

TESIS DEFENDIDA POR

**Juan Francisco de Jesús González Aragón**

Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ

---

**Dra. Lydia Betty Ladah**

*Director del Comité*

---

**Dr. Luis Eduardo Calderón Aguilera**

*Miembro del Comité*

---

**Dr. Francisco Javier Ocampo Torres**

*Miembro del Comité*

---

**Dra. María Lucila del Carmen Lares Reyes**

*Coordinador del programa de posgrado  
en Ecología Marina*

---

**Dr. David Hilario Covarrubias Rosales**

*Director de Estudios de Posgrado*

<<20>> de <<marzo>> de 2013

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR  
DE ENSENADA**



---

**PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS  
EN ECOLOGÍA MARINA**

---

**Efecto del oleaje en la estructura de la población y la supervivencia del alga parda  
*Egregia menziesii* (Turner) Areshoug (1876), en la zona intermareal de la Bahía de  
Todos Santos, Baja California, México**

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de  
MAESTRO EN CIENCIAS

Presenta:

Juan Francisco de Jesús González Aragón

Ensenada, Baja California, México, 15 de marzo 2013.

Resumen de la tesis de Juan Francisco de Jesús González Aragón, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ecología Marina

“Efecto del oleaje en la estructura de la población y la supervivencia del alga parda *Egregia menziesii* (Turner) Areshoug (1876), en la zona intermareal de la Bahía Todos Santos, Baja California, México”.

Resumen aprobado por:

---

Dra. Lydia Betty Ladah

El alga parda *Egregia menziesii*, es un alga perenne resistente a la fuerza del **oleaje**, es de importancia ecológica, así como base de un ecosistema por ser la macroalga de mayor biomasa en el intermareal de la Bahía de Todos Santos (BTS). Con este trabajo se evaluó la **supervivencia**, crecimiento y la **estructura poblacional** de esta alga, en zonas expuestas y protegidas, antes, durante y después de eventos de **oleaje** de invierno, dentro de la BTS. Se establecieron y definieron los eventos de **oleaje** intenso durante el estudio utilizando los datos de la página del CDIP (The Coastal Data Information Program ([www.cdip.uscd.edu](http://www.cdip.uscd.edu)) por medio de la boya Harvest (altura de oleaje, periodo, dirección, duración). En esta tesis, una de las hipótesis planteó que habría una reducción significativa tanto en la **supervivencia** como en los parámetros poblacionales (densidad, número de frondas por individuo, longitud de frondas y meristemos intactos) de *Egregia* en la época de **oleaje** de invierno en la BTS. Otra hipótesis planteó que habrá diferencias significativas en estos mismos factores que variarán espacialmente dentro de la BTS a través del tiempo, debido que ciertos sitios fueron más protegidas por el **oleaje**. Se apoyó la primer hipótesis en este trabajo con todos los parámetros estudiados, es decir que se encontraron diferencias en tiempo, con un cambio significativo (una reducción significativa en **supervivencia** ( $p < 0.001$ ), densidad ( $p = 0.025$ ), número de frondas por individuo ( $p < 0.01$ ), longitud máxima ( $p < 0.01$ ) y presencia de meristemos intactos ( $p < 0.01$ )) en los meses de fuerte **oleaje**. También se encontró un efecto de sitio en los parámetros poblacionales en general, aun solo se encontró una interacción significativa entre los factores de tiempo y sitio para la longitud máxima ( $p < 0.01$ ) y la agregación de frondas ( $p < 0.001$ ). Es decir para la mayoría de los parámetros estudiados, las diferencias entre sitios se mantuvieron constantes durante todo el estudio. *Egregia* tuvo una disminución de la biomasa en invierno y recuperación en primavera y verano, como se esperaba, sin embargo la pérdida de carbono en las poblaciones de *Egregia* debido al **oleaje** de invierno, probablemente no es significativa comparado al afecto en otras poblaciones extensas de macroalgas submareales en esta costa (por ejemplo, *Macrocystis*).

Palabras clave: **oleaje, *Egregia menziesii*, supervivencia y estructura poblacional.**

Abstract of the thesis presented by Juan Francisco de Jesús González Aragón as a partial requirement to obtain the Master in Science degree in Marine Ecology

“Effect of wave action on the population structure and survival of the brown alga, *Egregia menziesii* (Turner) Areshoug (1876), in the intertidal zone of Bahia de Todos Santos, Baja California, Mexico”

Abstract approved by:

---

Dra. Lydia Betty Ladah

The brown alga, *Egregia menziesii*, is a perennial macroalga that is resistant to wave action. It is ecologically important, forming the base of the intertidal ecosystem, with the greatest biomass in the intertidal of Bahia de Todos Santos (BTS). This study evaluated the survival, growth and population structure of this alga, in exposed and protected sites, before, during and after winter swell events within BTS. Wave events during the study were defined using data from CDIP (The Coastal Data Information Program ([www.cdip.uscd.edu](http://www.cdip.uscd.edu)) and the Harvest buoy (wave height, period, direction and duration). In this thesis, I hypothesized that there would be a significant reduction in survival and in population parameters of *Egregia* (density, number of fronds per individual, frond length and proportion of intact meristems) during winter wave events in BTS. I also hypothesized that there would be significant differences in these same factors between sites (spatial variation within BTS) over time (interaction between the factors of time of sampling and site sampled), with an amplified difference during wave events due to the protected or exposed nature of the different sites. Data support the first hypothesis for all parameters studied, with a significant reduction in survival ( $p < 0.001$ ), density ( $p = 0.025$ ), number of fronds per individual ( $p < 0.01$ ), maximum length ( $p < 0.01$ ) and presence of intact meristems ( $p < 0.01$ ) during the months of strong wave events. A strong site effect was also found for many of the parameters evaluated, however a significant interaction between the factors of time of sampling and site sampled was only found for maximum frond length ( $p < 0.01$ ) and frond addition ( $p < 0.001$ ). This suggests that for most of the parameters studied, the differences found between sites remained constant throughout the study, with no amplified effect during wave events. *Egregia* showed a strong decrease in biomass during winter wave events, as expected, however the estimated loss of carbon was not significant compared to the carbon and biomass loss from other populations of subtidal macroalgae with much greater biomass on this coast (e.g., *Macrocystis*).

**Keywords: surf, wave action, *Egregia menziesii*, survivorship, population structure.**

## Dedicatoria

A la persona más importante en mi vida, la cual ha sido mi motor desde que está conmigo:

**Vannya Sofía González Paredes**

“TE AMO CON TODO MI CORAZON MI PRINCESA HERMOSA”

## **Agradecimientos**

Este trabajo tiene el sello de muchas manos que sin ellas no hubiera sido posible realizarlo, en especial a mi asesora la Dra Lydia B. Ladah que no me dejó tirar la toalla en ningún momento, y que fueron más sus palabras de aliento que sus llamadas de atención las que me ayudaron a seguir adelante, contando con su apoyo moral en todo momento.

A mis sinodales el Dr. Luis Calderón y el Dr. Francisco Ocampo, que también me brindaron su confianza y apoyo en el último jalón, así como en los momentos difíciles.

A mis amigos en especial Aarón, Erika, Manuel y Rosa que a pesar del frío, la mojada y desvelada me apoyaron en el trabajo de campo, sin los cuales hubiera sido aún más complicado este trabajo.

De igual manera agradezco a mis otros compañeros (Raquel, Tannia, Pablo, Melissa, Mariana, Constanza, Juan Carlos, Oscar, Gerardo, Ian y Anita) que me brindaron un poco de su tiempo en el trabajo de campo.

A Elizabeth que siempre me dio buenos consejos cuando no sabía para donde ir o a quien preguntar sobre los formatos y procesos de reinscripción en cada cuatrimestre.

A mis compañeros de laboratorio (Gerardo, Anita, Andrea e Ian) que siempre con sus risas hicieron más fácil y placentero el trabajo de tesis.

Al laboratorio de Ecología pesquera, quienes me brindaron el apoyo de material para poder realizar mi trabajo de campo en el laboratorio de Oceanografía Biológica.

A mis padres Juana Aragón Barreto que me cuidó desde lejos brindándome sabiduría para mantener los pies sobre la tierra y continuar con un paso más en mi vida, a mi padre Jorge Luis González que descanse en paz por brindarme su apoyo moral y amor incondicionalmente.

A mis hermanos, Laura, Jorge y Oscar que siempre me echaron porras para seguir adelante en este proceso de superación.

Al CONACYT por su valiosísimo apoyo económico durante el Posgrado.

Y al final y no menos importante al Posgrado en Ecología Marina que me abrió sus puertas y permitió que adquiriera una experiencia difícil de olvidar y que quedara en mi memoria.

## Contenido

	Pagina
Resumen en español	<b>I</b>
Resumen en ingles	<b>Ii</b>
Dedicatorias	<b>Iii</b>
Agradecimientos	<b>Iv</b>
Contenido	<b>V</b>
Lista de Figuras	<b>Vii</b>
Lista de tablas	<b>Ix</b>
Capítulo 1.....	1
1. Introducción.....	1
Capítulo 2.....	4
2.1 Antecedentes.....	4
2.2 Justificación.....	8
Capítulo 3.....	9
3.1 Hipótesis.....	9
Capítulo 4.....	10
4.1 Objetivos.....	10
4.2 General.....	10
4.3 Particulares.....	10
Capítulo 5.....	12
5.1 Materiales y métodos.....	12
5.2 Área de Estudio.....	12
5.3 Movimiento relativo de agua.....	15
5.4 Supervivencia y parámetros de individuos etiquetados de <i>Egregia menziessi</i> .....	15
5.5 Parámetros poblacionales.....	16
5.6 Relación Longitud- peso.....	16
5.7 Datos de Oleaje.....	16
5.8 Análisis de datos.....	17
Capítulo 6.....	18
6 Resultados.....	18
6.1 Grado del movimiento relativo del agua.....	18
6.2 Seguimiento de individuos mensualmente.....	19
6.2.1 Supervivencia.....	19
6.2.2 Crecimiento.....	20
6.2.3 Agregación de frondas.....	21

## Contenido

6.3 Evaluación de la población.....	22
6.3.1 Densidad.....	22
6.3.2 Números de frondas por individuo.....	23
6.3.3 Porcentaje de meristemas por individuo.....	24
6.3.4 Longitud máxima.....	25
6.3.5 Longitud máxima vs. Densidad.....	26
6.3.6 Numero de frondas por individuo vs. Densidad.....	27
6.4 Relación longitud- peso (Biomasa).....	28
6.5 Estimación de oleaje.....	31
6.5.1 Datos procesados del CDIP (Hs, Tp, Dp).....	31
6.6 Correlaciones bio- físicos.....	34
Discusiones.....	35
Conclusiones.....	39
Referencias Bibliográficas.....	40



### Lista de figuras

<i>Figura</i>		<b>Página</b>
1	Morfología de <i>Egregia menziesii</i> .	4
2	Distribución geográfica de <i>Egregia menziesii</i> (Juárez, 2012).	6
3	Esquema del perfil de una onda senoidal pura, donde a= amplitud de la onda, H=altura de la onda y $\lambda$ = longitud de onda.	7
4	Localidades correspondientes al área de estudio en la Bahía Todos Santos.	13
5	Localidades correspondientes al área de estudio en la Bahía Todos Santos: Punta San Miguel, Stacks, California Trailer Park, Punta Morro, Punta Morro-UABC y UABC (ubicadas entre 31° 54'02.27"N y 116° 40'01.36"O).	14
6	Porcentaje de erosión por desgaste de pelotas de yeso durante veinticuatro horas en los sitios de estudio.	19
7	Supervivencia de <i>Egregia</i> , donde se observaron diferencias significativas entre los meses pero no entre los sitios, así como tampoco se observó una interacción entre mes y sitio.	20
8	Promedio del crecimiento de <i>Egregia</i> por sitio.	21
9	Promedio de la agregación de frondas de <i>Egregia</i> mensualmente por sitio.	22
10	Densidad de los individuos de <i>Egregia</i> por sitio.	23
11	Densidad del número de frondas totales por individuo de <i>Egregia</i> por sitio.	24
12	Porcentaje de meristemos intactos por sitio de <i>Egregia</i> .	25
13	Promedio de la longitud máxima por sitio de <i>Egregia</i> .	26
14	Longitud máxima de los individuos de <i>Egregia</i> vs. su densidad para cada sitio.	27
15	Numero de frondas de los individuos de <i>Egregia</i> vs. densidad por sitio.	28
16	Relación Longitud húmedo vs peso seco de <i>Egregia</i> para todos los sitios combinado.	29
17	a) Longitud Máxima y b) Peso seco de <i>Egregia</i> con respecto a su exposición al oleaje: LONG MAX (cm): $F(1,55) = 10.8365$ y $p < 0.0017$ , PESO SECO (g): $F(1,55) = 11.0947$ y $p < 0.0016$ en los diferentes sitios.	30

**Lista de Figuras**

<i>Figura</i>		<b>Página</b>
18	Relación longitud – peso seco con respecto al sitio de exposición de <i>Egregia</i> , longitud máxima en rojito y peso seco en verde. Se encontró que en el mes de diciembre se pierda una cantidad de 2.56 g C/m <sup>2</sup> con la acción de oleaje (tabla 1).	30
19	Altura significante y periodo durante el estudio, mostrando las fechas de muestro para el etiquetado de individuos y estructura poblacional con las flechas negras.	32
20	Altura significante vs dirección durante el estudio, mostrando las fechas de muestro para el etiquetado de individuos y estructura poblacional con las flechas negras.	33

**Lista de tablas**

<b>Tabla</b>		<b>Pagina</b>
I	Datos relacionados a la pérdida del porcentaje de Carbón en <i>Egregia</i> en diciembre como mes con mayor perdida en longitud por planta/m <sup>2</sup> .	12
II	SST, Hs, Tp y Potencia vs Densidad de número de individuos, Densidad de numero de frondas por individuo, Longitud máxima y Porcentaje de meristemas intactos.	13

## Capítulo 1

### 1.1. Introducción

Las comunidades que habitan el litoral rocoso están sujetas a factores extremos tanto físicos como biológicos, como desecación, calentamiento, depredación, competencia, disponibilidad de alimentos y acción del oleaje (Cushman, 1989). Estos factores influyen en distintas escalas y determinan la estructura y organización de cada población (Denny, 1988). Las costas rocosas expuestas al oleaje representan uno de los ambientes físicos más estresantes del mundo. A pesar de las problemáticas que deben soportar, el intermareal de zonas expuestas a oleaje del litoral rocoso presenta una alta diversidad y densidad de organismos (Denny, 2006).

