

**FACULTAD DE CIENCIAS
GRADO EN BIOLOGÍA
TRABAJO FIN DE GRADO
CURSO ACADÉMICO 2014-2015**

TÍTULO:
**Estudio de la influencia de factores ecológicos sobre
comunidades marinas de algas.**

AUTOR:
Carolina López Alcarria

Resumen.

Las algas utilizan distintas estrategias para adaptarse a los factores que condicionan el medio que las rodea. Dependiendo de las estrategias utilizadas se pueden clasificar en diferentes grupos funcionales.

Los grupos funcionales descritos por Grime (1977) para las plantas sirven para clasificar las algas y para evaluar la calidad ecológica y de las aguas que bañan a estas comunidades.

Se han estudiado distintas comunidades de algas marinas en Tabarca, Cabo de las Huertas y en Agua Amarga para ver si existen diferencias entre la composición de las comunidades de algas fotófilas de modo calmo en estas zonas.

Además, se han estudiado otras comunidades algales expuestas a diferentes condiciones ambientales para ver si factores como el hidrodinamismo, iluminación y distancia a la línea de costa influyen en la composición de las comunidades.

La identificación y cálculo de cobertura de las especies se ha llevado a cabo mediante interpretación fotográfica con la ayuda del programa Seascape. Con los datos de cobertura obtenidos se han realizado dos análisis multivariantes (nMDS y dendograma). Estos análisis permiten analizar todos los datos en su conjunto y representar gráficamente la similitud o disimilitud existente entre las muestras de las comunidades expuestas a distintos factores.

También se ha realizado un análisis de la varianza (ANOVA) para dos factores donde se han contrastado las diferencias entre las poblaciones de Tabarca y Cabo de Huertas, además de las posibles diferencias de estas poblaciones entre distintos puntos de distancia a la línea de costa.

La luz es un factor limitante para el desarrollo de las algas. La comunidad estudiada correspondiente a una zona de "umbría" tiene una composición de algas completamente distinta a las encontradas en zonas con buena iluminación. Esto demuestra que las algas han tenido que adaptarse mediante mecanismos morfológicos y bioquímicos para aprovechar la poca luz disponible en esos entornos.

Las comunidades de fondos rocosos fotófilas de modo calmo en Tabarca y Cabo de las Huertas muestran una composición similar mientras que en Agua Amarga existe una composición diferente. La clasificación de algas mediante los grupos funcionales propuestos por Grime (1977) indica que en Tabarca y Cabo de las Huertas existe una alta calidad del agua que baña a las algas, mientras que en Agua Amarga indica una calidad intermedia de las aguas.

Palabras clave: algas; factores; luz; contaminación; adaptaciones.

Abstract.

Seaweeds use different strategies to adapt to the factors which determine the environment that surrounds them. According to the strategies used can be classified into different functional groups.

The functional groups described by Grime (1977) for the plants can be used to categorize the algae and to assess the ecological quality and too, the quality of waters that bathe to the communities of seaweeds.

They have studied different communities of algae in Tabarca, Cabo de las Huertas and Agua Amarga to view if there are differences between the composition of the communities of photophilic seaweeds in calm way in these areas.

In addition, they have studied other algal communities exposed to different environmental conditions to view if factors such as hydrodynamism, lighting and distance to the coast line influence the composition of the communities.

Identification and calculation of coverage of species has been conducted by photographic interpretation with the aid of the Seascape program. With the coverage data obtained have been done two multivariate analyzes (nMDS and dendrogram). These analyzes allow to analyze dataset and graphically represent the existing similarity or dissimilarity developed among the samples of communities exposed to different factors.

It has also carried out an analysis of variance (ANOVA) for two factors which have contrasted the differences between the populations of Tabarca and Cabo de las Huertas, in addition to the possible differences in these populations between different points of distance to the coast line.

The light is a limiting factor for the development of the algae. The community studied corresponding to an area of "shady" is a composition of algae completely different to the ones found in areas with good lighting. This shows that algae have had to adapt by morphological and biochemical mechanisms to exploit the low light available in those environments.

Rocky bottoms photophilic seaweed and calm way in Tabarca and Cabo de las Huertas show a similar composition while in Agua Amarga there is a different composition. The classification of algae by functional groups proposed by Grime (1977) indicates that in Cabo de las Huertas and Tabarca there is a high quality of water bathing the seaweed, whereas Agua Amarga indicates an intermediate water quality.

Key words: seaweed; factors; light; contamination; adaptations.

Índice

1.	Introducción.....	1
2.	Antecedentes.....	3
3.	Objetivos.....	5
4.	Material y métodos.....	6
	4.1. Zonas de estudio.....	7
	4.2 Factores de estudio.....	9
	4.3 Seascape.....	13
	4.4 Análisis de datos.....	15
5.	Resultados.....	17
6.	Discusión de resultados.....	26
7.	Conclusiones.....	30
8.	Plan de trabajo.....	32
9.	Referencias.....	33
	Anexos.....	34

1. Introducción.

El ecosistema marino, al igual que cualquier otro ecosistema, está formado por un medio físico o hábitat (parte abiótica) y por los organismos (parte biótica) que habitan en este sistema. Dentro de este conjunto se producen interrelaciones entre los propios organismos y con el medio que los rodea. Los organismos no sólo son capaces de responder a variaciones en el entorno sino que además lo modifican creando paisajes con una composición y estructura determinadas (Smith y Smith, 2007).

Los mares y océanos constituyen el medio físico que compone este ecosistema y está caracterizado por una serie de factores ambientales, algunos de ellos comunes con los del medio terrestre, mientras que otros son específicos del ecosistema marino (Calvín, 2000).

Los organismos del ecosistema marino pueden vivir entre las masas de agua o sobre los fondos marinos. Entre los fondos marinos se pueden encontrar dos tipos de sustratos: duros y blandos. Los fondos duros (figura 1), pertenecientes a los acantilados costeros que se sumergen en el mar, generan multitud de fondos donde las rocas adquieren distintas formas, estas formaciones rocosas sirven como sustrato para que ciertos organismos se fijen y vivan en él (Calvín, 2000).

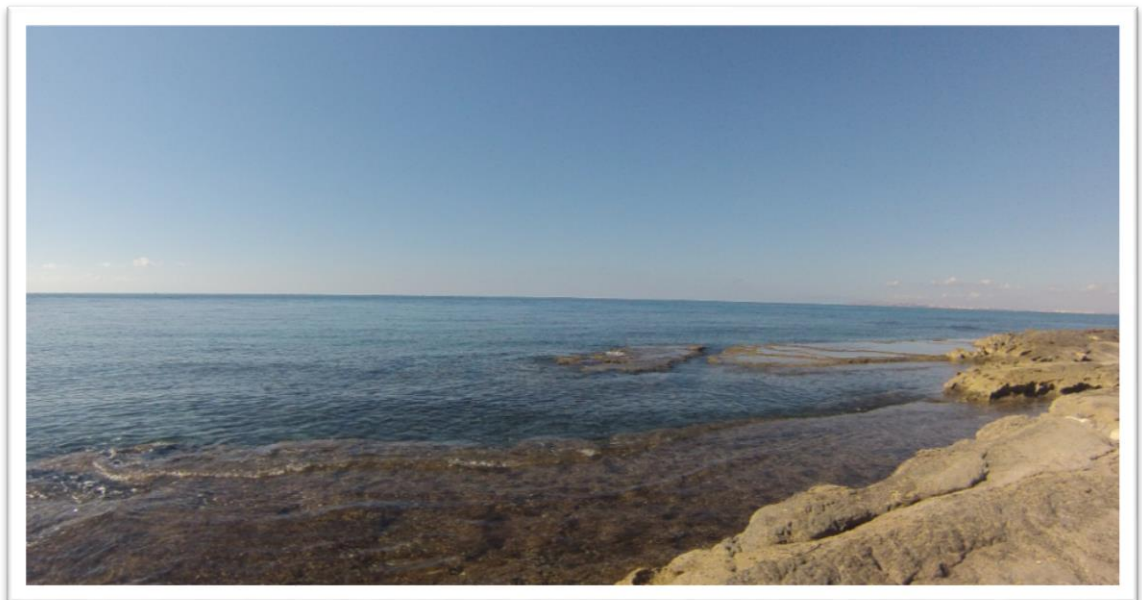


Figura 1. Fotografía de fondo duro marino en Cabo de las Huertas.

Las algas bentónicas marinas utilizan estos fondos duros como sustrato para vivir. Estos organismos son esenciales en los ecosistemas marinos, ya que actúan como fuente de producción primaria al utilizar dióxido de carbono para producir oxígeno y materia orgánica que servirá de alimento para otros organismos, además de funcionar como soporte y dar cobijo a otros seres vivos.

Las diferentes especies de algas están adaptadas para poder vivir y reproducirse en hábitats donde influyen factores como la salinidad, iluminación, pH, concentración de nutrientes, temperatura, presión e hidrodinamismo. El conjunto de estos factores va a influir en el asentamiento de ciertas poblaciones de algas y va a impedir que se establezcan otras que no estén adaptadas para vivir bajo esas condiciones (Calvín, 2000).

El objetivo de este estudio es contrastar las hipótesis de si existen diferencias en la composición de las comunidades que están influenciadas por distintos factores. Más adelante se explicarán los diferentes factores y el método de muestreo a seguir en cada uno de ellos.

2. Antecedentes.

Al igual que todas las especies, las algas son sensibles a cambios en el entorno, y están adaptadas para vivir bajo determinadas condiciones. Las comunidades epibentónicas de algas presentan una gran variedad de características estructurales y funcionales debido a los grandes cambios en el ambiente que ocurren sobre el eje vertical a pequeña escala espacial. Dentro de estas comunidades se encontrarán las especies que presenten las características morfológicas y funcionales adecuadas para vivir en él, pudiendo ser desplazadas mediante competencia por otros organismos mejor adaptados a las condiciones que les son desfavorables (Calvín, 2000). Así, la determinada composición de especies presentes en una comunidad sirve como indicador de ciertas características del medio.

