

## TESINA PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

---

Caracterización espacio-temporal de la comunidad de macroalgas de la costa de Rocha (Uruguay): una perspectiva florística y funcional



**Lucila González Etchebehere**

*lulige.bio@gmail.com*

**Orientadora: Dra. Gabriela Vélez-Rubio** (CURE - Rocha, UdelaR)

**Co-orientadora: Dra. Carla Kruk** (Facultad de Ciencias / CURE - Rocha, UdelaR)

Laboratorio Ecología Funcional Acuática (EFSA)  
Centro Universitario Regional del Este (CURE) - Rocha, UdelaR

Noviembre, 2017

## AGRADECIMIENTOS

A la Comisión Sectorial de Investigación Científica (**CSIC**) que brindó apoyo financiero a través del Programa de Apoyo a la Investigación Estudiantil (PAIE) y al proyecto CSIC i+d 197-2016.

Al Programa de Desarrollo de Ciencias Básicas (**PEDECIBA**) Geociencias, por su Beca de Iniciación a la Investigación.

A mis orientadoras Gabriela Vélez-Rubio y Carla Kruk por guiarme y motivarme y por todas sus enseñanzas y apoyo durante todo el proceso de este trabajo.

A los investigadores Fabrizio Scarabino y Martín Laporta por todo su apoyo, aportes y sugerencias a lo largo de este trabajo.

A las investigadoras Leticia González, María Zabaleta y Paula Laporta y a la estudiante Victoria Vidal por su colaboración en los muestreos y apoyo durante la realización de este trabajo.

Al docente Leandro Bergamino por sus aportes, correcciones y sugerencias para la presentación final del trabajo.

Al Centro Universitario Regional Este (**CURE**) - Sede Rocha y al laboratorio de Ecología Funcional de Sistemas Acuáticos (**EFSA**) por el préstamo de materiales e instalaciones.

A la Dirección Nacional de Recursos Acuáticos (**DINARA**), Base La Paloma, especialmente a la investigadora Graciela Fabiano por su apoyo y préstamo de materiales e instalaciones.

A Alejandro Fallabrino y voluntarios de **Karumbé** por su colaboración en los muestreos, préstamos de materiales e instalaciones.

A los guardaparques Manuel Barreneche y Dante Roibal del Área Protegida Marino-Costera Cerro Verde e Islas de La Coronilla (**SNAP**) que apoyaron durante los muestreos.

A las especialistas de Brasil, Franciane Pellizzari y Michelle Silva por la oportunidad de participar en su proyecto de macroalgas en la Expedición Científica PROTRINIDADE en la Isla Trinidad, Brasil, en el año 2016 y por todo su aporte bibliográfico.

A toda mi familia, especialmente a mi madre, mi padre y a mi hermano, que siempre me apoyaron, acompañaron y motivaron en todas las etapas de la carrera.

A todos mis amigos, especialmente a Mai, Flo, Sai y Sofi, por su compañía y por apoyarme siempre. También a mis compañeros de Facultad de Ciencias con los cuales compartí etapas de la carrera.

A todos los que colaboraron y formaron parte de este proceso haciendo que este trabajo fuera posible.

## ÍNDICE

<b>Índice de tablas y figuras</b> .....	4
<b>Resumen</b> .....	7
<b>Introducción</b> .....	8
Factores condicionantes de la comunidad de macroalgas.....	9
Grupos morfo-funcionales de macroalgas.....	11
Macroalgas en Uruguay.....	13
<b>Objetivos</b> .....	15
Objetivo general.....	15
Objetivos específicos.....	15
<b>Materiales y Métodos</b> .....	16
Área de estudio.....	16
Muestreo.....	17
Análisis de laboratorio.....	19
Análisis de datos.....	21
<b>Resultados</b> .....	22
Geomorfología de los sitios.....	22
Riqueza y composición de especies.....	23
Frecuencia de ocurrencia de especies.....	28
Biomasa de macroalgas.....	29
Grupos morfo-funcionales.....	30
Variables ambientales.....	38
<b>Discusión</b> .....	42
<b>Conclusiones</b> .....	49
<b>Referencias bibliográficas</b> .....	50

## INDICE DE TABLAS Y FIGURAS

**Figura 1:** Fotografías de especies representantes de los distintos grupos filogenéticos:

**A:** clorofitas (algas verdes); **B:** rodofitas (algas rojas) y **C:** ocrofitas (algas pardas).

**Figura 2:** Clasificación de grupos funcionales según su morfología y tamaño propuesto por Steneck y Dethier, 1994 (imagen modificada de Steneck y Dethier, 1994).

**Figura 3.** Mapa de la costa de Uruguay dividida en la zona estuarina (Estuario Río de la Plata) y la zona oceánica (Océano Atlántico). Las imágenes muestran las localidades de muestreo: **A:** El Cabito (La Paloma); **B:** Cerro Rivero (Punta del Diablo) y **C:** Cerro Verde (La Coronilla).

**Figura 4.** Fotografías tomadas durante el muestreo, **A:** medida del perfil topográfico y pendiente; **B:** medidas de variables ambientales del agua, **C:** cuadrante para la recolección del muestras y **D:** área del cuadrante luego de que se recolectaron los organismos.

**Figura 5.** Perfil topográfico y fotografías de cada sitio: **A:** El Cabito (La Paloma); **B:** Cerro Rivero (Punta del Diablo), y **C:** Cerro Verde (La Coronilla).

**Figura 6.** Riqueza de especies total (S total) según grupo filogenético: clorofita (color verde), rodofita (color rojo) y ocrofita (color marrón) para cada sitio. **A,** El Cabito (La Paloma); **B,** Cerro Rivero (Punta del Diablo) y **C,** Cerro Verde (La Coronilla) y para **V,** verano e **I,** invierno.

**Figura 7.** Relación y modelos lineales ajustados entre riqueza total de especies (S) y riqueza de los grupos filogenéticos **A** (verde),  $S = 2,46 * S_{clorofitas} + 1,68$  ( $R^2=0,52$   $p<0,001$ ;) y **B** (rojo),  $S = 1,23 * S_{rodofitas} + 1,14$  ( $R^2=0,92$   $p<0,001$ ;) y **C** (marrón),  $S = 1,23 * S_{ocrofitas} + 1,14$  ( $R^2=0,92$   $p<0,001$ ;) y **V** (verano) e **I** (invierno).

**Figura 8.** Especies encontradas con mayor frecuencia de ocurrencia en todos los sitios y estaciones del año (fotografías tomadas en el laboratorio). **A:** *Ulva* sp. morfotipo laminar; **B:** *Jania rubens*; **C:** *Cryptopleura ramosa* y **D:** *Polysiphonia* sp.1.

**Figura 9.** Ejemplar del primer registro de la especie exótica *Grateloupia turuturu* (fotografía tomada en el laboratorio).

**Figura 10.** Biomasa total seca de macroalgas ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) para cada sitio (El Cabito, Cerro Rivero y Cerro Verde) y estación del año.

**Figura 11.** Relación y modelo ajustado entre el peso húmedo ( $\text{Log}_{10}(\text{PH}+1)$ ) y el peso seco ( $\text{Log}_{10}(\text{PS}+1)$ ) de la comunidad de macroalgas combinando los sitios y ambas estaciones del año ( $R^2=0,78$   $p<0,05$ ;  $\text{log}_{10}(\text{PS}+1)=0,80*\text{log}_{10}(\text{PH}+1) - 0,27$ ).

**Figura 12.** Ejemplares representativos de las distintas categoría de grupos morfo-funcionales de macroalgas identificados **A**, calcárea articulada; **B**, filamentosa; **C**, foliáceas; **E**, carnosos corticados; **F**, carnosos ramificados; **G**, robusta y **H**, vesicular (fotografías tomadas en el laboratorio).

**Figura 13.** Riqueza de grupos morfo-funcionales por sitio (El Cabito en La Paloma; Cerro Rivero en Punta del Diablo y Cerro Verde en La Coronilla) y estación del año (verano, en color rojo; invierno, en color azul).

**Figura 14.** Biomasa de grupos morfo-funcionales (GF,  $\text{kg}/\text{m}^2$ ) por zona (supralitoral, intermareal y submareal) y por sitio para el muestreo de invierno. **A**, El Cabito (La Paloma); **B**, Cerro Rivero (Punta del Diablo) y **C**, Cerro Verde (La Coronilla).

**Figura 15.** Biomasa de grupos morfo-funcionales (GF,  $\text{kg}/\text{m}^2$ ) por zona (supralitoral, intermareal y submareal) y por sitio para el muestreo de invierno. **A**, El Cabito (La Paloma) y **B**, Cerro Rivero (Punta del Diablo).

**Figura 16.** Diagramas de cajas mostrando los valores medios y variabilidad de altura de los talos de organismos representativos de los distintos grupos morfo-funcionales. En todos los casos la línea horizontal oscura representa la mediana de los datos, el rectángulo representa el 1er y el 3er cuartil y la línea vertical punteada representa el rango de distribución.

**Figura 17.** Boxplot de variables ambientales de: **A**: temperatura del agua ( $^{\circ}\text{C}$ ); **B**: salinidad (ppt) y **C**: Turbidez (NTU), para cada estación del año (verano e invierno). En todos los casos la línea horizontal oscura representa la mediana de los datos, el rectángulo representa el 1er y el 3er cuartil y la línea vertical punteada representa el rango de distribución.

**Figura 18.** Boxplot de variables ambientales del agua: **A:** temperatura (°C); **B:** salinidad (ppt) y **C:** turbidez (NTU) para cada zona en total (supralitoral, intermareal y submareal) y según la estación del año (verano e invierno). En todos los casos la línea horizontal oscura representa la mediana de los datos, el rectángulo representa el 1er y el 3er cuartil y la línea vertical punteada representa el rango de distribución.

**Figura 19.** Análisis de componentes principales incluyendo los sitios de estudio y en las flechas las variables ambientales medidas en aire de temperatura (T aire, °C) e intensidad del viento ( $m/s^2$ ) y en agua de temperatura (T agua, °C); salinidad (ppt); turbidez (NTU); pH y oxígeno disuelto (OD, mg/l) a lo largo de las transectas en la zona litoral.

**Tabla 1.** Descripción de los sitios de muestreo en cada localidad, incluyendo la descripción del tipo de sustrato y la estimación de pendientes. DS: desvío estándar.

**Tabla 2.** Lista de las macroalgas colectadas e identificadas al nivel taxonómico más detallado posible y grupo filogenético (GFilo: clorofita, rodofita y ocrofita) en los diferentes sitios (EC: El Cabito; CR: Cerro Rivero y CV: Cerro Verde) y estaciones del año (V: verano; I: invierno). Se incluyen referencias bibliográficas previas para Uruguay.

**Tabla 3.** Valores de correlación de Spearman entre la riqueza total de especies (S) y la riqueza de cada grupo filogenético (S clorofitas, S rodofitas y S ocrofitas).

**Tabla 4.** Clave de identificación de grupos morfo-funcionales de macroalgas del Uruguay.

**Tabla 5.** Descripción de los distintos grupos morfo-funcionales (calcárea articulada, calcárea incrustante, filamentosa, foliácea, robusta, carnoso corticado, carnoso ramificado y vesicular) según estructura del talo, rango de tamaño y ejemplos de taxones registrados según cada grupo morfo-funcional.

**Tabla 6.** Resultados de las pruebas de LRT.

## RESUMEN

Las macroalgas son fundamentales para los ecosistemas marinos y son muy sensibles a los cambios ambientales (ej. temperatura, salinidad). La costa atlántica uruguaya es clave para la biogeografía regional de macroalgas, transición entre la ficoflora subtropical y subantártica. El objetivo de este trabajo fue evaluar la dinámica estacional, distribución espacial y estructura de la comunidad de macroalgas, así como su relación con variables ambientales en puntas rocosas de la costa de Rocha (33°S; 54°O), Uruguay. Entre las variables analizadas se incluyeron la riqueza de especies, la biomasa total, y de grupos morfo-funcionales de macroalgas. Para ello se desarrolló una clave de identificación de grupos funcionales adaptada a la zona de estudio y basada en rasgos fáciles de identificar. Se realizaron dos muestreos (verano e invierno) en puntas rocosas de Cerro Verde (La Coronilla), Cerro Rivero (Punta del Diablo) y El Cabito (La Paloma). Mediante transectas se cubrieron distintas profundidades, midieron variables ambientales y colectaron muestras. Se identificaron en total 36 taxa (21 rodofitas, 11 clorofitas y 4 ocrofitas). La riqueza de especies y la biomasa fue mayor en verano para todos los sitios con especies principalmente subtropicales (rodofitas), siendo la temperatura un factor clave. Se alcanzó el 50% del total de especies registradas para Uruguay. El grupo morfo-funcional con mayor biomasa y frecuencia de ocurrencia fue el de las foliáceas para los tres sitios, compuesto principalmente por el complejo *Ulva* spp. (clorofita). La presencia de este grupo está asociada a condiciones ambientales de stress por variabilidad de la salinidad y desecación, estando también asociado a concentraciones elevadas de nutrientes. El conocimiento generado aportará al manejo, efectos del cambio climático y presencia de especies invasoras de macroalgas en la costa uruguaya retomando una línea para investigaciones futuras en el tema.

**Palabras clave:** Macroalgas, Riqueza de especies, Grupos morfo-funcionales, Variabilidad espacio-temporal, Intermareal rocoso.

## INTRODUCCIÓN

Las macroalgas son organismos macroscópicos relativamente simples, que carecen de tejidos y estructuras diferenciadas (raíz, tallo, hojas), siendo su unidad estructural el talo. Las macroalgas marinas se encuentran fijadas a diversos sustratos por distintas estructuras de adhesión (ej. disco basal) confinadas principalmente al sustrato consolidado rocoso o firme para soportar la acción mecánica de las olas (Oliveira, et al., 2001; Harley, et al., 2012). Las macroalgas son fundamentales para el funcionamiento de los sistemas costeros; modulan los ciclos de nutrientes y aportan materia orgánica a través de su producción primaria (Santelices, et al., 2009; Hurd, et al., 2014). Su rol es clave, además, en cuanto a que proporcionan alimento y refugio a diversos animales (Santelices, et al., 2009; Wahl, 2009).

Las macroalgas constituyen uno de los grupos más variados de organismos fotosintéticos abarcando principalmente los grupos filogenéticos (clados): clorofitas (algas verdes), rodofitas (algas rojas) y ocrofitas (algas pardas) (Figura 1). Integran una gran diversidad de especies, incluyendo por ejemplo aproximadamente 10.000 especies de algas verdes. Esta gran diversidad de especies está asociada a una variedad de características fisiológicas (ej. pigmentos), ciclos de vida y respuestas a los cambios ambientales (Hurd, et al., 2014).



**Figura 1.** Fotografías de especies representantes de los distintos grupos filogenéticos: **A:** clorofitas (algas verdes); **B:** rodofitas (algas rojas) y **C:** ocrofitas (algas pardas). Muestras tomadas de la zona de estudio analizada en la presente tesina.



Las macroalgas marinas son muy sensibles a los cambios ambientales (ej. nivel del mar, la salinidad) y modificaciones menores en el ambiente pueden generar cambios importantes en su composición y distribución (Harley, et al., 2012). Algunas especies de macroalgas son invasoras y afectan negativamente la comunidad residente invadida y el ecosistema en general (Williams y Smith, 2007). Muchas especies son utilizadas con fines productivos como el consumo humano, la producción de materias primas y como insumos para productos farmacéuticos y biotecnológicos (ej. Pellizzari y Reis, 2011).

### **Factores condicionantes de la comunidad de macroalgas**

La distribución, abundancia y composición de las macroalgas están determinadas por factores físicos (como nivel del mar, salinidad, temperatura u oleaje) y biológicos (como herbivoría o competencia) que varían a lo largo de diversas escalas espaciales y temporales (Kerswell, 2006; Smale, et al., 2010). La conjunción de factores latitudinales y locales afectan también la estructura de esta comunidad (Harley, et al., 2012; Sanches, et al., 2016).

