



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**  
**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y**  
**OCEANOGRÁFICAS**



**Morfología de la macroalga no-nativa *Mastocarpus* sp. (Phyllophoraceae, Rhodophyta) en ambientes con diferente exposición al oleaje.**

Christóbal Antonio Zambrano Igor

Seminario de Título presentado al  
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFÍA  
DE LA UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN

Para optar al Título de  
Biólogo Marino

Concepción-Chile

2024

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**  
**DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFÍA**

Este seminario de título ha sido realizado en el Departamento de Oceanografía de la Facultad de Ciencias Naturales y Oceanográficas.

Profesor(a) Guía

---

Dr. Erasmo Macaya Horta

Director de Tesis

---

Dr. Erasmo Macaya Horta

Ha sido aprobada por la  
Siguiente Comisión Evaluadora

---

Dr. Cristóbal Villaseñor Parada

---

M. Sc. Viviana Reyes-Gomez

Jefe de Carrera

---

Dr. Ariel Valenzuela Saldías

**Dedicado a mi familia**

**Pilar fundamental en mi vida y formación.**

**Me enseñaron a nunca desistir, pese a toda adversidad que se presentó en el camino.**

**Para ustedes.**

## AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradecer a mi querida familia quienes nunca dudaron de mis capacidades y que sin su apoyo incondicional no podría estar finalizando esta hermosa etapa.

Al Dr. Erasmo Macaya de la Universidad de Concepción, quien ha estado presente y me ha guiado en gran parte de mi formación como estudiante, dispuesto a responder cada duda respecto al desarrollo de este escrito y me ha entregado un sólido conocimiento sobre macroalgas.

Al equipo del Laboratorio de Estudio Algaes de la Universidad de Concepción, quiero agradecer por acompañarme en las tardes de estudio, entenderme, acogerme con cariño, guiarme y demostrar lo importante del trabajo en equipo en la ciencia.

A Ricardo Jeldres quien ha estado presente desde el día uno y me ha guiado en todo ámbito, agradecerle por su carisma y buena disposición en cada una de las actividades llevadas a cabo en este proceso.

Agradecerles a mis queridos amigos, Alberto C., Aline A., Amin A., Valentina M., Valentina P., quienes estuvieron presentes de cualquier forma en este proceso y por último a Rayen S., que sin su apoyo y acompañamiento en este camino llamado tesis hubiera sido todo más difícil.

A Claudia M. y a Kodita, mi mascota, por ser parte de mi vida universitaria y personal durante estos 5 años.

A mi comisión evaluadora compuesta por el Dr. Cristóbal Villaseñor y M. Sc. Viviana Reyes-Gomez quienes me han acompañado y apoyado durante todo este proceso con cada una de sus correcciones y consejos.

A todas esas personas que me han acompañado en este largo proceso de alguna u otra forma y por último agradecer a mi persona, que, independientemente de todas las veces que dije no puedo, logré superar todo tipo de obstáculo y autolimitación que se me presentó en el camino.

Gracias.

## Índice

AGRADECIMIENTOS	4
Índice de figuras	6
Índice de tablas	8
Índice de Anexos	9
Resumen	10
Abstract	11
Introducción	12
Objetivo general	17
Objetivos específicos	17
Materiales y métodos	18
Resultados	21
Discusión	30
Conclusión	32
Bibliografía	33
ANEXOS	34

## Índice de figuras

- Figura 1: Ciclo de vida heteromórfico de *Mastocarpus* (extraído de Avila & Alveal (1987). 13
- Figura 2: Rango de distribución geográfica de la macroalga *Mastocarpus* spp. Los círculos negros indican los puntos muestreados, y aquellos círculos con estrellas indican la presencia de individuos de *Mastocarpus*. La línea punteada muestra distribución original de la especie en Chile, mientras que la línea continua muestra el rango de distribución actual (Macaya et al. 2013). 14
- Figura 3: Localidades donde se obtuvieron las muestras y se llevó a cabo la instalación de los cubos de yeso. Cocholgue marcado en rojo y Dichato marcado en amarillo. 18
- Figura 4: Medición del Largo máximo (LM), Ancho máximo (AM), Largo estipe (LE), Área de la lámina (Área), utilizando el programa ImagePro Plus. 20
- Figura 5: Cálculo del índice de Fetch en los sitios de muestreo, de color amarillo representa la localidad de Cocholgue y el punto rojo representa la localidad de Dichato. 23
- Figura 6: Variabilidad morfológica de ejemplares colectados en la localidad de Dichato. 24
- Figura 7: Comparación de parámetros morfológicos de las muestras entre las localidades de Cocholgue y Dichato ( $Media \pm Desv Est$ ). Las imágenes a la derecha de cada gráfico ilustran la medida correspondiente para las muestras. Puntos sobre la barra de dispersión corresponden a valores extremos (“out liers”). 25
- Figura 8: Resultados del análisis de componentes principales (en inglés, PCA), comparando láminas con presencia de papilas de *Mastocarpus* sp. en las localidades de Dichato (en amarillo) y Cocholgue (en negro). 28

Figura 9: Variabilidad morfológica observada en papilas de las láminas analizadas en las localidades de Cocholgie y Dichato. 28

## Índice de tablas

- Tabla 1: Peso de los cubos antes y después de su instalación en Cocholgüe. Se puede observar que los datos de esta localidad no se lograron completar por la pérdida de los cubos de yeso. 21
- Tabla 2: Peso de los cubos antes y después de su instalación en Dichato, t de Student= 24.65, Grados de libertad = 5,  $p = <0.01$ . 22
- Tabla 3: Datos de vientos obtenidos de diferentes direcciones (Norte, Este, Sur, Oeste) de las dos localidades de estudio. 24
- Tabla 4: Mínimos y máximos de las mediciones morfológicas de *Mastocarpus* estudiadas en las localidades de Cocholgüe y Dichato junto al promedio de cada parámetro. 25
- Tabla 5: Media  $\pm$  Desv Est correspondiente a cada uno de los parámetros morfológicos analizados por localidad. 26
- Tabla 6: Datos estadísticos (t de Student, grados de libertad y P) realizados a cada uno de los parámetros morfológicos medidos en las láminas de *Mastocarpus* de las dos localidades. 26

## Índice de Anexos

Anexo 1: Tabla que compara la morfología entre las especies *M. latissimus*, *M. papillatus* y *M. californianus* basándose en el estudio de Lindstrom et al. (2011). 35

Anexo 2: Morfología de papilas y margen laminar de las especies *Mastocarpus papillatus*, *M. latissimus* y *M. californianus* (Lindstrom et al. 2011) 36

## Resumen

La fuerza del oleaje puede moldear la diversidad de especies y conferir resistencia y variabilidad morfológica a los talos de algas. El género *Mastocarpus*, perteneciente al orden Gigartinales, tiene un ciclo de vida haplodiplóntico trifásico heteromórfico y un rango de distribución que abarca desde Alaska hasta Baja California, reportado también en la costa de Chile. Inicialmente localizado en la región del Biobío (36°40'S), su distribución se ha expandido hacia el norte y el sur. La especie en Chile fue originalmente identificada como *M. papillatus* por su morfología, pero análisis moleculares posteriores la redefinieron como *M. latissimus* y más recientemente según datos no publicados se ha registrado la presencia de *M. californianus*. Este estudio tiene como objetivo evaluar la variabilidad morfológica externa en ejemplares del género *Mastocarpus* aplicando parámetros como largo máximo, ancho máximo, área de los individuos y largo del estipe, colectados en las localidades de Dichato (36°32'21.35"S 72°56'2.01"O) y Cocholgüe (36°35'37.60"S 72°58'43.26"O). La disposición y morfología de papilas en el margen laminar (Blade margin) ayudarían potencialmente a una diferenciación a nivel de especie de los individuos presentes en las costas de la región del Biobío, considerando áreas con diferente exposición al oleaje. Para determinar la exposición al oleaje, se utilizaron cubos de yeso, los cuales fueron instalados en el intermareal de las dos localidades y se midió el desgaste como indicador de la intensidad del oleaje. De igual forma se utilizó la metodología del índice de Fetch para medir el porcentaje de exposición de las localidades estudiadas, teniendo en cuenta la distancia máxima en la que el viento puede entrar a la bahía sin obstáculos. Las muestras fueron recolectadas mediante cuadrantes aleatorios de 25cm en el intermareal rocoso con presencia de *Mastocarpus*. Estas muestras fueron analizadas morfológicamente mediante fotografía digital con el programa Image Pro-Plus. Los resultados mostraron que en Cocholgüe, la localidad con mayor exposición al oleaje, las frondas presentaban mayor longitud, mayor ancho y área comparadas con Dichato. Estos hallazgos son consistentes con estudios previos en otras especies de algas rojas, donde las frondas en ambientes más expuestos tienden a ser más grandes y menos cubiertas de papilas. La variabilidad morfológica observada también puede estar influenciada por factores abióticos y bióticos (ej: herbivoría, temperatura del agua y salinidad). La diferenciación morfológica entre especies de este estudio arrojaría la presencia de *Mastocarpus papillatus* y *M. californianus* en las localidades estudiadas. Para estudios futuros, se recomienda la implementación de técnicas moleculares como el análisis de secuencias de ADN mitocondrial y cloroplastidial (*rbcL*), para una diferenciación más clara. Este estudio reveló la importancia de estudiar la variabilidad morfológica de esta macroalga exótica en el litoral de la región del Bio Bío y su patrón de crecimiento en diferentes ambientes con exposición al oleaje.