Los factores limitantes que condicionan el crecimiento de las algas son la intensidad de la luz y la disponibilidad de nutrientes. Dependiendo de la época del año se encontrarán unos máximos o mínimos de crecimiento por la influencia de estos factores. En verano se darán las condiciones de máxima intensidad de luz y mínima concentración de nutrientes, mientras que en invierno la concentración de nutrientes será máxima y la iluminación mínima. Como consecuencia, las algas superficiales tienen un ciclo anual de producción con la fase de crecimiento localizada en invierno y primavera, mientras que en las algas de más profundidad ese crecimiento se produce en el verano (Calvín, 2000).

El impacto humano sobre el medio puede perturbar el ecosistema marino cambiando su composición química, la concentración de nutrientes, turbidez y produciendo cambios en el hábitat, incluyendo el régimen hidrológico. Estos efectos pueden actuar individual o combinadamente produciendo un impacto sobre la biota del ecosistema (Adams, 2005).

Tales impactos pueden producir una reducción en la diversidad y abundancia de los productores primarios, con la consecuente disminución de la complejidad estructural del sistema. A su vez, especies oportunistas con alta capacidad de reproducción y tolerancia contra la contaminación, aprovechan esta situación para dominar el hábitat y eliminar a otras especies del medio mediante competencia (Adams, 2005).

No todas las especies de una comunidad tienen la misma importancia en la determinación estructural del sistema. Algunas algas, ya sea por su tamaño, función o cantidad, van a determinar la composición estructural del resto de la comunidad. A estas especies se las denomina como “especies dominantes”, las cuales presentan un mayor éxito ecológico en esa zona y van a influir en el crecimiento de otras especies en ese mismo hábitat (Calvín, 2000).

Grime (1977) establecía tres tipos de estrategias en las plantas mediante las cuales pueden desarrollarse en un medio con condicionado por diferentes factores. Los factores externos que limitan la biomasa de las plantas pueden ser clasificados en dos categorías:

- ✓ *Estrés*: condiciones que restringen la producción. Por ejemplo: escasez de agua, nutrientes y temperaturas subóptimas.
- ✓ *Perturbación*: asociada con la destrucción total o parcial de la biomasa surgida por actividades como herbivoría, patógenos y de los humanos (por ejemplo el pisoteo), y de fenómenos como daño del viento y la desecación.

Al permutar los niveles altos y bajos de estrés con los bajos y altos de perturbación se pueden encontrar las siguientes combinaciones:

- ✓ *Hábitat altamente perturbado con niveles altos de estrés*: el estrés alto no permite la recuperación y restablecimiento de las plantas.
- ✓ *Alta perturbación y bajo estrés*: las plantas capaces de desarrollarse en estas condiciones son llamadas “estrés-tolerantes”.
- ✓ *Baja perturbación con bajo estrés*: plantas “competitivas”.
- ✓ *Bajo estrés con alta perturbación*: plantas “rudelares”.

En un estudio llevado a cabo por Arévalo et al. (2007) se clasificaron las algas de acuerdo a la estrategia propuesta por Grime y propusieron la evaluación de la calidad del agua mediante el uso de macroalgas como indicadoras. El estudio fue llevado a cabo a lo largo de un gradiente de enriquecimiento de nutrientes provenientes de un emisario de aguas residuales, en los resultados obtuvieron que en la zona donde había un alto nivel de nutrientes estaba dominada por algas verdes (*Ulvacea*) que se comportaban como “especies rudelares”, la alta cantidad de amonio en esta zona parece que era lo que limitaba el crecimiento de otras especies. En zonas intermedias donde seguía siendo alta la concentración de nutrientes pero no era tan grande la cantidad de amonio dominaba la especie *Corallina elongata*, considerada como “estrés tolerante”, por último, en las zonas donde la concentración de nutrientes dominaba *Cystoseira mediterranea*, la cual corresponde a una especie “competitiva”.

3. Objetivos.

En este trabajo se pretende contrastar las posibles diferencias en la estructura de comunidades epibentónicas que habitan en la superficie de fondos rocosos litorales. Las comunidades que se quieren comparar pertenecen a tres localidades situadas en la provincia de Alicante, las cuales corresponden a la isla de Tabarca, Cabo de Huertas y Agua Amarga.

Estas zonas han sido elegidas por presentar plataformas de abrasión rocosas (figura 2) adecuadas para el estudio de la comunidad bentónica. Entre las diferencias que se dan en las localidades, encontramos el mal estado del mar que baña la costa de Agua Amarga frente a la buena calidad de las aguas de Tabarca. En Cabo de Huertas encontramos, al igual que en Tabarca, unas características biológicas, geológicas y paisajísticas importantes, sin embargo, en Cabo de Huertas existe un grado de urbanización muy alto, además de ser una zona muy concurrida para las actividades humanas, mientras que en Tabarca se recibe la visita de turistas, pero presenta un acceso más difícil para la población y a lo largo de todo el año el número de personas que viven en la isla asciende a sólo unas decenas de personas.

Además de comparar las posibles diferencias de las comunidades entre las localidades, se quiere contrastar el efecto que pueden tener factores como la luz, la exposición al oleaje y la distancia a la línea de costa, en la estructura de las comunidades epibentónicas de algas.



Figura 2. Plataformas de abrasión situadas en las distintas localidades.

4. Material y métodos.

Las comunidades de estudio han sido muestreadas con un cuadrado de 20x20 centímetros. La superficie de muestreo se considera como una medida de área mínima estructural, la cual se define como *el área más pequeña que refleja la complejidad estructural de una comunidad* (Niel, 1977).

Para identificar y calcular el porcentaje de cobertura de las especies se ha realizado una fotografía de los cuadrados muestreados. Las fotografías fueron realizadas a una distancia de 25 cm respecto al cuadrado de muestreo con la ayuda de una cámara GoPro Hero 3 con una longitud focal de 14 mm y un ángulo de 170° de visión. Mediante el programa Seascape se pueden identificar las manchas formadas por una determinada especie (figura 3) y calcular el área de superficie ocupada, a partir de la cual se pueden obtener los porcentajes de cobertura de cada una de las especies.

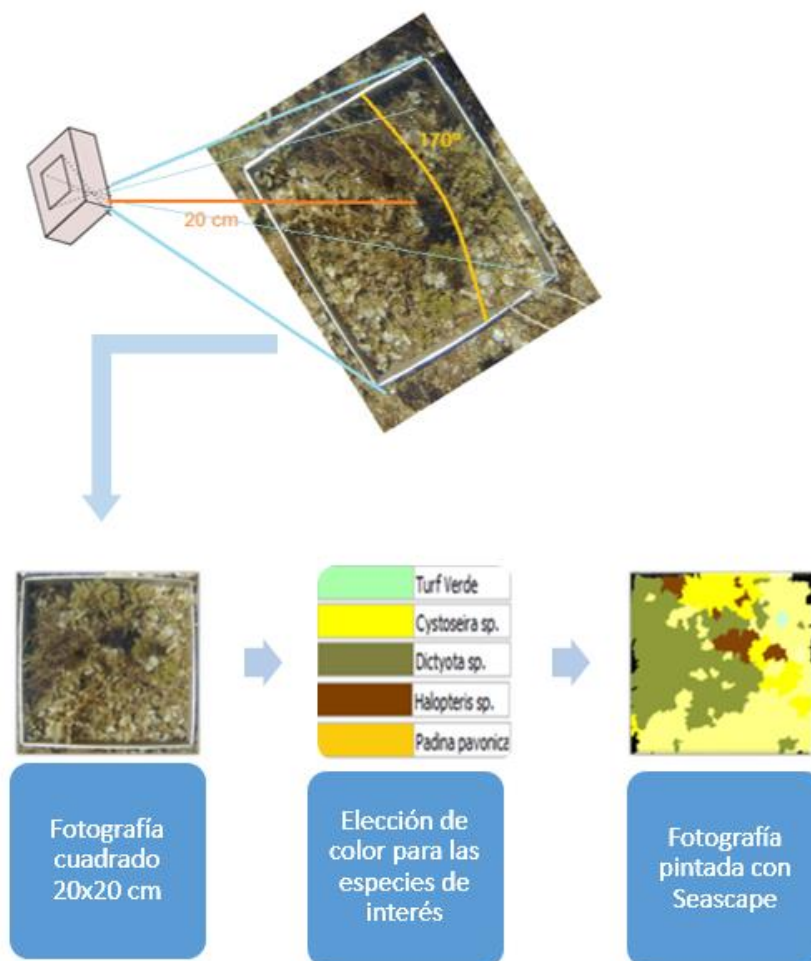


Figura 3. Ejemplo de fotografía manipulada con el programa Seascape. Se muestra cómo quedan pintadas las diferentes especies de algas. Nota: después de pintar la fotografía el programa crea una hoja de Excel con los resultados de la superficie pintada para cada especie.

4.1. Zonas de estudio.

Las comunidades a estudiar están situadas en fondos rocosos superficiales bañados por el mar Mediterráneo. El mar Mediterráneo es oligotrófico (pobre en nutrientes), con una oscilación térmica anual moderada, que presenta veranos calurosos e inviernos suaves. Su sequedad es más o menos completa en verano, con precipitaciones durante la primavera y el otoño. La insolación es importante a lo largo de todo el año pero presenta su máximo en verano.

Comunidades de fondos rocosos.

En los fondos rocosos se encuentra una gran belleza paisajística con una alta variedad topográfica y multitud de formas y colores de los organismos que los habitan (figura 4). Las superficies de estos fondos se encuentran casi recubiertos en su totalidad por organismos que han desarrollado multitud de respuestas adaptativas para mantener o aumentar el espacio conseguido y para obtener nutrientes del medio. Debido a la dificultad para perforar el sustrato la mayor parte de los organismos que habitan este sistema son epibentónicos, de los cuales, las especies que viven en zonas poco profundas son fotófilas (amantes de la luz), mientras que en lugares de superficie pobres en luz (grietas, extraplomos, cuevas) encontramos comunidades esciáfilas, es decir, amantes de la oscuridad (Calvín, 2000).



Figura 4. Williams et al. (2013) Benthic communities at two remote Pacific coral reefs: effects of reef habitat, depth, and wave energy gradients on spatial patterns. PeerJ 1:e81 [doi:10.7717/peerj.81](https://doi.org/10.7717/peerj.81)

✓ *Tabarca*

Tabarca es un pequeño archipiélago situado a $38^{\circ}10'00''N$. $0^{\circ}28'00''O$.; a 3 millas náuticas al Sur-Este del cabo de Santa Pola y unas 10 millas de la ciudad de Alicante. Está formado por la isla principal de 30 Ha denominada Plana o Nueva Tabarca y por tres islotes que completan el archipiélago. En la figura 5 se muestran los puntos donde se ha hecho el muestreo de las comunidades.



