

ULL

Universidad
de La Laguna



Facultad de Ciencias
Sección BIOLOGÍA

Departamento de Biología Animal,
Edafología y Geología.

Primary production and calcifying activity
of the rocky benthic communities of
Tenerife.

Producción primaria y calcificación de las
comunidades bentónicas de fondos rocosos
de Tenerife.

Trabajo Fin de Grado

MARÍA CRISTINA GONZÁLEZ MONJE

Septiembre, 2015

SOLICITUD DE DEFENSA Y EVALUACIÓN TRABAJO FIN DE GRADO Curso Académico: 2014 /2015	ENTRADA Fecha: Núm:
---	--------------------------------------

Datos Personales


Nº DNI o pasaporte: 79060668P	Nombre y Apellidos: María Cristina González Monje
Teléfono: 686202323	Dirección de correo electrónico: cris.gonmo.93@gmail.com

SOLICITA la defensa y evaluación del Trabajo Fin de Grado

TÍTULO

Producción primaria y calcificación de las comunidades bentónicas de fondos rocosos de Tenerife.

Autorización para su depósito, defensa y evaluación

D./Dña. José Carlos Hernández Pérez
Profesor/a del Departamento de Biología Animal, Edafología y Geología
autorizan al solicitante a presentar la Memoria del Trabajo Fin de Grado

Fdo.: José Carlos Hernández Pérez

La Laguna, a 17 de Agosto de 2015

Firma del interesado/a



SR/A. PRESIDENTE DE LA COMISIÓN DE GRADO DE LA FACULTAD DE BILOGÍA

ÍNDICE

1. Introducción	1
2. Material y métodos.....	2
2.1 Obtención de las muestras.....	2
2.2. Establecimiento en condiciones experimentales de laboratorio.....	4
2.3. Medición de la actividad metabólica.....	5
2.4. Medición de la alcalinidad y calcificación.....	6
3. Resultados.....	8
4. Discusión.....	13
5. Conclusiones... ..	15
6. Agradecimientos.....	17
7. Referencias.....	17

RESUMEN

El presente estudio está centrado en analizar la capacidad de absorción y retención de CO₂ de cuatro comunidades bentónicas de los fondos rocosos del litoral de Tenerife (*Lobophora variegata*, *Cystoseira abies – marina*, gelidiales y blanquizal). Empleando un diseño experimental en condiciones de laboratorio, se determinó la actividad metabólica de las comunidades (fotosíntesis y respiración) mediante la medición de oxígeno disuelto (DO), así como la alcalinidad total (TA) mediante un titrador digital. A partir de los valores obtenidos en las medidas y haciendo uso del paquete del software “R”, CRAN “seacarb”, se pudo calcular, tanto la producción neta (Pn), como la calcificación (G). Una vez obtenidos los resultados, pudimos comparar la eficiencia de cada una de las comunidades y establecer una escala. El estudio concluyó que la comunidad de gelidiales puede actuar como sumidero de CO₂ al presentar una tasa de producción neta y calcificación similares. Sin embargo, se hacen necesarios estudios *in situ* mediante cámaras bentónicas, para determinar la capacidad real de las comunidades.

Palabras clave.- alcalinidad, calcificación, comunidades bentónicas, metabolismo, producción neta.

ABSTRACT

The present study is focus on the analysis of absorption and sequestration of CO₂ by four benthic communities of rocky reefs in the litoral of Tenerife (*Lobophora variegata*, *Cystoseira abies – marina*, gelidiales and barren). Using a experimental design in the laboratory we determined the metabolic activity of the communities (photosynthesis and respiration) by measuring dissolved oxygen (DO), and total alkalinity (TA) using a digital titrator. We used the obtained values and the software “R”, with CRAN “seacarb” package, to estimate net production (Pn) and calcification (G). Ones we obtained the results we could compare the efficiency of each benthic communities and established a scale. The study concluded that the gelidiales community can act as a CO₂ sink due to a very similar rate of net production and calcification. However, *in situ* studies, using benthic chambers to determinate the real assemblages capacity are required.

Keywords.- alkalinity, benthic communities, calcification, metabolism, net production.

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático es un proceso natural y cíclico que ha tenido lugar a lo largo de la historia de la Tierra; sin embargo, se ha visto acelerado e incrementado de forma más acusada debido a la actividad humana, sobre todo a partir de la Revolución Industrial (1750), siendo la quema de combustibles fósiles la causa de mayor impacto; junto a la agricultura extensiva y la deforestación (IPCC, 2013). Esto conlleva un incremento en la acumulación de CO₂ atmosférico y un aumento de la temperatura a nivel global por efecto invernadero. Se ha estimado que una cantidad doble de CO₂ atmosférico preindustrial podría dar lugar a un aumento de las temperaturas en un rango de 1.5 – 4.5°C (Seinfeld y Pandis, 2006). Además, las predicciones apuntan a que dicho aumento de CO₂ se irá incrementando a lo largo de este siglo y, a menos que se reduzca de manera sustancial las emisiones de este gas, puede llegarse a alcanzar concentraciones que excedan las 1000ppm, lo cual implicaría una de las mayores niveles experimentados por la atmósfera de la Tierra en millones de años (Royal Society, 2005).

Otra consecuencia del aumento del CO₂ es la acidificación de los océanos, o disminución del pH del agua de mar. Los océanos resultan de gran importancia en el intercambio de CO₂ con la atmósfera, ya que en el pasado eran capaces de absorber alrededor de la mitad de este gas liberado por la actividad humana. Sin embargo, la liberación de CO₂ a la atmósfera se ha ido acrecentando cuantiosamente en los últimos años, saturando la capacidad de absorción de este gas por parte de los océanos y mares; con lo cual, es mayor la cantidad de este gas invernadero que queda acumulada en la atmósfera, incrementando el efecto de cambio climático. La variación en la concentración de CO₂ en el agua de mar está en total relación con el tiempo en el que esta agua haya estado en contacto con la atmósfera y la capacidad *buffer* de la misma, o factor de Revelle. Este factor describe cómo la presión parcial de CO₂ en agua varía para un determinado valor o cambio en el carbono inorgánico disuelto (DIC). La capacidad de los océanos para tomar CO₂ antropogénico desde la atmósfera es inversamente proporcional al valor del factor de Revelle (Sabine et al., 2004).