Los gradientes latitudinales modifican las características de las masas de agua (salinidad y temperatura, por ejemplo) y las corrientes, lo que resulta en una distinta distribución de las macroalgas debido a diferencias en su capacidad de dispersión y preferencias ambientales (Kerswell, 2006; Harley, et al., 2012; Sanches, et al., 2016). La riqueza total de especies de macroalgas incrementa hacia mayores latitudes, observándose diferencias para los distintos grupos (Kerswell, 2006). Las ocrofitas aumentan su diversidad hacia regiones frías, los patrones de diversidad de las rodofitas varían entre hemisferios, aumentando de los polos a los trópicos en el hemisferio norte y disminuyendo de los polos a los trópicos en el hemisferio sur; mientras que las clorofitas tienen un patrón menos asociado a la latitud con un leve

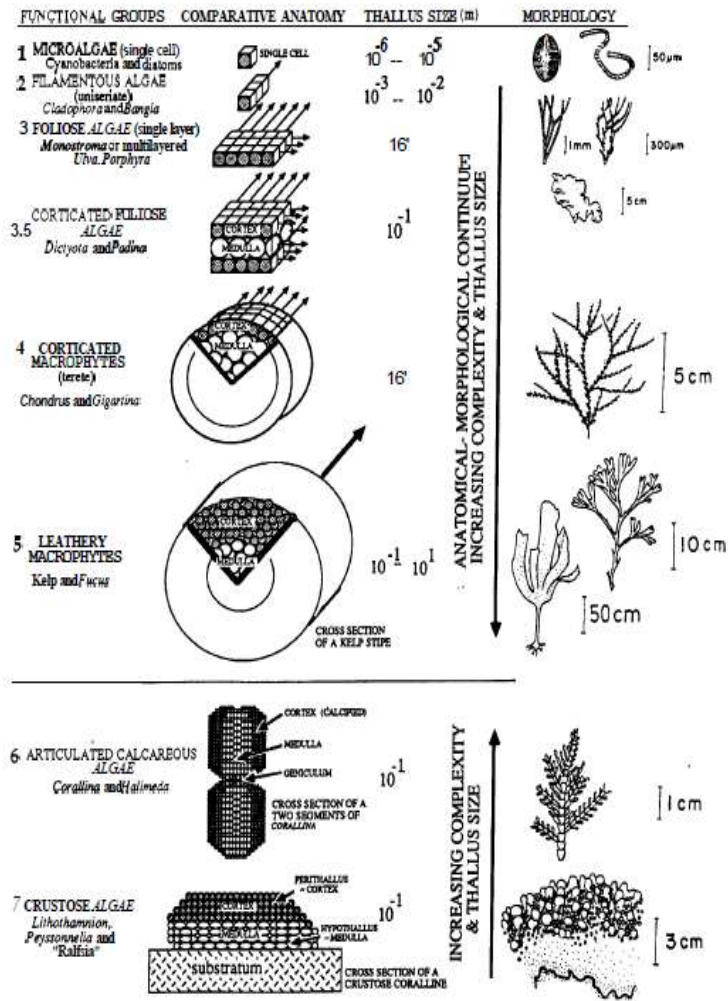
aumento hacia zonas tropicales (Santelices, et al., 2009; Liuzzi, et al., 2011; Keith, et al., 2014).

La zona intermareal o mesolitoral rocosa se caracteriza por una abundante presencia de macroalgas. En esta zona el estrés ambiental (deseccación, variaciones del nivel del mar, oleaje), la estructura espacial y características del sustrato (tipo, orientación y rugosidad superficial) afectan fuertemente la abundancia y diversidad de macroalgas (Liuzzi, et al., 2011; Harley, et al., 2012; Holloway-Adkins, et al., 2015). Sustratos con mayor rugosidad retienen más humedad, favoreciendo la sobrevivencia de más especies de macroalgas, mientras que sedimentos de grano fino (arena, limo-arcilla) asociados o próximos a las rocas pueden quedar en suspensión limitando el desarrollo de las macroalgas y disminuyendo su capacidad fotosintética (Schiel, et al., 2006). A escala local se observa, como resultado de los factores bióticos y abióticos, un patrón de bandas longitudinales (zonación) en la estructura de la comunidad de macroalgas. En zonas más expuestas del intermareal dominan las algas verdes, las algas rojas en zonas más protegidas y parcialmente cubiertas por agua, mientras que en la zona submareal de mayor profundidad dominan las algas pardas (Holloway-Adkins, et al., 2015; Pellizzari, et al., 2017).

El desarrollo de actividades antrópicas, como el turismo y la urbanización, en los ambientes costeros generalmente degrada el hábitat de las macroalgas, modificando la dinámica dunar, la disponibilidad de sustrato y generando contaminación, ocasionando así la disminución de su riqueza y abundancia (Portugal, et al., 2016). Las especies exóticas, cuya introducción generalmente se asocia a actividades antrópicas, como el agua de lastre de los barcos o la acuicultura (Carlton, 1993), compiten por el espacio y sustrato disponible con las macroalgas nativas generando también una disminución en su biodiversidad y la de organismos asociados (Schaffelke y Hewitt, 2007).

## **Grupos morfo-funcionales en macroalgas**

Una alternativa para resumir la información del gran número de especies presentes en la comunidad de macroalgas es agrupar a las especies según rasgos funcionales y preferencias ambientales comunes (McGill, et al., 2006). La aplicación de grupos funcionales en ecología de macroalgas ha facilitado su análisis permitiendo predecir e identificar patrones de productividad primaria, rendimiento fotosintético, logrando modelar sus respuestas a las variables ambientales (Littler y Littler, 1980; Littler y Arnold, 1982) y estructura de las comunidades (Steneck y Dethier, 1994; Balata *et al.*, 2011). En este sentido, Littler y Littler (1980) propusieron un modelo de grupos funcionales en el que se agrupa a los organismos en base a rasgos morfológicos. Estos rasgos permiten predecir las respuestas de los organismos a forzantes ambientales o actividades antrópicas que limiten el crecimiento de la biomasa de algas (estrés) o causen su destrucción parcial o total (disturbio) (Grime, 1977; Steneck y Dethier, 1994). La desecación y exposición a la luz, o la limitación por recursos son causantes de estrés mientras que los disturbios se asocian a la remoción de biomasa por oleaje o herbívoros (Grime, 1977; Steneck y Dethier, 1994). La clasificación de las macroalgas en base sus rasgos morfológicos resulta en grupos morfo-funcionales de relativamente fácil identificación, siendo algunos ejemplos las algas filamentosas, ramificadas, calcáreas articuladas, laminadas e incrustantes (Figura 2), las cuales van a tener distintas preferencias y sensibilidades a las condiciones ambientales (Steneck y Dethier, 1994; Balata, et al., 2011; Steigleder, 2015). Dentro de los rasgos utilizados se incluyen el tamaño, la complejidad (ej. nivel de organización y tipo de ramificación), estructura del talo (ej. calcárea) y forma de adhesión al sustrato (Steneck y Dethier, 1994).



**Figura 2.** Esquema de clasificación de grupos funcionales según su morfología y tamaño para macroalgas marinas (Steneck y Dethier, 1994).

Según el modelo propuesto por Steneck y Dethier (1994) distintos grupos morfo-funcionales verán modificada su biomasa de forma diferencial frente a distintos niveles de disturbio y productividad del ambiente. En condiciones de bajos disturbios y alta productividad serían favorecidos todos los grupos, mientras que en ambientes con alto nivel de disturbio y con un bajo o alto nivel de productividad la biomasa de grupos morfo-funcionales es menor y predominan los grupos de organismos con rasgos (ej. morfología, tamaño) favorables para desarrollarse en estos ambientes.

La aproximación mediante grupos morfo-funcionales resulta particularmente útil ya que es una metodología sencilla cuya aplicación no depende de un análisis taxonómico detallado. Además es una herramienta eficaz en los monitoreos y las evaluaciones de impacto ambiental, donde es necesario observar estadios tempranos de los cambios medioambientales. Sin embargo, esta aproximación no se ha desarrollado hasta el momento en Uruguay.

### **Macroalgas en Uruguay**

El conocimiento de las macroalgas en Uruguay es limitado. Según la literatura existente, la costa atlántica de Uruguay es una zona de escasa diversidad de macroalgas y exhibe la riqueza específica más baja en el Atlántico sudoccidental (Coll y Oliveira, 1999; Liuzzi, et al., 2011; Steigleder, 2015). Sin embargo, estas observaciones se basan en estudios muy aislados, discontinuados y usualmente con escasa conexión entre sí, en los que se estudiaron distintos puntos de la costa de Montevideo, Canelones, Maldonado y Rocha (Howe, 1931; Taylor, 1960; Coll, 1976, 1979; Scarabino, et al., 1975; Maytía y Scarabino, 1979; Méndez, 1983; Hareau y Silva 1984a, 1984b; Coll y Oliveira, 1999). Maytía y Scarabino (1979) realizaron una caracterización cualitativa y sin considerar variaciones estacionales de la zonación del macrobentos de las puntas rocosas de la costa uruguaya. Estos autores reportan especies de macroalgas características de cada nivel en donde la zona mesolitoral se encontró principalmente habitada por las especies *Pterocladia capillacea*, *Hypnea musciformis*, *Polysiphonia tepida*, *Gelidium cardinale*, *Porphyra* sp., *Enteromorpha* sp., *Hildenbrandia* sp. y *Ulva lactuca*. Posteriormente, Coll y Oliveira (1999) relevaron para toda la costa de Uruguay un total de 72 taxa de macroalgas (41 especies de rodofitas, 24 especies de clorofitas y 7 especies de ocrofitas). Entre estas se incluyen varias especies cosmopolitas de los tres principales clados, pertenecientes, por ejemplo, a los géneros *Cladophora*, *Ulva* (clorofita), *Chondracanthus*, *Grateloupia* y *Polysiphonia* (rodofita).

Keith et al. (2014) proponen que la biodiversidad en las regiones templadas y polares está controlada principalmente por las variaciones ambientales, mientras que en las zonas tropicales los factores bióticos serían más importantes (Wiens y Donoghue, 2004). En este marco, la costa uruguaya es una región clave para estudiar los procesos subyacentes a los patrones de biodiversidad y la biogeografía regional (Scarabino, et al., 2016) ya que es una zona de transición entre la ficoflora subtropical y subantártica (Coll y Oliveira, 1999). Por otro lado, la costa atlántica de Uruguay se encuentra fuertemente influenciada por los aportes de agua dulce rica en nutrientes del Río de la Plata (35°S) (Campos, et al., 2008; Pivel, 2009; Kruk, et al., 2015). De esta forma, el estudio de la ficoflora de esta región puede además contribuir a comprender el efecto de las actividades antropogénicas, incluyendo la eutrofización, las modificaciones físicas y el cambio climático en las comunidades de macroalgas a escala regional.

En Uruguay las macroalgas constituyen una importante fuente de alimentación para los juveniles de la tortuga verde (*Chelonia mydas*) (López-Mendilaharsu, et al., 2006, Vélez-Rubio, et al., 2013, Vélez-Rubio, et al., 2016). Por otra parte, numerosas especies de invertebrados obtienen refugio entre las distintas especies de macroalgas, especialmente aquellas que forman matas densas que retienen sedimentos, destacando por su abundancia los crustáceos (anfípodos, isópodos y decápodos), poliquetos, nemertinos, bivalvos y gasterópodos (Brazeiro, et al., 2006, Scarabino, com. pers.). En este sentido, los estudios de la comunidad de macroalgas aportan también a analizar las relaciones tróficas de las especies y sus posibles efectos dentro de los ecosistemas.

## OBJETIVOS

### Objetivo general

Caracterizar la comunidad de macroalgas presente en la zona litoral rocosa de la costa del Departamento de Rocha, particularmente en el Área Protegida Costero Marina de Cerro Verde e Islas de La Coronilla; Punta del Diablo y La Paloma, evaluando su composición taxonómica, distribución y variación espacio-temporal en relación a variables ambientales.

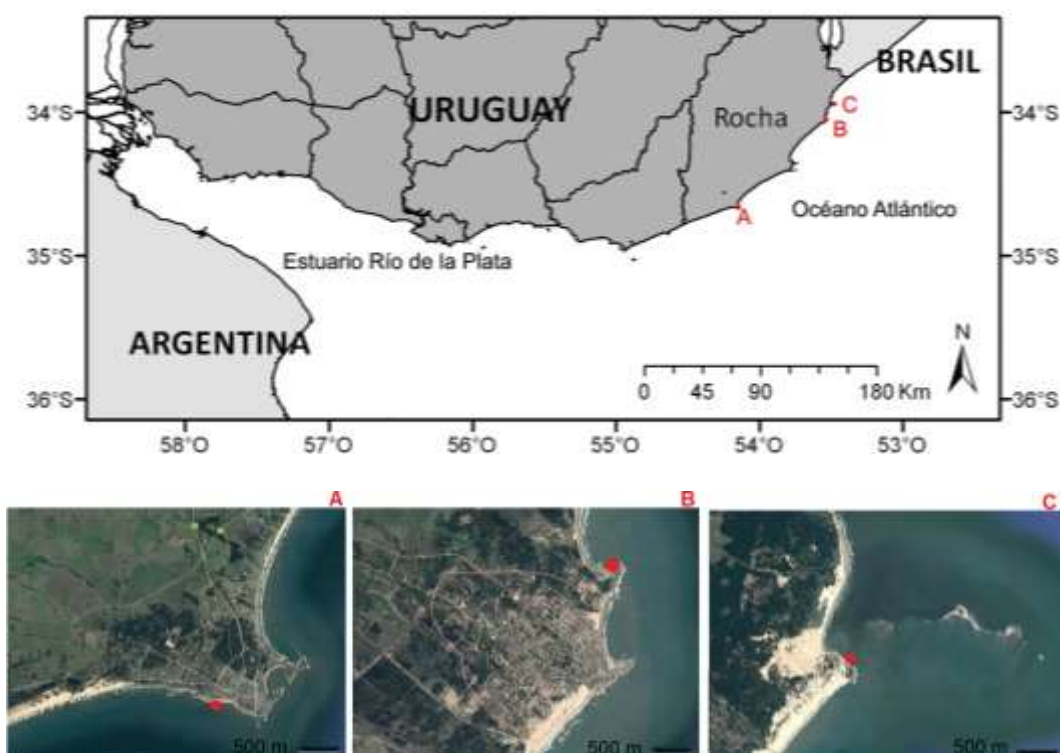
### Objetivos específicos

1. Realizar un inventario florístico de las especies de macroalgas de la zona mencionada y analizar la variación espacial (vertical y entre sitios) y temporal (verano vs. invierno) de la composición taxonómica, riqueza total y de grupos filogenéticos (clorofita, rodofita y ocrofita).
2. Caracterizar la zona en cuanto a variables ambientales incluyendo características del tipo de sustrato (ej. tipo de roca, pendiente, heterogeneidad), variables físicas (ej. temperatura, turbidez) y químicas (ej. salinidad, pH, oxígeno)
3. Construir una clave de identificación de grupos funcionales de macroalgas basada en rasgos morfológicos de fácil identificación (ej. tamaño, tipo de ramificación) para las especies encontradas en los muestreos y aquellas registradas para la costa uruguaya.
4. Analizar la biomasa, tamaño y distribución de los grupos morfo-funcionales en la zona muestreada.
5. Comenzar a desarrollar un herbario seco y uno húmedo de macroalgas en el Centro Universitario Regional Este (CURE, Sede Rocha, Uruguay), con duplicados en la Dirección Nacional de Recursos Acuáticos (DINARA, Base La Paloma, Rocha, Uruguay).

## Materiales y Métodos

### Área de estudio

El estudio se llevó a cabo en tres localidades rocosas de la costa de Rocha (Este de la costa atlántica uruguaya): El Cabito (La Paloma), Cerro Rivero (Punta del Diablo) y Cerro Verde (Área Protegida Costero Marina de Cerro Verde e Islas de La Coronilla, La Coronilla) (Figura 3, Tabla 1). El Cabito es una zona costera con importantes infraestructuras y gran afluencia turística. Cerro Rivero presenta un desarrollo costero en pleno crecimiento con una gran influencia turística. Cerro Verde tiene baja afluencia de visitantes y no presenta infraestructuras costeras. Esta última zona ingresó al Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) en el 2011 (Uruguay, 2011) bajo el dominio de “Área de manejo de hábitats y/o especies”. En los tres casos el número de visitantes aumenta notoriamente durante la temporada estival.