Figura 5. Mapa donde se señalan las zonas elegidas para el estudio de las comunidades de Tabarca.

✓ *Cabo de las Huertas.*

Se trata de un cabo del Nordeste de Alicante situado a $38^{\circ}21'38''N$. $0^{\circ}25'22''O$, está limitado al Oeste por la playa de La Albufereta y al Norte con la playa de San Juan. En la figura 6 se muestran los puntos donde se ha hecho el muestreo de las comunidades.



Figura 6. Mapa donde se señalan las zonas elegidas para el estudio de las comunidades de Cabo de Huertas.

✓ *Agua Amarga.*

Agua Amarga es una playa situada al Sur de Alicante, en las coordenadas 38°19'40"N 0°30'33"O. En la figura 7 se muestran los puntos donde se ha hecho el muestreo de la comunidad correspondiente a esta zona.



Figura 7. Mapa donde se señalan las zonas elegidas para el estudio de las comunidades de Agua Amarga.

4.2. Factores de estudio.

Las actividades humanas pueden influir en el hábitat causando perturbaciones (por ejemplo, pisoteo), o aumentar el estrés mediante la contaminación de las aguas, lo que supone un aumento de nutrientes para las comunidades de algas. Los nutrientes son un factor limitante para el crecimiento de las algas, un aumento en la concentración de nitratos puede dar lugar a la eliminación de algunas algas (acostumbradas a desarrollarse en aguas con bajos niveles de éste y otros nutrientes), y el consecuente reemplazo por otras especies.

En cuanto a la playa de Agua Amarga hay que señalar que cerca de esta zona hay un punto de salida de residuos procedentes de una desaladora de agua marina. Entre los residuos que se vierten, además de grandes cantidades de sal, hay productos químicos (biocidas, antiespumantes y antiincrustantes) utilizados en el tratamiento de agua, así como vertidos procedentes de la limpieza de membranas con grandes sólidos en suspensión y detergentes. Esta contaminación de las aguas causa un aumento de la concentración de nutrientes con

consecuencias directas sobre las especies que forman una determinada comunidad en ese hábitat.

En Tabarca existe una reserva natural de las aguas que bañan la isla, presenta una gran calidad paisajística y de biodiversidad, además es sabido que sus aguas presentan una alta calidad. La isla presenta una población de tan sólo unas decenas de personas a lo largo de todo el año y las zonas donde se han muestreado las comunidades son de difícil acceso para los habitantes y turistas de la isla, por lo que el impacto que pueda causar el humano en esta localidad parece mínimo.

En Cabo de Huertas existen características similares respecto a calidad paisajística y también presenta una gran diversidad de especies, pero, a diferencia de Tabarca, es una zona donde hay un alto grado de urbanización, con edificios que llegan casi a la línea de costa en algunas zonas y, además, está constantemente influenciada por las actividades humanas.

Además de estudiar las posibles diferencias entre las comunidades de estas localidades, se quiere comprobar si la **distancia a la línea de costa** implica algún cambio en la composición de las especies. Esta distancia influye en la disponibilidad hídrica que se encontrará en cada punto de muestreo. La escasez de agua es considerada como un factor estresante para las algas, la morfología de los distintos tipos de algas determinará si las especies se pueden desarrollar bajo estas condiciones.

Así, se han clasificado tres distancias: una primera que se ha denominado como “proximal” (zona con menos disponibilidad hídrica para las plantas), la siguiente como “media” y la última como “distal”, esta última corresponde a la zona más sumergida en el agua.

Para cada una de las localidades se pretendían estudiar dos comunidades algales. Cada comunidad estaría compuesta por 9 cuadrados de 20x20 centímetros, de los cuales 3 corresponderán a la distancia “proximal”, otros 3 a la distancia “media” y los 3 restantes a la “distal” (figura 8).

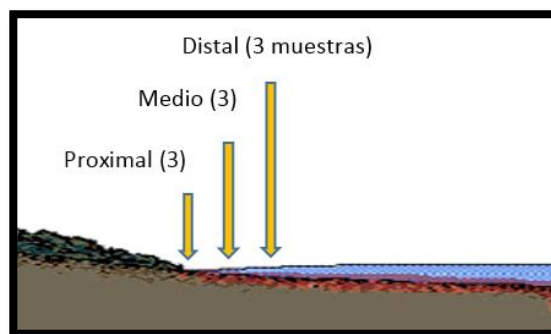


Figura 8. Representación de las distancias de muestreo y el número de muestras para cada una.

Puesto que la identificación y cálculos de superficie de las especies se ha realizado mediante interpretación fotográfica con el programa Seascope, se han tenido que desechar fotografías en las que no era posible llevar a cabo esta interpretación. En la tabla 1 se señala el número de fotografías totales y el número de fotos que se han podido utilizar para el estudio.

Tabla 1. Resumen de las fotografías realizadas en cada zona y las fotografías que finalmente se han utilizado para el estudio. P: proximal; M: medio; D: distal.

Localidad	Total fotografías			Fotografías utilizadas para interpretación con Seascope		
	P	M	D	P	M	D
Tabarca	9	11	10	6	6	6
Cabo	10	9	12	4	4	5
A.Amarga	8	7	8	3	3	3

Intensidad de la luz: la luz es otro de los factores limitantes para las algas puesto que es necesaria para realizar la fotosíntesis y conseguir materia orgánica. Para contrastar la hipótesis de si la intensidad de la luz influye en la composición de las comunidades de algas se eligió estudiar la comunidad de especies de un extraplomo (donde la luz está atenuada) situado en la isla de Tabarca (figura 9), donde se realizó el muestreo en la zona mediolitoral e infralitoral. En el mediolitoral se realizaron 5 fotos de las que finalmente se utilizaron 3, y para el estudio del infralitoral se realizaron 8 fotos, de las cuales 3 fueron útiles para interpretar con el programa Seascope.



Figura 9. Extraplomo de Tabarca donde se encuentra una comunidad de algas esciáfilas.

Hidrodinamismo: el fuerte oleaje en las comunidades rocosas produce una perturbación en las comunidades algales. Para estudiar el efecto de este factor se muestreó una comunidad situada en el límite de la plataforma de abrasión, donde hay un impacto constante del oleaje. Esta comunidad está situada en Cabo de Huertas (figura 10). Se han interpretado 5 fotografías correspondientes a esta zona.

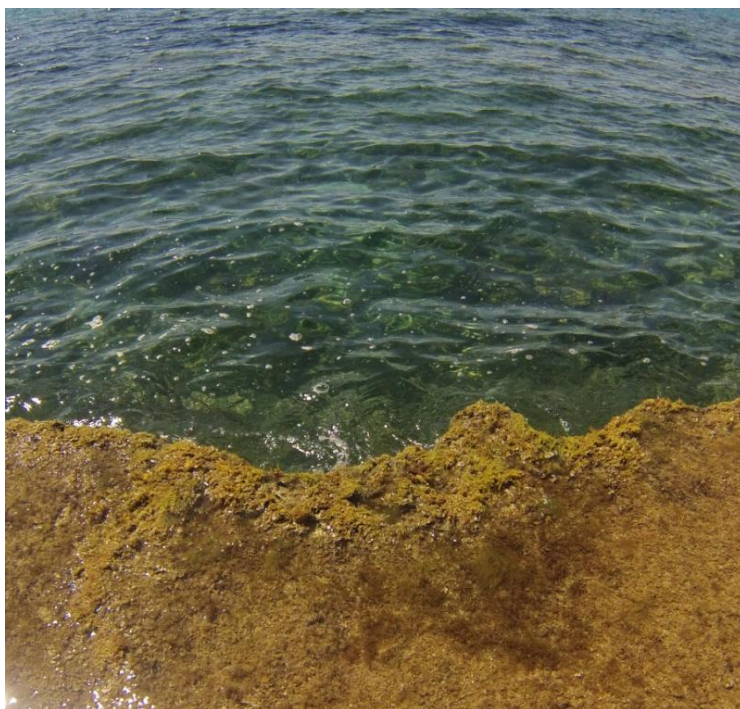


Figura 10. Comunidad de algas expuestas al alto oleaje en Cabo de las Huertas.

En la siguiente tabla se resume el número de muestras para cada uno de los factores.

Tabla 2. Se muestra la fecha de muestreo, las coordenadas y las fotografías utilizadas para cada punto de estudio. FCP: comunidad fotófila de modo calmo en la distancia "proximal"; FCM: comunidad fotófila de modo calmo en la distancia "medio", FCD: comunidad fotófila de modo calmo en la distancia "distal"; FB: comunidad fotófila de modo batido.

	Fecha	Coordenadas	FCP	FCM	FCD	FB	Esciáfila	Total
T C.1	09/04/2015	38°10'00.8"N 0°29'05.8"W	3	3	3			9
T C.2	09/04/2015	38°09'57.1"N 0°28'49.5"W	3	3	3			9
T C.3	09/04/2015	38°10'00.8"N 0°29'05.8"W					6	6
C C.4	23/04/2015	38°21'12.2"N 0°25'13.5"W	2	2	3			7
C C.5	23/04/2015	38°21'11.5"N 0°25'16.9"W	2	2	2			6
C C.6	23/04/2015	38°21'11.5"N 0°25'16.9"W				5		5
A C.7	24/04/2015	38°17'48.6"N 0°31'10.1"W	3	3	3			9

4.3. SeascapE.

La identificación y cobertura de cada una de las poblaciones se ha realizado mediante el software libre SeascapE, que permite obtener semiautomáticamente imágenes segmentadas de fotografías y calcula para cada parche su área de cobertura y perímetro. El programa detecta regiones homogéneas de alguna característica perceptual, como por ejemplo el color, y realiza una segmentación de la fotografía a diferentes escalas.