La superficie del agua de mar es ligeramente alcalina, con un pH aproximado de 8.2 y un margen de variación de ± 0.3 unidades dependiendo de la zona (Royal Society, 2005). Uno de los sistemas más importantes para el control de pH del agua de mar, es el sistema del carbono inorgánico disuelto. El DIC en el agua de mar existe en tres formas químicas diferentes: ion bicarbonato ó HCO_3^- ($\approx 88\%$), ion carbonato ó CO_3^{2-} ($\approx 11\%$) y CO₂ disuelto en agua formando

H₂CO₃ (≈0.5%) (Fabry et al., 2008). Estas especies de DIC se encuentran en el siguiente equilibrio en disolución:



Cuando el CO₂ se disuelve en el agua, se forma H₂CO₃ que, rápidamente, se disocia en un ion hidrógeno y en HCO₃⁻. Este H⁺ puede reaccionar con el CO₃²⁻ y formar un bicarbonato. Por tanto, al añadir una mayor concentración de CO₂ al sistema, este se desplaza hacia la formación de iones hidrógeno, con la consecuente disminución del pH del agua de mar. Esta disminución del pH se ve traducido en una mayor dificultad de ciertos organismos para llevar a cabo procesos biológicos tan importantes como la calcificación, teniendo que destinar una mayor parte de su energía metabólica a dicho proceso y dificultando otros procesos vitales de estos organismos (Royal Society, 2005).

Por esta razón es por la que desde hace unos años, se están llevando a cabo estudios acerca de la capacidad de diferentes comunidades marinas para captar CO₂; todo ello con vistas a la implantación de un futuro plan de protección de dichas zonas con la finalidad de preservar estos potenciales sumideros de CO₂, teniendo en cuenta las predicciones de cambio climático descritas anteriormente. Si bien es cierto que existen muchos estudios acerca de varios ecosistemas (como los fondos de fanerógamas marinas, arrecifes de coral etc.), aún quedan muchos ecosistemas que no han sido estudiados o la información sobre ellos no es suficiente, como es el caso de las comunidades bentónicas de fondos rocosos.

De esta forma, el presente estudio tendrá como objetivo analizar y estudiar de forma experimental en condiciones de laboratorio, la capacidad de dichas comunidades para absorber CO₂ y mitigar los efectos de cambio climático como la acidificación.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Obtención de muestras

Para la realización de las medidas del metabolismo y alcalinidad de las diferentes comunidades, se hizo necesaria la recolección de rocas o fragmentos de rocas de un tamaño similar con una muestra significativa de la comunidad bentónica: *Lobophora variegata*, *Cystoseira abies – marina*, gelidiales y blanquizal (Fig. 1). El material fue recolectado en aquellas zonas en las que las comunidades se encontraban bien establecidas y eran abundantes:

- Comunidades de *Lobophora variegata* y *Cystoseira abies – marina*: en Punta del Hidalgo.
- Comunidad de gelidiales: en Puerto de la Cruz.
- Comunidad de blanquizal: en Abades.

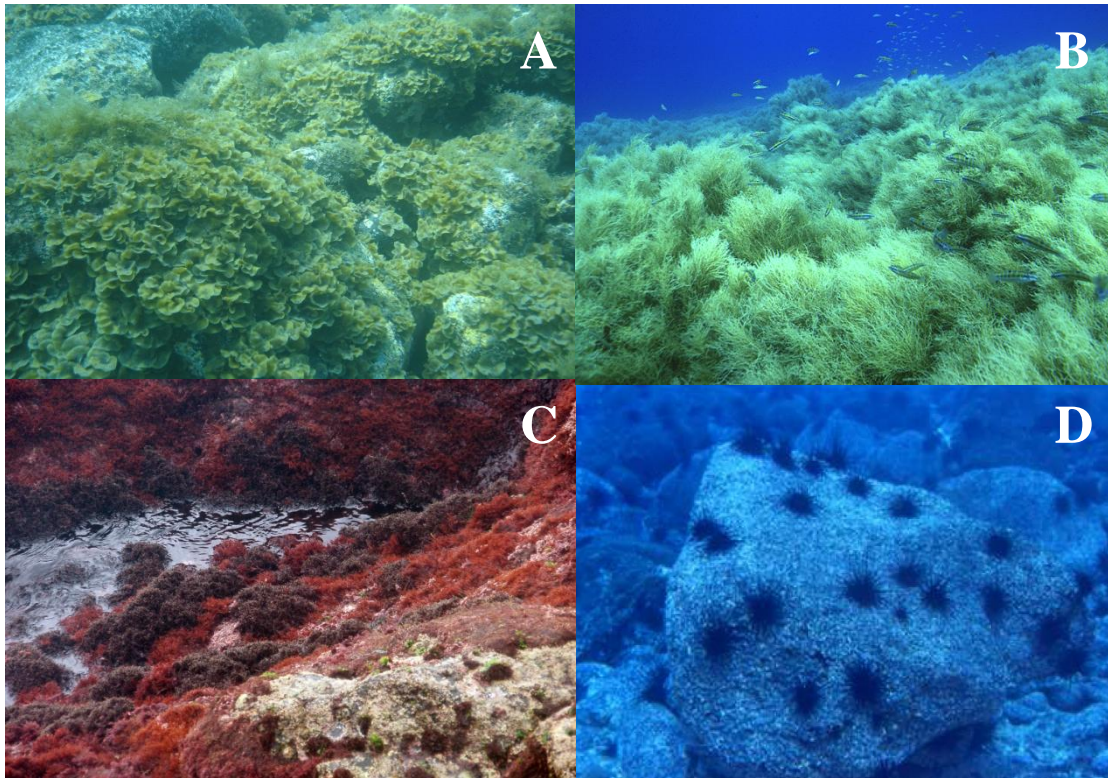


Figura 1. Comunidades bentónicas estudiadas en el presente trabajo. A. *Lobophora variegata*; B. *Cystoseira abies – marina*; C. Gelidiales; D. Blanquizales.