La fuerza de las olas en la zona intermareal es la acción física que podría denominarse como el estrés predominante en estos ambientes (Friedland y Denny, 1995). Dentro de los factores físicos, el movimiento del agua puede influir severamente en la productividad de las algas en la zona intermareal (Thomsen y Wernberg, 2005, Haring et al., 2002). Se ha observado que la acción de las olas genera grandes fuerzas hidrodinámicas provocando el desprendimiento o la rotura de las algas presentes en la zona costera, por lo que se ha propuesto este efecto para limitar el tamaño y distribución de los organismos en el intermareal (Denny, 1999).

El daño por oleaje varía temporal y espacialmente. Por ejemplo, varía con el grado de exposición, la frecuencia e intensidad de las tormentas a las cuales se encuentran expuestos los diferentes organismos en los diferentes ambientes dentro de la línea de costa (Seymour et al., 1989). Aparte, el daño por la fuerza de las olas puede ser amplificado por la condición de la población antes de la perturbación (Ebeling et al., 1985). Las estaciones del año tienen diferencias en la ocurrencia de tormentas y por ende el oleaje que se causan (Seymour et al., 1989), los cuales obviamente interactúan con las diferencias en la geomorfología de la costa y condiciones climáticas para producir sitios más o menos

expuestos a oleaje en tiempo y en espacio (Davies y Johnson, 2006). Por tanto la exposición al oleaje en las hábitat intermareales es de importancia para la ecología de todos los organismos en el intermareal (Dayton 1971, Underwood and Denley 1984, Denny 1995).

El efecto de oleaje en si es un complejo de varias parámetros físicos (Denny 1988 y Massel 1999) que en su conjunto afectan las algas marinas y otros organismos en el intermareal que ahí interactúan. La energía que presenta una ola está determinada principalmente por los parámetros de altura (H) y periodo (T) (Cruz, 2008). La acción del viento actúa sobre la superficie del mar, causando turbulencia (Kisman. 1984). Para medir oleaje, hay varios métodos que utilizan sensores de radar, boyas, barcos, etc. Uno de los más utilizados a la fecha son mediciones realizadas por boyas que miden el desplazamiento de la superficie del mar (altura) sobre tiempo (periodo) (Juárez, 2011).

La línea de costa de la Bahía de Todos Santos está expuesta al oleaje que proviene del noroeste y las olas más altas se observan en el invierno, mientras que en el verano viene con menor frecuencia y menor altura siendo del suroeste (Ortiz, 2009). Esta línea de costa está compuesta por una ribera rocosa y con playas de bolsillo como acompañantes entre ellas, así mismo cuenta con una batimetría irregular. Esta región se considera una de las regiones con alta diversidad de especies de macroalgas en el Pacífico de México (Pedroche et al., 1993). Los trabajos de Aguilar-Rosas (1981, 1982) y Aguilar-Rosas y Bertsch (1983) indican que la composición de especies de la zona intermareal está integrada por 16 algas verdes (Chlorophyta), 24 pardas (Phaeophyta) y 75 rojas (Rhodophyta).

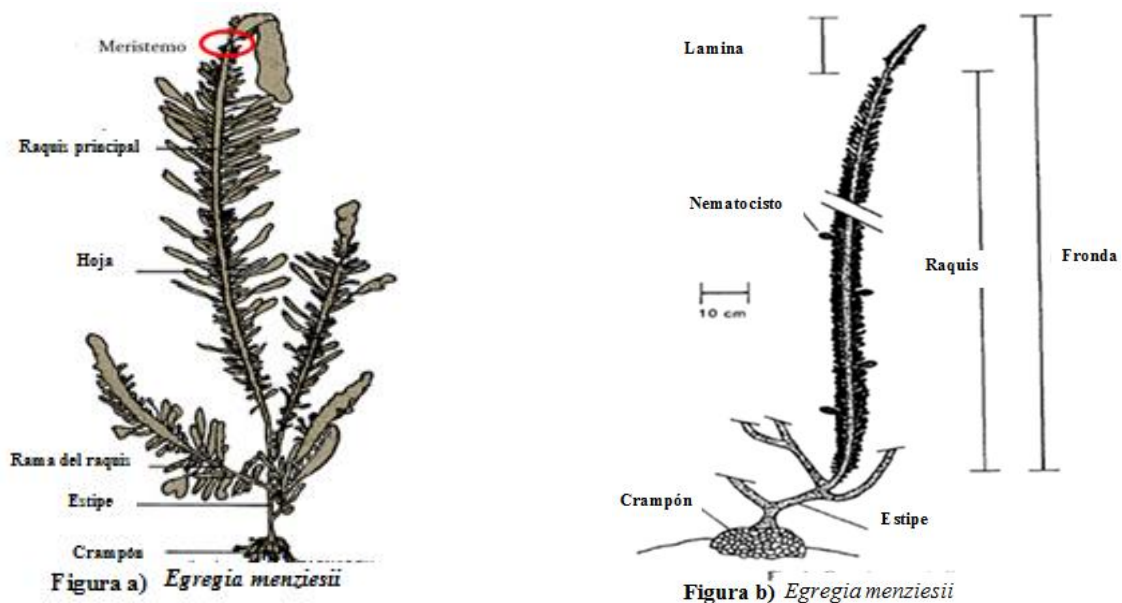
Una especie de alga que crece en la zona intermareal, a menudo en las áreas del oleaje alto, es la boa emplumada o cola de zorro, *Egregia menziesii*. Su morfología, fuerza y flexibilidad se prestan para su supervivencia por la fuerza del oleaje (Friedland y Denny, 1995). Esta alga produce la mayor biomasa en la zona intermareal en la Bahía de Todos Santos, Baja California, México (observaciones personales), haciendo estas poblaciones particularmente importantes para proveer alimento, refugio y hábitat a muchos organismos

en el intermareal. Esta tesis propone estudiar el efecto del oleaje en la estructura de la población y la supervivencia del alga parda *Egregia menziesii* (Turner) Areshoug (1876), en la Bahía Todos Santos, Baja California, México durante invierno cuando el oleaje es más fuerte en esta zona.

## Capítulo 2

### 2.1. Antecedentes

*Egregia menziesii* es un alga marina perenne, que incluye unas ramificaciones adhesivas para mantenerse fijo al fondo rocoso (crampón). Del crampón salen sus frondas individuales (con un estipe y las hojas para cada fronda). Cada individuo puede tener varias frondas (hasta más que diez por alga). Las hojas están profusamente ramificadas y una planta individual puede tener más de 100 hojas.



**Figura 1.** Morfología de *Egregia menziesii*: a) un individuo completo, b) una fronda principal (modificado de Friedland y Denny, 1995).

El estipe es grueso y las hojas se desprenden de ella. Cada fronda se compone de un eje grueso y fuerte central llamado raquis. El raquis es lateral forrado con hojas y pneumatocistos y termina en la lámina terminal. La lámina terminal no es tan gruesa como el raquis y es más ancha y más rugosa. Los pneumatocistos son pequeñas proyecciones y vuelta desde el raquis que se llena de aire y ayuda a la flotación. Es llamada también la boa emplumada (Friedland y Denny, 1995) o cola de zorro en español.

La distribución geográfica de *Egregia* está determinada principalmente por temperatura y nutrientes. En el Pacífico Noroeste, su morfología lo divide en las poblaciones del norte y las del sur. La población del norte se encuentra distribuida desde Alaska hasta Cabo Mendocino (California) y está caracterizada por tener un raquis grueso y fuerte; mientras que la población del sur se encuentra desde Cabo Mendocino hasta Baja California, (específicamente hasta Punta Eugenia) donde las poblaciones del sur muestran características contrarias a las del norte con un raquis más delgado (Lobban y Harrison, 1994). Sin embargo, todas las poblaciones del Pacífico Norte está considerada de la misma especie y las diferencias se sugiere existen por diferencias fenotópicas dependiendo del ambiente (Henkel et al. 2007).

Se ha observado y estudiado que *Egregia* crece a un tamaño demasiado grande para el hábitat en el que se le encuentra, así como a las olas expuestas en la costa y que puede alcanzar tamaños tan grandes porque tienen un coeficiente hidrodinámico muy bajo (Friedland y Denny, 1995). Poblaciones de *Egregia* en el intermareal están expuestas a la rotura por la acción de oleaje (Blanchette et al. 2002). Estudios en laboratorio y en tanques de flujo muestra que la morfología, la fuerza y la flexibilidad de esta alga se prestan para su supervivencia por la fuerza del oleaje (Friedland y Denny, 1995). Sin embargo, hay pocos estudios acerca de cómo esta alga sobrevive en la naturaleza, y cuál es el efecto de oleaje en su tamaño, crecimiento y productividad.

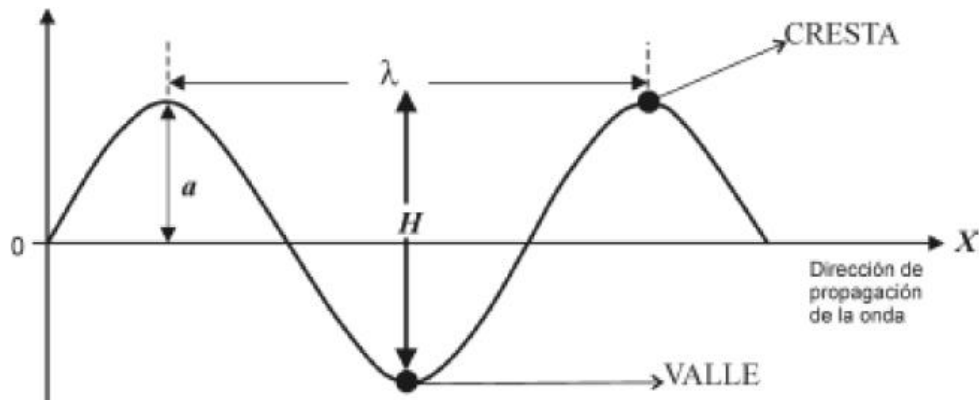




**Figura 2.** Distribución geográfica de *Egregia menziesii* (Juárez, 2012).

Las olas están caracterizadas por su longitud de onda ( $\lambda$ ), altura ( $H$ ), y período, ( $T$ ) (Fig. 3), entre otros parámetros físicos, por lo que el oleaje se puede describir como un fenómeno regular que supone un movimiento periódico del fluido, así como un fenómeno complejo y aleatorio, tanto en el tiempo como en el espacio (Juárez, 2012). Como otro fenómeno físico, también se le puede atribuir la potencia del oleaje, que describe el producto de la

velocidad a la cual se transmite la energía del oleaje a través de la superficie del océano en un intervalo de tiempo (Juárez, 2012), siendo proporcional a  $H^2$  y a  $T$  que se expresa en kW/m (Cruz, 2008).



**Figura 3.** Esquema del perfil de una onda senoidal pura, donde  $a$ = amplitud de la onda,  $H$ =altura de la onda y  $\lambda$ = longitud de onda.

El programa de Datos de Información Costera (CDIP) es una extensa red de monitoreo de las olas. Cuenta con una base de datos de información ambiental de acceso público, el cual utiliza boyas direccionales, que miden la temperatura del mar superficial y dirección de las olas. Sus datos están disponibles en tiempo real a través del internet. Las olas son un factor crítico en todos los procesos de la costa, haciendo su estudio más fácil por la investigación científica cooperación con el Servicio Meteorológico Nacional de la NOAA y el CDIP (<http://cdip.ucsd.edu/>).

En lo que respecta a los efectos que causa la exposición al oleaje en las costas rocosas, se ha mostrado que afecta directamente sobre los diferentes organismos presentes atribuido a las perturbaciones físicas a los que se encuentran expuestos en el medio (Vadas et al. 1990). También hay efectos indirectos por las modificaciones en el comportamiento de los organismos. Las interacciones bióticas, térmicas y la desecación (Connel 1972, Menge 1976) se combinan para tener un efecto fuerte en las costas rocosas.

Se ha observado que las algas laminariales son flexibles, sin embargo su resistencia a las olas es difícil de entender. En el Pacífico nororiental, aun con el daño que se puede causar las olas, las laminariales intermareales crecen mejor en lugares dominados por el oleaje (Denny et al, 1985). A pesar de la mortalidad severa en invierno por la acción de las tormentas, las comunidades algales en algunos sitios azotados por la acción de las olas producen una cantidad extraordinaria de materia seca por unidad de área por año. En las orillas expuestas, las olas aumentan la capacidad de las algas presentes para adquirir nutrientes y utilizar la luz solar, por lo que aumenta la competencia por la capacidad productiva de los organismos (Leigh et al., 1987).

## **2.2 Justificación**

*Egregia menziesii* es un productor primario de alta biomasa en el intermareal que provee una fuente de alimento importante para muchos organismos marinos. Es hábitat de anfípodos, isópodos y crustáceos, así como de invertebrados y peces. Puede crear follajes densos a lo largo del intermareal rocoso que dan refugio de la desecación de muchos organismos. Con este trabajo se aportará conocimiento para entender como es afectada *Egregia menziesii* por acción del oleaje en invierno y el hábitat de organismos asociados. Se observa un gran daño por oleaje en los sitios expuestos donde crece esta alga que no ha sido evaluado, ya que hay poca información disponible acerca del efecto del oleaje en poblaciones naturales de *Egregia*.

## Capítulo 3

### 3.1. Hipótesis del trabajo

- 1) Durante la época de oleaje de invierno, habrá una reducción significativa tanto en la supervivencia, como en los parámetros poblacionales (densidad, número de frondas por individuo, longitud de frondas y meristemas intactos), con un incremento después en primavera.
- 2) Habrá diferencias espaciales en la supervivencia de *Egregia* así como en sus parámetros poblacionales (densidad, números de frondas, porcentaje de meristemas y longitud máxima) durante la época de oleaje de invierno, con los sitios de mayor movimiento del agua relativo siendo mayormente afectados.

## Capítulo 4

### 4.1 Objetivos

#### 4.1.1 General

Medir los parámetros individuales (supervivencia, número de frondas y longitud máxima) y poblacionales (densidad de individuos, números de frondas por individuo, porcentaje de meristemas intactos y longitud máxima) de *Egregia menziesii* en la zona intermareal en la Bahía Todos Santos, Baja California, México, durante, antes y después de la época de oleaje de invierno.

#### 3.1.2 Particulares

Mensualmente en seis sitios en la BTS: (3 expuestos y 3 protegidos al oleaje)

Etiquetar y medir longitud total y número de frondas de diez individuos para seguir supervivencia y crecimiento individual.

Mensualmente en cuatro sitios en la BTS: (2 expuestos y 2 protegidos al oleaje)

Evaluar la densidad de *Egregia menziesii*.

Evaluar la longitud de las frondas y su número por individuo de *E. menziesii*.

Evaluar la proporción de meristemas intactos en la población.

Estimación de oleaje y el efecto en el movimiento de agua:

Comparar el movimiento del agua relativa en cada sitio por medio de pelotas de yeso en mareas muertas y vivas, con y sin oleaje.