Para marcar y clasificar cada uno de los segmentos detectados por SeascapE, el usuario crea y exporta una lista en Excel con las especies/categorías deseadas (Tabla 3). A partir de esta lista se diseña un mapa de colores con el programa y se elige un color para cada especie o categoría. Después de importar la fotografía al programa y segmentarla, se selecciona una especie de la lista y se marca el segmento de interés, el cual será coloreado del color elegido anteriormente (figura 3). La aplicación permite trazar una línea en la fotografía para señalar la longitud que presenta este trazo. Por último, cuando se ha terminado de clasificar cada segmento, se exporta una lista a Excel con los datos de área de superficie y perímetro para cada uno de los parches, además en esta lista se pueden añadir algunos datos como la localidad, fecha y profundidad.

Tabla 3. Lista de especies/grupo utilizada para el programa Seascope.

	<i>Code Group</i>	<i>Label species</i>
Group 1 Chlorophyceae		
Acetabularia acetabulum	chl	1
Cladophora sp.	chl	2
Caulerpa prolifera	chl	3
Caulerpa racemosa	chl	4
Codium fragile	chl	5
Dasycladus sp.	chl	6
Flabellia sp.	chl	7
Halimeda tuna	chl	8
Ulva sp.	chl	9
Group 3 Phaeophyceae		
Cystoseira sp.	pha	10
Dictyopteris membranacea	pha	11
Dictyota sp.	pha	12
Halopteris sp.	pha	13
Padina pavonica	pha	14
Sargassum sp.	pha	15
Group 6 Rhodophyceae		
Hypnea musciformis	rho	16
Peyssonnelia sp.	rho	17
Laurencia sp.	rho	18
Jania sp.	rho	19
Corallina sp.	rho	20
<i>Group 7 Ind</i>		
Articulada	Art	21
Incrustante	Inc	22
Turf Amarillo	Ind	23
Turf Rojo	Ind	24
Turf Verde	Ind	25
No analizable	ind	26
Otros	Ind	27
<i>Group 8 Bare</i>		
Cianobacterias	Bar	28
Roca	Bar	29
Sedimento	Bar	30

4.4. Análisis de datos.

- ✓ *Análisis multivariante:* para evaluar las posibles diferencias entre la distribución de las especies y los distintos factores (localidad, irradiación, distancia e hidrodinamismo), se ha realizado un análisis no paramétrico multidimensional (nMDS) y un clustering jerárquico con la ayuda del software libre R 3.2 (R Core Team, 2015).

El nMDS permite representar cada una de las muestras en un espacio multidimensional en el que cada una de las muestras será situada en un punto dependiendo de la similitud/disimilitud que presente frente a las demás.

Con el clustering de datos también se pueden clasificar y visualizar las muestras atendiendo a características homogéneas, pero, en este caso, la gráfica que representa la similitud de las muestras es detallada mediante un dendograma.

Tanto en el nMDS como en el clustering, la similitud de las muestras se calcula gracias al índice de Bray-Curtis (ecuación 1), para ello se prepara una matriz (tabla del anexo), en la que se recogen todas las coberturas de especies encontradas para cada uno de los factores y niveles de éstos. Esta matriz es cargada en el programa estadístico R, el cual calcula el índice de Bray-Curtis para después generar el gráfico de los dos análisis multivariantes descritos.

$$S_{jk} = 100 \left\{ 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |y_{ij} - y_{ik}|}{\sum_{i=1}^n |y_{ij} + y_{ik}|} \right\} \quad (1)$$

- ✓ *Análisis de la varianza (ANOVA):* se pretende contrastar la hipótesis de si existen diferencias entre las poblaciones de Tabarca y Cabo de Huertas. Las muestras son independientes y corresponden a las comunidades fotófilas de modo calmo donde se realizó el muestreo para las diferentes distancias a la línea de costa. Por tanto, se realizará un ANOVA de dos factores, donde se van a analizar las posibles diferencias de las poblaciones entre las localidades y entre las distancias a la línea de costa.

Este análisis estadístico también será realizado con R (R Core Team, 2015), para ello se prepara una matriz igual que la realizada en el análisis multivariante, pero dejando sólo las muestras de interés para este estudio. Así, se analizarán las poblaciones algales a diferentes distancias en un total de 32 muestras, de las cuales 13 corresponden a la localidad de Cabo de Huertas y 19 a Tabarca.

En caso de que el análisis indique que existen diferencias significativas para una población, se realiza un test a posteriori, HSD de Tukey (Fox y Weisberg, 2011), que permite hacer comparaciones múltiples de los niveles de los diferentes factores para determinar dónde se encuentran las diferencias de medias en las poblaciones.

5. Resultados.

En la figura 11 se pueden observar los resultados obtenidos mediante el análisis no paramétrico multidimensional (nMDS). Cada uno de los puntos representa un cuadrado (20x20cm) de muestreo realizado en las distintas localidades y para los diferentes factores.

Para saber si la bondad del modelo es la correcta se ha calculado el coeficiente de determinación al cuadrado y el *Stress* del modelo. El coeficiente de determinación (r^2) indica la proporción de la variabilidad de los datos, puede tomar valores entre 0 y 1, los valores cercanos a 0 indican que el modelo es malo, mientras que los cercanos a 1 indican que el modelo es bueno. El *Stress* indica si hay una gran diferencia entre las distancias del modelo (a mayor distancia mayor *Stress*), el mínimo valor que puede tomar es 0 y, para datos biológicos, valores menores de 0.2 son interpretados como buenos modelos.

Se ha obtenido un valor de *Stress*=0.1 y un $r^2=0.988$, lo cual indica que el modelo explica un 98,8% de la variabilidad total de las muestras.

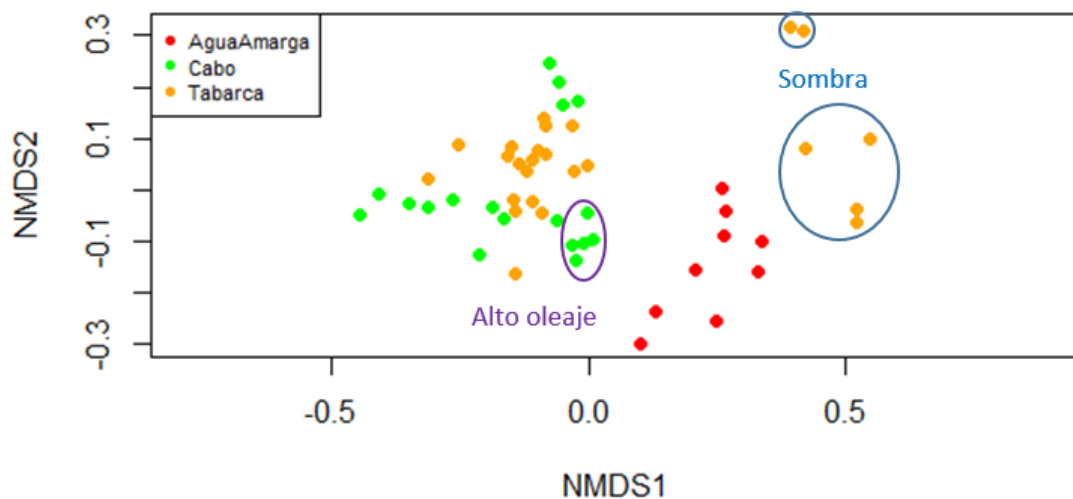


Figura 11. Representación multidimensional de los muestreos realizados para cada localidad y factor.

A primera vista, resalta la clara separación entre las muestras de sombra que corresponden a la comunidad esciáfila de Tabarca. También se observa una separación entre las muestras tomadas en Agua Amarga respecto a Tabarca y Cabo de Huertas.

Esta separación entre las muestras se debe a la diferencia en la composición de especies que se han encontrado en estas comunidades. A continuación se detallarán las especies encontradas para cada zona y factor.

- *Comunidades fotófilas de modo calmo de Tabarca y Cabo de las Huertas*: en estas zonas dominan sobre todo especies de feófitas como *Padina pavonica*, *Dictyota sp.* y *Cystoseira sp.* (figura 12). También se encuentran especies comunes para ambas zonas como *Laurencia sp.* y *Halopteris sp.* con un porcentaje menor de cobertura.

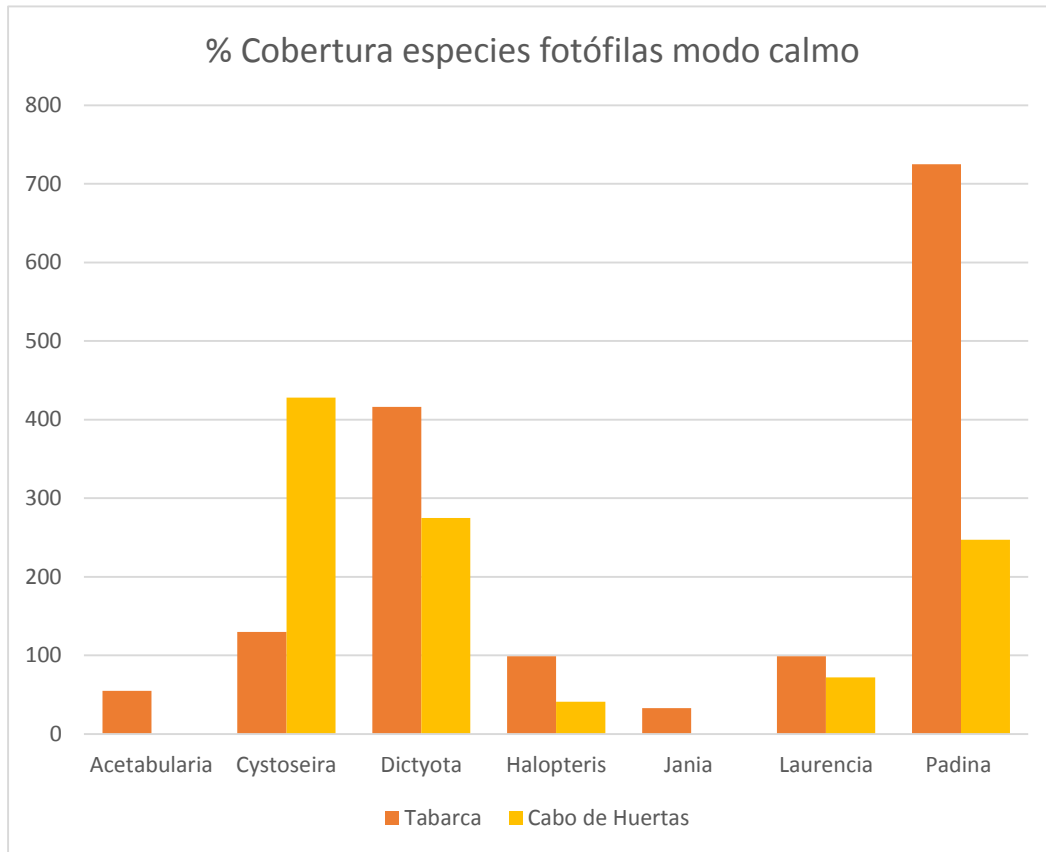


Figura 12. Representación de los porcentajes de cobertura de diferentes especies en Tabarca y Cabo de las Huertas. Se puede observar que las especies *Cystoseira sp.*, *Dictyota sp.* y *Padina sp.* son las que presentan una mayor cobertura en ambas localidades.