2.2. Establecimiento en condiciones experimentales de laboratorio

Una vez obtenidas las muestras, fueron transportadas al laboratorio húmedo (Fig. 2) del Departamento de Biología Animal, Edafología y Geología, situado en la Sección de Biología de la Facultad de Ciencias de la Universidad de La Laguna, donde se sometieron a una incubación en condiciones controladas de luz, oscuridad y temperatura. Dichas incubaciones fueron realizadas en mesas contenedoras de agua de mar esterilizada proveniente del Instituto Español de Oceanografía (IEO), que se mantenía por un lado a unas condiciones ambientales de temperatura y, por otro, a unas condiciones controladas de salinidad y pH: la primera, mediante el uso de agua de mar para compensar la evaporación y estabilizar la salinidad; y la segunda, mediante el uso de ordenadores de pH de los que dispone el grupo de investigación.



Figura 2.- Mesas de agua del laboratorio húmedo del Departamento de Biología Animal, Edafología y Geología de la Sección de Biología de la Facultad de Ciencias de la ULL.

Una vez teníamos las muestras, estas se introducían en botes de plástico de igual tamaño y con capacidad para contener la roca y agua de mar hasta el borde del recipiente, en condiciones idénticas para cada una de las muestras. Estos botes se sellaban con film transparente fijado con un elástico, quedando el film en contacto con la superficie del agua y reduciendo por completo el posible espacio de aire. Finalmente, los recipientes se introducían en las mesas de agua, que se cubrían con un plástico negro y se sellaban con un elástico, aislando totalmente a las muestras de la luz externa.

Para recrear las condiciones de luz – oscuridad, se emplearon dos métodos:

- 1) Para las condiciones de oscuridad: se utilizó la técnica mencionada anteriormente, asegurando una completa oscuridad en el interior de las mesas.
- 2) Para las condiciones de luz: se emplearon lámparas de xenón de 8000K que se colocaron en el interior de las mesas con un soporte de plástico. Este tipo de lámpara es más apropiado para la estimulación de la fotosíntesis en plantas

terrestres, pero se comprobó durante el diseño experimental que también funcionaban para algas.

2.3. Medición de la actividad metabólica.

Se realizaron incubaciones de 1 hora con 10 réplicas de cada comunidad, tanto en condiciones de luz como de oscuridad (20 muestras por comunidad en total).

Una vez pasado el tiempo de incubación establecido, se procedió a la medición del metabolismo de las muestras. Para ello, se tomó cada uno de los recipientes, se sacó de la mesa de agua, se destapó y se agitó para homogeneizar la muestra. Con ayuda de un bote para la toma de muestras de orina, se rellenó un vaso de precipitado de 200ml con parte del agua del recipiente y se sometió a



Figura 3.- Medidor de oxígeno disuelto (DO) empleado en la medición del metabolismo de las comunidades.

un agitador magnético para medir el oxígeno disuelto contenido en la muestra usando un medidor de oxígeno disuelto (DO) (Fig. 3). Además, empleamos agua de mar esterilizada y en las mismas condiciones que las muestras para tener un control.

Para evaluar el metabolismo de las comunidades, se utilizó la capacidad fotosintética y respiratoria de las mismas, que fueron medidas a través del cálculo de la producción neta (P_n) según las siguientes fórmulas:

$$P_n (luz) = \frac{\left(\left(\frac{\Delta DO \text{ metabolismo luz}}{32} \right) \times 10^3 \right)}{1,024}$$

$$P_n (luz) = \frac{\left(\left(\frac{\Delta DO \text{ metabolismo oscuridad}}{32} \right) \times 10^3 \right)}{1,024}$$

$$P_n (\text{media por hora}) = \frac{P_n \text{ luz} + P_n \text{ oscuridad}}{2}$$

2.4. Medición de la alcalinidad y calcificación.

Para la incubación de las muestras que se usarían para las medidas de alcalinidad, se empleó la misma técnica que para el caso de las mediciones del metabolismo, con la diferencia de que se realizaron incubaciones de 18 horas con 10 réplicas de cada comunidad para cada condición de luz u oscuridad establecida. El proceso empleado para la medición de la alcalinidad implicaba mucho tiempo en la realización del mismo, por lo que estas 10 réplicas se dividían en dos días: 5 réplicas con una condición (luz u oscuridad) en un día, y otras 5 réplicas al día siguiente.

Transcurrido el tiempo establecido se tomaron los botes sellados, se sacaron de las mesas, se destaparon y se agitaron levemente para hacer que el contenido fuera lo más homogéneo posible. Se asignaron 4 botes de toma de muestra de orina (100ml) para cada una de las réplicas a medir:

- 1 bote para llenar un vaso de precipitado de 200ml, que se sometería a agitación para medir el DO con ayuda de un medidor de DO. Además, este primer bote se llenaría posteriormente con 80ml de muestra para medir el pH de la misma.
- Los 3 botes restantes servirían para realizar las medidas de alcalinidad posteriores, conteniendo un volumen de 80ml cada uno.

Se tomó también la temperatura y salinidad de las muestras incubadas.

