y de Comodoro Rivadavia (45° 52' S, 67° 30' W), *UpCR* 2011, correspondientes al norte y centro del

Golfo San Jorge, respectivamente, en la provincia de Chubut, Argentina.

El material de ambas colectas fue seleccionado y clasificado; un ejemplar de Comodoro Rivadavia se depositó en el Herbario Regional Patagónico bajo el registro HRP N° 7096. El resto de material fue secado a temperatura ambiente bajo techo al abrigo de la luz directa y posteriormente, reducido a polvo en un molinillo de paletas provisto de un tamiz de malla 20 (RetschMühle, Dietz-Motorem).

Extracción

Las frondas reducidas a polvo de **UpBB** fueron tratadas con etanol de 96°, a 65 °C durante 150 min, con agitación mecánica (agitador Decalab S.R.L.). En cuanto a **UpCR**, se empleó etanol al 80 % (v/v) con agitación magnética durante 24 h y posteriormente se maceró en heladera a 4 °C durante 24 h más. Los extractos (**EOHBB** y **EOHCR**, respectivamente) fueron recuperados mediante centrifugación a 4000 r.p.m., a 4 °C durante 15 min, utilizando una centrifuga refrigerada (Hettich Mod. Rotina 38 R) y se concentraron en un evaporador rotatorio Büchi R11, a presión reducida con temperatura del baño de 40 °C (**Fig. 1**).

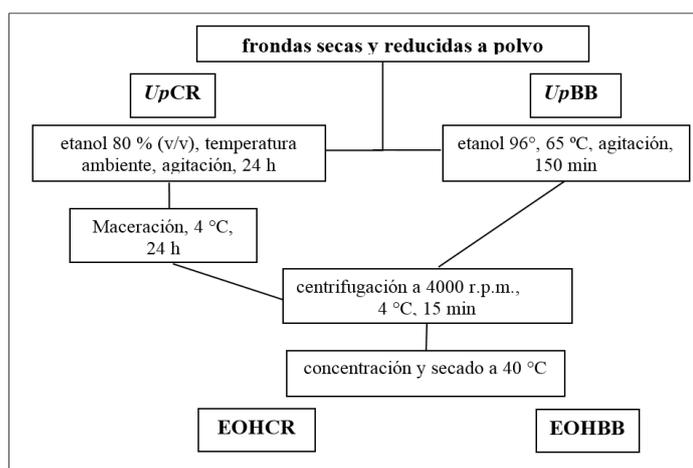


Figura 1. Obtención de los extractos alcohólicos de *Undaria pinnatifida* colectada en primavera en Comodoro Rivadavia (**EOHCR**) y Bahía Bustamante (**EOHBB**), Chubut, Argentina.

Figure 1. *Undaria pinnatifida* ethanolic extracts from Comodoro Rivadavia (**EOHCR**) and Bahía Bustamante (**EOHBB**), Chubut, Argentina.

Screening ficoquímico

La composición química de los extractos etanólicos obtenidos según el esquema presentado como **Figura 1**, fue analizada mediante reacciones cualitativas usuales de

identificación de grupos químicos (Rondina y Coussio, 1969; Pinto Vitorino *et al.*, 2004). Se empleó Molisch (hidratos de carbono), Shinoda (flavonoides), FeCl₃ al 1 % (oxhidrilos fenólicos), solución

acuosa de gelatina al 2 % (taninos), Ninhidrina al 0,2 % (aminoácidos, péptidos, proteínas), Liebermann-Burchard (esteroides y/o triterpenos), Kedde (cardenólidos), vapores de I₂ (lípidos), Bornträger (quinonas), Dragendorff y Mayer (alcaloides).

Estudio preliminar de lípidos

La extracción de lípidos se realizó siguiendo la metodología descrita por Folch *et al.* (1957). Para ello se trabajó con 0,3311 y 1,0000 g de frondas secas y reducidas a polvo de *UpBB* y *UpCR*, respectivamente. Ambos materiales fueron macerados en cloroformo – metanol (2:1) durante 24 h, a temperatura ambiente y con agitación magnética continua (agitador Decalab S.R.L.), protegidos de la luz. Los extractos **EFBB** y **EFCR** fueron recuperados por centrifugación a 4000 r.p.m., a 4 °C durante 20 min, empleando la centrífuga refrigerada indicada más arriba, y se concentraron en el evaporador rotatorio también indicado antes, a presión reducida con temperatura del baño de 40 °C.