- Comunidad fotófila de Agua Amarga:** en esta zona las especies dominantes son completamente distintas a las encontradas en Tabarca y Cabo de las Huertas. Se encuentra una dominancia de *Caulerpa racemosa*, *Corallina elongata*, *Hypnea musciformis* y "ulvaceas" (figura 13).

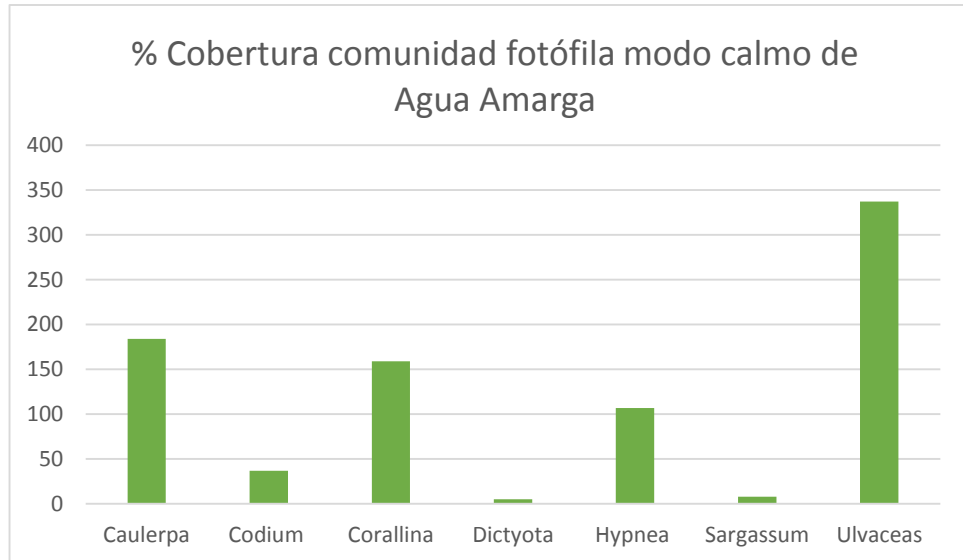


Figura 13. Porcentajes de cobertura para las especies encontradas en la playa de Agua Amarga. El grupo "ulvaceas" es el de mayor cobertura, seguido de *Caulerpa racemosa*, *Corallina elongata* e *Hypnea musciformis*.

- Comunidad fotófila de modo batido en Cabo de Huertas:** se encuentra una dominancia de las rodófitas *Hypnea musciformis* y *Laurencia sp.*, además, también aparece *Padina pavonica* con un alto porcentaje (figura 14).

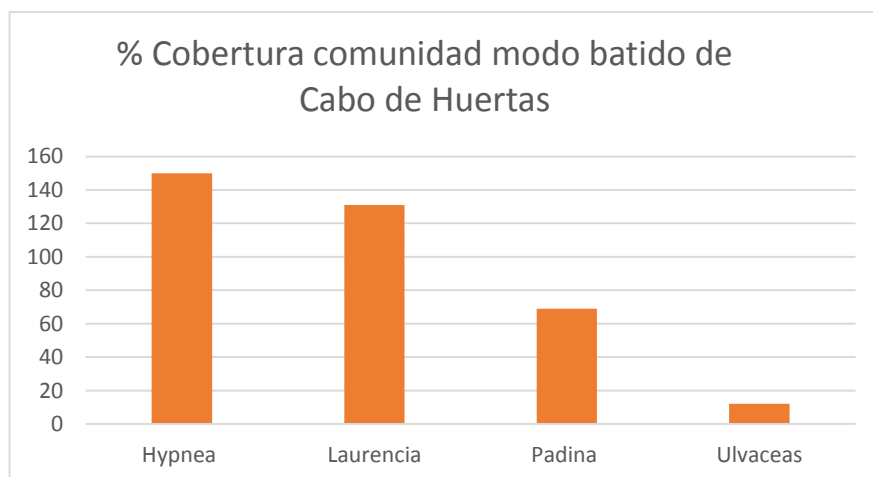


Figura 14. Representación de los porcentajes de cobertura para las especies expuestas al alto oleaje en Cabo de Huertas.

- **Comunidad esciáfila de extraplomo en Tabarca:** se ha encontrado dominancia de *Corallina elongata* en la zona mediolitoral, mientras que en la zona infralitoral se ha encontrado presencia de *Dictyopteris membranacea*, *Flabellia sp.*, *Halimeda tuna*, *Peyssonnelia sp.* y otros tipos de algas calcáreas articuladas e incrustantes que no han podido ser identificadas. Los datos de muestreo no son suficientes para establecer si existe dominancia de alguna o algún grupo de especies, pero sí se puede determinar que es una comunidad totalmente distinta a las encontradas en zonas con alta iluminación.

En la siguiente tabla se resumen las especies encontradas en cada localidad.

Tabla 4. Especies de algas encontradas en Cabo de las Huertas, playa de Agua Amarga y en la isla de Tabarca. "X" indica la presencia de esa especie en la zona correspondiente.

	<i>Acetabularia acetabulum</i>	<i>Caulerpa racemosa</i>	Cianobacterias	<i>Codium fragile</i>	<i>Corallina elongata</i>	<i>Cystoseira sp.</i>	<i>Dictyopteris membranacea</i>	<i>Dictyota sp.</i>	<i>Flabellia sp.</i>	<i>Halimeda tuna</i>	<i>Halopteris sp.</i>	<i>Hypnea musciformis</i>	Incrustante	<i>Jania sp.</i>	<i>Laurencia sp.</i>	<i>Padina pavonica</i>	<i>Peyssonnelia sp.</i>	<i>Sargassum vulgare</i>	Ulváceas
Cabo		X				X		X			X	X	X		X	X		X	X
Agua Amarga		X		X	X							X						X	X
Tabarca	X		X		X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X

En el dendograma (figura 15), las muestras han sido agrupadas, al igual que en el análisis multidimensional, atendiendo a las similitudes (calculadas mediante el índice de Bray Curtis) que se encuentran entre las muestras.

Uno de los grupos a resaltar es el formado por las muestras de Agua Amarga y las correspondientes a la zona de sombra mediolitoral en Tabarca. La semejanza entre estas muestras es debida a la presencia de *C.elongata* con un alto porcentaje de cobertura.

Otro de los grupos que se observa más separado de los demás está formado por "zonas distales" muestreadas en Tabarca y Cabo de las Huertas. En este caso, la similitud se debe a la presencia de *Cystoseira sp.* en las zonas más alejadas a la línea de costa.

Por último, se ve un grupo correspondiente a las muestras infralitorales de sombra que no presentan similitudes con las demás, y una gran agrupación de distintos subgrupos de las muestras correspondientes a Cabo de las Huertas y Tabarca.

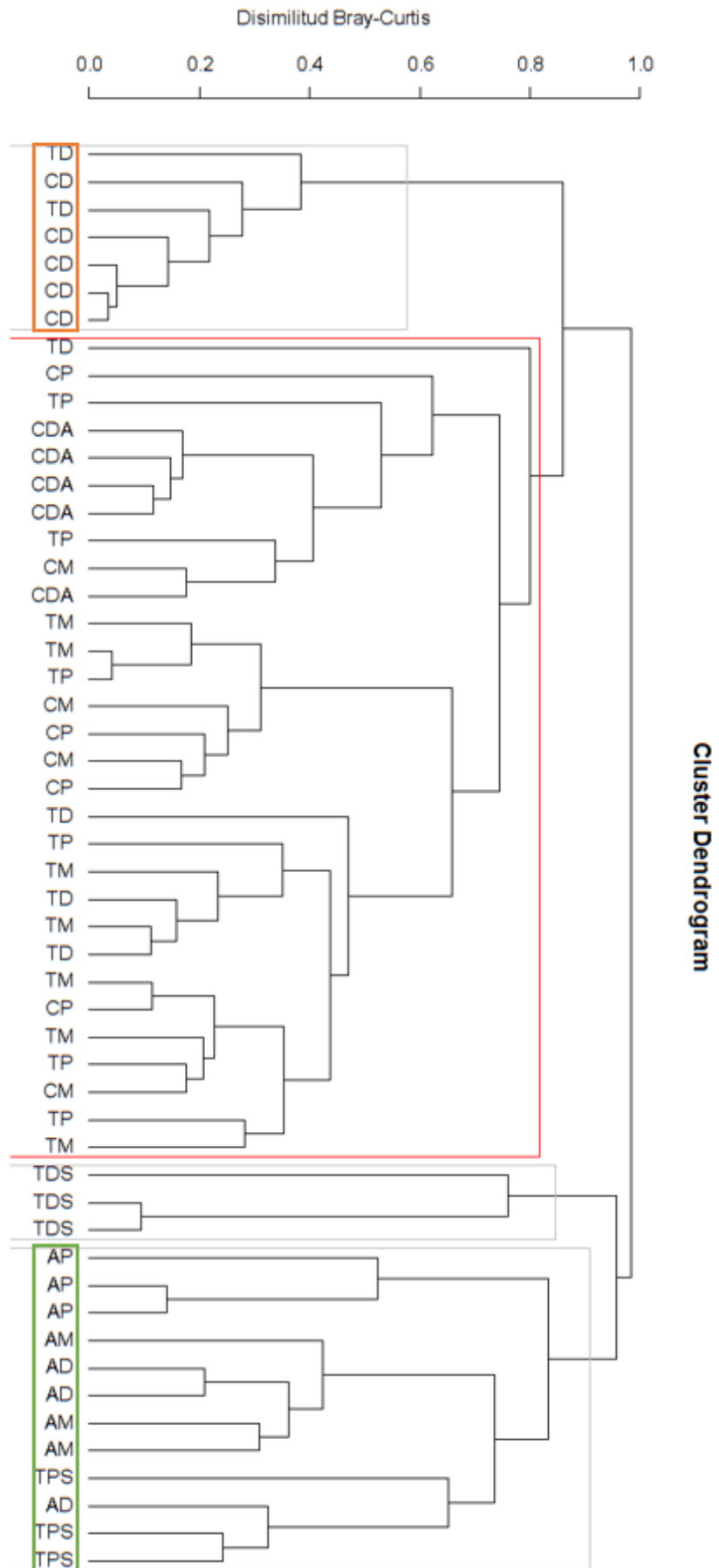


Figura 15. TD: Tabarca distal; CD: Cabo distal; AD: Agua Amarga distal; TM: Tabarca medio; CM: Cabo medio; AM: Agua Amarga medio; TP: Tabarca proximal; CP: Cabo proximal; AP: Agua Amarga proximal; CDA: Cabo alto hidrodinamismo; TDS: Tabarca infralitoral sombra; TPS: Tabarca mediolitoral sombra.

