



UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE BIOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE ECOLOGÍA

**EFFECTO DE LA INTENSIDAD LUMÍNICA EN LA MORFOLOGÍA Y
DISTRIBUCIÓN DE UNA ESPONJA CON FOTOSIMBIONTES, *Aplysina
fulva*, EN UNA LOCALIDAD DEL PARQUE NACIONAL ARCHIPIÉLAGO
LOS ROQUES**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO
Presentado ante la Ilustre Universidad
Central de Venezuela, por la **Br. Daniela
M. Betancourt Pérez** como requisito
parcial para optar al título de Licenciado en
Biología

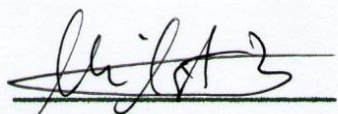
Tutora: Dra. Estrella Villamizar

CARACAS, VENEZUELA
Febrero, 2012

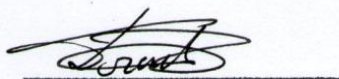
**DEL EXAMEN PÚBLICO Y SOLEMNE DEL TRABAJO ESPECIAL DE
GRADO DE LA Br. DANIELA MARÍA BETANCOURT PÉREZ**

Quienes suscribimos, miembros del jurado evaluador designado por el consejo de la Escuela de Biología de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela para examinar el Trabajo Especial de Grado de la Br. Daniela María Betancourt Pérez, C.I: V-18.364.019, titulado **"Efecto de la intensidad lumínica en la morfología y distribución de una esponja con fotosimbiontes *Aplysina fulva*, en una localidad del Parque Nacional Archipiélago Los Roques"**, para optar al título de Licenciado (a) en Biología opción Ecología, considerando que dicho trabajo cumple con los requisitos exigidos en los reglamentos respectivos lo consideramos **APROBADO**.

Para dar fe de ello se levanta la presente acta en Caracas, a los veintisiete días del mes de febrero del año 2012, dejando constar que la Dra. Estrella Villamizar actuó como coordinadora del jurado examinador. -



Dra. María Cristina Díaz



Dra. Nora Malaver



Dra. Estrella Villamizar

Dedicado a **Mercedes Pérez**, la mejor madre, la mejor amiga.
Y a **María Linares**, por ser luchadora y amorosa.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la vida.

A mi abuelita, por acompañarme siempre.

A mis padres, por educarme para la vida y por su infinito amor.

A mi hermano, por estar siempre tan cerca.

A Juan Pablo, por sus sugerencias y correcciones al manuscrito, por su paciencia y apoyo durante este largo trabajo y principalmente por el amor y el cariño que me ha brindado.

A mi mejor y gran amiga Ana, por los maravillosos momentos que hemos pasado juntas.

A mi tutora Estrella Villamizar, por abrirme las puertas de su laboratorio, por sus conocimientos, apoyo e invaluable amistad.

A la Fundación Científica Los Roques, por financiar la mayor parte de este proyecto, por todo el apoyo logístico brindado, sin el cual no hubiera sido posible la realización de este trabajo.

A los profesores Miembros del Jurado, María Cristina Díaz, Nora Malaver y Sheila Márquez Pauls, por sus aportes, sugerencias y observaciones.

Al profesor Renato de Nobrega, por su buena disposición, paciencia y sentido del humor y por la gran colaboración en el procesamiento de los datos para los análisis estadísticos.

A la Profesora Ilsa Coronel, por su colaboración en el procesamiento de las muestras en el laboratorio.

A Moncho, Chicho, Simón, Ana Cabrera, Mercedes Duque y Ricardo Bernardinez, por la colaboración en el trabajo de campo.

A mis amigos y compañeros, María de los Ángeles Montilla, Gabriela Márquez, Ana Yranzo, Daniel López, Miguel Galindo, Isabel Urbina, Joxmer Scott, Alberto García, entre otros, por los buenos momentos vividos en la carrera.

A todos aquellos que no nombro pero que de una u otra forma colaboraron para que este trabajo pudiera realizarse.

Gracias.

CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE TABLAS.....	II
LISTA DE FIGURAS.....	III
RESUMEN.....	IV
INTRODUCCIÓN.....	1
PROBLEMA DE ESTUDIO.....	4
OBJETIVOS.....	4
Objetivo general.....	4
Objetivos específicos.....	4
ÁREA DE ESTUDIO.....	5
MATERIALES Y MÉTODOS.....	7
Especie seleccionada.....	8
Métodos de campo.....	10
Métodos de laboratorio.....	16
Procesamiento de los datos.....	19
RESULTADOS.....	21
Caracterización ambiental de los sitios de experimentación.....	21
Distribución, abundancia y cobertura de esponjas.....	26
Diseño experimental.....	36
DISCUSIÓN.....	51
CONCLUSIONES.....	59
RECOMENDACIONES.....	61
BIBLIOGRAFÍA.....	62

LISTA DE TABLAS

Tabla	Pág.
1. Parámetros físicos medidos a diferentes horas para los dos sitios experimentales.....	22
2. Intensidad lumínica (Lux) medida a diferentes horas para la zona arrecifal....	23
3. Intensidad lumínica (Lux) medida a diferentes horas para la zona de laguna arrecifal.....	24
4. Porcentaje de pérdida de luz con la colocación de los techos experimentales en las diferentes horas del día para la zona de laguna arrecifal.....	25
5. Número de especies, número de individuos por especie, cobertura relativa (%) y su desviación estándar, en la zona de laguna arrecifal.....	28
6. Valores de Riqueza, Equidad y Diversidad en la zona de laguna arrecifal.....	32
7. Medidas iniciales (agosto 2010), finales (septiembre 2010) y cocientes (final/inicial) del largo y proyección de las esponjas en su condición natural (experimento control: sin techo).....	37
8. Medidas iniciales (agosto 2010), finales (septiembre 2010) y cocientes (final/inicial) del largo y proyección de las esponjas sombreadas: techo transparente).....	38
9. Medidas iniciales (agosto 2010), finales (septiembre 2010) y cocientes (final/inicial) del largo y proyección de las esponjas sombreadas: techo negro).....	39
10. Concentraciones iniciales (agosto 2010) y finales (septiembre 2010) de clorofila <i>a</i> en esponjas en su condición natural: control.....	41
11. Concentraciones iniciales (agosto 2010) y finales (septiembre 2010) de clorofila <i>a</i> en esponjas sombreadas: techo transparente.....	43
12. Concentraciones iniciales (agosto 2010) y finales (septiembre 2010) de clorofila <i>a</i> en esponjas sombreadas: techo negro.....	44
13. Concentraciones de clorofila <i>a</i> en distintas ramas de tres esponjas.....	48

LISTA DE FIGURAS

Figura	Pág.
1. Parte litoral venezolano frente al cual se encuentra ubicado el Parque Nacional Archipiélago Los Roques.....	5
2. Mapa del Parque Nacional Archipiélago Los Roques.....	6
3. Fotografía de Dos Mosquises Sur.....	7
4. Estructura experimental de transplante, malla plástica.....	13
5. Estructura experimental, techo transparente.....	15
6. Esquema representativo de las muestras analizadas.....	16
7. Centrífuga Modelo Thermmo Scientific IEC Micro CL 21R.....	17
8. Espectrofotómetro. Modelo Spectronic Genesys 2.....	18
9. Intensidades lumínicas en las diferentes condiciones experimentales a distintas horas.....	25
10. Foto de la zona de laguna arrecifal.....	27
11. Especies más abundantes en la zona de laguna arrecifal.....	29
12. Abundancia total de las especies de esponjas presentes en la zona de laguna arrecifal.....	29
13. Abundancia relativa de las especies de esponjas presentes en la zona de laguna arrecifal.....	30
14. Cobertura relativa de las especies de esponjas presentes en la zona de laguna arrecifal.....	30
15. Frecuencia de aparición de las especies de esponjas presentes en la zona de laguna arrecifal.....	31
16. Foto del morfotipo 1 de la especie <i>Aplysina fulva</i>	33

Figura	Pág.
17. Foto del morfotipo 2 de la especie <i>Aplysina fulva</i>	34
18. Foto del morfotipo 3 de la especie <i>Aplysina fulva</i>	35
19. Cobertura promedio de los tres morfotipos distintos de la especie <i>A. fulva</i>	35
20. Promedio de las proporciones del largo (largo final/ largo inicial) de las ramas de las esponjas de las diferentes condiciones experimentales.....	40
21. Promedio de las proporciones de la proyección (proy final/ proy inicial) de las ramas de las esponjas de las diferentes condiciones experimentales.....	40
22. Concentraciones iniciales y finales de clorofila a en esponjas en su condición natural (control).....	42
23. Concentraciones iniciales y finales de clorofila a en esponjas sombreadas (pvc transparente).....	43
24. Concentraciones iniciales y finales de clorofila a en esponjas sombreadas (pvc negro).....	45
25. Concentraciones de clorofila a iniciales en esponjas con diferentes condiciones experimentales.....	45
26. Concentraciones de clorofila a finales en esponjas con diferentes condiciones experimentales.....	46
27. Concentraciones iniciales y finales de clorofila a en esponjas con diferentes condiciones experimentales.....	47
28. Concentraciones de clorofila a en distintos ramas de una misma esponja (Esponja 1).....	49
29. Concentraciones de clorofila a en distintos ramas de una misma esponja (Esponja 2).....	50
30. Concentraciones de clorofila a en distintos ramas de una misma esponja (Esponja 3).....	50

RESUMEN

Las esponjas marinas frecuentemente presentan gran cantidad y diversidad de asociaciones con bacterias, que van desde relaciones casuales consecuencia de la actividad filtradora de las mismas, hasta estrechas relaciones simbióticas, en las cuales ambos integrantes de la simbiosis se ven beneficiados. Entre éstas se encuentran las asociaciones con endosimbiontes fotosintéticos, como las cianobacterias. La especie de esponja con la que se trabajó en este estudio fue *Aplysina fulva*, la cual presenta una asociación con la cianobacteria unicelular *Synechococcus spongiarium*. Este estudio se realizó en el arrecife de Dos Mosquises Sur del Parque Nacional Archipiélago Los Roques y en una zona de laguna arrecifal adyacente a dicho arrecife. En la caracterización de la comunidad de esponjas de la zona de laguna arrecifal, se identificaron un total de 12 especies de esponjas en un área de 150 m². *Aplysina fulva* resultó ser la especie con mayor abundancia relativa (44,5%) y con mayor cobertura relativa (73,61%). En esta caracterización se encontraron tres morfotipos distintos para dicha especie. El objetivo del estudio fue evaluar la respuesta de los endosimbiontes fotosintéticos de *Aplysina fulva* a la limitación de la luz, mediante la cuantificación de la abundancia de sus fotosimbiontes (estimada a través de la concentración de clorofila a). Las esponjas se sometieron, durante un mismo intervalo de tiempo, a diferentes condiciones experimentales, en las cuales se varió la intensidad de luz que podían recibir (sin techo, sombreada con techo transparente y sombreada con techo negro). Se obtuvo que las esponjas que fueron sometidas a una mayor limitación de luz, presentaron una mayor concentración de clorofila a al final del período de experimentación, así, de once muestras de esponjas, diez incrementaron su concentración de clorofila a, lo que sugiere que la limitación de luz generó un aumento en la biomasa de sus simbiontes fotosintéticos. Por otra parte, se obtuvo que la variabilidad en la concentración de clorofila a intraindividuo (medida en ramas de una misma esponja) fue tres veces mayor que la variabilidad entre individuos (medida en ramas de esponjas diferentes). Por otro lado, también se evaluaron cambios en los parámetros morfológicos de las esponjas (largo y proyección de las ramas) como posible respuesta a la limitación de luz. Las esponjas que no fueron sometidas a ningún efecto de sombreado (esponjas sin techo o controles), no presentaron cambios significativos en las proporciones del largo y proyección. Por el contrario, las esponjas sometidas a las condiciones de sombreado (techo transparente y techo negro) sí presentaron una variación significativa en la proyección y longitud de sus ramas.

INTRODUCCIÓN

El filo Porífero (del L. *porus*, “poros”; *ferre*, “llevar”) está constituido por los animales a los que conocemos con el nombre común de esponjas. Los poríferos son animales sésiles, suspensívoros y pluricelulares, que carecen de tejidos verdaderos (Brusca y Brusca, 2005).

Las esponjas marinas frecuentemente presentan gran cantidad y diversidad de asociaciones con bacterias, que van desde relaciones casuales, consecuencia de la actividad filtradora de las mismas, hasta estrechas relaciones simbióticas, en las cuales ambos integrantes de la simbiosis se ven beneficiados (Díaz y Rützler, 2001). Entre éstas se encuentran las asociaciones con endosimbiontes fotosintéticos, como las cianobacterias, algas verde-azules (Wilkinson y Fay, 1979), dentro de este grupo se incluyen organismos unicelulares, coloniales y filamentosos. Las cianobacterias presentan clorofila *a* y *b* y pigmentos accesorios como son las ficobiliproteínas, que se encuentran situados en los tilacoides (membranas internas donde ocurre la fotosíntesis). Además, son capaces de fijar nitrógeno atmosférico, capacidad que se ha relacionado en muchos casos con la presencia de células especializadas denominadas heterocistos, que aparecen en las cianobacterias filamentosas (Izco, 1997). Las cianobacterias son las encargadas de realizar el proceso fotosintético mediante el cual los vegetales utilizan la energía de la luz del sol para llevar a cabo una serie de reacciones químicas, por las cuales se transforma el CO₂ en azúcares simples y se libera oxígeno (Smith, 2005). En las esponjas tropicales las cianobacterias pueden vivir en la mesoglea o en el interior de vacuolas de células especiales de la esponja (bacteriocitos), además, pueden encontrarse en tal cantidad que su biomasa se acerca a la de la esponja, en este caso, las esponjas se comportan más como organismos autótrofos que como filtradores (Wilkinson, 1987).

La biomasa de cianobacterias fotosintéticas casi puede ser igual a la de las células de las esponjas (Wilkinson, 1983 y Cheshire y col, 1997).

En general, la mayoría de los organismos simbioses consiguen en el hospedador esponja, el beneficio de la protección y se aprovechan de sustancias tales como CO₂, O₂, fosfatos y nitratos, procedentes del metabolismo del hospedador, además, se aprovechan de las corrientes de agua que producen las esponjas para obtener un buen suministro de partículas alimenticias en suspensión (Brusca y Brusca, 2005).

Por su parte, la esponja también recibe beneficios de la asociación con las cianobacterias, ésta recibe oxígeno producido en gran cantidad por los simbioses y sustancias nutritivas, azúcares, alcoholes y aminoácidos, que pasan al hospedador y se incorporan al mismo (Sara, 1971). Muchas esponjas aumentan su nutrición por la fagocitosis y digestión de sus simbioses microbianos (Thacker, 2005). Otra función importante de los endosimbioses fotosintéticos, es que sirven como fuente adicional de nutrientes durante la exposición de la esponja al aire, cuando baja la marea (Rützler, 1995). Además, las cianobacterias de algunas esponjas, que se localizan densamente en la capa superficial del animal, constituyen una pantalla protectora para la luz demasiado intensa (Sara, 1971).

En algunas zonas del Caribe y de la Gran Barrera de Coral (Australia), las esponjas constituyen, de acuerdo a su biomasa, el segundo grupo en importancia y sólo se ven superadas por los corales. Esto se ha atribuido a su rápido crecimiento, el cual es favorecido por la presencia de grandes poblaciones de cianobacterias simbióticas (Brusca y Brusca, 2005).

