

# Bioindicadores funcionales en macroalgas del litoral canario: evaluación de la vulnerabilidad y aclimatación al estrés ambiental

Séfora Betancor Curbelo



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS  
DE GRAN CANARIA

- Capítulo 1. Introducción general
- Capítulo 2. Estado de *Fucus spiralis* en el intermareal de Gran Canaria
- Capítulo 3. Procesos de aclimatación de especies intermareales y submareales
- Capítulo 4. Adaptación *in situ* en gradiente batimétrico
- Capítulo 5. Efecto de la erupción submarina y su acidificación sobre la fisiología de macroalgas
- Conclusiones

# Capítulo 1

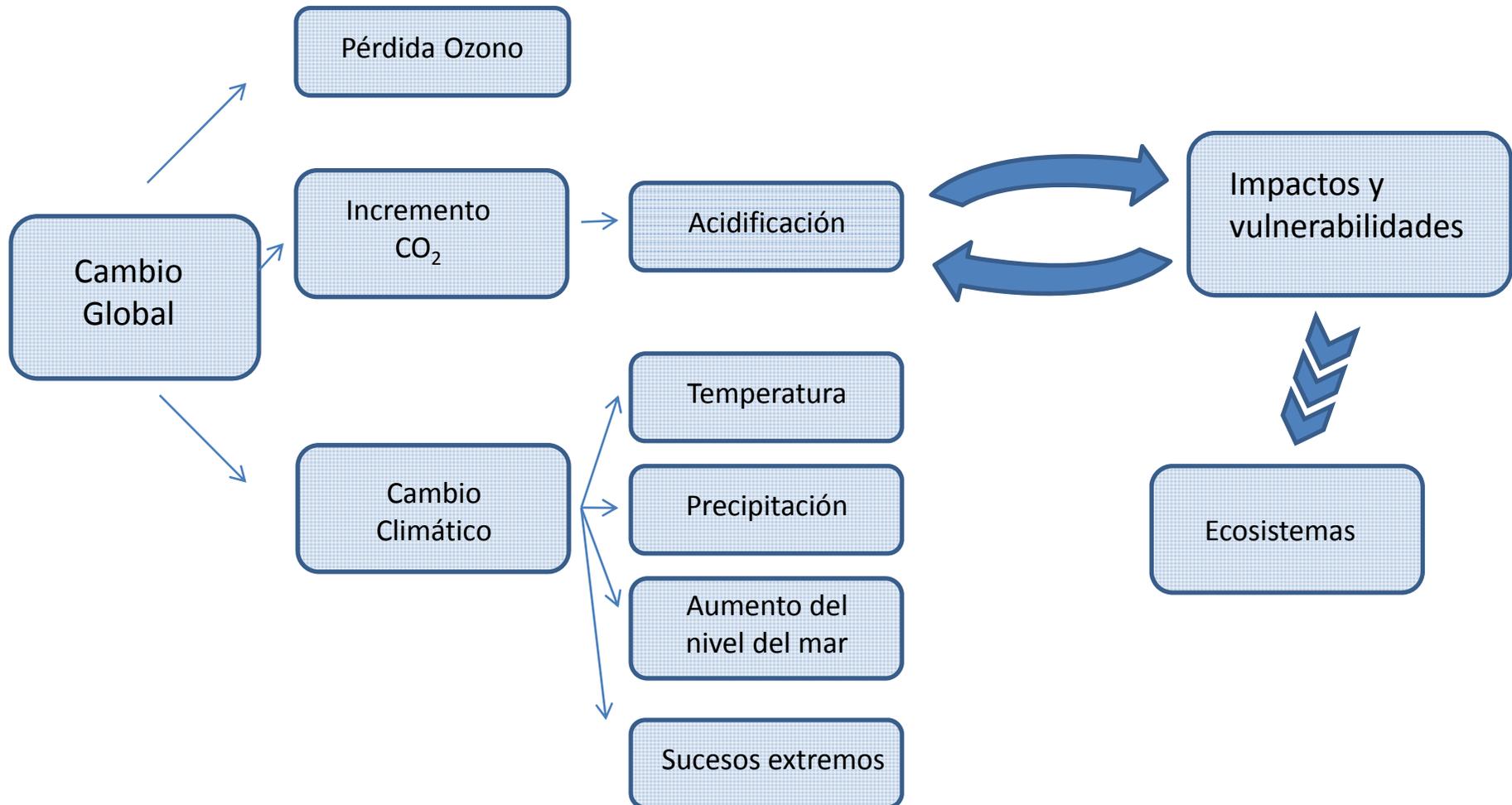
## Introducción General





- Influyen en procesos climáticos
- 10% producción primaria marina (Seckbach, 2010)
- Principales generadores de hábitat
  - Biodiversidad
  - Refugio y alimento (Graham, 2004)





## Principales ecosistemas costeros

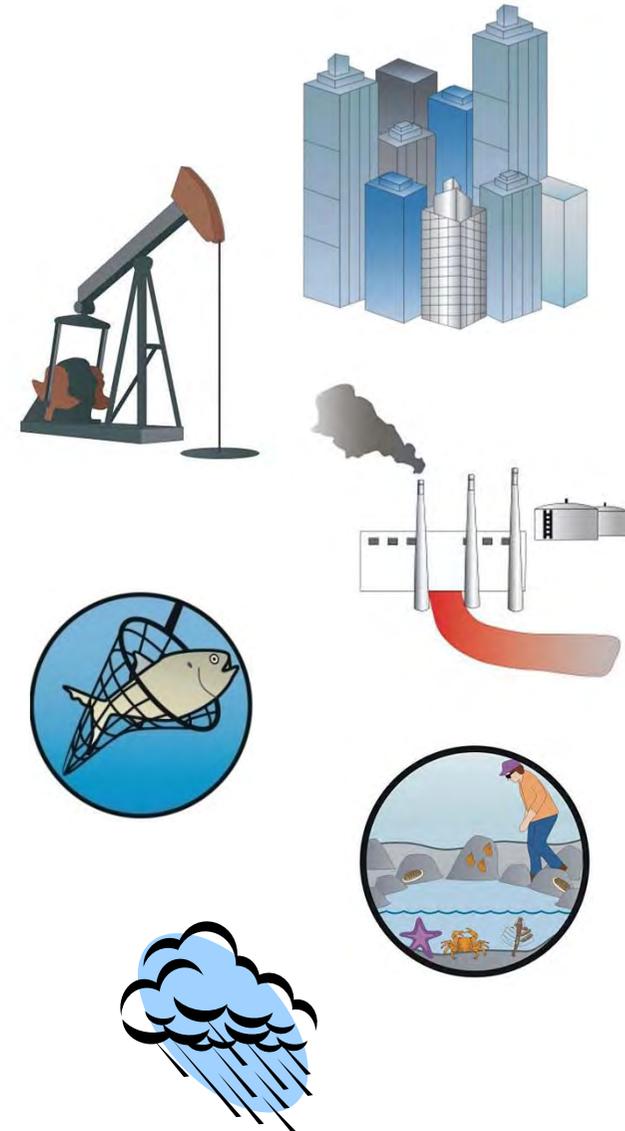


Declive

- ✓ Desarrollo
- ✓ Sobreexplotación
- ✓ Contaminación
- ✓ Causas naturales

## Alteraciones Climáticas

(Case et al. 2005)



## Clima

### - Factores físicos

- $T^a$
- Irradiancia



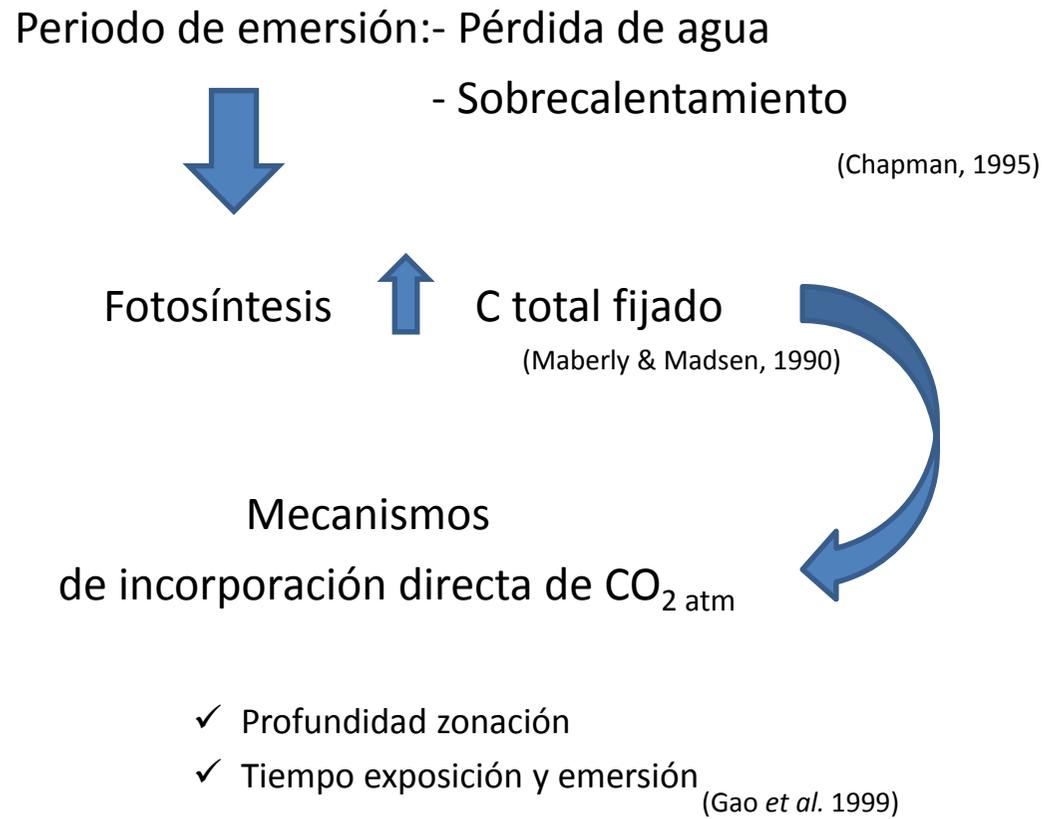
Daños fisiológicos

(Livingstone, 2001)

Distribución y límite especies

(Case *et al.* 2005)

## Temperatura



## Radiación solar

- PAR (400-700nm)
  - UV (280-400nm)
    - » Disminución de la tasa fotosintética (Helbling *et al.* 2003)
    - » Daño en proteínas D1/D2 y ADN (Buma *et al.* 2003)
    - » Intercambio de nutrientes y ácidos grasos (Fauchot *et al.* 2000)
    - » Crecimiento (Villafañe *et al.* 2003)
- » Marea baja + horas máximas irradiancias = Gran estrés por radiación



Fotoinhibición (Häder & Figueroa, 1997)

Efecto de las variables físicas sobre la fisiología  Respuestas en la distribución

- tolerancia
- aclimatación y adaptación
- extinción

(Wahl *et al.* 2011)

Escala Global: cambios T<sup>a</sup> latitudinal



Disminución drástica o extinciones locales

(Smale & Wernberg, 2013)

Periodos de Calentamiento

- América, el “Niño” pérdida de extensas praderas de *Macrocystis pyrifera* (Dayton & Tegner, 1984)
- Japón, declive poblaciones de *Ecklonia cava* en zonas de límite de distribución (Serisawa et al. 2004)
- Australia, desaparición de poblaciones marginales de *Scytothalia dorycarpa* (Smale & Wernberg, 2013)



Escala local:

» Distribución vertical (Zonación)

- Nivel del mar: Migración de especies hacia el sistema intermareal

» Abundancia de especies

(Vaselli *et al.* 2008)

- Cambios en el clima



Expulsión de especies del sistema

(Harley *et al.* 2011)

*Objetivo tesis*

Evaluar las respuestas fisiológicas de distintas macroalgas, analizando la vulnerabilidad y aclimatación a factores de estrés ambiental

Bioindicadores funcionales: Fotosíntesis

Bioindicadores bioquímicos: Fotoprotectores

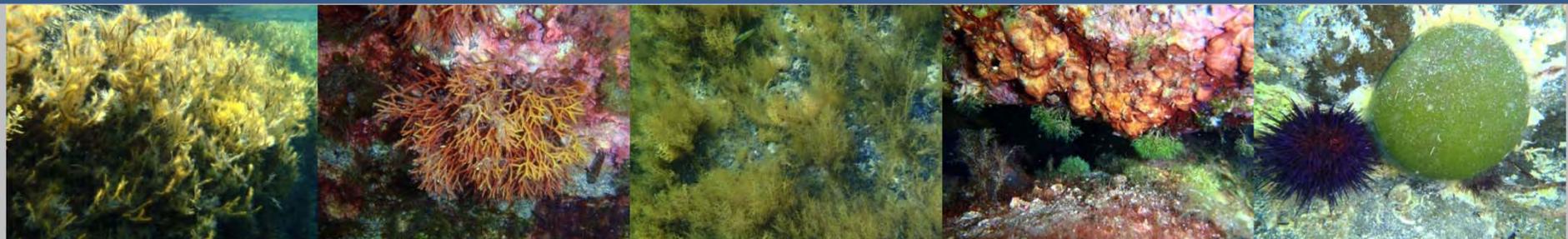
Bioindicadores estequiométricos: C:N

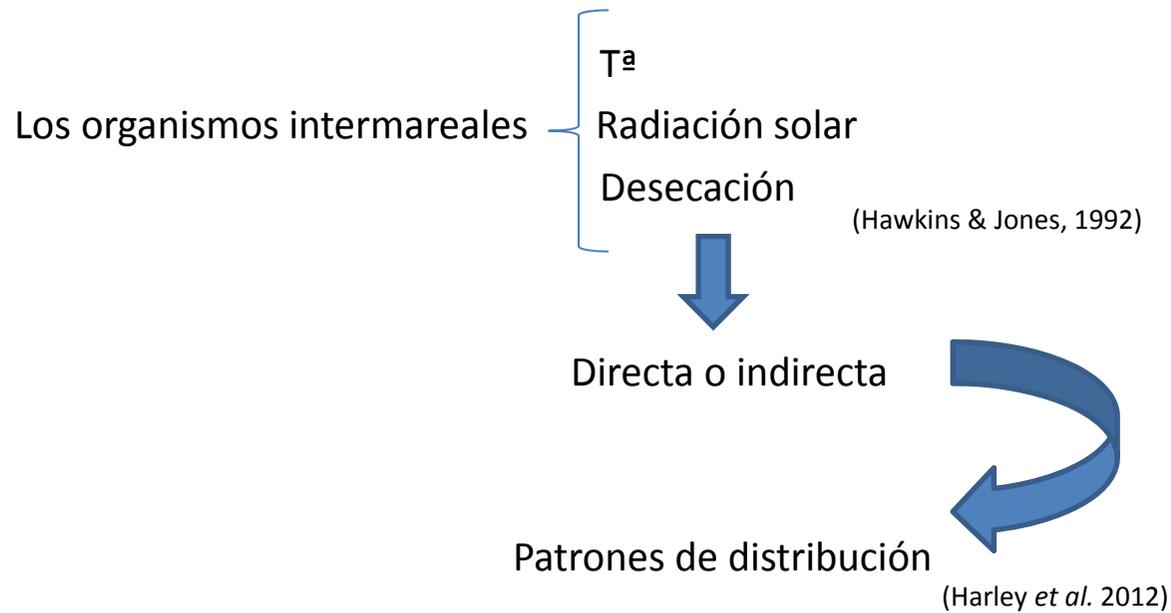
## Capítulo 2. Fisiología de *Fucus spiralis* en el intermareal de Gran Canaria: evaluación de la estacionalidad en relación con la T<sup>a</sup> y la emersión