Clasificar los eventos de oleaje intenso y el poder de la tormenta por los parámetros de:  $H_s$  (altura significativa), periodo, dirección y duración.

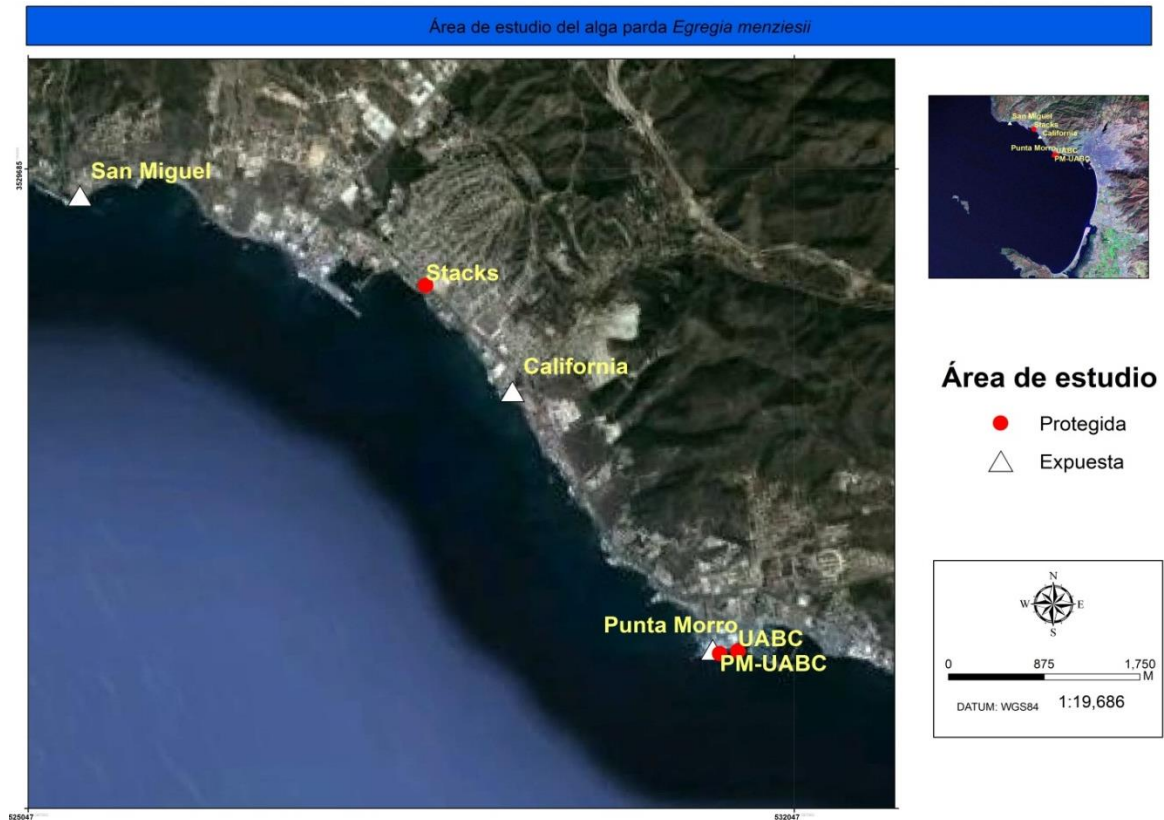
## Capítulo 5

### 5.1 Materiales y métodos

#### 5.1.1 Área de estudio

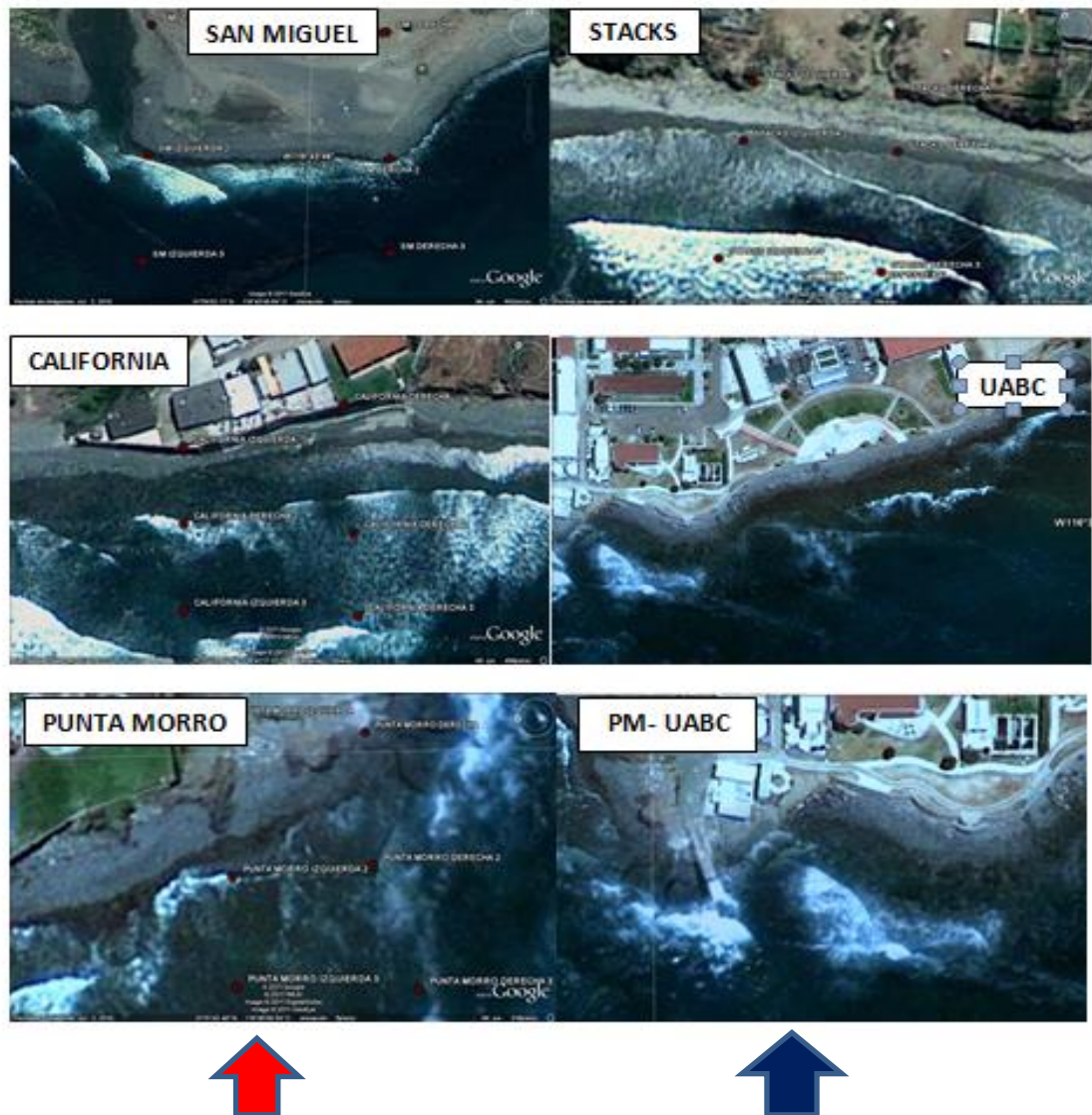
El estudio se realizó dentro de la Bahía Todos Santos, Baja California, México, en los meses de octubre del 2011 a mayo del 2012, antes, durante y después de la época de tormentas de invierno. La Bahía Todos Santos presenta poblaciones de *Egrefia menziesii* en el intermareal rocoso, en sitios expuestos y protegidos al oleaje.

En seis localidades intermareales de sustrato rocoso (Figura 3), se evaluó la densidad, la estructura de la población, y la supervivencia de *Egrefia menziesii*. Con respecto al embate observacional del oleaje, tres áreas fueron expuestas y tres protegidas. Los muestreos se realizaron durante las mareas vivas de cada mes.



**Figura 4.** Localidades correspondientes al área de estudio en la Bahía Todos Santos. Los triángulos blancos marcan los sitios observados con mayor exposición al oleaje y los círculos rojos con menor Arcmap, (2011).





**Figura 5.** Localidades correspondientes al área de estudio en la Bahía Todos Santos: Punta San Miguel, Stacks, California Trailer Park, Punta Morro, Punta Morro-UABC y UABC (ubicadas entre  $31^{\circ} 54'02.27''N$  y  $116^{\circ} 40'01.36''O$ ). La flecha roja marca los sitios observados con mayor exposición al oleaje y el azul con menor. Imágenes obtenidas de Google Earth 2012.

### **5.1.2 Movimiento relativo de agua**

Se caracterizó el grado del movimiento relativo de agua en cada uno de los seis sitios, utilizando el método de pelotas de yeso (Hart et al. 2002). Se hicieron los moldes de las pelotas de yeso usando pelotas de plástico huecas en el laboratorio, mezclando yeso y agua (en proporciones iguales), secándose a un peso constante de 60° C. Se instalaron cuatro pelotas de yeso en cada sitio por un ciclo de marea en los seis sitios de muestreo cada mes cerca de los individuos de *E. menziesii*. Se colectaron las pelotas de yeso, secándose a peso constante a 60 ° C obteniendo su peso seco final. Se calculó el porcentaje de erosión como el peso inicial menos el peso final dividido entre el peso inicial por cada instalación. Mensualmente también se dejaron cuatro pelotas de yeso en una cubeta de agua de mar por el mismo tiempo que fueron instalados en el campo, como control de disolución en agua sin movimiento.

### **5.1.3 Supervivencia y parámetros de individuos etiquetados de *Egrecia menziesii***

Mensualmente en seis poblaciones se etiquetaron diez individuos. Se evaluó su longitud total del individuo, la longitud de cada fronda (desde el crampón hasta la punta final), y el número de frondas presentes por individuo de estos diez individuos. Aparte se buscaba la presencia de individuos etiquetados previamente (para determinar supervivencia) y se re-midieron y re-etiquetaron todos los individuos encontrados desde los meses pasados. Al final del estudio, se tenían setenta etiquetas por sitio, por los siete meses del trabajo de campo (un total de 420 individuos etiquetados y seguidos en forma individual), con lo que se midió la supervivencia promedio, su crecimiento, y su agregación de las frondas por mes.

#### **5.1.4 Parámetros poblacionales**

Mensualmente en cuatro poblaciones (dos protegidas y dos expuestas), se utilizaron tres transectos de banda de  $3 \times 2 \text{ m}^2$ , puestos de manera aleatorio en el intermareal rocoso, para evaluar la densidad de individuos, el número y longitud de las frondas por individuo. También se evaluó el estado de las frondas para determinar la proporción de las frondas rotas y los meristemas intactos.

#### **5.1.5 Relación Longitud-Peso**

Para establecer una relación longitud-peso, se cosecharon un total de 58 individuos, repartidos entre los seis sitios antes mencionados (entre 8 y 10 frondas por sitio). Se midió la longitud de las frondas, su peso húmedo y su peso seco a  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ . Se utilizaron estos datos para estimar el porcentaje de Carbono en peso seco perdido en la época de mayor oleaje (diciembre).

#### **5.1.6 Datos de Oleaje**

Para poder caracterizar el oleaje en este trabajo se definieron los eventos de oleaje intenso utilizando los datos estadísticos de la página de internet ([www.cdip.uscd.edu](http://www.cdip.uscd.edu)) CDIP (The Costal Data Information Program) de la boya Harvest, ubicada al oeste de Punta Concepción. En particular se utilizó esta boya por tener datos no solo de altura significativa y periodo, pero también por tener dirección y por su profundidad y localización lejos del efecto de la costa. Se definió cada tormenta con el tiempo que tenía su altura significativa ( $H_s$ ) arriba de 3 m. Se calculó el poder de la tormenta con los parámetros de: altura significativa ( $H_s$ ), periodo, dirección y duración, con la ecuación de poder ('power density') y energía relativa por unidad de cresta en el periodo de la tormenta, demostrado abajo (Seymour, 1998):

$$\text{Poder} = H_s^2 * T_p$$

En donde:

Hs = es la altura significativa de la ola en metros

Tp= periodo en segundos

### 5.1.7 Análisis de los datos

Para evaluar diferencias en movimiento relativo de agua entre los sitios, se utilizó una prueba de análisis de varianza (ANOVA) (Statistica) de una vía, con una alfa de 0.05, después de confirmar que las varianzas fueron homogéneas con la prueba Cochran.

Para evaluar si existieron diferencias entre parámetros individuales y poblacionales de *Egregia* en tiempo y en espacio, se utilizaron pruebas ANOVA de dos vías con su interacción entre tiempo de muestreo y sitio, para comprobar las hipótesis inicialmente propuestas. Si la prueba ANOVA mostraba diferencias significativas entre los muestreos, apoyaría la primera hipótesis sobre que la temporada de oleaje tiene un efecto significativo en los parámetros de *Egregia*. Si la prueba ANOVA muestra diferencias entre los sitios, eso solo dice que los sitios son diferentes, posiblemente por diferencias inherentes de sedimento, tipo de roca, grado de herbivoría, etc. Si la prueba de ANOVA muestra diferencias significativas entre la interacción de tiempo de muestreo y sitio, apoyara la segunda hipótesis, es decir que las poblaciones no se ven afectadas de la misma manera a lo largo del estudio (hay cambios entre los sitios con el tiempo) y sugiere que algunos sitios pueden ser protegidos o expuestos al efecto de oleaje, presentando mayor o menor efecto durante la época de oleaje.