Cromatografías analíticas de lípidos

Se emplearon sistemas cromatográficos bidimensional y monodimensional, utilizando cromatofolios de Sílicagel G60 F₂₅₄, activados en estufa a 110 °C por 5 min (Hellebust y Craigie, 1978).

Las muestras **EFBB** y **EFCR** se analizaron por separado para el sistema bidimensional utilizando como primera fase móvil HCCl₃ - CH₃OH - NH₄OH (65:25:5) y como segunda fase móvil HCCl₃ - (CH₃)₂CO - CH₃OH - CH₃COOH - H₂O (50:20:10:10:5).

En el sistema monodimensional el cromatofolio una vez activado, fue saturado con una solución acuosa de sulfato de amonio al 2 %. Posteriormente se dejó secar y se sembraron, en bandas de 2-3 mm, ácido palmítico en etanol (estándar), **EOHCR**, **EOHB**, **EFCR** y **EFBB**, desarrollando la cromatografía en forma ascendente con (CH₃)₂CO - C₆H₆ - H₂O (91:30:8) como fase móvil.

El revelado para ambos sistemas se efectuó con luz natural, UV a 254 y 365 nm y vapores de yodo, en ese orden.

Análisis cuantitativo

Se realizó la determinación cuantitativa de los grupos de metabolitos más destacados presentes en los extractos etanólicos.

Los azúcares totales se determinaron por el método colorimétrico del fenol – ácido sulfúrico a 482 y 490 nm (Dubois *et al.*, 1956; Flores, 2000).

El porcentaje de sulfato total se determinó por turbidimetría a 360 nm, con el reactivo BaCl₂ / gelatina, previa hidrólisis de las muestras con HCl 1 M, a 110 °C durante 4,5 h (Dodgson, 1961; Dodgson y Price, 1962).

Para fenoles totales, se empleó el reactivo de Folin y Ciocalteu (1927) y para péptidos y proteínas, la técnica de Lowry *et al.*, 1951.

Actividad biológica

Determinación de actividad antioxidante

Se utilizó el método de inhibición del DPPH (radical 2,2-difenil-1-picrilhidracilo), descrito por Koleva *et al.* (2002).

Determinación de la SC₅₀

Se utilizó la técnica propuesta por Choi *et al.* (2002), la cual determina la concentración de muestra necesaria para atrapar el 50 % de los radicales libres del DPPH.

Determinación de la actividad antitumoral

Se empleó el ensayo de inhibición de la elongación de las raíces de trigo empleando semillas de *Triticum sativum* var. Klein pegaso y var. Biointa 3006, para los extractos **EOHBB** y **EOHCR**, respectivamente (Desmarchelier *et al.*, 1995).

Resultados y Discusión

El screening químico realizado mediante la aplicación de la secuencia de la **Figura 1** (ver apartado 2.2. de Materiales y Métodos) a los extractos etanólicos de las frondas colectadas en primavera en Comodoro Rivadavia y en Bahía

Bustamante, mostró los resultados que se presentan en la **Tabla I**.

Ambos extractos evidenciaron una proporción importante de hidratos de carbono, fenoles, aminoácidos y/o péptidos. En cambio, en ninguno de los casos se obtuvo reacción positiva para flavonoides ni para taninos.

En otros estudios se ha descripto la presencia de flavonoides en distintas especies de algas marinas (Yoshie *et al.*, 2002; Yoshie *et al.*, 2003; Córdoba *et al.*, 2008). En *U. pinnatifida* otros autores ha indicado la presencia de rutina, quercitrina y morina, además de catequinas constituyentes de taninos de tipo condensados (Yoshie *et al.*, 2003). Sin embargo en este trabajo no hemos detectado tales metabolitos, lo cual sugiere variaciones espacio-temporales tal como hemos determinado recientemente en otras especies de algas marinas (Uhrich *et al.*, 2016).

Se evidenció además la presencia de esteroides en ambos extractos; en cambio el grupo cardenólido resultó positivo sólo para el procedente del material colectado en Comodoro Rivadavia (**Tabla I**).