Haciendo un resumen de los resultados obtenidos con los análisis multivariantes se concluye lo siguiente: las disimilitudes más notorias corresponden a las muestras de Agua Amarga y las muestras de Tabarca situadas en un extraplomo con baja irradiancia solar. Como se explicó anteriormente, la luz y los nutrientes son factores limitantes para el crecimiento de algas.

En Agua Amarga las aguas que bañan la costa están contaminadas por residuos procedentes de una desalinizadora de agua marina. Estos residuos contienen compuestos que sirven de nutrientes para las algas, lo cual afecta a las especies (“competitivas”) que normalmente dominan en hábitats del Mar Mediterráneo (pobre en nutrientes) y genera un estrés sobre estas algas que conlleva a su reducción. Al mismo tiempo, otras especies tolerantes a esos niveles de nutrientes (especies oportunistas o “ruderales” y especies “estrés-tolerantes”) aprovechan esta situación para desarrollarse y reproducirse en ese hábitat.

La luz, como organismos fotosintéticos que son las algas, es esencial para su desarrollo y no todas las especies pueden desarrollarse bajo condiciones de baja iluminación. Algunas especies han desarrollado mecanismos para adecuar su eficiencia fotosintética en lugares donde la luz disponible se presenta muy atenuada.

En cuanto al efecto perturbador del alto hidrodinamismo no parece que se presenten muchas diferencias entre esta comunidad y las de modo calmo, pero en las tablas de porcentajes de cobertura se ha observado que hay un valor mayor de las rodófitas *Hypnea musciformis* y *Laurencia sp.* en las zonas batidas.

Análisis de la varianza (ANOVA).

En Tabarca y Cabo de las Huertas las comunidades encontradas han sido semejantes, para contrastar si existen diferencias entre las poblaciones de estas localidades se ha realizado un análisis de la varianza, en el que además del factor “localidad” se ha estudiado el factor “distancia a la línea de costa”. En la tabla 5 se muestran los resultados del análisis.

Tabla 5. Resultados de análisis de la varianza (ANOVA) para dos factores (Dist: distancia; Loc: localidad), para las especies muestreadas en Agua Amarga, Cabo de Huertas y Agua Amarga. Df: grados de libertad; MS: media cuadrática; F: F-valor. Niveles de significancia: **p<0.001. El guión (-) indica que existe homocedasticidad. - indica que no hay homogeneidad de varianzas, siendo el nivel de significancia: *p<0.01

Fuentes de variación	Acetabularia acetabulum		Caulerpa racemosa		Cystoseira sp.		Dictyota sp.		Halopteris sp.		Hypnea musciformis		
	df	MS	F	MS	F	MS	F	MS	F	MS	F		
Dist.	2	62.22	2.757	0.02983	1.034	7969	40.54***	1432.8	2.065	19.23	0.333	1.074	1.034
Loc.	1	61.22	2.713	0.05278	1.830	4050	20.60***	4.3	0.006	27.57	0.477	1.900	1.830
Dist. x Loc.	2	42.03	1.862	0.05316	1.843	2676	13.61***	696.4	1.004	28.09	0.486	1.914	1.843
Residuales	26	22.57		0.02885		197		693.7		57.82		1.038	
Homocedasticidad		-		-		-*		-				-	
Fuentes de variación	Incrustante												
	Jania sp.			Laurencia sp.			Padina pavonica			Sargassum vulgare		Ulveceas	
Dist.	2	12.375	1.073	32.48	2.093	1209.9	2.317	34.48	0.931	4.159	1.073	4.159	1.073
Loc.	1	0.7507	0.651	29.32	1.890	2457.9	4.707	31.13	0.840	2.523	0.651	2.523	0.651
Dist. x Loc.	2	0.8246	0.715	26.59	1.713	84.7	0.162	28.22	0.762	2.772	0.715	2.772	0.715
Residuales	26	11.538		15.52		522.2		37.05		3.878		3.878	
Homocedasticidad		-		-		-		-		-		-	

La homogeneidad de varianzas se comprobó con el test Levene. La única población en la que se encuentran diferencias, tanto en la homogeneidad de varianzas (p -valor <0.01), como en el análisis de la varianza (p -valor <0.001), es la del género *Cystoseira sp* (figura 16).

El test a posteriori (Fox y Weisberg, 2011) para esta población indica que hay diferencias significativas entre las distancias medio-distal (p -valor <0.001) y proximal-distal (p -valor <0.001), no encontrándose diferencias entre las distancias proximal y medio (p -valor >0.05).

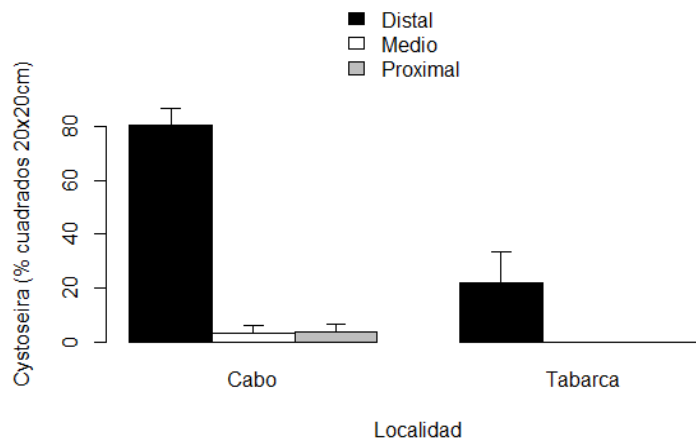


Figura 16. Porcentaje de cobertura de *Cystoseira sp.* para las distancias “proximal”, “medio” y “distal” en Tabarca y Cabo de las Huertas.

Estas diferencias se deben a que la mayor abundancia de *Cystoseira sp.* se halla en la zona más alejada a la línea de costa (figura 16). Esta especie tiene una estructura “arbórea” y para desarrollarse necesita mayor disponibilidad hídrica que otras algas. En la zona “distal” hay una mayor profundidad y las especies están más cercanas a la costa, por lo que el agua se va renovando constantemente y permite que las algas estén bañadas en el agua.

También se han representado gráficamente los porcentajes de cobertura de *Padina pavonica* (figura 17) y *Dictyota sp.* (figura 18) para cada distancia. Junto con *Cystoseira sp.* son las especies más abundantes en estas comunidades. A pesar de no encontrar diferencias significativas con el análisis de la varianza se puede observar que tienen algo más de cobertura en las distancias “media” y “proximal”. Estas especies poseen una estructura “arbustiva” y no necesitan estar constantemente sumergidas en el agua para desarrollarse.

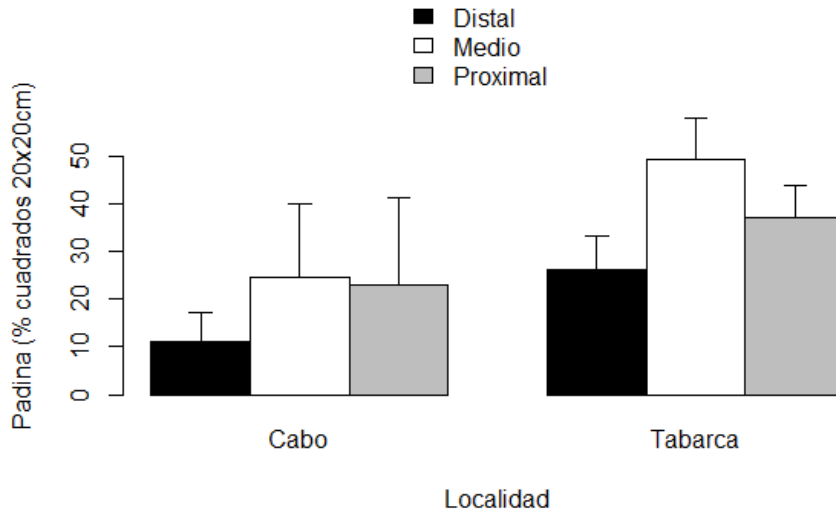


Figura 17. Porcentaje de cobertura de *Padina pavonica* para las distancias "proximal", "medio" y "distal" en Cabo de las Huertas y Tabarca.