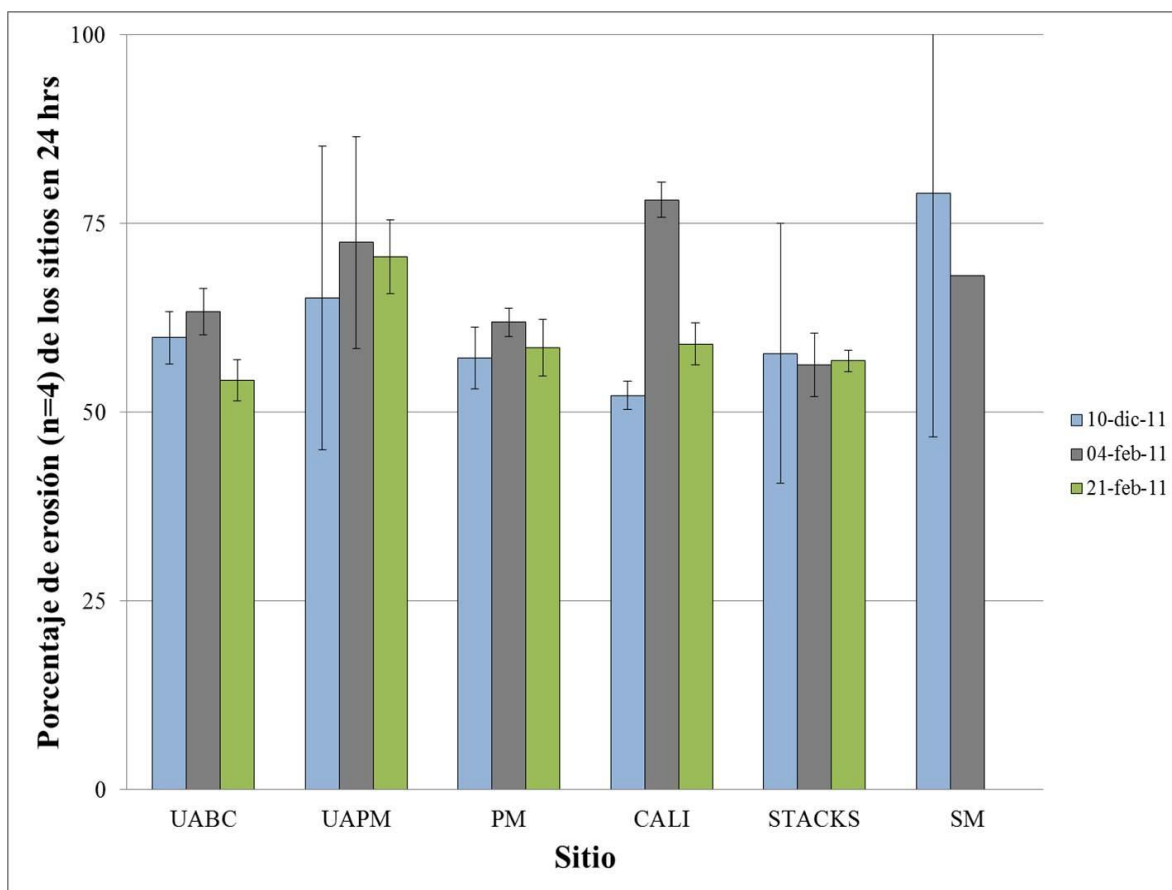
Para ver que factor controlaba las respuestas biológicas medidas, se corrieron pruebas de correlación con los promedios mensuales de los datos físicos correspondientes a temperatura (SST), altura significativa (Hs), periodo (Tp) y potencia (power) con los promedios de los datos biológicos obtenidos en la evaluación de la población para el mismo mes.

## **Capítulo 6**

### **6.1. Resultados**

#### **6.2 Grado del movimiento relativo del agua.**

Al caracterizar el grado del movimiento del agua en los diferentes sitios de estudio, los resultados mostraron diferencias significativas entre sitios ( $p < 0.04$ ), con un gradiente de mayor porcentaje de erosión en San Miguel (grupo Tukey post hoc A), menos erosión en UAPM (grupo Tukey post hoc B), y la menor erosión en UABC y Stacks (grupo Tukey post hoc D), mientras que PM y Cali (grupo Tukey post hoc C) no fueron diferentes de los demás sitios.



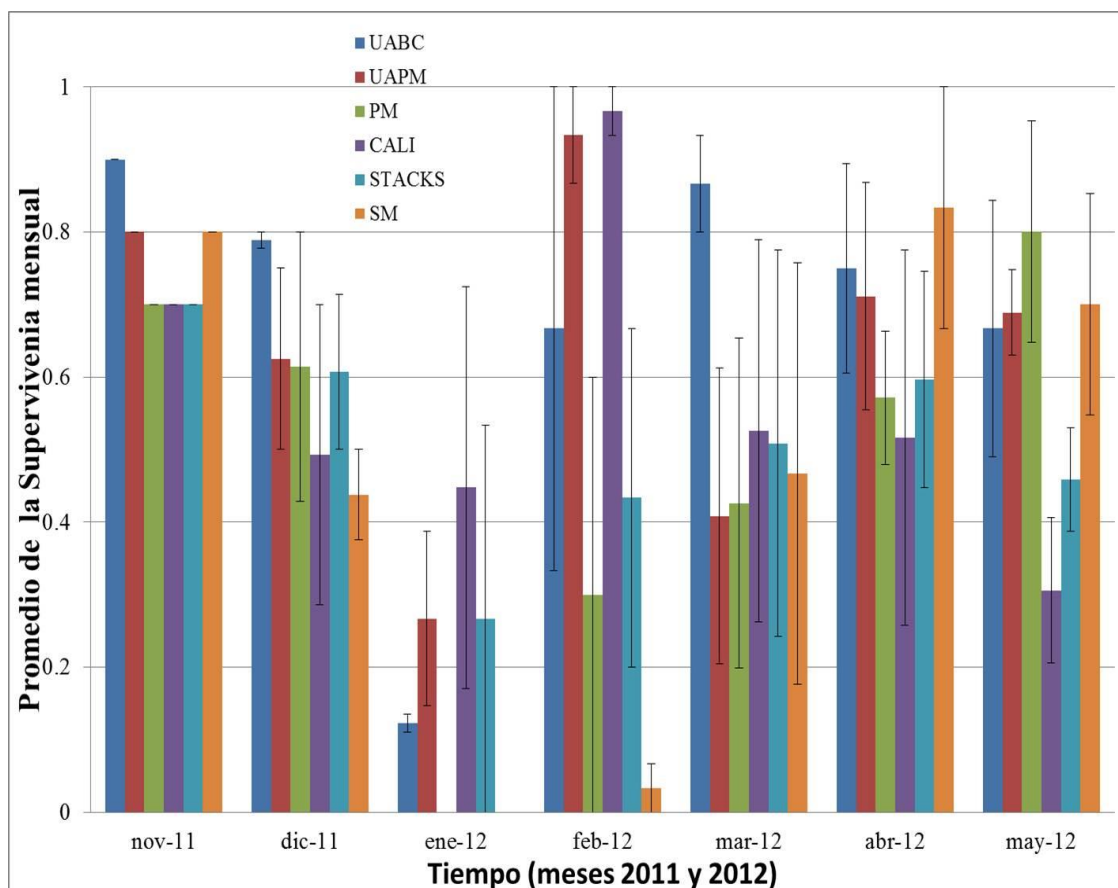
**Figura 6.** Porcentaje de erosión por desgaste de pelotas de yeso durante veinticuatro horas en los sitios de estudio.

## 6.2 Seguimiento de individuos mensualmente.

### 6.2.1 Supervivencia.

Se observó un patrón similar entre sitios con una fuerte reducción en la supervivencia en los meses de diciembre 2011 y enero 2012, y mayor supervivencia para primavera, en general. El sitio de SM tuvo baja supervivencia comparado con los otros sitios en el mes de enero 2012 y febrero 2012 y la supervivencia era mayor en el sitio UABC. Se observó que en invierno se encuentra la menor supervivencia (octubre, noviembre, diciembre, enero) y para primavera un aumento en la supervivencia (marzo, abril, mayo) (Fig. 7).

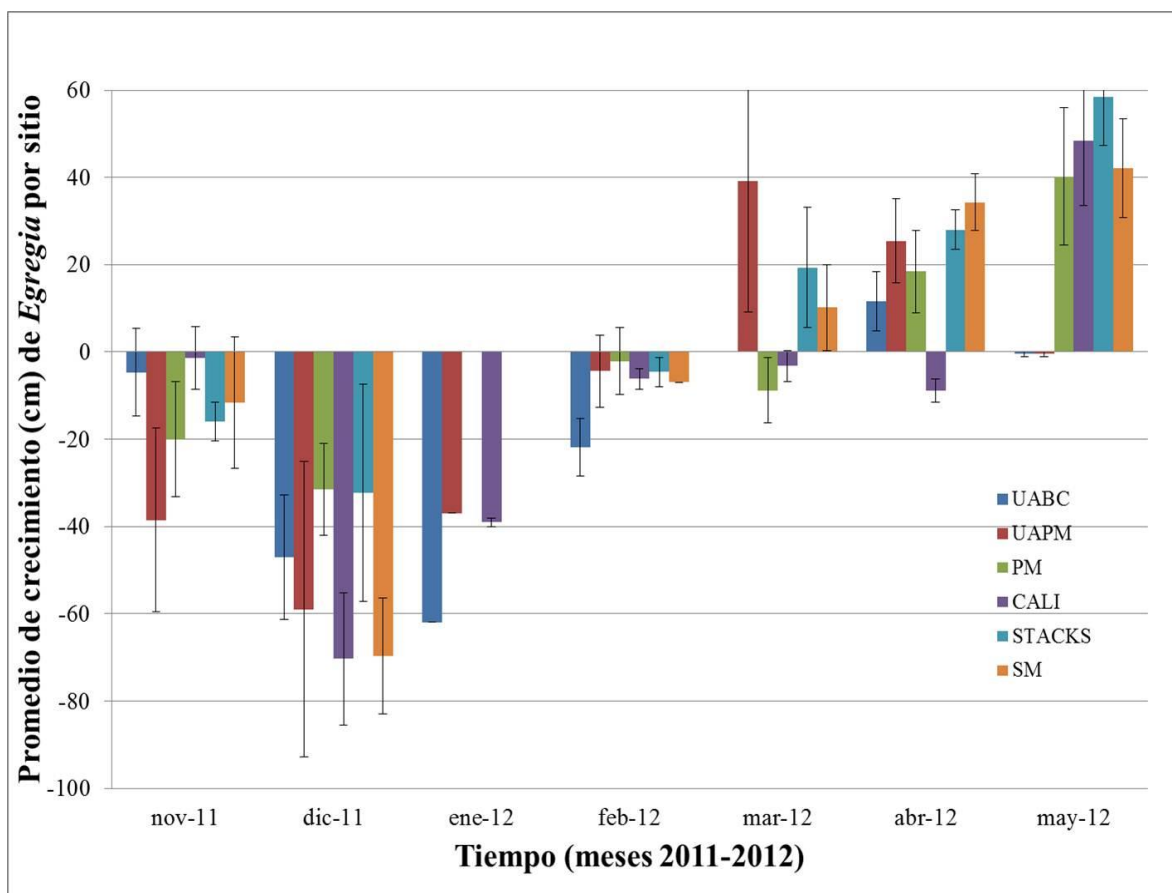
Para supervivencia, el análisis de varianza de dos vías mostró diferencias significativas entre los meses ( $p < 0.001$ ) pero no entre los sitios ( $p = 0.33$ ) ni para la interacción entre mes y sitio ( $p = 0.38$ ).



**Figura 7.** Supervivencia de *Egregia*, donde se observaron diferencias significativas entre los meses pero no entre los sitios, así como tampoco se observó una interacción entre mes y sitio.

### 6.2.2. Crecimiento.

En invierno no se observó crecimiento, mientras que en primavera se notó un incremento para la mayoría de los sitios (Fig. 8). Se encontraron diferencias significativas en el crecimiento entre los meses ( $p < 0.001$ ) pero no entre los sitios ( $p = 0.73$ ), ni una interacción entre mes y sitio ( $p = 0.89$ ).

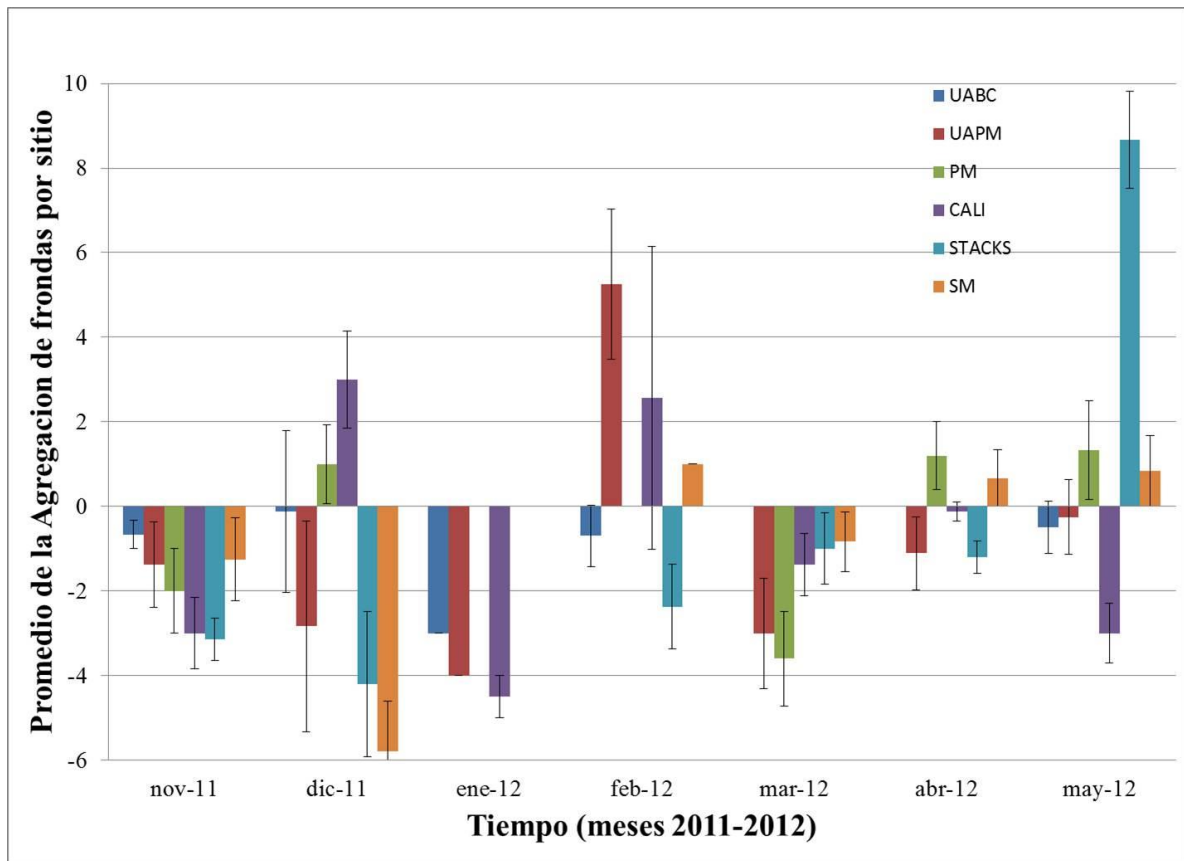


**Figura 8.** Promedio del crecimiento de *Egregia* por sitio.

### 6.2.3 Agregación de frondas.

Para la agregación de frondas, el análisis de varianza de dos vías mostró un efecto significativo entre los meses con agregación de frondas en la primavera y pérdida en el invierno ( $p < 0.001$ ), mientras entre los sitios no fue significativamente diferentes ( $p = 0.91$ ), aun se mostró una interacción significativa entre mes y sitio ( $p < 0.001$ ), es decir el efecto de los meses no fue similar en todos los sitios (Fig. 9).