**Figura 3.** Mapa de la costa de Uruguay dividida en la zona estuarina (Estuario Río de la Plata) y la zona oceánica (Océano Atlántico). Las imágenes satelitales muestran la ubicación de los sitios de muestreo (punto rojo): **A:** El Cabito (La Paloma); **B:** Cerro Rivero (Punta del Diablo) y **C:** Cerro Verde (La Coronilla).



Las localidades Cerro Rivero y Cerro Verde comparten la misma unidad geológica, denominada Complejo Granítico Santa Teresa (edad  $543 \pm 7$  millones de años) e integrante del Ciclo Brasileño que continúa hacia Santa Catarina, Brasil. El Cabito corresponde a metasedimentos de fondo marino de la Formación Rocha, secuencia turbidítica integrada por areniscas, vaques y pelitas de bajo grado de metamorfismo y al menos tres fases de deformación; su sedimentación corresponde a flujos gravitacionales submarinos en un arco continental activo (edad 610 y 550 millones de años) (Basei, et al., 2013; Blanco, et al., 2014).

La zona de estudio se ubica en la costa atlántica uruguaya que se caracteriza por mareas de tipo astronómico con escasa amplitud (ca. 40 cm). Determinan un intermareal relativamente estrecho, donde a su vez se puede definir una zona alta dominada por el cirripedio *Chthamalus bisinuatus* y una zona baja dominada por el bivalvo *Brachidontes rodriguezii* (Maytía y Scarabino, 1979; Scarabino, com. pers.). El principal condicionante del nivel del mar es el viento; vientos fuertes del sector Norte generalmente determinan bajantes excepcionales, principalmente en verano, alcanzando el submareal somero en el concepto aquí utilizado (-1 metro o más). En forma contraria, vientos fuertes del sector Sur determinan, principalmente en invierno, subidas excepcionales que alcanzan el supralitoral, renovando el agua de las pozas supralitorales (MTOP-PNUD-UNESCO, 1980; Ortega in Demicheli y Scarabino, 2006; Scarabino, com. pers.).

## **Muestreo**

Se realizaron dos muestreos en cada sitio, uno en verano (marzo) y otro en invierno (setiembre), durante el año 2016. Para Cerro Verde sólo fue posible muestrear en verano. En cada sitio se realizaron tres transectas perpendiculares a la línea de la costa separadas a una distancia de 50 a 100 m entre sí, abarcando distintas

profundidades e incluyendo la zona supralitoral, intermareal y submareal somero (aproximadamente un metro de profundidad máxima). Para cada sitio se seleccionó una transecta y se estimó la pendiente realizando un perfil con una regla graduada (Leyca CLR 102), desde el mayor nivel de la pleamar hasta la zona de mayor profundidad muestreada, midiendo la pendiente cada 3 m. A partir de esos datos se calculó un indicador de la variabilidad de las alturas: cociente entre el desvío estándar de la altura y el largo de la transecta (Figura 4).

Para estimar la riqueza de especies y abundancia de macroalgas en cada sitio y estación del año, se realizaron colectas de macroalgas que se encontraban fijas al sustrato a lo largo de tres transectas, separadas 100 m entre sí, abarcando la zona desde el último nivel alcanzado por la pleamar hasta 1 m de profundidad en el submareal. Para cada transecta, se utilizó como superficie de muestreo un cuadrante de 35x35 cm. Estos fueron ubicados cada 5 m de distancia entre sí a lo largo de todas las transectas llegando a un total de 38 cuadrantes en todo el estudio (Figura 4). En cada uno de ellos se removió la totalidad de los organismos con talos mayores a 0,5 cm de largo. Además se tomaron muestras de macroalgas abarcando un área definida de 2 m de radio alrededor de cada cuadrante considerando distintos microhábitats y profundidades, detectando así el mayor número de especies posibles. Las muestras fueron guardadas en bolsas de plástico con agua de mar y se mantuvieron congeladas para su posterior análisis en laboratorio.

En los puntos donde se ubicaron los cuadrantes se midieron variables abióticas del agua y se caracterizó el tipo de sustrato y micro-hábitat (pozas, tipo de roca, arena). Se registraron otras características categóricas como distancia al mar, profundidad y zonificación (supralitoral, intermareal, o submareal). Las variables ambientales del agua se midieron con un multiparámetro (Horiba U-50) e incluyeron temperatura (Tagua, °C), salinidad (S, ppt), pH, turbidez (NTU) y oxígeno disuelto (OD, mg/l).



**Figura 4.** Fotografías tomadas durante el muestreo, **A:** medida del perfil topográfico y pendiente; **B:** medidas de variables ambientales del agua, **C:** cuadrante para la recolección de muestras y **D:** área del cuadrante luego de que se recolectaron los organismos.

### **Análisis de laboratorio**

En el laboratorio se identificaron los organismos al nivel taxonómico más detallado posible, se los clasificó en grupos morfo-funcionales y se midieron de cinco a diez ejemplares de cada grupo por muestra. Se estimó la biomasa total ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) y la biomasa de grupos morfo-funcionales de macroalgas para cada sitio y estación. Se midió el peso húmedo PH (g) y luego del secado de las muestras en estufa durante 3 días a  $60^\circ\text{C}$  se midió el peso seco PS (g) por cuadrante y según grupo morfo-funcional.

Los taxa fueron identificados por métodos convencionales considerando morfología, niveles de organización, pigmentación, tipo de ramificación, entre otros. Cuando fue necesario se realizaron cortes histológicos para observación en el microscopio para

evaluar estructura y distribución celular, y otros elementos clave para la identificación como estructuras reproductivas. Se utilizaron claves de identificación taxonómica de la región (Taylor, 1960; Coll, 1976; Wynne, 2011) y recursos de la web AlgaeBase (Guiry y Guiry, 2017). Para los organismos registrados e identificados a nivel de género pero que no fue posible diferenciar especie se desarrollaron tres estrategias: [1] si pertenecían a uno o más de un género dentro del cual se esperaría encontrar una o más especies, pero no fue clara la separación entre morfotipos, se consideró el nombre genérico (ej. *Porphyra/Pyropia* spp.); [2] especies que pertenecían a un mismo género con diferencias morfológicas relevantes pero que no fue posible su identificación se denominaron con un número (ej. *Polysiphonia* sp.1); finalmente [3] si pertenecían a uno o más géneros sin clara identificación taxonómicas, se las consideró como integrantes de un complejo (ej. *Ulva* spp.). Para el complejo *Ulva* spp. se identificaron dos morfotipos distintos (morfotipo tubular y morfotipo laminar). Se conservaron muestras de referencia en el Centro Universitario Regional del Este (CURE, Sede Rocha, Uruguay) y en la Dirección Nacional de Recursos Acuáticos (DINARA, Base La Paloma, Rocha, Uruguay), para lo cual algunos ejemplares fueron fijados en húmedo con formol al 4 % y otros en seco en formato de herbario y con silicagel.

La selección de la clasificación en grupos morfo-funcionales se definió en base a la revisión de la bibliografía disponible sobre esta temática (Steigleder, 2015; Littler y Littler, 1980; Steneck y Dethier, 1994; Grime, 1977; Phillips, et al., 1997 y Balata, et al., 2011) y considerando la especies descritas para Uruguay (Coll y Oliveira, 1999 y otros trabajos previos), así como también aquellas que se encuentren en el presente trabajo. La clasificación se basó en rasgos morfológicos reconocibles a simple vista y de fácil identificación, sin incluir cortes histológicos. La misma fue modificada de la literatura para su aplicación en organismos independientemente de la clasificación taxonómica. De esta manera las especies que cambian sus rasgos funcionales ante variaciones

ambientales o a lo largo de su ciclo de vida pueden ser clasificadas en distintos grupos funcionales. La clave fue construida con un formato de clave dicotómica, yendo de aspectos más globales a más específicos. Para ello se generaron descripciones claras de los rasgos a identificar en cada caso.

## **Análisis de datos**

La biomasa total húmeda y seca ( $\text{kg/m}^2$ ) se calculó sumando el PH y PS de todos los cuadrantes y dividiendo sobre la superficie total de los cuadrantes por sitio en cada fecha. La riqueza de especies (S) se estimó como el número total de taxa presentes en la muestra para cada sitio y estación del año, organizando la información también así como también por grupo filogenético S clorofitas, S rodofitas y S ocrofitas. Se identificaron las especies dominantes como aquellas que se encontraron con mayor frecuencia (mayor al 70% del total de cuadrantes de cada transecta).

Se analizaron las relaciones entre variables biológicas (PS, PH, S, S clorofitas, S rodofitas y S ocrofitas, biomasa seca y biomasa por grupo morfo-funcional) utilizando correlaciones no paramétricas de Spearman. En los casos en los que se observaron relaciones significativas se ajustaron modelos lineales ( $y = ax + b$ ) y se estimó el  $R^2$ . En los casos que fue necesario las variables fueron estandarizadas y transformadas con  $\log_{10}(x+1)$ . Se utilizó la prueba de log-likelihood ratio (LRT) para poner a prueba las diferencias en las medias y varianzas de las variables ambientales entre estaciones del año y zonas en el litoral (supralitoral, intermareal y submareal) usando el paquete de R nlme (Pinheiro, et al., 2016). Se utilizaron análisis de componentes principales (ACP) organizar a los sitios y fechas en gradientes ambientales incluyendo las variables temperatura del agua, pH, salinidad, oxígeno disuelto, turbidez, TDS, temperatura del aire e intensidad del viento, previamente estandarizadas.

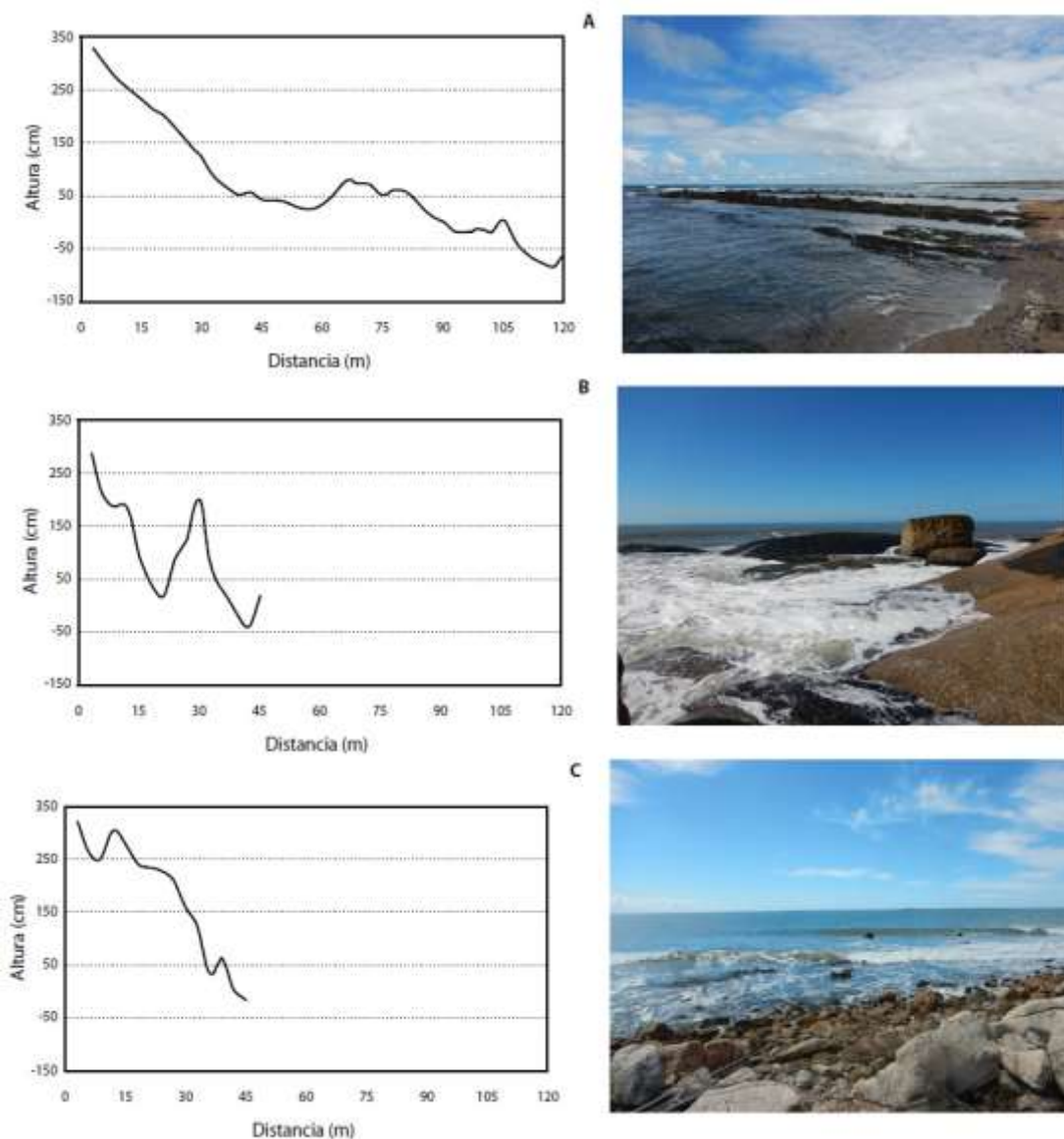
## Resultados

### Geomorfología de los sitios

Los sitios se diferenciaron en tipo de sustrato y estructura (Tabla 1). En relación al perfil, El Cabito se caracterizó por presentar una zona intermareal más larga (120 m), con menor pendiente y más homogénea, así como rocas en disposición perpendicular a la costa con numerosas canaletas. Se destacaron también alvéolos que generan micro-oquedades. Cerro Verde y Cerro Rivero tuvieron una zona intermareal más corta (ca. 45 m), con mayor pendiente y heterogeneidad espacial asociada a un mayor número y diversidad de pozas (Figuras 5 y 6: Tabla 1).

**Tabla 1.** Descripción de los sitios de muestreo en cada localidad, incluyendo la descripción del tipo de sustrato y la estimación de pendientes. DS: desvío estándar.

Localidad	La Paloma	Punta del Diablo	La Coronilla
<b>Sitio</b>	El Cabito	Cerro Rivero	Cerro Verde
<b>Coordenadas</b>	34° 39' 52,5" S 54° 10' 23,9" 0	34° 0' 54,5" S 53° 32' 9,0" 0	33° 56' 35" S 53° 30' 35" 0
<b>Tipo de sustrato</b>	metasedimentos, arena	granitos, arena	granitos, arena
<b>Microhábitats presents</b>	roca irregular con numerosas canaletas y pozas intermareales	roca descubierta y pozas intermareales y supralitorales	roca descubierta y pozas intermareales
<b>Pendiente (media y rango en cm)</b>	8,38 (-68 a 38)	21,4 (-53,5 a 90)	20,5 (-72 a 130)
<b>DS altura (cm) por m<sup>2</sup></b>	0,88	2,16	2,52



**Figura 5.** Perfil topográfico y fotografías de cada sitio: **A:** El Cabito (La Paloma); **B:** Cerro Rivero (Punta del Diablo), y **C:** Cerro Verde (La Coronilla).

### Riqueza y composición de especies

Se identificaron un total de 36 taxones que incluyeron un total de 27 géneros (Tabla 2). Para algunos géneros no fue posible separar ni identificar las especies (*Bryopsis* spp., *Ceramium* spp., *Porphyra/Pyropia* spp., *Rhodomenia* spp.); si bien dentro de los organismos observados es probable la existencia de al menos dos especies, se cuantificó a cada una como un taxón. Para el complejo *Ulva* spp. se identificaron dos morfotipos distintos (morfotipo tubular y morfotipo laminar).