Los otros grupos químicos determinados en el alga colectada en Bahía Bustamante fueron quinonas y alcaloides (**Tabla I**). Este último grupo resultó muy interesante y pareciera estar en proporciones importantes dado que se observó no sólo con el reactivo de Dragendorff (muy

sensible), sino también con el reactivo de Mayer que detecta cantidades apreciables. Los alcaloides son los grupos menos descritos en algas marinas, pero representan un conjunto de sustancias con importantes actividades biológicas. Además son responsables de la toxicidad de muchos productos naturales, por lo que su presencia en algas de consumo en alimentación debe ser considerada. Por otra parte, los alcaloides actúan como defensas químicas frente a depredadores

naturales por lo que podrían contribuir a favorecer la colonización de *U. pinnatifida*. En cuanto a las quinonas, fundamentalmente las antraquinonas, constituyen un grupo químico que actúa estimulando el peristaltismo intestinal por lo que también debe ser tenido en cuenta cuando se va a utilizar el alga para consumo, especialmente en niños, adultos mayores y/o presencia de patologías crónicas (Uhrich *et al.*, 2016).

Tabla I. Composición química de los extractos etanólicos de *Undaria pinnatifida* colectada en primavera en Comodoro Rivadavia (EOHCR) y en Bahía Bustamante (EOHBB), Chubut, Argentina.

Table I. Chemical composition of ethanolic extracts from *Undaria pinnatifida* collected in spring in Comodoro Rivadavia (EOHCR) and Bahía Bustamante (EOHBB), Chubut, Argentina.

Grupo químico	EOHCR	EOHBB
hidratos de carbono	+++	++
flavonoides	-	-
fenoles	++ (amarillo)	++ (amarillo)
taninos	-	-
aminoácidos, péptidos	+++	+++
esteroides	+	+
cardenólidos	+++	-
lípidos	++	+
quinonas	-	+
alcaloides	-	++

(+ positivo: + moderado, ++ intenso, +++ muy intenso; - negativo)

Los lípidos resultaron importantes en ambos extractos etanólicos, destacándose en el de Comodoro Rivadavia (**Tabla I**). Además se prepararon extractos según la metodología de Folch (**EF**), cuyos rendimientos fueron de 13,6 y de 36,6 % para *UpBB* y *UpCR*, respectivamente. Boulom *et al.* (2014) informaron variaciones del 17 al 45 % en la proporción

de lípidos totales obtenidos mediante Folch, a partir de la especie colectada en distintos meses en las costas de Nueva Zelanda. Otros estudios han informado que esta especie biosintetiza una baja proporción de lípidos (< 5 %) constituidos fundamentalmente por ácidos grasos poliinsaturados, destacándose C18:4 ω 3 y C20:4 ω 6 (Li *et al.*, 2002; Sánchez-

Machado *et al.*, 2004; Dawczynski *et al.*, 2007). Nuevamente debe ser considerada aquí una posible variación espacio-temporal de estos metabolitos.

Al efectuar el análisis cromatográfico del perfil de lípidos constituyentes de los extractos etanólicos y de Folch, los resultados fueron idénticos entre sí para los extractos equivalentes de la especie procedente de ambas zonas de colecta. La **Figura 2 A** presenta el perfil cromatográfico bidimensional del extracto de Folch en donde se observa una composición compleja y la **Figura 2 B**, el perfil monodimensional correspondiente al extracto de Folch y al etanólico. En ambos casos los cromatogramas corresponden a los obtenidos a partir de las muestras procedentes de la especie colectada en Bahía Bustamante.

En la **Tabla II** se muestran los resultados de la cromatografía monodimensional obtenidos mediante el cálculo de los Rf correspondientes y la comparación con estándares y bibliografía (Hellebust y Craigie, 1978).

Resultó destacable la fuerte y persistente coloración que se obtuvo al revelar con vapores de yodo, lo cual permite sugerir proporciones considerables de los grupos

de lípidos separados y la presencia de ácidos grasos insaturados. Estos últimos son motivo de numerosas investigaciones debido a que resultan esenciales para la nutrición de seres humanos y animales (Uki *et al.*, 1986); además son de interés en biotecnología y en cosmética para la protección de la piel (Servel *et al.*, 1994).

Diversos grupos de lípidos son también utilizados como marcadores quimiotaxonómicos, destacándose la fosfatidilcolina (PC) que ha sido descrita para diferenciar dos grupos de algas pardas; uno que la contiene, constituido fundamentalmente por Scytosiphonales y Laminariales, y otro grupo que no. Nuestros resultados concuerdan en ubicar a *U. pinnatifida*, perteneciente a las Laminariales, en el primer grupo (**Tabla II**).