La mayoría de las esponjas en los arrecifes coralinos del Caribe albergan a *Synechococcus spongiarum*, cianobacteria unicelular generalista. Este endosimbionte fotosintético puede ser un comensal que explota los recursos proporcionados por su hospedador esponja, sin afectar significativamente la masa de la misma (Erwin y Thacker, 2007).

La prevalencia de las asociaciones esponja-fotosimbionte y el dominio de *Synechococcus spongiarum* sugieren un mayor rol de esta cianobacteria en la ecología de las esponjas y en la productividad primaria de los arrecifes de coral en el Caribe (Erwin y Thacker, 2007).

La participación de las esponjas como hospedadoras de diversas asociaciones microbianas contribuyen sustancialmente a la salud del arrecife coralino (Díaz y Rützler, 2001)

Aunque en Venezuela desde hace varios años se ha venido trabajando con aspectos taxonómicos y ecológicos de esponjas de arrecifes (Álvarez y Díaz, 1985; Villamizar, 1991; Amaro, 2002; Pauls, 2003; Alvizu, 2005; Pérez, 2007), existe un total desconocimiento sobre la ecología de las asociaciones simbióticas esponja-cianobacteria en nuestro país.

Con el propósito de contribuir al conocimiento ecológico de estas asociaciones simbióticas, este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la limitación de la luz sobre la asociación esponja-cianobacteria, en particular sobre algunas características morfológicas del hospedador (esponja) y sobre la biomasa de simbiontes fotosintéticos (cianobacterias).

PROBLEMA DE ESTUDIO

- ¿Es la luz un factor que afecta la distribución y el desarrollo de la esponja *Aplysina fulva*?
- ¿Es la luz un factor que afecta la biomasa de endosimbiontes fotosintéticos (cianobacterias) asociados a la esponja *Aplysina fulva*?

OBJETIVOS

General

Evaluar el efecto de la intensidad lumínica (experimento *in situ*) sobre el largo y la proyección de las ramas de *Aplysina fulva* y sobre la biomasa de sus endosimbiontes fotosintéticos.

Específicos

- Estimar la abundancia y la cobertura de *Aplysina fulva* en dos hábitats arrecifales vecinos (zona arrecifal y zona de laguna arrecifal).
- Evaluar si existe un efecto de la intensidad lumínica sobre la biomasa de endosimbiontes fotosintéticos en *Aplysina fulva*.
- Evaluar si existe un efecto de la intensidad lumínica sobre el largo y la proyección de las ramas de las esponjas de *Aplysina fulva*.

ÁREA DE ESTUDIO

El Parque Nacional Archipiélago Los Roques está ubicado a 157 kilómetros al norte franco del litoral central, específicamente en la zona de Caraballeda Naiguatá en el estado Vargas, entre los 11°43' y 11°58' de latitud norte y los 66° 35' y 66° 57' longitud oeste. Es el parque marino de mayor extensión en el Caribe y la formación arrecifal más importante de Venezuela (Ramírez, 2001).



Figura 1. Parte del litoral venezolano frente al cual se encuentra ubicado el Parque Nacional Archipiélago Los Roques (recuadro rojo).

Todo el parque, incluyendo sus aguas internas y circundantes, ocupa una superficie aproximada de 2.251 km². El clima seco de Los Roques presenta una temperatura media anual de 27,3°C (Rodríguez, 2001), la cual incrementa desde el mes de agosto a octubre, pudiendo alcanzar valores hasta de 33°C en la capa superficial del agua (Villamizar com. pers).



Figura 2. Mapa del Parque Nacional Archipiélago Los Roques. El área en el recuadro rojo representa la ubicación de la zona de estudio.

Este estudio se llevó a cabo en dos sitios de Dos Mosquises Sur: en la zona arrecifal y en la zona de laguna arrecifal (Fig. 3).

El arrecife Dos Mosquises sur, zona arrecifal (sitio 1), es un arrecife de tipo costanero o franjeante, con una plataforma que tiene un ancho que varía entre 150 y 240 metros y un talud que se prolonga hasta 40 metros de profundidad (Hung, 1985).

La zona de laguna arrecifal (sitio 2), pertenece al arrecife de Dos Mosquises Sur, es una laguna de fondo arenoso, con comunicación abierta al mar y una profundidad que alcanza un máximo de 2 metros.



Figura 3. Fotografía de Dos Mosques Sur. Las flechas en rojo indican la ubicación de las zonas de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para evaluar la asociación simbiótica esponja-cianobacteria y el efecto de la intensidad lumínica sobre algunas características morfológicas de la especie se siguieron distintas metodologías.

Se realizó la caracterización de la comunidad de esponjas en ambos sitios o zonas de estudio, en la zona arrecifal y en la zona de laguna arrecifal. La caracterización consistió en la estimación de la abundancia, la cobertura y las características morfológicas de la especie (largo y proyección). Un segundo procedimiento fue de naturaleza experimental, el cual consistió en la manipulación experimental *in situ*, de los individuos de la especie. Dos experimentos se llevaron a cabo, el experimento de transplante en ambos sitios de estudio y el experimento de sombreado únicamente en la laguna arrecifal.

Especie seleccionada

La especie de esponja que fue seleccionada para este estudio fue *Aplysina fulva* (Pallas, 1766), la cual presenta asociación con endosimbiontes fotosintéticos (Díaz, 2007).

Los individuos de esta especie presentan en su mayoría una morfología externa arborescente, por lo que se consideró importante realizar medidas de proyección, las cuales consistieron en medir la separación entre la rama más externa del lado derecho a la rama más externa del lado izquierdo.

La selección de la especie de esponja se basó en los siguientes criterios:

- En un trabajo previo realizado en la misma zona lagunar donde se llevó a cabo el presente estudio (Pauls, 2000) se reportó una abundancia relativamente alta (63,83%) de la especie *Aplysina fulva*.
- *Aplysina fulva* presenta altas densidades de fotosimbiontes (Erwin y Thacker, 2007), específicamente la cianobacteria unicelular *Synechococcus spongiarium* (Rützler, 1990 y Steindler y col., 2005), la cual se presenta como endosimbionte de la especie.

La clasificación taxonómica de la especie es la siguiente:

Aplysina fulva (Pallas, 1766)

Reino: Animalia

Phylum: Porífera

Clase: Demospongiae

Orden: Verongida

Familia: Aplysinidae



Género: Aplysina

Son individuos con forma de ramas erectas que salen de una masa basal angosta, o de ramas rastreras; estos grupos de ramas pueden alcanzar más de 50 cm de diámetro y altura; sus ósculos tienen un diámetro de 2-4 mm y están distribuidos en hileras en la parte superior de las ramas, a ras, o sobre elevaciones hasta 1-2 cm de altura; su superficie es microconulosa. Su color es amarillo oscuro. Es de consistencia compresible, sus ramas son flexibles y elásticas. Viven en fondos arenosos de lagunas arrecifales y en los bordes de los taludes arrecifales. Su distribución geográfica va desde Florida hasta Venezuela (Zea, 1987).

Métodos de campo

La metodología utilizada fue destinada a evaluar la respuesta de los endosimbiontes fotosintéticos de *Aplysina fulva* a la limitación de la luz, medida en términos de la mayor o menor abundancia de fotosimbiontes en la esponja, bajo diferentes condiciones experimentales. Así mismo se evaluaron cambios en parámetros morfológicos de la especie como posible respuesta a la limitación de luz. Finalmente se evaluó la variación intraindividuo en la abundancia de fotosimbiontes para 3 esponjas de la especie. En Secciones posteriores se detalla la metodología de campo seguida en cada caso.

Este estudio se inició en el mes de marzo de 2010. Durante el trabajo de campo se caracterizaron ambientalmente ambos sitios de estudio y se realizaron los experimentos de manipulación *in situ* con la especie seleccionada.

Parámetros físicos

Con fines comparativos entre ambos sitios de estudio (laguna y arrecife), se midió la transparencia, la radiación y la temperatura en tres horas del día: al amanecer (6:00 a.m), al mediodía (12:00 p.m), y al atardecer (6:00 p.m).

Los equipos utilizados en cada caso fueron los siguientes:

- La transparencia de la columna de agua por medio de un disco de Secchi.
- La intensidad lumínica a distintas profundidades (superficie, 5, 10 y 15 metros) por medio de un radiómetro.
- La temperatura del agua a distintas profundidades (superficie, 5 y 10 metros) mediante un sensor multiparamétrico (hidrolab) marca Horiba U10.

En la zona de laguna arrecifal no se midió la transparencia, ya que la profundidad máxima de este sitio no lo permitió.

Distribución, abundancia y cobertura de *Aplysina fulva* en los dos sitios de estudio.

En la zona arrecifal

Utilizando equipos de buceo autónomo, se dispusieron en forma aleatoria transectas paralelas a la costa de 15 metros de longitud. Se ubicaron 5 transectas en la zona somera (de 2 a 7 metros), correspondiente a la plataforma arrecifal y 5 transectas en una zona más profunda (8 a 12 metros), correspondiente al talud arrecifal. A lo largo de las transectas se colocaron cuadratas de 1 m², subdivididas en 100 cuadrantes similares (de 10 x 10 cm), en las cuales se contó el número de especímenes de *Aplysina fulva*, se estimó su cobertura y se realizaron mediciones de largo, proyección y número de ramas de cada esponja. Adicionalmente en cada cuadrata se registró la presencia de otras especies de esponjas y se estimó su densidad y cobertura total.

En la zona de laguna arrecifal

Se caracterizó la zona de laguna arrecifal tomando en consideración el área total del fondo lagunar. Una vez conocida el área total ocupada por las esponjas, utilizando equipos de buceo autónomo se dispusieron aleatoriamente 15 transectas de 10 metros de longitud, paralelas a la costa y separadas entre sí, por al menos 5 metros de distancia. A lo largo de cada transecta se colocaron cuadratas de 1 m², registrando en una tabla de plexiglass los siguientes parámetros:

- Número de especies: se identificaron todas las especies de esponjas presentes en cada cuadrata. Para cada individuo se realizaron mediciones de alto y ancho, para los individuos de *Aplysina fulva* en lugar de medir el ancho se midió la proyección de sus ramas.
- Cobertura: se registró para cada cuadrata el número de cuadros o cuadrantes que ocupaba cada uno de los individuos esponja.
- Número de individuos: Se definió un individuo siguiendo el concepto de individualidad (citado y discutido por Bergquist, 1978), en el cual se considera un individuo como “toda sustancia unida por un pinacodermo común”. Basado en esto se contó el número de individuos por m² de cada especie de esponja.

Diseño experimental

Las variables medidas en los dos diseños experimentales fueron las siguientes:

Variable independiente, la luz.

Variables dependientes, la morfología de las esponjas (largo y proyección de las ramas) y la biomasa de simbiontes fotosintéticos (cianobacterias).

Experimento de transplante en la zona arrecifal

Se cortaron fragmentos de 5 cm de longitud de 20 individuos de *Aplysina fulva* que habitaban la zona de laguna arrecifal (2 metros de profundidad) y se transplantaron a la zona arrecifal, específicamente 10 fragmentos a 7m y los otros 10 a 14 m de profundidad.

Los fragmentos fueron sujetos con t-raps a una malla plástica 1.50 m x 1.50 m que a su vez era sujeta con cabillas al sustrato arenoso (Fig. 4).

Como control de este experimento, se cortaron secciones de 5 cm de longitud de 10 individuos de *A.fulva* ubicados en la zona de laguna arrecifal, y se transplantaron dentro de la misma zona. Este transplante fue realizado con el fin de evaluar la respuesta de los endosimbiontes fotosintéticos de *Aplysina fulva* a la limitación de la luz debido al aumento de la profundidad.

Después de 4 semanas de haber realizado el transplante se evaluó el efecto de la disminución de la intensidad lumínica, el cambio de profundidad y las diferentes condiciones ambientales sobre la morfología de las esponjas.

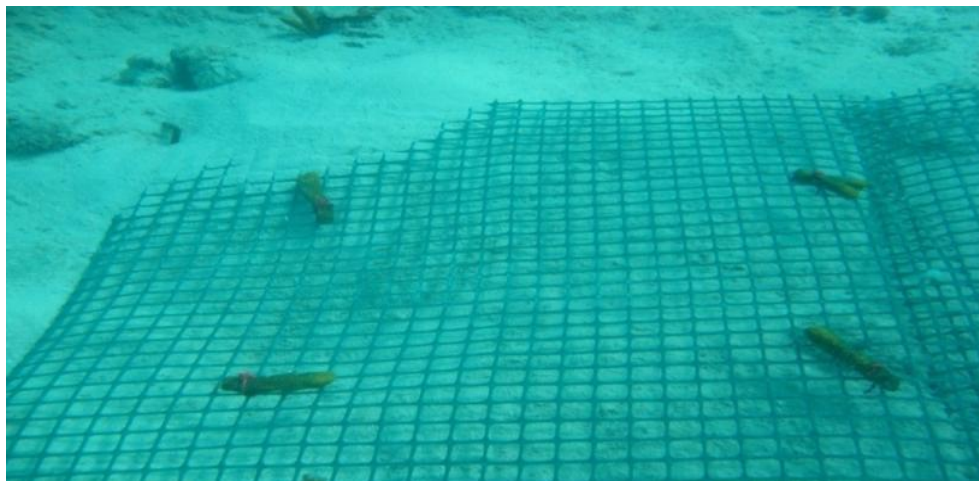


Figura 4. Estructura experimental de transplante, malla plástica.

Experimento de sombreo en la zona de laguna arrecifal

Se seleccionaron un total de 33 individuos de *Aplysina fulva* en la zona de laguna arrecifal. Estos individuos fueron sometidos a diferentes condiciones de iluminación:

- A 11 esponjas se les colocó un techo oscuro,
- A 11 esponjas se les colocó un techo transparente y
- A otras 11 esponjas se les dejó sin techo, para representar su condición natural.

Las esponjas a las que se les colocó un techo oscuro en su parte superior, tuvieron un efecto de sombreo. Las esponjas a las que se les colocó un techo transparente en su parte superior no tuvieron un efecto de sombreo, ya que este techo permitió parcialmente el paso de la luz, no obstante, su función fue evaluar el efecto del techo y para asegurar que todos los individuos a tratar estuvieran bajo las mismas condiciones experimentales. Las esponjas a las que no se les colocó ningún tipo de techo, permanecieron en su condición natural, las cuales fueron consideradas en este estudio los controles experimentales. Todas las esponjas de este experimento se encontraron a la misma profundidad (a menos de 2 metros), descartándose con esto el posible efecto de cambio en la intensidad lumínica debido a dicho factor.

Las esponjas seleccionadas para realizar el experimento debían cumplir los siguientes criterios: tamaños similares, condición de salud sana, sin deformaciones, ni tumores y con el menor sobrecrecimiento posible por otros organismos (otras esponjas, algas, octocorales, entre otros).

Los techos fueron contruidos con láminas de pvc de 3 mm de espesor de 40 cm X 30 cm los cuales se sujetaron con t-raps a 4 cabillas, que a su vez estuvieron enterradas en el fondo arenoso. La altura de los techos sobre el fondo fue de aproximadamente 24 cm (Fig. 5).



Figura 5. Estructura experimental, techo transparente.

Para evaluar la afectación de las esponjas por el efecto de sombreo, se realizó un monitoreo a lo largo del experimento (antes, durante y al finalizar). Cada dos días se llevó a cabo un seguimiento de la condición de las esponjas experimentales y controles, con el fin de observar las variaciones que estas presentaban y a su vez asegurar que permanecieran las condiciones establecidas para el experimento (ubicación de los techos de sombreo, marcas en esponjas experimentales, entre otras).