Se observó una mayor riqueza de especies de rodofitas, seguida por clorofitas y un escaso número de ocrofitas para todos los sitios y estaciones del año (Tabla 2 y Figura 6). Dentro de las rodofitas (22 especies, 16 géneros), las especies más frecuentes fueron *Jania rubens*, *Cryptopleura ramosa* y *Polysiphonia* sp. 1. Para las clorofitas (11 especies, seis géneros) el complejo *Ulva* spp. morfotipo laminar y *Cladophora* sp. 1 fueron las dominantes. Las ocrofitas fueron el grupo con menor riqueza (cuatro especies) siendo *Myriogloea major* la más frecuente.

De todos los taxones identificados se encontraron dos nuevos registros para Uruguay, los cuales corresponden a las especies *Dasya* sp. 1 y *Grateloupia turuturu* (exótica) (Figura 9). Para los sitios El Cabito y Cerro Rivero, donde se realizaron muestreos en verano e invierno, se encontró una mayor riqueza de especies en verano con respecto al invierno (Tabla 2 y Figura 6).

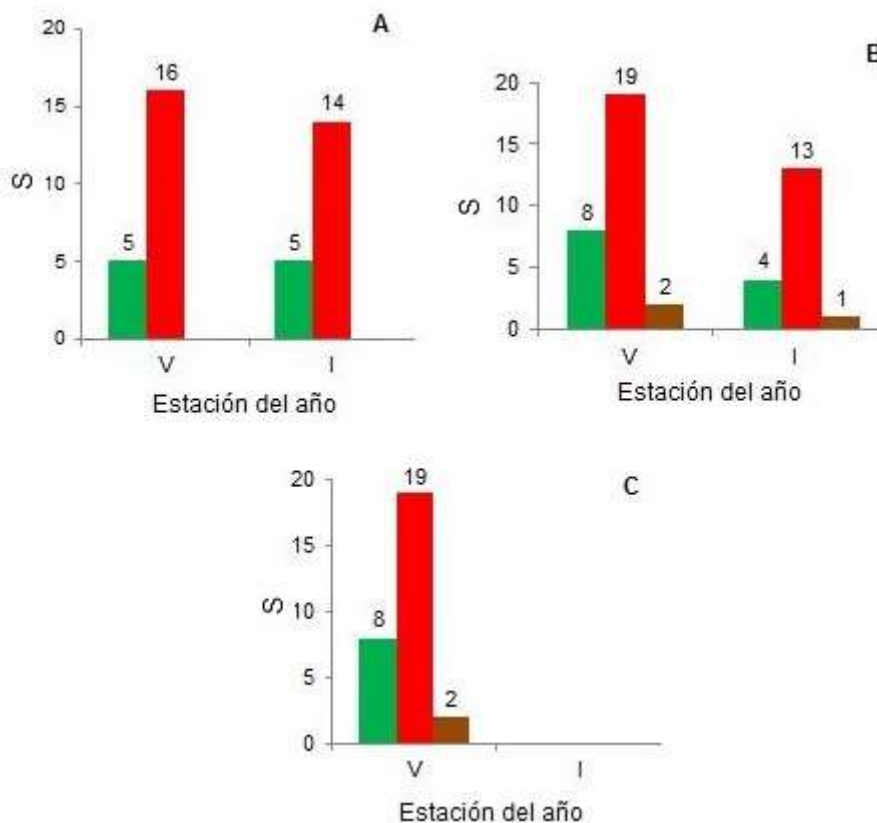
**Tabla 2.** Lista de las macroalgas colectadas e identificadas al nivel taxonómico más detallado posible y grupo filogenético (GFilo: clorofita, rodofita y ocrofita) en los diferentes sitios (EC: El Cabito; CR: Cerro Rivero y CV: Cerro Verde) y estaciones del año (V: verano; I: invierno). Se incluyen referencias bibliográficas previas para Uruguay.



Gfilo	Especie	Referencias*	EC		CR		CV
			V	I	V	I	V
Clorofita	<i>Bryopsis pennata</i> J.V. Lamouroux	15		X			X
	<i>Bryopsis</i> spp.		X		X		
	<i>Chaetomorpha antenina</i> (Bory de Saint-Vicent) Kützing	15			X	X	X
	<i>Chaetomorpha aerea</i> (Dilwyn) Kützing	15	X				
	<i>Cladophora albida</i> (Nees) Kützing	15; 16			X		X
	<i>Cladophora vagabunda</i> (Linnaeus) Hoek	8; 10; 15; 16				X	
	<i>Cladophora</i> sp. 1		X	X	X	X	X
	<i>Codium decortcatum</i> (Woodward) M. Howe	1; 2; 4	X		X		X
	<i>Rhizoclonium riparium</i> (Roth) Harvey	15		X			X
	<i>Ulva</i> spp. morfo tubular		X		X	X	X
<i>Ulva</i> spp. morfo laminar		X	X	X	X	X	
Rodofitas	<i>Ahnfeltia plicata</i> (Hudson) Fries	2; 3; 15	X		X		
	<i>Amphiroa beauvoisii</i> J.V. Lamouroux	2; 3; 6; 7; 8; 14; 15	X	X	X		X
	<i>Ceramium</i> spp.		X	X	X	X	X
	<i>Chondracanthus acicularis</i> (Roth) Fredericq	15	X		X	X	X
	<i>Chondracanthus teedei</i> (Mertens ex Roth) Kützing	15	X	X	X	X	X
	<i>Corallina officinalis</i> Linnaeus	2; 3; 6; 7; 8; 10; 15	X	X	X	X	X
	<i>Cryptopleura ramosa</i> (Hudson) L. Newton	15	X	X	X		X
	** <i>Dasya</i> sp. 1			X		X	
	<i>Grateloupia cuneifolia</i> J. Agardh Kützing	2; 3; 6; 7; 14	X	X	X	X	
	<i>Grateloupia filicina</i> (J.V. Lamouroux) C. Agardh	2; 3; 4; 6; 7; 15	X		X		X
	** <i>Grateloupia turuturu</i> Yamada				X		
	<i>Gymnogongrus griffithsiae</i> (Turner) C. Martius	2; 3; 8; 10; 13; 14; 15; 16	X	X	X	X	X
	<i>Hypnea musciformis</i> (Wulfen) J.V. Lamouroux	2; 3; 8; 10; 14; 15	X		X		X
	<i>Jania rubens</i> (Linnaeus) J.V. Lamouroux		X		X		X
	<i>Nemalion helminthoides</i> (Vellay) Batters	10; 15				X	
	<i>Polysiphonia</i> sp. 1		X	X	X	X	X
	<i>Polysiphonia</i> sp. 2		X	X	X	X	X
	<i>Polysiphonia</i> sp. 3		X	X	X		
<i>Porphyra/Pyropia</i> spp.			X		X	X	
<i>Pterocladia capillacea</i> (S.G. Gmelin) Santelices & Hommersand	14; 15	X	X	X	X	X	
<i>Rhodymenia</i> spp.	15			X		X	
Ocrofitas	<i>Colpomenia sinuosa</i> (Mertens ex Roth) Derbès & Solier	15			X		
	<i>Myriogloea major</i> Asensi	17			X		X
	<i>Petalonia fascia</i> (O.F. Müller) Kuntze	15					X
	<i>Scytosiphon lomentaria</i> (Lyngbye) Link	15; 16				X	

\*Referencias de registros para Uruguay: 1. Arechavaleta 1884; 2. Howe 1931; 3. Herter 1933a; 4. Herter 1933b; 5. Herter 1939a; 6. Herter 1939b; 7. Herter 1939c; 8. Taylor 1939; 9. Silva 1960; 10. Taylor 1960; 11. Méndez 1983; 12. Hareau & Osorio 1983; 13. Hareau 1984; 14. Hareau & Silva 1984; 15. Coll & Oliveira 1999; 16. Steigleder 2015; 17. Pellizzari et al. 2016a.

\*\*Primer registro: *Dasya* sp. 1 y *Grateloupia turuturu* (especie exótica) (Figura 8).

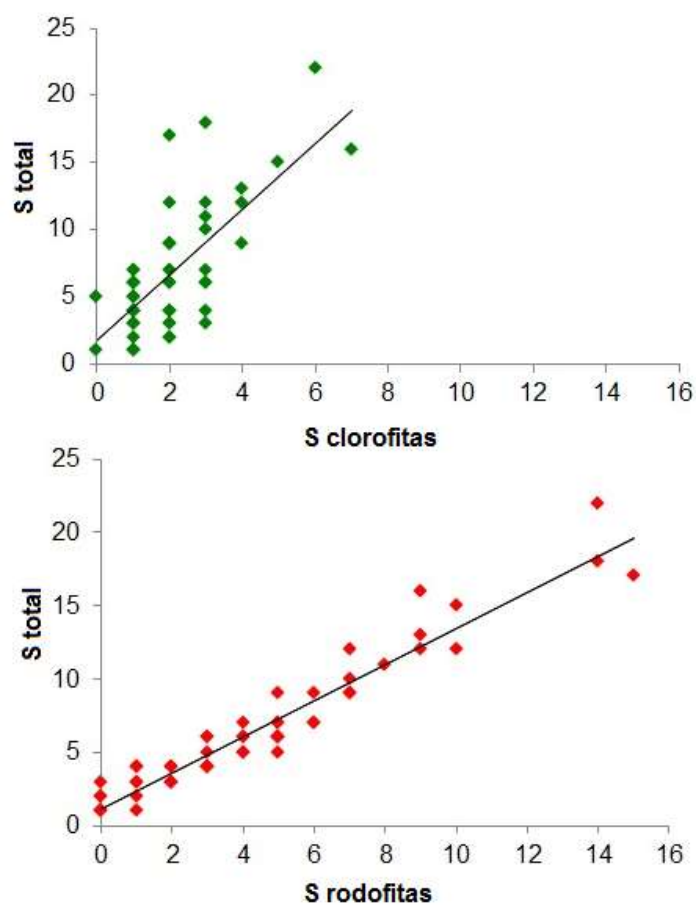


**Figura 6.** Riqueza de especies total (S total) según grupo filogenético: clorofita (verde), rodofita (rojo) y ocrofita (marrón) para cada sitio. **A**, El Cabito (La Paloma); **B**, Cerro Rivero (Punta del Diablo) y **C**, Cerro Verde (La Coronilla) y para **V**, verano e **I**, invierno.

La relación entre la riqueza total de especies (S) y de los distintos grupos filogenéticos (S clorofitas, S rodofitas y S ocrofitas) mostró que en general, las riquezas estuvieron positivamente relacionadas entre sí, excepto ocrofitas con rodofitas y clorofitas (Tabla 3). En particular, se ajustaron modelos para la relación entre riqueza total y la riqueza de especies de rodofitas y clorofitas y se halló que las primeras eran muy buenas indicadoras de la riqueza total ( $R^2=0,96$ ) (Figura 7 y Tabla 3).

**Tabla 3.** Valores de correlación de Spearman entre la riqueza total de especies (S) y la riqueza de cada grupo filogenético (S clorofitas, S rodofitas y S ocrofitas).

	S	S clorofitas	S rodofitas	S ocrofitas
S	1	rs=0,60; p<0,001	rs=0,96; p<0,001	rs=0,28; p<0,05
S clorofitas		1	rs=0,40; p<0,05	Ns
S rodofitas			1	Ns
S ocrofitas				1



**Figura 7.** Relación y modelos lineales ajustados entre riqueza total de especies (S) y riqueza de los grupos filogenéticos **A** (verde), S clorofitas ( $R^2=0,52$   $p<0,001$ ;  $S=2,46 \cdot S_{clorofitas}+1,68$ ) y **B** (rojo), S rodofitas ( $R^2=0,92$   $p<0,001$ ;  $S=1,23 \cdot S_{rodofitas}+1,14$ ).

## Frecuencia de ocurrencia de especies

El complejo *Ulva* spp. fue el más frecuente en todos los sitios y estaciones del año (Figura 8, A). Presentó una amplia distribución espacial y vertical, abarcando todas las subdivisiones litorales zonas (supralitoral, intermareal y submareal), incluyendo las pozas de marea. En las pozas supralitorales se encontró un dominio del complejo *Ulva* spp. (morfortipo tubular) y especies del género *Cladophora*. En la zona intermareal expuesta se encontró una elevada frecuencia de *Ulva* spp. (morfortipo laminar), *Gymnogongrus griffithsiae*, *Porphyra/Pyropia* spp., *Hypnea musciformis* y *Polysiphonia* spp. En la zona menos expuesta del intermareal se encontraron con mayor frecuencia *Chondracanthus teedei* y *Grateloupia cuneifolia*; también se destacó la presencia del cordón de coralinas formado principalmente por *Corallina officinalis* y *Jania rubens*. Además, las pozas de la zona intermareal presentaron una elevada riqueza de especies, asociada a una mayor frecuencia del complejo *Ulva* spp. y especies coralináceas (*Corallina officinalis* y *Jania rubens*), destacándose asimismo la presencia de *Codium decorticatum*. La zona submareal estuvo dominada principalmente por *Cryptopleura ramosa* y *Pterocladia capillacea*.



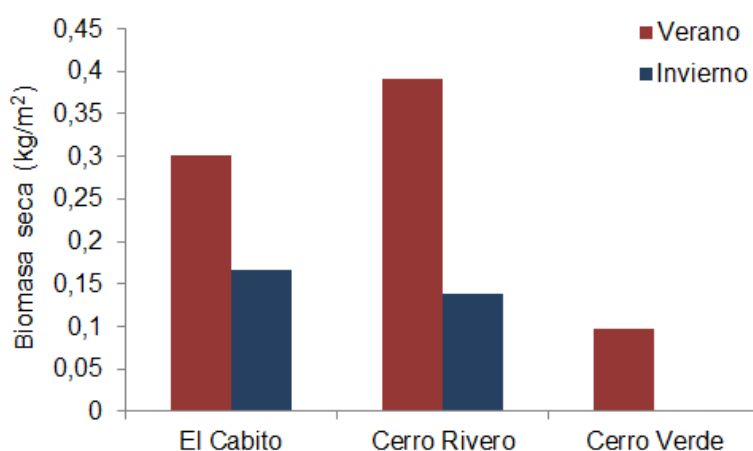
**Figura 8.** Especies encontradas con mayor frecuencia de ocurrencia en todos los sitios y estaciones del año (fotografías tomadas en el laboratorio). **A:** *Ulva* sp. morfotipo laminar; **B:** *Jania rubens*; **C:** *Cryptopleura ramosa* y **D:** *Polysiphonia* sp.1.



**Figura 9.** Ejemplar de la especie exótica *Grateloupia turuturu* registrada por primera vez en Uruguay. Fotografía tomada en el laboratorio.

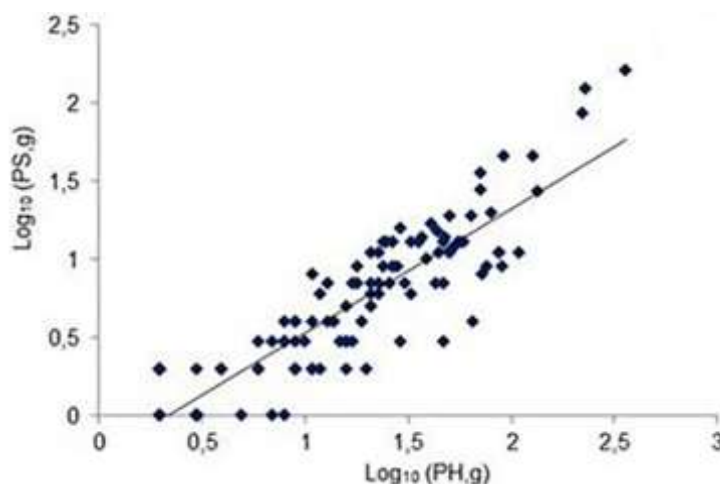
### Biomasa de macroalgas

Se estimó la biomasa total húmeda y seca para todos los sitios en conjunto y los valores hallados fueron mayores en verano (PH: 2,17 kg/m<sup>2</sup>, PS: 0,80 kg/m<sup>2</sup>) que en invierno (PH: 0,98 kg/m<sup>2</sup>, PS: 0,30 kg/m<sup>2</sup>), particularmente en Cerro Rivero y El Cabito (Figura 10).



