



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA, BIOQUÍMICA Y FARMACIA



BIOLOGÍA Y ECOLOGÍA DE UN ALGA ROJA PERTENECIENTE AL COMPLEJO *PORPHYRA*/*PYROPIA* DE LA COSTA SUDBONAERENSE

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE LICENCIADA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS



ALUMNA: Milagros Schiebelbein.
DIRECTORA: María Emilia Croce.

Bahía Blanca, mayo 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA, BIOQUÍMICA Y FARMACIA



BIOLOGÍA Y ECOLOGÍA DE UN ALGA ROJA PERTENECIENTE AL COMPLEJO *PORPHYRA*/*PYROPIA* DE LA COSTA SUDBONAERENSE

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE LICENCIADA EN CIENCIAS
BIOLÓGICAS**

Firma del Alumno/a

Firma del Director/a

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por acompañarme en todos mis procesos con tanto amor.

A Fran, a quién elijo como familia y me apoya en todo lo que hago.

A M. Emilia Croce, por acompañarme desde el principio en todo este trabajo. Por enseñarme siempre con la mejor predisposición y responder todas mis dudas.

A M. Cecilia Gauna, por ser parte de todos los muestreos y ser parte de todo mi aprendizaje.

A todos los integrantes del laboratorio, por prestarme su lugar y acompañarme.

A mis amigos y amigas por compartir a lo largo de la carrera y regalarme tantos momentos hermosos en mi vida.

Al Consejo Interuniversitario Nacional (CIN), por otorgarme la beca de Estímulo a la vocación científica que me permitieron desarrollar esta tesis de grado.

Al Instituto de Investigaciones Bioquímicas de Bahía Blanca (INIBBB), por permitirme trabajar en sus instalaciones.

ÍNDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
MATERIALES Y MÉTODOS	5
Área de estudio	5
Muestreos en el ambiente	6
Trabajo de laboratorio	7
Análisis de datos	8
RESULTADOS	9
Distribución y modo de vida	9
Morfología de los talos	10
Abundancia y dinámica poblacional	13
DISCUSIÓN	16
CONCLUSIONES	19
BIBLIOGRAFÍA	20

RESUMEN

El orden Bangiales es un grupo taxonómico diverso de algas rojas multicelulares cuyas relaciones filogenéticas han sido revisadas numerosas veces desde su delimitación. Entre los géneros de Bangiales laminares, *Porphyra* y *Pyropia* son los más conocidos porque incluyen algunas de las especies de mayor importancia comercial en el mundo. Son algas que habitan en regiones altas del intermareal y están adaptadas a tolerar el estrés causado por desecación y alta temperatura durante los períodos de bajamar. El presente estudio tuvo como objetivo caracterizar y describir una especie perteneciente al complejo *Porphyra/Pyropia* que habita en la región intermareal del estuario de Bahía Blanca y determinar la variación temporal de la abundancia de los estadios macroscópicos. Para ello, se realizaron muestreos periódicos de la población en las rocas del intermareal superior de Puerto Rosales. Se realizaron muestreos destructivos mediante los cuales se evaluaron características morfológicas de los gametofitos y se cuantificó su biomasa, y muestreos no destructivos que permitieron realizar un seguimiento de la abundancia de talos en el ambiente a lo largo del periodo estudiado. La especie estudiada se caracterizó por tener talos foliosos monoestratificados muy finos y frágiles, con una variedad de formas y colores. Los gametofitos tuvieron una longitud entre 0,3 y 12 cm, un ancho entre 0,3 y 7 cm, y la lámina tuvo un espesor entre 23,75 μm y 50 μm . El número de talos cuantificados en el ambiente fue máximo en octubre y mínimo en marzo. A su vez, los talos colectados en invierno y primavera presentaron la mayor longitud y el mayor ancho. La población presentó el valor máximo de biomasa en el mes de octubre. La especie de *Porphyra/Pyropia* estudiada tiene poblaciones perennes en Puerto Rosales y su abundancia tiene una marcada estacionalidad, siendo el invierno y la primavera las estaciones de mayor número y biomasa de gametofitos. Se trata de una especie que difiere en sus características morfológicas y poblacionales de las restantes especies que se encuentran citadas para Argentina, por lo cual podría representar una nueva especie dentro de la flora bentónica marina de Argentina.

INTRODUCCIÓN

El orden Bangiales (Phylum Rhodophyta, Clase Bangiophyceae) es un grupo taxonómico muy diverso que incluye algas marinas con talos laminares y talos filamentosos (Graham et al. 2016). Las relaciones filogenéticas de los integrantes de este grupo han sido revisadas y redefinidas numerosas veces desde su delimitación (Brodie et al. 2008), y los estudios de marcadores moleculares más recientes sobre Bangiales demostraron que aún existe un gran número de especies sin describir (Sutherland et al. 2011), así como géneros nuevos que podrían delimitarse (Yang et al. 2020).

Entre las algas Bangiales de talos laminares, *Porphyra* y *Pyropia* son los géneros más conocidos porque incluyen algunas de las especies de macroalgas marinas de mayor importancia comercial en el mundo. Son algas ricas en proteínas y minerales (Nishizawa et al. 1987) y contienen grandes cantidades de vitamina B12 (Watanabe et al. 2014). Debido a su alto valor nutritivo, representan el cultivo marino vegetal de mayor comercialización a nivel mundial (Levine y Sahoo 2010) y es la macroalga de mayor valor en la maricultura mundial (Yarish et al. 1999). Los países asiáticos como Japón, Corea, China y Filipinas, son los mayores productores y consumidores, si bien también son explotadas en EEUU, Chile y en países de Europa.

Las macroalgas que se clasifican dentro de los géneros *Porphyra* y *Pyropia* tienen una morfología sencilla, están formados por láminas foliosas circulares o lineares que pueden medir desde unos centímetros hasta más de un metro. Las láminas pueden estar formadas por un solo estrato de células (monostromáticas o monoestratificadas) o por dos estratos de células (distromáticas), y están adheridas al sustrato por un disco basal rizoidal. El crecimiento de los talos puede ser apical o intercalar y suelen tener en cada célula un rodoplasto axial, estrellado, con un pirenoide central prominente (Boraso 2013).

El ciclo de vida de estas algas consiste en la alternancia de una generación macroscópica y una generación microscópica (Graham et al. 2016). La generación macroscópica está formada por gametofitos masculinos y femeninos haploides (láminas macroscópicas) que se reproducen sexualmente, y que mediante la producción de esporas diploides (cigótoporas) dan lugar a la generación diploide, que es el esporofito microscópico y filamentosos (estadio *conchocelis*) (Graham et al. 2016). Las esporas producidas por el estadio *conchocelis* regeneran los gametofitos foliosos haploides.

Las especies de *Porphyra* y *Pyropia* habitan en la mayoría de las costas rocosas del mundo, desde los trópicos hasta los polos, sin embargo, la mayoría se encuentran en las regiones boreales o en zonas con clima frío a templado (Lee 1999). Las poblaciones de *Porphyra* y *Pyropia* suelen ser anuales, apareciendo en invierno y primavera, sin embargo, los individuos de algunas especies persisten en verano, sobre todo en condiciones climáticas frías (Broom et al. 2010).

Desde el punto de vista ecológico, las especies de *Porphyra* y *Pyropia* son organismos intermareales adaptados para tolerar el estrés por desecación y temperatura causado por la exposición al aire y al sol durante los periodos de bajamar (Blouin et al. 2011). Por esta razón, algunas especies logran colonizar regiones altas del intermareal, ocupando un nicho que muy pocas algas pueden aprovechar (Lipkin et al. 1993). La mayoría de las especies habitan en zonas rocosas del intermareal superior. Dentro de esta zona, diversas variables ambientales como el aire, la temperatura, la humedad relativa, la radiación solar, la salinidad, la disponibilidad de nutrientes y la desecación, regulan su abundancia y persistencia poblacional. Todos estos factores afectan el equilibrio osmótico de las células de las algas y diversas funciones fisiológicas a nivel celular. Por ejemplo, la desecación provoca una disminución de los niveles de agua intracelular durante la exposición al aire, lo que a su vez conduce a alteraciones fisiológicas principalmente a través de la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS), que es una alteración común a diferentes tipos de estrés (Zapata et al. 2019). Las especies de Bangiales que habitan donde las condiciones ambientales fluctúan, tienen la capacidad de responder y adaptarse a los cambios mencionados. Estudios recientes han aportado evidencia de expresión y represión de genes inducibles por el estrés en especies de Bangiales, lo que representa un valioso recurso para los estudios sobre respuestas al estrés y al cambio climático (Mikami y Takahashi 2022).