## ABSTRACT

The wave forces can shape the species diversity and confer resistance and morphological variability to algal thalli. The genus *Mastocarpus*, from the order Gigartinales, has a heteromorphic triphasic haplodiplontic life cycle and a distribution range that extends from Alaska to Baja California, and has also been reported on the Chilean coast. Initially in the Biobío region (36°40'S), the distribution has expanded towards north and south. The species in Chile was originally identified as *M. papillatus* based on its morphological parameters, but later molecular analyses redefined it as *M. latissimus*, and more recently, unpublished data have shown the presence of *M. californianus*. This study aims to evaluate the external morphological variability in specimens of the *Mastocarpus* genus evaluating parameters such as maximum length, maximum width, individual area, and stipe length in the localities of Dichato (36°32'21.35"S 72°56'2.01"W) and Cocholgüe (36°35'37.60"S 72°58'43.26"W). The arrangement and morphology of papillae on the blade margin could potentially aid in species-level differentiation along the coasts of the Biobío region, considering areas with different wave exposure. To determine wave exposure, gypsum clods cards were used, installed in the intertidal zone, and their wear was measured as an indicator of wave intensity. Unfortunately, this methodology could not be applied to the Cocholgüe locality due to the loss of the gypsum cards, but it was applied in Dichato. Due to this data loss, the Fetch index methodology was used to measure the exposure percentage of the localities. Samples were collected using random 25x25 cm quadrants in the rocky intertidal of both localities, ensuring that *Mastocarpus* fronds occupied a large part of the quadrants. These samples were morphologically analyzed using digital photography with the Image Pro-Plus program. The results showed that in Cocholgüe, the locality with greater wave exposure, the fronds had greater lengths, maximum widths, and areas compared to Dichato. These findings are consistent with previous studies on other red algal species, where fronds in more exposed environments tend to be larger and less covered with papillae. The observed morphological variability can also be influenced by abiotic and biotic factors (e.g., herbivory, water temperature, and salinity). Differentiation between species in this study indicated the presence of *Mastocarpus papillatus* and *M. californianus* in the studied localities. For future studies, the implementation of molecular techniques such as mitochondrial and chloroplast DNA sequence analysis (*rbcL*) is recommended for clearer differentiation. This study revealed the importance of studying the morphological variability of this exotic macroalga along the coast of the Bio-Bío region and how its growth pattern varies in different environments with wave exposure.

## 1. Introducción

### 1.1. Descripción del género *Mastocarpus*

*Mastocarpus* (Kutzing, 1843) es un género perteneciente al orden Gigartinales (Rhodophyta), el cual se estableció inicialmente para incluir cuatro especies de macroalgas cartilaginosas con talos estipitados, frecuentemente divididos (Guiry *et al.* 1984), y con unas prominencias cónicas sobresalientes, denominadas papilas, las cuales pueden ser cistocárpicas. Sin embargo, esta propuesta fue descartada por J. Agardh (1851) manteniendo este género como *Gigartina* (Stackhouse 1809), posteriormente Guiry (*et al.* 1984) restablecieron este sub-género basándose en aspectos biológicos, morfológicos y bioquímicos. Los rasgos morfológicos propuestos por Guiry *et al.* (1984) corresponden a un talo aplanado y ramificado de forma dicotómica a palmada, a menudo con márgenes enrollados, dándole una apariencia de talo acanalado, con proliferaciones que se forman en los márgenes, y cuyas estructuras reproductivas se forman en las papilas desde la superficie hacia los márgenes del talo.

*Mastocarpus* posee un ciclo de vida haplodiplóntico trifásico heteromórfico, aparentemente obligatorios (Zupan & West 1988, Avila & Alveal 1987), caracterizado por dos fases macroscópicas: una fase gametofítica (haploide), que consiste en frondas foliosas, y una fase tetraesporofítica (diploide), que se manifiesta como una costra que crece sobre el sustrato (Hoffmann & Santelices 1997, Lindstrom *et al.* (2011). Además del ciclo heteromórfico, se ha descrito un segundo ciclo de vida directo o apomítico, en el cual las plantas foliosas, idénticas a las hembras del ciclo heteromórfico, desarrollan cistocarpos en ausencia de machos, con una carga genética similar a la de las plantas foliosas (Polanshek & West 1977). El talo gametofítico de *Mastocarpus* puede alcanzar hasta 20 cm de altura, presentando un color rojizo que cambia a violáceo en las zonas más jóvenes. Posee un estipe corto y acanalado que surge de un pequeño disco de adhesión (Hoffmann & Santelices 1997), con una ramificación dicotómica y sub-dicotómica algo irregular (Lindstrom *et al.* 2011). Las láminas están cubiertas de pequeñas papilas, que pueden contener cistocarpos en su interior, las cuales pueden cumplir la función de propágulos de dispersión (Oróstica *et al.* 2012).

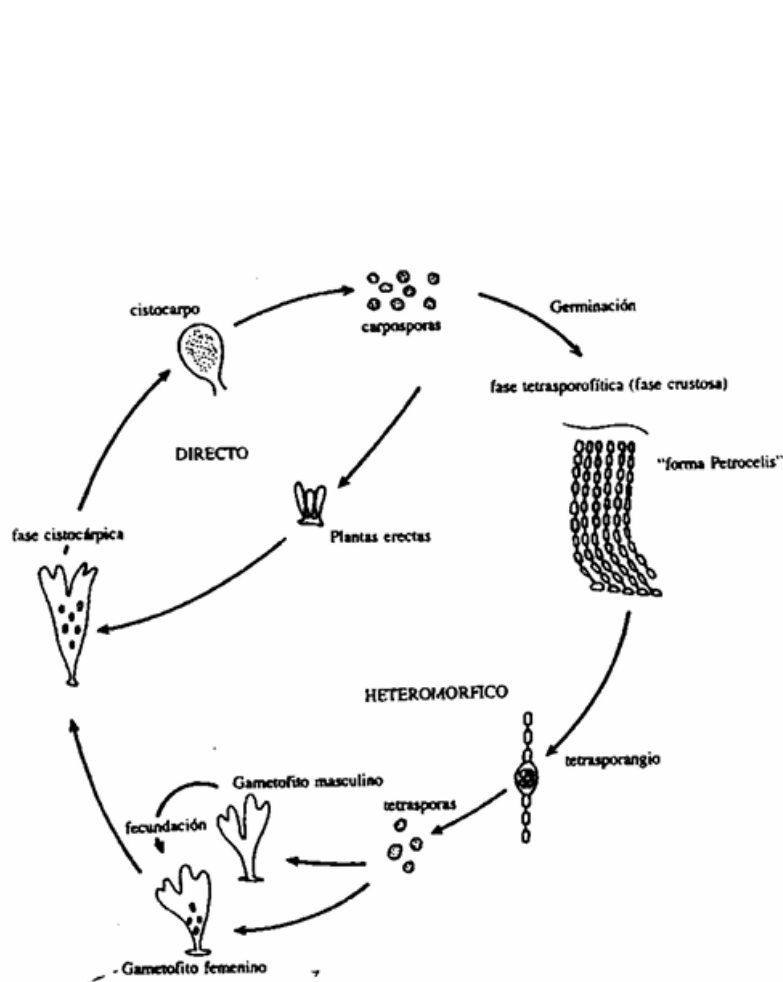


Figura 1: Ciclo de vida heteromórfico de *Mastocarpus* (extraído de Avila & Alveal (1987)).

Las especies del género *Mastocarpus* poseen un amplio rango de distribución nativo en el hemisferio norte, el cual se ha descrito desde Alaska hasta Baja California, además de Japón, Europa y el Ártico (Lindstrom *et al.* 2011, Hoffmann & Santelices 1997, (Villaseñor-Parada *et al.* 2018, Fuentes *et al.* 2020). Actualmente el número de especies del género *Mastocarpus* reconocidas en todo el mundo es de 15 especies aceptadas taxonómicamente (Guiry & Guiry 2017), 12 de las cuales están distribuidas en el Pacífico (Lindstrom *et al.* 2011). Para el hemisferio sur han sido reportadas 3 especies, en las islas subantárticas y Chile (Lindstrom *et al.* 2011, Hoffmann & Santelices 1997).

## 1.2. *Mastocarpus* en Chile

Los primeros reportes del género *Mastocarpus* en Chile fueron realizados en la década de los 80's (Avila & Alveal 1987, Ruiz & Giampaoli 1981) en la localidad de Cocholgue (36°36' S, 72°58'W). Su distribución inicialmente estaba restringida a la región del Bio-Bío, entre la Bahía de Coliumo y el Golfo de Arauco (Hoffmann & Santelices 1997), en las zonas que habita *Mastocarpus* en Chile, se encuentra desde el

intermareal bajo a medio (como gametofito folioso) hasta submareal (como corteza tetraesporofítica).