Para evaluar el efecto del sombreo (limitación de la luz) sobre el largo y la proyección de las ramas de las esponjas, se calcularon las proporciones (cocientes o razones) entre las medidas finales e iniciales de las variables dependientes largo y proyección. Tales cocientes permiten medir el efecto de la luz sobre la morfología de las esponjas sujetas a experimentación. Los valores que puede adoptar este cociente son: 1, < 1 y > 1 .

Los valores **$P=1$** indican que el largo o proyección se mantuvo

Los valores **$P>1$** indican que el largo o proyección aumentó

Los valores **$P<1$** indican que el largo o proyección disminuyó

Métodos de laboratorio

Cuantificación de las concentraciones de clorofila a en esponjas

La biomasa de los endosimbiontes fotosintéticos en las esponjas fue estimada a través de la medición de la concentración de clorofila a presente en los fragmentos de esponjas con dos objetivos, comparar la concentración de clorofila a de las esponjas sujetas a los tres tratamientos de sombreado y comparar las concentraciones de clorofila a en ramas distintas de una misma esponja (variación intraindividuo).

Tal como se observa en el esquema de la Figura 6, se hicieron estas estimaciones en 33 fragmentos de *Aplysina fulva*.

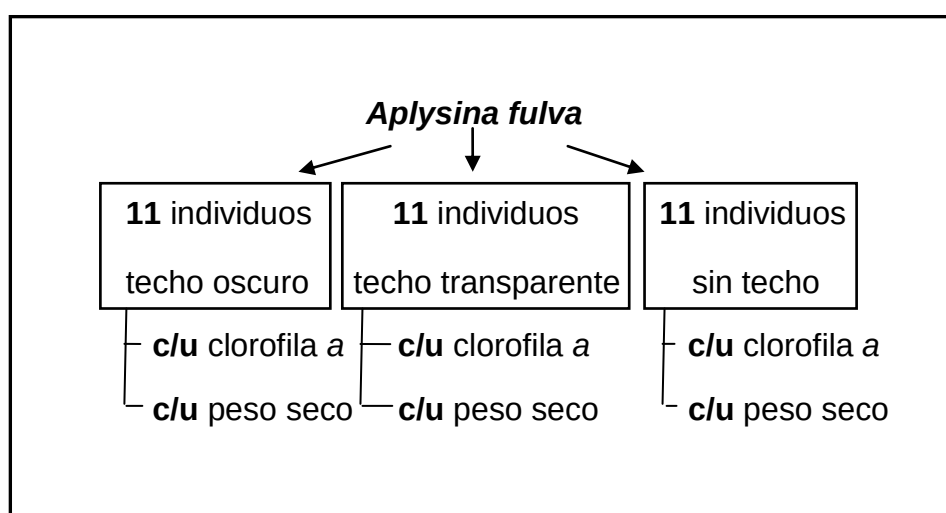


Figura 6. Esquema representativo de las muestras analizadas.

Para ello se cortó en cada una de las esponjas una sección no mayor de 5 cm de longitud de una de sus ramas. Estos fragmentos fueron inmediatamente colocados en recipientes oscuros (para evitar la fotodegradación de la clorofila). Luego ya en la superficie se pesó 1 gramo de todos los fragmentos cortados y se colocaron en 20 ml de acetona al 90% para posteriormente guardarlos en frío en los

mismos recipientes oscuros. La medición de la concentración de la clorofila a fue realizada aproximadamente 48 horas después de haberlas sacado de su ambiente natural. Este procedimiento se realizó en dos oportunidades: durante la primera salida de campo, al iniciarse el experimento (tiempo inicial) y al final del mismo, un mes después de haberse iniciado (tiempo final).

Posteriormente, en el laboratorio se tomó una alícuota de 1 ml del extracto obtenido del fragmento de cada esponja (1 gramo de esponja en 20 ml de acetona). Esta alícuota fue colocada en la centrífuga por 15 minutos para lograr la extracción completa de los pigmentos (Fig. 7).

Luego la solución centrifugada fue colocada en el espectrofotómetro para medir los coeficientes de absorción de la clorofila a a dos longitudes de onda, a 663 nm y a 645 nm, utilizando acetona al 90% como blanco (Fig. 8). Todo el procedimiento anteriormente descrito fue tomado y modificado de Erwin y Thacker, 2007.



Figura 7. Centrífuga. Modelo Thermo Scientific IEC Micro CL 21R



Figura 8. Espectrofotómetro. Modelo Spectronic Genesys 2

Las concentraciones de clorofila a inicial y final fueron determinadas utilizando el método espectrofotométrico, aplicando la ley de Lambert y Beer. Conociendo los coeficientes de absorción para la clorofila a, se puede calcular la concentración en $\mu\text{g ml}^{-1}$ (Bruisma, 1963).

$$Cl\ a = 12,7\ A_{663} - 2,7\ A_{645}$$

Determinación del peso seco de las esponjas

La concentración de clorofila a por unidad de peso de esponja requiere del conocimiento del peso seco al inicio y al final del experimento. El peso húmedo en todos los fragmentos de esponja siempre fue igual (1 gramo) y de los mismos fue extraída por medio de la acetona la clorofila, luego de lo cual cada fragmento fue colocado en una estufa a 60 °C por 48 horas para posteriormente determinar su peso seco.

Procesamiento de datos y análisis estadísticos

- Cobertura: se determinó para la zona de laguna arrecifal la cobertura total para cada especie de esponja.
- Frecuencia de aparición (FA): se determinó la FA de las especies de esponjas registradas a lo largo de cada transecta, estando la FA definida como el número de cuadratas en la cual la especie está presente con respecto al total de cuadratas (Chou, 1984).
- Diversidad: la diversidad fue estimada por medio de dos índices el H' de Shannon-Wiener y el Dn de Simpson, los cuales son los más utilizados en estudios de estructura de comunidades y están relacionados con el índice de equidad empleado (Smith, 2005)

$$\text{Diversidad (H')} = -\sum (p_i) \times \ln (p_i) \quad \text{también } H' = -\sum (p_i) \times \log_2 (p_i)$$

Donde: $p_i = n_i/N$

n_i = nº de individuos de la especie

N = nº total de individuos

- Equidad: se utilizó el índice de equidad de Shannon- Wiener, el cual utiliza variables discretas, tales como el número de especies.

$$\text{Equitatividad (J)} = H/H_{\max}$$

Donde:

H = índice de Shannon

$H_{\max} = \ln S$

S = riqueza

Los análisis estadísticos empleados fueron:

- Para comparar los cambios relativos de las medidas de largo y de proyección de las ramas entre los distintos tratamientos, se realizó un ANOVA de una sola vía.
- Para comparar la variabilidad de clorofila *a* entre individuos (distintas esponjas) con la variabilidad intraindividuo (ramas de una misma esponja) se utilizó un Análisis de Componentes de Varianzas, también conocido como Modelo II de Análisis de Varianza. En este modelo el factor a considerar (individuo) es de carácter aleatorio.
- Para comparar los promedios de la concentración de clorofila *a* al inicio y al final de cada tratamiento se utilizó una prueba T-student para datos emparejados.

La condición de homogeneidad de varianza requerida para la aplicación de la prueba mencionada se evaluó mediante una prueba de razón de varianzas. Se evaluó la condición de normalidad, también requerida, mediante la prueba de Shapiro Wilk.

Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el programa SPSS V.17.0.

RESULTADOS

Caracterización ambiental de los sitios de experimentación.

Parámetros físicos

Con el fin de conocer la variación (a lo largo del día) en los parámetros radiación, temperatura, salinidad, transparencia del agua y nubosidad, se seleccionó un día del mes de marzo y se registraron los valores de cada uno de estos parámetros. Especial interés se dio a la comparación de la intensidad lumínica en el experimento de sombreo.

Como se puede observar en la Tabla 1, los valores de temperatura registrados durante un día, a diferentes horas para cada sitio experimental, no presentaron grandes variaciones entre ellos.

Por su parte los valores de transparencia vertical en el arrecife tampoco presentaron importantes variaciones, obteniéndose como máximo valor de transparencia, 14 metros a las doce del mediodía.

No se reportan valores de transparencia vertical en la zona de laguna arrecifal ya que el máximo de profundidad era 2 metros.

Tabla 1. Parámetros físicos medidos a diferentes horas para los dos sitios experimentales.

Sitio experimental	Hora	Temperatura del agua (°C) (2 metros)	Transparencia del agua vertical (metros)	Nubosidad (%)
Zona arrecifal	6:00 am	29,4	13	60
	12:00 pm	29,6	Desaparece (más de 14)	35
	6:00 pm	29,6	13	30
Zona de laguna arrecifal	6:00 am	29,3	-----	60
	12:00 pm	30	-----	35
	6:00 pm	30	-----	30

El parámetro salinidad se mantuvo constante todo el día en ambos sitios experimentales, dando un valor de 35 partes por mil.

La Tabla 2, muestra los valores de la intensidad lumínica medida a diferentes horas del día para la zona arrecifal.

Tabla 2. Intensidad lumínica (Lux) medida a diferentes horas para la zona arrecifal.

Zona de medición	6:00 am	12:00 pm	6:00 pm
En aire sobre sup. agua	429,3	1130,9	120,13
10 cm debajo sup. agua	201,25	1009,1	98,51
2 m. profundidad	165,8	204,3	50,18
10 m. profundidad	62,37	165,01	38,5
15 m. profundidad	54,82	120,11	20,32

Como se observa en la Tabla 2, la intensidad lumínica a lo largo de la columna de agua fue: superficie del aire > superficie del agua > 2 metros > 10 metros > 15 metros. En cuanto a las horas del día, como era de esperarse, la intensidad lumínica fue máxima a las 12:00 pm > 6:00 am > 6:00 pm.

Para estimar la intensidad lumínica en las diferentes condiciones experimentales (techo negro, techo transparente y sin techo), se realizaron las medidas de radiación en: la capa de aire sobre la superficie del agua, a 10 cm por debajo de la superficie del agua, sobre el techo y debajo del techo (promedio de las distintas posiciones en que se colocó el sensor, izquierda, perpendicular y derecha). La distancia promedio entre el techo y la colocación del sensor fue de aproximadamente 4 cm.

La Tabla 3 y la Figura 9, muestran los valores de la intensidad lumínica medida a diferentes horas del día para cada una de las condiciones experimentales en la zona de laguna arrecifal.

Tabla 3. Intensidad lumínica (Lux) medida a diferentes horas para la zona de laguna arrecifal.

Zona de medición	6:00 am	12:00 pm	6:00 pm
Superficie aire	298,3	1050,5	58,35
Superficie agua	129,06	738,4	49,42
Techo negro	Sobre el techo	Sobre el techo	Sobre el techo
	56,25	467,8	18,12
	Debajo del techo	Debajo del techo	Debajo del techo
	16,96	21,56	17,03
Techo transparente	Sobre el techo	Sobre el techo	Sobre el techo
	123,8	465,3	30,21
	Debajo del techo	Debajo del techo	Debajo del techo
	79,43	250,26	23,61
Sin techo	47,1	344,71	21,05

Los valores máximos de intensidad lumínica se reportaron durante el mediodía (12:00 pm), sobre la superficie del aire (1050,5 Lux) y sobre la superficie de agua (738,4 Lux).

En la Tabla 4, se muestran los porcentajes de pérdida de luz cuando se colocan los techos experimentales (negro y transparente) a las diferentes horas del día. La reducción de la intensidad lumínica (%) es calculada con una regla de tres, en donde el 100% de la luz es el valor de la intensidad lumínica sobre el techo y el porcentaje de pérdida de luz es calculado con la intensidad lumínica debajo del techo.

Tabla 4. Porcentaje de pérdida de luz con la colocación de los techos experimentales en las diferentes horas del día para la zona de laguna arrecifal.

Reducción de la intensidad lumínica	6:00 a.m	12:00 p.m	6:00 p.m
Techo negro	70%	95%	6%
Techo transparente	36%	46%	22%

Como era de esperarse la pérdida de luz es mayor cuando se coloca un techo negro a cuando se coloca un techo transparente. Los porcentajes de pérdida de luz en los techos negros, duplican a los porcentajes de pérdida de luz en los techos transparentes, tanto para las 6:00 a.m como para las 12:00 p.m.

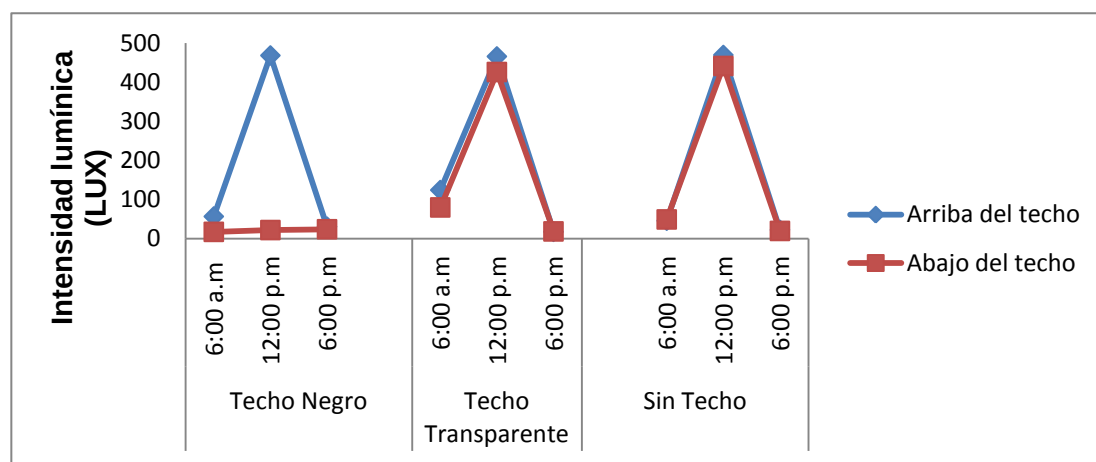


Figura 9. Intensidades lumínicas en las diferentes condiciones experimentales a distintas horas del día.

En la figura anterior, se observa que en todas las horas la intensidad lumínica fue menor debajo del techo que sobre el techo (tanto en los pvc transparentes como en los pvc negros), sin embargo, la intensidad lumínica fue notablemente menor debajo de los techos negros que debajo de los techos transparentes.

Distribución, abundancia y cobertura de esponjas

Zona arrecifal

De igual forma que para la zona de laguna arrecifal, se realizaron muestreos con el fin de conocer la composición y la abundancia de las especies que conforman la comunidad de esponjas presentes en el arrecife, y muy especialmente conocer la distribución de *Aplysina fulva* a lo largo del gradiente de profundidad, lo que podría ser interpretado en función del gradiente de luz. El resultado fue sorprendente, ya que en la zona arrecifal no se encontró ningún individuo de la especie. Considerando tal resultado se procedió a realizar la búsqueda de la especie en otros arrecifes franjeantes del Archipiélago Los Roques: Boca de Cote, Cayo Sal y La Pelona, donde obtuvimos el mismo resultado, no se halló a la especie. Finalmente se muestreó el arrecife de Madrisquí, única zona donde pudimos detectar la especie, aunque su distribución estuvo restringida a la zona más somera, propia del área lagunar. Estos resultados nos permiten afirmar que esta especie de esponja habita particularmente fondos arenosos de laguna arrecifal.

Zona de laguna arrecifal

La zona de laguna arrecifal está delimitada por una roca de playa de 79 metros de longitud que se extiende siguiendo el contorno de la línea de costa de la isla (tal como se observa en la foto de la Fig. 10). El ancho de la laguna se determinó midiendo desde la roca de playa hasta donde se encontraran los últimos especímenes de esponjas, colocando la cinta métrica perpendicular a la costa, resultando ser de 20 metros.