Según la base de datos mundial de algas, hasta el momento se reconocen taxonómicamente 55 especies de *Porphyra* y 42 especies de *Pyropia* en todo el mundo (Guiry y Guiry 2023). En la bibliografía ficológica de Argentina, hay nueve especies reportadas, *Porphyra columbina*, *Po. argentinensis*, *Po. atropurpurea*, *Po. capensis*, *Po. linearis*, *Po. pujalsiae*, *Po. umbilicalis*, *Po. woolhouseae* y *Pyropia thuretii* (Guiry y Guiry 2023). De estas especies, cinco han sido descritas morfológicamente por Boraso (2013) y Piriz (1981, 1988), de las cuales, *Po. columbina* ha sido la más estudiada, en la provincia de Santa Cruz (Borasó de Zaixso y Zaixso 1998). *Po. columbina* se caracteriza por tener talos monostromáticos de color pardo amarillento a púrpura. La forma es desde lanceolada, de bordes lisos u ondulados hasta arrepollados en la senectud. En general, no superan los 15 cm de alto. El grosor del talo es muy variable, entre 55 y 150 μm , el cual depende de la edad y la desecación. Los talos jóvenes son más delgados y las zonas fértiles son más gruesas. En las zonas basales se desarrollan abundantes rizoides. Las células vegetativas miden de 8-19 μm de diámetro y 10-35 μm de alto. Los talos son monoicos; los espermacios se forman primero en paquetes de hasta 64 -128, estos de 2-8 μm de diámetro. Las zigosporas se ubican por dentro de la franja continua de espermacios y miden entre 15-25 μm de diámetro en vista superficial y 40-50 μm de alto en corte, formados por hasta 32- 64 zigosporas de 5-14 μm de diámetro (Borasó 2013).

El artículo de Sutherland et al. (2011) es el trabajo taxonómico más actual y completo sobre el orden Bangiales. En ese estudio, se identificaron 15 géneros de algas Bangiales, ocho de los cuales son filamentosos y siete son foliosos. El reconocimiento de especies y

géneros que no son distinguibles morfológicamente mediante métodos moleculares, es un patrón que en los estudios ficológicos es cada vez más común (Zuccarello 2011). Para esclarecer las relaciones filogenéticas y los límites entre especies, en particular, entre especies crípticas cuyas morfologías son similares pero difieren genéticamente, en los últimos años, se han utilizado datos moleculares. La integración de datos moleculares y fenotípicos permite obtener más información para comprender la biodiversidad, especialmente a escala regional (Dumilag y Yap 2018).

Durante diferentes relevamientos de la flora macroalgal de la costa sudbonaerense se han hallado poblaciones de especies laminares de Bangiales, posiblemente pertenecientes al complejo *Porphyra/Pyropia*, que habitan en las zonas más elevadas del intermareal (Negri et al. 2004, Fernández 2008, Croce et al. 2015, Paniagua 2015 y Croce et al. 2021). El hallazgo de estas algas en la costa del estuario de Bahía Blanca es relativamente reciente, por lo cual se desconocen hasta el momento las características biológicas y ecológicas de sus poblaciones. Debido al valor económico que tienen las especies de este grupo y al importante rol ecológico que pueden cumplir en el estuario de Bahía Blanca, resulta de importancia caracterizar morfológicamente a la especie y evaluar la dinámica temporal de sus poblaciones. Los objetivos de este estudio fueron:

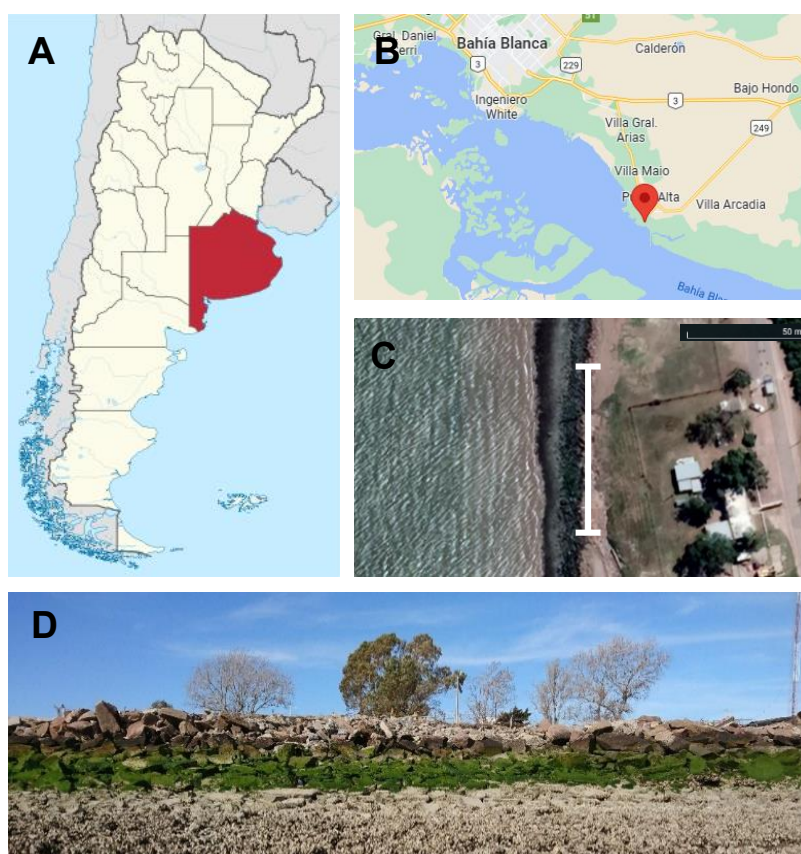
1. Caracterizar a la especie perteneciente al complejo *Porphyra/Pyropia* que habita en la región intermareal del estuario de Bahía Blanca mediante rasgos morfológicos vegetativos y reproductivos.
2. Evaluar la variación temporal de la abundancia de los estadios macroscópicos.
3. Determinar si existe una asociación de las algas con el nivel de rugosidad de la superficie de las rocas donde habitan.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El estudio se realizó en una costa del estuario de Bahía Blanca ubicada en Puerto Rosales (38°55'S; 62°04'O) (Figura 1). El clima de la región es templado y húmedo, con una precipitación media anual de 460,5 mm y una temperatura media anual de 15,6°C (Piccolo y Diez 2004). El régimen de mareas es semidiurno, con una pleamar media de 3,94 m y una bajamar media de 3,05 m.

Puerto Rosales forma parte del complejo de puertos del estuario de Bahía Blanca al cual se accede a través de un canal principal que posee una longitud de 97 km, un ancho de 190 m y una profundidad promedio de 10 m (Alamo et al. 2016). El terraplén del puerto tiene una extensión de 0,68 km (Alamo et al. 2016) y en su costa oeste está formado por una playa de arena que se continúa en la parte superior con rocas graníticas. Las rocas son depositadas por el hombre para evitar la erosión de la costa por acción del mar. Los muestreos se realizaron a lo largo de 60 m en el intermareal superior sobre las rocas donde habita la población de *Porphyra/Pyropia* objeto de este estudio (Figura 1).



Muestreos en el ambiente

Se realizaron muestreos periódicos de la población (cada 30 - 40 días aproximadamente) entre octubre de 2021 y septiembre de 2022, durante el periodo de marea baja cuando las rocas se encontraban descubiertas. La variación de la abundancia de la población de algas se cuantificó mediante muestreos destructivos, que consistieron en la cosecha de talos, y muestreos no destructivos que se basaron en el seguimiento de los talos en el ambiente.

Para el muestreo no destructivo se seleccionaron rocas al azar ($n=5$) y se identificaron con un número utilizando pintura en aerosol. En cada una se delimitó una parcela de 10 cm de lado que se identificó con marcas de pintura. En cada parcela se contó el número de individuos durante cada muestreo (Figura 2A). Para el muestreo destructivo se seleccionó otro grupo de rocas al azar ($n=5$), en las cuales se cosecharon los talos de *Porphyra*/*Pyropia* presentes en parcelas de 10 cm de lado. Las algas se trasladaron al laboratorio refrigeradas en frascos plásticos.

Para determinar el nivel de rugosidad de las rocas, que se define como el grado de irregularidad o aspereza de la superficie, se utilizó un rugosímetro o peine de Barton (Figura 2B). Luego de cosechar las algas en cada parcela se midieron cuatro perfiles de 10 cm de largo con el rugosímetro.