La presencia de sulfolípidos y glicósido de esterol en los extractos etanólicos también resultó interesante, guardando relación en el caso del esterol, al menos en parte, con la reacción positiva obtenida para el grupo esteroide (**Tabla I**). Los esteroides han sido descritos para la especie mostrando variaciones espacio-temporales (Boulom *et al.*, 2014).

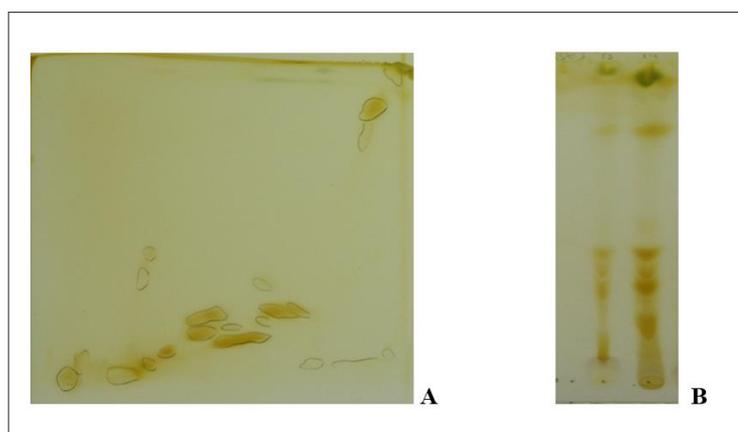


Figura 2. Análisis cromatográfico de lípidos de *U. pinnatifida* colectada en primavera en Bahía Bustamante, Chubut, Argentina. **A**, perfil bidimensional del extracto de Folch; **B**, perfil monodimensional de **EFBB** (calle 13) y de **EOHBB** (calle 14).

Figure 2. Lipids chromatography analysis of *U. pinnatifida* from Bahía Bustamante, Chubut, Argentina. **A**, bidimensional profile of Folch's extract (**EFBB**); **B**, monodimensional profile of **EFBB** (line 13) and **EOHBB** (line 14).

Tabla II. Análisis de lípidos mediante cromatografía monodimensional en los extractos etanólicos (EOH) y en los extractos de Folch (EF) de *Undaria pinnatifida* colectada en primavera en Comodoro Rivadavia y en Bahía Bustamante, Chubut, Argentina.

Table II. Lipids monodimensional chromatography analysis of ethanolic (EOH) and Folch's extracts (EF) from *Undaria pinnatifida* collected in spring in Comodoro Rivadavia and Bahía Bustamante, Chubut, Argentina.

Lípidos	<i>Undaria pinnatifida</i> , primavera			
	EOHCR	EFRCR	EOHBB	EFBB
fosfatidilcolina	+	+	+	+
fosfatidiletanolamina	+	+	+	+
sulfolípidos	+	-	+	-
digalactosil diacilglicérido	+	+	+	+
glicósido de esteroles	+	-	+	-
fosfatidilglicerol	+	-	+	-
monogalactosil diacilglicérido	+	+	+	+
pigmentos y lípidos neutros	+	+	+	+
ácido fosfatídico	-	-	-	-
fosfatidilserina	-	-	-	-

Se determinaron además mediante perfiles cromatográficos clorofilas *a*, *c*; clorofilide *a*, violaxantina y $\beta\beta$ -caroteno. Estos pigmentos han sido descriptos como característicos de las algas pardas, además de la fucoxantina.

En cuanto a la proporción de los principales constituyentes de naturaleza polar de los extractos etanólicos, **EOHBB** mostró en todos los casos un mayor porcentaje (**Tabla III**).

Tabla III. Análisis cuantitativo de grupos químicos polares presentes en los extractos etanólicos de *U. pinnatifida* colectada en primavera en Comodoro Rivadavia (EOHCR) y en Bahía Bustamante (EOHBB), Chubut, Argentina.

Table III. Quantitative analysis of polar chemistry groups in the ethanolic extracts from *U. pinnatifida* collected in spring in Comodoro Rivadavia (EOHCR) and Bahía Bustamante (EOHBB), Chubut, Argentina.