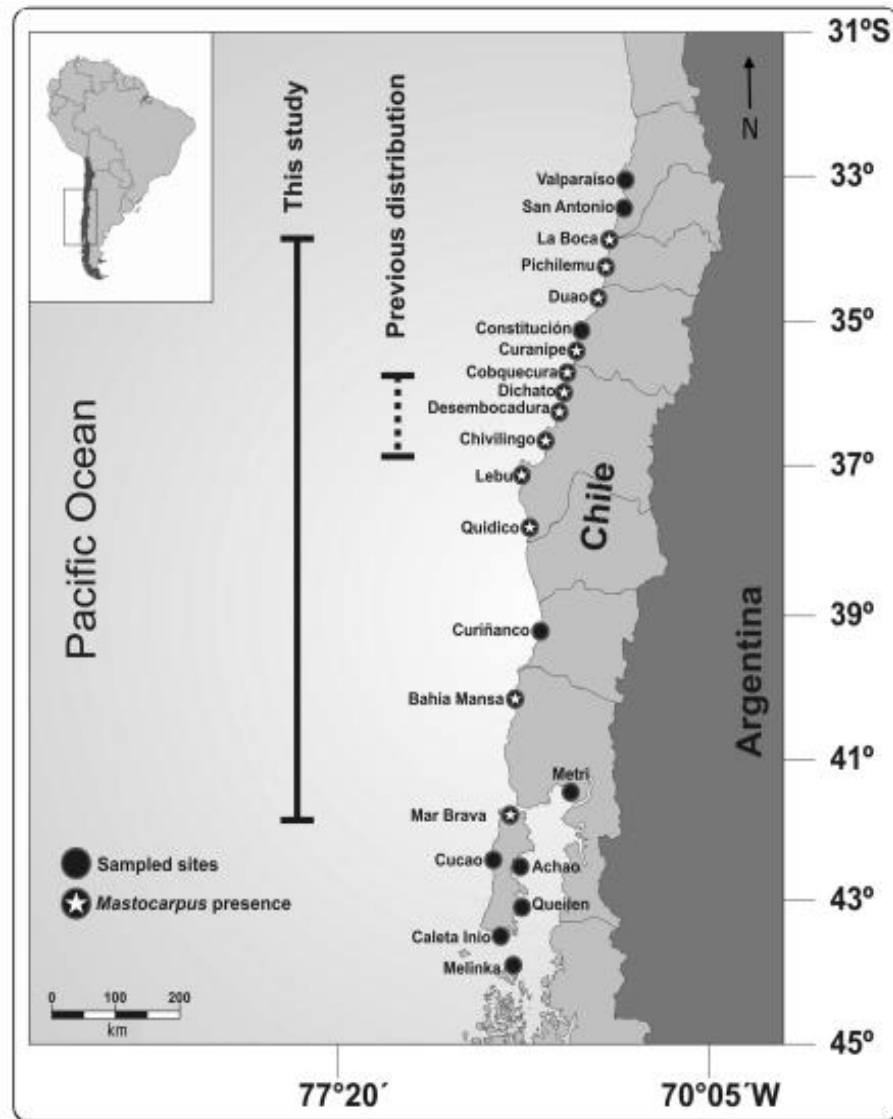


Figura 2: Rango de distribución geográfica de la macroalga *Mastocarpus* spp. Los círculos negros indican los puntos muestreados, y aquellos círculos con estrellas indican la presencia de individuos de *Mastocarpus*. La línea punteada muestra la distribución original de la especie en Chile, mientras que la línea continua muestra el rango de distribución actual (Macaya *et al.* 2013).

De acuerdo con Castilla *et al.* (2005), esta especie habría sido introducida en las costas de Chile mediante los cascos de los barcos asociados al transporte marítimo de carbón que llegaban a la región del Bio-Bío en la localidad de Lota, debido a la importación y exportación de este mismo recurso. Observaciones más recientes señalan que su rango geográfico ha aumentado desde la zona de introducción en 300 km hacia el norte (La Boca

33°54'S) y 600 km hacia el sur (Mar Brava, 41°52'S) (Macaya *et al.* 2013, Figura 2). Se ha sugerido un mecanismo de dispersión alternativo el cual consiste en que las papilas presentes en la lámina servirían de propágulos de dispersión, ya que al momento de alcanzar un punto de maduración son más fáciles de desprender del sustrato debido a la hidrodinámica del oleaje del intermareal, este mecanismo alternativo proporciona una facilitación en la expansión geográfica y en la invasión de nuevos territorios. (Avila y alveal 1987, Oróstica *et al.* 2012).

Una de las 2 especies del género descritas en Chile, *Mastocarpus papillatus*, presenta talos laminares que poseen una corteza de 4-5 capas celulares pigmentadas, la médula cortical está formada por células estrelladas con proliferaciones filiformes que se anastomosan. La morfología costrosa es de color rojo oscuro de 2.2 mm de grosor, las cuales están compuestas por un hipotalo (zona basal) que contienen 3-4 capas basales que tienden a ser verticales (asurgentes) de 15-22  $\mu\text{m}$  de largo y 10-20  $\mu\text{m}$  de diámetro (Hoffmann & Santelices 1997). Actualmente no existen en Chile documentación sobre el comportamiento estacional de sus poblaciones. Sin embargo, observaciones en distintas épocas del año indican que se tratan de talos perennes frondosos que maduran en primavera y verano, y luego de descargar sus esporas decaen en invierno (Romo *et al.* 2008).

### **1.3. Exposición al oleaje y plasticidad fenotípica en algas**

La heterogeneidad ambiental, tanto espacial como temporal es responsable de la diversificación de las poblaciones y como última instancia la especiación (Marañón *et al.* 2004). La plasticidad fenotípica se define como una propiedad de los genotipos individuales para producir diferentes fenotipos cuando se exponen a diferentes condiciones ambientales (Pigliucci *et al.* 2006). Las macroalgas que se encuentran en el intermareal rocoso de zonas expuestas experimentan toda la fuerza del oleaje rompiente que impacta la costa a velocidades de hasta  $14\text{ms}^{-1}$  (Hurd & Stevens 1997).

Las fuerzas hidrodinámicas generadas por las olas rompientes se han propuesto como uno de los principales mecanismos físicos que limitan el tamaño de las macroalgas presentes en el intermareal, particularmente la exposición al oleaje puede influenciar las comunidades biológicas (Lewis 1964, Blanchette 1997), y esta puede tener un importante efecto sobre la biología de las macroalgas

Se ha demostrado que la exposición al oleaje puede influir en el tamaño, morfología y patrones de distribución de las macroalgas (Prathep *et al.* 2009), generalmente un aumento de la exposición está relacionado con talos pequeños, discos adhesivos fuertes, estipes y láminas gruesas y flexibles (Blanchette 1997, Edwards *et al.* 2006, Prathep *et al.* 2009, Sandoval Manquian 2017). Un ejemplo de esto es el alga roja *Sarcothalia radula* Edyvane & Womersley (1994), menciona que talos que se encuentran en sitios expuestos presentan mayor área, mayor longitud y están escasamente cubiertos de papilas, mientras

que en sitios protegidos los talos presentan menor longitud, menor grosor y mayor densidad de papilas (Jackelman & Bolton 1990). Para *Mastocarpus papillatus* (Kützinger), se ha demostrado que, en lugares con mayor exposición al oleaje, aumentan el área y volumen de las células internas, la fuerza de rotura del estipe y el tamaño de las frondas (Kitzes & Denny 2005, Carrington 1990).

#### 1.4. Taxonomía de *Mastocarpus* en las costas de Chile

Para las costas de Chile inicialmente la especie de este género fue descrita como *Gigartina papillata*, posteriormente mediante análisis morfológicos y biológicos fue reasignada como *Mastocarpus papillatus* (Guiry *et al.* 1984), años más tarde Lindstrom *et al.* (2011) mediante análisis moleculares (región ITS) y morfológicos redefinieron la especie presente en las costas de Chile como *M. latissimus*. Cabe recalcar que, para poder identificar la identidad de este individuo, solamente utilizó una muestra del sector Desembocadura del Río Bio-Bío, Hualpén (36°48'S). Dicho estudio también menciona que la baja diferenciación genética entre especímenes de Chile y California confirmaría su dispersión antropogénica reciente, lo que podría corroborar la información entregada por (Castilla *et al.* 2005), por otra parte, resultados moleculares no publicados sugieren la presencia de la especie *M. californianus* (pers. Com. Macaya, E).

*Mastocarpus latissimus*, *M. papillatus* y *M. californianus* son especies que muestran algunas similitudes respecto a su morfología externa. *Mastocarpus latissimus* se caracteriza por poseer talos gametofíticos erguidos que pueden alcanzar los 40 cm de altura máxima, un estipe duro y sin ramificaciones. Su fronda presenta un color rojo a negro rojizo y ramificaciones dicotómicas y sub-dicotómicas (Lindstrom *et al.* 2011). *M. papillatus* posee una morfología mucho más variable, con menor tamaño y ramificaciones dicotómicas y subdicotómicas variables, ambas especies presentan talos con papilas (masculinos y femeninos) aunque varían en estructura interna y la disposición de sus papilas en las láminas y en el margen laminar (Lindstrom *et al.* 2011). Por otra parte, el talo gametofítico de *M. californianus* posee una altura máxima de 8cm, un estipe cartilaginoso, el color del talo es al igual que *M. papillatus* y *M. latissimus* negro-rojizo y presenta papilas proliferantes en el margen laminar y la lámina (Lindstrom *et al.* 2011) (más detalle en Anexo 1.)

La falta de información sobre las especies del género *Mastocarpus* presentes en Chile plantea un desafío significativo para la comprensión de la diversidad y ecología invasora/exótica de estos organismos en las costas chilenas considerando la exposición al oleaje. Esta exposición variable al oleaje puede influir en las características morfológicas de las algas, tales como el tamaño del alga, el área y presencia/ausencia de papilas en el margen laminar.

## **2. Objetivo general**

Caracterizar la morfología externa en ejemplares del género *Mastocarpus* colectados en dos localidades de la región del Bio-Bío con diferente exposición al oleaje.

## **3. Objetivos específicos**

-Evaluar y comparar la variabilidad morfológica de las láminas de los ejemplares de *Mastocarpus* colectados en dos localidades con diferente exposición al oleaje.

-Identificar y describir patrones morfológicos de las láminas característicos de la o las especies del género *Mastocarpus* en las costas del Bio-bío.

## **4. Hipótesis**

H1: Ejemplares de *Mastocarpus* en zonas de alta exposición al oleaje poseen mayor variabilidad morfológica en comparación con ejemplares colectados en zonas menos expuestas.

## 5. Materiales y métodos

### 5.1. Área de estudio

Las localidades de estudio fueron establecidas en Cocholgüe ( $36^{\circ}35'S$ ) y Dichato ( $36^{\circ}32'S$ ), Bahía de Concepción y Bahía de Coliumo respectivamente (Figura 3). Estos lugares se caracterizan por tener plataformas con constante dinámica de oleaje cubiertas de *Mastocarpus*.