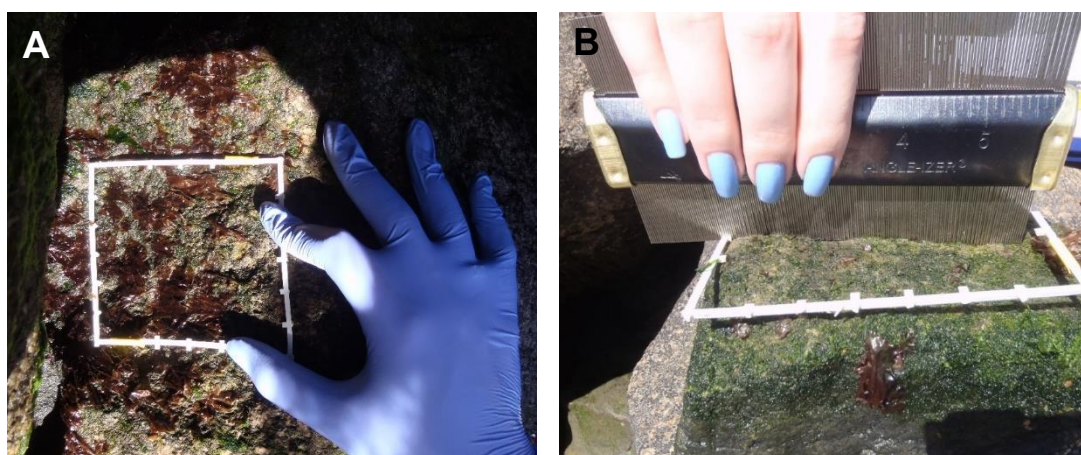


Figura 2. A. Parcela empleada para cuantificar y cosechar individuos. B. Rugosímetro (o peine de Barton) utilizado para determinar la rugosidad de las rocas.

El criterio de rugosidad que se utilizó fue el de resistencia al corte de Barton-Bandis (Barton y Choubey 1977, García-Fernández et al. 2022). Este criterio determina la rugosidad a través del coeficiente JRC (Joint Roughness Coefficient), que es un valor numérico comprendido entre 0 y 20. Los valores de JRC se estiman comparando visualmente la geometría de la discontinuidad obtenida mediante el peine de Barton (Barton y Choubey 1977, García-Fernández et al. 2022). Se obtuvieron 180 perfiles de rugosidad a lo largo del total de los muestreos. Cada perfil obtenido se reprodujo sobre un papel y posteriormente se midió la

rugosidad más profunda en milímetros. Teniendo en cuenta este valor y el largo del perfil (10 cm) se determinó el valor correspondiente de JRC.

Tabla 1. Categorías de rugosidad según el índice JRC (Barton y Choubey 1977) y la clasificación de Marchena y Elmer (2018).

JRC	Tipo de roca
0 - 2	espejo de falla
2 - 4	lisa
4 - 6	lisa
6 - 8	ligeramente rugosa
8 - 10	ligeramente rugosa
10 - 12	ligeramente rugosa
12 - 14	rugosa
14 - 16	rugosa
16 - 18	muy rugosa
18 - 20	muy rugosa

Para reconocer las características morfológicas vegetativas y reproductivas de los talos macroscópicos de la especie, durante cada muestreo se recolectaron además, 10 individuos al azar. Los talos se trasladaron al laboratorio en recipientes refrigerados.

Durante cada muestreo, se midió la temperatura y la radiación fotosintéticamente activa (PAR) para determinar los niveles a los que está expuesta la población. La radiación se midió con un radiómetro Quantum-Meter MQ-200 (Apogee Instruments®) y la temperatura con un datalogger ONSET HOBO MX2202.

Trabajo de laboratorio

Las láminas de *Porphyra/Pyropia* cosechadas se lavaron con agua de mar filtrada para remover sedimento y organismos epifitos. Los talos colectados para observaciones morfológicas se fijaron con una solución a base de etanol 96%, ácido acético y formaldehído 40% en la proporción 8:1:1 (FAA). Las observaciones se realizaron con una lupa estereoscópica Stemi 305 (ZEISS, Germany) y con un microscopio óptico AXIO LAB (ZEISS, Germany) y se obtuvieron fotografías con una cámara AxioCam ERc5s (ZEISS, Germany).

Se separaron fragmentos de distintas partes de la lámina y se realizaron cortes a mano alzada con bisturí, con los cuales se realizaron preparados semipermanentes utilizando una solución de miel de maíz Karo® 50% y unas gotas de formaldehído 2,5%. Se evaluaron los siguientes caracteres morfológicos:

- tamaño de la lámina (largo máximo y ancho máximo)
- color y forma de la lámina
- número de capas celulares y características del margen
- espesor de la lámina

- tamaño de las células de las regiones basal, media y apical de la lámina
- tamaño de los gametangios femeninos
- tamaño de los gametangios masculinos (espermatangios)
- tamaño de los cigotosporangios

Para los espermatangios se determinó la fórmula de Hus como $a \times b \times c$, donde a y b es el número de espermacios por espermatangio observables en vista superficial y c es el número de capas de espermacios observables en corte transversal (Boraso 2013). Las medidas de los caracteres vegetativos y reproductivos se obtuvieron utilizando el programa ImageJ (Schneider et al. 2012).

Algunos de los individuos recolectados se preservaron herborizados como ejemplares de referencia de la especie y se depositaron en el Herbario BBB de la Universidad Nacional del Sur.

Los talos cosechados en las parcelas se utilizaron para cuantificar el número de individuos por parcela y para estimar la biomasa en peso seco (PS) por parcela. Para ello, los talos se secaron al aire durante una semana hasta alcanzar peso constante y se pesaron en una balanza de 0,0001 gramos de precisión.

Análisis de datos

Las variaciones mensuales de: número de individuos por parcela, peso seco por parcela y tamaño de las células, se analizaron mediante ANOVA. Las variaciones temporales de largo y ancho de la lámina se evaluaron por estaciones del año, se analizaron mediante ANOVA y comparaciones de Tukey (Sokal y Rohlf 1986). Los análisis estadísticos se realizaron con el programa PAST (Hammer et al. 2001).

RESULTADOS

Distribución y modo de vida

La población de la especie perteneciente al complejo *Porphyra/Pyropia* estudiada abarcó una franja de 4,4 m de ancho, paralela a la costa en el intermareal superior. El hábito de las láminas fue mayormente epilítico, ya que se encontraron adheridas a las rocas graníticas, sin embargo, frecuentemente se encontraron láminas sujetas a restos de tanza (Figura 3). Durante marea baja, los talos se encontraron completamente deshidratados. Las láminas fueron mayormente solitarias, aunque se encontraron también láminas gregarias, donde más de una salía del mismo punto de adhesión.

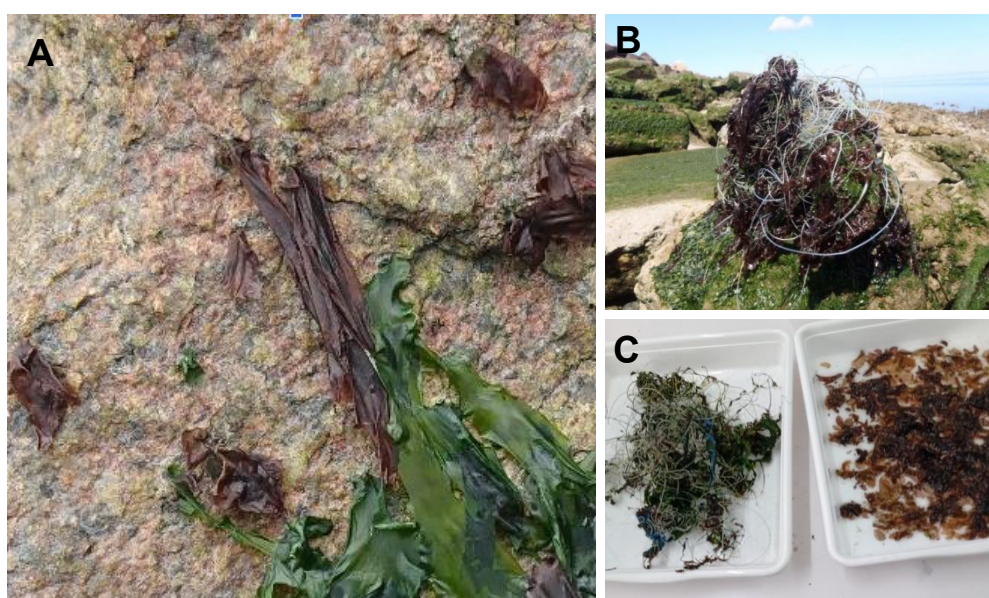


Figura 3. Hábito de los talos de *Porphyra/Pyropia*. **A.** Hábito epilítico. **B.** Talos adheridos a restos de tanza. **C.** Talos obtenidos a partir de la limpieza de la tanza.