Extracto	Hidratos de carbono (%)	Proteínas (%)	Fenoles (%)	Sulfatos (%)
EOHCR	1,2	2,6	0,2	-
EOHBB	2,2	13,6	2,4	2

En cuanto a la actividad biológica *in vitro*, el estudio de la capacidad antioxidante de los extractos etanólicos de *U. pinnatifida* colectada en primavera, evidenció para **EOHCR** un 1,4 % de inhibición del DPPH, es decir resultó prácticamente sin actividad. En cambio **EOHBB** mostró resultados interesantes, con un 92 % de inhibición del DPPH y una $SC_{50} < 150$ μ g/ml. Estos resultados para el extracto de Bahía Bustamante, superaron los valores obtenidos por otros investigadores que han informado que extractos metanólicos de *U. pinnatifida* inhibían un 35,8 % al DPPH (Han *et al.*, 2002).

Para la actividad inhibitoria del desarrollo radicular de trigo, que presume actividad antitumoral, se trabajó con diluciones al 0,05 y 0,5 %, de ambos extractos etanólicos.

Los resultados fueron muy interesantes y de tipo dosis dependiente para la especie colectada en Bahía Bustamante ya que para la dilución preparada al 0,05 % se obtuvo un 34,7 % de inhibición del desarrollo radicular, mientras que para la dilución

diez veces más concentrada, la inhibición fue del 83,5 % (**Tabla IV**). Además se observó protuberancia en una raíz, semejante a las producidas por el control positivo vinblastina, un antitumoral de amplia utilización (**Tabla IV**).

En cuanto a la actividad de la especie colectada en Comodoro Rivadavia, resultó leve a la mayor concentración empleada (dilución al 0,5 %), evidenciando raíces débiles (**Tabla IV**).

En la **Figura 3 A** se pueden observar las placas correspondientes al extracto etanólico de Bahía Bustamante, mientras que en **C** se muestran los resultados del extracto de Comodoro Rivadavia. En **B** se observan en forma comparativa, la raíz más larga de cada dilución de EOHBB, la obtenida con el control positivo vinblastina y la del control negativo, agua corriente.

Nuestros resultados conciben con los de otros investigadores que han descrito a *U. pinnatifida* con efectos antitumorales, además de otras actividades biológicas (Zhang *et al.*, 2014).

Tabla IV. Resultados del ensayo de inhibición de la elongación radicular de trigo para los extractos etanólicos de *U. pinnatifida* colectada en primavera en Comodoro Rivadavia (EOHCR) y en Bahía Bustamante (EOHBB), Chubut, Argentina.

Tabla IV. Results of radicular elongation inhibition assay for ethanolic extracts from *U. pinnatifida* collected in spring in Comodoro Rivadavia (EOHCR) and Bahía Bustamante (EOHBB), Chubut, Argentina.

Extracto	Concentración (%)	Inhibición (%)	Observaciones
EOHCR	0,05	5,6	Raíces débiles
	0,5	27,5	
EOHBB	0,05	34,7	Protuberancia en una raíz
	0,5	83,5	

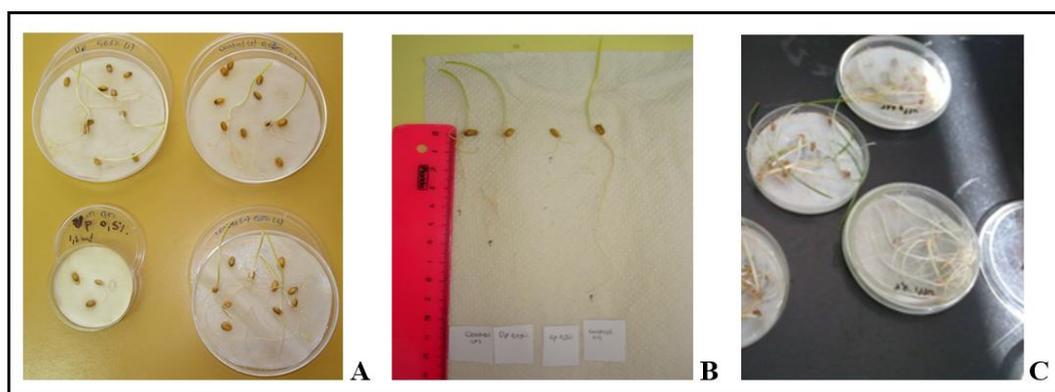


Figura 3. A. Resultados del estudio de inhibición radicular de EOHBB; **B.** Comparación de las raíces más largas obtenidas con cada dilución de EOHBB, con el control positivo vinblastina y con el control negativo agua corriente; **C.** Resultados del estudio de inhibición radicular de EOHCR.