**Figura 10.** Biomasa total seca de macroalgas (kg/m<sup>2</sup>) para cada sitio (El Cabito, Cerro Rivero y Cerro Verde) y estación del año.

Se encontró una relación lineal positiva entre el PS (g) y el PH (g) de macroalgas para todos los sitios en conjunto y ambas estaciones del año, ajustándose un modelo para estimar el PS a partir del PH (Figura 11).



**Figura 11.** Relación y modelo ajustado entre el peso húmedo ( $\text{Log}_{10}(\text{PH}+1)$ ) y el peso seco ( $\text{Log}_{10}(\text{PS}+1)$ ) de macroalgas combinando sitios y estaciones del año ( $R^2=0,78$   $p<0,05$ ;  $\text{log}_{10}(\text{PS}+1)=0,80*\text{log}_{10}(\text{PH}+1) - 0,27$ ).

### Grupos morfo-funcionales de macroalgas









La clasificación de grupos morfo-funcionales de macroalgas adaptada a Uruguay implicó ocho categorías de grupos morfo-funcionales: **calcárea articulada**, **calcárea incrustante**, **filamentosa**, **foliácea**, **robusta**, **carnoso corticado**, **carnoso ramificado** y **vesicular** (Tabla 5).

**Tabla 5.** Descripción de los distintos grupos morfo-funcionales (calcárea articulada, calcárea incrustante, filamentosa, foliácea, robusta, carnoso corticado, carnoso ramificado y vesicular) según estructura del talo, rango de tamaño y ejemplos de taxones registrados según cada grupo morfo-funcional.

Nombre	Descripción	Tamaño medio y rango	Ejemplo de taxones
[1] <b>calcárea articulada</b>	talo calcáreo de CaCO <sub>3</sub> duro con articulaciones	1 – 7 cm	<i>Amphiroa beauvoisii</i> <i>Corallina officinalis</i> <i>Jania rubens</i>
[2] <b>calcárea incrustante</b>	talo calcáreo en forma de lámina insertado en el sustrato	1 cm	<i>*Hildenbrandia</i> sp.
[3] <b>filamentosa</b>	talo fino y laxo con o sin ramificaciones	2 – 12 cm	<i>Bryopsis pennata</i> <i>Bryopsis</i> sp. <i>Ceramium</i> spp. <i>Chaetomorpha aerea</i> <i>Chaetomorpha antenina</i> <i>Cladophora albida</i> <i>Cladophora</i> sp. 1 <i>Cladophora vagabunda</i> <i>Dasya</i> sp. 1 <i>Polysiphonia</i> sp. 1 <i>Polysiphonia</i> sp. 2 <i>Polysiphonia</i> sp. 3
[4] <b>foliáceas</b>	talo fino y flexible con aspecto similar a una hoja	5 – 50 cm	<i>Ulva</i> spp. morfo laminar <i>Ulva</i> spp. morfo tubular <i>Porphyra/Pyropia</i> spp.
[5] <b>carnoso corticado</b>	talo cueroso con textura gelatinosa	3 – 10 cm	<i>Cryptopleura ramosa</i> <i>Grateloupia cuneifolia</i> <i>Grateloupia filicina</i> <i>Grateloupia turuturu</i> <i>Petalonia fascia</i> <i>Rhodymenia</i> spp. <i>Scytosiphon lomentaria</i>
[6] <b>carnoso ramificado</b>	talo cueroso con textura gelatinosa y con numerosas ramificaciones	3 – 18 cm	<i>Ahnfeltia plicata</i> <i>Chondracanthus acicularis</i> <i>Chondracanthus teedei</i> <i>Gymnogongrus griffithsiae</i> <i>Hypnea musciformis</i> <i>Myriogloea major</i> <i>Nemalion helminthoides</i> <i>Pterocliadiella capillacea</i>
[7] <b>robusta</b>	talo cilíndrico y compacto con aspecto esponjoso, pudiéndose encontrar erecto o postrado	5 – 25 cm	<i>Codium decorticatum</i>
[8] <b>vesicular</b>	talo cueroso con textura gelatinosa y forma similar a una esfera con su interior hueco	1 – 2 cm	<i>Colpomenia sinuosa</i>

*\*Hildenbrandia* sp. es una especie calcárea incrustante que solo es posible su identificación mediante microscopía, en este estudio se sugiere la existencia de dicha especie pero aún no ha sido identificada.

**Tabla 4.** Clave de identificación de grupos morfo-funcionales de macroalgas del Uruguay.

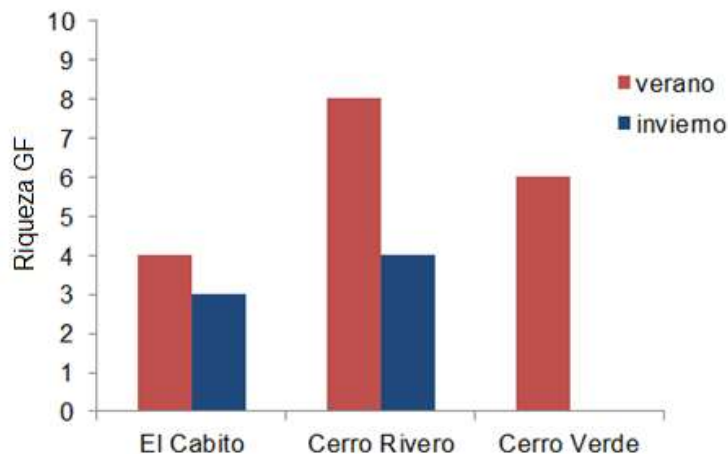
1. a. Talo fino y laxo con o sin ramificaciones .....	Filamentosa		2 - 12 cm
b. Talo sin las características anteriores .....	2		
2. a. Talo cilíndrico y compacto con aspecto esponjoso, erecto o postrado.....	Robusta		5 - 25 cm
b. Talo sin la descripción anterior.....	3		
3. a. Talo duro con esqueleto calcáreo .....	4		
b. Talo sin las características anteriores .....	6		
4. a. Talo en forma de lámina insertada en el sustrato.....	Calcárea incrustante		1 cm
b. Talo duro con articulaciones .....	Calcárea articulada		1 - 7 cm
6. a. Talo de aspecto cueroso con textura gelatinosa .....	7		
b. Talo fino y flexible con aspecto similar a una hoja.....	Foliácea		5 - 50 cm
7. a. Talo con numerosas ramificaciones.....	Carnoso ramificado		3 - 18 cm
b. Talo sin ramificaciones.....	8		
8. a. Forma similar a una esfera con su interior hueco.....	Vesicular		1 - 2 cm
b. Talo sin las características anteriores.....	Carnoso corticado		3 - 10 cm



**Figura 12.** Fotografías tomadas en el laboratorio de ejemplares representativos de las distintas categoría de grupos morfo-funcionales de macroalgas identificados: **A**, calcárea articulada; **B**, calcárea incrustante; **C**, filamentosa; **D**, foliáceas; **E**, carnosos corticados; **F**, carnosos ramificados; **G**, robusta y **H**, vesicular.

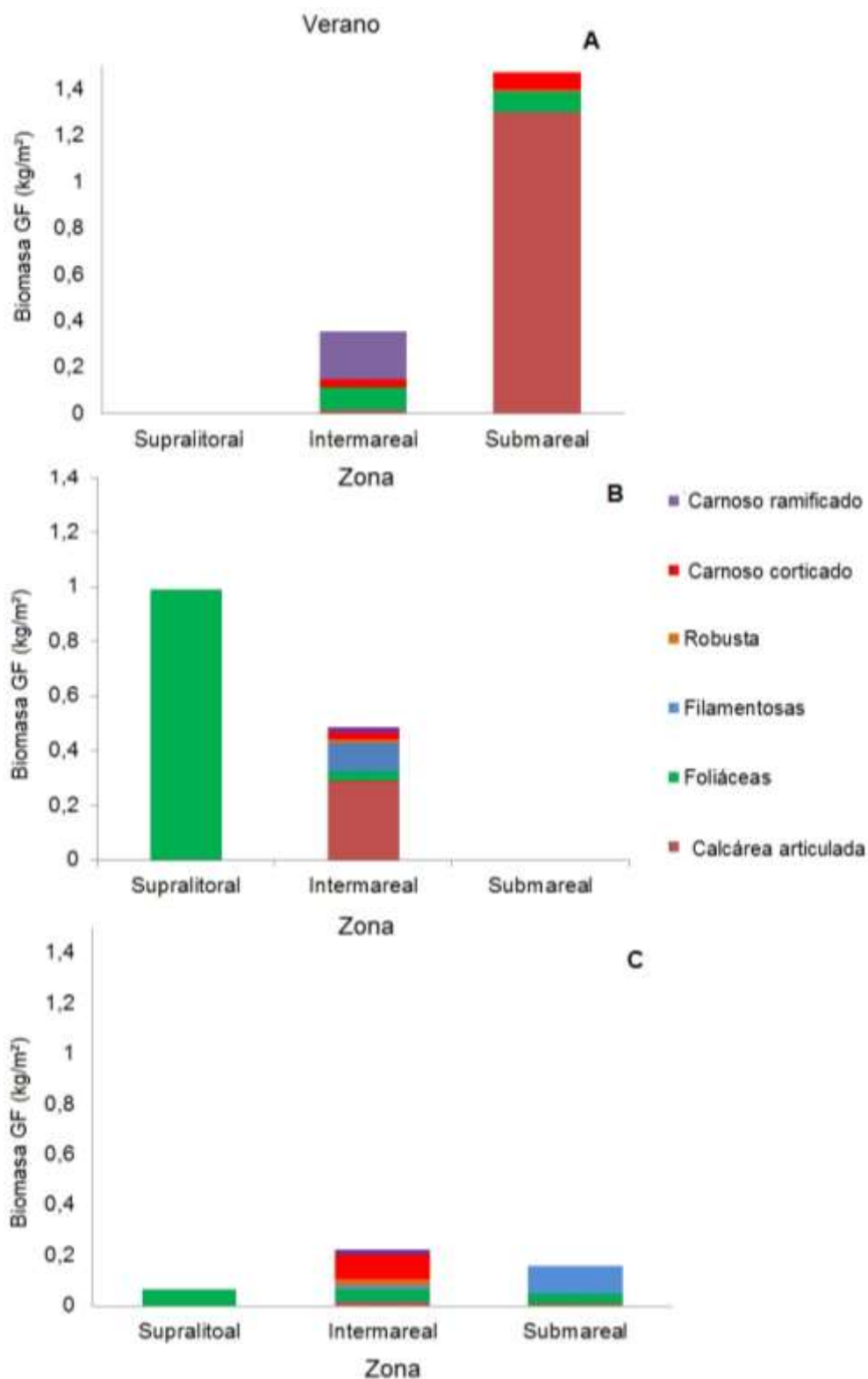


En forma general todos los sitios presentaron una mayor riqueza funcional (número de grupos morfo-funcionales) en verano respecto al invierno, coincidiendo con lo observado en riqueza de especies (Figura 13).

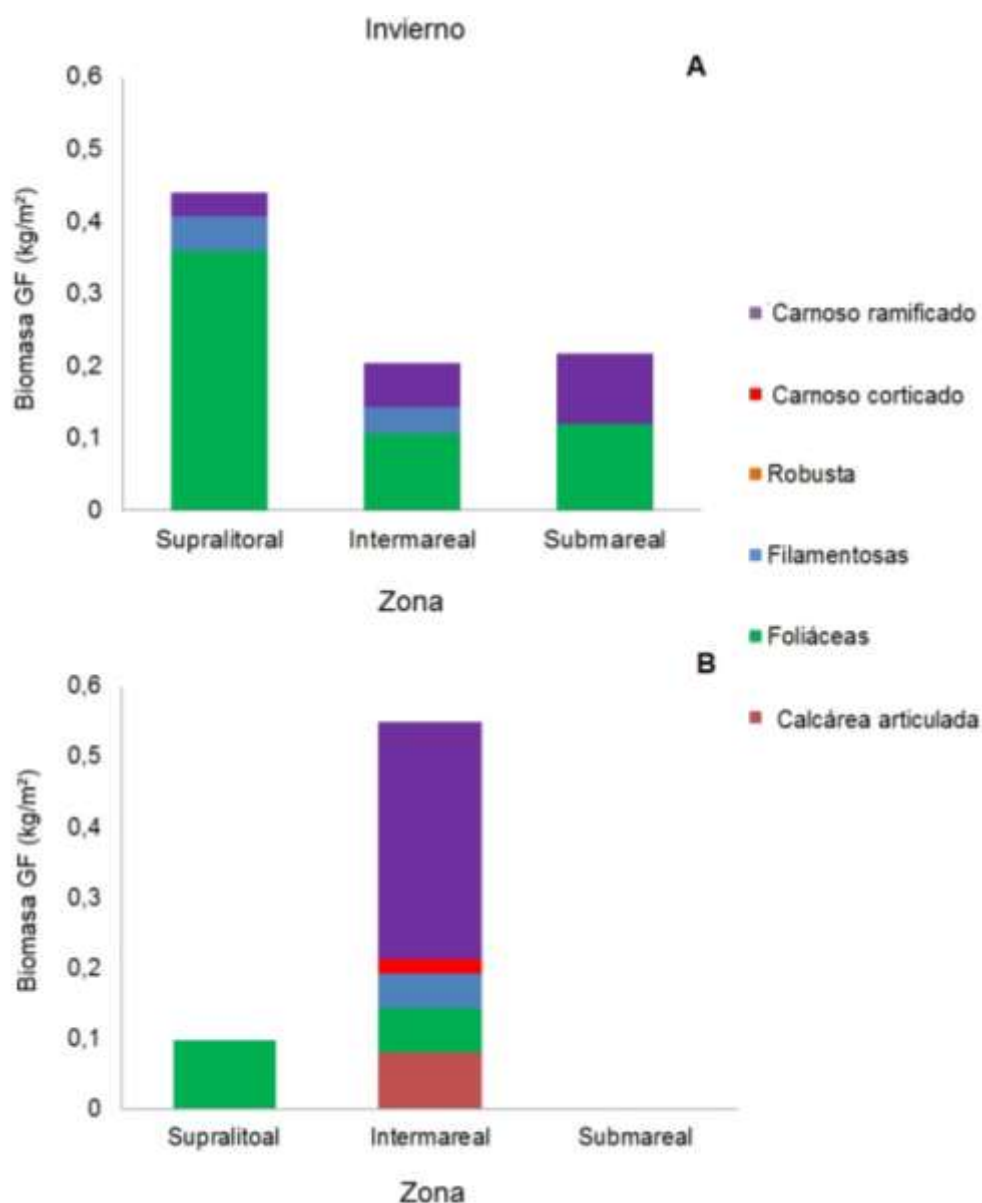


**Figura 13.** Riqueza de grupos morfo-funcionales por sitio (El Cabito en La Paloma; Cerro Rivero en Punta del Diablo y Cerro Verde en La Coronilla) y estación del año (verano, en color rojo; invierno, en color azul).

El grupo morfo-funcional que presentó una mayor frecuencia de ocurrencia fue el de las **foliáceas** encontrándose en todos los sitios y en ambas estaciones del año (Figuras 14 y 15). En el verano se encontró una gran abundancia del grupo **calcárea articulada** para El Cabito y Cerro Rivero, mientras que en Cerro Verde y Cerro Rivero también se destacó una gran abundancia del grupo **filamentosas**, presentando una biomasa similar al grupo de las **foliáceas** para el caso de Cerro Verde (Figura 14). Por otro lado, para el invierno el grupo que presentó una mayor biomasa fue el de las **foliáceas** para todas las zonas de ambos sitios muestreados (El Cabito y Cerro Verde), seguido por el grupo de **caroso ramificado** que también presentó una gran abundancia y distribución espacial (Figura 15).