Figura 10. Foto de la zona de laguna arrecifal.

En la caracterización de la comunidad de esponjas de la laguna arrecifal, se identificaron un total de 12 especies, agrupadas en 5 órdenes y 8 familias, todas pertenecientes a la Clase Demospongiae, en un área muestreada de 150 m² (Tabla 5).

Tabla 5. Número de especies, número de individuos por especie, cobertura relativa (%) y su desviación estándar, en la zona de laguna arrecifal.

Especies	Nº de individuos	Cobertura relativa (%)	Ds
<i>Aplysina fulva</i>	189	73,61	2,85
<i>Dysidea etheria</i>	154	12,52	0,83
<i>Ircinia felix</i>	33	8,14	0,78
<i>Niphates erecta</i>	13	1,73	0,16
<i>Scopalina ruetzleri</i>	13	1,60	0,17
<i>Amphimedon viride</i>	8	0,74	0,10
<i>Iotrochota birotulata</i>	3	0,43	0,07
<i>Verongula rigida</i>	3	0,31	0,04
<i>Amphimedon compressa</i>	3	0,25	0,05
<i>Ircinia strobilina</i>	2	0,43	0,08
<i>Callyspongia vaginalis</i>	2	0,18	0,03
<i>Mycale sp</i>	1	0,06	0,02
Total	424	100	----

La especie con mayor abundancia fue *Aplysina fulva* con un total de 189 individuos, representando el 44,5% del total de individuos y una cobertura relativa de 73,61%, seguida de *Dysidea etheria* con un total de 154 individuos y una cobertura relativa de 12,52%, y en tercer lugar por *Ircinia felix* con 33 individuos y 8,14% de cobertura relativa. De las nueve especies de esponjas restantes siete presentaron un porcentaje de cobertura relativa menor al 1%.

En la Figura 11, se muestran las tres especies de esponjas con mayor abundancia relativa en la zona de laguna arrecifal.

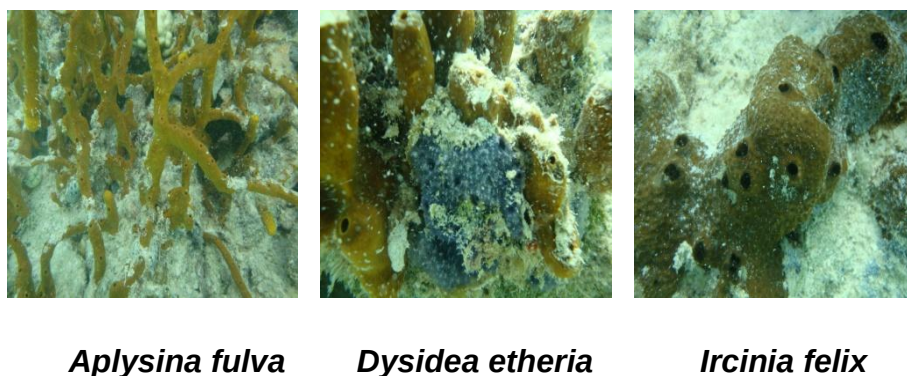


Figura 11. Especies más abundantes en la zona de laguna arrecifal.

En las Figuras 12, 13 y 14 se representan respectivamente, la abundancia total, la abundancia relativa, y la cobertura relativa de las distintas especies que conforman la comunidad de esponjas de la zona de laguna arrecifal.

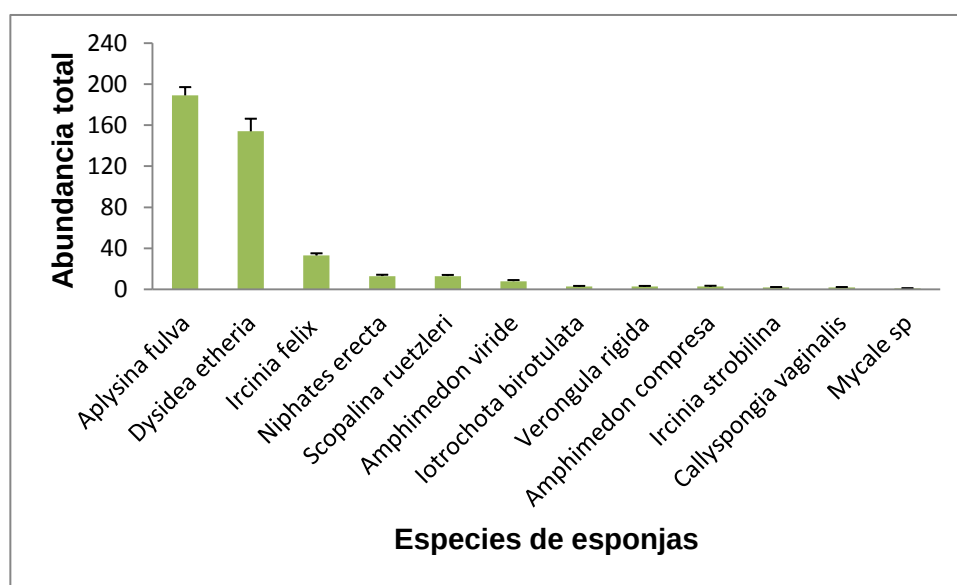


Figura 12. Abundancia total de las especies de esponjas presentes en la zona de laguna arrecifal.



Figura 13. Abundancia relativa de las especies de esponja presentes en la zona de laguna arrecifal.

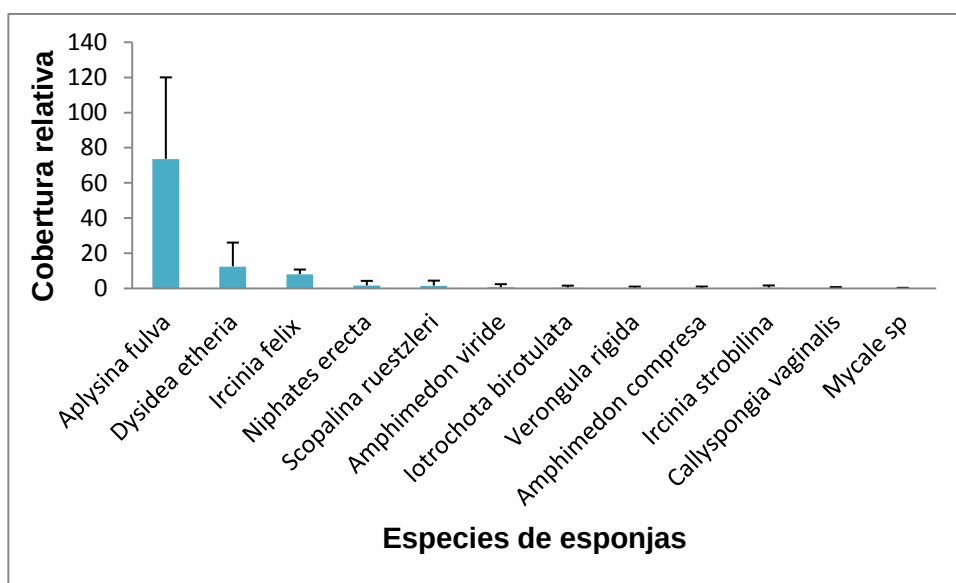


Figura 14. Cobertura relativa de las especies de esponjas presentes en la zona de laguna arrecifal.

La mayor frecuencia de aparición correspondió a las mismas tres especies de esponjas que presentaron las mayores coberturas y abundancias, *Aplysina fulva* (54,67%), *Dysidea etheria* (30,67%) e *Ircinia felix* (18%) (Fig. 15).

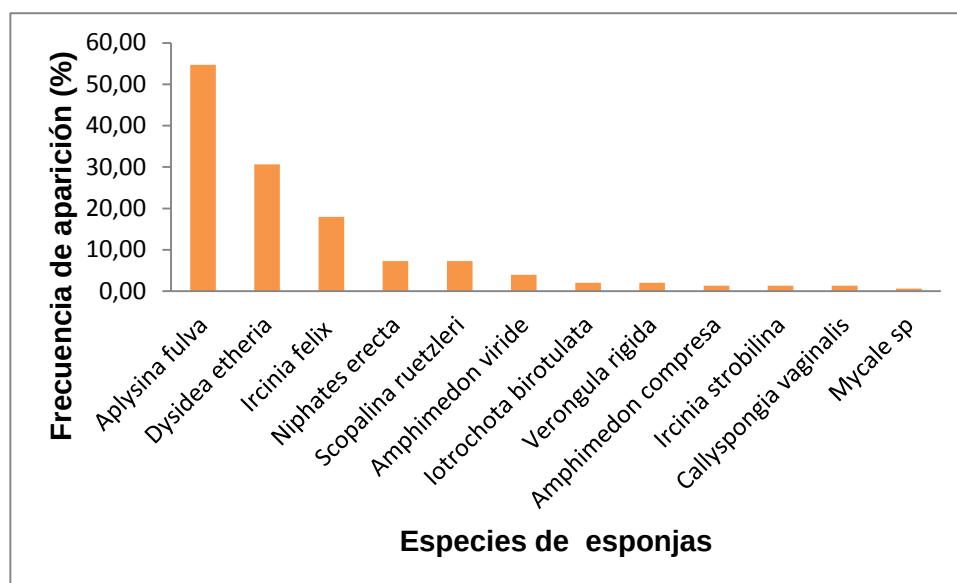


Figura 15. Frecuencia de aparición de las especies de esponjas presentes en la zona de laguna arrecifal.

La diversidad de especies hace referencia tanto al número de especies, riqueza de especies, como a la abundancia relativa de individuos entre las especies, equitatividad de especies (Smith, 2005). El índice de equidad de Shannon-Wiener calculado para la zona de laguna arrecifal se muestra en la Tabla 6, según este índice la distribución de los individuos presentes en la zona caracterizada, no fue equitativa (0,55); por otro lado, la riqueza de especies también fue baja (12 especies), lo que condujo a un índice de diversidad en la zona de laguna arrecifal bajo. Lo anteriormente dicho puede observarse en los valores de los índices de diversidad, Shannon-Wiener y Simpson presentados en la Tabla 6.

Tabla 6. Valores de Riqueza, Equidad y Diversidad en la zona de laguna arrecifal.

	Riqueza de especies	Índice de Equidad	Índice de Diversidad
Zona de laguna arrecifal	12	0,55 (Shannon)	0,66 (Simpson) 1,38 (Shannon)

Un resultado interesante del estudio fue la identificación de individuos de *Aplysina fulva* con diferencias morfológicas marcadas. Se encontraron tres morfotipos distintos. Para la descripción de dichos morfotipos, fueron utilizados caracteres tales como: forma de crecimiento, distribución de los ósculos, largo y grosor promedio de las ramas.

A continuación se describen los tres morfotipos encontrados con sus respectivas fotos (Figs. 16, 17 y 18).

Morfotipo 1

Individuos con ramas erectas largas y delgadas; presentan una superficie conulosa y consistencia elástica. El ápice es redondeado en forma digitada y no presenta ósculos en el extremo. Los ósculos se encuentran distribuidos de forma irregular por todo el cuerpo. Se podría decir que su morfología externa es arborescente.



Figura 16. Foto del morfotipo1 de la especie *Aplysina fulva*.

Morfotipo 2

Individuos con ramas rastreras muy largas, dispuestas de forma horizontal, prácticamente paralelas a la arena. La superficie externa al tacto es lisa, pero a la vista es granulosa. La apertura de los ósculos es pequeña, y presentan un borde grueso; se encuentran distribuidos en forma lineal en un lado del cuerpo.



Figura 17. Foto del morfotipo 2 de la especie *Aplysina fulva*.

Morfotipo 3

Individuos con morfología externa reticulada, sus ramas se entremezclan como una especie de enredadera y en la mayoría de los casos las ramas se fusionan unas con otras, dando un aspecto de morfología palmeada. Los ósculos se encuentran en la parte superior de la esponja. El ápice en la mayoría de las ramas es aplanado, sin embargo, en otras ramas el ápice puede ser grueso y de forma irregular.



Figura 18. Foto del morfotipo 3 de la especie *Aplysina fulva*.

En la Figura 19 se representa, mediante un gráfico de torta, la cobertura estimada para los tres morfotipos de *Aplysina fulva* encontrados en la zona de laguna arrecifal. El morfotipo 1 presentó una mayor cobertura promedio (61%) en comparación al morfotipo 2 (35%) y al morfotipo 3 (4%), razón por la cual se realizaron los experimentos de sombreado *in situ* con individuos de este morfotipo.

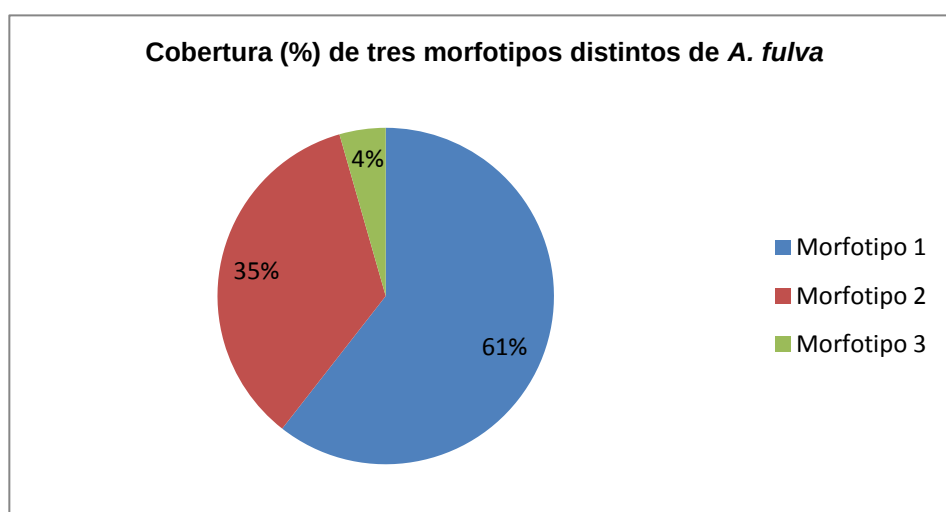


Figura 19. Cobertura promedio de los tres morfotipos distintos de la especie *A. fulva*.

Se sabe que el tamaño de las esponjas puede estar influenciado por varios factores, la edad individual, las condiciones ambientales que prevalecen, entre otros (Boury-Esnault y Rützler, 1997). Es posible que la mayor o menor abundancia de los morfotipos observados de la especie *Aplysina fulva*, tengan relación con algunos de estos factores.

Diseño experimental

Efecto de los transplantes

El objetivo propuesto de evaluar el efecto de la disminución de la intensidad lumínica sobre la biomasa de endosimbiontes fotosintéticos en la esponja *Aplysina fulva* por medio del experimento de transplante *in situ* no fue logrado, debido a que los fragmentos transplantados en ambas zona experimentales, no permanecieron por más de 7 días en la estructura experimental (malla plástica). La razón de este hecho se desconoce, sin embargo, se piensa que posiblemente haya sido por la depredación de algún pez.

Efecto del sombreado en el largo y la proyección de las ramas de las esponjas

En el caso de las esponjas que no fueron sometidas al sombreado por los techos (negros o transparentes), la longitud y la proyección de las mismas se mantuvo aproximadamente igual, lo que se evidencia por la razón entre la longitud inicial y final, así como de los cocientes de la proyección inicial y final de las ramas, ambas cercanas a 1 (Tabla 7), encontrándose sólo un ligero aumento en la mayoría de las medidas, por lo que se consideró que estos parámetros morfológicos no presentaron cambios significativos. Este hecho puede deberse a que este grupo de

esponjas no se encontraban bajo ninguna condición de sombreado, o con muy poco sombreado, por lo que puede atribuirse el aumento de las medidas de ambas variables morfológicas al crecimiento de la esponja.