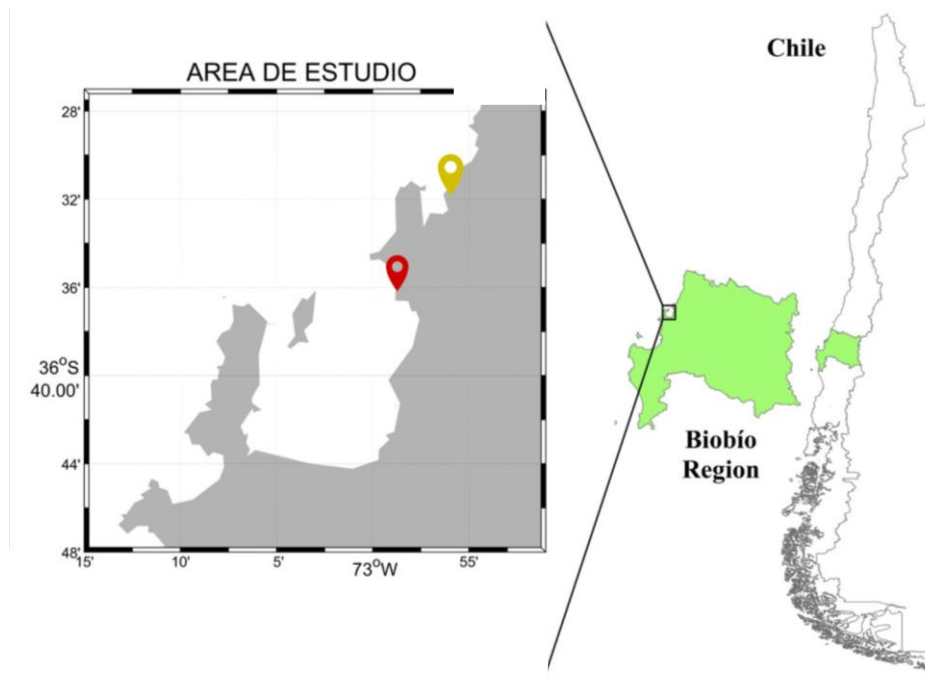


Figura 3: Localidades donde se obtuvieron las muestras y se llevó a cabo la instalación de los cubos de yeso. Cocholgüe marcado en rojo y Dichato marcado en amarillo.

### 5.2. Exposición al oleaje

#### 5.2.1. Instalación de los cubos de yesos

Para poder determinar cuál de las dos localidades, Dichato ( $36^{\circ}32'S$ ) o Cocholgüe ( $36^{\circ}35'S$ ), estaba más expuesta al oleaje, se utilizó la metodología de Doty (1971), la cual se plantea instalar cubos de yeso en la zona de estudio para medir el desgaste generado por las olas sobre el cubo. Los cubos que se utilizaron para este estudio fueron preparados y pesados previamente en el Laboratorio de Estudios Algales de la Universidad de Concepción (ALGALAB). Estos fueron instalados con la ayuda de un taladro, perforando el sustrato al mismo nivel del intermareal donde se encuentra *Mastocarpus* en las plataformas rocosas.

### **5.2.2. Extracción cubos de yesos**

Transcurridas 48 horas de la instalación, los cubos fueron retirados y llevados al laboratorio para su pesaje, incluyendo un secado de 48 horas en el horno (BIOBASE PCHB-D8000) con el fin de evaluar el nivel de desgaste del yeso con el peso seco de este. Este análisis permitió inferir cuál de las dos localidades estaba más expuesta al oleaje por la erosión del yeso causada por el oleaje.

### **5.2.3. Índice de Fetch**

El índice de Fetch mide los niveles de exposición al oleaje con base en la dirección y velocidad del viento, obteniendo así la distancia máxima que el viento puede recorrer sin obstáculos a lo largo de un tramo de agua, la cual puede interpretarse como la apertura al océano de la zona costera (Boizard & DeWreede 2006). Para calcular este índice se utilizó la base de datos geográficos de Google Earth.

### **5.3. Obtención y selección de muestras**

Para el análisis morfológico y obtención de las muestras, se lanzaron tres cuadrantes de 25x25cm de forma aleatoria en el intermareal rocoso de las dos localidades, tratando de que cada uno de los cuadrantes tuvieran la máxima cobertura de frondas de *Mastocarpus* spp., las frondas se extrajeron con la ayuda de una espátula raspando el sustrato y posteriormente fueron guardadas en bolsas ziploc rotuladas y trasladadas al laboratorio para su posterior análisis.

En el laboratorio las muestras por cuadrantes se rehidrataron durante 20 minutos cada una y fueron secadas en una centrifuga de ensaladas (5 vueltas). Posteriormente fueron seleccionadas 10 muestras (mayor longitud) de cada uno de los cuadrantes extraídos. Finalmente, las muestras fueron separadas y guardadas de forma individual en bolsas ziploc.

### **5.4. Análisis morfológico**

Se analizó un total de 60 frondas entre las dos localidades. Todas las mediciones morfométricas se realizaron a escala milimétrica para tener mejor dimensionalidad de los datos analizados. Pero fueron transformados a cm para un mejor entendimiento de los datos.

#### **5.4.1. Parámetros morfológicos de la lámina.**

Se evaluaron cinco caracteres morfológicos:

1.- Largo máximo (LM), 2.- Ancho máximo (AM), 3.- Largo máximo estipe (LE), 4.- Área del individuo. Esto se llevó a cabo utilizando el programa Image Pro-Plus (Figura

4), y 5.- Margen Laminar, donde cada una de las muestras se fotografiaron y caracterizaron según presencia/ausencia de papilas.

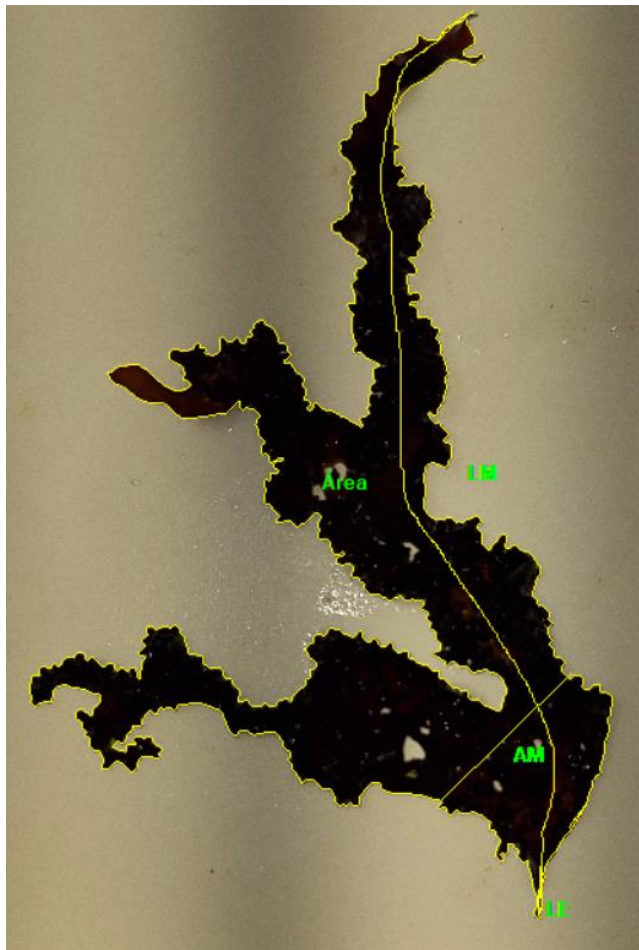


Figura 4: Medición del Largo máximo (LM), Ancho máximo (AM), Largo estipe (LE), Área de la lámina (Área), utilizando el programa ImagePro Plus.

### 5.5. Análisis estadístico

Mediante análisis de componentes principales (PCA), se comparó la variabilidad morfológica de las láminas de *Mastocarpus* entre las localidades de Cocholgué y Dichato. Aquellas variables morfométricas que más influyeron en los componentes principales fueron comparadas entre localidades, mediante  $t$  de Student (corroborando en primera instancia la normalidad y homocedasticidad). Todos estos análisis se realizaron en el programa R Studio (versión 4.4.0).

Finalmente, aquellas variables morfométricas de tipo cualitativo (o categórico), como la presencia/ausencia de papilas en el margen laminar, fueron analizadas mediante el análisis no paramétrico de Chi cuadrado, en el programa R Studio (versión 4.4.0) y se graficó el porcentaje de las muestras analizadas con presencia o ausencia de papilas en el margen laminar (Figura 7).

## 6. Resultados

### 6.1. Exposición al oleaje

En la localidad de Cocholgüe se realizaron dos réplicas de los cubos de yeso en diferentes fechas (Tabla 1), esto debido a que, al momento de acudir a la extracción de los cubos de yeso, estos no se encontraron adheridos al sustrato donde fueron instalados.

Tabla 1: Peso de los cubos antes y después de su instalación en Cocholgüe. Se puede observar que los datos de esta localidad no se lograron completar por la pérdida de los cubos de yeso.

Código	Lugar de instalación	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Fecha instalación	Fecha extracción
YCO1	Cocholgüe	29,33	-	12-03-24	14-03-24
YCO2	Cocholgüe	30,53	-	12-03-24	14-03-24
YCO3	Cocholgüe	32,09	-	12-03-24	14-03-24
YCO1	Cocholgüe	32,20	-	21-03-24	23-03-24
YCO2	Cocholgüe	30,20	-	21-03-24	23-03-24
YCO3	Cocholgüe	29,56	-	21-03-24	23-03-24
YCO4	Cocholgüe	32,65	-	21-03-24	23-03-24
YCO5	Cocholgüe	28,53	-	21-03-24	23-03-24
YCO6	Cocholgüe	28,77	-	21-03-24	23-03-24

En la localidad de Dichato (la cual fue considerado menos expuesto), sí se pudo realizar el experimento completo puesto que después de las 48 horas de la instalación de los cubos de yesos, se acudió a la localidad y estos se encontraban más erosionados desde la instalación. A partir de esta evaluación, se logró hacer la diferencia de peso inicial con peso final (Tabla 2), los cuales muestran una diferencia significativa entre estos pesos, indicando una erosión del yeso por la dinámica de las olas.