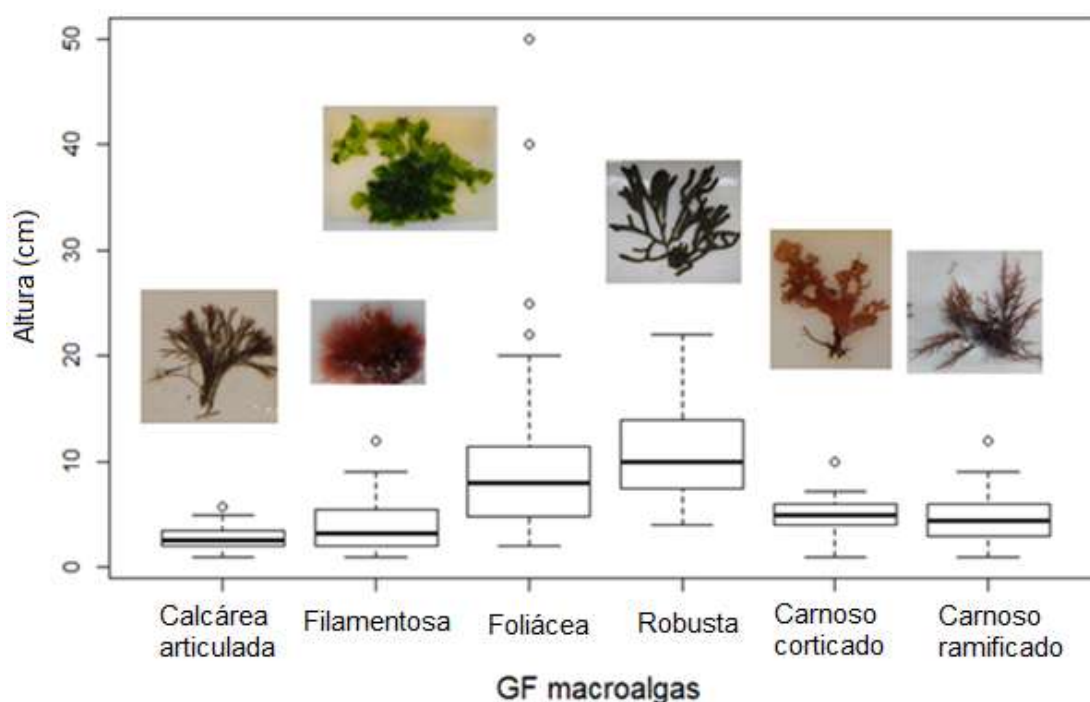
**Figura 14.** Biomasa de grupos morfo-funcionales (GF,  $\text{kg/m}^2$ ) por zona (supralitoral, intermareal y submareal) y por sitio para el muestreo de invierno. **A**, El Cabito (La Paloma); **B**, Cerro Rivero (Punta del Diablo) y **C**, Cerro Verde (La Coronilla)



**Figura 15.** Biomasa de grupos morfo-funcionales (GF, kg/m<sup>2</sup>) por zona (supralitoral, intermareal y submareal) y por sitio para el muestreo de invierno. **A**, El Cabito (La Paloma) y **B**, Cerro Rivero (Punta del Diablo).

De los taxones identificados y clasificados según grupos morfo-funcionales se observó que los grupos que presentaron una mayor riqueza de taxones fueron las algas filamentosas (14 taxones), carnosos corticados (nueve taxones) y carnosos ramificados (siete taxones). Por otro lado, el grupo de las calcáreas articuladas estuvo representado por tres taxones, las foliáceas por dos taxones y el grupo de las robustas y de las vesiculares presentaron una sola especie cada grupo (Tabla 5).

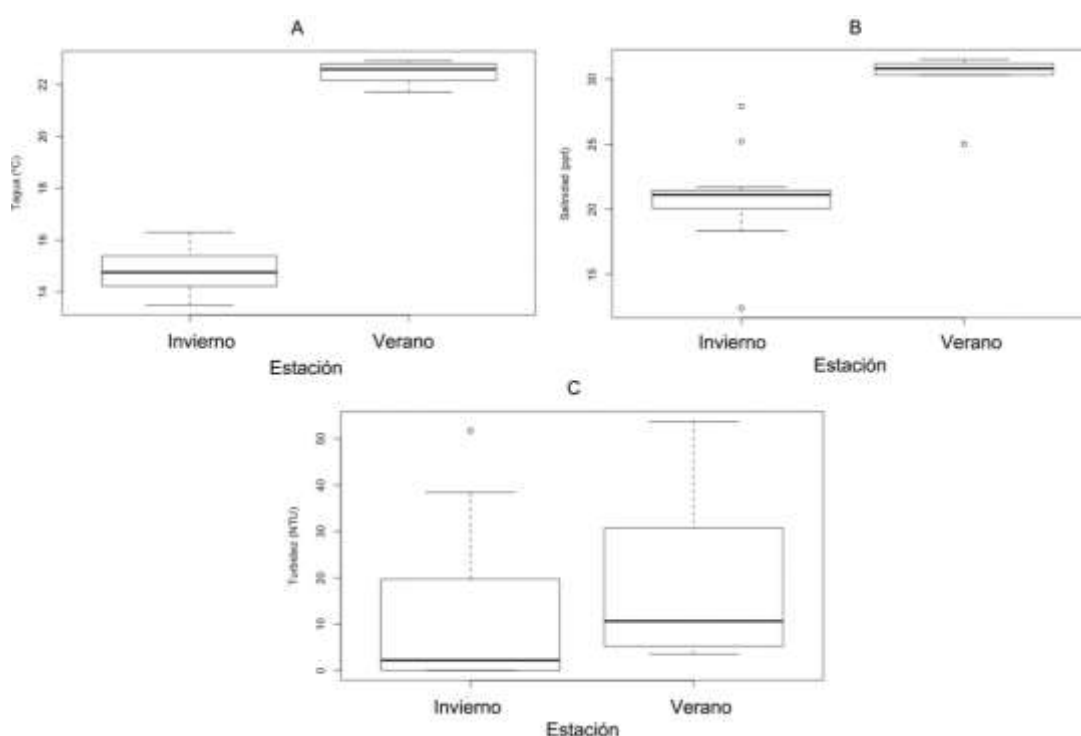
Los grupos morfo-funcionales que presentaron mayores valores y variabilidad de tamaños fueron el grupo de las **foliáceas** (predominando especies del complejo *Ulva* spp. en más de un 80%), seguido por el grupo de las **robustas** (correspondiendo en un 100% a la especie *Codium decorticatum*) (Figura 16). Los grupos morfo-funcionales de algas **filamentosas**, **calcáreas articuladas**, **carnoso ramificado** y **carnoso corticado** presentaron medidas de menor tamaño y menor variabilidad, siendo representados por una mayor riqueza de taxones (Figura 16 y Tabla 5).



**Figura 16.** Diagramas de cajas mostrando los valores medios y variabilidad de altura de los talos de organismos representativos de los distintos grupos morfo-funcionales. En todos los casos la línea horizontal oscura representa la mediana de los datos, el rectángulo representa el 1er y el 3er cuartil y la línea vertical punteada representa el rango de distribución.

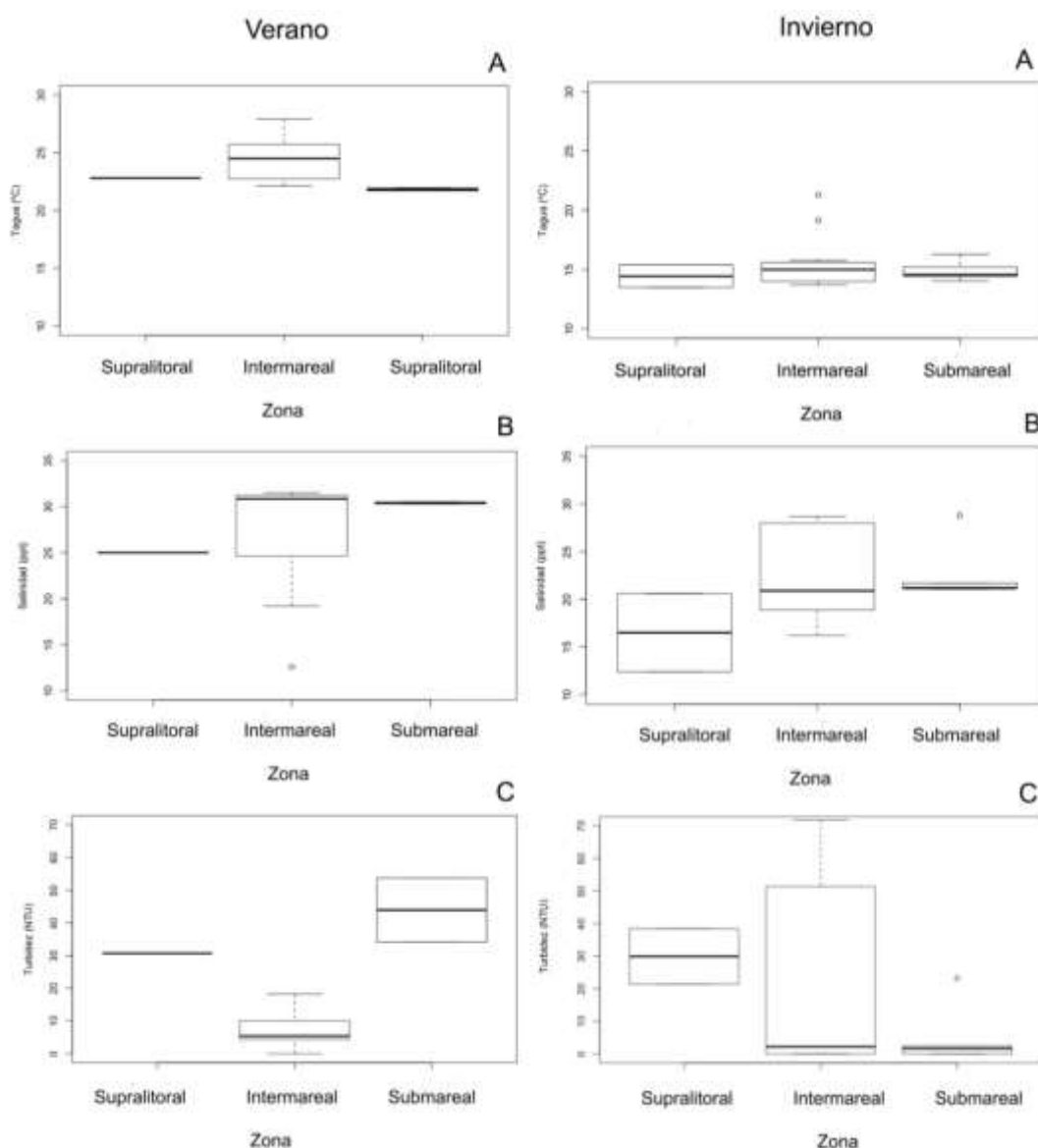
## VARIABLES AMBIENTALES

La salinidad, la temperatura del aire y la temperatura del agua fueron mayores en verano (Figura 17, A y B y Tabla 6). La temperatura del aire en el muestreo de verano varió entre 21,6 °C y 25,3 °C mientras que en el invierno varió de 17,5 °C a 21,1 °C (Tabla 6). La temperatura del aire y la temperatura del agua presentaron una relación lineal positiva ( $R^2=0,70$ ,  $p<0,001$ ;  $T_{\text{aire}} = 1,35 \cdot T_{\text{agua}} - 10,94$ ). La turbidez no tuvo diferencias significativas entre estaciones del año presentando una importante variabilidad (Figura 17, C y Tabla 6).



**Figura 17.** Boxplot de variables ambientales de: **A:** temperatura del agua (°C); **B:** salinidad (ppt) y **C:** Turbidez (NTU), para cada estación del año (verano e invierno). En todos los casos la línea horizontal oscura representa la mediana de los datos, el rectángulo representa el 1er y el 3er cuartil y la línea vertical punteada representa el rango de distribución.

Se observó que para todas las variables abióticas del agua analizadas la zona intermareal presentaron una mayor variabilidad con respecto a las demás zonas (Figura 18 y Tabla 6). Si bien se observaron algunas tendencias, como el aumento de la salinidad desde la zona supralitoral hacia el submareal, no se observaron diferencias significativas (Figura 18 y Tabla 6).

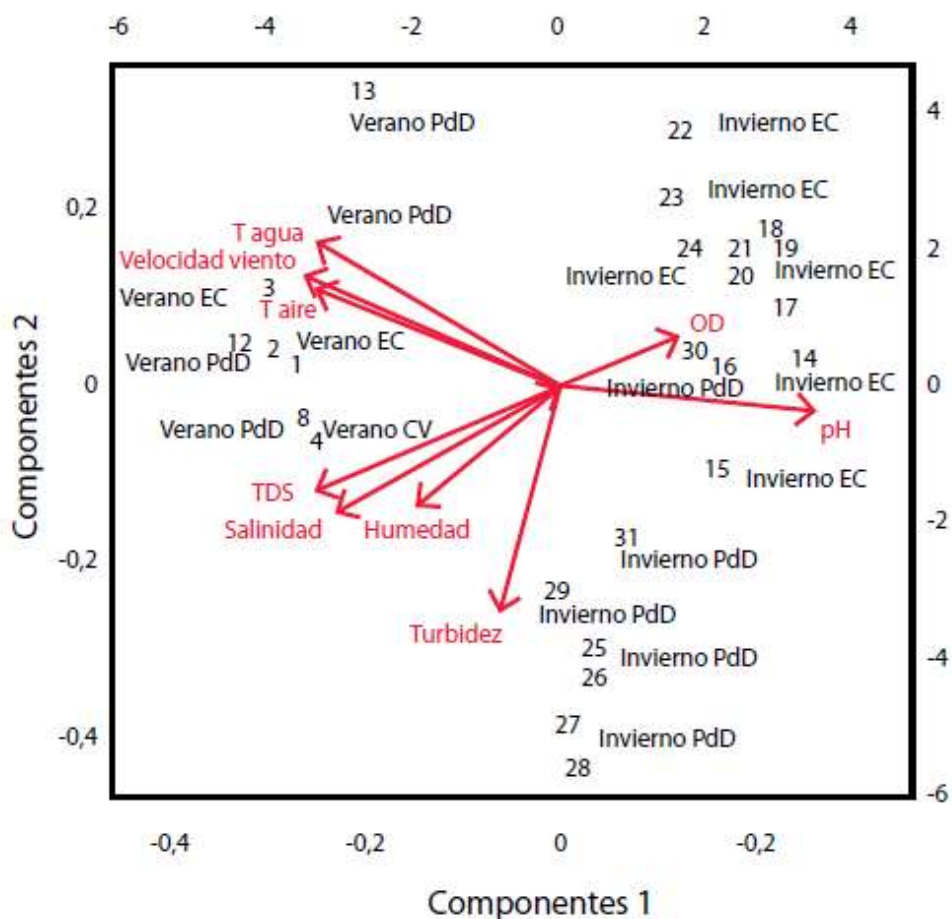


**Figura 18.** Boxplot de variables ambientales del agua: **A:** temperatura (°C); **B:** salinidad (ppt) y **C:** turbidez (NTU) para cada zona (supralitoral, intermareal y submareal) y según la estación del año (verano e invierno). En todos los casos la línea horizontal oscura representa la mediana de los datos, el rectángulo representa el 1er y el 3er cuartil y la línea vertical punteada representa el rango de distribución.