Para el cálculo de la alcalinidad total, después de tomar los 80ml, las muestras se atemperaban sumergiéndolos hasta la mitad en un baño de agua destilada a 25°C y se medía la alcalinidad con el método de Dickson (Dickson et al., 2007) en el que se emplea un titrador *Metrohm Dosimat 665*[®] (Fig. 4):

- 1º) Se toma cada una de las muestras, se pesa en una balanza de precisión y se vacía en el vaso de vidrio del titrador, que está continuamente irrigado en su interior con un flujo de agua destilada a 25°C para asegurar unas condiciones constantes de temperatura. Posteriormente, se introduce la punta de la bureta, el termómetro y el pHmetro.
- 2º) Se pesa el bote que contenía la muestra, ahora vacío.
- 3º) Se somete la muestra a agitación hasta que el pH quede estabilizado. Se añade una cantidad de ácido suficiente hasta que el pH sea aproximadamente 3.500 y se introduce un aireador en la muestra para burbujearla durante 6 minutos como mínimo, con el fin de eliminar la mayor cantidad de CO₂ posible.

4º) Pasados los 6 minutos, se añaden alícuotas de 0.05ml a la muestra hasta llegar a un pH de aproximadamente 3.000. Por cada cantidad de ácido que se añade, se anotan los milivoltios (mV) de la muestra. Se anota la temperatura cada dos o tres medidas.

5º) Una vez terminado el proceso, se desecha la muestra y se limpia tanto el vaso de vidrio para la muestra, como la punta de la bureta, el pHmetro y el termómetro. Antes de pasar a la siguiente muestra es necesario comprobar que no existan burbujas de aire a lo largo del conducto del titriador.



Figura 4.- Titriador modelo Metrohm Dosimat 665® usado en las mediciones de la alcalinidad.

Además de medir las muestras también se hizo necesario, en cada tanda de medidas, realizar una primera medida inicial con agua de mar contenida en las mesas del laboratorio. Estas mediciones fueron necesarias para tener un valor de referencia con respecto a las muestras del experimento.

Todos los datos obtenidos fueron introducidos en un archivo prediseñado de Excel contenido en el paquete del software “R”, CRAN “seacarb”¹, destinado a cálculos de parámetros del “sistema carbonato” del agua de mar. Una vez introducidos los datos en el archivo, se procedió al análisis de los mismos por el método de Gran, enfrentando la función de Gran con la masa de la cantidad de ácido que se iba añadiendo, a fin de obtener una recta (Gran, 1950). A dichos datos se le aplicó un análisis de regresión a través del cual estimamos el valor de la alcalinidad (TA).

Por otro lado, la calcificación (G) fue medida a través de los valores de TA según las fórmulas siguientes:

$$G (luz) = \frac{-\Delta TA luz}{2}$$

$$G (oscuridad) = \frac{-\Delta TA oscuridad}{2}$$

$$G (media por hora) = \frac{G luz + G oscuridad}{2}$$

La mejor manera de comprobar la capacidad de las comunidades de estudio para mitigar el exceso de CO₂ atmosférico es mediante un cómputo global, tanto de la producción neta, como de la calcificación; es decir, tratando los datos en un contexto donde se dé un ciclo completo de 24 horas (día + noche). Una comunidad eficaz y eficiente en dicha tarea sería aquella que fuera capaz de ser una buena productora de oxígeno (alta Pn) y con gran capacidad para la absorción de CO₂ (alta G).

3. RESULTADOS

En primer lugar, se tuvo en cuenta el valor de R² calculado para cada una de las mediciones realizadas, empleando los datos obtenidos a partir de la función de Gran y de la masa de ácido contenido en la muestra tras cada adición (Fig. 6). Este valor de R² tenía un rango de entre 0.998 – 1.000, de forma que se podía afirmar la existencia de una buena correlación entre los datos y que, por tanto, el método resultó adecuado.

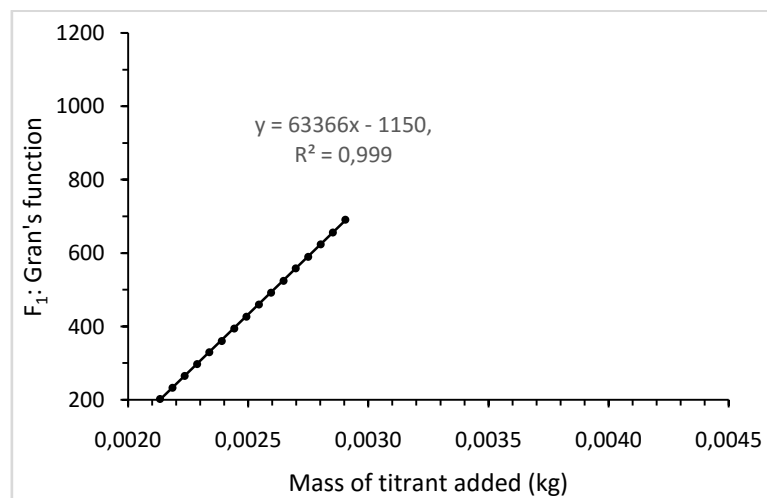


Figura 6.- Gráfico empleado en la aplicación del método Gran, donde se enfrenta la función de Gran con la masa de ácido añadido, mostrando una recta con el coeficiente de regresión correspondiente tras aplicar dicho análisis.

Con dichas medidas, tal y como se explicó en el apartado “Material y métodos”, se procedió al cálculo de Pn y de G, obteniendo una tabla de resultados con todos los valores calculados (Tabla 1). En dicha tabla, además, pueden observarse otros parámetros calculados junto con DO y TA pero que, para el objetivo del presente trabajo, no resultaban imprescindibles, puesto que lo que se pretende con él es dar una visión general de la producción de oxígeno y calcificación de las comunidades de estudio.

En dicha tabla se muestran resaltados en color amarillo y azul los parámetros de interés, Pn y G, respectivamente. Los valores obtenidos fueron, además, representados en varios gráficos de dispersión para poder comparar las variaciones entre las distintas comunidades según el tipo de incubación (día, noche o balance día – noche).