Tabla 7. Medidas iniciales (agosto 2010), finales (septiembre 2010) y cocientes (final/inicial) del largo y la proyección de las esponjas en su condición natural (experimento control: sin techo).

N # de esponja	Largo (cm)		Proporción (Final/Inicial)	Proyección (cm)		Proporción (Final/Inicial)	N# de ramas	
	Inicial	Final		Inicial	Final		Inicial	Final
1	4	5	1,25	2	2	1	2	2
2	7	8	1,14	6	7	1,16	2	2
3	24	24	1	27	29	1,07	17	17
4	20	21	1,05	21	21	1	5	5
5	23	24	1,04	36	37,5	1,04	16	16
6	14	14	1	16	19	1,18	6	4
7	23	25	1,08	15	15	1	5	5
8	17	18	1,05	26	29	1,11	6	6
9	19	19	1	34	34	1	5	5
10	34	35	1,02	35	36	1,02	11	10
11	12	13	1,08	21	22	1,04	7	7
Promedio			1,06			1,05		
Desviación			0,07			0,06		

En las Tablas 8 y 9, se pueden observar los promedios de las proporciones de las variables morfológicas en las esponjas para las condiciones experimentales. El experimento de las esponjas sometidas al sombreado con techo de pvc transparente, también es considerado un control, pero no de la luz, sino del efecto techo.

Tanto para las esponjas sombreadas con pvc transparente como para las esponjas sombreadas con pvc negro, se obtuvo una proporción menor a 1 entre la condición final e inicial del largo de las ramas, mientras que en el caso de la proyección la proporción fue mayor a uno.

Tabla 8. Medidas iniciales (agosto 2010), finales (septiembre 2010) y cocientes (final/inicial) del largo y proyección de las esponjas sombreadas: techo transparente.

N # de esponja	Largo (cm)		Proporción (Final/Inicial)	Proyección (cm)		Proporción (Final/Inicial)	N# de ramas	
	Inicial	Final		Inicial	Final		Inicial	Final
1	14	13	0,92	19	20	1,05	5	5
2	7	6	0,85	9	10	1,11	5	5
3	9	7	0,77	19	22	1,15	4	4
4	19	17	0,89	22	25	1,13	4	4
5	15	13	0,86	9	11	1,22	6	6
6	11	10	0,90	29	31	1,06	10	10
7	8	6	0,75	15	16	1,06	3	3
8	18	16	0,88	15	16	1,06	4	4
9	9	8	0,88	23	25	1,08	5	5
10	10	9	0,9	8	9	1,12	2	2
11	8	8	1	14	15	1,07	2	2
Promedio			0,87			1,10		
Desviación			0,07			0,05		

Nota: En la medición final en la muestra 3 se encontró que el techo estaba caído ejerciendo una presión en algunas ramas de la esponja.

Tabla 9. Medidas iniciales (agosto 2010), finales (septiembre 2010) y cocientes (final/inicial) del largo y proyección de las esponjas sombreadas: techo negro.

N # de esponja	Largo (cm)			Proyección (cm)			N# de ramas	
	Inicial	Final	Proporción (Final/Inicial)	Inicial	Final	Proporción (Final/Inicial)	Inicial	Final
1	27	24	0,88	14	16	1,21	9	9
2	13	8	0,69	25	27	1,08	10	10
3	18	15	0,83	24	28	1,25	14	14
4	19	18	0,94	11	14	1,54	6	6
5	14	12	0,85	17	20	1,17	10	10
6	10	8	0,8	16	20	1,25	5	5
7	14	12	0,78	19	24	1,26	6	6
8	9	11	1,22	15	18	1,2	4	4
9	15	18	1,26	21	26	1,23	7	7
10	15	11	0,66	7	8	1,28	4	4
11	23	21	0,91	22	25	1,22	8	8
Promedio			0,90			1,19		
Desviación			0,18			0,06		

En la Figs. 20 y 21, se muestra el promedio de las proporciones del largo y proyección de los once ejemplares de esponjas en las tres condiciones experimentales.

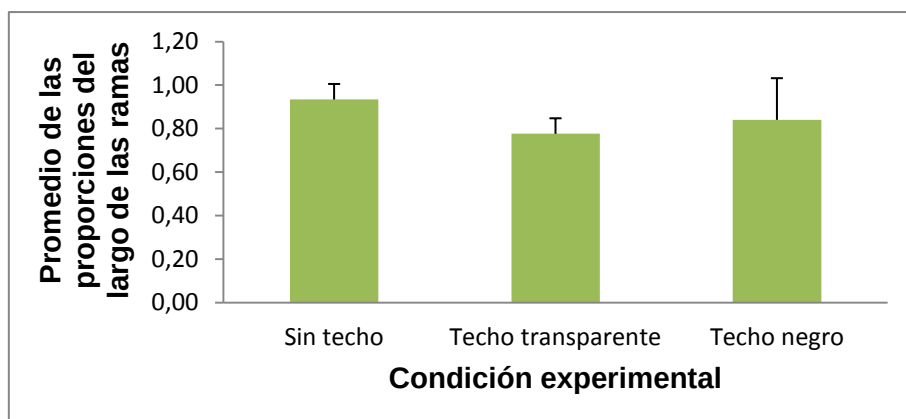


Figura 20. Promedio de las proporciones del largo (largo final/largo inicial) de las ramas de las esponjas en las diferentes condiciones experimentales.

Existen diferencias entre las proporciones del largo (largo final/largo inicial) de las ramas de las esponjas sujetas a los distintos tratamientos, tal como lo indican los resultados del Anova ($p = 0,007$). Los promedios de las proporciones del experimento control (sin techo) y del tratamiento techo transparente son diferentes ($p = 0,0000039$), al igual que los promedios correspondientes al tratamiento sin techo y al tratamiento techo negro ($p = 0,01$).

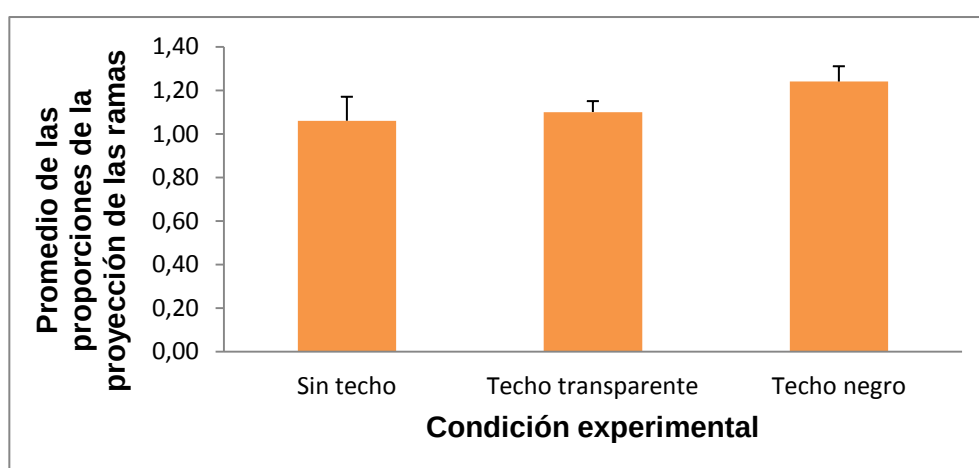


Figura 21. Promedio de las proporciones de la proyección de las ramas (proy final/proy inicial) de las esponjas en las diferentes condiciones experimentales.

En el caso de las proporciones de la proyección de las ramas (proy final/proy inicial) de las esponjas sujetas a los tres tratamientos, la prueba de Anova indicó que las diferencias entre los tres promedios son estadísticamente significativas ($p= 0,000016$). De igual forma, la comparación entre los pares de promedios "control-techo transparente" ($p= 0,01$), así como los promedios de los tratamientos "control-techo negro" ($p = 0,0001$) resultaron diferentes.

Efecto del sombreado en la biomasa de endosimbiontes fotosintéticos

Las concentraciones de clorofila *a* obtenidas en las esponjas utilizadas en este experimento son variables, oscilando entre 17,81 µg/g y 321,18 µg/g.

En la Tabla 10, se observa el valor promedio de las concentraciones de clorofila *a* al inicio del experimento de las once esponjas que no fueron sometidas a la condición experimental de sombreado el cual fue 135,35 µg/g ($\pm 93,88$).

Tabla 10. Concentraciones iniciales (agosto 2010) y finales (septiembre 2010) de clorofila *a* en esponjas en su condición natural: control.

Nº de muestra	[clo <i>a</i>] inicial µg/g	[clo <i>a</i>] final µg/g
1	194,05	221,57
2	262,51	109,84
3	183,80	96,99
4	32,37	70,47
5	107,53	97,83
6	64,28	90,38
7	87,63	108,19
8	46,24	68,98
9	123,72	132,07
10	321,18	65,42
11	65,58	52,60
Promedio	135,35	101,30
Desviación	93,88	46,19

Al comparar las concentraciones de clorofila a en las esponjas controles, se observa (Fig.22) una ligera variación en los valores iniciales y finales de cada esponja. De las once esponjas control, seis incrementaron su valor final con respecto al inicial y cinco disminuyeron su valor final con respecto al inicial, no encontrándose una tendencia única en la respuesta, durante el mes de estudio. Tal resultado pareciera indicar una variabilidad intraindividuo en la biomasa de endosimbiontes fotosintéticos en la especie, no asociada a las condiciones de iluminación u otro factor ambiental.

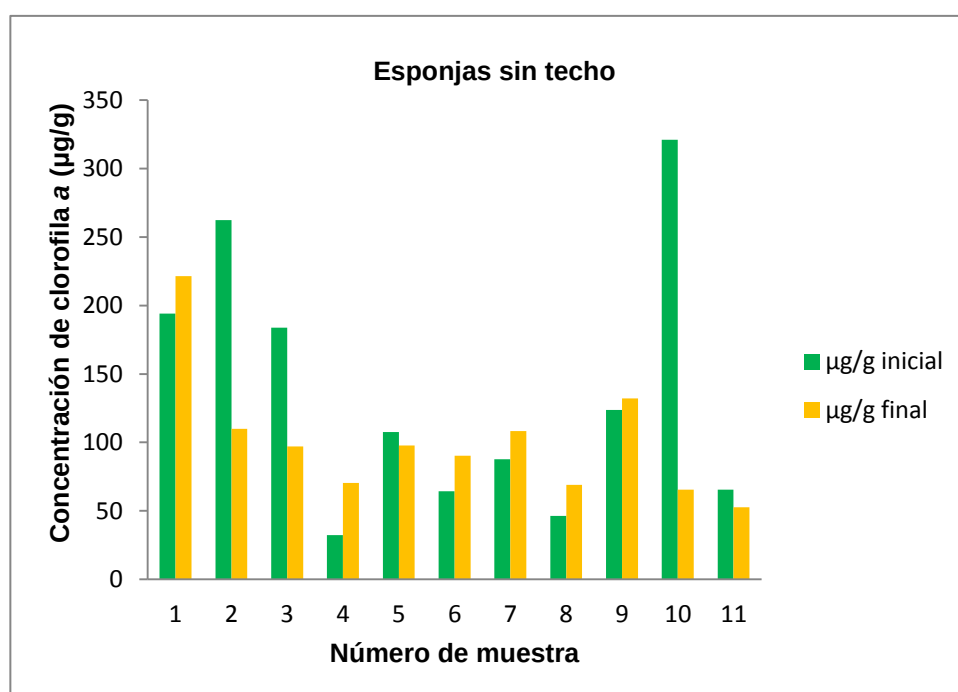


Figura 22. Concentraciones iniciales y finales de clorofila a en esponjas en su condición natural (control).

Para el experimento de las esponjas cubiertas con pvc transparente, la concentración inicial de clorofila a promedio fue de 76,50 µg/g ($\pm 36,57$) y la concentración final promedio fue de 85,62 µg/g ($\pm 19,25$)(Tabla 11).

Tabla 11. Concentraciones iniciales (agosto 2010) y finales (septiembre 2010) de clorofila a en esponjas sombreadas: techo transparente.

Nº de muestra	[clo a] inicial µg/g	[clo a] final µg/g
1	80,59	80,34
2	86,67	94,46
3	104,93	91,86
4	34,82	74,86
5	70,27	72,38
6	85,58	136
7	35,42	89,79
8	56,79	78,10
9	144,05	60,59
10	27,07	80,84
11	115,34	82,67
Promedio	76,50	85,62
Desviación	36,57	19,25

Se encontró que de once muestras de esponjas siete presentaron una concentración de clorofila a final mayor que la concentración de clorofila a obtenida al comienzo del experimento (Fig.23). Nuevamente no se observó una tendencia para todo el grupo de esponjas en este tratamiento.

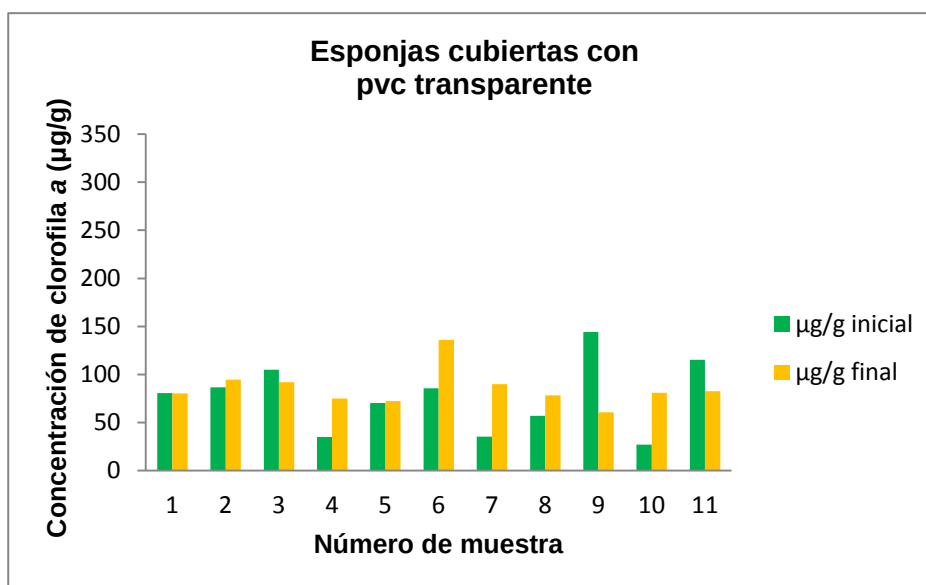


Figura 23. Concentraciones iniciales y finales de clorofila a en esponjas sombreadas (pvc transparente).

En la Tabla 12 y la Fig. 24, se muestran las concentraciones de clorofila a al inicio ($42,38 \mu\text{g/g} \pm 14,61$) y al final del experimento ($74,35 \mu\text{g/g} \pm 14,20$), en esponjas cubiertas con techo negro, observándose una uniformidad en la respuesta de los individuos experimentales a la limitación de luz impuesta por el techo negro.

Tabla 12. Concentraciones iniciales (agosto 2010) y finales (septiembre 2010) de clorofila a en esponjas sombreadas: techo negro.

Nº de muestra	[clo a] inicial $\mu\text{g/g}$	[clo a] final $\mu\text{g/g}$
1	39,08	68,89
2	62,39	76,22
3	53,73	77,26
4	39,55	76,65
5	60,07	67,92
6	17,81	53,65
7	26,92	76,26
8	39,41	104,8
9	40,68	81,32
10	28,83	85,19
11	57,79	49,72
Promedio	42,38	74,35
Desviación	14,61	14,20

En las Tablas 10, 11 y 12 se puede observar que los valores de concentraciones de clorofila a finales, aumentan en comparación a los valores de clorofila a iniciales.