El perfil de rugosidad de las rocas en las que estaban adheridas las láminas de *Porphyra/Pyropia*, obtuvo valores entre 2 y 6 JRC en los 180 perfiles obtenidos, correspondiendo todos a rocas lisas, es decir que no hubo diferencias de rugosidad de las rocas evaluadas (Figura 4).

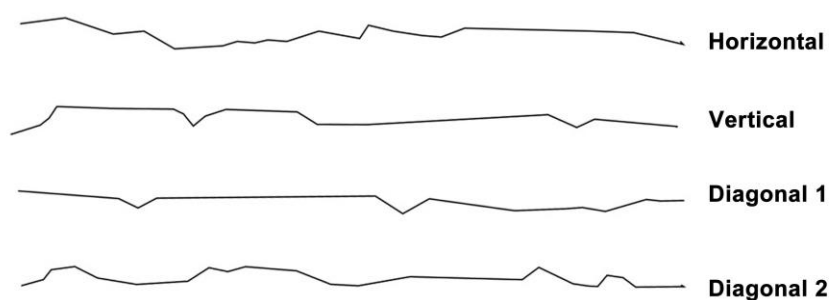


Figura 4. Ejemplo de perfiles de rugosidad medidos en una parcela en noviembre de 2021.

Morfología de los talos

La especie de *Porphyra/Pyropia* estudiada, se caracterizó por tener talos foliosos muy finos y frágiles, de hasta 12 cm de largo y 7 cm de ancho, compuestos por un único estrato de células (talos monoestratificados). Las láminas se encontraron sujetas a las rocas por un pequeño disco basal sin estipe. Las láminas presentan una variedad de formas, redondeadas, ovaladas, en abanico o lineal-lanceolada, con los márgenes algo ondulados y generalmente rasgados (Figura 5). El color es variable, desde rojo oscuro/bordó a rosado, y en las láminas senescentes es anaranjado. El margen de la lámina, presentó denticiones formadas por una única célula (Figura 6). El espesor de la lámina varió entre 23,75 μm y 50 μm .



Figura 5. Diversidad de formas de las láminas de *Porphyra/Pyropia*.

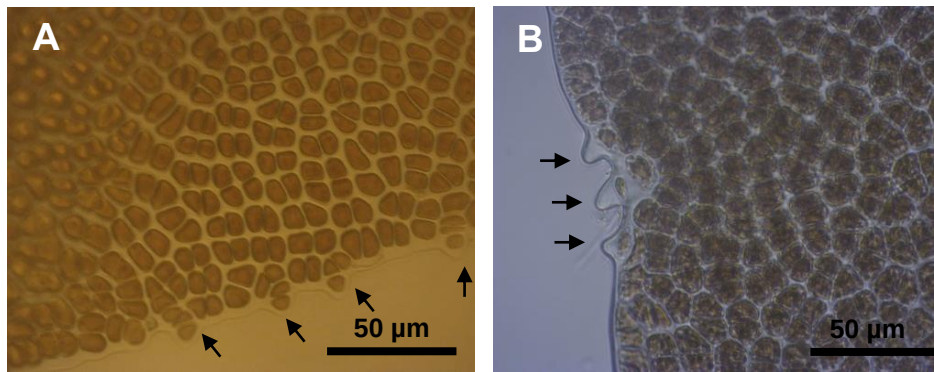


Figura 6. A-B. Vista superficial del margen de la lámina con denticiones (flechas).

La región basal de la lámina está compuesta de células rizoidales en forma de pera y un extremo largo y delgado proyectado hacia el disco basal (Figura 7A). La parte basal de la lámina se continúa luego con una pequeña zona de transición de células casi isodiamétricas, seguido por una zona media de células vegetativas (Figura 7B). La región marginal de la lámina contiene gametangios diferenciados en los talos fértiles, (Figura 7C) desde dónde se liberan los espermacios (Figura 7D).

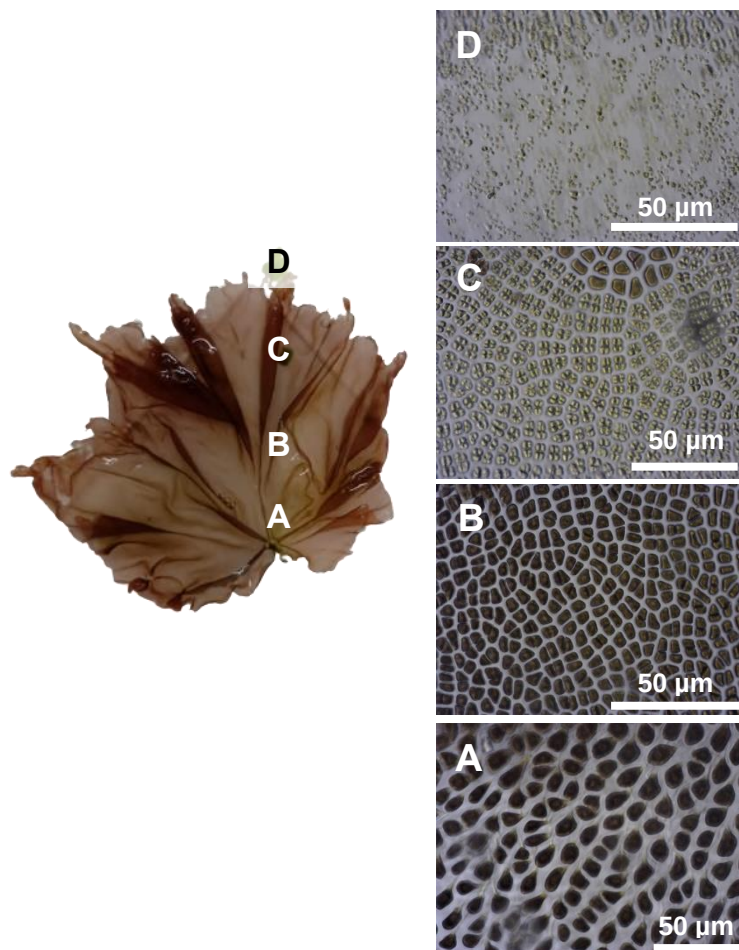


Figura 7. Anatomía de los talos de *Porphyra/Pyropia*. **A.** Región basal con células rizoidales. **B.** Zona media de células vegetativas. **C.** Región marginal con espermatangios. **D.** Espermacios liberados.

El diámetro de las células es diferente según su ubicación en la lámina (tabla 2); ($p < 0,05$; $F = 138,9$), teniendo un mayor diámetro las células de la región basal (promedio: $12,06 \mu\text{m}$; máx.: $27,8 \mu\text{m}$; min: $4,2 \mu\text{m}$). Hubo diferencias significativas en el tamaño de las células entre los distintos meses de muestreo ($p < 0,05$; $F = 201,7$), teniendo un mayor tamaño las correspondientes al mes de septiembre.

Tabla 2. Tamaño promedio de las células de la lámina (valores expresados en μm). Los asteriscos representan valores estadísticamente significativos ($p < 0,05$).

Región de la lámina	Oct	Nov	Dic	Feb	Mar	May	Jul	Ago	Sep	Promedio $\pm$ desvío
Base	17,7	5,9	9,2	4,2	7,1	13	8,3	15,4	27,8*	$12,06 \pm 7,40^*$
Medio	14,3	2,8	4,4	3,3	3,8	12,2	9,8	3,5	15,9	$7,77 \pm 5,27$
Margen	11,2	9,3	3,8	3	2,8	10,8	8,8	3,5	14,8	$7,55 \pm 4,39$

Los talos fueron presumiblemente dioicos ya que los gametangios masculinos se encontraron en láminas diferentes a las que presentaron los gametangios femeninos. Los gametangios masculinos se observaron en parches irregulares ubicados a partir de la parte media de la lámina hasta los márgenes (Figura 8A y 8B), se encontraron en paquetes de a/2 b/4 c/4 (Figura 8C y 8D). El tamaño de los gametangios masculinos fue en promedio de $14,3 \mu\text{m}$ en vista superficial.