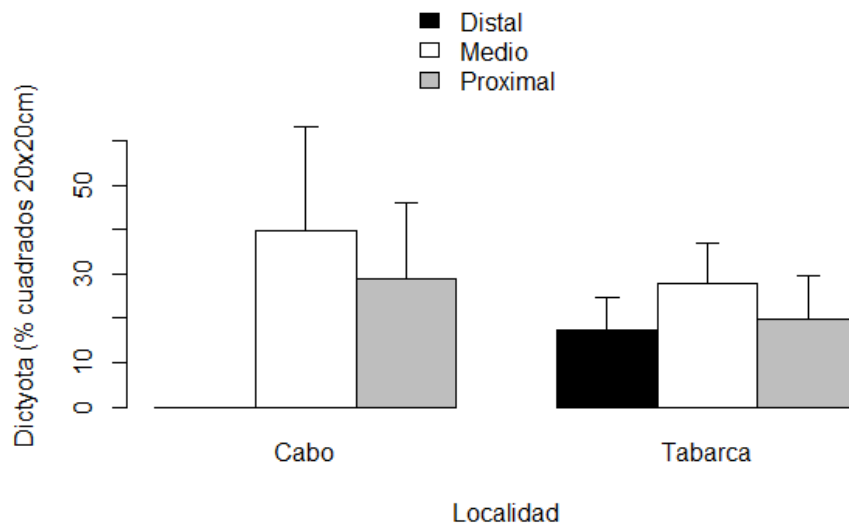


Figura 18. Porcentaje de cobertura de *Dictyota sp.* para las distancias "proximal", "medio" y "distal" en Cabo de las Huertas y Tabarca.

6. Discusión de resultados.

En la comunidad de extraplomo vertical, se constituye una comunidad completamente distinta a las encontradas en zonas con buena iluminación, compuesta mayormente por especies esciáfilas (figura 19) o especies que pueden tolerar una baja irradiancia solar.

La luz es esencial para los organismos fotosintéticos y las algas han tenido que mejorar su morfología y funcionalidad para adaptarse a zonas donde la luz está atenuada.



Figura 19. Fotografía de la comunidad infralitoral esciáfila de Tabarca.

Entre algunos de los mecanismos de adaptación, se ha visto en otros estudios que *Halimeda tuna* produce un aumento de la concentración de pigmentos a bajas irradiancias, además, la morfología de su talo aumenta la eficiencia de absorción (Ballesteros, 1991).

Las especies de algas que se han encontrado con más abundancia en esta comunidad han sido: *H. tuna*, *Dictyopteris membranacea*, *Peyssonnelia sp.*, *Dictyopteris membranacea* y *Corallina elongata*. Las tres primeras son algas que tienen preferencia por asentarse en fondos rocosos de umbría y también se pueden encontrar en hábitats circalitorales (Calvin Calvo, 2000). Sin embargo, *C.elongata* es una especie capaz de habitar en un amplio rango ecológico, viéndose tanto en zonas con alta iluminación como en zonas con baja irradiancia, así como en zonas contaminadas y en zonas no contaminadas (Ballesteros et al, 1984).

En Agua Amarga, *C.elongata* (figura 20) también ha sido encontrada con un alto porcentaje de cobertura, lo cual demuestra su capacidad para adaptarse a ambientes muy distintos. En esta área el muestreo se hizo en una plataforma horizontal con buena iluminación, donde el agua que baña la costa parece estar contaminada por el emisario de la desaladora, lo cual afecta de manera directa a la cantidad de nutrientes produciendo un aumento de éstos, que

puede llevar a una eutrofización de las aguas. En la comunidad se encuentra dominancia de especies oportunistas e invasoras.

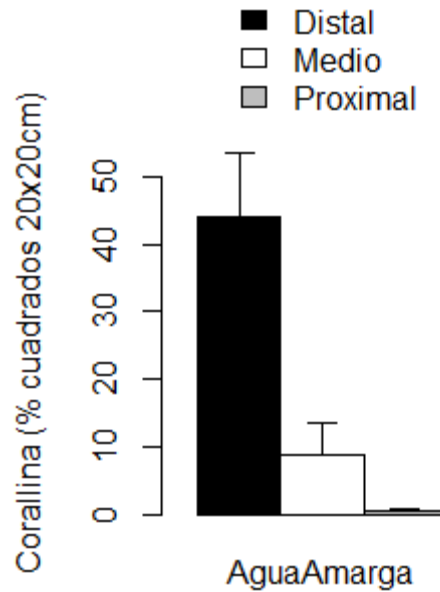


Figura 20. Porcentaje de cobertura de *Corallina elongata* en la playa de Agua Amarga.

Las especies oportunistas quedan reflejadas en la familia de ulváceas (figura 21), que pueden aprovechar la ausencia de otras para ocupar su nicho y presentan una estrategia “ruderal”, la cual consiste en un ciclo de vida corto con una rápida reproducción. En la naturaleza se encuentran en lugares con alta concentración de nutrientes y niveles altos de perturbación (Arévalo et al., 2007).

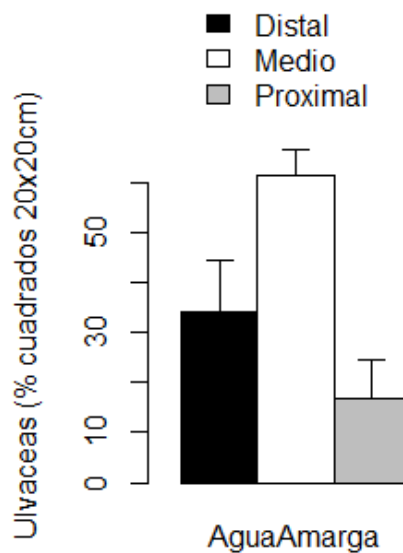


Figura 21. Porcentaje de cobertura de “ulvaceas” en la playa de Agua Amarga.

Entre las especies invasoras se ha encontrado la presencia de *Codium fragile* y una gran cobertura de *Caulerpa racemosa* (figura 22). La invasión de algas es debida directa o indirectamente a actividades humanas, con las cuales las algas son transportadas desde su lugar de origen a zonas donde antes no estaban y, ante la ausencia de los competidores propios de su zona, comienzan a colonizarse invadiendo el nuevo medio.

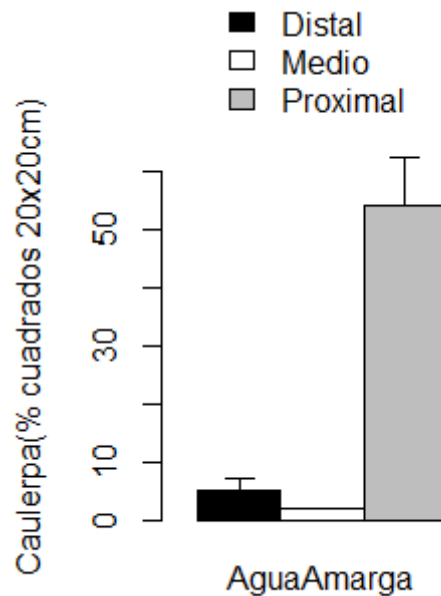


Figura 22. Porcentaje de cobertura de *Caulerpa racemosa* en la playa de Agua Amarga.

C. racemosa (figura 23) presenta una gran capacidad de expansión gracias a su rápida multiplicación vegetativa y mecanismos de defensa contra herbívoros mediante la producción de sustancias tóxicas, además, genera enzimas que la protegen frente a daños celulares causados bajo condiciones ambientales estresantes (Klein y Verlaque, 2008).

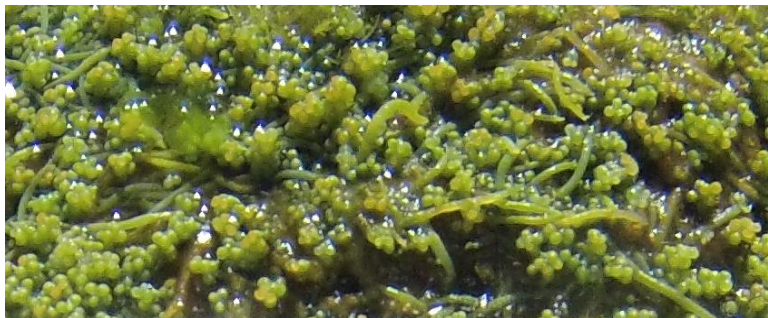


Figura 23. Fotografía de *Caulerpa racemosa* en la playa de Agua Amarga.

En contraste con Agua Amarga, en Tabarca y Cabo de Huertas se encuentra una comunidad en la que destacan los géneros *Dictyota sp.*, *Padina pavonica* y *Cystoseira sp.*, junto a otras especies como *Halopteris sp.*, *Laurencia sp.* y *Jania rubens*. En el Mediterráneo se pueden ver

fácilmente estas comunidades en el infralitoral superior de zonas rocosas bien iluminadas, protegidas del hidrodinamismo (Calvín, 2000).

La comunidad formada por estas especies tiene una importancia ecológica debido a que son muy sensibles a la contaminación y forman comunidades con una alta diversidad de especies, por lo que su presencia indica una alta calidad ecológica y una alta calidad de las aguas que la bañan (Calvín, 2000).

Cabe destacar que la presencia de *Cystoseira sp.* (figura 23) es la que realmente caracteriza la comunidad cuando aparece. Esta especie alcanza una mayor entidad paisajística cuando una plataforma de abrasión más o menos ancha y protegida permite que su extensión sea mayor de lo normal (Calvín, 2000). En Cabo de Huertas las plataformas de abrasión tenían una mayor superficie que en Tabarca, lo que permite mejor su desarrollo y expansión, lo cual explica el resultado obtenido en cuanto a las diferencias significativas de esta población entre estas dos zonas.



Figura 23. Fotografía de *Cystoseira sp.*, también se puede observar la especie *Padina pavonica*.

Cystoseira sp. es una especie “competidora” muy sensible a las perturbaciones del medio, siendo reemplazada por especies “estrés tolerantes” cuando las perturbaciones del medio son intermedias, y por oportunistas (“ruderales”) cuando las perturbaciones son altas. Este reemplazamiento conlleva a una pérdida de la complejidad de las comunidades debido a la reducción o desaparición de especies ingenieras y la reducción en la riqueza de especies (Arévalo et al., 2007).

7. Conclusiones.

Las algas, al igual que todos los organismos, presentan diferentes estrategias para adaptarse al medio que las rodea. La luz es un factor muy importante para su desarrollo y existen comunidades que han conseguido adaptarse a zonas con baja irradiancia. La comunidad formada por algas “fotófilas” es completamente distinta a las comunidades formadas por “esciáfilas”, presentando estas últimos mecanismos morfológicos y bioquímicos que les permiten aprovechar la poca luz disponible.