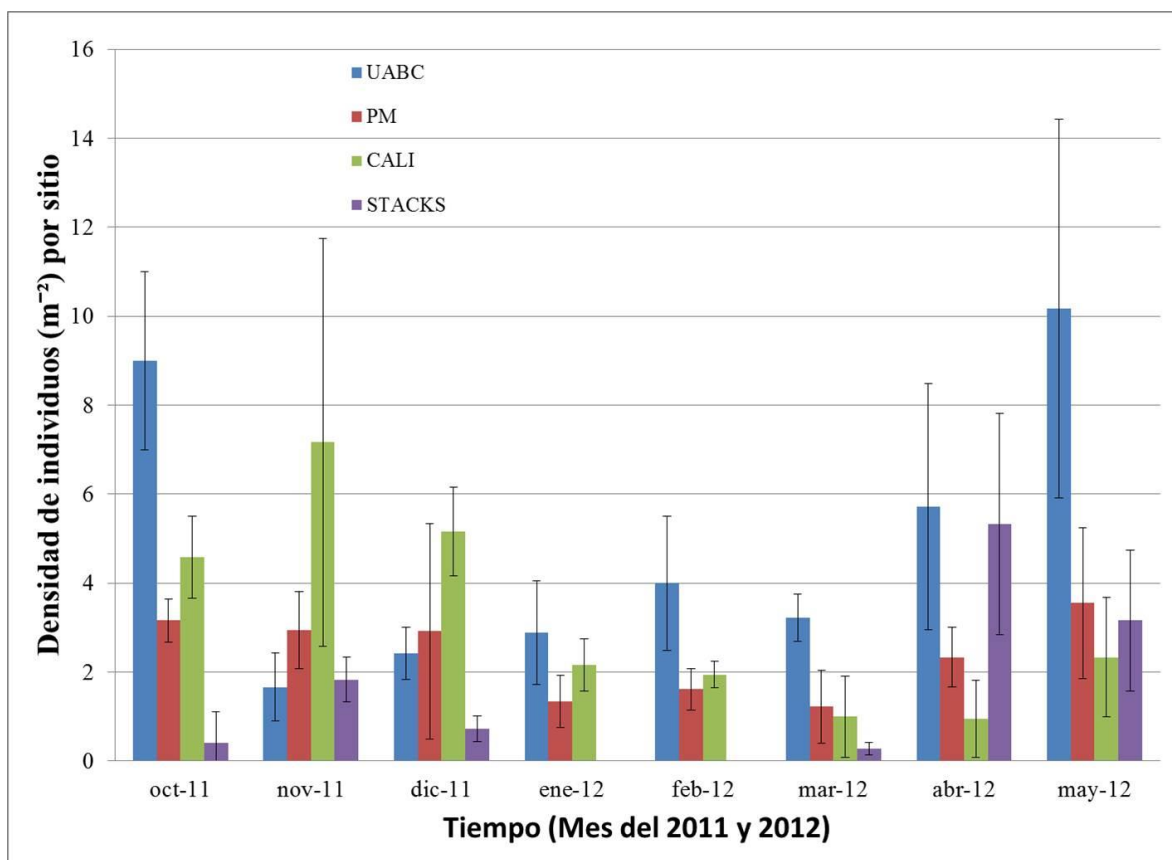


**Figura 9.** Promedio de la agregación de frondas de *Egreia* mensualmente por sitio.

### 6.3 Evaluación de la población:

#### 6.3.1 Densidad.

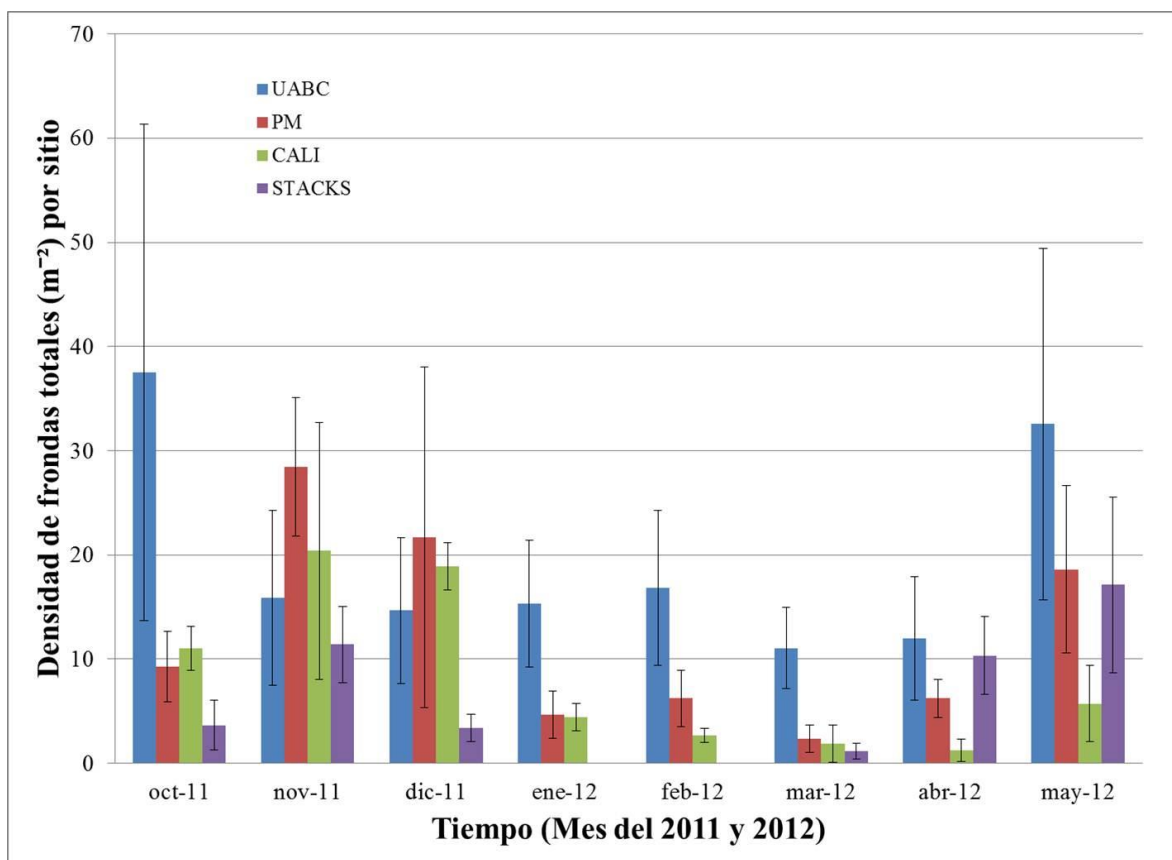
Un análisis de varianza de dos vías mostro diferencias significativas entre los factores mes ( $p=0.025$ ) y sitio ( $p<0.001$ ) para densidad, siendo alta en octubre, baja en invierno, con recuperación en primavera. Sin embargo, no se observó una interacción significativa entre mes y sitio ( $p=0.09$ ) (Fig. 10).



**Figura 10.** Densidad de los individuos de *Egregia* por sitio.

### 6.3.2 Número de frondas por individuo.

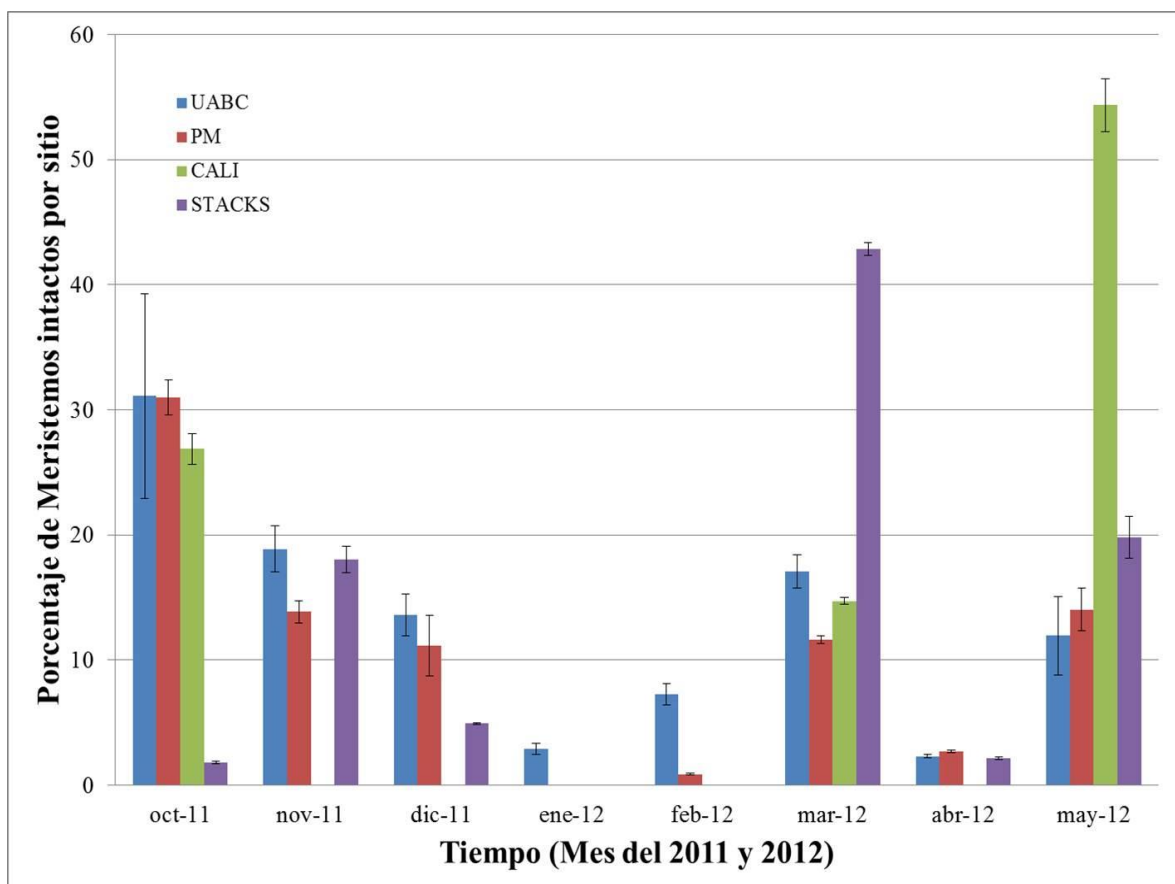
Se encontró un efecto significativo del factor mes ( $p=0.03$ ), con alto número de frondas en octubre, bajo número de frondas en invierno y aumento del número de frondas en primavera (Fig. 11). Los sitios mostraron diferencias entre ellos ( $p<0.01$ ) pero no se observó una interacción significativa entre mes y sitio ( $p=0.49$ ).



**Figura 11.** Densidad del número de frondas totales por individuo de *Egregia* por sitio.

### 6.3.3 Porcentaje de meristemos por individuo.

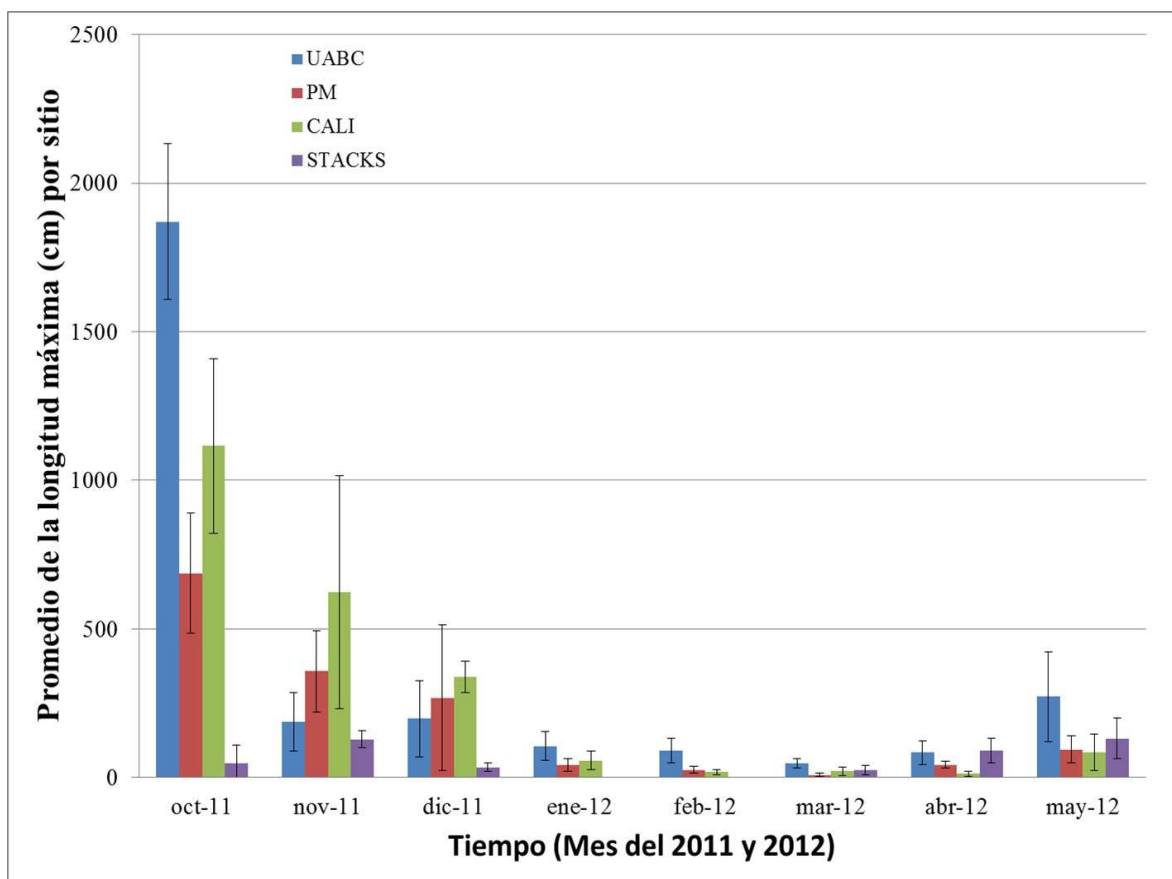
Se encontró que los meses fueron significativamente diferentes ( $p < 0.01$ ), con un aumento de los meristemos en diciembre, presentando una recuperación de estos en primavera (marzo y mayo). También se encontró que los sitios fueron significativamente diferentes ( $p < 0.01$ ). Sin embargo, no se observó una interacción significativa entre mes y sitio ( $p = 0.17$ ) (Fig. 12).