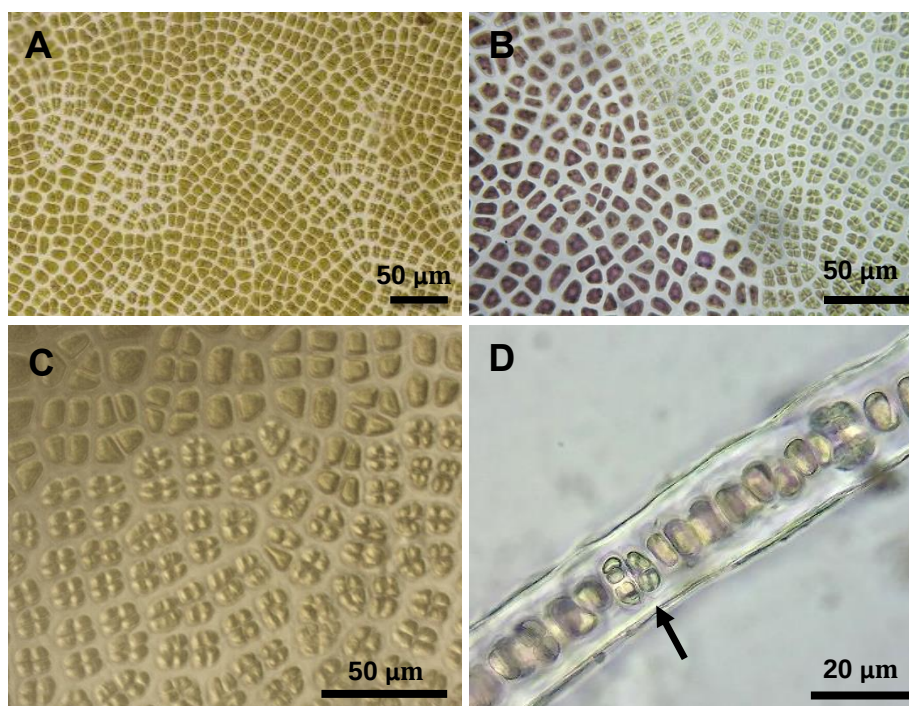


Figura 8. Gametangios masculinos. **A.** Parches irregulares dispersos en la lámina. **B.** Espermatangios en el margen de la lámina. **C:** Detalle de los espermacios en paquetes (vista superficial). **D:** Paquetes de espermacios en vista transversal (flecha).

Los gametangios femeninos se posicionaron en parches sobre el margen y tuvieron un tamaño promedio de 32,75 μm en vista superficial (Figura 9A y 9B). Los cigotosporangios se posicionaron sobre los márgenes de la lámina (Figura 9C) y su tamaño promedio fue de 42 μm en vista superficial, a partir de estos, se liberaron cigotosporas con forma de gota (Figura 9D).

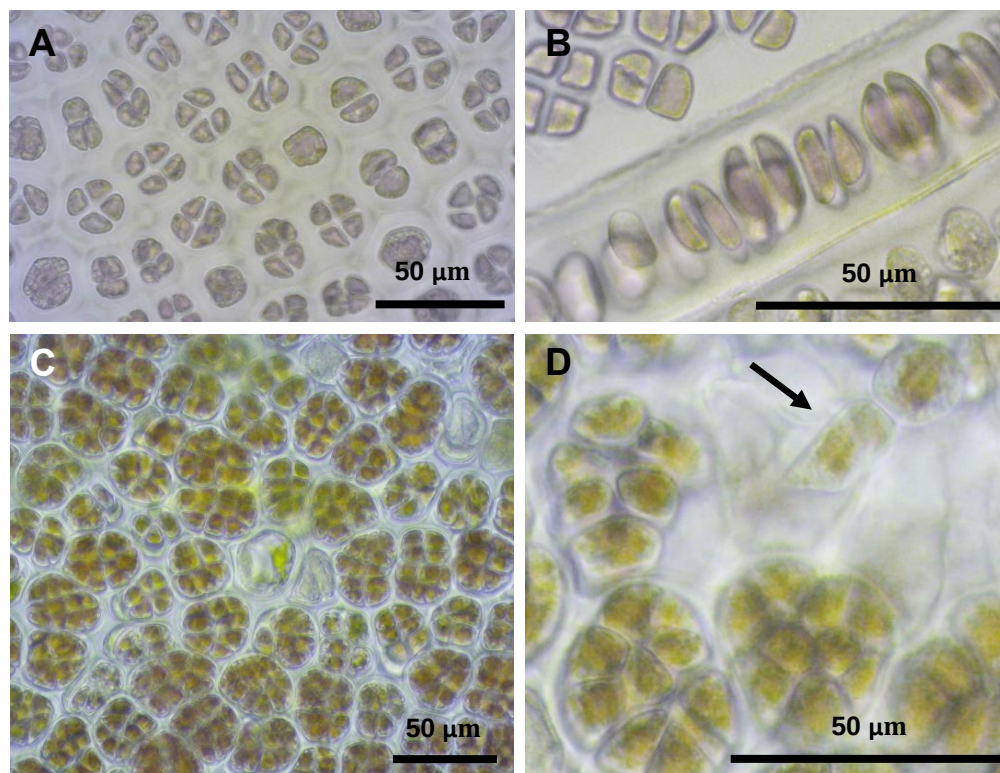


Figura 9. Gametangios femeninos. **A.** Parches de gametangios en vista superficial de la lámina. **B.** Gametangios femeninos en vista transversal. **C.** Cigotosporangios. **D.** Flecha señalando una cigotospora.

Abundancia y dinámica poblacional

El número de talos cuantificados en las parcelas no cosechadas presentó diferencias significativas entre los diferentes meses ($p < 0,05$; $F=5,32$). Fue máximo en octubre (primavera) y luego disminuyó, alcanzando su valor mínimo en marzo (otoño). A partir del mes de mayo, se registró un incremento en el número de talos por parcela que continuó hasta septiembre (Figura 10).

Los resultados indicaron que hubo diferencias significativas en la longitud de los talos entre las diferentes estaciones del año ($p < 0,05$; $F=44,94$). El largo varió entre 0,3 y 12 cm, siendo más largos los talos de invierno ($p < 0,05$). El ancho de los talos varió entre 0,3 cm y 7 cm, y hubo diferencias significativas entre las distintas estaciones del año ($p < 0,05$; $F=43,41$), siendo más anchos los talos del invierno ($p < 0,05$) (Figura 11).

En la figura 12 se presentan los resultados obtenidos de biomasa por parcela. Hubo diferencias significativas de biomasa entre los meses ($p<0,05$; $F=11,32$). En el gráfico se observa que el valor máximo correspondió al mes de octubre (estación de primavera). La biomasa fue menor en los siguientes meses de noviembre a marzo (primavera y verano) y en el mes de mayo comenzó a tener valores más altos nuevamente (estación de otoño).

El número de talos en parcelas cosechadas fue similar a lo largo del año (Figura 13), y no hubo una tendencia a la disminución hacia los meses cálidos ($p>0,05$; $F=1,23$), a diferencia de la tendencia observada en el seguimiento de individuos en parcelas no cosechadas.

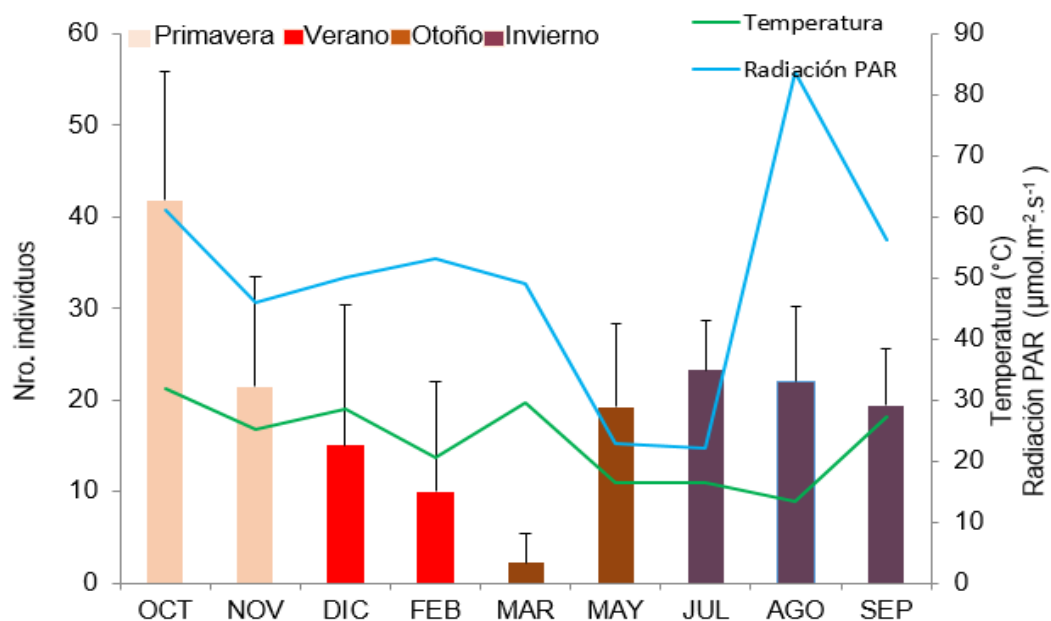


Figura 10. Variación temporal del número de individuos por parcela de *Porphyra/Pyropia* (muestreos no destructivos).