Tabla 2: Peso de los cubos antes y después de su instalación en Dichato,  $t$  de Student = 24,65, Grados de libertad = 5,  $p = <0,01$ .

Código	Lugar de instalación	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Fecha instalación	Fecha extracción	Diferencia enter $P_{inicial}-P_{final}(g)$
YDI1	Dichato	31,82	15,38	09-04-24	11-04-24	16,44
YDI2	Dichato	32,07	16,89	09-04-24	11-04-24	15,18
YDI3	Dichato	30,74	16,11	09-04-24	11-04-24	14,63
YDI4	Dichato	33,58	14,84	09-04-24	11-04-24	18,74
YDI5	Dichato	31,83	14,72	09-04-24	11-04-24	17,11
YDI6	Dichato	33,58	18,81	09-04-24	11-04-24	14,77
Promedio		32,27	16,13			16,14

## 6.2. Índice de Fetch

Dado que se presentó el cuestionamiento de qué pudo haber pasado realmente con los cubos de yesos perdidos en la localidad de Cocholgüe, se implementó de igual forma el índice de Fetch en cada una de las localidades, la cual mostró un resultado promedio mayor (Tabla 3) de los vientos en la localidad de Cocholgüe respecto a la localidad de Dichato, sin embargo, esta exposición estaría influenciada por la dirección del viento, dado que Cocholgüe presenta una mayor exposición hacia el Oeste y Dichato presenta una mayor exposición hacia el Norte.

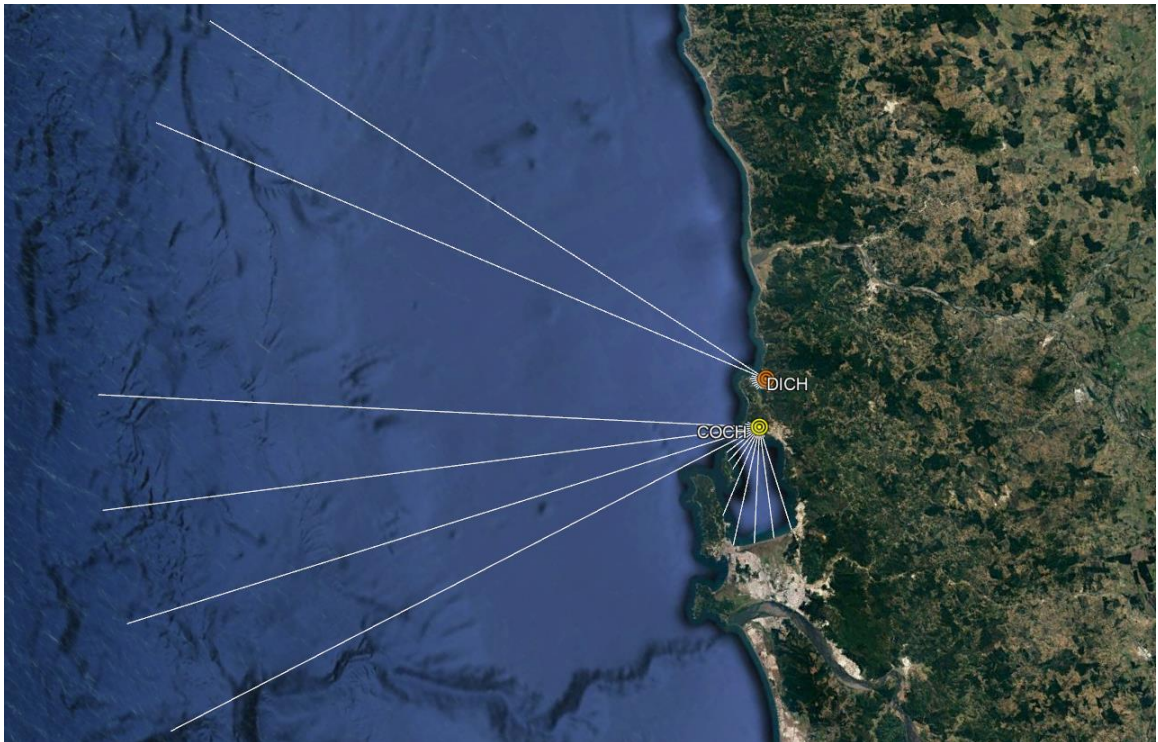


Figura 5: Cálculo del índice de Fetch en los sitios de muestreo, de color amarillo representa la localidad de Cocholgüe y el punto anaranjado representa la localidad de Dichato.

Luego de haber calculado la direccionalidad de los vientos se tabularon los datos obtenidos del análisis de Fetch para las localidades, los cuales corresponden al porcentaje del nivel de exposición, considerando como 100% una zona que está expuesta al océano en todas las direcciones.

Tabla 3: Datos de vientos obtenidos de diferentes direcciones (Norte, Este, Sur, Oeste) de las dos localidades de estudio.

Localidad	Norte	Este	Sur	Oeste	Promedio
DICHATO	22,40%	0,06%	0,48%	2,03%	6,24%
COCHOLGÜE	0,65%	0,09%	7,96%	48,58%	14,32%

### 6.3. Parámetros morfológicos

Los ejemplares que presentaban mayor y menor longitud fueron colectados en la localidad de Dichato, con 18,07 cm y 3,64 cm respectivamente con un diámetro promedio de  $10,33 \pm 2,90$  cm (media  $\pm$  desviación estándar). La morfología que presentaban las frondas estudiadas poseían láminas que presentaban papilas en su mayoría redondas, en algunos casos papilas proliferadas (papilas con indicios de haber sido germinadas), y papilas creciendo lateralmente en el margen laminar.

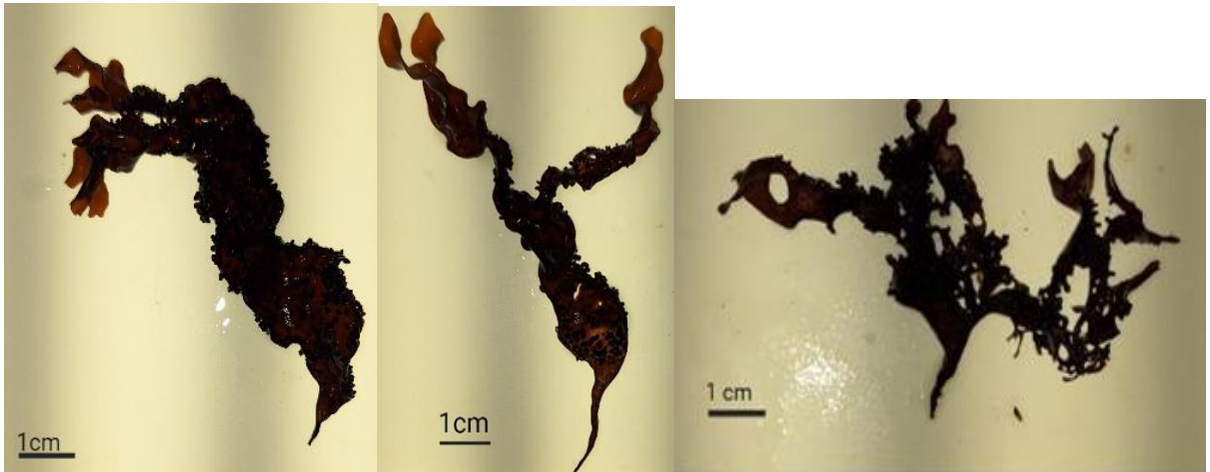


Figura 6: Variabilidad morfológica de individuos de la localidad de Dichato

En la localidad con mayor exposición al oleaje (Cocholgüe) las muestras analizadas muestran una longitud máxima de 14,7 cm y una longitud mínima de 3,60 cm con un diámetro promedio de  $11,22 \pm 2,3$  cm (media  $\pm$  desviación estándar). La medida de la longitud máxima de los estipes fue de 2,51 cm y una mínima de 0,24 mm. La media de la altura de los estipes fue de 1,23 cm y presentaban una desviación estándar de 0.64 cm. Cabe recalcar que la medida mínima del estipe de esta localidad fue la menor registrada en este estudio. El ancho máximo registrado en esta localidad corresponde a 4,07 cm y fue el mayor ancho registrado en el estudio, por otra parte, la longitud mínima de fue de 0,73 cm. La ramificación que más predominó en las muestras analizadas en Cocholgüe fue del tipo dicotómica y sub-ditomica lobuladas e irregulares, los órdenes de ramificación

que presentaban las muestras van desde de 1 hasta 5 órdenes en algunos casos, con presencia de papilas en todas las láminas analizadas con un tamaño aproximado a 1 mm cada una (Tabla 4).

Tabla 4: Mínimos y máximos de las mediciones morfológicas de *Mastocarpus* estudiadas en las localidades de Cocholgué y Dichato junto al promedio de cada parámetro.