**Figura 12.** Porcentaje de meristemos intactos por sitio de *Egregia*.

### 6.3.4 Longitud máxima.

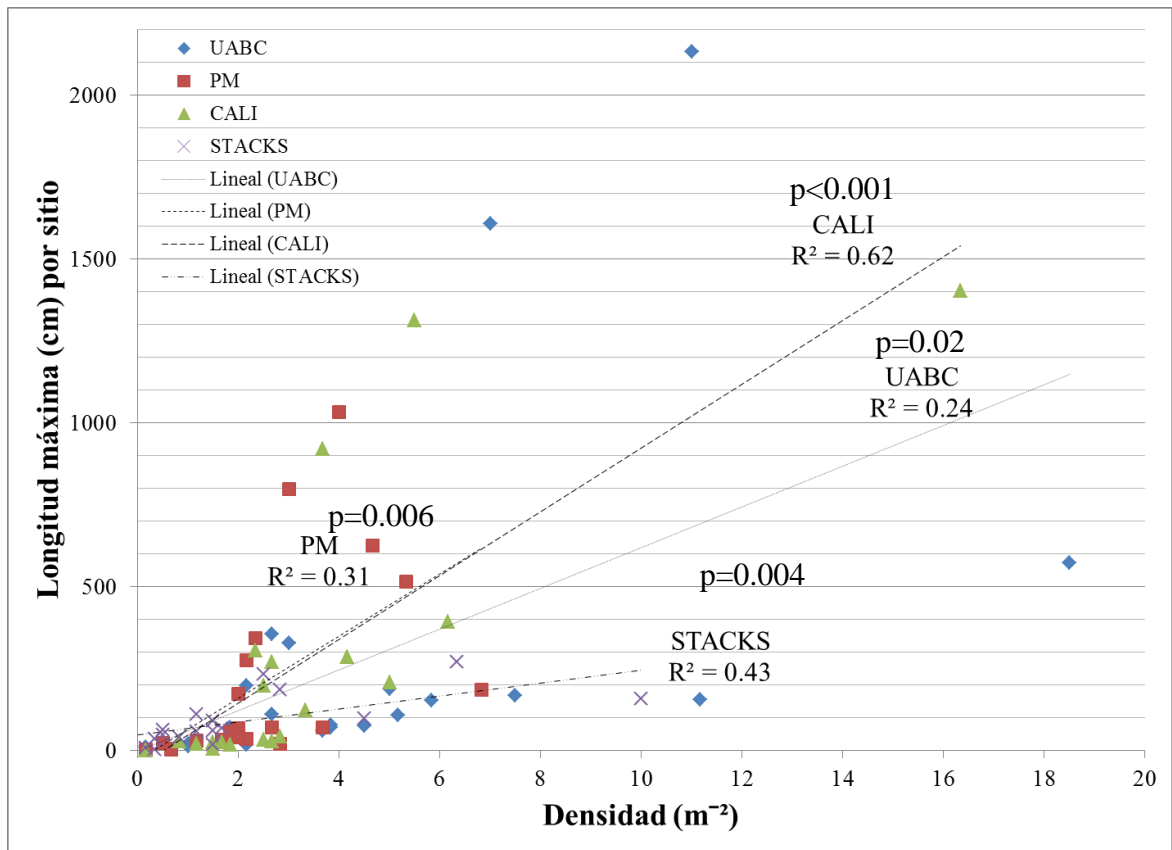
Se encontró un efecto significativo del factor mes ( $p < 0.01$ ) con individuos en la población más largas en octubre y más cortos en los meses de invierno presentando un incremento en primavera (Fig. 13). Se encontraron pocas diferencias significativas entre sitios ( $p = 0.049$ ) con los sitios UABC y CALI teniendo individuos más largos que luego fueron podados más que otros sitios y tardaron más en recuperar, mientras que STACKS nunca logro tener frondas tan largas como los otros sitios. También se observó una interacción significativa entre mes y sitio ( $p < 0.01$ ).



**Figura 13.** Promedio de la longitud máxima por sitio de *Egregia*.

### 6.3.5 Longitud máxima vs. Densidad.

La longitud máxima fue positivamente correlacionada con la densidad de la población de *Egregia* para todos los sitios ( $p < 0.05$ ) (Fig. 14), con una  $R^2$  de (0.62) mayor para el sitio de CALI y menor para UABC con una  $R^2$  de (0.24).



**Figura 14.** Longitud máxima de los individuos de *Egregia* vs. su densidad para cada sitio.

### 6.3.6 Número de frondas por individuo vs Densidad.

El número de frondas por individuo fue positivamente correlacionado con la densidad de la población de *Egregia* para todos los sitios ( $p < 0.05$ ) (Fig. 15), con el sitio CALI teniendo de nuevo la  $R^2$  mayor (0.95), mientras que STACKS la menor  $R^2$  (0.55).

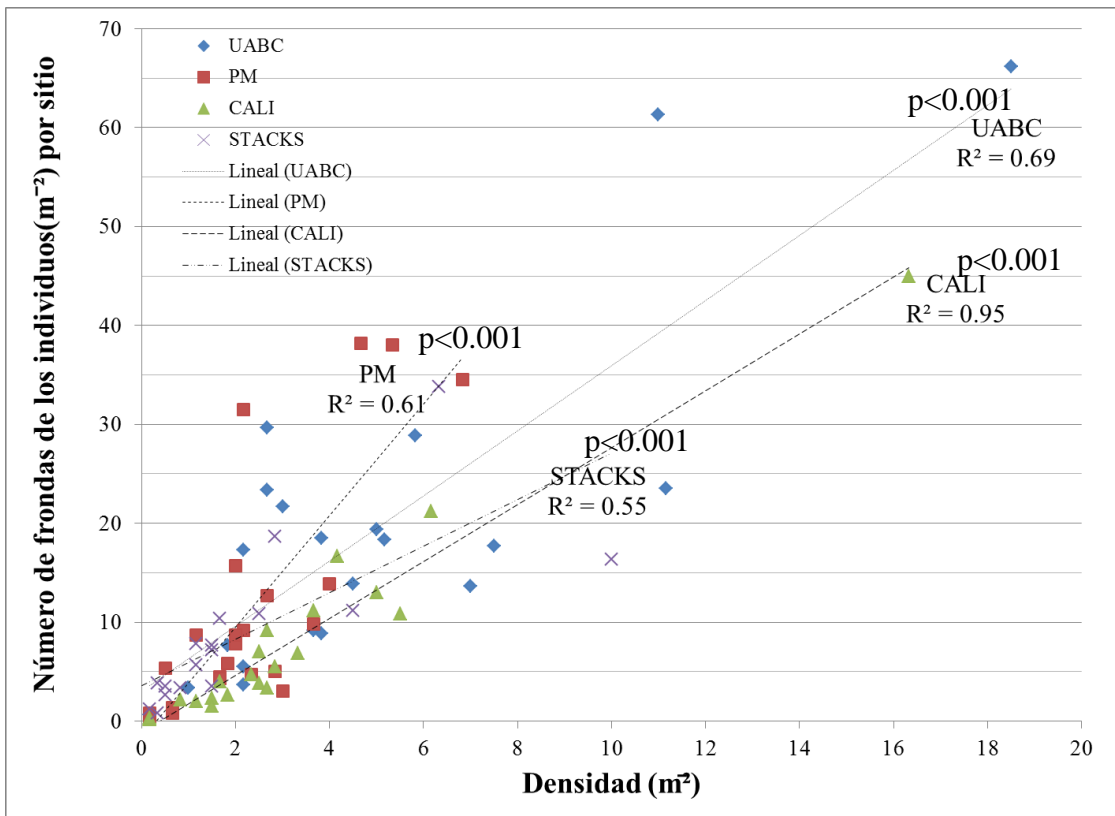
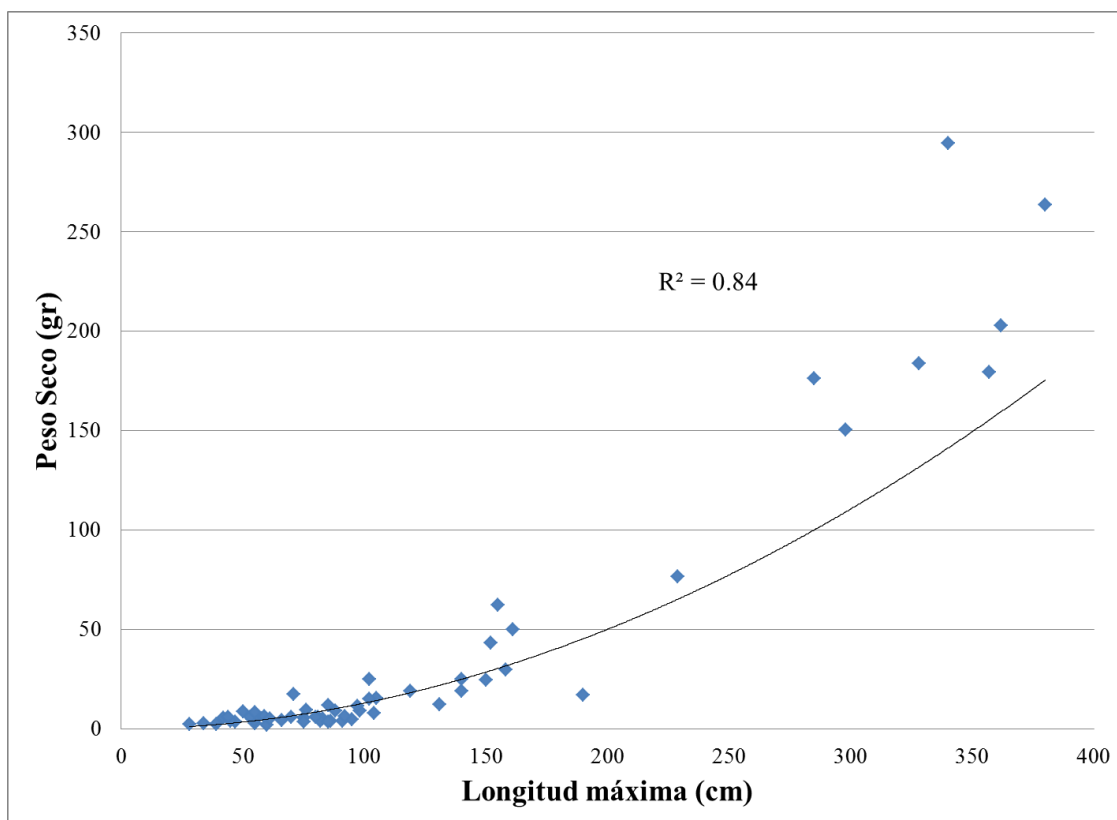


Figura 15. Numero de frondas de los individuos de *Egregia* vs. densidad por sitio.

#### 6.4. Relación longitud-peso (Biomasa).

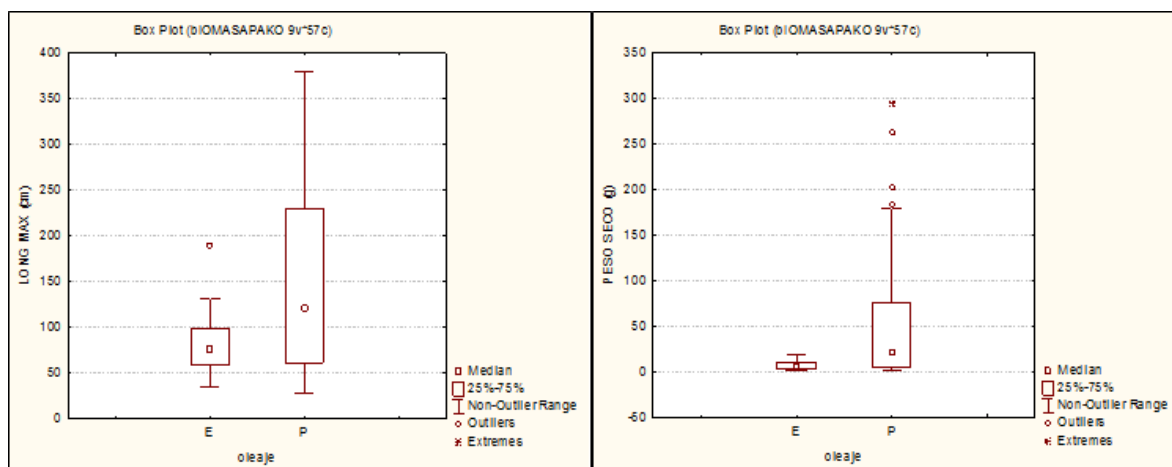
Se encontró una relación exponencial significativa entre longitud y peso seco, con R<sup>2</sup> de 0.84.



**Figura 16.** Relación Longitud húmedo vs peso seco de *Egregia* para todos los sitios combinado.

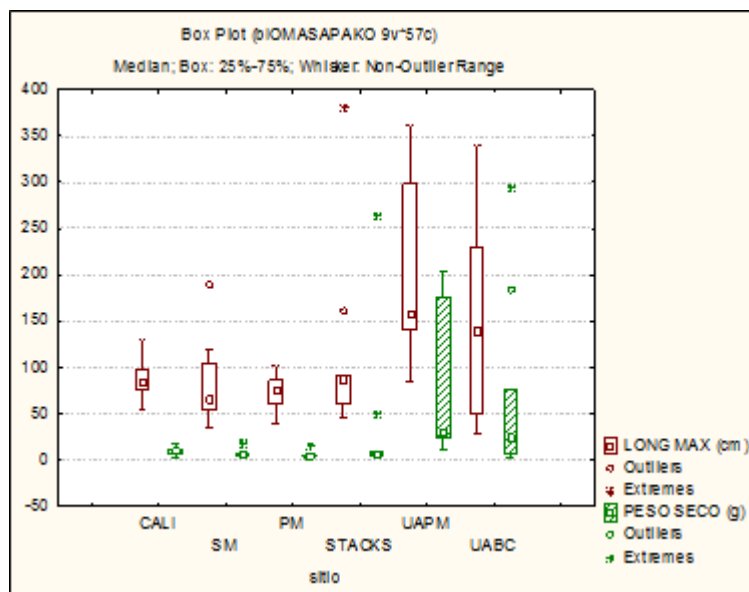
Se encontraron diferencias significativas entre sitios expuestos y protegidos con una  $p=0.002$  para la longitud húmeda y  $p=0.002$  para el peso seco (Fig. 17a y b).





**Figura 17.** a) Longitud Máxima y b) Peso seco de *Egreia* con respecto a su exposición al oleaje: LONG MAX (cm):  $F(1,55) = 10.83$  y  $p < 0.002$ , PESO SECO (g):  $F(1,55) = 11.09$  y  $p < 0.002$  en los diferentes sitios.

Se encontraron diferencias con respecto a la relación longitud y el peso seco (Fig. 18) observándose que UAPM y UABC fueron similares entre si, pudiendo inferir que son más largos y pesados sus frondas que las de los otros sitios, mientras que Cali, SM, PM y STACKS de igual forma no fueron diferentes entre si ( $p=0.22$ ).



**Figura 18.** Relación longitud – peso seco con respecto al sitio de exposición de *Egreia*, longitud máxima en rojo y peso seco en verde.

Se encontró que en el mes de diciembre se pierda una cantidad de 2.56 g C/m<sup>2</sup> con la acción de oleaje (Tabla 1).