La clasificación de algas mediante los grupos funcionales propuestos por Grime para las plantas permite una evaluación rápida y sencilla de los niveles de perturbación existentes en un medio:

- ✓ Las especies “ruderales” están formadas por aquellas que pueden soportar altos niveles de perturbación.
- ✓ Las especies “estrés tolerantes” son especies que pueden abarcar un amplio rango ecológico en niveles intermedios de perturbación.
- ✓ Las “competidoras” son las dominantes en zonas con buena calidad ecológica y niveles bajos de perturbación. Indican una mayor complejidad de la comunidad con mucha diversidad de especies y buena calidad de las aguas que las rodean.

Aplicando esta clasificación la ausencia de especies competidoras y la dominancia de especies “rudelares” y “estrés tolerantes” en Agua Amarga, indica que la zona está posiblemente afectada por los residuos vertidos provenientes de la desaladora.

En Tabarca y Cabo de Huertas se han encontrado comunidades similares que siguen una estrategia “competidora” indicadora de la buena calidad de sus aguas. A pesar del alto grado de urbanización en Cabo de Huertas y de estar muy influenciada por las actividades humanas no parece ser una zona afectada por tales actividades. En ambas zonas la estrategia competitiva de las algas indica una buena calidad de sus aguas y un alto nivel de diversidad.

Conclusions.

The seaweed, like all the organisms, present different strategies to adapt to the environment around them. Light is a very important factor for its development and there exist communities that have managed to adapt themselves to areas with low irradiance. The community formed by "photophilic" seaweeds is completely different from the communities formed by "sciaphilic" presenting the above mentioned morphologic and biochemical mechanisms that allow them to make use of few available light.

The seaweed classification by functional groups proposed by Grime for plants allows quick and simple evaluation of levels of disturbance for a habitat:

- ✓ The "ruderal" species are formed by those which can withstand high perturbation levels.
- ✓ "Estress tolerant" are species that can include a wide ecological range in intermediate disturbance levels.
- ✓ The "Competitors" are dominant in areas with good ecological quality and low levels of disturbance. They indicate a more complex community with much diversity of species and good water quality that surround them.

Applying this classification the absence of competing species and species dominance "rudelares" and "stress tolerance" in Agua Amarga, indicates that the area is likely affected by the spilled residues originated from the desalination plant .

Tabarca and Cabo de las Huertas found similar communities that follow a "competitor" strategy indicating good water quality. Despite the high degree of urbanization in Cabo de Huertas and being greatly influenced by human activities it does not seem to be an area affected by such activities. In both areas the competitive strategy of seaweeds indicates good water quality and a high diversity level.

8. Plan de trabajo.

	Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio		Julio
Revisión bibliográfica	Semana 1-2	Semana 3-4	Semana 1-2	Semana 3-4	Semana 1-2	Semana 3-4	Semana 1-2	Semana 3-4	Semana 1-2	Semana 3-4	Semana 1
Muestreo											
Identificación de especies y cálculo de cobertura											
Análisis estadístico											
Redacción memoria TFG											

9. Referencias.

- Adams, S. (2005). Assessing cause and effect of multiple stressors on marine systems. *Marine Pollution Bulletin*, 51(8-12), pp.649-657.
- Arévalo, R., Pinedo, S. and Ballesteros, E. (2007). Changes in the composition and structure of Mediterranean rocky-shore communities following a gradient of nutrient enrichment: Descriptive study and test of proposed methods to assess water quality regarding macroalgae. *Marine Pollution Bulletin*, 55(1-6), pp.104-113.
- Ballesteros, E. (1991). Structure of a deep-water community of Halimeda tuna (Chlorophyceae, Caulerpales) from the North-Western Mediterranean. *Collectanea Botanica*, 20, pp.5-21.
- Ballesteros, E. (1991). Structure of a deep-water community of Halimeda tuna (Chlorophyceae, Caulerpales) from the North-Western Mediterranean. *Collectanea Botanica*, 20, pp.5-21.
- Ballesteros, E., Pérez Vallmitjana, M. and Zabala, M. (1984). Aproximación al conocimiento de las comunidades algales de la zona infralitoral superior en la costa catalana. *Collectanea Botanica*, 15, pp.69-100.
- Calvín Calvo, J. (2000). *El Ecosistema Marino Mediterráneo*. Segunda ed. Murcia: J.C. Calvín, pp.6-13, 21-46, 165-224.
- Fox, John and Weisberg, Sanford (2011). An {R} Companion to Applied Regression, Second Edition. Thousand Oaks CA: Sage. URL: <http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>
- Grime, J. (1977). Evidence for the Existence of Three Primary Strategies in Plants and Its Relevance to Ecological and Evolutionary Theory. *The American Naturalist*, 111(982), p.1169.
- Klein, J. and Verlaque, M. (2008). The Caulerpa racemosa invasion: A critical review. *Marine Pollution Bulletin*, 56(2), pp.205-225.
- Niell, F. (1977). Método de recolección y área mínima de muestreo en estudios estructurales del macrofitobentos rocoso intermareal de la Ría de Vigo. *Investigación pesquera*, 41 (2), pp.509-521.
- Pinedo, S., García, M., Satta, M., Torres, M. and Ballesteros, E. (2007). Rocky-shore communities as indicators of water quality: A case study in the Northwestern Mediterranean. *Marine Pollution Bulletin*, 55(1-6), pp.126-135.
- R Core Team (2015). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- Smith, T. and Smith, R. (2007). *Ecología*. Sexta ed. Madrid: Pearson-Addison Wesley, pp.4-5.

Anexos.

Tabla utilizada para los análisis de datos. Se representan los porcentajes de cobertura para cada una de las muestras. "Localidad", T: Tabarca; C: Cabo de Huertas; A: Agua Amarga. "Distancia", D: distal, M: medio; P: proximal. Exposición: L: luz, S: sombra.

Código	Localidad	Distancia	Exposición	Hidrodinamismo	Acetabularia	Caulerpa	Cianobacterias	Codium	Corallina	Cystoseira	Dictyopteris	Dictyota	Flabellia	Halimeda	Halopteris	Hypnea	Incrustante	Jania	Laurencia	Padina	Peyssonnelia	Sargassum	Ulváceas
TD	T	D	L	B	0	0	0	0	0	15	0	38	0	0	3	0	0	0	0	42	0	0	0
TM	T	M	L	B	3	0	0	0	0	0	0	2	0	0	5	0	0	0	0	85	0	0	0
TP	T	P	L	B	24	0	0	0	0	0	0	11	0	0	7	0	0	0	0	51	0	0	0
TD	T	D	L	B	0	0	0	0	0	64	0	0	0	0	12	0	0	0	0	9	0	0	0
TM	T	M	L	B	5	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	14	64	0	0	0
TP	T	P	L	B	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	49	0	0	0
TD	T	D	L	B	0	0	0	0	0	51	0	20	0	0	7	0	0	12	0	9	0	0	0
TM	T	M	L	B	1	0	0	0	0	0	0	41	0	0	3	0	0	0	13	41	0	0	0
TP	T	P	L	B	18	0	0	0	0	0	0	17	0	0	17	0	0	0	30	14	0	0	0
TD	T	D	L	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0	34	0	0
TP	T	P	L	B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	55	0	0	0
TM	T	M	L	B	0	0	0	0	0	0	0	49	0	0	0	0	0	0	0	17	0	0	0
TM	T	M	L	B	0	0	0	0	0	0	0	64	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	0
TD	T	D	L	B	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	11	0	0	21	0	36	0	0	0
TP	T	P	L	B	0	0	0	0	0	0	0	24	0	0	4	0	0	0	0	25	0	0	11
TM	T	M	L	B	0	0	0	0	0	0	0	22	0	0	0	0	0	0	0	53	0	0	0
TP	T	P	L	B	0	0	0	0	0	0	0	66	0	0	0	0	6	0	0	28	0	0	0
TM	T	M	L	B	0	0	0	0	0	0	0	12	0	0	30	0	0	0	0	57	0	0	0
TD	T	D	L	B	0	0	0	0	0	0	0	39	0	0	0	0	0	0	4	47	0	0	0
TPS	T	P	S	B	0	0	12	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TPS	T	P	S	B	0	0	16	0	14	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0
TPS	T	P	S	B	0	0	0	0	44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TDS	T	D	S	B	0	0	0	0	11	0	36	0	0	3	0	0	0	0	0	7	0	0	0
TDS	T	D	S	B	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10	0	0	4	0	0	0	11	0	0
TDS	T	D	S	B	0	0	0	0	0	0	0	0	1	13	0	0	4	0	0	0	9	0	0
CM	C	M	L	B	0	0	0	0	0	0	0	69	0	0	7	0	0	0	15	2	0	0	0
CP	C	P	L	B	0	0	0	0	0	0	0	53	0	0	17	0	0	0	12	4	0	0	0
CM	C	M	L	B	0	0	0	0	0	0	0	90	0	0	17	0	0	0	1	1	0	0	0
CP	C	P	L	B	0	0	0	0	0	0	0	63	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0
CP	C	P	L	B	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	78	0	0	0
CD	C	D	L	B	0	0	0	0	0	60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34	0	0	0
CD	C	D	L	B	0	0	0	0	0	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0
CM	C	M	L	B	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	26	31	0	0	0
CD	C	D	L	B	0	0	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CP	C	P	L	B	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	13	7	0	0	0
CD	C	D	L	B	0	0	0	0	0	80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
CD	C	D	L	B	0	0	0	0	0	81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0
CM	C	M	L	B	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	3	65	0	0	0
CDA	C	D	L	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	42	0	0	35	16	0	0	7
CDA	C	D	L	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	24	10	0	0	0
CDA	C	D	L	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0	0	19	13	0	0	5
CDA	C	D	L	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	1	0	26	15	0	0	0
CDA	C	D	L	A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	31	0	0	27	15	0	0	0
AP	A	P	L	B	0	69	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	23
AP	A	P	L	B	0	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52	0	0	0	0	0	0	1
AD	A	D	L	B	0	6	0	0	63	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	15
AM	A	M	L	B	0	2	0	37	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	52
AD	A	D	L	B	0	8	0	0	35	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	50
AM	A	M	L	B	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	33	0	0	0	0	0	0	62
AM	A	M	L	B	0	2	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70
AD	A	D	L	B	0	1	0	0	34	0	0	0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	38
AP	A	P	L	B	0	53	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26