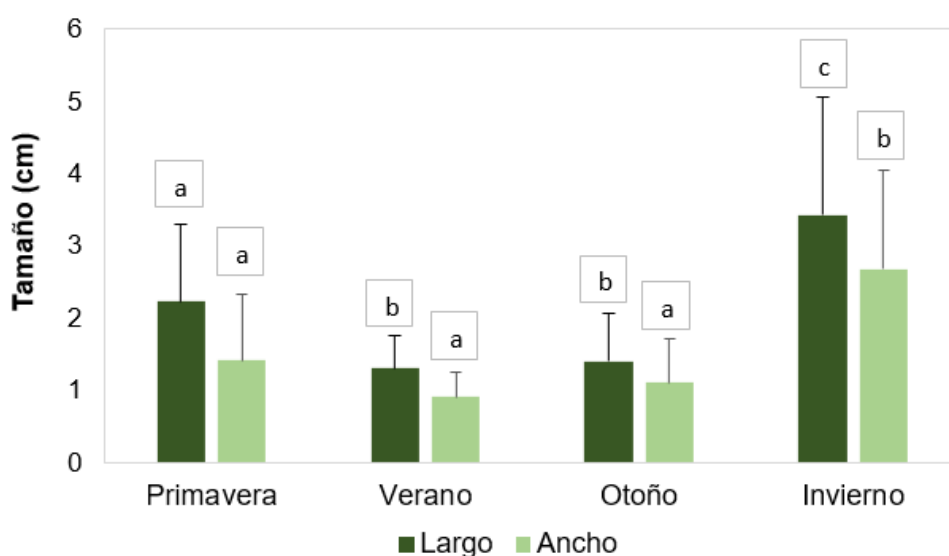


Figura 11. Valores promedio de ancho y largo de los talos de *Porphyra/Pyropia* en las diferentes estaciones del año.

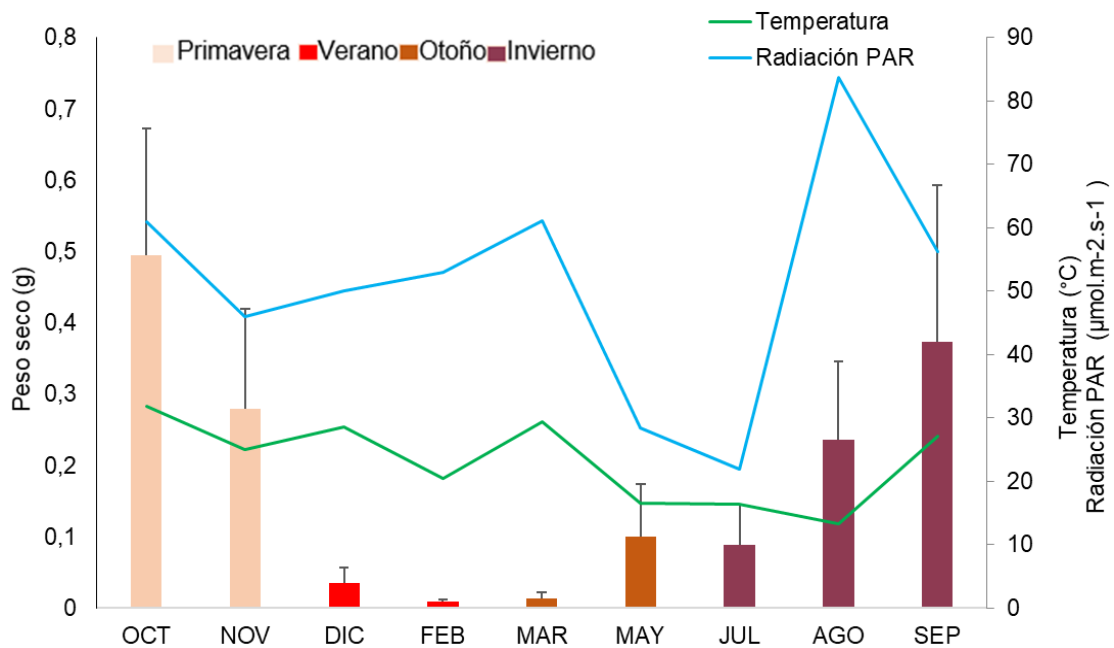


Figura 12. Variación temporal de la biomasa de *Porphyra/Pyropia* (muestreos destructivos).

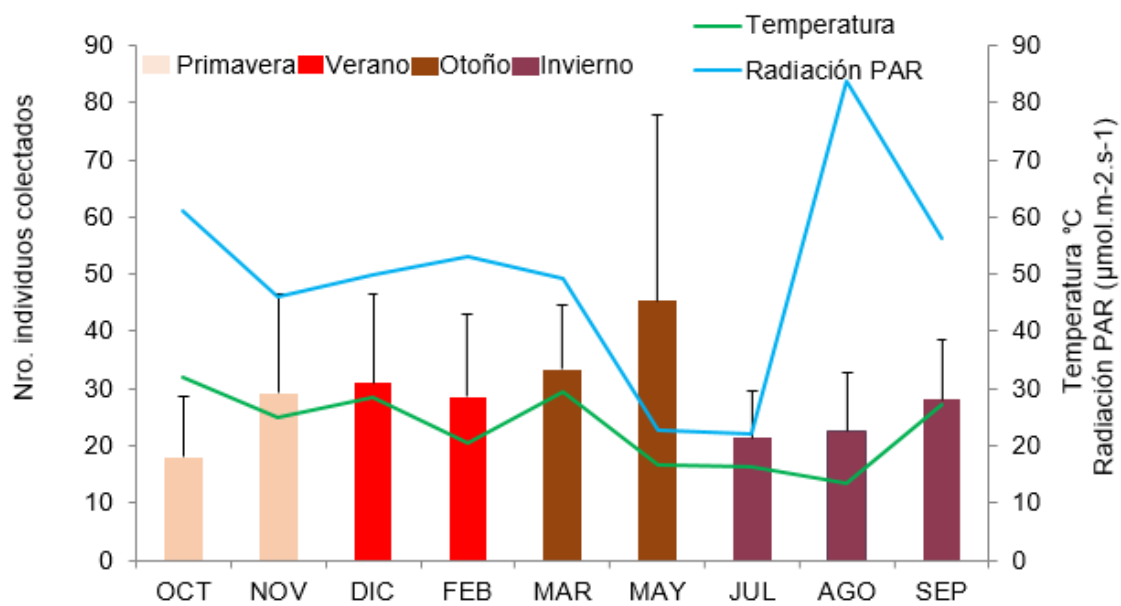


Figura 13. Variación temporal del número de individuos de *Porphyra/Pyropia* (muestreos destructivos).

DISCUSIÓN

Este trabajo de tesis constituye el primer estudio de un alga foliosa del orden Bangiales de la región costera del suroeste de la provincia de Buenos Aires que integra aspectos morfológicos y poblacionales. Si bien se sabe que existen varias poblaciones de especies foliosas y filamentosas de Bangiales ya que aparecen registradas en algunas publicaciones de la región (Negri et al. 2004, Fernández 2008, Paniagua 2015, Croce et al. 2021), no existen trabajos previos que describan las características morfológicas de estas algas ni su dinámica poblacional. Los resultados obtenidos durante este trabajo, permitieron describir la morfología de una especie foliosa que habita en la costa de Puerto Rosales de la cual no se conocía su existencia hasta hace unos pocos años, y determinar la variación temporal de la abundancia de su población a lo largo de las distintas estaciones del año. Estos resultados contribuyen al conocimiento de la flora bentónica de la región y aportan información necesaria para comprender la diversidad de este grupo de algas en Argentina.