II Simposio Internacional de Ciencias del Mar,  
2009

XVI Simposio Ibérico de estudios de Biología  
Marina, 2010

Pendiente enviar revista





- Escala local: cambios en zonación

- Escala global: gradientes latitudinales



Disminuciones drásticas o  
Extinciones locales

*CANARIAS: Fucus spiralis en límite meridional de distribución en el Atlántico*



*Reducción de las poblaciones en Canarias*

(Vodovipec, 2012)



Abril '09



Marzo '10

Objetivo: Analizar el estado y el patrón ecofisiológico de *F. spiralis* ante los distintos estresores ambientales en el intermareal de Gran Canaria



Gáldar

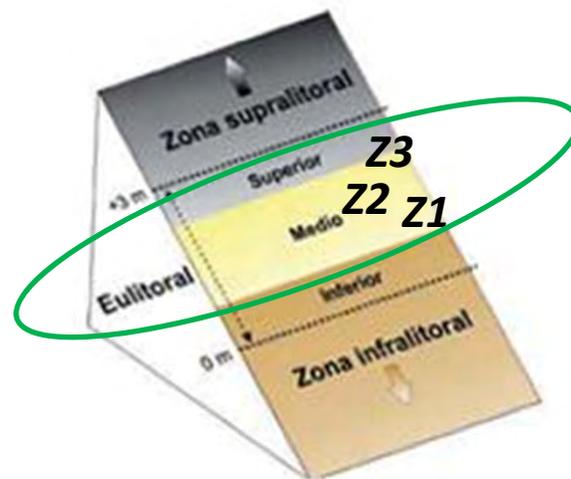


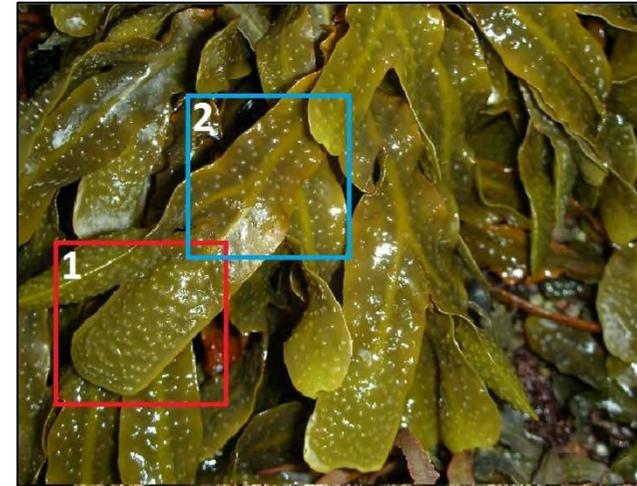
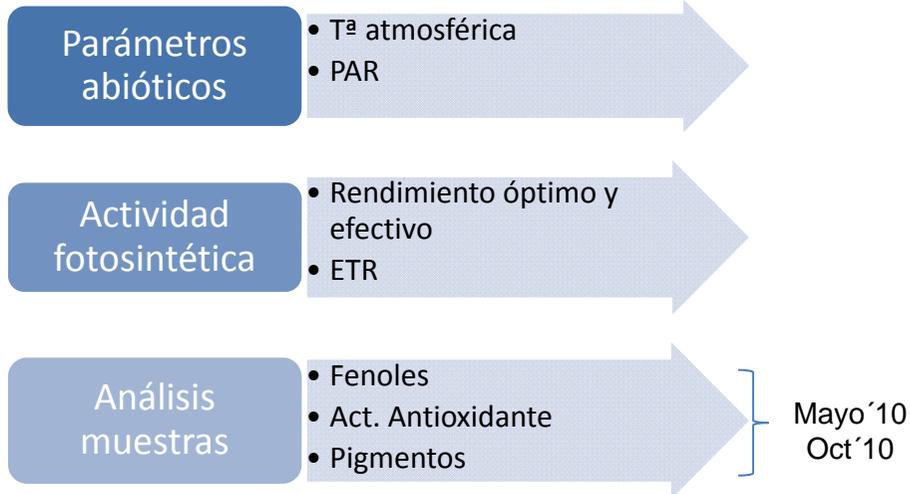
Taliarte

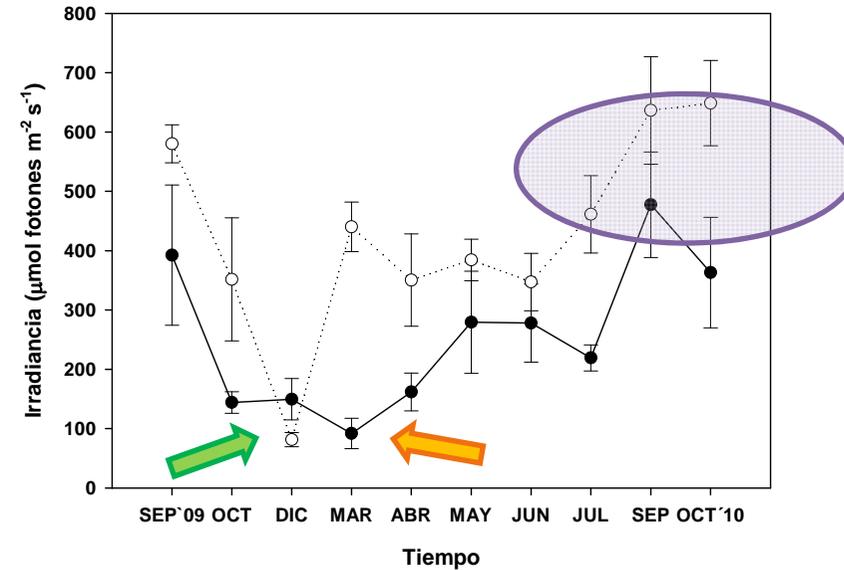
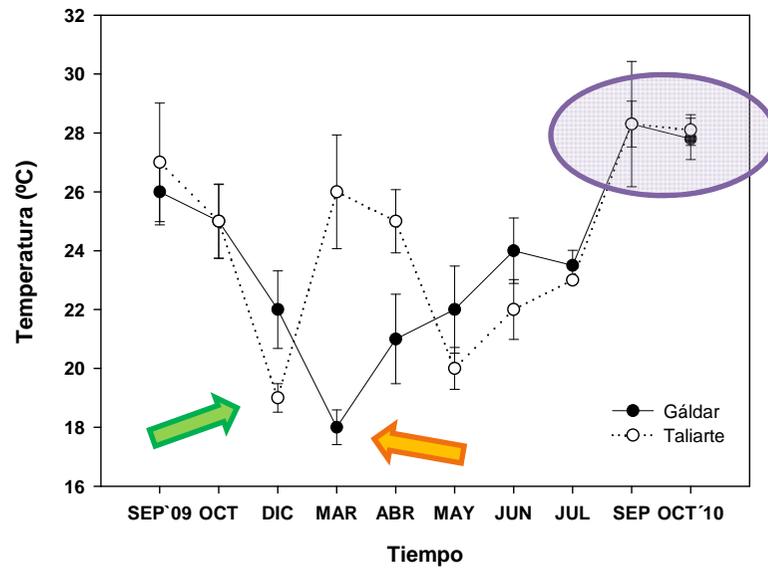
➤ Sept´09 – Octubre´10

➤ Tiempo de emersión

$$Z1 < Z2 < Z3$$







→ Gáldar

T<sup>a</sup> media= 23,6°C

→ Taliarte

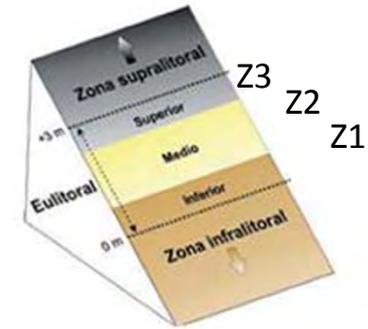
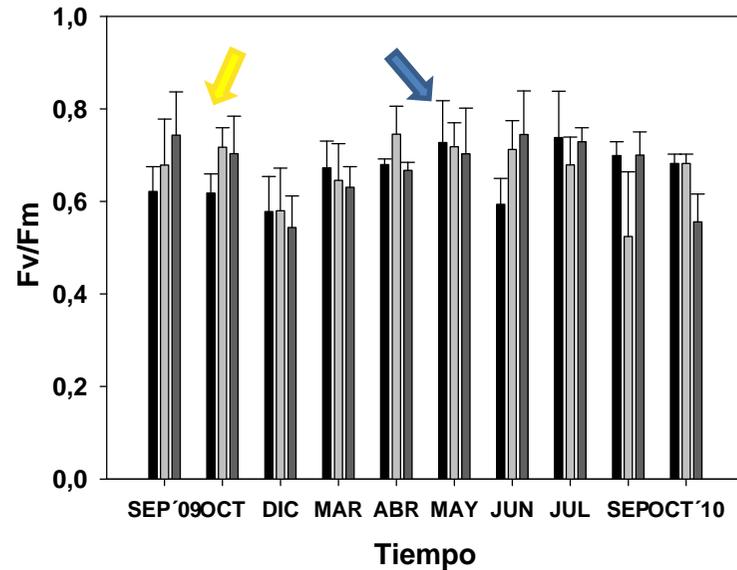
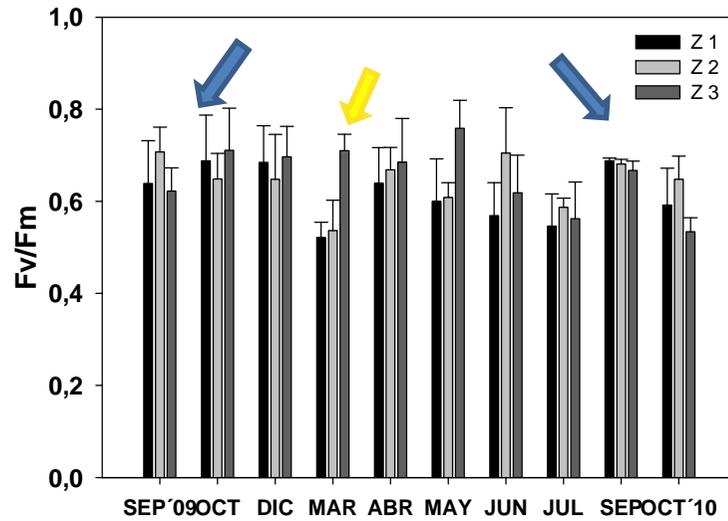
T<sup>a</sup> media= 24,5°C