**Tabla 6.** Resultados de las pruebas de LRT

Variable	Estación del año (verano e invierno)		Zonas (supralitoral, intermareal y submareal)	
	Media	Varianza	Media	Varianza
Salinidad	LRT=12,99; p<0,001	LRT= 1,09; p=0,29	LRT= 2,82; p=0,24	LRT=0,78; p= 0,67
Temperatura del aire	LRT=10,2; p<0,001	LRT= 0,14; p= 0,71	LTR=0,93; p=0,63	LRT=5,0; p=0,16
Temperatura del agua	LRT=28,0; p<0,001	LRT= 2,11; p=0,15	LRT= 0,54; p=0,77	LRT= 0,77; p=0,68
Turbidez	LRT=0,68; p= 0,41	LRT= 0,75; p= 0,78	LRT=5,75; p= 0,056	LRT= 3,43; p=0,18

Finalmente, el diagrama biplot del análisis de componentes principales (ACP) (Figura 19) mostró que las variables más relevantes para explicar las diferencias en las condiciones ambientales de los distintos sitios fueron la temperatura del agua, la salinidad y la turbidez. Con base en estas variables los sitios se organizaron principalmente en función de la estación del año. Los muestreos de verano e invierno fueron distintos en la mayoría de las variables. El verano fue más cálido, con más viento y mayor salinidad, mientras que el invierno fue más frío y presentó mayores valores de pH y oxígeno disuelto en el agua. La turbidez del agua tuvo un comportamiento distinto: se ubicó en forma perpendicular al gradiente estacional y fue más alta en Cerro Rivero durante el invierno que en los demás sitios. Asimismo, en verano los sitios se diferencian menos entre sí que en invierno, cuando principalmente la turbidez y en menor grado la salinidad se organizaron a lo largo de un gradiente de aguas más claras (El Cabito) a más turbias (Cerro Rivero). Para el sitio El Cabito se observaron además diferencias entre transectas y un cambio en la turbidez con la distancia a la costa.



**Figura 19.** Diagrama biplot del análisis de componentes principales incluyendo con números y letras todos los sitios (Puna del Diablo: PdD, El Cabito: EC y Cerro Verde: CV) y transectas muestreados en ambas estaciones del año (invierno y verano). En flechas se incluyen las variables ambientales medidas en aire y agua incluyendo: temperatura del agua (Tagua, °C); intensidad del viento (m/s); temperatura del aire (Taire, °C); salinidad (ppt); turbidez (NTU); pH y oxígeno disuelto (OD, mg/L).



## Discusión

En este trabajo se realizó un relevamiento de la riqueza y composición de especies así como de la biomasa total y de grupos morfo-funcionales de macroalgas en puntas rocosas de la costa atlántica de Uruguay. Estos sitios se diferenciaron, por ejemplo, en términos topográficos, geomorfológicos, en grado de presión antrópica y estado de conservación, así como también en el grado de extracción artesanal y comercial de la especie *Ulva* sp. para fines principalmente gastronómicos. Los principales resultados indicaron que el verano fue la estación del año con mayor biomasa y riqueza de especies y de grupos morfo-funcionales, principalmente en Cerro Rivero. Esta estación también fue especialmente más rica en rodofitas y clorofitas, asociado a que la temperatura actúa favoreciendo la riqueza de especies de estos grupos, principalmente de rodofitas (Zhuang, 2006; Liuzzi, et al., 2011; Harley, et al., 2012; Keith, et al., 2014). Cerro Rivero y Cerro Verde presentaron mayor riqueza de especies en comparación con El Cabito. Estas diferencias entre sitios en verano, podrían estar asociadas a la mayor heterogeneidad del sustrato (pozas de marea). La menor alteración por actividades antrópicas para el caso de Cerro Verde podría ser un factor que también esté contribuyendo a la riqueza de especies.

El número de especies registradas en este estudio (36 taxones) alcanzó el 50% del total de las especies citadas por Coll y Oliveira (1999) (72 especies) cuyo trabajo abarcó varios puntos de la costa de Montevideo, Canelones, Maldonado y Rocha. Estos autores incluyen las tres localidades muestreadas en este trabajo, aunque no se detallan los sitios, observándose una mayor riqueza para el departamento de Rocha frente al resto de las zonas analizadas (Coll y Oliveira, 1999). Si bien el número de especies identificadas en nuestro caso fue menor al registrado por estos autores, los taxones observados en este trabajo serían los representativos para la zona en términos de biomasa. Por otra parte, Coll y Oliveira (1999) consideraron muestras

colectadas a lo largo de varios años, así como también especies muy pequeñas y epífitas. Aproximadamente 10 especies menores a 1 cm de altura del talo, de las cuales cinco especies eran epífitas. En este estudio no fueron considerados aquellos talos menores a 1 cm de altura por lo que la riqueza total podría estar subestimada. La futura evaluación de las especies identificadas a nivel de género y el uso de herramientas moleculares para análisis taxonómicos incrementaría el número de taxones registrados en el presente estudio. Además, dadas las características transicionales del área de estudio es esperable la ocurrencia puntual de especies subtropicales asociadas a fenómenos oceanográficos anómalos, que eventualmente colonizarán la costa uruguaya. En este sentido, durante la finalización de esta pasantía se pudo verificar la existencia adicional de macroalgas calcáreas incrustantes, no registradas previamente en la costa uruguaya (F. Támeaga, com. pers.) y que serán objeto futuro de investigación.

En este trabajo la mayor riqueza de especies estuvo asociada al grupo de las rodofitas (58,3%), seguido por clorofitas (30,6%), mientras que las ocrofitas estuvieron poco representadas (11,1%). Las proporciones fueron similares a las registradas por Coll y Oliveira (1999) (57%; 33,3% y 9,7%, respectivamente) y a otros estudios realizados en la región que también mostraron una mayor proporción de especies de rodofitas con respecto a los demás grupos (Brasil: Figueiredo, et al., 2009; Argentina: Liuzzi, et al., 2011; Brasil: Portugal, et al., 2016). La temperatura es una de las principales variables moduladoras de la riqueza de cada grupo filogenético en distintas latitudes. El aumento de la temperatura actúa favoreciendo a las rodofitas frente a los demás grupos filogenéticos en términos de diversidad (Zhuang, 2006; Liuzzi, et al., 2011; Harley, et al., 2012; Keith, et al., 2014). Esto podría estar asociado a la mayor riqueza encontrada de especies del grupo morfo-funcional filamentosas, cuyo talo se caracteriza por tener una estructura flexible y laxa que le permite soportar la acción de las olas en las zonas más expuestas del intermareal (Steneck y Dethier 1994;

Holloway-Adkins, et al., 2015; Pellizzari, et al., 2017).

La mayor riqueza de especies encontrada en verano en Cerro Rivero y Cerro Verde, en comparación con El Cabito, estuvo asociada al tipo de sustrato y a una mayor heterogeneidad espacial representada principalmente por un mayor número y diversidad de pozas. Según Steneck y Dethier (1994), los ambientes que están menos expuestos a situaciones de disturbios como la remoción por el oleaje o herbivoría o estrés ambiental como la desecación y exposición a la luz solar facilitan el crecimiento y el desarrollo de una mayor biomasa de macroalgas. En este sentido, la mayor riqueza de especies encontrada en las pozas de marea podría verse asociada a que generan microhábitats más protegidos y menos expuestos a situaciones de disturbio, favoreciendo de esta forma el crecimiento de un mayor número de especies y de grupos morfo-funcionales.

Se registraron por primera vez para Uruguay dos especies: *Grateloupia turuturu* y *Dasya* sp (ambas rodofitas). *Grateloupia turututu* es una especie exótica invasora originaria del océano Pacífico (Acevedo, et al., 2015), que fue introducida accidentalmente en la última década en el Atlántico suroccidental y se ha reportado en las costas de Santa Catarina en 2015 (Acevedo, et al., 2015). En este estudio esta especie fue registrada en Cerro Rivero (Punta del Diablo) en el 2016 durante el muestreo de verano, habiendo sido anteriormente observada en el Puerto de La Paloma (Rocha, Uruguay) durante el año 2015 (Vélez-Rubio, com. pers.). *Dasya* sp. pertenece a un género que actualmente cuenta con aproximadamente 81 especies y se encuentra ampliamente distribuido en mares subpolares, templados y tropicales (Guiry y Guiry, 2017), siendo registrada por primera vez en Uruguay en el invierno en El Cabito y en Cerro Rivero en el año 2016.

La zona intermareal y supralitoral se caracterizaron por una gran variabilidad de las

condiciones ambientales del agua (temperatura, salinidad y turbidez) en comparación con la zona submareal. Esto es debido a su mayor exposición al oleaje y evaporación, lo cual genera cambios de temperatura y salinidad por mezcla de aguas con distintas características, así como también cambios en los niveles de turbidez por la suspensión de sedimento por acción de las olas (Schiel, et al., 2006; Holloway-Adkins, et al., 2015; Pellizzari, et al., 2017). Los ambientes más expuestos a disturbios suelen presentar dominancia de algunos organismos tolerantes como es el caso de los grupos morfo-funcionales **filamentosas** (ej. *Cladophora* spp.) y las **foliáceas** (principalmente el complejo *Ulva* spp.) (ambas clorofitas) (Steneck y Dethier, 1994; Holloway-Adkins, et al., 2015; Portugal, et al., 2016; Pellizzari, et al., 2017). Este fue el caso de El Cabito, un ambiente con menor número de pozas y sustrato más expuesto, donde se encontró alta abundancia del complejo *Ulva* spp. Además de las características del sustrato, este sitio es el que presenta mayor presión antropogénica durante el verano, generando más disturbios por remoción de biomasa y favoreciendo el crecimiento del complejo *Ulva* spp. y de *Hypnea musciformis* (**caroso ramificado**) a través del incremento de los nutrientes (Portugal, et al., 2016).

Las especies que se encontraron dominando en todos los sitios y en ambas estaciones del año fueron especies del grupo morfo-funcional **foliáceas** integrado principalmente por el complejo *Ulva* spp. (clorofita) (Tabla 2). Se caracterizan por un ciclo de vida corto, de 2 a 3 meses, que incluye las fases de colonización, desarrollo y crecimiento rápido (Steneck y Dethier, 1994; Holloway-Adkins, et al., 2015; Pellizzari, et al., 2017). Son especies cosmopolitas y con amplia distribución espacial, incluyendo el supralitoral (expuestas a la desecación), el intermareal (expuestas a la acción de las olas) y zonas del submareal con mayor profundidad y escasa luz solar (Steneck y Dethier, 1994; Santelices, et al., 2009; Holloway-Adkins, et al., 2015; Pellizzari, et al., 2017). Esto explicaría la elevada frecuencia de aparición de estas especies en todas las profundidades, microhábitats y sitios muestreados para ambas estaciones del año.

Un patrón similar se encontró en verano para el grupo morfo-funcional **calcárea articulada**, representado principalmente por las especies *Corallina officinalis* y *Jania rubens* (rodofita). Este grupo se caracteriza por tener un talo calcáreo que les proporciona protección frente a los disturbios (ej. la herbivoría) permitiéndoles crecer y desarrollarse en una variedad de ambientes y condiciones (Steneck y Dethier, 1994; Pellizzari, et al., 2017), lo cual coincide con lo hallado en este trabajo, donde las especies coralináceas se encontraron con una gran distribución espacial, desde ambientes expuestos del intermareal a ambientes más protegidos del submareal o pozas de marea.

Para el invierno se destacó una gran frecuencia de ocurrencia y abundancia del grupo **carnoso ramificado**, el cual suele dominar ambientes con bajo nivel de disturbio (Balata *et al.*, 2011; Steneck y Dethier, 1994), lo cual coincide con lo hallado en este trabajo encontrándose ampliamente distribuido en los ambientes más someros con menor nivel de disturbio de El Cabito (ej. canaletas formadas entre las rocas) y de Cerro Rivero (ej. pozas de marea y zonal submareal).

Al comparar la frecuencia de ocurrencia de las especies y grupos morfo-funcionales en relación a las zonas (supralitoral, intermareal y submareal) se encontró una distribución similar a la zonación descrita por Maytía y Scarabino (1979) para las puntas rocosas de Uruguay. Estos autores indican a) la presencia ocasional de *Nemalion* sp. en zona alta del intermareal que se vincula al agua retenida entre los cirripedios *Chthamalus bisinuatus*; b) especies del complejo *Ulva* spp. en el intermareal medio, c) una zona menos expuesta del intermareal está dominada por *Pterocliadiella capillacea* (**carnoso ramificado**) y d) la zona submareal es definida por la presencia de *Codium* sp. (**robusta**) arraigado conjuntamente con especies coralináceas como *Corallina officinalis* y *Jania rubens* (**calcárea articulada**).

Las rodofitas siguieron el patrón de la riqueza total, al igual que las clorofitas con algunas excepciones como la ausencia de diferencias en la riqueza en El Cabito entre invierno y verano. Esto podría estar asociado a la mayor tolerancia de las especies de clorofitas a los cambios ambientales del agua (temperatura, salinidad y turbidez) y del aire (temperatura, intensidad del viento) (Santelices, et al., 2009; Keith, et al., 2014). La baja riqueza de especies de algas pardas registradas (cuatro taxones) coincide con la hallada en estudios anteriores para Uruguay (siete taxones) (Coll, 1976; Coll y Oliveira, 1999). Esto podría deberse a que las ocrofitas está mayormente asociado a latitudes mayores donde predominan aguas con menor temperatura y baja turbidez a lo largo de todo el año (Santelices, et al., 2009, Liuzzi, et al., 2011; Keith, et al., 2014).

Las diferencias en la estructura y heterogeneidad del sustrato estuvieron ligadas a las características geológicas de cada sitio, ya que Cerro Rivero y Cerro Verde comparten la misma unidad geológica (Complejo Granítico Santa Teresa), mientras que El Cabito corresponde a metasedimentos de fondo marino de la Formación Rocha (Basei, et al., 2013; Blanco, et al., 2014). Si bien la heterogeneidad del sustrato fue un factor clave en determinar la estructura comunitaria, su efecto fue notorio en verano, ya que en invierno para El Cabito y Cerro Rivero se encontró la misma riqueza de especies (18 especies). Esto indicaría que la temperatura tiene un rol preponderante y el incremento de la riqueza asociada a diferencias en la heterogeneidad de sustrato ocurre a mayores temperaturas, como ha sido observado en otros trabajos (Zhuang, 2006).

Se encontró una relación lineal positiva entre el peso seco y el peso húmedo de las muestras de macroalgas colectadas. El modelo ajustado a esta relación permitiría estimar el peso seco a partir del húmedo, siendo necesario para realizar cálculos de biomasa de macroalgas. Aplicar el modelo ajustado podría ser útil en futuros estudios, disminuyendo el trabajo de laboratorio al evitar realizar el secado de las muestras.

## Conclusiones

Este trabajo permitió retomar una línea de investigación poco transitada en las últimas dos décadas en Uruguay. Fue posible por primera vez realizar un registro estacional de la riqueza de especies de macroalgas y biomasa de grupos morfo-funcionales de macroalgas analizando su abundancia y distribución en tres sitios con diferentes características de la costa atlántica uruguaya. Los principales resultados muestran que las rodofitas son el grupo con mayor diversidad, seguido de las clorofitas y finalmente las ocrofitas, siendo las especies más dominantes el complejo *Ulva* spp. (clorofita) y las especies *Cryptopleura ramosa*, *Jania rubens* y *Polysiphonia* spp (rodofitas). El verano fue la estación del año con mayor biomasa y riqueza de especies, principalmente rodofitas y clorofitas, indicando que la temperatura es un factor importante en determinar la composición de la comunidad de macroalgas. Cerro Rivero y Cerro Verde presentaron una mayor riqueza de especies en comparación con El Cabito, pudiendo estar principalmente asociado a características del sustrato y a la menor alteración por actividades antrópicas, principalmente para Cerro Verde ya que se encuentra dentro de un Área Protegida donde las macroalgas se están asociadas a los objetos focales de conservación. La utilización de grupos funcionales según rasgos morfológicos resultó una herramienta eficaz para agrupar los organismos y estudiar su distribución y sus respuestas a los cambios ambientales.

A partir de los resultados obtenidos se espera contribuir a incrementar la información actual disponible sobre la temática y realizar en el futuro un monitoreo continuo de macroalgas en Uruguay. Esto aportaría al análisis de aspectos de ecología y a la creación de una línea de base para el manejo, la evaluación del impacto ambiental de megaemprendimientos, el avance de especies invasoras y el análisis de escenarios en relación al cambio climático.