La ubicación de la población en el intermareal superior coincidió con la posición que ocupan otras especies nativas de Bangiales como por ejemplo *Pyropia columbina* y *Porphyra argentinensis*, que al igual que la especie estudiada en Puerto Rosales, tienen hábitos epilíticos y se adhieren a las rocas a través de rizoides (Piriz 1981, Boraso de Zaixso y Zaixso 1998). A diferencia de otras especies de Bangiales que tienen hábitos epifitos y son submareales como *Porphyra woolhouseae* y *Porphyra plocamiestris* (Skottsberg 1923, Lamb y Zimmerman 1977), la especie estudiada no se encontró adherida a otras especies de macroalgas ni a otros organismos bentónicos. Si bien el hábito fue exclusivamente epilítico, es interesante destacar que los talos tuvieron una fuerte afinidad por los sustratos artificiales de nylon como las tanzas de pesca.

La rugosidad del sustrato no presentó variaciones entre las diferentes rocas estudiadas, por lo que no se pudo determinar si los talos macroscópicos de *Porphyra/Pyropia* se asocian de manera diferencial a las irregularidades del sustrato. Esto puede deberse a que la resolución del método empleado para evaluar la rugosidad del sustrato no fue lo suficientemente alta para detectar variaciones en la microtopografía del sustrato, por lo que es recomendable utilizar metodologías que se adecuen a escalas más pequeñas.

Como describe Sutherland et al. (2011), los géneros *Porphyra* y *Pyropia* incluyen especies que muestran una amplia variedad de formas morfológicas, un amplio espectro de colores y al menos cuatro formas diferentes de distribución de los gamentangios en los talos gametofíticos. Esto explica las variaciones de forma y color observadas en la especie estudiada.

Las células vegetativas que conformaron la lámina de la especie de *Porphyra/Pyropia* estudiada fueron de diferente tamaño según la región de la lámina en la cual se encontraban (basal, media o marginal). Las células de la región basal fueron más grandes que las demás

células de la lámina. Esta característica es común en la mayoría de las especies de algas Bangiales foliosas (Royer et al. 2018). Las células vegetativas cercanas al disco basal presentan una forma más redondeada que las células de otras regiones de la lámina y además tienen una prolongación alargada que se extiende hacia el disco basal, conformando células rizoidales.

Las características observadas en la especie estudiada fueron diferentes a las de otras especies de Bangiales foliosas que habitan en Argentina (Tabla 3). Si comparamos las formas de la lámina (redondeadas, ovaladas, en abanico o lineal-lanceolada), son similares a *Po. Columbina*, *Po. argentinensis* y *Po. pujalsiae* pero difieren ampliamente de *Po. woolhousae* y *Po. linearis*, ya que estas presentan formas acintadas. Dado que estas especies (*Po. columbina*, *Po. argentinensis*, *Po. pujalsiae* y *Po. woolhousae*) son monostromáticas al igual que la especie estudiada, las diferencias de espesor entre estas especies puede ser deberse a otros factores como la retención de agua de la lámina. Por ejemplo, se sabe que el espesor de la lámina de *Po. columbina* tiene variaciones debido a la diferencia de agua retenida por la lámina (Boraso de Zaixso y Zaixso 1998). Otra diferencia de la especie estudiada con las ya mencionadas, fueron las denticiones presentes en el margen de la lámina.

Tabla 3. Comparación de las dimensiones de la lámina de la especie estudiada y las especies presentes en Argentina (Boraso 2013).

	<i>Porphyra/Pyropia</i> (este estudio)	<i>Porphyra columbina</i>	<i>Porphyra argentinensis</i>	<i>Porphyra linearis</i>	<i>Porphyra pujalsiae</i>	<i>Porphyra woolhouseae</i>
Longitud (cm)	0,3 - 12	4,6 - 26,7	4 - 20	25	8	17
Ancho (cm)	0,3 - 7	2,2 - 22,9	2 - 8	2	5	4
Espesor (µm)	23,75 - 50	50 - 145	40 - 70	40	30 - 45	16 - 20

La población de *Porphyra/Pyropia* estudiada presentó una marcada estacionalidad en Puerto Rosales, ya que alcanzó su máximo desarrollo en las estaciones de invierno y primavera. Tanto la mayor biomasa como el mayor número de talos (cuantificados en las parcelas no cosechadas) coincidieron con los meses de las estaciones más frías del año. A pesar de ello, el número de talos cuantificados en las parcelas cosechadas no mostró variación a lo largo del año, siendo similar en el período templado/frío respecto del período cálido. Esta tendencia indicaría que la población presenta varios períodos de reclutamiento de nuevos individuos a lo largo de las estaciones. Algunos autores han demostrado que el estrés ambiental puede inducir la producción de propágulos asexuales en algunas especies de *Porphyra* (Takahashi y Mikami 2017, Mikami y Takahashi 2022). El reclutamiento constante observado en la población de *Porphyra/Pyropia* estudiada, incluso en la estación cálida, puede haber ocurrido mediante reproducción asexual inducida por las altas temperaturas y radiación.

Este patrón poblacional puede ser indicador de una estrategia para incrementar el número de gametofitos y aumentar así capacidad de reproducción sexual como se ha observado en especies de *Porphyra* (Mikami et al. 2012). Pese a que el reclutamiento fue constante, es evidente que los individuos reclutados en los meses cálidos alcanzaron tamaños menores que los individuos reclutados en los meses templados/fríos. Si bien los talos estuvieron presentes durante todos los meses estudiados, los individuos alcanzan tamaños mayores en los meses templados y fríos, generando una mayor biomasa.

Muchas especies de algas Bangiales foliosas presentan una marcada estacionalidad, por ejemplo, los talos macroscópicos de las especies *Pyropia elongata* y *Pyropia koreana* del mar Mediterráneo se encuentran desde el invierno hasta la primavera y desaparecen completamente en mayo cuando se acerca el verano (Vergés et al. 2013). Si comparamos la dinámica poblacional de la especie estudiada con otras especies de Bangiales foliosas de Argentina, la dinámica es similar. Los gametofitos macroscópicos de la especie *Porphyra argentinensis*, se encuentran desde el otoño a la primavera, y desaparecen en verano en las costas de Santa Cruz (Piriz 1981). La especie estudiada en Puerto Rosales coincide en el período de máxima abundancia de otras especies citadas en Argentina (Boraso 2013), sin embargo, a diferencia de ellas, los talos foliosos de la especie estudiada fueron perennes, y no desaparecieron en el verano. Estos resultados sugieren que la especie de Puerto Rosales es muy tolerante a las altas temperaturas y radiación solar de las épocas cálidas, pudiendo ser un organismo de gran interés para ser utilizado como modelo en estudios de estrés ambiental.

CONCLUSIONES

- Las láminas de la especie estudiada pertenecen al complejo *Porphyra/Pyropia* ya que son foliosas, monoestratificadas, muy finas y frágiles y presentan variación de forma y de color, siendo de mayor tamaño en invierno y primavera.
- Las características morfológicas observadas coinciden con caracteres anatómicos tanto de especies de *Porphyra* como de *Pyropia*, por lo cual es imprescindible realizar estudios de ADN para determinar la identidad taxonómica de esta especie y su relación con otros taxa de Bangiophyceae.
- La especie estudiada, difiere en sus características morfológicas y poblacionales de las especies de bangiales foliosas registradas en Argentina sugiriendo que puede tratarse de una especie nueva para la flora bentónica Argentina.
- La población de *Porphyra/Pyropia* estudiada es perenne en la costa de Puerto Rosales, sin embargo, su abundancia presenta una marcada estacionalidad, siendo el invierno y la primavera las estaciones de máxima abundancia de talos foliosos.