→ Gáldar

Localidad nubosa

→ Taliarte

Irradiancias mas elevadas



➤ Apical = Basal

➤ Gáldar

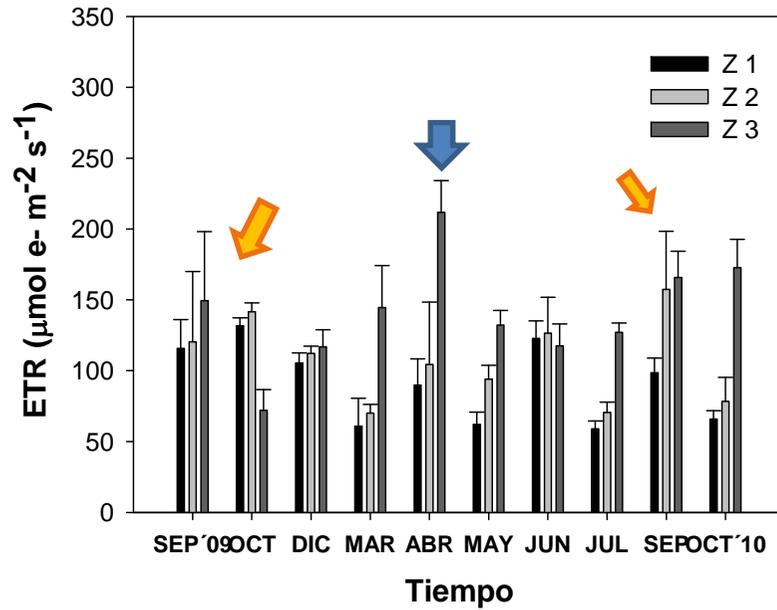
- Z1,Z2 = max otoño, min invierno

- Z3= max invierno, min verano

➤ Taliarte

- Z1= max verano, min otoño

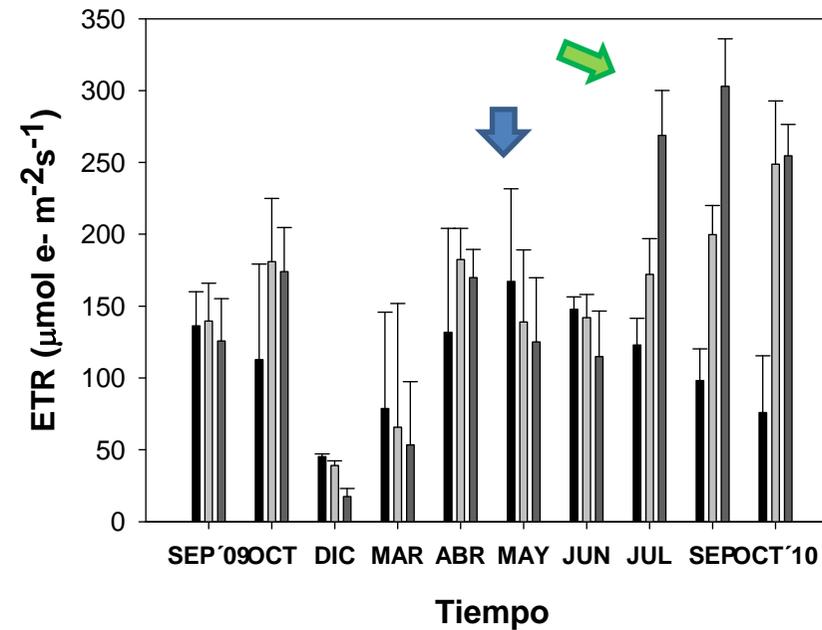
- Z2, Z3= max otoño, min invierno

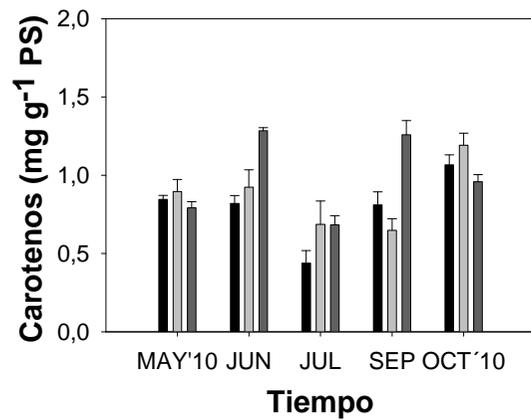
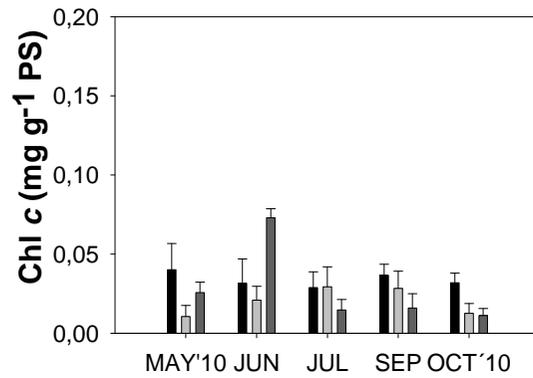
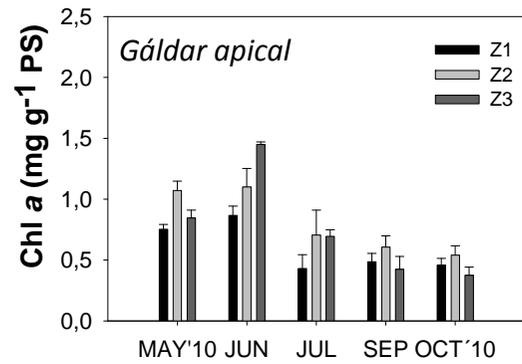


→ Gáldar: Z1, Z2= max otoño  
Z3= max primavera

→ Taliarte: Z2, Z3= max otoño  
Z1= max verano

ETR mas elevados



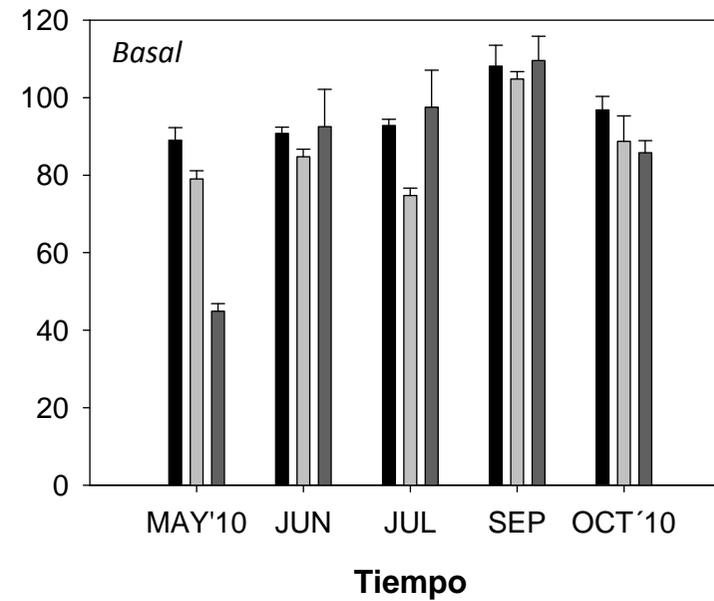
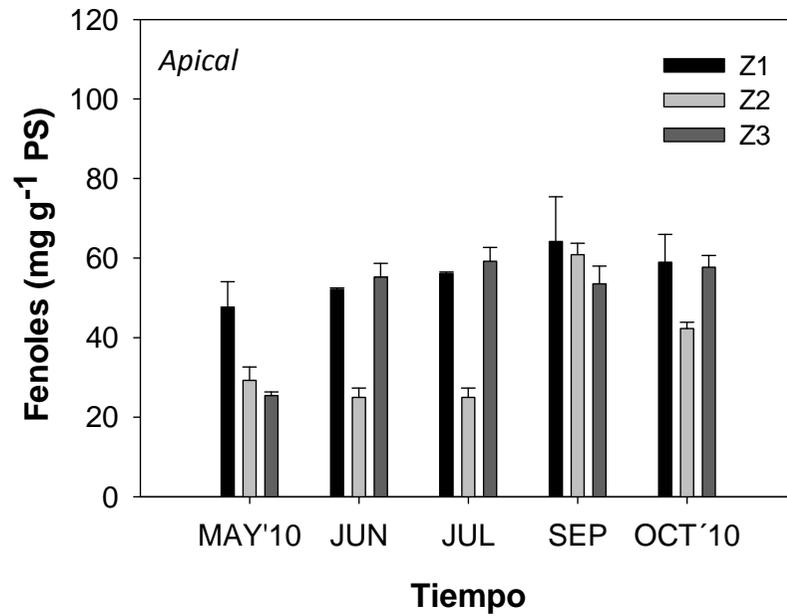


No diferencias entre la parte apical y basal de *F. spiralis*

Disminución pigmentos en meses irradiancias elevadas

Los ejemplares de Taliarte presentaron mayor contenido en pigmentos

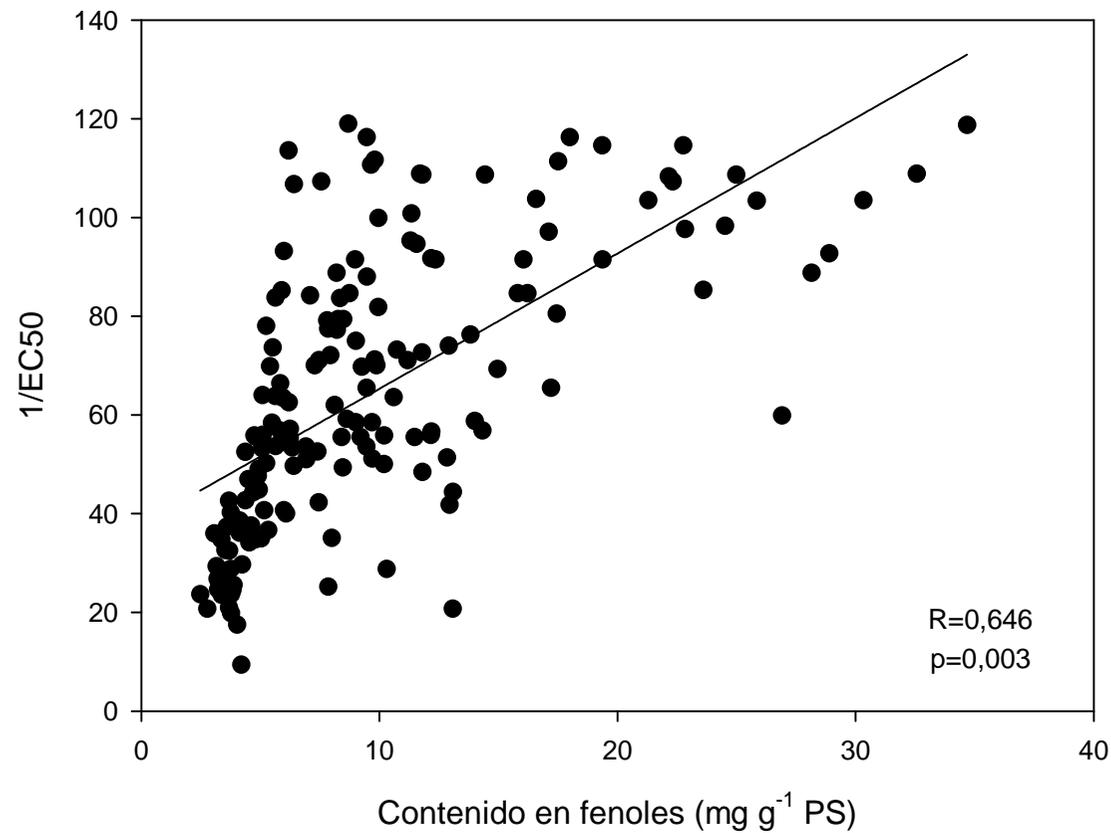
Taliarte



Mayor contenido en fenoles en parte Basal



↑ fenoles en meses irradiancias elevadas



➤ Correlación positiva entre cont. fenoles y actividad antioxidante

✓ Rendimiento fotosintético y ETR revelaron diferencias en ambas localidades



✓ Tª elevadas:

✓ Gáldar: mayor estrés en ejemplares mas emergidos (Z3)

✓ Taliarte: mayor resistencia en ejemplares mas emergidos (Z2, Z3)

✓ Meses mayores irradiancias y Tª



Pigmentos



Fenoles

✓  Pigmentos, fenoles y actividad antioxidante en Taliarte → Mejor aclimatación de ejemplares *F. spiralis*

✓ Las variaciones mensuales resultado de los cambios ambientales revelaron la adaptación a condiciones de estrés de esta alga

✓ Mas que los cambios graduales, los cambios relativamente rápidos entre estación parecen modular la fisiología en *F. spiralis* en su límite de distribución meridional

# Capítulo 3. Respuesta fotosintética de diversas especies de algas pardas en un gradiente de profundidad: aclimatación y vulnerabilidad asociado a factores de estrés

European Phycological Congress, 2011

Preparación



-La distribución vertical o zonación de las macroalgas

(Lobban & Harrison, 1994)

- Aclimatación y recuperación

- Estrés prolongado intermareal

(Lüning, 1990)

- Género *Cystoseira* ampliamente distribuido
- Vulnerables al estrés natural y antropogénico
- Canarias

- Muy abundantes
- Praderas desde intermareal-submareal (8-15m)
- Importante cadena trófica

- Refugio
- Alimento



(Adaptado Oliveira & Gómez, 1989)

Objetivo: Estudiar la vulnerabilidad de especies clave del género *Cystoseira* que muestran distinta distribución vertical en el litoral Canario

- NE Lanzarote

- Septiembre 2010

- 4 especies recolectadas

- *Cystoseira tamariscifolia*

- *Cystoseira compressa*

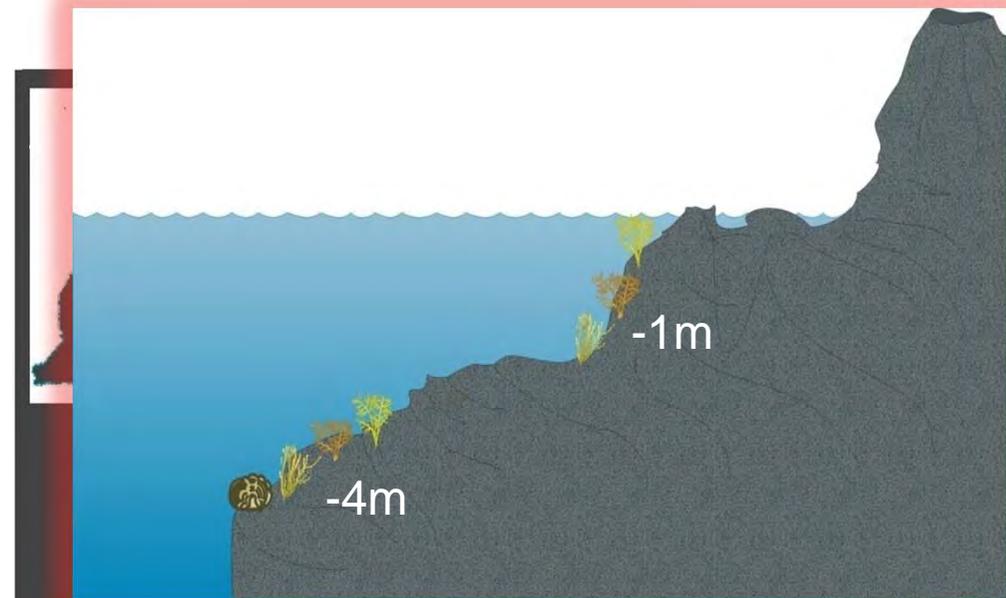
- *Cystoseira abies-marina*

- *Lobophora variegata*

- 2 profundidades

- Intermareal inferior (-1m)

- Submareal somero (-4m)



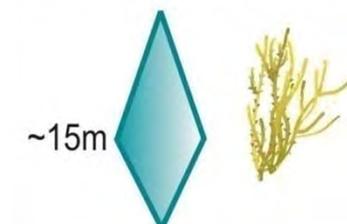
*C.tamariscifolia* (0~20m)



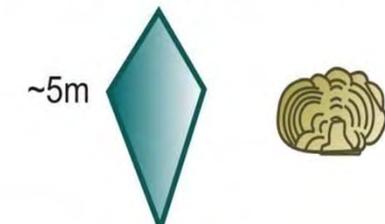
*C.compressa* (0~25m)



*C.abies-marina* (0~30m)



*Lobophora variegata* (0~30m)





Parámetros  
abióticos

- Tª
- PAR y UV

Actividad  
fotosintética

- Rendimiento óptimo y efectivo
- Curvas ETR vs I

Mecanismos de  
disipación energía

- Y(NO)
- Y(NPQ)