Variable	Cocholgué	Promedio	Dichato	Promedio
LM (cm)	6,30 - 14,71	11,22	3,64 – 18,07	10,33
AM (cm)	0,73 - 4,07	1,95	0,55 – 2,69	1,62
LE (cm)	0,24 – 2,51	1,23	0,71 – 2,70	1,46
A (mm <sup>2</sup> )	487,13 – 2245,69	1164,78	444,85 – 3351,72	1144,71

La localidad de Dichato fue la que más valores atípicos obtuvieron, denominados “outliers” (Figura 7). El ancho mínimo registrado fue de 0,55 cm lo que representa la muestra menos ancha de todas las muestras analizadas en este estudio, mientras que el ancho máximo fue de 2,69 cm. En cuanto a los estipes, el valor máximo de la longitud fue de 2,7 cm y el valor mínimo registrado fue de 0,71 cm la cual contiene valores que

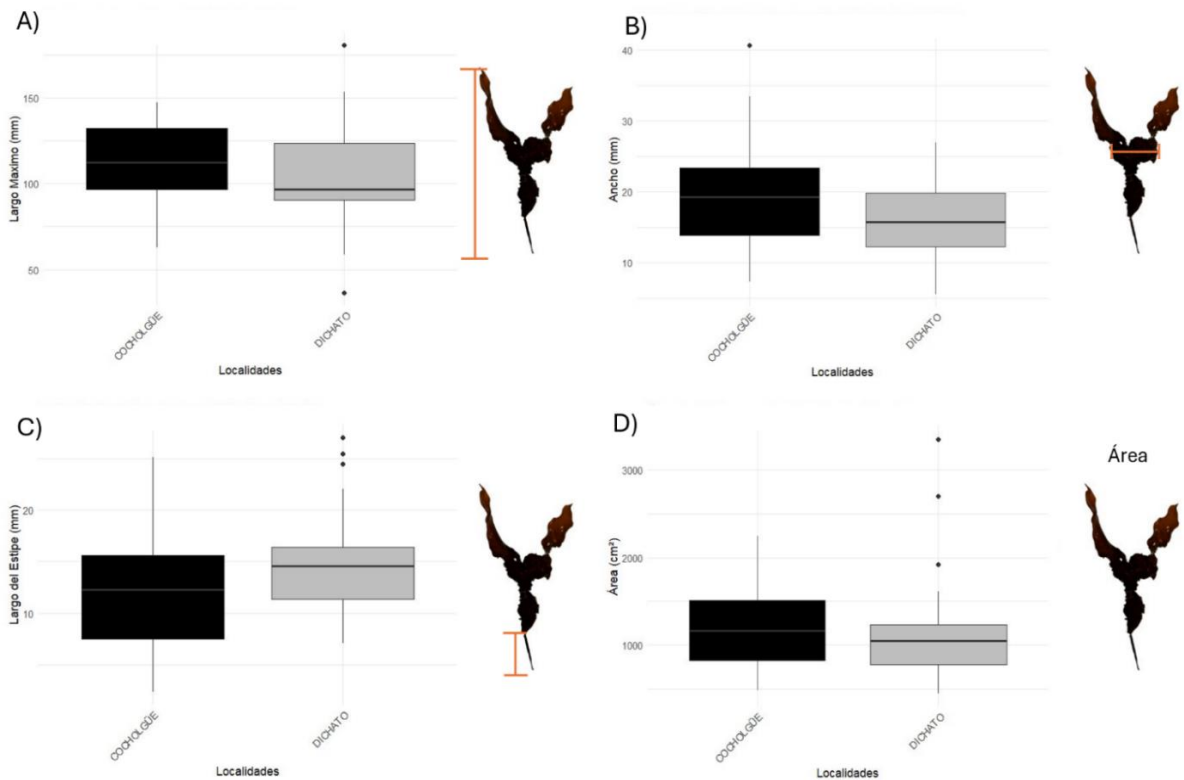


Figura 7: Comparación de parámetros morfológicos de las muestras entre las localidades de Cocholgué y Dichato (Media ± Desv Est). Las imágenes a la derecha de cada gráfico ilustran la medida correspondiente para las muestras. Puntos sobre la barra de dispersión corresponden a valores extremos (“out liers”).

se escapan de la media de los datos (Figura 7C). Estos datos reflejan una considerable variabilidad morfológica de las muestras colectadas en Dichato la cual estaría relacionada con la menor exposición al oleaje. El tipo de ramificación que más predominó en esta localidad fue la dicotómica, con muestras que presentaban ordenes desde 2 a 4 órdenes de ramificación.

Aunque los datos morfológicos analizados no presentan significancia entre las localidades (Tabla 6) Los resultados muestran que las láminas analizadas que se encontraban en lugares más expuestos al oleaje (Cocholegüe) tienden a ser de mayor longitud, ancho y área, pero con estipes más pequeños. En cambio, en la localidad con menos exposición al oleaje (Dichato) muestra un resultado contrario a los de la localidad con más exposición.

Tabla 5: Media  $\pm$  Desv Est correspondiente a cada uno de los parámetros morfológicos analizados por localidad.

Variable	Cocholegüe	Dichato
Largo Máximo (mm)	112,17 $\pm$ 23,40	103,33 $\pm$ 29,01
Ancho Máximo (mm)	19,49 $\pm$ 7,63	16,22 $\pm$ 5,22
Área (mm <sup>2</sup> )	1164,79 $\pm$ 439,85	1144,71 $\pm$ 620,50
Largo estipe (mm)	12,33 $\pm$ 6,39	14,58 $\pm$ 5,42

#### 6.4. Análisis estadístico de la variación morfológica

Las láminas analizadas de *Mastocarpus* mostraron una amplia dispersión de los datos. Debido a esta variabilidad, se implementó la prueba de *t* de Student (Tabla 6) para determinar si existían diferencias significativas con respecto a las mediciones morfológicas analizadas. Este análisis nos entregó que el parámetro morfológico Ancho Máximo (AM) de las láminas presentó una significancia ( $p < 0.05$ ) respecto a las dos localidades, mientras que los demás parámetros morfológicos no presentó ninguna significancia (Tabla 6).

Tabla 6: Datos estadísticos (*t* de Student, grados de libertad y P) realizados a cada uno de los parámetros morfológicos medidos en las láminas de *Mastocarpus* de las dos localidades.

Variable	<i>t</i> de Student	Grados de libertad	p
Largo Máximo(mm)	1,30	55	0,1997
Ancho Máximo (mm)	1,47	51	0,0450
Largo estipe (mm)	1,47	56	0,1473
Área (mm <sup>2</sup> )	0,15	52	0,8856

### **6.5. Análisis de componentes principales (PCA)**

El eje horizontal (PC1) explica el 48,5% de la variabilidad total y está representado en su mayoría por las variables del ancho y área de las muestras, mientras que el eje vertical (PC2) muestra el 27% de las variables representadas por el largo máximo y el largo de los estipes. Las flechas rojas explican la influencia de las variables morfológicas (Largo estipe, Largo máximo, Ancho máximo y área total). Lo que sugiere que estos dos componentes juntos resumen el 75,5% de la variabilidad de los datos presentados por los parámetros morfológicos (Figura 8).

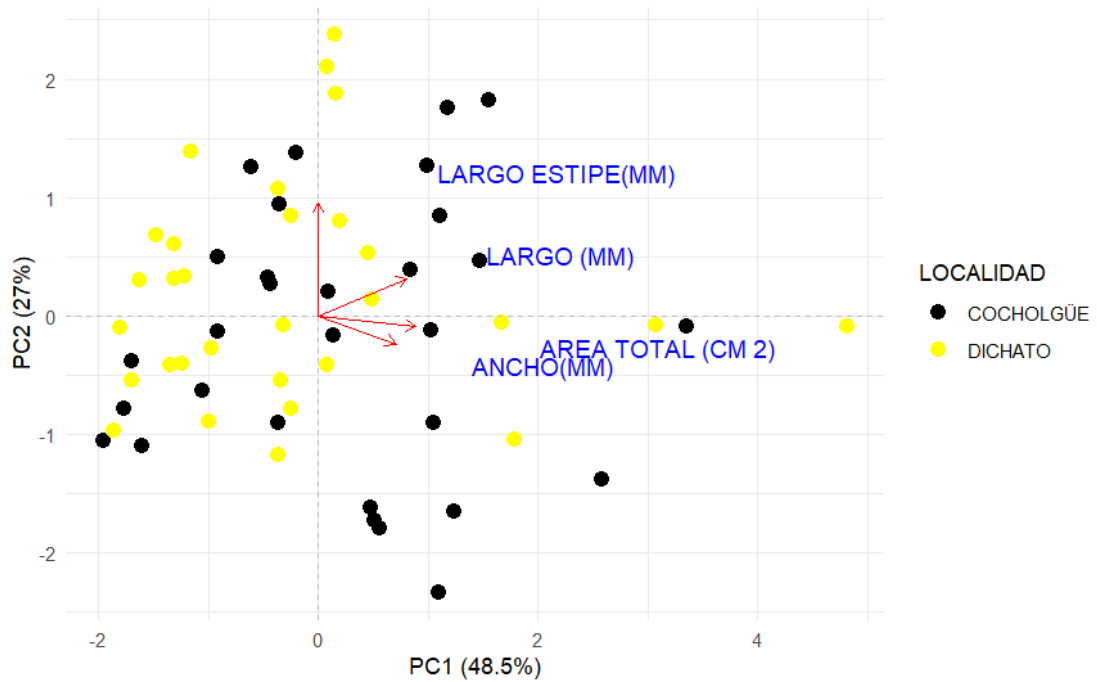


Figura 8: Resultados del análisis de componentes principales (en inglés, PCA), comparando láminas con presencia de papilas de *Mastocarpus* sp. en las localidades de Dichato (en amarillo) y Cocholgué (en negro).