Figure 3. A. Results of the radicular inhibition study of the EOHBB; **B.** Comparison of the long roots obtained with each dilution of EOHBB, positive control vinblastine and negative control water top; **C.** Results of the radicular inhibition study of EOHCR.

Las algas son fuentes importantes de diversos compuestos bioactivos con diferentes efectos en la salud humana. Muchos de ellos poseen actividades antioxidantes, antimicrobianas y antivirales que son también importantes para la protección de las algas en condiciones de estrés, pudiendo contribuir además a la capacidad invasiva de las especies (Cardozo *et al.*, 2007; Pal *et al.*, 2014).

U. pinnatifida es una especie invasora a nivel mundial, utilizada como alimento en Japón, China y Korea (Kolb *et al.*, 2004). Aporta proteínas, minerales, vitaminas, yodo. Contiene además hidratos de carbono que contribuyen a la protección de la mucosa gastrointestinal por lo que es utilizada en Japón para el tratamiento de úlceras y para proteger el tracto digestivo del desarrollo de células cancerígenas. También se han aislado fucosterol, ácidos

grasos insaturados y otros metabolitos que contribuyen a su importancia farmacológica (Zhang *et al.*, 2014).

Conclusiones

Las algas marinas constituyen un recurso natural valioso para el ecosistema que habitan ya que proveen de nutrientes, protección y defensa para otros organismos merced a los metabolitos que biosintetizan, en donde los hidratos de carbono, fenoles, lípidos y sustancias nitrogenadas juegan un rol importante. A la vez tales metabolitos constituyen recursos potenciales para su aplicación en diversas industrias, entre ellas la farmacéutica. Los grupos químicos detectados en *Undaria pinnatifida* resultan interesantes por su potencial aplicación en Salud. Son además importantes como defensas químicas para la especie alóctona, contribuyendo con la capacidad de supervivencia. Nuestros resultados contribuyen al conocimiento de la especie que habita las costas del Golfo San Jorge, a la vez que constituyen un estímulo para futuras aplicaciones biotecnológicas considerando la potencialidad y la variabilidad espacio temporal de los metabolitos biosintetizados.

Agradecimientos

Este trabajo se realizó en el marco de los proyectos de investigación PNUD ARG 02/018 BB34, ANPCYT PICTO GSJ 36871, Gobierno de la Provincia de Chubut

y UNPSJB. Los autores agradecen a la Dra. María Elena Arce (HRP, FCN, UNPSJB) por su contribución en la identificación de la especie.

Bibliografía

- Akiyama, K. & Kurogi, M. 1982. Cultivation of *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar, the decrease in crops from natural plants following crops increase from cultivation. *The Bulletin of Tohoku Regional Fisheries Research Laboratory*, **44**: 91-100.
- Bax, N.; Carlton, J.T.; Mathews-Amos, A.; Haedrich, R.L.; Howarth, F.G.; Purcell, J.E.; Rieser, A. & Gray, A. 2001. The control of biological invasions in the world's oceans. *Conserv. Biol.*, **15**: 1234-1246.
- Boulom, S.; Robertson, J.; Hamid, N.; Ma, Q. & Lu, J. 2014. Seasonal changes in lipid, fatty acid, α -tocopherol and phytosterol contents of seaweed, *Undaria pinnatifida*, in the Marlborough Sounds, New Zealand. *Food Chem.*, **161**: 261-269.
- Cardozo, K.H.M.; Guaratini, T.; Barros, M.P.; Falcao, V.R.; Tonon, A.P.; Lopes, N.P.; Campos, S.; Torres, M.A.; Souza, A.O.; Colepicolo, P. & Pinto, E. 2007. Metabolites from algae with economical impact. *Comp. Biochem. Phys. C*, **146**: 60-78.
- Carlton, J.T. 1999. Scale and ecological consequences of biological invasions in the world's oceans. En: O.T. Sandlund, P.J.