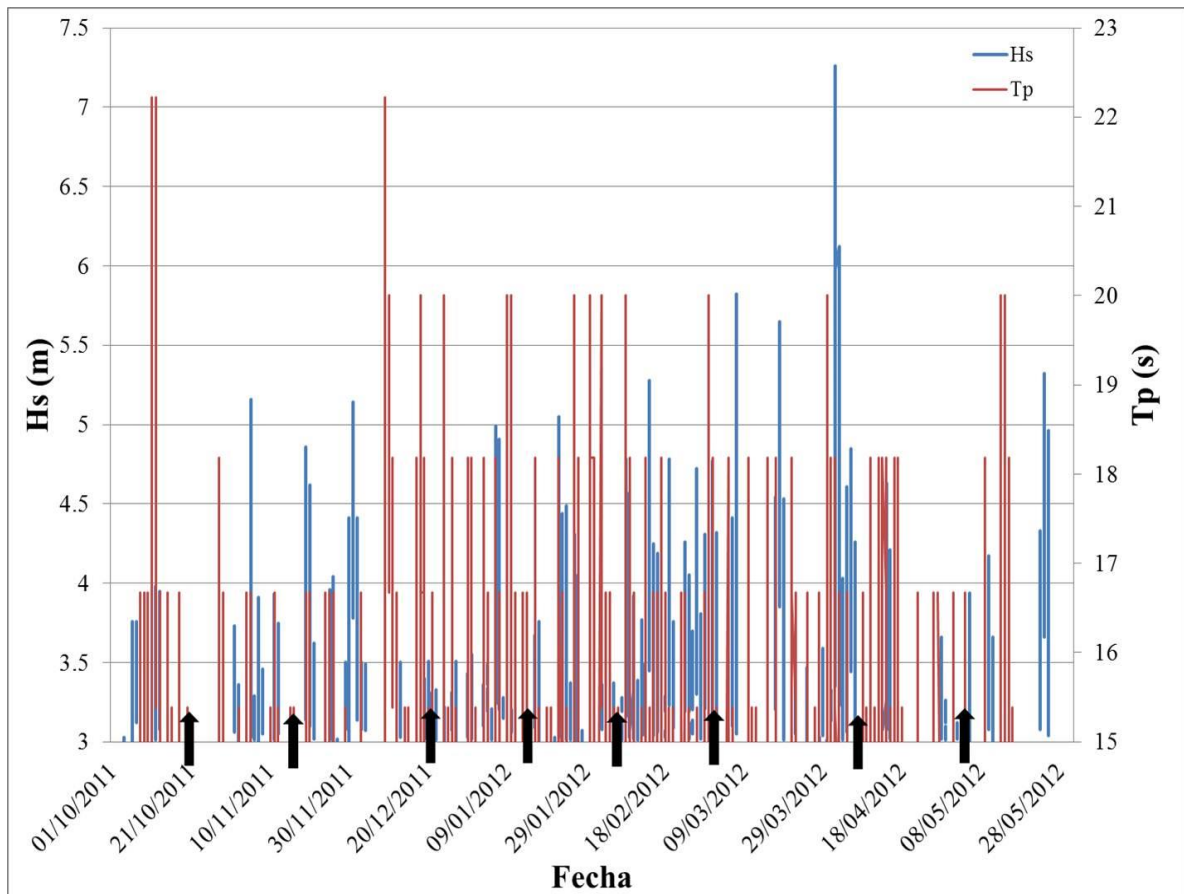
**Tabla I.** Datos relacionados a la pérdida del porcentaje de Carbón en *Egrecia* en diciembre como mes con mayor pérdida en longitud por planta/m<sup>2</sup>.

Ecuación relación peso seco- longitud húmeda	$y = 0.0016x^{1.955}$
Promedio de perdida de longitud húmeda en diciembre (cm)	51.6 cm
(g) Peso seco promedio perdida para diciembre	3.57 g
% de Carbono por peso seco en <i>Egrecia</i>	27.9%
(g) Peso seco de Carbono perdido por planta en diciembre	0.996 g C/ind
Promedio de densidad en diciembre por planta/m <sup>2</sup>	2.57 ind/m <sup>2</sup>
(g) de carbono perdido/m <sup>2</sup> en diciembre	2.56 g C/m <sup>2</sup>

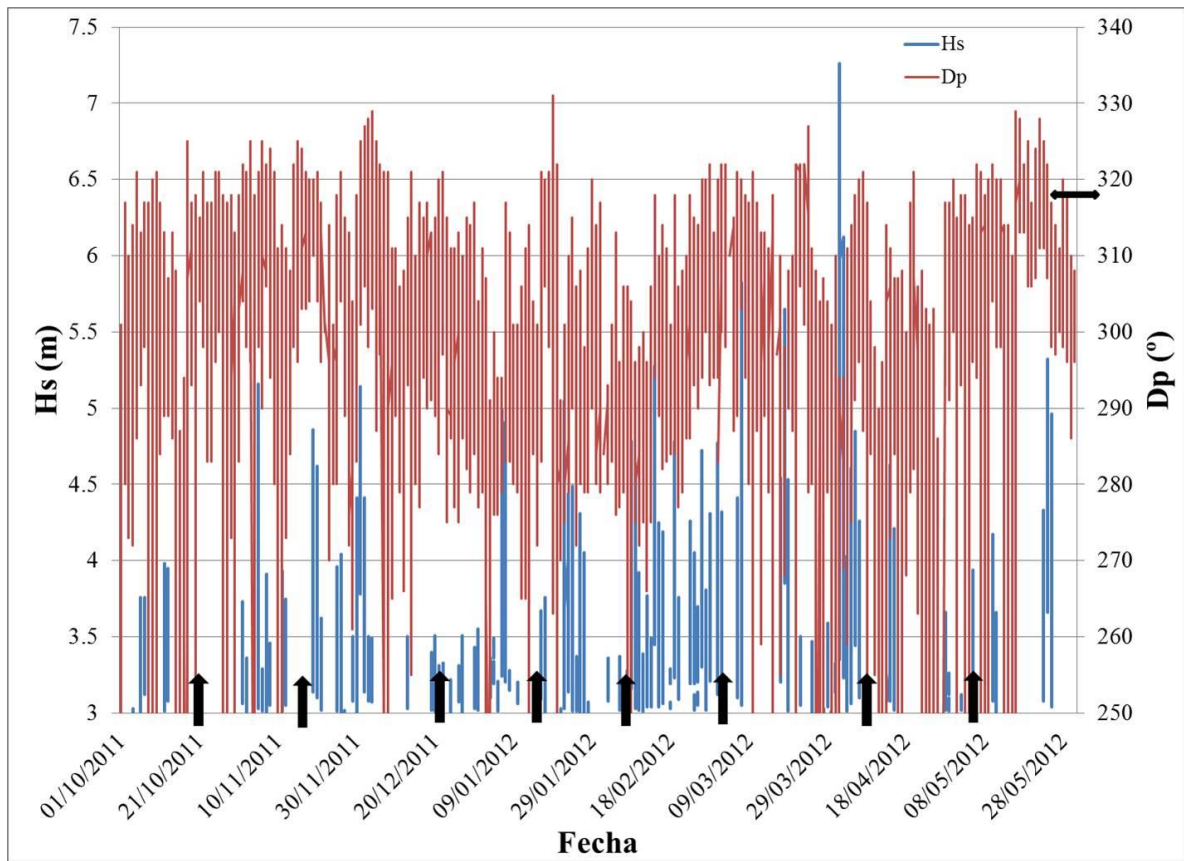
## 6.5 Estimación de oleaje:

### 6.5.1 Datos procesados del CDIP (Hs, Tp, Dp).

Se ve que noviembre 2011, diciembre 2011 y enero 2012 presentaron los picos más altos del estudio con alturas significantes por arriba de los 3 metros. También el periodo fue más que los 15 segundos, lo que marca la época de tormentas y los meses cuando disminuyó la población de *Egrecia*. La dirección marcada de estos eventos era del 270° a los 300° (del dirección noroeste) lo cual si entra a la BTS y es lo que pega con mayor fuerza en las costas de Ensenada (Fig. 19 y 20).



**Figura 19.** Altura significativa y periodo durante el estudio, mostrando las fechas de muestro para el etiquetado de individuos y estructura poblacional con las flechas negras.



**Figura 20.** Altura significativa vs dirección durante el estudio, mostrando las fechas de muestro para el etiquetado de individuos y estructura poblacional con las flechas negras.

### 6.6. Correlaciones bio- físicas:

**Tabla II.** SST, Hs, Tp y potencia vs densidad de número de individuos, densidad de número de frondas por individuo, longitud máxima y porcentaje de meristemos intactos. Correlaciones significativas en itálica.

<b>Eje X</b>	<b>Eje Y</b>	<b>Valor p</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R</b>
SST	Densidad de individuos	p=0.24	0.22	0.47
Hs	Densidad de individuos	p=0.64	0.04	-0.20
Tp	Densidad de individuos	p=0.35	0.14	-0.38
potencia	Densidad de Frondas	p=0.67	0.03	-0.18
<i>SST</i>	<i>Densidad de frondas</i>	<i>p=0.05</i>	<i>0.49</i>	<i>0.70</i>
Hs	Densidad de frondas	p=0.14	0.32	-0.57
Tp	Densidad de frondas	p=0.51	0.07	-0.27
potencia	Densidad de frondas	p=0.19	0.27	-0.52
<i>SST</i>	<i>Longitud máxima</i>	<i>p=0.02</i>	<i>0.64</i>	<i>0.80</i>
Hs	Longitud máxima	p=0.50	0.08	-0.28
Tp	Longitud máxima	p=0.29	0.18	-0.43
potencia	Longitud máxima	p=0.40	0.12	-0.35
<i>SST</i>	<i>Porcentaje de meristemos</i>	<i>p=0.004</i>	<i>0.77</i>	<i>0.88</i>
Hs	Porcentaje de meristemos	p=0.29	0.18	-0.42
Tp	Porcentaje de meristemos	p=0.24	0.22	-0.47
potencia	Porcentaje de meristemos	p=0.19	0.26	-0.51

No se encontró una relación significativa para la mayoría de las correlaciones biofísicas. Sin embargo, existió una relación significativa entre temperatura (SST) con densidad de frondas ( $p < 0.05$ ,  $R^2 = 0.49$ ), longitud máxima ( $p < 0.02$ ,  $R^2 = 0.64$ ) y porcentaje de meristemos ( $p < 0.004$ ,  $R^2 = 0.77$ ) (tabla 2).

## Discusión

*Egregia menziesii* es una laminaria que se localiza en las costas rocosas de la BTS y lo que se buscó estudiar cómo se ven afectadas estas poblaciones durante la época de oleaje en diferentes sitios, tanto expuestos como protegidos, elegidos por observación. En un estudio similar (hecho en California, USA), que durante la época de oleaje, la fuerza de las olas afectan tanto el tamaño como la estructura de las poblaciones de las algas (Seymour et al 1989). Se encontraron patrones similares a otros estudios, con una alta tasa de reducción en lo que respecta a la supervivencia en los meses de invierno, mientras que para la primavera se observó una supervivencia mayor en general. Similarmente se observó que el crecimiento y a la agregación de frondas de *Egregia* se redujo en invierno y se incrementó en primavera, con diferencias entre los meses de muestreo pero no entre los sitios. Sin embargo, se encontró que la agregación de frondas mostro diferencias significativas entre la interacción del factor tiempo y sitio, contrario a lo que encontraron Henkel y Murray (2007) quienes no encontraron diferencias entre los sitios a través del tiempo, pero si con una reducción en los parámetros antes mencionados durante la exposición al oleaje.

La primer hipótesis planteada mencionó que habría una reducción significativa tanto en la supervivencia como los parámetros poblacionales (densidad, número de frondas por individuo, longitud de frondas y meristemos intactos) de *Egregia* en la época de oleaje de invierno en BTS (efecto significativo del factor de tiempo). Otras de las hipótesis planteadas fue que habrá diferencias significativas en estos mismos factores que variaran espacialmente dentro de la Bahía de Todos Santos atreves del tiempo (interacción entre los factores del tiempo y sitio) debido que ciertas sitios fueron más protegidas que otros durante la época de oleaje (por observación).

Se apoyó la primer hipótesis en este trabajo (diferencias temporales) con todos los parámetros estudiados, es decir que se encontraron diferencias en tiempo, con un cambio significativo (por ejemplo una reducción significativa en sobrevivencia, densidad, numero de frondas por individuo, longitud máxima y presencia de meristemos intactos) en los

meses de fuerte oleaje. Sin embargo, aun con los parámetros poblacionales de densidad, número de frondas, porcentaje de meristemos intactos y longitud máxima se encontró un efecto de sitio (los sitios tuvieron diferencias entre ellos), solo se encontró una interacción significativa entre los factores de tiempo y sitio para la longitud máxima y la agregación de frondas. Es decir para la mayoría de los parámetros estudiados, las diferencias entre sitios se mantuvo constante durante todo el estudio y no fueron mayores o menores durante las épocas de oleaje como se planteó en las hipótesis si los sitios hubieron estado afectados en una forma menor o mayor durante la época de oleaje por ser sitios más o menos protegidos. Así que se rechazó la hipótesis espacial de esta tesis en la mayoría de los parámetros biológicos. Solo se aceptó para la longitud máxima y la agregación de las frondas, que son probablemente las variables más afectadas por oleaje debido al podado y rotura de las frondas.

En lo que corresponde a los parámetros poblacionales, específicamente la densidad de los individuos, se encontró una mayor densidad en los sitios más protegidos (UABC y STACKS), en comparación con los sitios más expuestos (PM y CALI), pero al parecer estas diferencias fueron inherentes de la población y no fueron ampliadas (o reducidas) en los sitios expuestos durante la época de oleaje. Para el factor de la longitud máxima, si se encontró cambios durante el estudio y había una interacción entre tiempo y sitio. Es decir, el efecto de los meses no fue similar en todos los sitios, esto mismo tanto para los meristemos intactos y la longitud máxima. Debido que hay pocos estudios que evalúan el efecto espacial, solo se puede comparar con los resultados de Henkel y Murray (2007), Gunnill (1985), y Murray y Littler (1978), donde todos encuentran el patrón general de reducción en épocas de oleaje y aumento y máximos en primavera, pero no discuten variabilidad espacial.