### Referencias bibliográficas

- Acevedo, C. A. A. D., Cassano, V., Júnior, P. A. H., Baista, M. B. y de Oliveira, M. C., 2015. Detecting the non-native *Grateloupia turuturu* (Halymeniales, Rhodophyta) in southern Brazil. En: *Phycologia*, 54(5), pp.451-454.
- Balata, D., Piazzzi, L. y Rindi, F., 2011. Testing a new classification of morphological functional groups of marine macroalgae for the detection of responses to stress. *Marine Biology* 158:2459-2469.
- Basei, M.A.S., Sánchez Bettucci, L., Peel, E. y Muzio, R., 2013. Geocronología U-Pb LA-ICP-MS en circones del Complejo Granítico Santa Teresa, Terreno Punta del Este. VII Congreso Uruguayo de Geología, Programa, 30-31, Montevideo.
- Brazeiro., Al Borthagaray, A.I y Giménez, L., 2006. Patrones geográficos de diversidad bentónica en el litoral rocoso de Uruguay. En: Menafra, R., Rodríguez-Gallego, L., Scarabino, F. y Conde, D., eds. *Bases para la conservación y el manejo de la costa Uruguaya*. Montevideo: Vida Silvestre. Pp.171-178.
- Campos, E.J.D., Piola, A.R., Matano, R.P. y Miller, J.L., 2008. Plata: A synoptic characterization the southwest Atlantic shelf under influence of the Plata River and Patos Lagoon outflows. En: *Cont. Shelf Res.*, 28, pp.1551- 1555.
- Carlton, J.T. y Geller, J.B., 1993. Ecological roulette: the global transport of nonindigenous marine organisms. En: *Science*, 261, pp.78-82.
- Coll, J.F., 1976. *Algas marinhas bentônicas do Uruguai*. São Paulo: Universidade de São Paulo, Depto. de Botânica. (Tese de Doutorado).
- Coll, J.F., 1979. *Catálogo de algas citadas para el Uruguay*. Montevideo: SOHMA-ORCYT (UNESCO).
- Coll, J.F. y Oliveira, E.C., 1999. The benthic marine algae of Uruguay. En: *Bot. Mar.*, 42, pp.129-135.
- Demicheli, M. y Scarabino. F., 2006. Invertebrados bentónicos de La Paloma (Rocha, Uruguay). En: Menafra, R., Rodríguez-Gallego, L., Scarabino, F. y Conde, D., eds. *Bases para la conservación y el manejo de la costa Uruguaya*. Montevideo:



- Vida Silvestre. pp. 523-534.
- Figueiredo, M. A. D. O., Horta, P. A., Pedrini, A. D. G. y Nunes, J. M. D. C., 2009. Benthic marine algae of the coral reefs of Brazil: a literature review. En: *Oecologia Australis*, 12(2), pp.258-269.
- Grime, J.P., 1977. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *American Naturalist* 111, 1169- 1194.
- Guiry, M.D. y Guiry, G.M., 2017. *AlgaeBase. World-wide electronic publication* [En línea]. Galway: National University of Ireland. Disponible en: <http://www.algaebase.org>
- Hareau, A., 1984. Ficoflora marina bentónica del Depto. De Montevideo (Uruguay). Punta Mansa a Punta Brava. *Contrib. Depto Oceanogr. (FCH)*. Montevideo 1(4):1-9.
- Hareau, A. y Osorio, H.S., 1983. Ficoflora marina bentónica del Dep. Montevideo entre Punta Mansa y Punta Brava. *Res Com Jorn C Nat Montevideo* 3. Pp 1-2.
- Hareau, A. y Silva, S., 1984a. Contribución a la ficoflora marina bentónica de Montevideo, Uruguay. En: *Comunicaciones Botánicas del Museo de Historia Natural de Montevideo*, 4 (65).
- Hareau, A. y Silva, S., 1984b. Resultados del primer relevamiento de la ficoflora bentónica de Isla Gorriti (Uruguay). En: *Contrib Depto Oceanogr (FHC) Montevideo*, 1(6).
- Harley, C. D., Anderson, K. M., Demes, K. W., Jorve, J. P., Kordas, R. L., Coyle, T. A. y Graham, M. H., 2012. Effects of climate change on global seaweed communities. En: *Journal of Phycology*, 48(5), pp.1064-1078.
- Holloway-Adkins, K.G. y Hanisak, M.D., 2015 Macroalgal community within a warm temperate/subtropical biogeographic transition zone in the western Atlantic Ocean. En: *Bull Mar Sci*, 91, pp.295–319.
- Howe, M.A., 1931. Notes on the algae of Uruguay. En: *Bull. Torrey Bot Club*, 52,

pp.605-610.

- Hurd, C.L., Harrison, P.J., Bishof, K. y Lobban, C.S., 2014. *Seaweed ecology and physiology*. 2a ed. Cambridge: Cambridge University Press.
- Keith, S.A., Kerswell, A.P. y Connolly, S.R., 2014. Global diversity of marine macroalgae: environmental conditions explain less variation in the tropics. En: *Global Ecology and Biogeography*, 23, pp.517–529.
- Kerswell, A. P., 2006. Global biodiversity patterns of benthic marine algae. En: *Ecology*, 87(10), pp.2479-2488.
- Kruk, C., Martínez, A., Nogueira, L., Alonso, C. y Calliari, D., 2015. Morphological traits variability reflects light limitation of phytoplankton production in a highly productive subtropical estuary (Río de la Plata, South America). En: *Marine Biology*, 162(2), pp.331-341.
- Liuzzi, M. G., López Gappa, J. y Piriz, M.L., 2011. Latitudinal gradients in macroalgal biodiversity in the Southwest Atlantic between 36° and 55° S. En: *Hydrobiologia*, 673(1), pp.205-214.
- Littler, M.M. y Littler, D.S., 1980. The evolution of thallus form and survival strategies in benthic marine macroalgae: field and laboratory tests of a functional form model. *American Naturalist* 116:25-43.
- Littler, M.M. y Arnold, K.E., 1982. Primary productivity of marine macroalgal functional-form groups from southwestern North America. *Journal of Phycology* 18:307–311.
- López-Mendilaharsu, M., Estrades, A., Caraccio, M.N., Calvo, V., Hernandez, M. y Quirici, V., 2006. Biología, ecología y etología de las tortugas marinas en la zona costera uruguaya. En: Menafra, R., Rodríguez-Gallego, L., Scarabino, F. y Conde, D., eds. *Bases para la conservación y el manejo de la costa Uruguaya*. Montevideo: Vida Silvestre. pp. 247-257.
- Maytía, S. y Scarabino, V., 1979. Las comunidades del litoral rochoso del Uruguay: zonación, distribución local y consideraciones biogeográficas. Pp 149-160 In:

Memorias del Seminario sobre Ecología Bentónicas y Sedimentación de la Plataforma Continental del Atlántico Sur (Montevideo, 9-12 de mayo de 1978). UNESCO, ORCYT.

- McGill, B.J., Enquist, B.J., Weiher, E. & Westoby, M., 2006. Rebuilding community ecology from functional traits. *Trends in Ecology and Evolution* 21(4): 178–185.
- Méndez, H., 1983. Florula de chlorophytas bentónicas de "La Paloma", Departamento de Rocha (ROU). En: *Res Com Jorn C Nat Montevideo*, 3. pp 33-34.
- MTOP-PNUD-UNESCO., 1980 Conservación y mejora de playas- URU 73.007. 593 pp+4 apéndices. UNESCO, Montevideo.
- MVOTMA., 2014. Objetos focales de conservación en el área protegida Cerro Verde e Islas de La Coronilla. SNAP/DINAMA. 25pp.
- Oliveira, E.C., Horta, P.A., Emancio, E. y Anna, C.L.S., 2001. Algas e angiospermas marinhas bêmicas do litoral brasileiro. En: Ministério do Meio Ambiente, org., 2001. *Macrodiagnóstico da zona costeira do Brasil, RJ*. Río de Janeiro: Ministério do Meio Ambiente.
- Pellizzari, F. y Reis, R.P., 2011. Seaweed cultivation on the Southern and Southeastern Brazilian Coast. En: *Brazilian Journal of Pharmacology*, 21(2), pp. 305-312.
- Pellizzari, F., Vélez-Rubio, G. M., Cristine-Silva, M. y Carranza, A., 2016a. The seaweeds *Myriogloea major* Asensi (Chordariacea, Phaeophyceae) and *Gayralia oxysperma* (Kützing) KL Vinogradova ex Scagel et al. (Ulvophyceae, Chlorophyta): a case of range extension in the Southwestern Atlantic Ocean?. En: *Marine Biodiversity*, 46(4), pp.853-860.
- Pellizzari, F.M., Silva, C., Silva, M., Medeiros, E.A., Oliveira, M.C., Yokoya, N.S., Rosa, L.H. y Colepicolo, P., 2017. Seaweed diversity and distribution from the South Shetland Islands, Antarctica: an updated database for environmental monitoring under climate changes scenarios. En: *Polar Biol.*, 40(8), pp.1671-1685.
- Pivel, M., 2009. *Reconstrução da hidrografia superficial do Atlântico Sul Ocidental*

*desde o Último Máximo Glacial a partir do estudo de foraminíferos planctônicos*. São Paulo: Universidade de São Paulo. (Tese de Doutorado).

Pinheiro, J., Bates, D., DebRoy, S., Sarkar, D. y Core Team, R., 2016. nlme: Linear and nonlinear mixed effects models. R package version 3.1–127 <http://CRAN.R-project.org/package=nlme>.

Portugal, A.B., Carvalho, F.L., Carneiro, P.B.M., Rossi, S. y Soares, M.O., 2016. Increased anthropogenic pressure decreases species richness in tropical intertidal reefs. En: *Mar. Environ. Res.*, 120, pp. 44 y 54. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2016.07.005>.

Sanches, P.F., Pellizzari, F. y Horta, P.A., 2016. Multivariate analyses of Antarctic and sub-Antarctic seaweed distribution patterns: an evaluation of the role of the antarctic circumpolar current. En: *Journal of Sea Research*, 110, pp.29–38.

Santelices, B., Bolton, J.J. y Meneses, I., 2009. Marine algal communities. En: Witman, J.D. y Roy, K., eds. *Marine macroecology*. Chicago: University of Chicago Press.

Santelices, B. y Hommersand, M., 1997. *Pterocliadiella*, a new genus in the Gelidiaceae (Gelidiales, Rhodophyta). *Phycologia* 36: 114-119.

Scarabino, V., Maytia, S. y Cachés, M., 1975. Carta bionómica del departamento de Montevideo. I. Niveles superiores del sistema litoral. En: *Comunicaciones a la Sociedad Malacológica del Uruguay*, 4(31- 32), pp.177-288.

Scarabino, F., Zelaya, D., Orensanz, J.M., Ortega, L., Defeo, O., Schwindt, E., Carranza, A., Zaffaroni, J.C.; Martínez, G.; Scarabino, V. y García-Rodríguez, F., 2016. Cold, warm, temperate and brackish: Bivalve biodiversity in a complex oceanographic scenario (Uruguay, southwestern Atlantic). En: *American Malacological Bulletin*, 31(2), pp.284-301.

Schaffelke, B. y Hewitt, C.L., 2007. Impacts of introduced seaweeds. En: *Botanica Marina*, 50, pp.397-417.

Schiel, D.R., Wood, S.A., Dunmore, R.A. y Taylor, D.I., 2006. Sediment on rocky

- intertidal reefs: Effects on early post-settlement stages of habitat-forming seaweeds. En: *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 331, pp.158- 172.
- Smale, D.A., Kendrick, G.A. y Wernberg, T., 2010. Assemblage turnover and taxonomic sufficiency of subtidal macroalgae at multiple spatial scales. En: *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 384, pp.76-86.
- Steigleder, K., 2015. *Estrutura das comunidades de macroalgas no mesolitoral rochoso do Atlântico Sudoeste Central (26°S -34°S)*. En: Rio Grande: Universidad Federal Rio Grande, Rio Grande. (Master Thesis).
- Steneck, R.S. y Dethier, M.N., 1994. A functional group approach to the structure of algal dominated communities. En: *Oikos*, 69, pp.476-498.
- Taylor, W.R., 1939. Algae collected by the "Hassler", "Albatross" and Schmitt expeditions. II. Marine algae from Uruguay, Argentina, the Falkland Islands, and the Strait of Magellan. *Papers of the Michigan Academy of Sciences, Arts and Letters* 24: 127-164, Plates 1-7.
- Taylor, W.R., 1960. *Marine algae of the eastern tropical and subtropical coasts of the Americas*. Michigan: Univ. Michigan Press.
- Uruguay. Decreto 285/011, de 11 de agosto de 2011. *Diario Oficial*, 22 de agosto de 2011, No. 28.291, p. 451A.
- Vélez-Rubio, G.M., Estrades, A., Fallabrino, A., Tomás, J., 2013. Marine turtle threats in Uruguayan waters: insights from 12 years of stranding data. En: *Mar Biol* 160, pp.2797–2811.
- Vélez-Rubio, G.M., Cardona, L., Martínez Souza, G., López-Mendilaharsu, M., González-Paredes, D., Carranza, A. y Tomás, J., 2016. Ontogenetic dietary changes of green turtles (*Chelonia mydas*) in the temperate South-Western Atlantic. En: *Marine Biology*, 163(57).

- Wahl, M. ed., 2009. *Marine hard bottom communities: patterns, dynamics, diversity, and change*. Berlín: Springer. (Ecological Studies, 206).
- Wiens, J.J. y Donoghue, M.J., 2004. Historical biogeography, ecology and species richness. En: *Trends in Ecology and Evolution*, 19, pp.639–644.
- Williams, S.L. y Smith, J.E., 2007. A global review of the distribution, taxonomy, and impacts of introduced seaweeds. En: *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 38, pp.327-59.
- Wynne, M.J., 2011. A checklist of benthic marine algae of the tropical and subtropical western Atlantic: third revision. En: *Nova Hedwigia Beiheft*, 140.
- Zhuang, S., 2006. Species richness, biomass and diversity of macroalgal assemblages in tidepools of different sizes. En: *Marine Ecology Progress Series*, 309, pp.67-73.

**Presentación del trabajo en eventos académicos, congresos, publicaciones:**

2016 - **III Jornadas Interdisciplinarias de Biodiversidad y Ecología (JIBE)** – Centro Universitario Regional Este (CURE), Sede Rocha. Presentación de póster: ***“Caracterización de la comunidad de macroalgas en puntas rocosas de la costa de Rocha, Uruguay”***. Presentación oral: ***“Grupos funcionales de macroalgas y sus factores condicionantes en puntas rocosas de la costa de Rocha, Uruguay”***.

Libro de resúmenes:

<http://www.cure.edu.uy/sites/default/files/Libro%20de%20resumenes%20III%20JIBE.pdf> - Páginas 70 y 78.

2016 - **VII Jornadas Pedeciba Geociencias**. Presentación póster: ***“Dinámica espacial y estacional de macroalgas de puntas rocosas en la Costa Atlántica de Uruguay: efectos de los cambios de temperatura, salinidad y nivel del agua”***.

2017 - **Expo Cierre, PAIE-CSIC**. Presentación de resultados finales de Proyectos Investigación Estudiantil. Presentación de póster: ***“Caracterización de la comunidad de macroalgas y cuantificación de su variación estacional en las costas de Rocha.”*** Obtención de mención especial. Resumen:

<http://www.estudiantes.csic.edu.uy/2017/05/18/cure-caracterizacion-de-la-comunidad-de-macroalgas-y-cuantificacion-de-la-su-variacion-estacional-en-la-costa-de-rocha/>

2017 - **X Congreso Chileno de Micro y Macroalgas**: “Avances de biodiversidad, producción y uso de productos derivados”. Universidad Católica del Norte, Coquimbo, Chile. Presentación de póster: ***“Caraterización de la comunidad de macroalgas puntas rocosas de Rocha, Uruguay”***. Resumen:

<http://congresomicromacroalgas.ucn.cl/images/Libro%20resumen.pdf> – Página 143.

2017- Artículo publicado en el tomo número 14 de **INNOTEC**, Revista del Laboratorio Tecnológico del Uruguay, **LATU**. Título ***“Comunidades de macroalgas en puntas rocosas de la costa de Rocha, Uruguay.”*** Disponible en:

<http://ojs.latu.org.uy/index.php/INNOTEC/issue/archive>