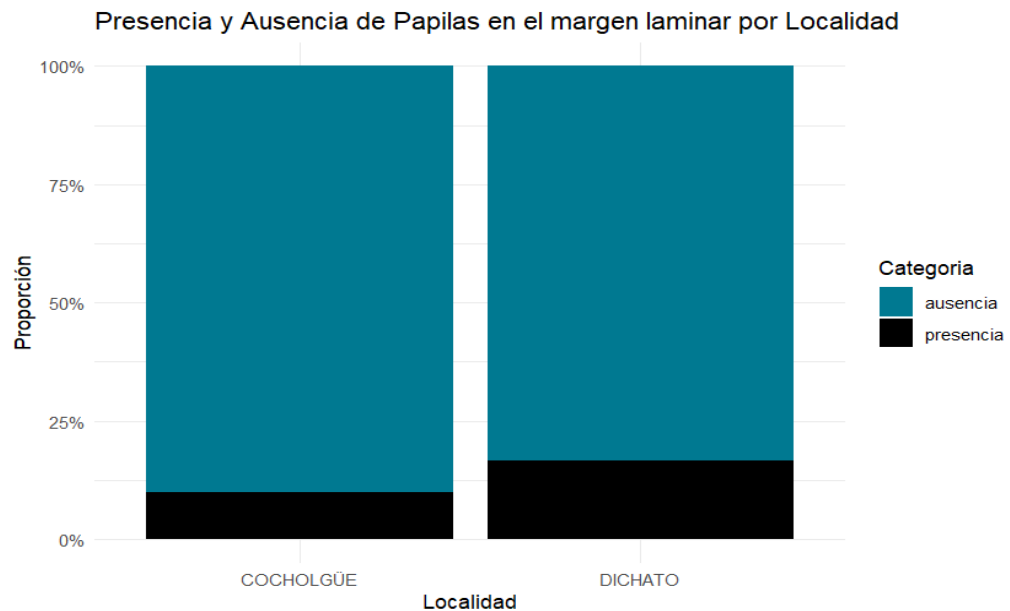


Figura 9: Muestra en porcentaje la cantidad de individuos con presencia de papilas en el margen laminar (color negro) y la ausencia de estos (color calipso) en las dos localidades. Chi-cuadrado=0,144, grados de libertad =1, p= 0,704.

Los resultados arrojaron que de las 30 muestras analizadas en Cocholgüe, 3 muestras presentaban presencia de papilas en el margen laminar, (representado por el 10% del gráfico) y de las 30 muestras analizadas de Dichato, 5 muestras presentaban presencia de papilas (representado por el 16.6% del gráfico).

Resultados fotográficos obtenidos en el análisis morfológico de presencia/ausencia de papilas en el margen laminar, en la parte superior se puede observar diferente morfología papilar en muestras de Cocholgüe y en la parte inferior, diferencia morfológica papilar en muestras de Dichato. En la localidad de Cocholgüe se puede inferir que existen dos tipos de morfos en las muestras analizadas. (A=Tipo redondo de papilas, B=Papilas creciendo lateralmente) al igual que para la localidad de Dichato (A=Tipo redonda B=papilas proliferadas).

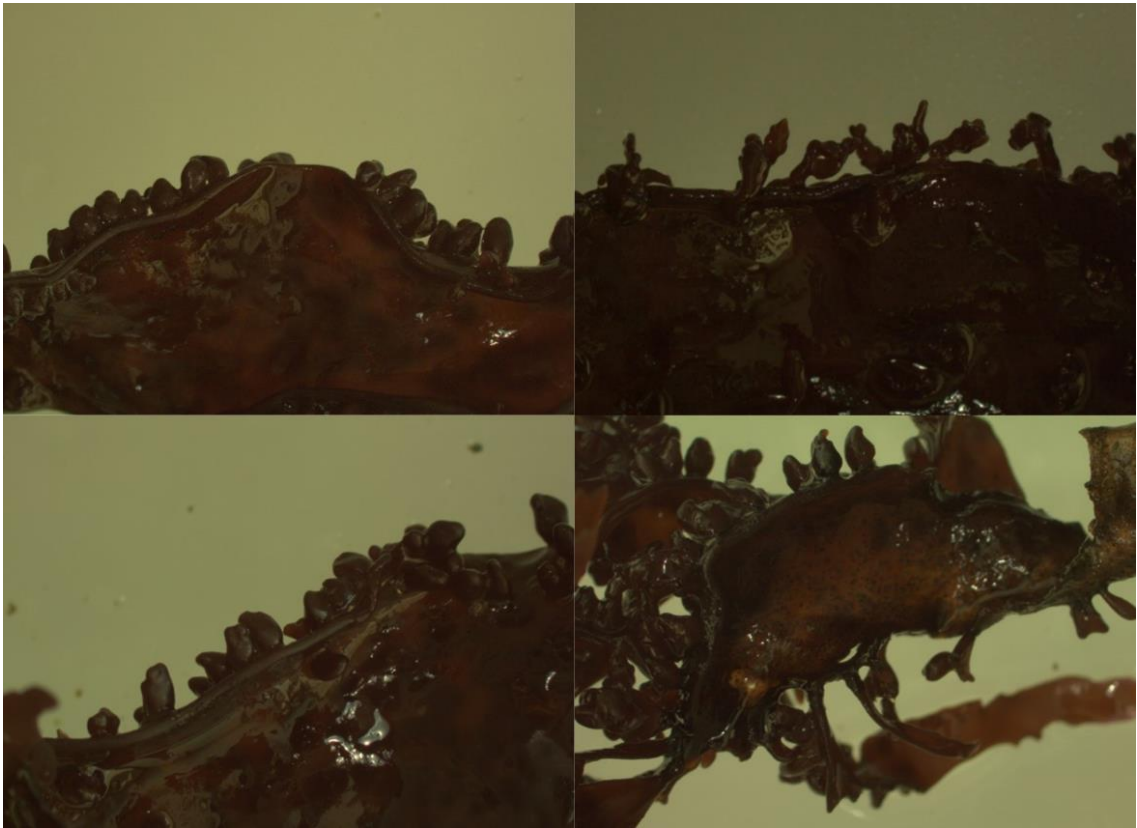


Figura 10: Variabilidad morfológica observada en papilas de las láminas analizadas en las localidades de Cocholgüe y Dichato.

## 7. Discusión

### 7.1. Morfometría *Mastocarpus*

En la localidad catalogada como sitio más expuesto (Cocholgüe) las frondas analizadas presentaban largos, anchos máximos y áreas mayores que en la localidad con menos exposición al oleaje (Dichato). El único parámetro morfológico que presentó una significancia entre las dos localidades fue el ancho máximo de las láminas analizadas. Si bien, 4 de 5 parámetros morfológicos no fueron estadísticamente concluyentes ( $p > 0.05$  en casi todos los casos), se observa una tendencia a láminas más anchas y grandes en hábitats más expuestos (e.g. Cocholgüe). La falta de significancia en los análisis estadísticos podría estar relacionada con una baja cantidad de réplicas, más una falta de diferencias morfológicas.

En sistemas insulares, resultados similares en especies del alga parda *Sargassum obtusifolium* en la isla de Rapa Nui, donde las muestras de zonas más expuestas al oleaje tendían a tener láminas y discos más anchos que en zonas más protegidas (Sandoval Manquian 2017, Pakomio 2024). Por otra parte, estudios morfológicos realizados en el alga roja *Chondrus crispus* por Gutierrez & Fernandez (1992) muestran diferencias morfológicas tanto externas como internas en diferentes lugares con exposición al oleaje en las costas de España, categorizando dos morfos diferenciados por el largo máximo, número de dicotomías y morfologías de las células de la corteza en diferentes ambientes.

Dado que en este estudio el oleaje no fue un factor significativo en la variabilidad morfológica de los talos, se sugieren que otros factores abióticos y bióticos tales como, la herbivoría, temperatura de las aguas y salinidad podría modificar los talos de *Mastocarpus*, tal como se ha reflejado en *Chondracanthus tedeei* (Gigartinales), la cual llega a presentar frondas más cortas y gruesas en ambientes con poca disponibilidad de nutrientes y luz (Bulboa *et al.* 2020). Sin embargo, se ha demostrado que el oleaje incide en las frondas de *Mastocarpus papillatus* aumentando la fuerza de ruptura de los estipes junto con la resistencia (capacidad de oponerse a una fuerza) que ejerce el oleaje sobre los talos (Kitzes & Denny 2005). Resultados similares fueron encontrados por Jackelman & Bolton (1990) en el alga roja *Sarcothalia radula* (Gigartinales) en la que en sistemas más expuestos al oleaje las frondas analizadas presentan mayor área, mayor longitud y están

escasamente cubiertos de papilas, de este modo, aumentaría su resistencia frente a la dinámica del oleaje, facilitando una mejor adherencia al sustrato y permitiendo que continúe su fotosíntesis en estos ambientes.

#### -Taxonomía *Mastocarpus*

Los resultados fotográficos evidencian una considerable ausencia de papilas en el margen laminar con una morfología de papilas redonda similar a la de *Mastocarpus papillatus* (Figura 9, Anexo 2), sin embargo, existen muestras que no cumplen el patrón taxonómico de *M. papillatus*, la cual podría asociarse a muestras pertenecientes a la especie *M. californianus*, tratándose de muestras con una morfología de papilas creciendo lateralmente desde la lámina y el margen laminar. Estos resultados podrían corroborarse con el estudio realizado por Monsálvez Opazo (2013) quien realizó secuencias moleculares en algas rojas de la región del Bio-Bío, considerando el género *Mastocarpus* en sus análisis, sus resultados demostraron la presencia de *M. californianus* en las costas de la región. Además, lo anterior estaría corroborado por la lista de especies propuesta por Lindstrom *et al.* (2011) donde nos muestra una clara diferenciación entre especies por la morfología y disposición de las papilas de los talos. Sin embargo, para poder hacer una mejor diferenciación entre las especies de este género se sugiere la implementación de técnicas moleculares, como el análisis de secuencias de ADN mitocondrial (COI) y cloroplastidial (rbcL) en las muestras analizadas.