Time	Setup	Mean				
		R	Pn	Pg	G	ΔDIC
Day + Night	Barren	1264	-364	900	-50	414
	Cystoseira	27265	-1935	25330	1259	676
	Gel / Cor	2633	101	2734	127	-228
	Lobophora	1947	443	2391	20	-463
	Seawater	0	0	0	0	0
Day	Barren	1264	536	1800	276	-812
	Cystoseira	27265	23396	50660	2760	-26155
	Gel / Cor	2633	2835	5468	723	-3558
	Lobophora	1947	2834	4781	410	-3243
	Seawater	0	0	0	0	0
Night	Barren	1264	-1264	0	-375	1639
	Cystoseira	27265	-27265	0	-242	27507
	Gel / Cor	2633	-2633	0	-469	3102
	Lobophora	1947	-1947	0	-370	2317
	Seawater	0	0	0	0	0

Tabla 1.- Valores de los parámetros de respiración (R), producción neta (Pn), producción gruesa (Pg), calcificación (G) y variación del carbono inorgánico disuelto (ΔDIC) en condiciones de “día+noche”, “día” y “noche” obtenidos tras las mediciones del metabolismo y la alcalinidad.

En relación a la producción neta en condiciones de luz (Fig. 5), se observa cómo destaca la comunidad dominada por *Cystoseira abies – marina* por encima del resto, con un valor de Pn = 23396 $\mu\text{mol}/\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}$, seguido por las comunidades de gelidiales y de *Lobophora variegata*. La producción se ve mermada cuantiosamente en los blanquizales, pero sin llegar a 0, puesto que en las muestras recolectadas se podían observar pequeños “parches” de algas costrosas.

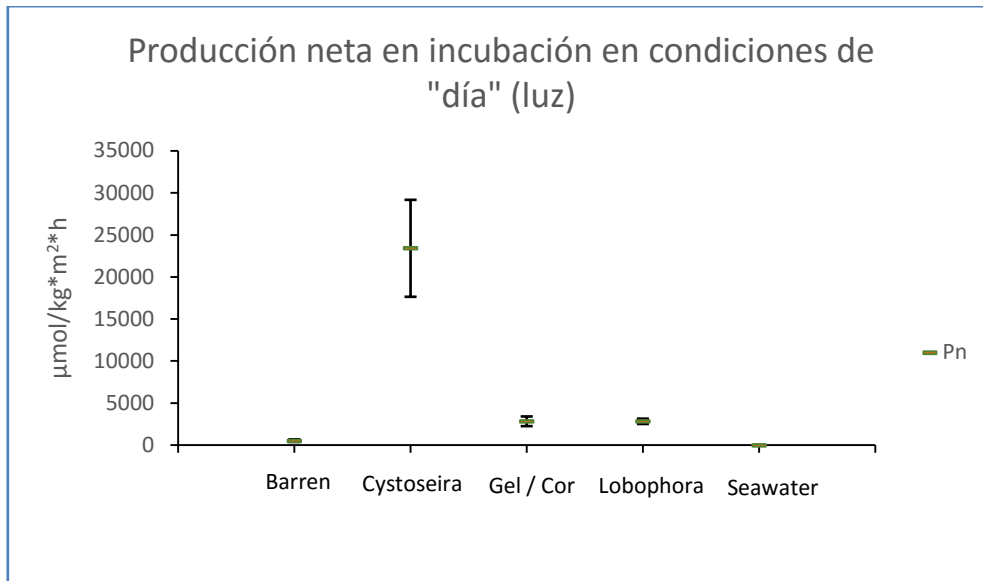


Figura 5.- Valores de Pn de las diferentes comunidades de estudio en incubación en condiciones de “día” (luz).

Con respecto a los valores de calcificación en condiciones de luz (Fig. 6), son proporcionales a los observados en la producción neta de las comunidades. Se destaca la comunidad dominada por *Cystoseira abies – marina* con la mayor capacidad de calcificación durante el día, seguida de la comunidad de gelidiales y la de *Lobophora variegata*. También en este caso, son los blanquizales los que presentan una menor capacidad de calcificación.

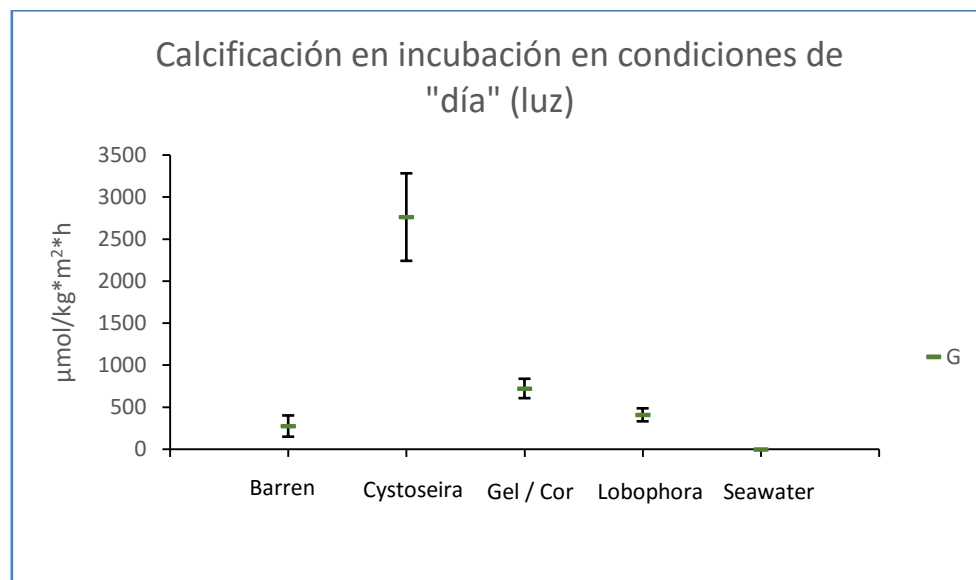


Figura 6.- Valores de calcificación de las diferentes comunidades de estudio en incubación en condiciones de “día” (luz).

Cuando las incubaciones se realizaban en condiciones de oscuridad (noche), la fisiología de la comunidad cambiaba y, por tanto, también los parámetros de producción neta y calcificación.