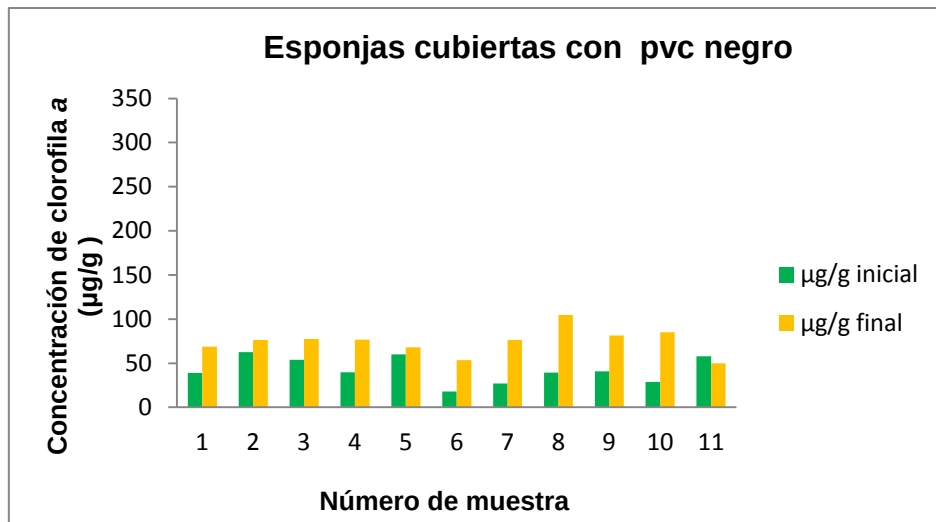


Figura 24. Concentraciones iniciales y finales de clorofila a en esponjas sombreadas (pvc negro).

Al comparar las concentraciones iniciales promedio de clorofila a en las diferentes condiciones experimentales, se observa que en las esponjas controles se obtuvo un valor mayor que en las esponjas sometidas a condiciones experimentales de sombreado (Fig. 26).

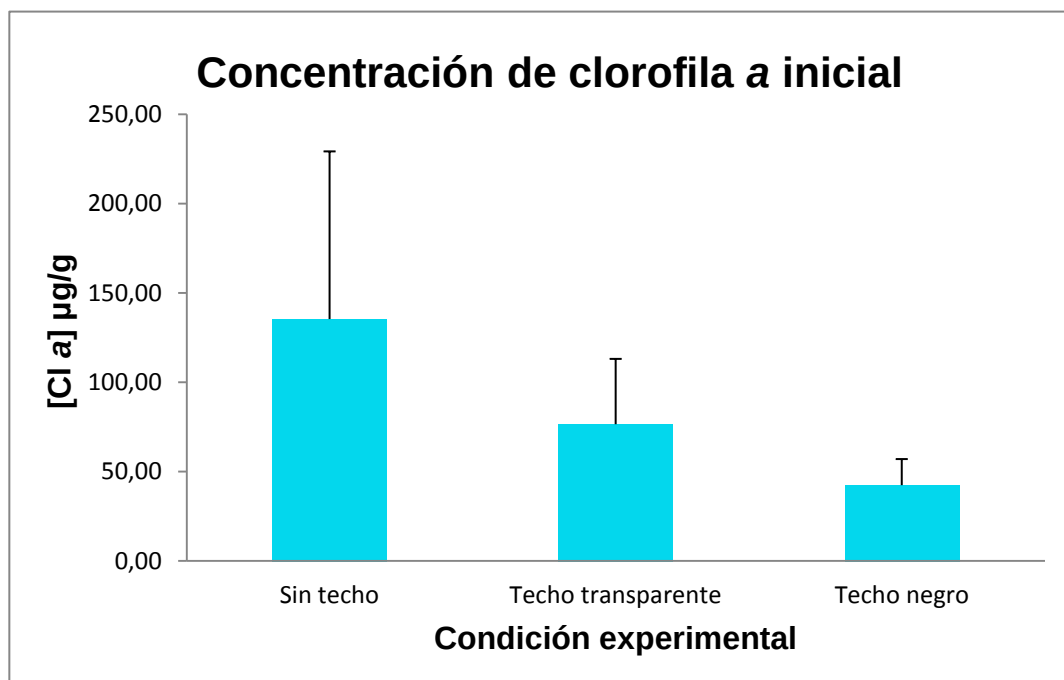


Figura 25. Concentraciones de clorofila a iniciales en esponjas con diferentes condiciones experimentales.

El promedio de las concentraciones finales de clorofila *a* obtenidos en las diferentes condiciones experimentales se observa en la Figura 26. En los experimentos control y de techo transparente se obtuvo un valor mayor de clorofila *a* promedio que en las esponjas sometidas a condiciones experimentales de sombreo: techo negro.

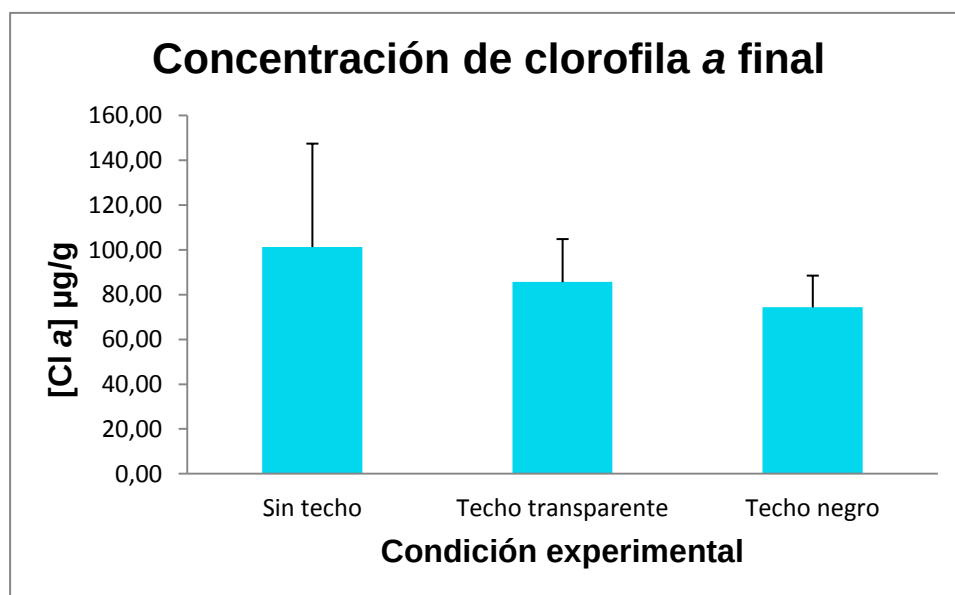


Figura 26. Concentraciones de clorofila *a* finales en esponjas con diferentes condiciones experimentales

En la Figura 27, se observan los valores de las concentraciones iniciales y finales de clorofila *a* obtenidos en las tres condiciones experimentales.

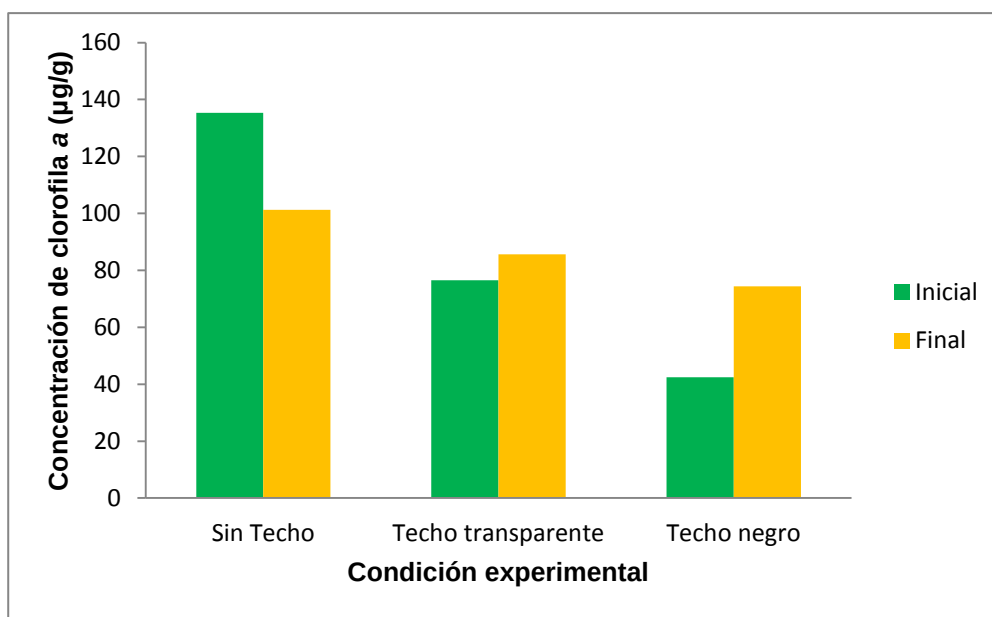


Figura 27. Concentraciones de clorofila a iniciales y finales en esponjas con diferentes condiciones experimentales.

Las concentraciones de clorofila a obtenidas en las esponjas que fueron sometidas a condición experimental de sombreo (pvc transparente y pvc negro) fueron menores que las concentraciones de clorofila a de las esponjas que permanecieron en su condición natural (sin techo), lo que indica que ambas condiciones experimentales generan una variación en la biomasa de endosimbiontes fotosintéticos de dichas esponjas, lo que pareciera ser una respuesta de las esponjas a la interferencia producida por ambos techos, bien sea a la luz como a otros factores ambientales (corrientes superficiales, sedimentos que se depositan sobre la esponja, depredación, entre otros).

También, en la Figura 27, puede observarse que a mayor limitación de luz mayor es la concentración de clorofila a (en un tiempo final), por lo que puede inferirse, que las esponjas cubiertas con techo negro al parecer presentaron un mayor crecimiento de la población de cianobacterias que se encontraban en dichas esponjas.

No se detectó una diferencia estadísticamente significativa en el promedio de clorofila *a* antes y después en la condición esponjas sin techo ($t= 0,67$; $g.l=10$; $p= 0,52$), ni tampoco en las concentraciones de clorofila *a* promedio final e inicial en las esponjas con techo transparente ($t=1,23$; $g.l=10$; $p=0,25$). Por el contrario, sí se detectó una diferencia significativa entre las concentraciones promedio final e inicial de clorofila *a*, en la condición esponjas con techo negro ($t= 4,68$; $g.l= 10$; $p=0,001$).

Variaciones en la biomasa de endosimbiontes dentro de una misma esponja

Se determinó que las distintas ramas que conforman una esponja pueden presentar diferentes concentraciones de clorofila *a* (variación intraindividuo).

En la Tabla 13 se muestran las concentraciones de clorofila *a* en distintas ramas de tres esponjas que se encontraban en la zona lagunar donde se realizó el experimento de sombreo.

Tabla 13. Concentraciones de clorofila *a* en distintas ramas de tres esponjas.

	Esponja 1	Esponja 2	Esponja 3
	[clo <i>a</i>] $\mu\text{g/g}$	[clo <i>a</i>] $\mu\text{g/g}$	[clo <i>a</i>] $\mu\text{g/g}$
Rama 1	47,78	57,30	96,86
Rama 2	71,62	29,03	85,08
Rama 3	105,67	66,88	86,41
Rama 4	83,64	110,65	238,81
Rama 5	66,96	35,36	
Promedio	75,13	59,84	126,79
Desviación	21,40	32,35	74,86

De acuerdo a los análisis estadísticos realizados, la variabilidad de clorofila a intraindividuo (en escala logarítmica) no difiere significativamente entre individuos (Prueba de Levene: $F=0.986$, $p=0.42$). El estimado de la varianza intraindividuo es de 0,031, mientras que el estimado de la varianza entre individuos fue de 0,010. De acuerdo a esto, la variabilidad en la concentración de clorofila a intraindividuo (entre ramas de una misma esponja) es tres veces mayor que la variabilidad entre individuos.

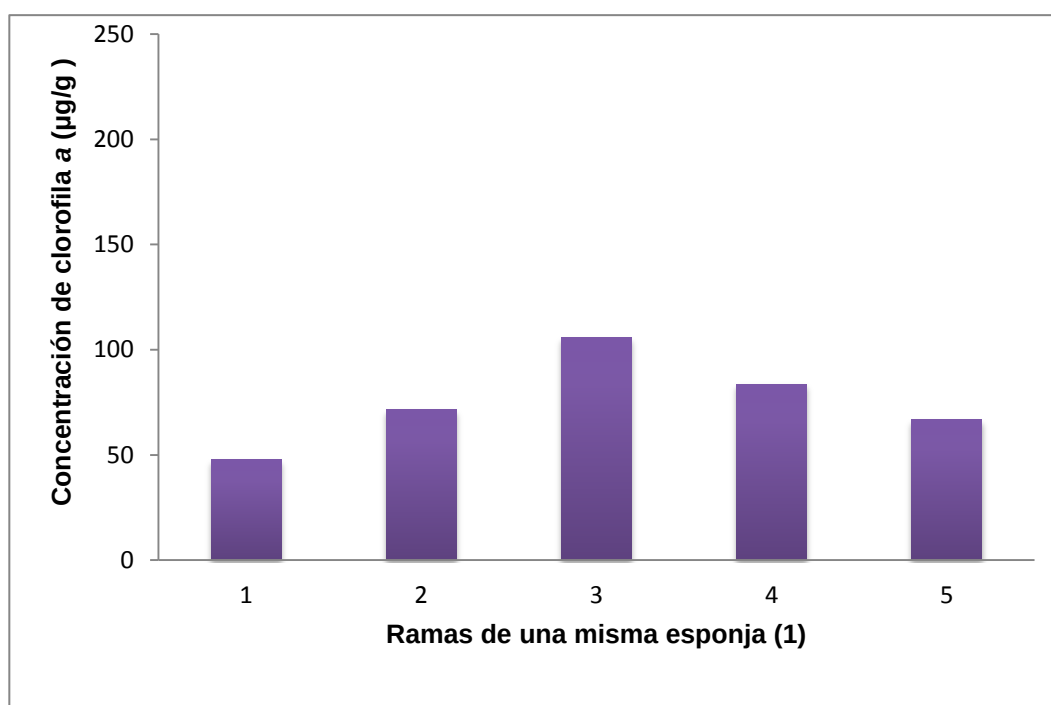


Figura 28. Concentraciones de clorofila a en distintas ramas de una misma esponja (Esponja 1).