Análisis muestras

- Fenoles
- Act. Antioxidante
- Pigmentos
- C:N



*C. tamariscifolia*



*C. compressa*

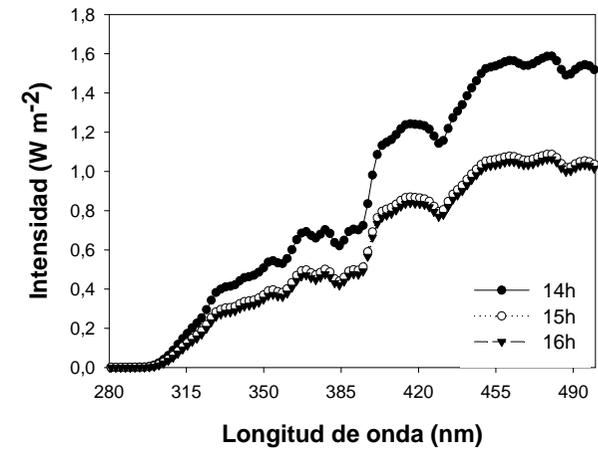
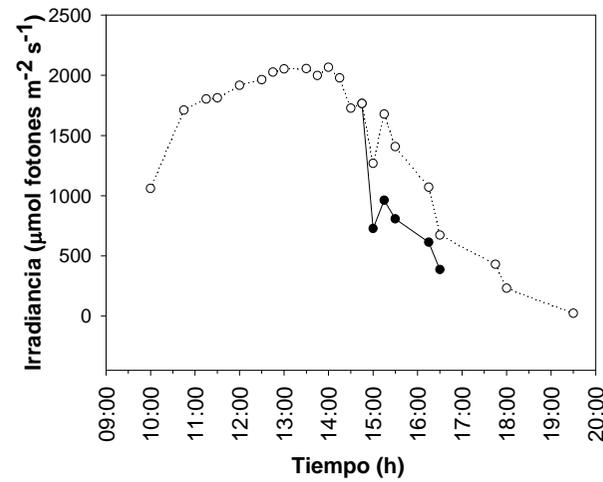
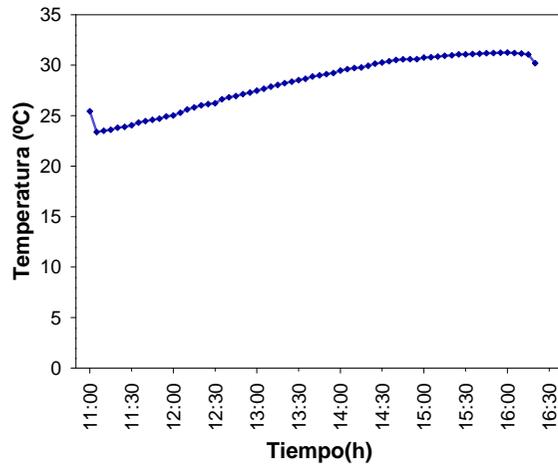


*C. abies-marina*

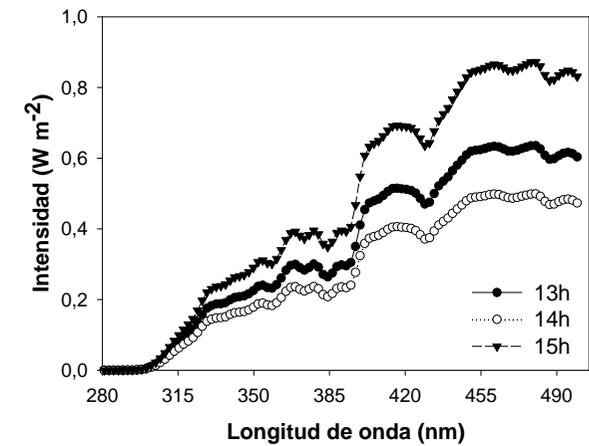
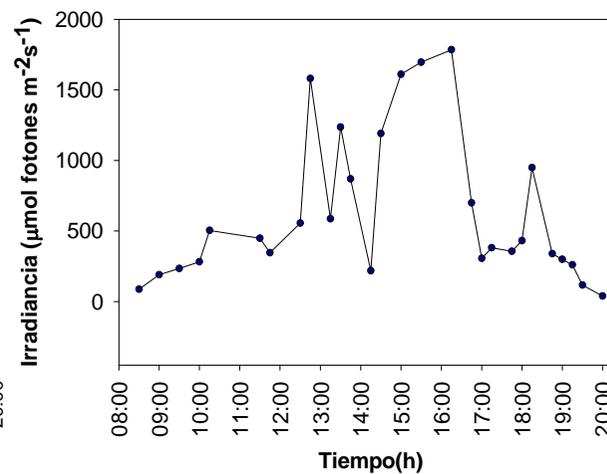
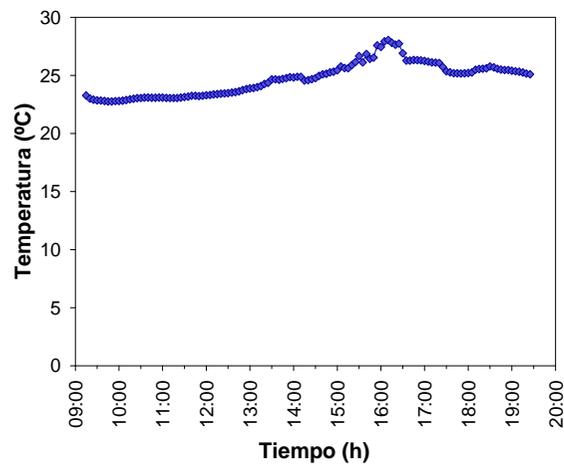


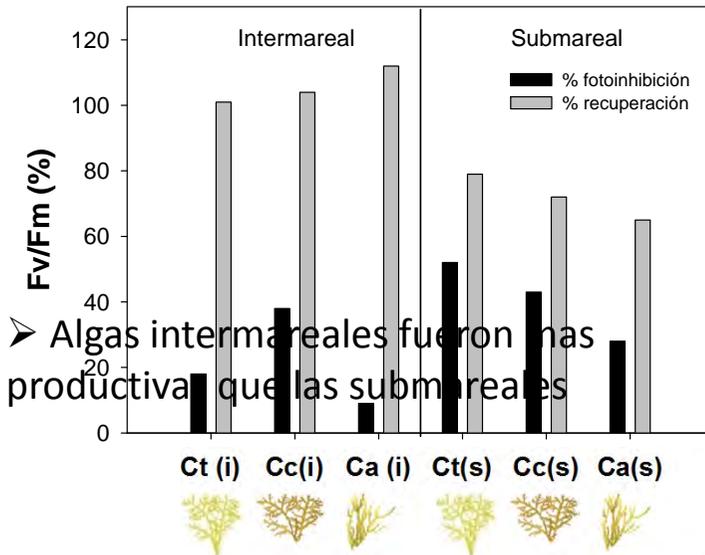
*L. variegata*

1. Exposición-recuperación

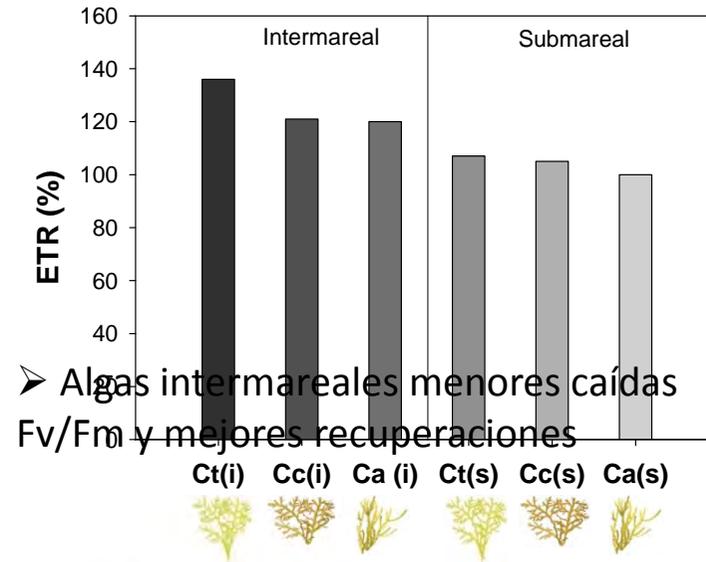


2. Ciclo diario

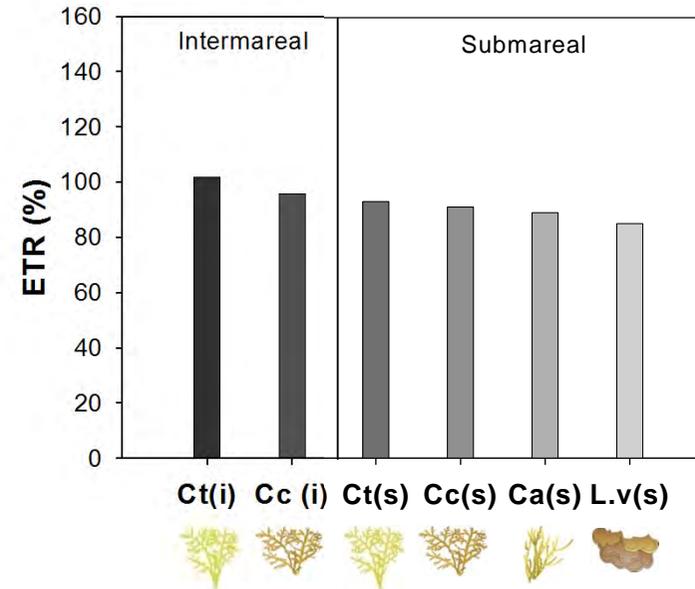
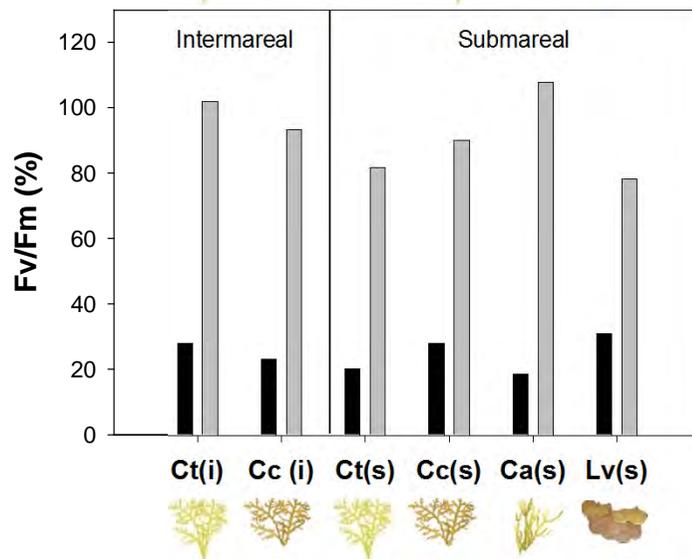




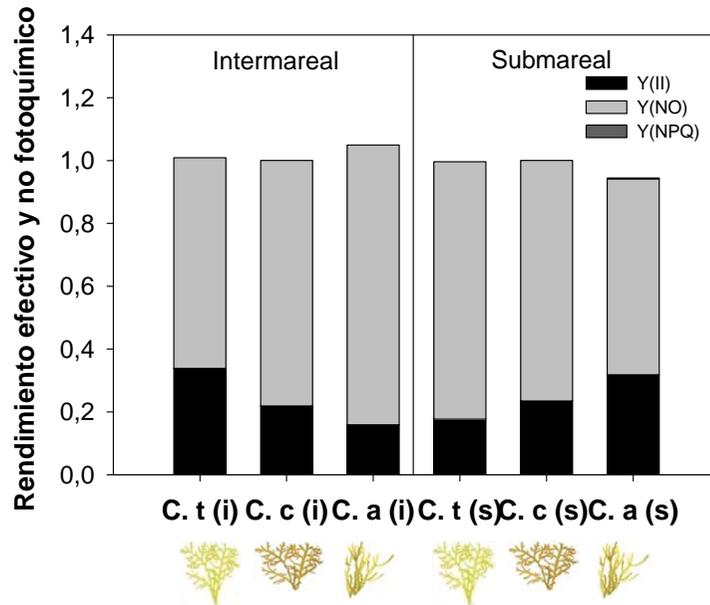
➤ Algas intermareales fueron más productiva que las submareales



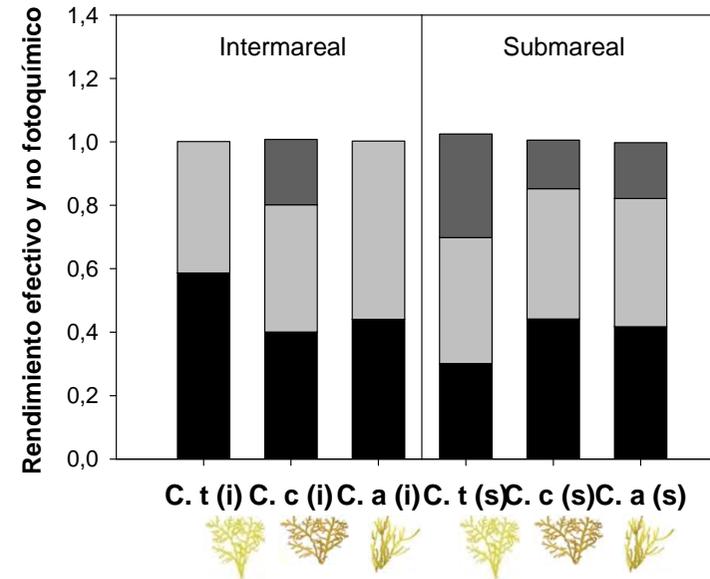
➤ Algas intermareales menores caídas Fv/Fm y mejores recuperaciones



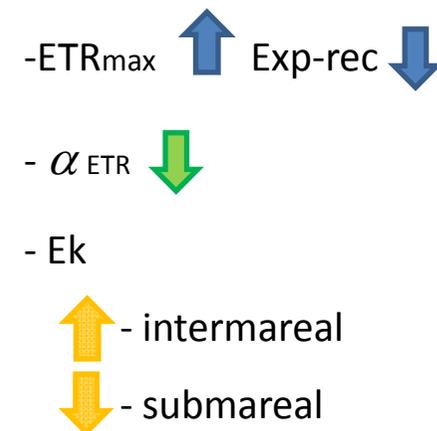
Final exposición (14:30h)