Con respecto a la Pn en condiciones de oscuridad (Fig. 7), todas las comunidades consumieron oxígeno, dándonos unos valores negativos para este parámetro. De entre todas ellas, la que presenta un mayor consumo fue la comunidad dominada por *Cystoseira abies – marina*, con un valor de $Pn = -27265 \mu\text{mol}/\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}$, superando incluso a su capacidad de Pn durante el día. Por otro lado, las comunidades de gelidiales, *Lobophora variegata* y blanquizal son las que menos consumo de oxígeno presentan.

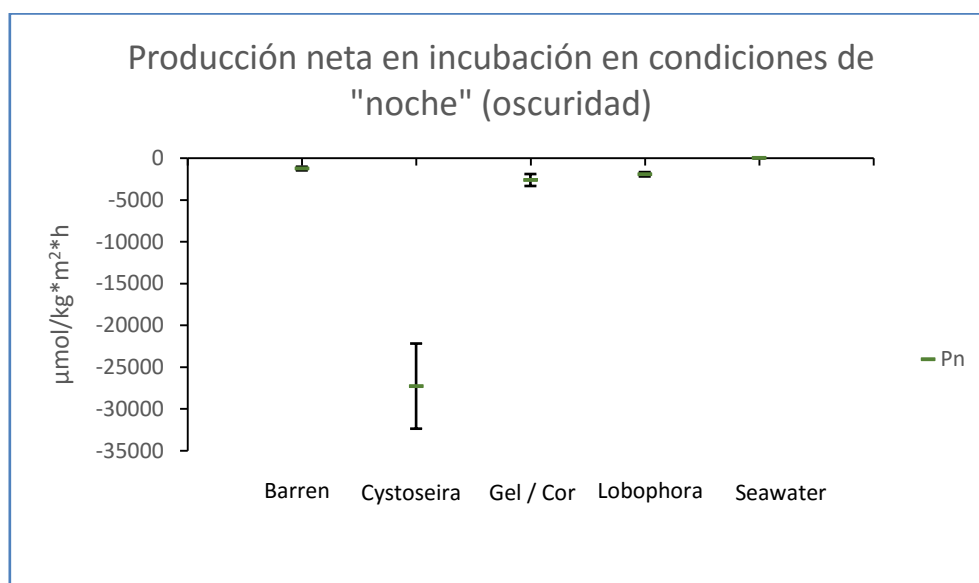


Figura 7.- Valores de producción neta de las diferentes comunidades de estudio en incubación en condiciones de "noche" (oscuridad).

Los cálculos para la calcificación en condiciones de oscuridad (Fig. 8) nos dieron unos valores negativos para todas las comunidades. De ellas, la única que presentó un valor negativo de G mayor que el positivo en condiciones de luz, fue la comunidad de blanquizal, presentando una tasa de calcificación global negativa.

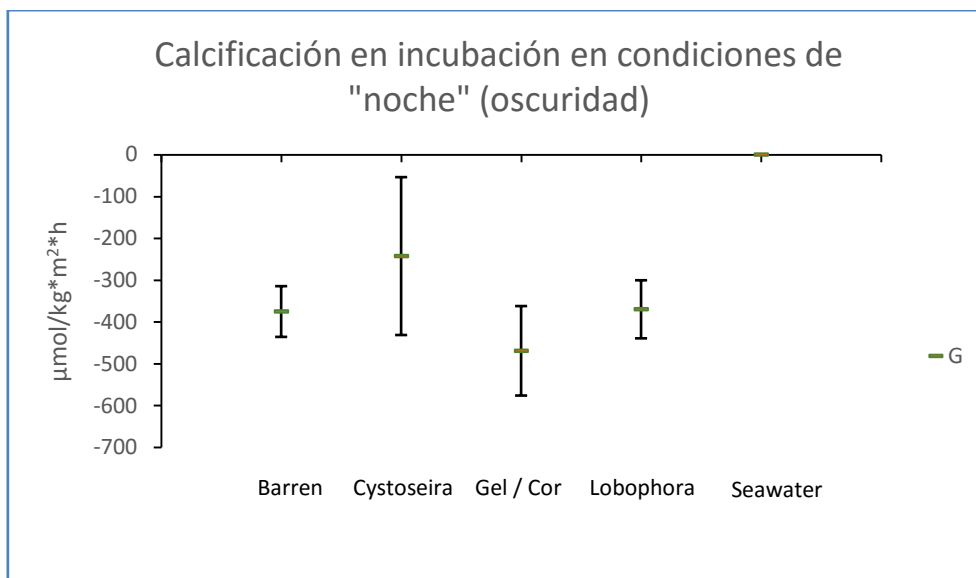


Figura 8.- Valores de calcificación de las diferentes comunidades de estudio en incubación en condiciones de “noche” (oscuridad).

En general, observamos que la comunidad dominada por *Cystoseira abies – marina* es la que más oxígeno consume de todas (Fig. 9), a pesar de presentar una producción de este gas durante el día muy superior al resto. Por otro lado, la comunidad de *Lobophora variegata* es la que muestra una mayor producción neta, con un valor de 443 μmol/kg*m²*h, seguida de la comunidad de gelidiales.