- Schei & A. Viken (eds.), *Invasive Species and Biodiversity Management*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherland: 195-212.
- Casas, G. & Piriz, M. 1996. Surveys of *Undaria pinnatifida* (Laminariales, Phaeophyta) in Golfo Nuevo, Argentina. *Hydrobiologia*, **326/327**: 213-215.
- Choi, C.W.; Kim, S.C.; Hwang, S.S.; Choi, B.K.; Ahn, H.J.; Lee, M.Y.; Park, S.H. & Kim, S.K. 2002. Antioxidant activity and free radical scavenging capacity between Korean medicinal plants and flavonoids by assay- guided comparison. *Plant Science*, **163**: 1161-1168.
- Choi, H.G.; Kim, Y.S.; Lee, S.J.; Park, E.J. & Nam, K.W. 2005. Effects of daylength, irradiance and settlement density on the growth and reproduction of *Undaria pinnatifida* gametophytes. *J. Appl. Phycol.*, **17**: 423-430.
- Córdoba, O.L.; Mrla, C.J.; Rico, A. & Flores, M.L. 2008. Aspectos químicos y actividad biológica de extractos de *Stictosiphonia hookeri* (Rhodomelaceae, Rhodophyta). *Naturalia patagónica*, **4**: 93-102.
- Dawczynski, C.; Schubert, R. & Jahreis, G. 2007. Amino acids, fatty acids, and dietary fibre in edible seaweed products. *Food Chem.*, **103**: 891-899.
- Desmarchelier, C.; Mongelli, E.; Coussio, J.; Giuletti, A. & Ciccía, G. 1995. Etnobotánica y bioactividad de plantas medicinales utilizadas por un grupo indígena *Takana* de la Amazonia peruana. *Acta Farm. Bon.*, **14**: 195-208.
- Dodgson, K. 1961. Determination of inorganic sulphate in studies on the enzymic and non-enzymic hydrolysis of carbohydrate and other sulphate esters. *Biochem. J.*, **78**: 312-319.
- Dodgson, K. & Price, R. 1962. A note on determination of ester sulfate content of sulphated polysaccharides. *Biochem. J.*, **84**: 106-110.
- Dubois, M.; Gilles, J.; Hamilton, P.; Rebers, P. & Smith, F. 1956. Colorimetric method of determination of sugars and substances. *Anal. Chem.*, **28**: 350-356.
- Flores, M.L. 2000. Estudio de los polisacáridos de la pared celular del alga roja *Iridaea undulosa* Bory, *Tesis doctoral*, FCN, UNPSJB.
- Folch, J.; Lee M. & Sloane Stanley, G.H. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, **226**: 497-509.
- Folin, O. & Ciocalteu, V. 1927. On tyrosine and tryptophane determinations in proteins. *J. Biol. Chem.*, **73**: 627.
- Funahashi, S. 1966. Marine algae from Vladivostok and its vicinity. *Bull. Japan. Soc. Phycol.*, **14**: 127-145.
- Han, J.; Kanga, S.; Chouea, R.; Kimb, H.; Leemc, K.; Chungd, S.; Kimd, C. & Cheng, J. 2002. Free radical scavenging effect of *Diospyros kaki*, *Laminaria japonica* and *Undaria pinnatifida*. *Fitoterapia*, **73**: 710-712.