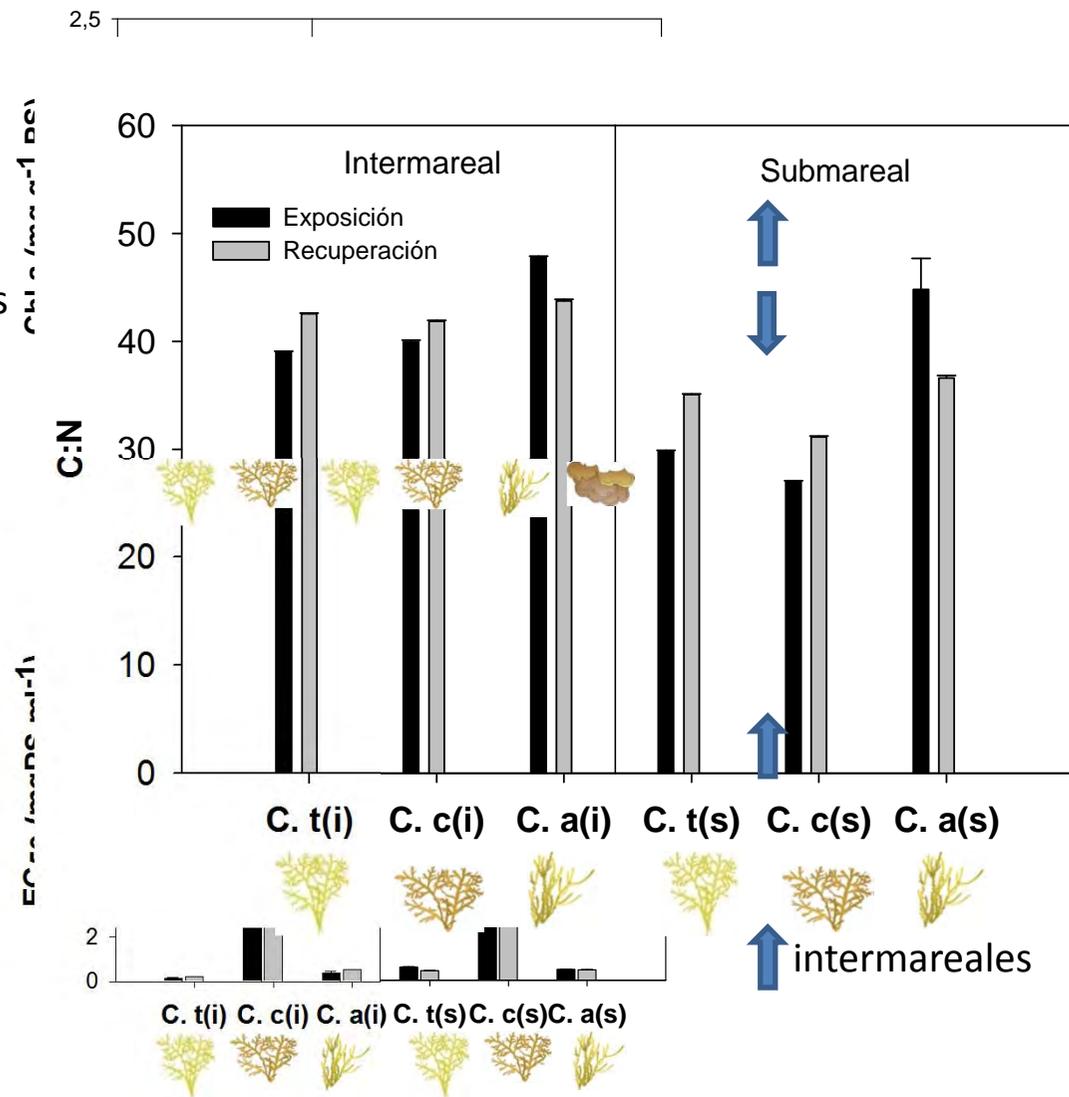
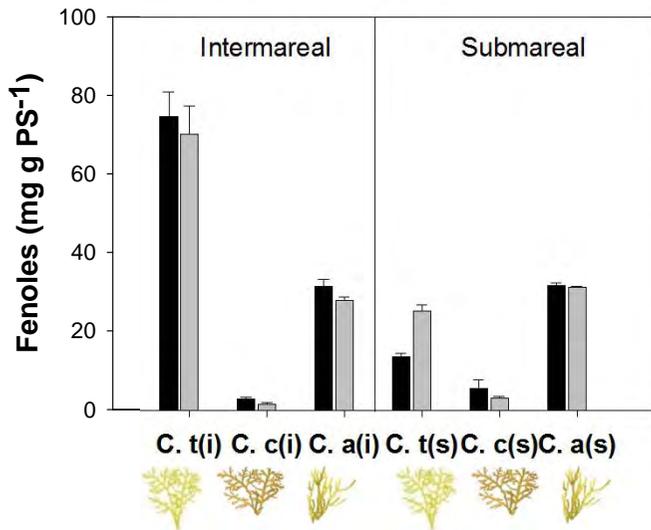
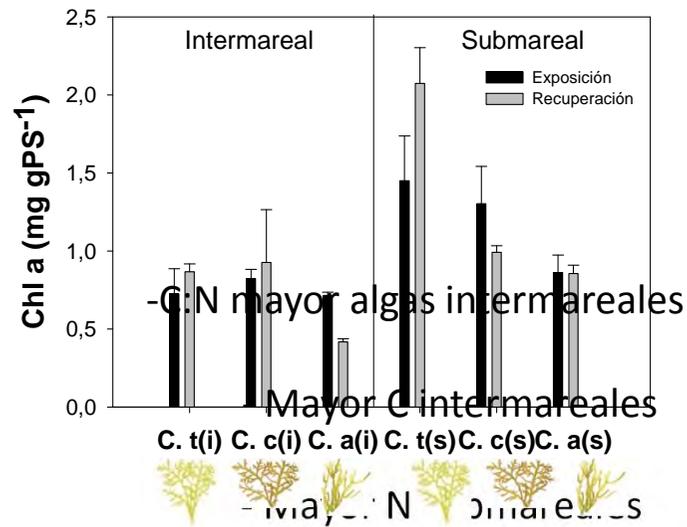


Final recuperación (17:30h)



	9h			17h		
	ETRmax	$\alpha$	Ek	ETRmax	$\alpha$	Ek
<i>C. tamariscifolia</i> (i)	36,46 ± 2,67	0,44 ± 0,03	83,08 ± 1,04	45,81 ± 9,96	0,49 ± 0,03	94,17 ± 23,21
<i>C. compressa</i> (i)	91,68 ± 14,99	0,40 ± 0,02	232,32 ± 48,50	106,46 ± 4,33	0,37 ± 0,02	282,02 ± 2,14
<i>C. tamariscifolia</i> (s)	61,64 ± 7,15	0,46 ± 0,04	132,79 ± 4,34	61,64 ± 7,15	0,36 ± 0,09	124,92 ± 26,88
<i>C. compressa</i> (s)	133,74 ± 6,45	0,47 ± 0,04	293,40 ± 42,44	105,44 ± 17,53	0,39 ± 0,00	267,83 ± 45,35
<i>C. abies-marina</i> (s)	31,52 ± 3,86	0,40 ± 0,01	79,81 ± 10,85	29,87 ± 7,34	0,30 ± 0,05	96,14 ± 10,71
<i>L. variegata</i> (s)	52,71 ± 4,96	0,28 ± 0,00	190,96 ± 20,28	60,76 ± 2,33	0,18 ± 0,01	338,69 ± 9,10





✓ Algas crecen en la zona superior intermareal → Mecanismos + activos de resistencia estrés

Intermareales → - Menor fotoinhibición  
- Aumento de compuestos fenólicos

✓ Ajuste del aparato pigmentario con la profundidad y con el aumento de la irradiancia

✓ Ratio C:N reveló mayor peso del metabolismo del C en algas intermareales, presentando mayor acumulación de N en algas submareales

✓ Los valores de fotosíntesis, contenido en pigmentos, compuestos fenólicos y actividad antioxidante



Zonación vertical

≠ spp *Cystoseira* en Canarias

- algas mecanismos activos → situación mas elevada en el intermareal

## Capítulo 4. Mecanismos de fotoprotección en *Cystoseira humilis* y *Digenea simplex* en distintos niveles batimétricos

En preparación



- Zona intermareal posee condiciones muy extremas (Ramírez *et al.* 2005)

- En pocos metros, las condiciones ambientales varían muchísimo



-Hábitat muy singular: Charcos o piscinas

- Fluctuaciones T<sup>a</sup>, S‰, CO<sub>2</sub> y pH

-Refugio para gran variedad de organismos

-Excelentes sistemas para el estudio de gradientes

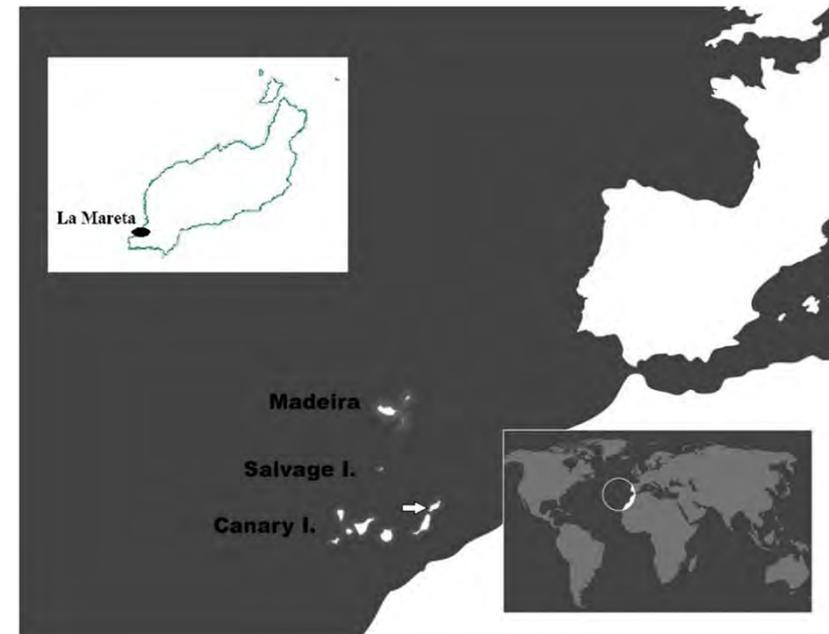


(Martins *et al.* 2007)



Objetivo: Evaluar el estado fisiológico *in situ* y las respuestas adaptativas de *C. humilis* y *D. simplex* en un gradiente de profundidad en charca intermareal

- La Mareta: SO Lanzarote
- Septiembre 2010
- Talos de *C. humilis* y *D. simplex*
  - 3 profundidades: Somero  
Medio  
Profundo
- Mañana (11h) y mediodía (13h)



Parámetros abióticos

- $T^a$
- PAR y UV =  $K_d$

Actividad fotosintética

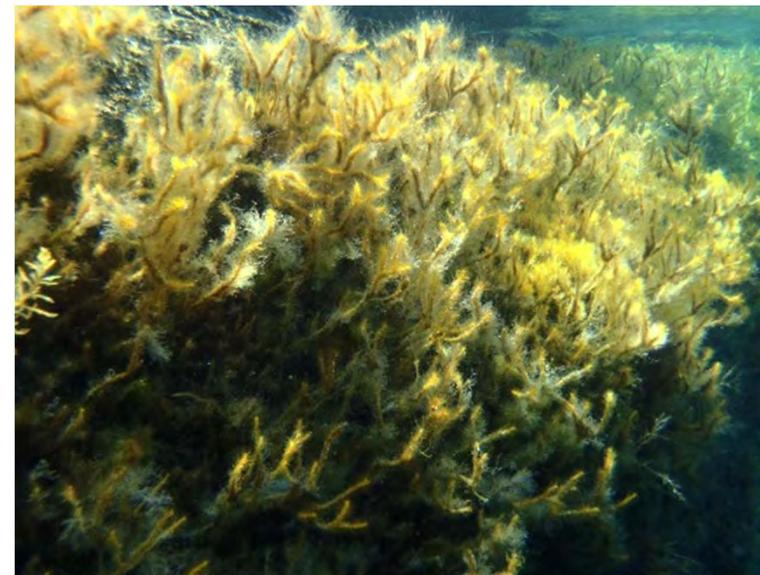
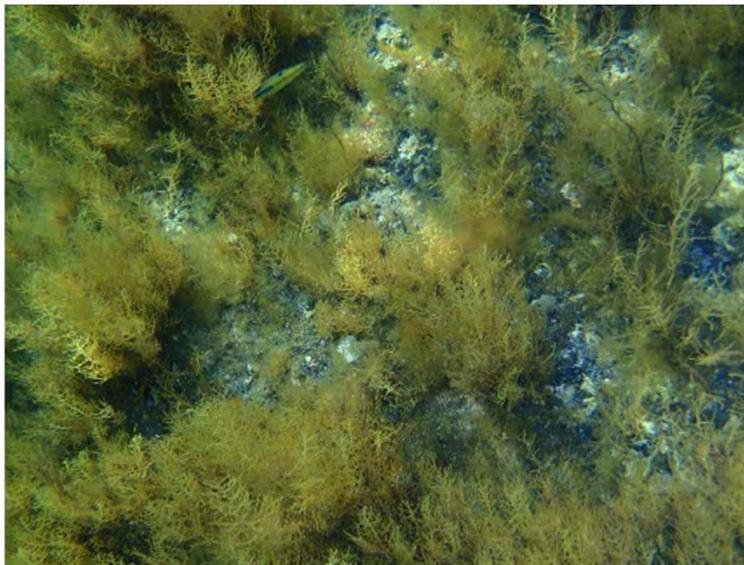
- Rendimiento óptimo y efectivo
- Curvas ETR vs I

Mecanismos de disipación energía

- $Y(NO)$
- $Y(NPQ)$

Análisis muestras

- Fenoles
- Act. Antioxidante
- MAAs
- Pigmentos
- C:N



Tª

- Somero: 3.9 °C  
 - Medio: 0.8 °C  
 - Profundo: 0.3 °C



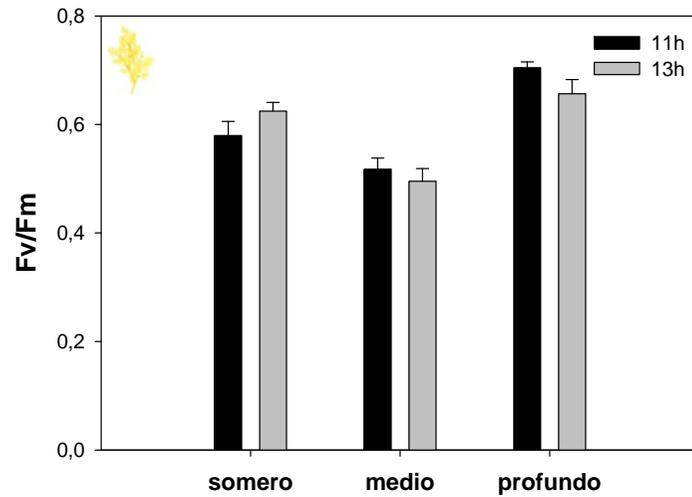
	Kd (m <sup>-1</sup> )
PAR	0,14 ± 0,008
UV-A	0,325 ± 0,005
UV-B 1	0,486 ± 0,01
UV-B 2	0,5 ± 0,03

-Clasificación Jerlov Tipo I

- Aguas muy claras

- Penetración solar elevada

↓ Kd ↑ long onda



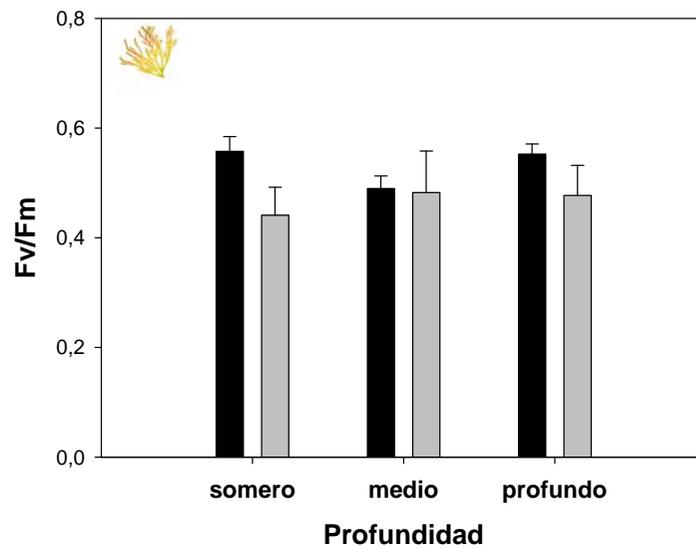
*C. humilis*



Somero: no fotoinh.