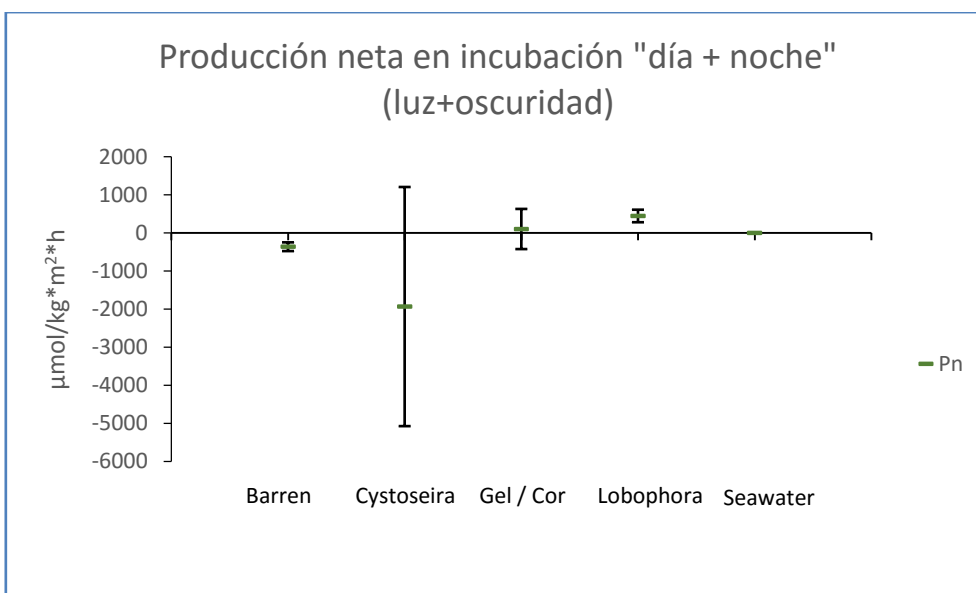


Figura 9.- Valores de producción neta de las diferentes comunidades de estudio en incubación en condiciones de “día + noche” (luz+oscuridad).

En cuanto a los cálculos para la calcificación en condiciones de luz + oscuridad (Fig. 10) observamos valores positivos en todos los casos, a excepción del blanquizal, cuyo valor es negativo. De todas las comunidades estudiadas, la que mayor índice de calcificación presenta es la de *Cystoseira abies – marina*, con un valor de $G = 1259 \mu\text{mol}/\text{kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{h}$, superando casi diez veces el valor de la segunda comunidad con mayor índice de calcificación (gelidiales). La comunidad de *Lobophora variegata* muestra un valor considerablemente inferior al resto.

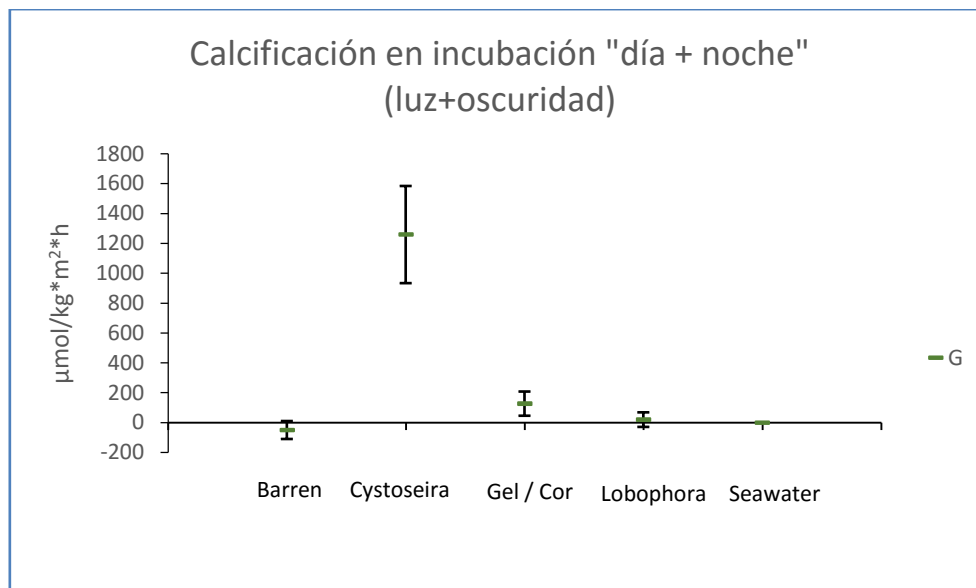


Figura 10.- Valores de calcificación de las diferentes comunidades de estudio en incubación en condiciones de “día + noche” (luz+oscuridad).

4. DISCUSIÓN

Los resultados muestran claramente diferencias entre las comunidades estudiadas con respecto al metabolismo de las mismas y su capacidad de calcificación.

En las medidas de P_n realizadas en condiciones de luz, observamos que los valores asociados a este parámetro son elevados debido, en su mayor parte, a un aumento de la tasa de actividad fotosintética del alga, consumiendo una gran cantidad de CO_2 y liberando, como producto final, el oxígeno. En este aspecto, destaca la comunidad de *Cystoseira abies – marina* como una gran productora de este gas durante el día pero que, sin embargo, cuando se hace un balance entre la producción y consumo de oxígeno, se comprueba que posee una naturaleza más acorde con la captación de este gas que con la producción del mismo; es decir, parece ser una comunidad más heterótrofa que autótrofa. Con respecto a la calcificación,

muestra unos valores positivos, favorecidos por la captación del ión carbonato junto con el Ca^{2+} disuelto en el agua.

Los valores de Pn para las condiciones de oscuridad se comprobaron que eran negativos en todas las comunidades. Esto es debido a que, en ausencia de luz, tiene lugar tanto la fase oscura de la fotosíntesis como la respiración, procesos en los cuales se consume oxígeno.

En este contexto, se observa que la calcificación, al igual que la Pn, presenta valores negativos, pero no se corresponden proporcionalmente unos con otros. Esto podría ser debido a la liberación de CO_2 durante la fase oscura de la fotosíntesis y la respiración; al desprender este gas y no absorberlo, no existe oportunidad alguna de incorporarlo combinado con el Ca^{2+} en forma de bicarbonato y, por tanto, disminuye la calcificación en valores negativos. Esto se traduce en una mayor dificultad de los organismos para calcificar, pudiendo tener lugar el fenómeno de la disolución.

Sin embargo, para llegar a una conclusión real y plausible, se tiene que tener en cuenta estos parámetros de forma conjunta para un periodo de 24 horas. De esta forma, podemos concluir que, tanto el blanquizal como la comunidad de *Cystoseira abies – marina*, presentan unos valores negativos para la Pn, con lo cual resultan *a priori* unas comunidades de poco interés con respecto a la producción de O_2 ; sin embargo, los valores de calcificación registrados para esta última comunidad son los más altos, por lo que podría ser un potencial sumidero de CO_2 .