BIBLIOGRAFÍA

- Alamo M., Hernán Omar D., Laurino A., Ríos G., Chalier G., Izarra L., Mairal M., Britos A., Magallanes V., Chaile E., Ávila M., Spadini L., Cano C., González M., Ruiz C., Alberto A., Peralta L., Ortiz J., Biancucci D., Martín S., Pessoa G., Valdés C., Pérez V., Villalba R. y Ravello J. 2016. *Punta Alta y Coronel Rosales: geografías para construir el territorio desde la perspectiva local*. Buenos Aires: Centro de Estudios Geográficos "Florentino Ameghino".
- Barton N. y Choubey V. 1977. The shear strength of rock joints in theory and practice. *Rock Mechanics*, 10: 1–54.
- Blouin N.A., J.A. Brodie A.C. Grossman P. Xu y Brawley S.H. 2011. *Porphyra*: a marine crop shaped by stress. *Trends Plant Sci.* 16: 29–37.
- Boraso de Zaixso A. y Zaixso H. 1998. *Porphyra columbina* (Rhodophyta). I. Morfología y distribución vertical en Punta Maqueda (Provincia de Santa Cruz, Argentina). *Physis*, Secc. A, 55: 1-7.
- Boraso A. 2013. *Elementos para el estudio de las macroalgas marinas de Argentina*. EDUPA, 212 pp.
- Brodie J., Mortensen A.M., Ramirez M.E., Russell S. y Rinkel B. 2008. Making the links: towards a global taxonomy for the red algal genus *Porphyra* (Bangiales, Rhodophyta). *Journal of Applied Phycology*, 20: 939-949.
- Broom J., Nelson W., Farr T., Phillips L. y Clayton M. 2010. Relationships of the *Porphyra* (Bangiales, Rhodophyta) flora of the Falkland Islands: a molecular survey using rbcL and nSSU sequence data. *Australian Systematic Botany*, 23: 27–37.
- Croce M.E., Gauna M.C., Fernández C. y Parodi E.R. 2015. Intertidal seaweeds from North Atlantic Patagonian coasts, Argentina. Check List, *The Journal of Biodiversity Data*, 11: 1-8.
- Croce M.E., Gauna M.C., Fernández C., Poza A.M. y Parodi E.R. 2021. Biology and Ecology of the Benthic Algae. En: Fiori, S.M., Pratolongo, P.D. (eds) *The Bahía Blanca Estuary*. Springer, Cham.
- Dumilag R. y Yap S. 2018. *Pyropia lunae* sp. nov. and *Pyropia islae* sp. nov. (Bangiales, Rhodophyta) from the Philippines. *Botanica Marina*, 61: 1-14.
- Fernández J. 2008. *Comunidades macroalgales bentónicas de Pehuen Co (Buenos Aires)*. Tesis de Grado. Departamento de Biología, Bioquímica y Farmacia. Universidad Nacional del Sur, 51 pp.
- García-Fernández M., García-Luna R., Senent S. y Jimenez, R. 2022. Caracterización de la rugosidad en taludes mediante técnicas fotogramétricas y su influencia en la estabilidad frente al deslizamiento. *X Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables*.

- Graham L.E., Graham J.M., Wilcox L.W. y Cook M.E. 2016. *Algae*. LJLM Press.
- Guiry M.D. y Guiry G.M. 2023. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>.
- Hammer Ø., Harper D.A.T. y Ryan P.D. 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4: 9pp.
- Lamb I. y Zimmermann M. H. 1977. Benthic marine algae of the Antarctic Peninsula. A preliminary guide to the commoner benthic marine algae of the antarctic Peninsula and adjacent Islands. *Biology of the Antarctic Seas 5. Antarctic Res. Ser.*, 23: 129-229.
- Lee R.E. 1999. *Phycology*. Cambridge University Press, Cambridge, 547 pp.
- Levine I.A. y Sahoo D. 2010. En: *Porphyra: Harvesting Gold from the Sea*; I. K. International Publishing House Pvt. Ltd.: New Delhi.
- Lipkin Y., Beer S. y Eschel A. 1993. The ability of *Porphyra linearis* (Rhodophyta) to tolerate prolonged periods of dedication. *Botanica Marina*, 36: 517-523.
- Marchena L. y Elmer J. 2018. *Estimación del comportamiento de parámetros geomecánicos aplicando técnicas geoestadísticas en la concesión Mi Grimaldina 1, caserío de Piñipata, Hualgayoc-Cajamarca*. [Título profesional, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/3034>
- Mikami Koji, Li L. y Takahashi M. 2012. Monospore-based asexual life cycle in *Porphyra yezoensis*. *Frontiers in Physiological and Molecular Biological Research*. Nova Science Pub Inc. 205 pp.
- Mikami K. y Takahashi M. 2023. Life cycle and reproduction dynamics of Bangiales in response to environmental stresses. *Seminars in Cell & Developmental Biology*, 134: 14-26.
- Negri R.M., Benavides H.R. y Akselman R. 2004. Algas del litoral marplatense. En: *La Vida Entre Mareas: vegetales y animales de las costas de Mar del Plata, Argentina*. Boschi, E.E. y Cousseau M.B. (Eds.). Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero (INIDEP). Mar del Plata, Argentina, 73-86 pp.
- Nishizawa K., Noda H., Kikuchi R. y Watanabe T. 1987. The main seaweed foods in Japan. *Hydrobiology*, 151/152: 5-29.
- Paniagua G. 2015. *Dinámica costera y ecología de comunidades macrobentónicas intermareales de Pehuen Co, Provincia de Buenos Aires*. Tesis de grado. Universidad Nacional del Sur, 90 pp.
- Piccolo M. y Diez P. 2004. Meteorología del Puerto Coronel Rosales. Piccolo, M. y Hoffmeyer S. (Eds.). Ecosistemas del Estuario de Bahía Blanca. Bahía Blanca, Argentina, 87-90 pp.
- Piriz M.L. 1981. A new species and a new record of *Porphyra* (Bangiales, Rhodophyta) from Argentina. *Botanica Marina*, 24: 599-602.
- Piriz M.L. 1988. *Porphyra linearis* Grev. (Bangiales, Rhodophyta) a new record for Argentina. *Physis*, 46: 6.

- Royer C., Blouin N. y Brawley S. 2018. More than meets the eye: regional specialization and microbial cover of the blade of *Porphyra umbilicalis* (Bangiophyceae, Rhodophyta). *Botanica Marina*, 61(5): 459–465.
- Schneider C.A., Rasband W.S. y Eliceiri K.W. 2012. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, 9: 671-675.
- Skottsberg C. 1923. Marine Algae. 2. Rhodophyceae. En Botan. Ergebn. der Schwed. Expedition nach Patagonien und dem Feuerlande 1907-1909. IX. K. Svenska. Vetenskapakad. Handlingar. Stockholm. 63 (8): 70 p., 29 figs.
- Sokal R.R. y Rohlf F.J. 1986. *Introducción a la Bioestadística*. Reverté.
- Sutherland J., Lindstrom S., Nelson W., Brodie J., Lynch M., Hwang M., Choi H., Miyata M., Kikuchi N., Oliveira M., Farr T., Neefus C., Mols-Mortensen A., Milstein D. y Müller K. 2011. A new look at an ancient order: Generic revision of the Bangiales (Rhodophyta). *Journal of Phycology*, 47:1131-1151.
- Takahashi M. y Mikami K. 2017. Oxidative stress promotes asexual reproduction and apogamy in the red seaweed *Pyropia yezoensis*. *Frontiers in Plant Science*, 8:62.
- Vergés A., Comalada N., Sanchez N., y Brodie J. 2013. A reassessment of the foliose Bangiales (Rhodophyta) in the Balearic Islands including the proposed synonymy of *Pyropia olivii* with *Pyropia koreana*. *Botanica marina*, 56(3): 229–240
- Watanabe F., Yabuta Y., Bito T. y Teng F. 2014. Vitamin B12-containing plant food sources for vegetarians. *Nutrients*, 6: 1861–1873.
- Yang L.-E., Deng Y.-Y., Xu G.-P., Russell S., Lu Q.-Q. y Brodie J. 2020. Redefining *Pyropia* (Bangiales, Rhodophyta): four new genera, resurrection of *Porphyrella* and description of *Calidia pseudolobata* sp. nov. from China. *Journal of Phycology*, 56: 862–879.
- Yarish C., Chopin T., Wilkes R., Mathieson A.C., Fei X.G. y Lu S. 1999. Domestication of nori for Northeast America: the Asian experience. *Bulletin of the Aquaculture Association of Canada*, 1: 11-17.
- Zapata J., Meynard A., Anguita C., Espinoza C., Alvear P., Kumar M. y Contreras-Porcia L. 2019. Non-random distribution and ecophysiological differentiation of *Pyropia* species (Bangiales, Rhodophyta) through environmental gradients. *Journal of Phycology*, 55, 1140–1153
- Zucarello J. 2011. What are you eating? It may be nori, but it is probably not *Porphyra* anymore! *Phycological Society of America*, 47: 967–968.