Medio: 4.3 %

Profundo: 6.8 %



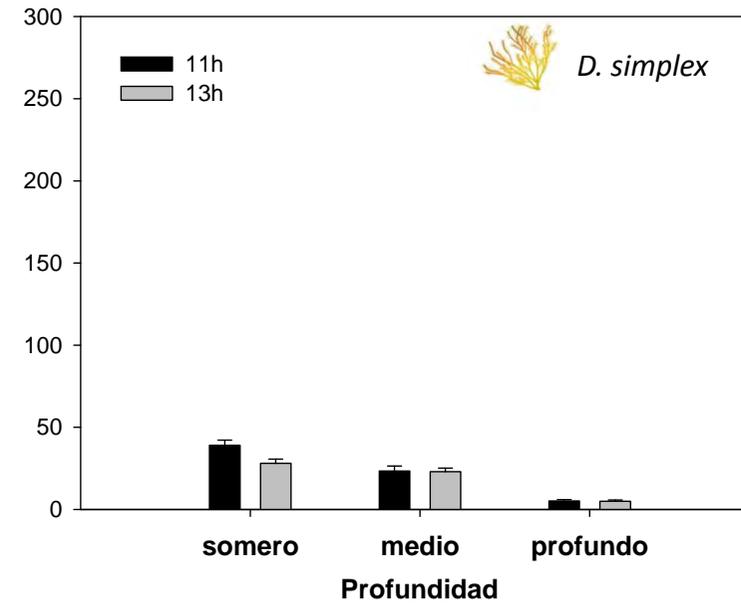
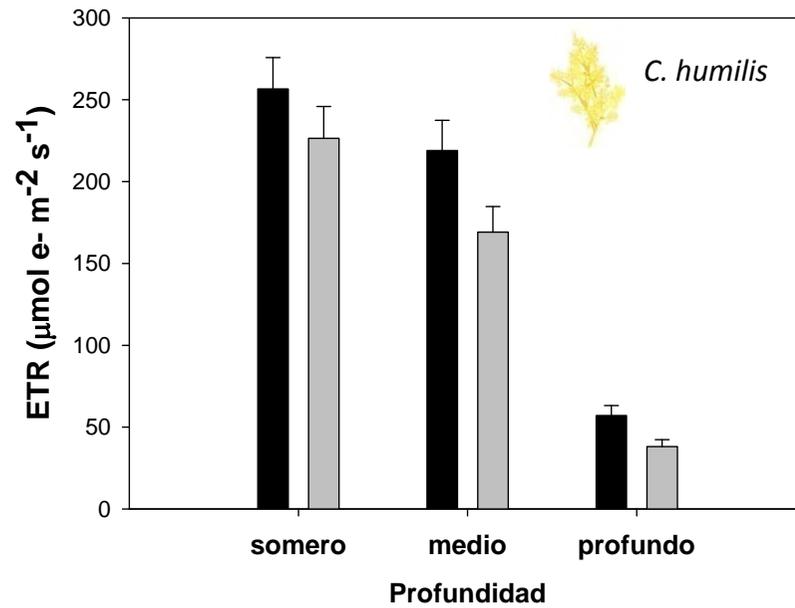
*D. simplex*



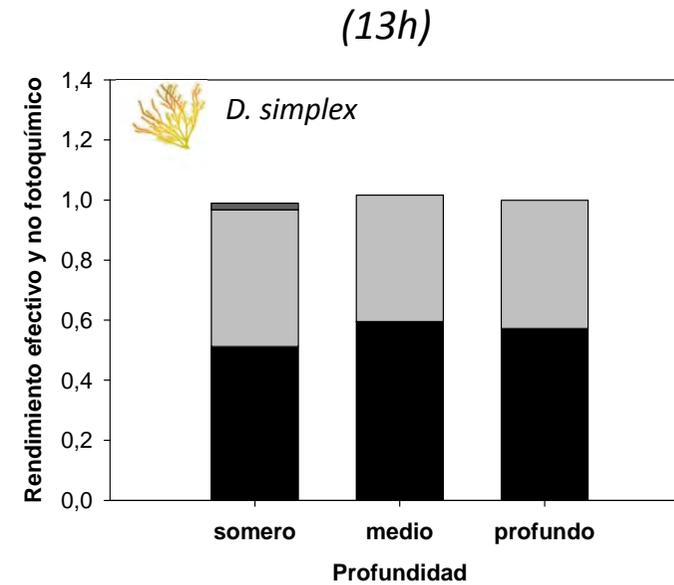
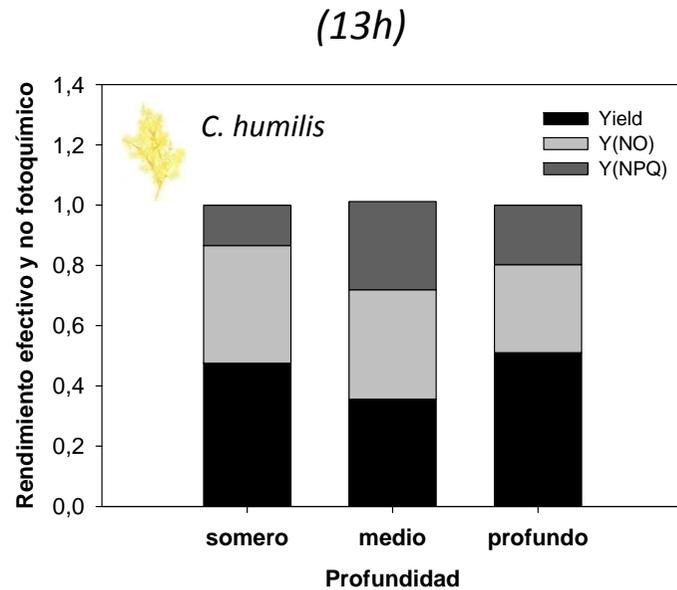
Somero: 20.9 %

Medio: 1.5 %

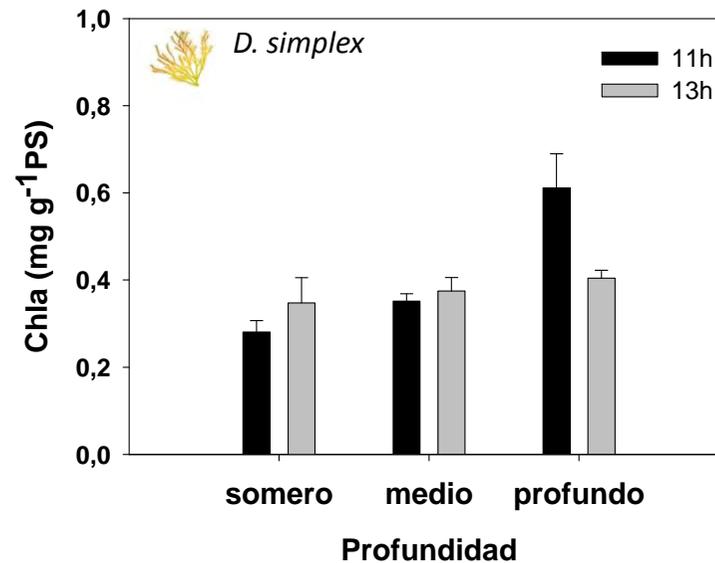
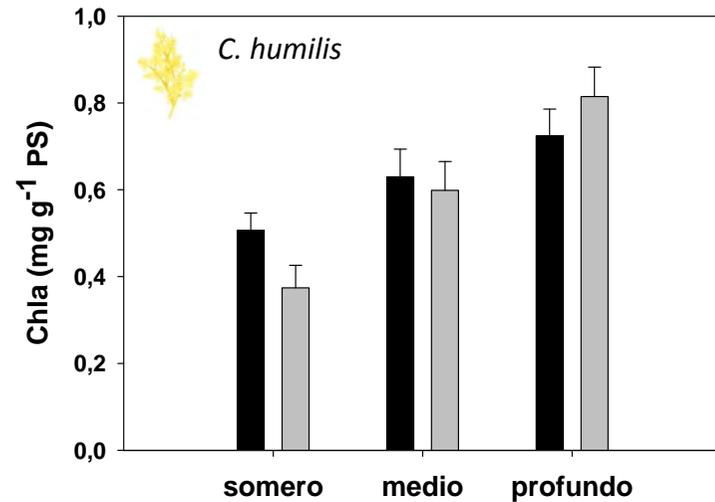
Profundo: 13.6 %



-  capacidad fotosintética estrato somero



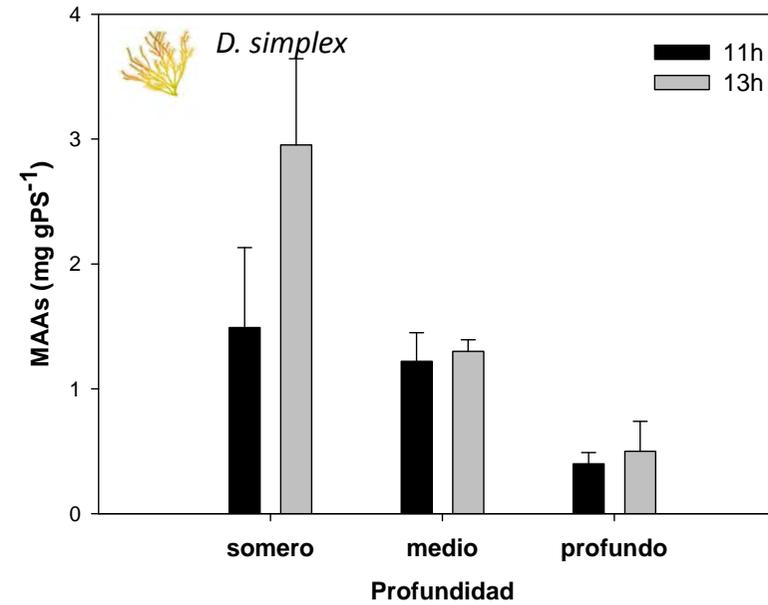
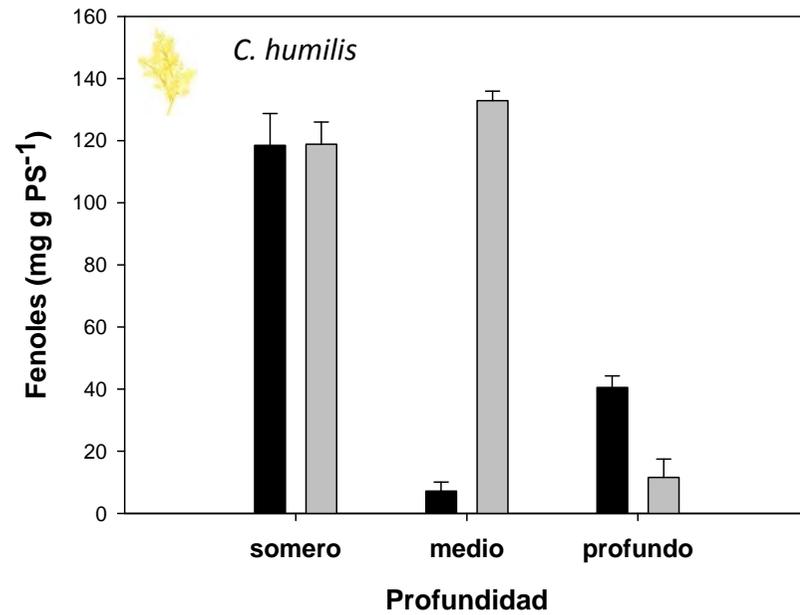
Alga (estrato)	11h			13h		
	$ETR_{max}$	$\alpha_{ETR}$	$E_k$	$ETR_{max}$	$\alpha_{ETR}$	$E_k$
<i>C. humilis</i>						
somera	48,11±4,25	0,29±0,01 <sup>a</sup>	205,87±47,74	75,65±6,12	0,40±0,00 <sup>A</sup>	188,68±16,54
media	33,78±1,95	0,29±0,03 <sup>a</sup>	117,08±15,39	32,49±2,53	0,28±0,01 <sup>B</sup>	118,44±7,91
profunda	38,17±6,51	0,39±0,01 <sup>b</sup>	95,55±14,34	38,41±4,26	0,41±0,01 <sup>AB</sup>	91,53±8,41
<i>D. simplex</i>						
somera	9,73±1,06	0,05±0,00 <sup>a</sup>	201,31±24,99	9,33±2,25	0,03±0,00 <sup>A</sup>	281,08±56,72
media	8,13±0,36	0,03±0,00 <sup>b</sup>	270,87±12,15	6,61±0,80	0,03±0,00 <sup>A</sup>	220,00±26,86
profunda	7,40±0,16	0,03±0,00 <sup>b</sup>	246,53±5,48	8,14±1,37	0,03±0,00 <sup>A</sup>	271,40±45,84