- Hay, C.H. 1990. The dispersal of sporophytes of *Undaria pinnatifida* by coastal shipping in New Zealand, and implications for further dispersal of *Undaria* in France. *Brit. Phycol. J.*, **25**: 301-313.
- Hellebust, J. & Craigie, J. 1978. *Physiological and Biochemical Methods*. Cambridge University Press, 512 pp.
- Kolb, N.; Vallorani, L.; Milanovi, N. & Stocchi, V. 2004. Evaluation of Marine Algae Wakame (*Undaria pinnatifida*) and Kombu (*Laminaria digitata japonica*) as Food Supplements. *Food Technol. Biotechnol.*, **42**: 57-61.
- Koleva, I.I.; Van Beek, T.A.; Linssen, J.P.H.; Groot, A. & Evstatleva, L. 2002. Screening of Plant Extracts for Antioxidant Activity: a Comparative Study of Three Testing Methods. *Phytochem. Analysis*, **13**: 8-17.
- Li, X.; Fan, X.; Han, L. & Lou, Q. 2002. Fatty acids of some algae from the Bohai Sea. *Phytochemistry*, **59**: 157-161.
- Lowry, O.H.; Rosebrough, N.J.N.; Farr, A.L. & Randall, R.J. 1951. Protein measurements with the Folin phenol reagent. *J. Biol. Chem.*, **193**: 265-275.
- Martin, J.P. & Cuevas, M. 2006. First record of *Undaria pinnatifida* (Laminariales, Phaeophyta) in Southern Patagonia, Argentina. *Biological Invasions*, **8**: 1399-1402.
- Minchin, D. & Nunn, J. 2014. The invasive brown alga *Undaria pinnatifida* (Harvey) Suringar, 1873 (Laminariales: Alariaceae), spreads northwards in Europe. *BioInvasions Records*, **3**: 57-63. doi: <http://dx.doi.org/10.3391/bir.2014.3.2.01>
- Morita, T.; Kurashima, A. & Maegawa, M. 2003. Temperature requirements for the growth and maturation of the gametophytes of *Undaria pinnatifida* and *U. undarioides* (Laminariales, Phaeophyceae). *Phycol. Res.*, **51**: 154-160.
- Pal, A.; Chandra Kamthania, M. & Kumar, A. 2014. Bioactive Compounds and Properties of Seaweeds - A Review. *Open Access Library Journal*, **1**: e752. doi: <http://dx.doi.org/10.4236/oalib.1100752>.
- Pinto Vitorino, G.; Toledo, I.B.; Córdoba, O.L.; Flores, M.L. & Cabrera, J.L. 2004. Análisis fitoquímico de *Colliguaya integerrima* (Hook.) Gill. et Hook. (Euphorbiaceae), una planta de la Patagonia Argentina. *Acta Farm. Bon.*, **23**: 459-465.
- Piriz, M. & Casas, G. 1994. Occurrence of *Undaria pinnatifida* in Golfo Nuevo, Argentina. *J. Appl. Phycol. Forum*, **10**: 4.
- Rondina, R.V.D. & Coussio, J.D. 1989. Estudio fotoquímico de plantas medicinales Argentinas (1). *Rev. Invest. Agropec.*, **IV**: 351-366.
- Sánchez-Machado, D.I.; Lopez-Cervantes, J.; Lopez-Hernandez, J. & Paseiro-Losada, P. 2004. Fatty acids, total lipid, protein and ash contents of processed edible seaweeds. *Food Chem.*, **85**: 439-444.

- Servel, M.O.; Claire, C.; Derrien, A., Coiffard, L. & De Roeck-Holtzhauer, Y. 1994. Fatty acid composition of some marine microalgae. *Phytochemistry*, **36**: 691-693.
- Stuart, M.D. 2004. Review of research on *Undaria pinnatifida* in New Zealand and its potential impacts on the eastern coast of the South Island. *DOC Science Internal Series* 166, 41 pp.
- Uhrich, A.V.; Córdoba, O.L. & Flores, M.L. 2016. Especies de *Ulva* del Golfo San Jorge, Patagonia Argentina: variaciones bioquímicas estacionales - espaciales y su relación con la producción de metabolitos bioactivos. *Ars Pharmaceutica*, **57**: 67-75. doi: <http://dx.doi.org/10.4321/S2340-98942016000200005>.
- Uki, N.; Sugiura, M. & Watanabe, T. 1986. Dietary value of seaweeds occurring on the pacific coast of Tohoku for growth of the abalone *Haliotis discus hannai*. *Bull. Japan Soc. Sci. Fish.*, **52**: 257.
- Yoshie, Y.; Wang, W.; Hsieh, Y. & Suzuki, T. 2002. Compositional Difference of Phenolic Compounds between Two Seaweeds, *Halimeda* spp. *J. Tokyo University of Fisheries*, **88**: 21- 24.
- Yoshie-Stark, Y.; Hsieh, Y. & Suzuki, T. 2003. Distribution of flavonoids and related compounds from seaweeds in Japan. *J. Tokyo University of Fisheries*, **89**: 1-6.
- Zhang, H.; Pang, Z. & Han, C. 2014. *Undaria pinnatifida* (Wakame): A Seaweed with Pharmacological Properties. *Science International*, **2**: 32-36. doi: [10.17311/sciintl.2014.32.36](https://doi.org/10.17311/sciintl.2014.32.36).