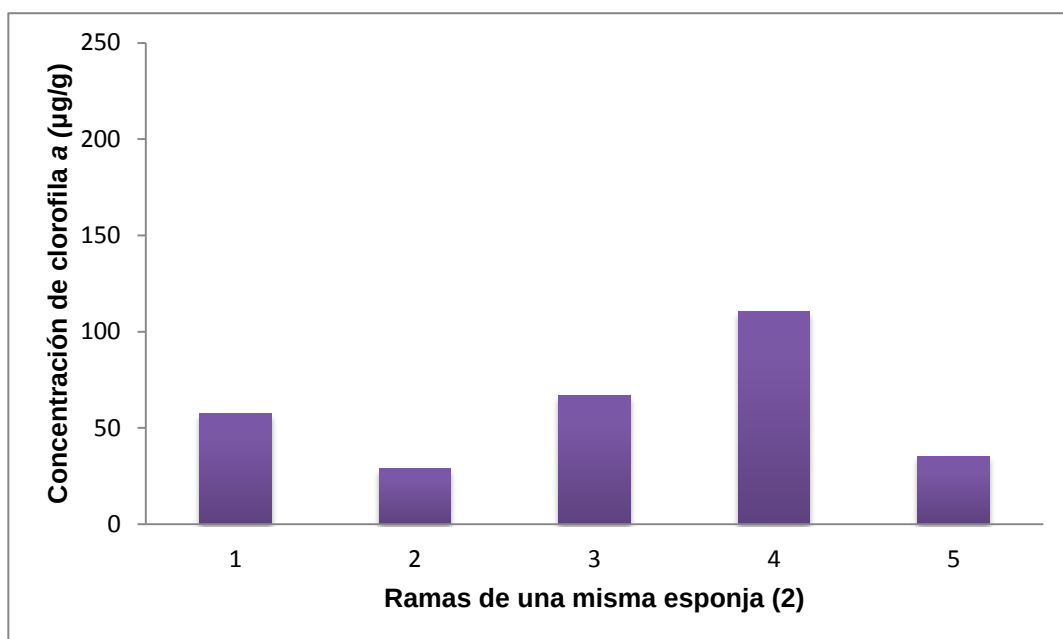


Figura 29. Concentraciones de clorofila *a* en distintas ramas de una misma esponja (Esponja 2).

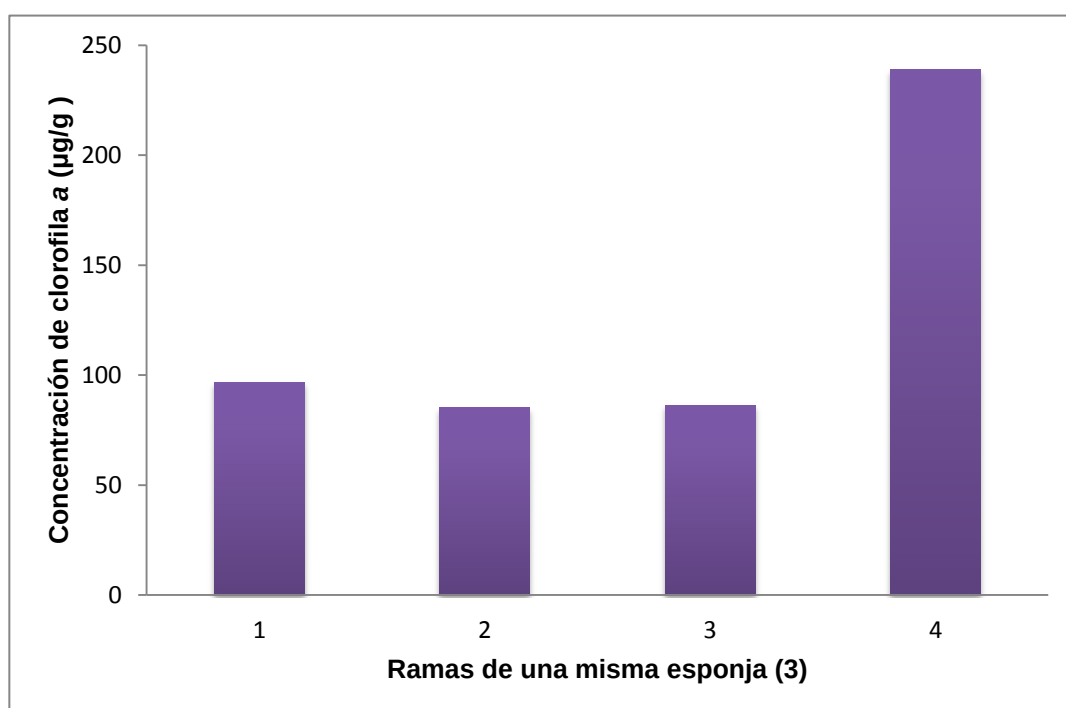


Figura 30. Concentraciones de clorofila *a* en distintas ramas de una misma esponja (Esponja 3).

DISCUSIÓN

La iluminación, la temperatura, las corrientes y la turbulencia física influyen en la distribución de las esponjas tropicales (Wilkinson, 1979). La radiación solar influye directamente sobre la temperatura del aire, la humedad atmosférica y la luz, lo que en gran medida define el ambiente físico general en que puede desarrollarse un organismo. Dentro de la estructura impuesta por la radiación solar existe un amplio intervalo de diferencias microclimáticas a las cuales debe adaptarse un organismo. Del rango completo de radiación solar que llega a la atmosfera de la Tierra, las longitudes de onda entre 400 y 700 nm componen la luz visible. En conjunto, estas longitudes de onda se conocen como radiación fotosintéticamente activa, debido a que incluyen las longitudes de onda que las plantas utilizan para realizar la fotosíntesis (Smith, 2005).

La temperatura puede influenciar los procesos fotosintéticos del alga mediante cambios en la actividad fotosintética (Davison, 1991). El aumento de la temperatura del agua puede estimular el rápido crecimiento de los simbioses cianobacterias que no pueden ser controlados por la esponja (Rützler, 1988).

Al comparar los valores obtenidos de temperatura, transparencia del agua y porcentaje de nubosidad realizados a diferentes horas del día (Tabla 1), se observó que la temperatura del agua permaneció casi constante todo el día, obteniendo un valor mínimo de 29,3 °C y un valor máximo 30 °C; la transparencia vertical del agua medida sólo en la zona arrecifal, fue mayor al mediodía (12:00 pm) y el porcentaje de nubosidad fue mayor en la mañana (6:00 am).

En todas las horas en que fue medida la radiación, la intensidad lumínica fue menor debajo de los techos que sobre los techos (tanto en los pvc transparentes

como en los pvc negros). Por su parte, la intensidad lumínica resultó, como era de esperarse, menor debajo de los techos negros que en los techos transparentes.

Estos resultados muestran el efecto de sombreo que realizaron los techos sobre las esponjas experimentales, lo cual se traduce a su vez en una disminución de la luz disponible para los endosimbiontes (cianobacterias).

Las comunidades de esponjas pueden ser muy dinámicas en el tiempo y el espacio, o relativamente estables, lo que va depender del hábitat y profundidad donde se establecen. En ambientes crípticos y aguas más profundas las variaciones temporales han sido reportadas como no significativas (Sarà, 1970; Hughes, 1996), mientras que son señaladas como muy variables en aguas someras donde son frecuentes las perturbaciones de origen natural o antropogénico (Smith *et al.*, 1981, Wilkinson, 1987).

Gran parte de las especies encontradas en la zona de laguna arrecifal (*Ircinia felix*, *Ircinia strobilina*, *Dysidea etheria*, *Aplysina fulva*, *Scopalina ruetzleri*, *Amphimedon compressa*, *Amphimedon viride*, *Niphates erecta* y *Callyspongia vaginalis*) constituyen las esponjas más comunes de las comunidades coralinas del Caribe de aguas someras (Alcolado, 1985; Schmahl, 1990; Zea, 1993; Pauls, 1998).

En este estudio, el número total de especies registrado en la zona de laguna arrecifal fue similar al obtenido por Pauls (2000), quien reportó 15 especies de esponjas para la zona noroeste del cayo Dos Mosquises Sur, archipiélago Los Roques (14 reportadas en 1996 y 12 especies en el 2000). Así mismo, la especie con mayor cobertura en la zona lagunar fue *Aplysina fulva* al igual que lo obtenido por Pauls (2000). Esta especie presenta altas concentraciones de clorofila *a* y es

portadora del simbiote *Synechococcus spongiarum* (Rützler 1990, Steindler y col 2005, Díaz 2007, Erwin y Thacker 2007).

Las esponjas que albergan simbioses fotosintéticas, representan entre el 28 y el 58% de la diversidad de esponjas en los arrecifes del Caribe (Wilkinson, 1989; Wilkinson y Chessire, 1990). En la zona de laguna arrecifal, de las doce especies de esponjas encontradas, cuatro de ellas poseen al simbiote fotosintético *Synechococcus spongiarum*, de las cuales dos resultaron ser abundantes *Aplysina fulva* con 189 individuos y con una cobertura relativa de (73,61%) e *Ircinia felix* con 33 individuos y con una cobertura relativa de (8,14%).

Las esponjas que no fueron sometidas a ningún efecto de sombreado (esponjas sin techo), no presentaron cambios significativos en las proporciones de largo y proyección (Tabla 7), Por el contrario, las esponjas sometidas a las condiciones de sombreado (pvc transparente y pvc negro), si presentaron una variación significativa en la proyección de sus ramas, aumentando algunos centímetros luego de haber transcurrido el experimento, sin embargo, en estas mismas esponjas experimentales, se obtuvo una reducción en el largo de las ramas. El aumento en la proyección y la disminución en el largo podría atribuirse a que el techo pudo ejercer un efecto sobre las ramas, ocasionando que las mismas crecieran en una dirección que les permitiera captar la luz a la que estaban siendo limitadas. Thacker (2005) sugirió que la falta de un esqueleto mineral de espículas de sílice, hace que las esponjas sean más blandas y compresibles, perdiendo masa luego de dos semanas de sombreado; además concluyó, que una esponja que contiene un esqueleto mineral no puede crecer tan rápidamente como una esponja que contenga fibras de espongina. En este estudio, se trabajó con la especie *Aplysina fulva*, cuyo esqueleto está conformado sólo por fibras de espongina. De manera que, la disminución del

largo de las ramas de las esponjas de *A. fulva* podría atribuirse a una pérdida de masa por el efecto de sombreo generado a dichas esponjas. Además, se pudo observar que las esponjas sujetas a condición de sombreo (pvc negro) presentaron una mayor variación en respuesta al tratamiento largo y proyección de las ramas de las esponjas con mayor varianza al final del experimento.

Las concentraciones de clorofila *a* obtenidas en las esponjas experimentales fueron variables, entre 17,81 µg/g y 321,18 µg/g.

El valor promedio de las concentraciones de clorofila *a* al inicio del experimento de las once esponjas que no fueron sometidas a la condición de sombreo fue de 135,35 µg/g ($\pm 93,88$), este valor coincide con el reportado por Erwin y Thacker (2007), donde señalan para *A. fulva* concentraciones de clorofila *a* mayores de 125 µg/g.

Los valores de concentración inicial de clorofila *a* obtenidos en las diferentes condiciones experimentales (sin techo, techo transparente y techo negro) no resultaron ser tan similares como se esperaba. Se pudo observar que el promedio de las concentraciones iniciales de clorofila *a* en las esponjas que no se encontraban sometidas a condiciones de sombreo (esponjas sin techo) fue mayor que el promedio de las concentraciones de clorofila *a* de las esponjas que sí se encontraban cubiertas por un techo (pvc transparente y pvc negro).

La poca similitud en las concentraciones de clorofila *a* en las condiciones iniciales del experimento (Fig.25), pudiera deberse a: una variación entre los diferentes individuos (distintas esponjas) y a variaciones internas de un mismo individuo, es decir, la variación de las distintas ramas de una misma esponja. Se evidenció estadísticamente, mediante una Prueba de Levene, que la variabilidad en

las concentraciones de clorofila *a* intraindividuo es tres veces mayor que la variabilidad entre individuos.

Con relación a las concentraciones de clorofila *a* en las esponjas cubiertas con pvc negro, de once muestras de esponjas, diez incrementaron su concentración de clorofila *a* al final del período de experimentación, y sólo una disminuyó su valor final con respecto al inicial. En la Figura 27, puede observarse que a mayor limitación de luz, mayor es la concentración de clorofila *a* (en un tiempo final), por lo que puede inferirse, que las esponjas cubiertas con techo negro presentaron un mayor crecimiento de las cianobacterias que se encontraban en dichas esponjas.

Rützler (1988) indicó que la tasa de crecimiento de las cianobacterias simbioses en sus esponjas hospedadoras, es más rápida por la multiplicación de las cianobacterias que por la fagocitosis por parte de su hospedador esponja.

El crecimiento de las algas por la limitación de la luz generalmente está relacionado a cambios donde hay una mayor asignación de recursos a los pigmentos y polipéptidos relacionados con la captación (recolección) de la luz. Cuando las algas experimentan cambios en las condiciones de luz ocurre una aclimatación del aparato fotosintético, dando como resultado la optimización de la eficiencia de la fotosíntesis (Geider, 1987)

La luz y los nutrientes del medio ambiente afectan el estado fisiológico de las células (Davinson, 1991). A baja intensidad de luz, se asegura que la máxima actividad fotosintética sea mantenida. A nivel celular la fotoaclimatación puede ser atribuida a cambios tanto en la recolección y la reacción de los pigmentos fotosintéticos, como a la cantidad de pigmentos por célula, así como a la proporción de diferentes pigmentos o a ambos (Richardson y col., 1983). Este cambio en la

asignación puede ser interpretado como la optimización del equilibrio de la tasa de suministro de energía a partir de la fotoquímica primaria y la tasa de consumo de energía en la reacción posterior. Una de ellas es que, en bajas densidades de flujo de fotones incidentes, la conversión de estos en el material celular se incrementa por la mayor proporción de pigmentos captadores de luz a los catalizadores intermedios de la celda, aclimatándose a bajas densidades de flujo de fotones (Geider, 1987).

Es conveniente acotar que la fotoaclimatación implica que un organismo invierte alguna energía para cambiar algunos aspectos de su fisiología y/o morfología para adaptarse mejor a algún régimen de luz (Smith, 2005).

Por ejemplo, los corales poseen mecanismos de adaptación a intensidades de luz baja y también a los cambios de la composición del espectro de la luz. Entre estos mecanismos se pueden mencionar: el aumento en la cantidad de zooxantelas y en el contenido de clorofila en sus pólipos (Titlyanov y col. 1980, Dustan 1982, Mc Closkey y Muscatine 1984, Dubinsky y col. 1984, Falkowsky y col. 1984, Porter y col 1984), la disminución en la tasa de respiración (Davies 1977), los cambios de la morfología de sus colonias, aplanamiento, (Titlyanov 1987), la aparición de órganos y estructuras especiales, y el aumento de la habilidad de los corales de utilizar luz débil (Vereshi y Fricke 1986).

Dentro de los límites de la intensidad de la luz de 30 – 10% PARS la adaptación a la disminución de la luz en los corales, ocurre principalmente por un aumento en el contenido de clorofila por unidad de área de superficie. A intensidades de luz baja a 20% PARS los mecanismos de adaptación cambian. Eso ocurre principalmente por cambios de adecuación en la morfología de sus colonias y por un incremento en el número de pólipos por unidad de área de superficie

iluminada, dirigido a la optimización de la intersección de la energía lumínica (Zvalinski y col. 1980, Titlyanov 1981, Falkowsky y Dubinski 1981).

Por otra parte, la condición ambiental local puede intervenir entre el simbiote cianobacteria y la esponja hospedadora, los cambios en el medio ambiente pueden alterar la cooperación mutualista y crear más competitividad o más parasitismo (Thacker, 2005).

Mientras que las diatomeas pueden tener dificultades para arreglárselas con el régimen de nutrientes reducido, las cianobacterias pueden tener un incremento en su abundancia, ya que ha sido encontrado que son resistentes a una disminución de nutrientes (Defew y col., 2004).

A diferencia del trabajo de Thacker (2005), el cual obtuvo una disminución (reducción ligera de cianobacterias) en las concentraciones de clorofila *a*, en este trabajo se obtuvo un aumento en las concentraciones de clorofila *a*, este hecho posiblemente se deba a que se duplicó el tiempo de sombreo (4 semanas) con respecto a su estudio. Es probable que la relación entre la densidad del simbiote y la limitación de luz no sea del todo lineal, y que la respuesta inicial a la disminución de la intensidad lumínica sea una disminución de la densidad de los simbiotes en la esponja, la cual luego de cierto tiempo se invierte, llevando a un incremento de la densidad de simbiotes.