➤ Contenido en pigmentos

- Aumenta con la profundidad

- Mayor en *C. humilis*

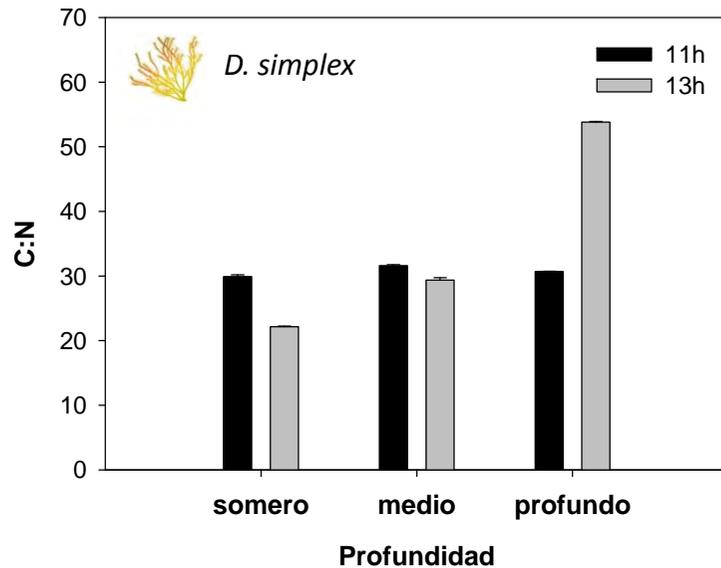
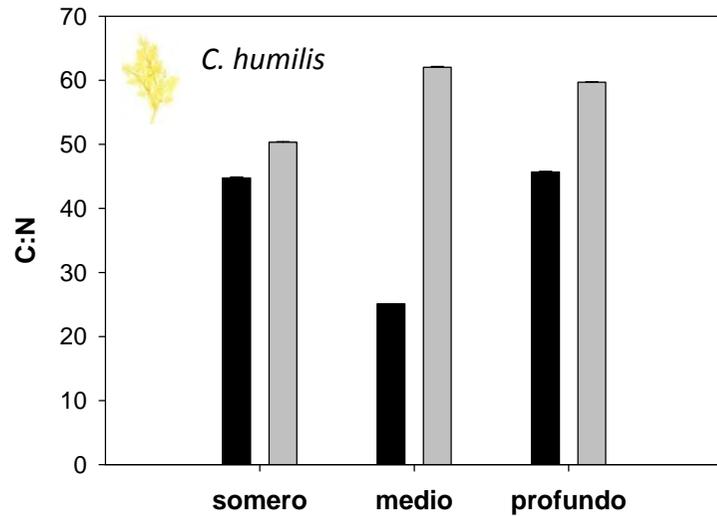


➤ Contenido en fenoles

- Mayor estrato somero

➤ MAAs

- Mayor estrato somero
- Mayor a mediodía



- ↑ C:N en *C. humilis* a mediodía
- ↓ C:N *D. simplex* a mediodía, excepto en el estrato profundo

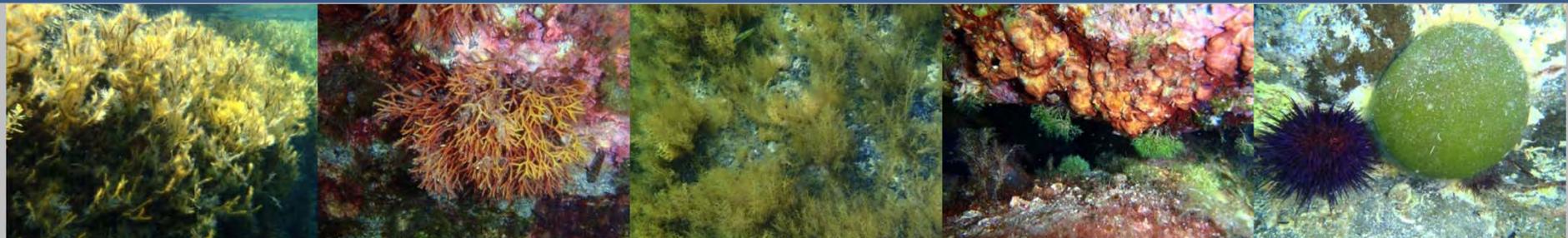
- ✓ Ambas macroalgas modifican su aparato fotosintético y pigmentario y se adaptan a las condiciones de luz en profundidad
  
- ✓ Mejor adaptación de *C. humilis* a la elevada Tª e irradiancia
  - ✓ Menor fotoinhibición
  - ✓ Mayor productividad
  
- ✓ *C. humilis* se encuentra en la situación mas alta en el intermareal Canario
  - ✓ Menor fotoinhibición
  - ✓ Mayor capacidad fotosintética
  - ✓ Mecanismos no fotoquímicos mas activos
  - ✓ Mayor contenido en fenoles

## Capítulo 5. Efectos de la erupción submarina de El Hierro sobre las macroalgas pardas *Padina pavonica* y *Lobophora variegata*

XVII Simposio Ibérico de estudios de  
Biología Marina, 2012

Workshop Climate Change, 2012

En revisión: Journal of Sea Research



Actividad antropogénica

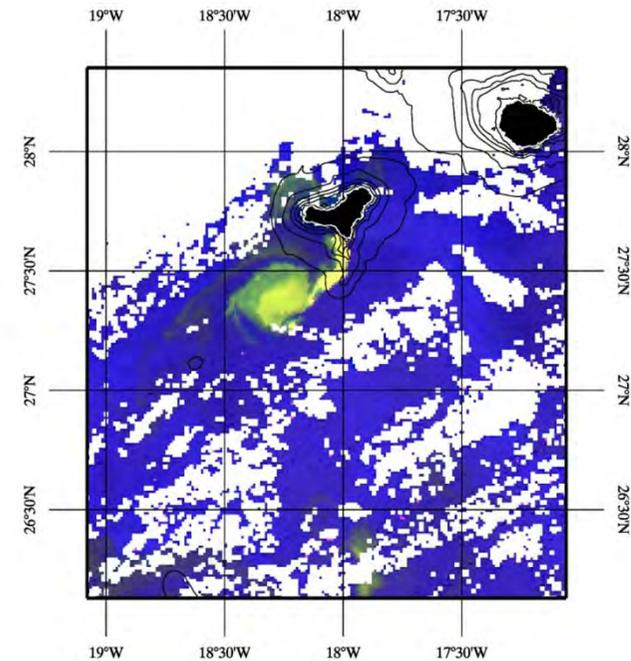
Fuentes Naturales

Acidificación Océano

- Estudios a pequeña escala en laboratorio
- Fenómenos naturales: emisiones volcánicas submarinas
- 10 octubre 2011 se inició erupción submarina Mar de las Calmas

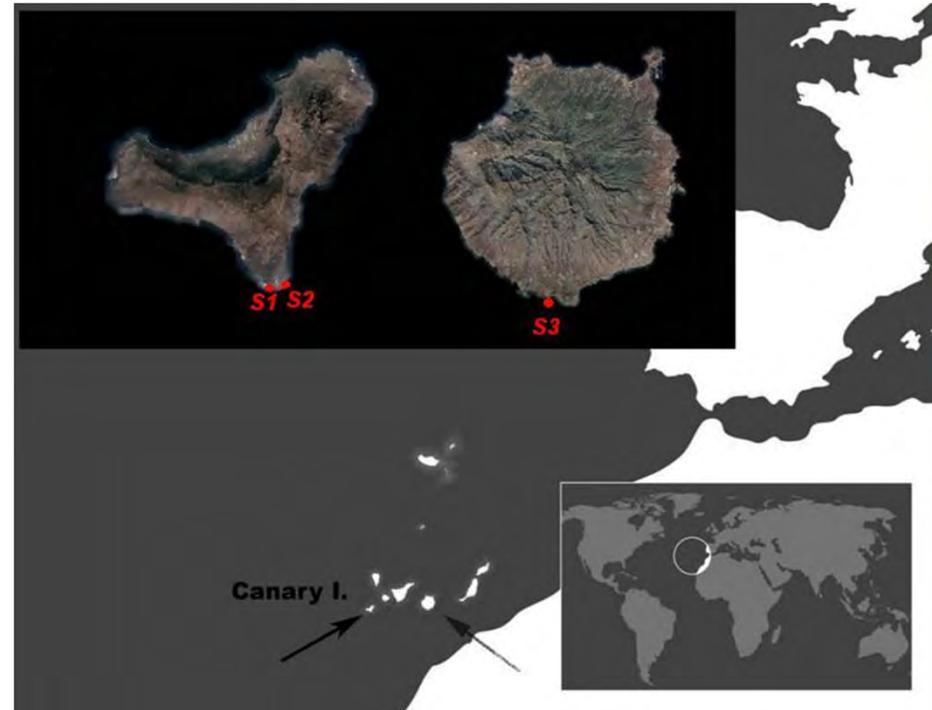
↑ CO<sub>2</sub>, T<sup>a</sup>, nutrientes, metales

- Finalizada 5 de Marzo de 2012



Objetivo: Analizar los efectos de la erupción submarina del Mar de Las Calmas sobre las macroalgas pardas *Padina pavonica* y *Lobophora variegata*

- 2 localidades zona impacto (S1, S2)
- 1 localidad control (S3)
- Eruptivo: Noviembre 2011
- Post-eruptivo: Marzo 2012
- Talos de *P. pavonica* y *L. variegata*
  - Mañana – mediodía (9- 11- 13h)



Parámetros abióticos

- Tª
- pH
- S‰
- PAR

Abundancia  
Morfología

- Cobertura algal
- Porcentaje descalcificación

Actividad  
fotosintética

- Rendimiento óptimo y efectivo
- Curvas ETR vs I

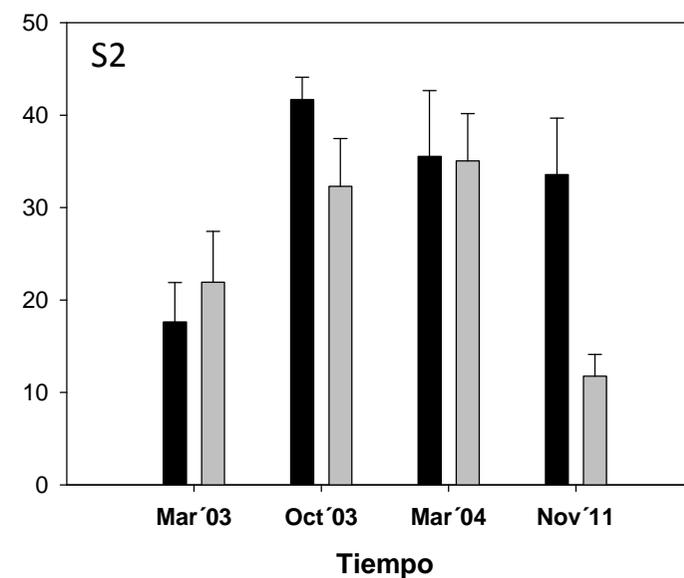
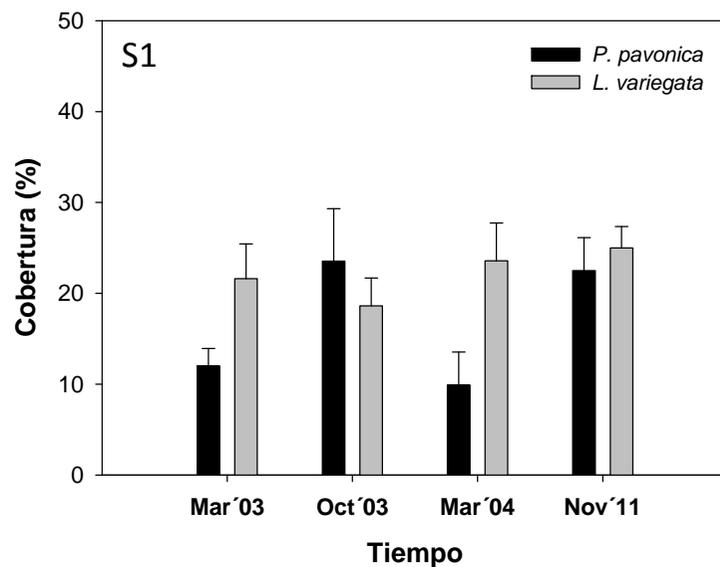
Análisis muestras

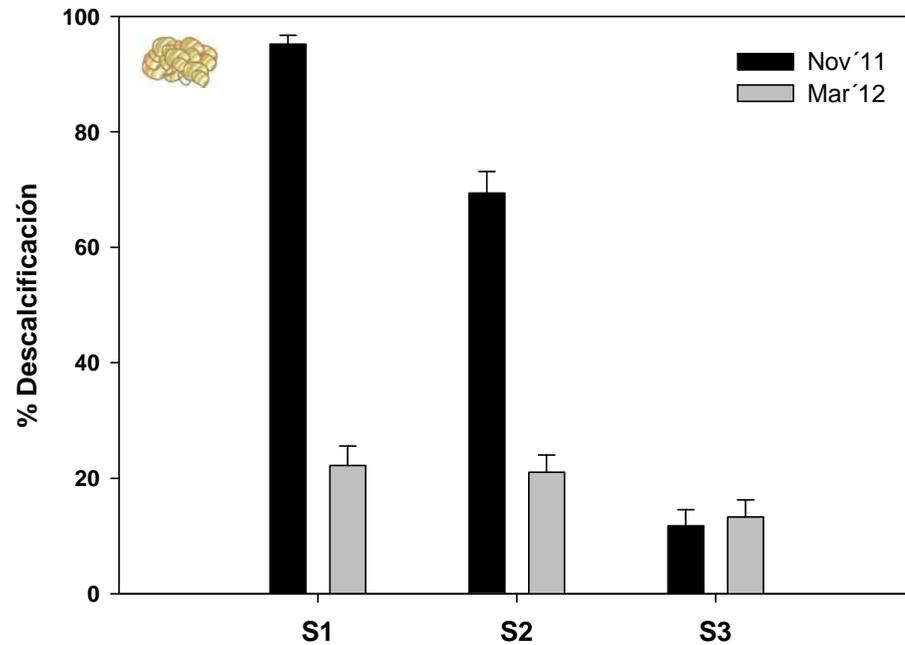
- Fenoles
- Act. Antioxidante
- Pigmentos



Tabla I. Caracterización oceanográfica durante el periodo eruptivo (noviembre 2011) y post-eruptivo (marzo 2012) del agua de mar en las distintas localidades. Medias  $\pm$  error estándar.