Por otro lado, la comunidad de *Lobophora variegata* y la de gelidiales muestran un valor de Pn positivo, con lo cual resultan de gran valor en cuanto a la producción de oxígeno; sin embargo, no presentan una alta tasa de calcificación si se compara con el caso de *Cystoseira abies – marina*, por lo que no serían altamente rentables como sumideros de CO_2 . En el caso de la comunidad de *Lobophora variegata* presenta un buen índice de producción neta, con lo cual funcionaría muy bien como fuente de oxígeno, aunque no como comunidad con un alto grado de capacidad calcificante. En el caso de la comunidad de gelidiales, presenta índices similares, tanto de Pn como de G; si bien no son unos valores excesivamente elevados.

5. CONCLUSIONES

Las conclusiones que se extraen de este estudio son:

1. Se presenta por primera vez, un diseño experimental que permite analizar la capacidad de producción neta y de calcificación de comunidades bentónicas de la isla de Tenerife, en condiciones de laboratorio y con un método cuyo margen de error es lo suficientemente pequeño como para ponerlo en práctica de forma habitual.
2. El “método de Gran” contenido en el paquete de Excel “seacarb, resulta de gran utilidad en este tipo de estudios de simulación de acidificación de océanos, proporcionando buenos resultados con un margen de error muy pequeño.
3. Para conocer la capacidad mitigadora de las diferentes comunidades, es necesario estudiarlas en un contexto que englobe condiciones de 24 horas (día + noche) y no solo teniendo en cuenta los valores obtenidos en ambas condiciones por separado.
4. La comunidad de *Cystoseira abies – marina* destaca por presentar la mayor capacidad de calcificación de las comunidades estudiadas; sin embargo, y con respecto a la producción neta, funciona en mayor medida como una comunidad heterótrofa.
5. La comunidad de *Lobophora variegata* se sitúa como la comunidad con mayor capacidad de producción de oxígeno; sin embargo, su índice de calcificación es muy bajo comparado con el resto de valores.
6. La comunidad de gelidiales se posiciona como una de las más adecuadas con respecto a la mitigación de efectos de cambio climático, puesto que presenta una tasa de producción neta y de calcificación muy similar; con lo cual es capaz, tanto de captar CO₂ atmosférico como de producir oxígeno de manera muy eficiente.
7. Se hacen necesarios estudios posteriores, *in situ*, en los que se tengan en cuenta otros factores, tanto físicos (producción gruesa, variación de DIC, respiración etc.), como ecológicos (interacciones con microfauna y macrofauna, influencia de factores antrópicos etc.). Con todo ello se podría llegar a un resultado concluyente sobre la

capacidad mitigadora de cambio climático de dichas comunidades, con la finalidad de implementar medidas de conservación acordes.

The conclusions from this study are:

1. It is presented for the first time an experimental design that allows analyzing the net production and calcification of benthic communities in Tenerife Island, under laboratory conditions and with a method that shows a low error rate, enough to use it habitually.
2. The “Gran Method”, included at the Excel “seacarb” package, is very useful for this type of ocean acidification simulation studies generating good results with a low error rate.
3. To find out the mitigating capacity of the different communities, it is necessary to study them under 24 hours (day + night) conditions and not only taking into account the obtained values in both conditions separately.
4. The *Cystoseira abies – marina* community stands out among the studied communities because it presents the higher calcification capacity. However, and regarding to the net production, it works like a heterotrophy community.
5. The *Lobophora variegata* community is the community with the higher oxygen production capacity. However, its calcification index is lower compared to the other obtained values.
6. The gelidiales community is one of the most efficient communities to mitigate the excess of CO₂, because it shows a very similar net production and calcification rates; in this sense, it is able to absorb and sequester atmospheric CO₂, and also to produce oxygen in a very efficient way.
7. Future *in situ* studies taking into account other physical (gross production, DIC variation, respiration etc.) and ecological factors (interactions with microfauna and macrofauna, influence of anthropic factors etc.) are required. Those studies could help us to reach conclusive results about the mitigation capacity of these communities in natural environments, and to promote appropriate conservation management actions.

6. AGRADECIMIENTOS

Agradecer el apoyo y la atención prestados durante el transcurso de la realización del trabajo a todo el equipo del grupo de Biología Marina de la Universidad de La Laguna implicados en el proyecto del Plan Nacional 2013 BLUEROCK del Ministerio de Economía y Competitividad; en especial a su investigador principal Dr. José Carlos Hernández, así como a su doctorando, Laureano González – Granda y la estudiante de máster Débora Terrosu, de la Universidad de Sassari.

7. REFERENCIAS

Dickson, A.G., Sabine, C.L. and Christian, J.R. (Eds.) 2007. *Guide to best practices for ocean CO₂ measurements*. PICES Special Publication 3, 191 pp.

Fabry, V. J., Seibel, B. A., Feely, R. A., Orr, J. C. 2008. Impacts of ocean acidification on marine fauna and ecosystem processes. *ICES Journal of Marine Science*. 65: 414 – 432.

Gran, G. 1950. Determination of the equivalence point in potentiometric titrations. *Acta Chemica Scandinavica*. 4: 559-577.

IPCC. 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Stockholm, Sweden.

Royal Society. 2005. *Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide*. The Royal Society, London.

Sabine, C. L., Feely, R. A., Gruber, N, Key, R. M., Lee, K, Bullister, J. L., Wanninkhof, R, Wong, C. S., Wallace, D. W. R., Tilbrook, B, Millero, F. J., Peng, T – H, Kozyr, A, Ono, T, Rios, A. F. 2004. The oceanic sink for anthropogenic CO₂. *Science*. 5682: 367 – 371.

Seinfeld, J. H., Pandis, S. N. 2006. Chapter 1: The Atmosphere. *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change*. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, Nueva York.

¹CRAN: Package seacarb. <http://CRAN.R-project.org/package=seacarb>. [Fecha de consulta: 30 de Julio de 2015]