Se pensaba que un simbiote como *Synechococcus spongiarum* por establecer una relación más generalista con su esponja hospedadora, tendría bajo condiciones de luz limitadas, una habilidad de dispersión mayor que un simbiote que estableciera una relación más estrecha con su hospedador (simbiote

especialista) (Thacker, 2005). Nuestros resultados no apoyan tal interpretación, ya que se evidenció que el simbiote generalista, en lugar de dispersarse fuera de la esponja que se sometió a un efecto de sombreo, permaneció hospedado en la esponja y se adaptó al cambio, mediante una multiplicación rápida de sus simbios (aumento de las concentraciones de clorofila *a*) logrando compensar la disminución de luz y seguir realizando normalmente el proceso fotosintético.

CONCLUSIONES

- En la zona de laguna arrecifal se identificaron un total de 12 especies de esponjas agrupadas en 5 órdenes y 8 familias todas pertenecientes a la Clase Demospongiae.
- La especie *Aplysina fulva* presentó la mayor abundancia relativa, la mayor cobertura relativa y la mayor frecuencia de aparición en comparación a las otras especies encontradas en el área de estudio.
- Se identificaron tres morfotipos distintos de *Aplysina fulva* de los cuales el morfotipo 1 presentó una mayor cobertura promedio.
- Los ejemplares de esponjas sometidos a las condiciones de sombreo (pvc transparente y pvc negro), presentaron una variación significativa en la proyección y en el largo de sus ramas, luego de haber transcurrido el experimento, aumentando algunos centímetros para el primer caso y una reducción para el segundo caso, lo que podría deberse a una pérdida de masa por el efecto de sombreo.
- La condición experimental de sombreo (pvc negro) fue la que produjo una mayor variación (reducción) en respuesta al tratamiento (largo y proyección de las ramas de las esponjas).
- Las concentraciones de clorofila *a* obtenidas en las esponjas que fueron sometidas a condición experimental de sombreo (pvc transparente y pvc negro) fueron menores que las concentraciones de clorofila *a* de las esponjas que permanecieron en su condición natural (sin techo), lo que indica que ambas condiciones experimentales generaron una variación en la biomasa de endosimbiontes fotosintéticos de dichas esponjas.

- Las concentraciones de clorofila *a* finales fueron mayores que las concentraciones de clorofila *a* iniciales, en las esponjas cubiertas con techo negro, lo que indica que la limitación de luz generó un aumento en la biomasa de endosimbiontes fotosintéticos.
- La variación en las concentraciones de clorofila *a* intraindividuo (distintas ramas de una misma esponja) resultó ser tres veces mayor a la variación de las concentraciones de clorofila *a* entre individuos (distintas esponjas).
- El endosimbionte fotosintético *Synechococcus spongiarum* en lugar de dispersarse fuera de la esponja que está siendo sometida a un efecto de sombreo, parece permanecer hospedado en la misma y adaptarse al cambio, generando una tasa de multiplicación más rápida, lo que conduce a un aumento en su biomasa (concentración de clorofila *a*).

RECOMENDACIONES

- Es necesario desarrollar mediciones de concentración de clorofila *a* en intervalos de tiempo más corto (día 1, día 5, día 10, día 20, día 30) para así obtener un conocimiento más exacto de la respuesta de los endosimbiontes fotosintéticos a bajas intensidades de luz.
- Se recomienda para futuros estudios realizar el experimento de sombreo en otra época del año en el que la variable temperatura sea diferente, de manera de evaluar como afecta la temperatura y la disminución de la intensidad de luz a los endosimbiontes fotosintéticos.

BIBLIOGRAFÍA

Alcolado, P. 1985. Estructura ecológica de las comunidades de esponjas en Punta del Este, Cuba. Reporte de Investigación del Instituto de Oceanología **38**: 1-65

Alvarez, M.B y Díaz, M.C.1985. Las esponjas de un arrecife coralino en El Parque Nacional Los Roques. Trab. Grado Lic. Biología, Universidad Central de Venezuela.

Amaro, M.E. y Liñero-Arana, I. 2002. Demospongiae (porífera) de Isla Larga, Bahía de Mochima, Venezuela. *Biol. Inst. Oceanogr. Venezuela. Universidad de Oriente* **41**: 45- 53

Boury-Esnault, N y Rützler, K. 1997. Thesaurus of Sponge Morphology. Smithsonian Contributions to Zoology, 4-7.

Bruinsma, J. 1963. The quantitative analysis of chlorophylls a and b in plant extracts Photochem and Photobiol.

Brusca, R. y C. Brusca, G. J. 2005. Invertebrados. Editorial Interamericana McGraw-Hill. Segunda edición.

Cheshire, A., Wilkinsosn, C. R., Seddon, S., Westphalen, G. 1997. Bathymetric and seasonal changes in photosynthesis and respiration of the phototropic sponge *Phyllospongia lamellose* in comparison with respiration by the heterotrophic sponge *Ianthella basta* on Davies Reef, Great Barries Reef. Mar Freshw Res **48**: 589- 599

Chou, L.M. 1984. A review of coral reef survey and management methods in singapore. UNESCO Reports in Marine Sciences **21**:36-46.

Daniel, W. 2009. Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud. Editorial Limusa Wiley. Cuarta edición.

Davies, P., Kinsey, D. 1977. Holocene reef growth: One tree Island, Great Barrier Reef. *Mar Geology* 24: M1- M11.

Davison, I. 1991. Environmental effects on algal photosynthesis: temperatura. *Journal of Phycology* 27: 2-8

Dawes, C.1991. Botánica marina. Editorial Limusa. Primera reimpresión.

Defew, E. C. Perkins, R. G y Paterson, D. M. 2004. The influence of light and temperature interactions on a natural estuarine microphytobenthic assemblage. *Biofilms* 1: 21-31

Díaz, M. C. y Rützler, K. 2001. Sponges: An essential component of Caribbean coral reefs. *Bulletin marine science*, 69(2): 535-546.

Díaz, M.C., Thacker, R. W. Rützler, y K., Piantoni, C. 2007. Two new haplosclerida sponge from Caribbean Panama with symbiotic filamentous cyanobacteria, and an overview of sponge-cyanobacteria associations. *Innovation and Sustainability*.

Dustan, P.1982. Intraspecific diversity and ecological zonation in coral-algal symbiosis. *Mar Biol* 68: 253-264.

Dubinsky, Z., Falkowski, PG., Porter, J., Muscatinel.1984. The absorption and utilization of radiant energy by light and shade-adapted colonies of the hermatipic coral *Stylophora pistillata*. *Proc R Soc London (B)* 222: 203-214.

Erwin, P. M. y Thacker, R. W. 2007. Incidence and identity of photosynthetic symbionts in Caribbean coral reef sponge assemblages. *Marine Biology*, 87: 1683-1692.

Falkowsky, P y Dubinsky, Z. 1981. Light- shade adaptation of *Stylophora pistillata*, a hermatypic coral from the Gulf of Eilat. *Nature (London)* **289**: 172-174.

Falkowsky, P., Dubinsky, Z., Muscatine, L.1984. Light and the bioenergetics of a symbiotic coral. *Bioscience* **34**: 705-709.

Garibov, L. V., Dundin, K., Koptyaeva, F., Filin, V., Vodorosli, lishyniki mokhoobraznye SSSR, Mysl', Moscow. 1978, pp.15-40 revisa esta q esta toda mala.

Geider, R. J. 1987. Light and temperature dependence of the carbon to chlorophyll a ratio in microalgae and cyanobacteria: implications for physiology and growth of phytoplankton. *New phytologist* **106**: 1-34

Glyzina, O. y G, Baram. 2002. Investigation of Photosynthetic Pigments of Symbiotic Algae of the Baikal Sponges. *Chemistry for Sustainable Development*, **10**: 285-289

Hickman, R. 1994. Zoología. Editorial Interamericana McGraw-Hill. Novena edición.

Hughes, T. P. 1996. Demographic approaches to community dynamics: a coral reef example. *Ecology* **77**: 2256-2260.

Hung, M. 1985. Los corales pétreos del Parque Nacional Archipiélago de los Roques. Tesis de Grado. UCV. Caracas Venezuela. 204p.

Izco, J. 1997. Botánica. Editorial Interamericana McGraw-Hill. Segunda edición.

Leletkin, V y Zvalisky, V. 1981. Photosynthesis of coral zooxanthellae from different depths. In *proceedings of the fourth International coral reef symposium, Manila Phiñippines*.PCRS-4, 2, pp 33-37.

Mc Closkey, L y Muscatine, L. 1984. Production and respiration in the Red Sea Coral *Stylophora pistillata* as a function of depth. *Proc R Soc London Ser B* **222**: 215-230.

Pauls, S. M. 1998. Estudio sistemático y biodiversidad de porífera y cnidaria en la Bahía Ciénaga de Ocumare de la Costa, Parque Nacional Henri Pittier. Trabajo de Ascenso, Escuela de Biología, UCV. 339p

Pauls, S. 2000. Variación temporal en la estructura de una pequeña comunidad de esponjas, en el Archipiélago Los Roques, Venezuela. Instituto de Zoología Tropical. Universidad Central de Venezuela.

Pauls, S. 2003. Esponjas. En Aguilera, M., Azocar, A., González, E., Jiménez, eds. Biodiversidad en Venezuela. Volumen I. Fundación Polar y Ministerio de Ciencia y Tecnología.

Porter, J., Falkovsky, P., Dubinsky, Z. 1984. Primary production and photoadaptation in light and shaded-adapted colonies of the symbiotic coral, *Stylophora pistillata*. Proc RSoc London Ser B **222**: 161-180

Ramírez, P. 2001. Corales de Venezuela, 34 Pp. Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente. Xxx pp.

Richardson, K., Beardall, J y Raven, J. A. 1983. Adaptation of unicellular algae to irradiance: an analysis of strategies. *New Phytologist* **93**: 157-191

Rodríguez, B. 2001. Paisaje y Ambiente Físico En Zamarro (ed.): Guía del Archipiélago Los Roques, 77 – 79. Instituto de Cooperación Española y MARNR.

Rützler, K. 1988. Mangrove sponge disease induced by cyanobacterial symbionts: failure of a primitive immune system? *Diseases of Aquatic organisms*. **5**: 143-149

Rützler, K. 1990. Associations between Caribbean sponges and photosynthetic organisms. In: Rützler, K (ed). *New perspectives in sponge biology*. Smithsonian Institution Press, Washington pp.455 – 466

Rützler, K. 1995. Low-tide exposure of sponges in Caribbean mangrove community. *Marine Ecology*, **16**: 165- 179.

Samson, G., Herbert, D., Fork, C y Laudenbach, De. E. 1994. Acclimation of the photosynthetic apparatus to growth irradiance in a mutan strain of *Synechococcus* lacking iron superoxide dismutase. *Plant Physiol* **105**: 287-294

Sarà, M. 1970.Competition and cooperation in sponge populations. Pp: 273-284. In: The biology of the porifera. W.G. Fry (ed.), Symp. Zool. Soc. London

Sarà, M. 1971. Ultrastructural aspects of the simbiosis between species of the genus *Aphanocapsa* (Cyanophyceae) and *Ircinia variabilis* (Demospongiae). *Marine Biology*, **11**: 214-221.

Sarà, M., Bavestrello, G., Casttaneo-Vietti, R y Cerrano, C. 1998. Endosymbiosis in sponges: Relevance for epigenesis and evolution. *Symbiosis* **25**: 57-70

Schmahl, G.P. 1990. Community structure and ecology of sponges associated with four southern. Florida coral reefs. Pp: 376-383. In: K. Rützler (ed). New perspectives in sponge biology. Smithsonian Institution.

Six, C., Thomas, J., Brahamsha, B.,Lemoine, Y Partensky, F. 2004. Photophysiology of the marine cyanobacterium *Synechococcus* sp. WH8102, a new model organism. *Aquat. Microb. Ecol* **35**: 17-29

Smith, S. V., Kimmerer, W. J. Laws, R. E. Brock y Walsh, T. W. 1981 Kaneohe Bay sewage diversion experiment: perspectives on ecosystem responses to nutritional perturbation pacific. *Scince*, **35**: 279-395

Smith, R. y Smith, T. 2005. Ecología. Editorial Pearson Addison Wesley. Cuarta edición.

Sorokin, Y. 1995. Coral Reef Ecology. Editorial Springer. Segunda edición.

Steindler, L., Beer, S. y Ilan, M. 2002. Photosymbiosis in Intertidal and Subtidal tropical sponges. *Symbiosis*, 33 xxx-xxx

Steindler, L., Huchon, D., Avni, A. y Ilan, M. 2005. 16 SrRNA phylogeny of sponge-associated cianobacteria. *Appl Environ Microbial* **71**(7): 4127-4131

Thacker, R. W. 2005. Impacts of shading on sponge- cianobacteria symbioses: A comparison between host-specific and generalist associations. *Integr. Comp. Biol.*, **45**: 369-376.

Titlyanov, E. y Izavalinsky, I. 1978. Ekologicheskiye aspekty fotosinteza morskikh makrovodorosley. Ac. Sci. Vssr Far East Res cen; (Vladivostok) 38-54 Pp.

Titlyanov, E., Shaposhnikova, M., Zvalinsky, V. 1981. Some adaption mechanisms of reef. Building corals of Australia to light intensities. *Biology of the Sea* (Vladivostok) **2**: 23-31.

Titlyanov, E., Zvalinsky, V., Shaposhnikova, M. 1983b. Diurnal changes in physiological parameters of photosynthesis and dark respiration in algae of *Sargassum* genus from areas of South Vietnam. *Biology of the Sea* (Vladivostok) **3**: 39-48.

Titlyanov, E. 1987. Morphological differences of colonies of reef-building branching corals living in different light regimes. *Biology of the Sea* (Vladivostok) **3**: 32-40.

Vacelet, J y Donadey, C. 1977. Electron microscope study of the association between some sponges and bacteria. *J Exp Mar Biol Ecol* **30**: 301- 314.

Vereshi, E y Fricke, H.1986. *Mar Biol* **90**: 395- 401.

Villamizar, E. 2008. Evaluación y monitoreo de enfermedades de las comunidades de esponja en algunos arrecifes del Parque Nacional Archipiélago Los Roques. Proyecto financiado por el Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la UCV y cofinanciado por la Fundación Científica de Los Roques.

Wilkinson, C. R y Fay. P. 1979. Nitrogen fixation in coral reef sponges with symbiotic cyanobacteria. *Nature* **279**: 527-529

Wilkinson, C. R. 1983. Net primary productivity in coral reef sponges. *Science* **219**: 410-412

Wilkinson, C. R. 1984. Immunological evidence for the Precambrian origin of bacterial symbioses in marine sponges. *Proceedings of the Royal Society of London* **220**: 509-517

Wilkinson, C. R. 1987. Interocean differences in size and nutrition of coral reef sponge populations. *Science*, **236**: 1654-1657.

Wilkinson, C. R. 1989. In: *Abstr Annu Meet Int Soc Reef studies*, Marseille, p165

Zamarro, J. 2001. Guía del Parque Nacional Archipiélago Los Roques. Agencia española de cooperación internacional.

Zavalinski, V., Titlyanov, E., y Leletkin, V. 1980. Photosynthesis and adaptation of corals to irradiance. *Photosynthetica* **14**: 421-430

Zea, S. 1987. Esponjas del Caribe Colombiano. Editorial catalogo científico. Primera edición.

Zea, S. 1993. Cover of sponges and other sessile organisms in rocky and coral reef habitats of Santa Marta Colombian Caribbean Sea. *Carib. J. Sci*, **29**(1/2): 75-88