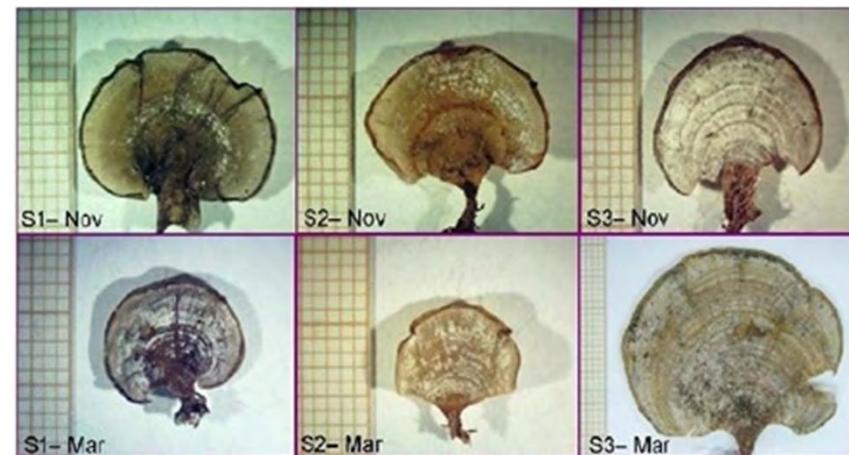
	Noviembre 2011			Marzo 2012		
	pH	T <sup>a</sup>	Salinidad	pH	T <sup>a</sup>	Salinidad
<b>S1</b>	7,54 $\pm$ 0,02	21,71 $\pm$ 0,02	36,74 $\pm$ 0,11	8,43 $\pm$ 0,006	20,13 $\pm$ 0,03	34,70 $\pm$ 0,10
<b>S2</b>	8,09 $\pm$ 0,01	21,31 $\pm$ 0,03	36,75 $\pm$ 0,01	8,50 $\pm$ 0,02	21,30 $\pm$ 0,08	35,30 $\pm$ 0,08
<b>S3</b>	8,45 $\pm$ 0,02	19,80 $\pm$ 0,02	35,12 $\pm$ 0,30	8,51 $\pm$ 0,01	19,52 $\pm$ 0,02	35,08 $\pm$ 0,01

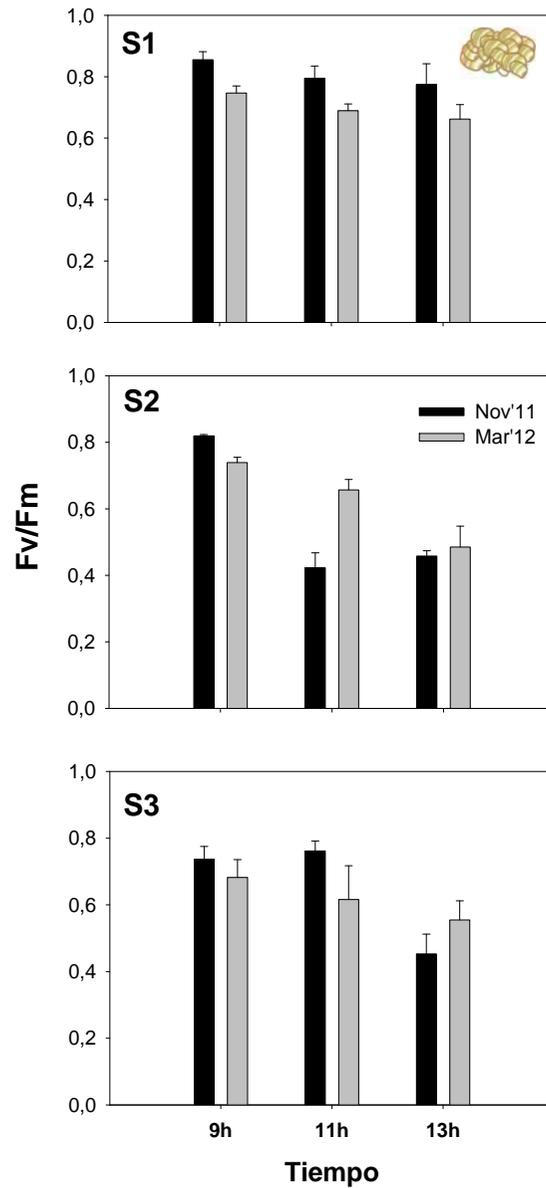




➤ Mayor descalcificación zona impacto vs control

➤ Rápida recuperación



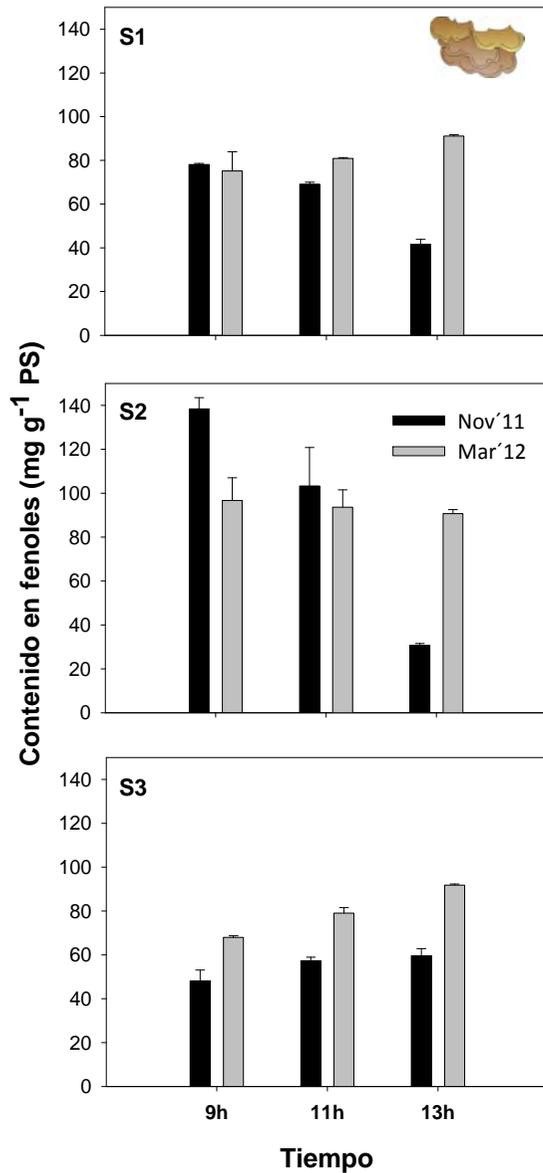


➤ Disminución Fv/Fm con el aumento de la irradiancia

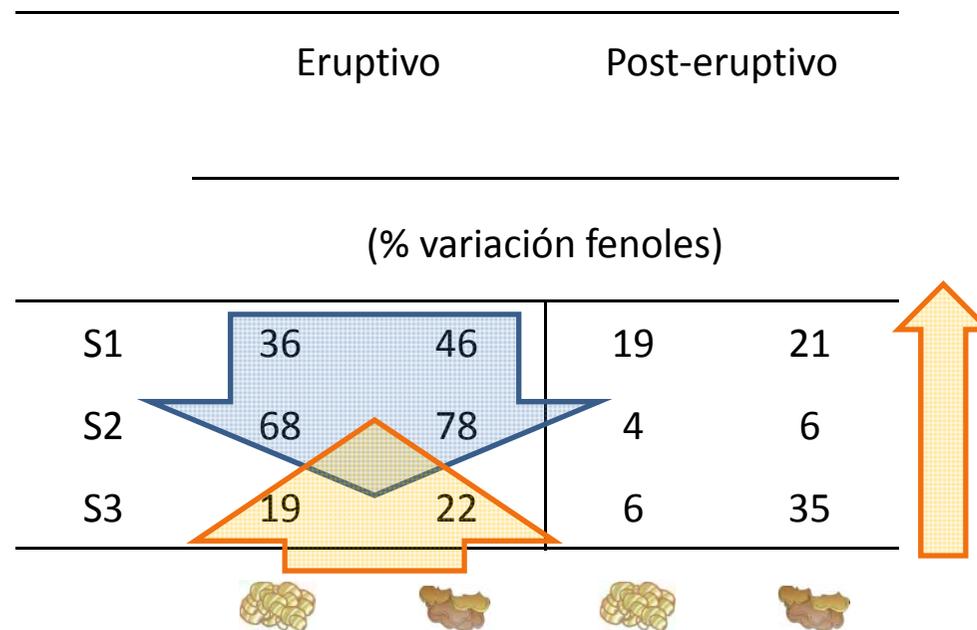
➤ No efectos significativos entre periodo eruptivo y post-eruptivo

Tabla I. Parámetros obtenidos de las curvas ETR vs Irradiancia, donde se observan los datos de ETR<sub>max</sub>, α y E<sub>k</sub> para las distintas *P. pavonica* y *L. variegata* durante la erupción submarina (Noviembre 2011) y al finalizar el evento eruptivo (Marzo 2012)

	S1		S2		S3	
	Noviembre 2011	Marzo 2012	Noviembre 2011	Marzo 2012	Noviembre 2011	Marzo 2012
 <b><i>P. pavonica</i></b>						
ETR <sub>max</sub>	106,90 ± 4,94	71,71 ± 7,59	64,11 ± 9,77	83,96 ± 11,70	80,13 ± 10,36	88,21 ± 7,43
α <sub>ETR</sub>	0,24 ± 0,04	0,35 ± 0,047	0,20 ± 0,025	0,29 ± 0,020	0,43 ± 0,06	0,43 ± 0,05
 E <sub>k</sub>	450,66 ± 20,27	232 ± 50,91	317,66 ± 45,52	285,66 ± 35,59	191,33 ± 31,01	212 ± 28,46
 <b><i>L. variegata</i></b>						
ETR <sub>max</sub>	86,43 ± 12,11	42,72 ± 5,89	76,23 ± 10,58	33,01 ± 4,12	67,53 ± 5,81	55,43 ± 11,08
α <sub>ETR</sub>	0,21 ± 0,02	0,16 ± 0,012	0,18 ± 0,02	0,14 ± 0,007	0,25 ± 0,02	0,23 ± 0,042
E <sub>k</sub>	406,33 ± 41,24	262,66 ± 34,10	392,66 ± 87,09	230,66 ± 27,19	268,33 ± 11,32	237,66 ± 20,01

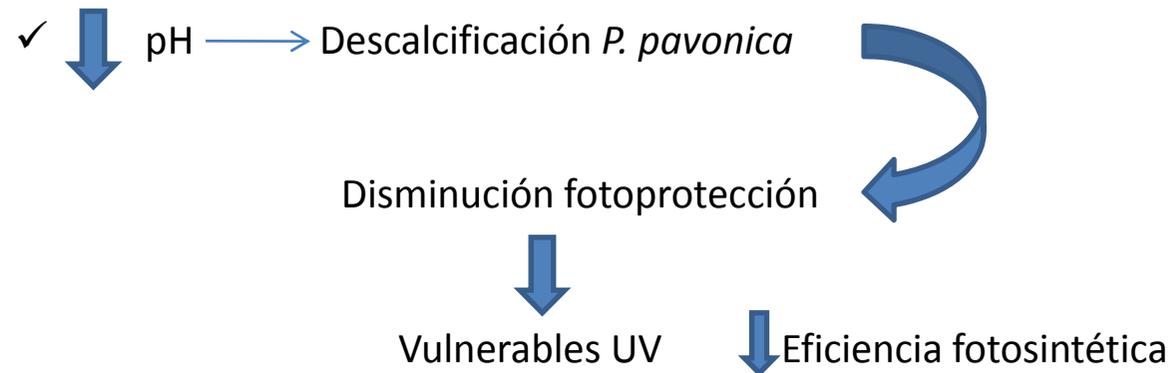


- Disminución contenido fenoles periodo eruptivo
- Aumento en el periodo post-eruptivo
- Correlación positiva en *P. pavonica* y *L. variegata* contenido en fenoles y actividad antioxidante



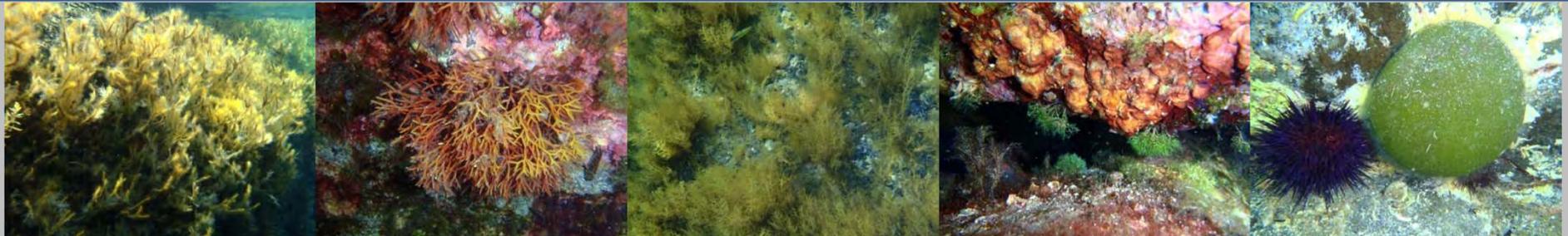
✓ No se observaron diferencias en la abundancia de ambas macroalgas entre el periodo eruptivo y épocas anteriores

✓ El rendimiento óptimo no varió entre periodo eruptivo y post-eruptivo



✓ La pérdida de compuestos fenólicos durante el evento eruptivo

# CONCLUSIONES



- ✓ La variación del Fv/Fm y del ETR han revelado que mas que los cambios graduales, son los cambios relativamente rápidos en los cambios de estación los que parecen ser relevantes en la capacidad fotosintética y estado fisiológico de *F. spiralis* y su consecuente aclimatación a corto o medio plazo
- ✓ El Fv/Fm y ETR de las algas pardas recolectadas en Lanzarote han revelado que decrecen debido a la combinación de radiación PAR y UV y a su distribución vertical en la costa, donde las especies submareales sufren mayor fotoinhibición que las intermareales
- ✓ La zonación de las distintas especies del género *Cystoseira* en Canarias esta restringida fisiológicamente, donde las especies mas someras o con situación mas elevada en la costa poseen mecanismos de aclimatación mas activos a los distintos estresores ambientales que las especies mas profundas
- ✓ El patrón de zonación esta determinado fisiológicamente y varia según la especie, revelando mejor aclimatación a altas T<sup>a</sup> e irradiancias en *C. humilis* con respecto al resto de especies de *Cystoseira* que habitan a mayor profundidad y que el alga roja *D. simplex*
- ✓ Se produjo un ajuste del aparato pigmentario en las macroalgas de estudio, observándose una disminución del contenido de pigmentos en meses y en horas, de mayores irradiancias

- ✓ El contenido en pigmentos fue superior en especies submareales que en especies intermareales, revelando una adaptación a la profundidad
- ✓ Se obtuvo una correlación positiva entre el contenido en fenoles y la actividad antioxidante, revelando la acción de estos compuestos como mecanismos de fotoprotección
- ✓ El contenido en fenoles fue mayor para las especies intermareales que en las submareales, revelando un patrón de zonación con la profundidad
- ✓ El contenido en aminoácidos tipo micosporinas disminuyó en los ejemplares más profundos de *D. simplex*, revelando la capacidad de fotoprotección de estos compuestos
- ✓ Los ratios C:N mostraron mayor peso del metabolismo del C en algas intermareales y mayor asimilación del N en algas submareales
- ✓ La calcificación de *P. pavonica* se vio afectada por la disminución del pH debido a la erupción submarina, observándose mayor descalcificación a menor pH
- ✓ Las condiciones de acidificación en las localidades impactadas de la isla de El Hierro provocaron una disminución del contenido en fenoles durante el evento eruptivo, recuperándose una vez restablecidos los niveles de pH



**Bioindicadores funcionales en macroalgas del litoral canario:  
evaluación de la vulnerabilidad y aclimatación al estrés ambiental**

**Séfora Betancor Curbelo**



CGL 2008-05407-C03



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS  
DE GRAN CANARIA