Para futuros estudios, se sugiere una recolección de datos más detallada, especialmente enfocada en la morfología interna de los ejemplares, para mejorar la comprensión de la variabilidad morfológica y su relación con factores ambientales. Además, la implementación de técnicas moleculares podría proporcionar una mejor diferenciación entre las especies de este género, facilitando una identificación más precisa y una comprensión más profunda de sus adaptaciones morfológicas.

## Conclusión

Aunque no se encontraron diferencias significativas en la mayoría de los parámetros morfológicos medidos, las tendencias observadas sugieren que la exposición al oleaje podría estar influyendo en la morfología de *Mastocarpus spp.* en las localidades estudiadas. La tendencia hacia un mayor ancho y largo de las láminas en Cocholgüe es consistente con adaptaciones observadas en estudios previos en estos mismos ambientes. Además, el análisis morfológico detallado del margen laminar mostró una considerable ausencia de papilas en el margen laminar, con una morfología de papilas redonda similar a la de *M. papillatus*. Sin embargo, algunas muestras no cumplieron con el patrón taxonómico de *M. papillatus* y podrían asociarse a *M. californianus*, debido a la caracterización de papilas creciendo lateralmente desde la lámina en el margen laminar y su proliferación y por la evidencia molecular de la presencia de esta especie en las costas del Bio-bio.

## Bibliografía

- Alveal, K. & Romo, H. 1980. Aspectos ecológicos de las algas marinas de la provincia de Concepción, Chile. *Boletim do Instituto Oceanográfico* 29:27-29.
- Avila, M. & Alveal, K. 1987. Ciclo de vida de *Mastocarpus papillatus* en el área de Concepción, Chile (Petrocelidaceae, Rhodophyta). *Investigación Pesquera* 34:129-38.
- Blanchette, C. A. 1997. Size and survival of intertidal plants in response to wave action: a case study with *Fucus gardneri*. *Ecology* 78:1563-78.
- Boizard, S. D. & DeWreede, R. E. 2006. Inexpensive water motion measurement devices and techniques and their utility in macroalgal ecology: a review. *Science Asia* 32:43-49.
- Bulboa Contador, C., Massad, I. P., Contreras-Porcía, L., Zapata, J., Castañeda, F., Ramírez, M. E. & Gil-Kodaka, P. 2020. Concise review of genus *Chondracanthus* (Rhodophyta: Gigartinales). *Journal of applied phycology* 32:773-85.
- Carrington, E. 1990. Drag and dislodgment of an intertidal macroalga: consequences of morphological variation in *Mastocarpus papillatus* Kützing. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 139:185-200.
- Castilla, J. C., Uribe, M., Bahamonde, N., Clarke, M., Desqueyroux-Faúndez, R., Kong, I., Moyano, H., Rozbaczylo, N., Santelices, B. & Valdovinos, C. 2005. Down under the southeastern Pacific: marine non-indigenous species in Chile. *Biological Invasions* 7:213-32.
- Doty, M. S. 1971. Measurement of water movement in reference to benthic algal growth.
- Edwards, K. F., Pfister, C. A. & Van Alstyne, K. L. 2006. Nitrogen content in the brown alga *Fucus gardneri* and its relation to light, herbivory and wave exposure. *Journal of experimental marine biology and ecology* 336:99-109.
- Guiry, M.D. & Guiry, G.M. 2017. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org>; searched on 09 July 2024.
- Guiry, M., West, J., Kim, D. H. & Masuda, M. 1984. Reinstatement of the genus *Mastocarpus* Kützing (Rhodophyta). *Taxon* 33:53-63.
- Harley, C. D., Anderson, K. M., Demes, K. W., Jorve, J. P., Kordas, R. L., Coyle, T. A. & Graham, M. H. 2012. Effects of climate change on global seaweed communities. *Journal of Phycology* 48:1064-78.
- Hoffmann, A. & Santelices, B. 1997. Flora marina de Chile central. *Ediciones Pontificia Universidad Católica de Chile*. pp 434.
- Hurd, C. L. & Stevens, C. L. 1997. Flow visualization around single-and multiple- blades Seaweeds with various morphologies. *Journal of Phycology* 33:360-67.
- Jackelman, J. J. & Bolton, J. J. 1990. Form variation and productivity of an intertidal foliose Gigartina species (Rhodophyta) in relation to wave exposure. *Hydrobiologia* 204:57-64.
- Kitzes, J. A. & Denny, M. W. 2005. Red algae respond to waves: morphological and mechanical variation in *Mastocarpus papillatus* along a gradient of force. *The Biological Bulletin* 208:114-19.
- Lewis, J. R. 1964. The ecology of rocky shores. English Universities Press, London. Pp 323.

- Lindstrom, S. C., Hughey, J. R. & Martone, P. T. 2011. New, resurrected and redefined species of *Mastocarpus* (Phylloporaceae, Rhodophyta) from the northeast Pacific. *Phycologia* 50:661-83.
- Macaya, E. C., Pacheco, S., Cáceres, A. & Musleh, S. 2013. Extensión del rango geográfico del alga foránea *Mastocarpus* sp. a lo largo de la costa del Pacífico Sudeste. *Revista de biología marina y oceanografía* 48:661-65.
- Marañón, T., Camarero, J. J., Castro Gutiérrez, J., Díaz Esteban, M., Espelta, J. M., Hampe, A., Jordano, P., Valladares Ros, F., Verdú, M. & Zamora Rodríguez, R. 2004. Heterogeneidad ambiental y nicho de regeneración. En: Valladares, F. 2004. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante. pp 69-99. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid.
- Fuentes, N., Marticorena, A., Saldaña, A., Jerez, V., Ortiz, J. C., Victoriano, P., Moreno, R. A., Larraín, J., Villaseñor-Parada, C. & Palfner, G. 2020. Multi-taxa inventory of naturalized species in Chile. *NeoBiota* 60:25-41.
- Monsálvez Opazo, M. F. 2013. ADN Barcoding en algas rojas de la costa de Chile. Tesis para optar al grado académico de bióloga marina en la Universidad de Concepción. pp 54.
- Villaseñor-Parada, C., Pauchard, A., Ramírez, M. E. & Macaya, E. C. 2018. Macroalgas exóticas en la costa de Chile: patrones espaciales y temporales en el proceso de invasión. *Latin American journal of aquatic research* 46:147-65.
- Oróstica, M. H., Otaíza, R. D. & Neill, P. E. 2012. Blades and papillae as likely dispersing propagules in Chilean populations of *Mastocarpus* sp. (Rhodophyta, Gigartinales). *Revista de biología marina y oceanografía* 47:109-19.
- Pigliucci, M., Murren, C. J. & Schlichting, C. D. 2006. Phenotypic plasticity and evolution by genetic assimilation. *Journal of Experimental Biology* 209:2362-67.
- Polanshek, A. R. & West, J. A. 1977. Culture and Hybridization studies on *Gigartina papillata* (Rhodophyta). *Journal of Phycology* 13:141-49.
- Prathep, A., Lewmanomont, K. & Buapet, P. 2009. Effects of wave exposure on population and reproductive phenology of an algal turf, *Gelidium pusillum* (Gelidales, Rhodophyta), Songkhla, Thailand. *Aquatic Botany* 90:179-83.
- Ruiz, E. & Giampaoli, L. 1981. Estudios distribucionales de la flora y fauna costera de caleta Cocholgue, Bahía de Concepción - Chile.
- Sandoval Manquian, C. A. 2017. Flora marina de Isla de Pascua Diversidad y efecto de la exposición al oleaje como factor determinante de sus comunidades.
- SUBPESCA Evaluación de pardas de algas carragenófitas en el litoral de la VIII Región y estrategia de sustentabilidad - FIPA. Fondo de Investigación Pesquera y de Acuicultura (2008). <https://www.subpesca.cl/fipa/613/w3-article-89164.html>
- Zupan, J. R. & West, J. A. 1988. Geographic variation in the life history of *Mastocarpus papillatus* (Rhodophyta) 1. *Journal of Phycology* 24:223-29.

## ANEXOS

*Anexo 1:* Tabla que compara la morfología entre las especies *M. lattissimus*, *M. papillatus* y *M. californianus*. Adaptado y modificado desde Lindstrom *et al.* (2011).

	<i>Mastocarpus lattissimus</i>	<i>Mastocarpus papillatus</i>	<i>Mastocarpus californianus</i>
Altura máxima	40cm.	9cm.	8cm.
Estipe	Cilíndrico, no-ramificado.	Cilíndrico, no-ramificado.	Cilíndrico y cartilaginoso
Ancho máximo	40mm.	X	X
Grosor	250µm.	X	X
Color talo	Uniformemente rojo a negro-rojizo.	Uniformemente negro rojizo.	Uniformemente rojizo
Forma de margen	Ligeramente ondulado.	Ligeramente ondulado.	Ligeramente hinchado
Ramificación	Dicotómica y sub-dicotómica.	Muy variable-generalmente sub-dicotómica.	Irregular, ocurre cerca de la base
Ápice	Redondeado, craneado.	Redondeado, craneado o irregular.	Craneado
Células de corteza	6-7 capas celulares.	6-8 capas celulares.	10-11 capas celulares
Talos masculinos	Pocas y pequeñas papilas en forma de pezón.	Lisos sin papilas	X
Talos femeninos	Papilas simples inicialmente con forma de pezón, que se vuelven esféricas en la madurez con presencia de cistocarpos.	Papilas simples inicialmente con forma de pezón volviéndose sub-esférica en la madurez; papilas basales son las más viejas.	X
Presencia papilas en margen laminar	Sí.	No.	Sí.
Papilas proliferadas en lámina o margen laminar	No.	Sí.	Sí.

Anexo SEQ 2: Morfología de papilas y margen laminar de las especies *Mastocarpus papillatus*, *M. latissimus* y *M. californianus* (Parcialmente modificado desde Lindstrom *et al.* (2011))