Los datos de pelotas de yeso (plaster balls) muestran que en San Miguel se presentó la mayor erosión. Pero no fue fácil distinguir un patrón claro entre el resto de los sitios. San Miguel no fue incluido en el estudio poblacional, por ende la mayoría de los parámetros no mostraron un efecto significativo en la interacción entre los factores de sitio y tiempo

debido que no se detectó diferencias claras en la erosión de las pelotas de yeso que son representativas de movimiento de agua. La segunda hipótesis planteada en el contexto espacial no se encontraron diferencias entre sitios protegidos y expuestos, lo que sugiere que no hay diferencias en el nivel de exposición al oleaje. Por otra parte se encontraron interacciones entre los factores de tiempo y sitio para longitud máxima. Se observó daño de las frondas ocasionado por el oleaje, con diferencias entre los sitios durante el invierno. Estas diferencias pueden estar relacionadas con el grado de exposición sin embargo al no encontrar diferencias con las pelotas de yeso son necesarios estudios más detallados utilizando modelos de oleaje como el SWAN, que nos permitan corroborar los datos preliminares de los pelotas de yeso y entender mejor esta relación.

La pérdida de tejido de *Egregia* calculado por oleaje (2.56 g por metro cuadrado) en los sitios de estudio dentro de la BTS, es poco comparado con otros estudios que han encontrado pérdidas de hasta 9189 gramos (peso seco principalmente en algas café) por metro de playa después de tormentas en el atlántico (costa de Galicia de España) (Barreiro et al. 2011). Probablemente la mayor biomasa que llega a las playas del BTS son *Macrocystis* y en menor cantidad *Egregia*, ya que los mantos de *Macrocystis* en el submareal forman grandes bosques con mayor biomasa e individuos de más de 50 m de longitud (Ladah et al. 1999, Lahad y Zertuche 2004). Aun no hay estudios que reportan la pérdida de carbono por pérdida de tejido en macroalgas debido al efecto de oleaje, pero debido a la poca presencia de *Egregia* se puede predecir que la pérdida de carbono por oleaje en esta especie en la BTS será mínima.

En general, las poblaciones se portaron como se esperó, con una fuerte reducción en todos los parámetros en la época de oleaje y un incremento en primavera. El daño por oleaje fue claramente visible en las algas, se observaron rotura de estipes y de meristemas, además se concordó con tormentas en la serie de tiempo de CDIP. Se esperaba un mayor efecto en cómo se comportaron los sitios durante la época de oleaje debido a diferencias del grado de exposición al oleaje. Sin embargo, con excepción de San Miguel el sitio con mayor oleaje el resto de la bahía parece tener el mismo nivel de exposición al oleaje. Era de esperarse



ya que la mayor energía del oleaje entra a la bahía del noroeste y la BTS es una bahía protegida del oleaje de esta dirección por la punta de San Miguel y la geomorfología de la costa más al norte.

Se encontró una correlación entre la temperatura y datos biológicos de densidad de frondas, longitud máxima y porcentaje de meristemos intactos, encontrados en este estudio, esto nos indicó que a mayores temperaturas *Egregia* presenta mayor densidad de frondas, mayor longitud máxima y mayor porcentaje de meristemos intactos. Esta relación puede deberse a un incremento en el metabolismo del alga a temperaturas mayores. También puede ser debido a que durante la época de invierno, cuando hay daño por oleaje, hay una disminución en la temperatura. Al contrario, mientras que en la época que la oleaje se reduce, el agua empieza de calentarse por las estaciones del año y más insolación. Para los demás parámetros físicos como la altura significativa de oleaje, el periodo y la potencia, las correlaciones fueron negativas, como se esperó, que entre mayor sean estos parámetros físicos, menores todos sus valores biológicos. Sin embargo, estas relaciones no fueron significativas como se esperaba.

## Conclusiones

Todos los parámetros biológicos estudiados con *Egregia* mostraron una fuerte reducción en invierno y se sugiere por el tipo de daño que el oleaje causó en el estudio realizado, así como un aumento o recuperación para primavera.

El grado del movimiento relativo del agua con pelotas de yeso muestra que solo San Miguel tiene mayor exposición detectable con respecto a los otros sitios. Debido a este resultado, a lo mejor no se encontró diferencias entre los sitios a través de la época de oleaje en la mayoría de los parámetros biológicos. Sin embargo, debido que los parámetros de longitud máxima y agregación de frondas sí mostraron diferencias entre sitios que variaban con tiempo, se sugieren mejores métodos de detección de exposición al oleaje.

Todos los parámetros biológicos estudiados con *Egregia* mostraron un incremento en primavera que es la época cuando se reduce el oleaje, cuando las macroalgas pueden recuperar y cuando hay más insolación para el crecimiento. Se necesitaran más estudios para diferenciar los efectos de insolación, temperatura y daño por oleaje.

Hay una pérdida fuerte de biomasa en invierno y recuperación en primavera y verano, como se esperaba, sin embargo la pérdida de carbono de las poblaciones de *Egregia* debido al oleaje de invierno probablemente no es significativa comparado al afecto en otras poblaciones extensas de macroalgas submareales en esta costa (por ejemplo, *Macrocystis*). Sin embargo en estas costas este efecto no ha sido evaluado.

Las correlaciones biofísicas encontradas entre la temperatura y los parámetros biológicos muestran un aumento en todos los parámetros poblaciones con mayores temperaturas, que puede ser debido al metabolismo de la alga, o la auto-correlación de la época cuando hay menos daño por oleaje y la época con mayor temperatura (primavera/verano), o por los dos, y amerita mayor estudio y separar estos dos factores.

## Referencias bibliográficas

- Abbott, I.A. y Hollenberg, G.J., 1976. *Marine algae of California*. Stanford, Calif: Stanford University Press.
- Aguilar Rosas, L. E., 1981. Algas rojas (Rhodophyta) de la Bahía Todos Santos, Baja California, México durante el ciclo anual 1978-1979. *Ciencias Marinas* 7:85-101.
- Aguilar Rosas, L. E., 1982. Ocurrencia de algas cafés (Phaeophyta) en la Bahía Todos Santos, Baja California. *Ciencias Marinas* 8:25-34.
- Aguilar Rosas, L. E., y H. Bertsch., 1983. Algas verdes (Chlorophyta) de la Bahía Todos Santos, Baja California, México. *Ciencias Marinas* 9:111-123.
- Arsenault, D. J., K. B. Marchinko, and A. R. Palmer. 2001. Precise tuning of barnacle leg length to coastal wave action. *Proceedings of the Royal Society of London B* 268:2149–2154.
- Barreiro, F Gomez, M Lastra, M. Lopez, J de la Huz , R (2001). Annual cycle of wrack supply to sandy beaches: effect of the physical environment. *Mar. Ecol. Progres Series*. 433: 65- 74.
- Black, Robert, 1976. The Effects of Grazing by the Limpet, *Acmaea insessa*, on the kelp, *Egrecia laevigata*, in the Intertidal Zone. *Ecology*. 57: 265- 277.
- Blanchette, C.A., Miner B.G., Gaines S.D., 2002. Geographic variability in form, size and survival of *Egrecia menziesii* around Point Conception, California. University of Santa Barbara, CA. *Mar. Ecol. Progress Series*. 239: 69-82.
- Bustamante, R. H., and G. M. Branch. 1996. Large scale patterns and trophic structure of southern African rocky shores: the roles of geographic variation and wave exposure. *Journal of Biogeography* 23:339–351.
- Connell, J. H. 1972. Community interactions on marine rocky intertidal shores. *Annual Review of Ecology and Systematics* 3:169–192.
- Cox, T.E.,Murray, S.N. 2006. Feeding preferences and the relationships between food choice and assimilation efficiency in the herbivorous marine snail *Lithopoma undosum* (Turbinidae). *MARINE BIOLOGY* Vol.148 , 6 Pp. 1295-1306 .
- Cruz, J. 2008. Ocean wave energy. Current status and future perspectives. Springer. 431 pp.

- Cushman, J.H., 1989. Vertical size gradients and migratory patterns of two vertical species in the northern Gulf of California. *Veliger*, 32: 147-151.
- Dalby, D. H., E. B. Cowell, W. J. Syrratt, and J. H. Crothers. 1978. An exposure index for marine shores in western Norway. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 58:975–996.
- Dayton, P. K. (1971) *Ecol. Monogr.* 41, 351-389.
- Davies, A. J. and Johnson, M. P. (2006). Coastline configuration disrupts the effects of large- scale climatic forcing, leading to divergent temporal trends in wave exposure. *Estuarine coastal and shelf science.* 69: 643- 648.
- Denny, M. W., Daniel, T. L. & Koehl, M. A. R. (1985) *Ecol. Monogr.* 55, 69-102.
- Denny, M.W., 1988. *Biology and the Mechanics of the Wave-Swept Environment.* Princeton University Press. Pp 329.
- Denny, M. (1995). Predicting physical disturbance- mechanistic approaches to the study of survivorship on wave- swept shores. *Ecol. Monogr.* 65: 371- 418.
- Denny, M. W., 1999 Are there mechanical limits to size in wave-swept organisms? *J. Experimental Biology*, 202 (23): 3463-3467.
- Denny, M. W., 2006. Ocean waves, nearshore ecology, and natural selection. *Aquatic Ecology*, 40:439–461.
- Ebeling, A., Laur, D. y R. Rowley., 1985. Severe storm disturbances and reversal of community structure in a southern California kelp forest. *Mar. Biol.* 84: 287-94.
- Engle J.M. y Davis G.E., 1996. Ecological condition and public use of the Cabrillo National Monument intertidal zone 1990-1995. Technical report. Cabrillo Historical Assoc, Cabrillo National Monument, Point Loma, CA.
- Friedland M. T. y Denny M. W., 1995. Surviving hydrodynamic forces in a wave-swept environment: Consequences of morphology in the feather boa kelp, *Egregia menziesii* (Turner). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology.* 190: 109-133.
- Gibson, R.N., 1969. The biology and behaviour of littoral fish. *Oceanogr. Marine Biology Annual Reviews* 1969: 367-410.

- Gunnill, F. (1985). Population fluctuations of seven macroalgae in southern California during 1981- 1983 including effects of severe storms and an El Niño. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 85: 149- 164.
- Haring, R.N., Dethier, M.N. y S.L. Williams., 2002. Desiccation facilitates wave induced mortality of the intertidal alga *Fucus gardneri*. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 232: 75–82.
- Hart A. M., Ferral E. Lasi y Edward P. Glenn., 2002. SLODS™: slow dissolving standards for water flow measurements. *Aquacultural Engineering* 25, 239–252.
- Henkel, S. and S. Murray. 2007. Reproduction and morphological variation in Southern California populations of the lower intertidal kelp *Egregia menziesii* (Laminariales). *J. Phycol.* 43 (2): 242- 255.
- Henkel, S., Hoffman, G., and A.C. Whitmer. 2007. Morphological and genetic variation in *Egregia menziesii* over a latitudinal gradient. *Botanica Marina* 50(3): 159- 170
- Juárez D., T. I., 2011. Determinación de la energía disponible del oleaje y su variabilidad espacial y temporal en el Océano Pacífico. Tesis para obtener el título de licenciado en Oceanología.
- Kinsman, B.1984. Wind waves , their generation and propagation on the ocean surface. Prentice- Hall. N.J. 676 p.
- Ladah, L. B., J.A. Zertuche- González and G. Hernández- Carmona. (1999). Giant kelp (*Macrocystis pyrifera*, Phaeophyceae) recruitment near its Southern Limit in Baja California after mass disappearance during ENSO 1997- 1998. *J. Phycol.* 35(6): 1106- 1112.
- Ladah, L. B., J.A. Zertuche. (2004). Giant kelp (*Macrocystis pyrifera*) survival in deep water (25- 40m) during El Niño of 1997- 1998 in Baja California, Mexico. *Botanica Marina.* 47: 367- 372.
- Littler M.M. y Murray S.N., 1975. Impact of sewage on the distribution, abundance, and community structure of rocky intertidal macro-organisms. *Mar Biol* 30: 277-91.
- Leigh Jr., E. G., Paine, R. T., Quinn, J. F., and Suchanek, T. H.1987. Waver energy and intertidal productivity. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA.* Vol. 84, pp. 1314- 1318.
- Lobban C.S. y Harrison P.J., 1994. *Seaweed Ecology and Physiology*. Cambridge University Press. 1994.

- Massel, R.S., 1998. Ocean surface waves: Their physics and predictions. World Scientific, Advances series on Ocean Engineering, UK, Vol. 11, 491 pp.
- McQuaid, C. D., J. R. Lindsay, and T. L. Lindsay. 2000. Interactive effects of wave exposure and tidal height on population structure of the mussel *Perna perna*. *Marine Biology* 137:925–932.
- Meillon Menchaca, O. y Álvarez Borrego, J. 1997. Análisis del comportamiento espacial del oleaje en la bahía de todos santos, baja california, mediante imágenes de superficies marinas. *Ciencias marinas*, año/vol. 23 numero 001 universidad autónoma de baja california ensenada, México pp. 23- 41.
- Menge, B. A. 1976. Organization of the New England rocky intertidal community: role of predation, competition, and environmental heterogeneity. *Ecological Monographs* 46: 355–393.
- Murray, S.N. and M. Littler (1978). Patterns of algal succession in a perturbed marine intertidal community. *J. Phycol.* 14: 506- 12.
- Murray, S.N., R.F. Ambrose y M.N. Dethier., 2002. Methods for Performing Monitoring, Impact, and Ecological Studies on Rocky Shores. MMS OCS Study 2001-070. Coastal Research 157 .Center, Marine Science Institute, University of California, Santa Barbara, California. MMS Cooperative Agreement Number 14-35-0001-30761. Pp 217.
- Open University course team. 1989. Waves, tides and shallow water processes. The Open University. 227 pp.
- Ortiz Figueroa, M. 2009. Agitación por oleaje en el puerto de Ensenada Baja California: México medidas de atenuación. *Geos*. Vol. 29 no. 2 pp.240-249.
- Pedroche, F. F., K. M. Dreckemann, A. G. Senties y R. Margain-Hernández., 1993. Diversidad algal en México. *Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural* 44:69-92.
- Scrosati, R., and B. Mudge. 2004. Effects of elevation, wave exposure, and year on the proportion of gametophytes and tetrasporophytes in *Mazzaella parksii* (Rhodophyta, Gigartinales) populations. *Hydrobiologia* 520:199–205.

Seymour, R., Tegner, M., Dayton, P., y P. Parnell., 1989. Storm wave induced mortality of giant kelp, *Macrocystis pyrifera*, in southern California. *Estuarine, Coastal, and Shelf Science*. 28: 277-292.

Seymour, R., 1998. Effects of El Niño's on the west coast wave climate. *Shore and Beach*. 66(3) :3-6.

Thomsen M. S. y Wernberg T., 2005, Miniview: What affects the forces required to break or dislodge macroalgae?. *Eur. J. Phycol.*, 40(2): 139–148.

Underwood, A. J., and E. J. Denley. 1984. Paradigms, explanation and generalizations in models for the structure of intertidal communities on rocky shores. Pages 151–180.

Vadas, R. L., W. A. Wright, and S. L. Mille. 1990. Recruitment of *Ascophyllum nodosum*: wave action as a source of mortality. *Marine Ecology Progress Series* 61:263–272.