



**UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE BIOLOGÍA**

**CARACTERIZACIÓN DE LAS COMUNIDADES DE ALGAS, A LO LARGO DE UN  
GRADIENTE DE PROFUNDIDAD, EN EL ARRECIFE DE DOS MOSQUISES SUR,  
PARQUE NACIONAL ARCHIPIÉLAGO LOS ROQUES.**

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

Presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela, por la bachiller **Br. Marijul Narváez** como requisito parcial para optar al título de Licenciado en Biología **Tutora: Dra. Estrella Villamizar**

**CARACAS, VENEZUELA  
MAYO – 2015**

## **DEDICATORIA:**

**A mis padres, mi tía Arelis y mi prima Elena:** Como un sencillo homenaje al esfuerzo, lucha, sacrificio y tolerancia que me han brindado en estos años y sobre todo por el amor, cariño, confianza y apoyo en todo momento

### **A mi tutora de tesis:**

Dra. Estrella Villamizar; sin tu apoyo, habría sido mucho más difícil este largo camino.

**A la Universidad Central de Venezuela,** Crearé por siempre en tus sueños que dormitan tras las nubes de Calder; en la dignidad del alma ucvista y en los nombres olvidados de los que te hicieron y te hacen grande.

## AGRADECIMIENTOS

### **A toda mi familia:**

A quienes agradezco su cariño y comprensión por alentarme a seguir adelante en esta etapa de mi vida.

### **A mi tutora de tesis:**

Dra. Estrella Villamizar; agradezco la confianza que siempre ha depositado en mí, por el apoyo incondicional que me brindo en todo momento para la revisión, corrección y asesoramiento, por todo el cariño y amor que me fortaleció para estudiar y culminar, espero te sientas muy orgullosa de este logro.

A mis amigos incondicionales, Raquel, Yuje, Yeira, Wilfredo y Nitay, gracias por estar allí cada noche y cada día difícil, gracias por ser los pilares emocionales de este logro

### **A mis compañeros y amigos del LEMAC, BIOSUB y la UCV:**

A Luis Felaco, Robert Gonzalez, Yuruani Fuentes y Carlos Pereira por su apoyo incondicional y su infinita paciencia durante los muestreos en el arrecife; Ana teresa, Grecia, Maga, Javier, Anita, Fernando, Juan carlos, lulo, Alberto, Phenelope y Jesús, por sus sabios consejos y su apoyo moral. A Carlos por esas tardes de café y Cesar Molina entre regaños y risas muchas gracias amigo por los consejos y por creer en mí, algún día nos volveremos a encontrar, a Hermes piñango por traerme a este laboratorio donde crecí como científico, a Santiago Gómez quien sin ser mi tutor me dio las herramientas necesarias para seguir este camino, a María Eugenia grillet por todo el cariño y apoyo, a José R, Jorge P y anita P, Milla, María, Hilda y Celeste por escucharme apoyarme y darme estos 5 minutos de locura de los que he aprendido muchísimo, a mis amigos del CEB Y BIOSUB gracias por todo el apoyo

### **Por el apoyo otorgado**

A la Fundación Científica Los Roques por todo el apoyo prestado para garantizar que lograra culminar mis objetivos, a Moncho y chicho por la compañía, el apoyo y el cafecito.

A Dos Mosquises Sur, por revelarme tanta magia.

## ÍNDICE

### RESUMEN

1.	INTRODUCCIÓN	9
2.	ANTECEDENTES	12
3.	HIPÓTESIS	17
4.	OBJETIVOS	18
4.1.	Objetivo General	18
4.2.	Objetivos Específicos	18
5.	ÁREA DE ESTUDIO	19
6.	MATERIALES Y MÉTODOS	21
7.	RESULTADOS	27
7.1.	Parámetros Físicoquímicos	27
7.2.	Topografía	28
7.3.	Parámetros Biológicos	29
7.3.1.	Caracterización del bentos del arrecife de Dos Mosquises	31
7.3.2.	Distribución y cobertura de corales	31
7.4.	Análisis descriptivo de la comunidad de algas	33
7.4.1.	Cobertura Global de algas	39
7.5.	Análisis espacio-temporal de la comunidad de algas	40
7.5.1.	Grupos Funcionales a lo largo del Perfil de Profundidad	41
7.5.2.	Análisis por Especies	45
7.5.3.	<b>Frecuencia de Aparición y Cobertura</b>	<b>48</b>
7.5.4.	<b>Riqueza de especies</b>	<b>49</b>
7.5.5.	Beta Diversidad	49
8.	DISCUSION	51
9.	CONCLUSIONES	62
10.	BIBLIOGRAFIA	64
11.	ANEXOS	71

## INDICE DE FIGURAS

- Figura 1. a: Mapa del Parque Nacional Archipiélago de los Roques (Tomado de Zubillaga y Cróquer 2008), b y c. Fotografías aéreas (M. Narváez). Se indica la ubicación ampliada del arrecife de estudio (Dos Mosquises Sur) 20
- Figura 2. A: Boya indicadora de la ubicación del transepto, B: Etiqueta indicadora de cada transeptos a diferentes niveles de profundidades, C: transepto perpendicular a la costa desde la zona más profunda (32 m de profundidad) hasta la más somera (3,5 m de profundidad), D: transepto de 10m de longitud, paralelo a la costa e la zona profunda, E: levantamiento de la data con el uso de una cuadrata de 10X10cm. 22
- Figura.3. Descripción y señalización del área de estudio. Las líneas rojas representan los transeptos perpendiculares a la costa, los círculos rojos representan las boyas que separan las tres zonas de muestreo y las líneas amarillas los transeptos paralelos a la costa (Fotografías aéreas M. Narváez). Se indica la ubicación ampliada del arrecife de estudio (Dos Mosquises Sur) 23
- Figura 4. Perfil del arrecife: Esquema del diseño experimental. La línea verde representa un transepto lineal perpendicular a la línea de costa. Los círculos rojos representan las boyas colocadas para demarcar cada estrato de profundidad, donde fueron colocados los 2 transeptos paralelosa cada lado del transepto perpendicular (Imagen modificada de Cortés 1984). 24
- Figura 5. Radiación solar durante tres periodos diarios y a 6 niveles de profundidad para los meses de junio, agosto 2012 y octubre 2013. 28
- Figura 6 Perfil de profundidad del Transepto Perpendicular 1. Se señalan tres puntos de inflexión, que marcan el final y/o el inicio de las diferentes zonas topográficas del arrecife. 29
- Figura 7 Perfil de profundidad del Transepto Perpendicular 2. Se señalan tres puntos de inflexión, que marcan el final y/o el inicio de las diferentes zonas topográficas del arrecife. 29
- Figura 8 Perfil de profundidad del Transepto Perpendicular 3. Se señalan tres puntos de inflexión, que marcan el final y/o el inicio de las diferentes zonas topográficas del arrecife. 30
- Figura 9. Cobertura lineal total de los principales grupos de invertebrados sésiles, arena y sustrato libre a lo largo de los transeptos perpendiculares T1, T2 y T3. 32
- Figura.10: Rodofitas filamentosas, del tipo epifitas, encontradas en los transeptos 1 y 3 en las zonas profundas A.- *Polysiphonia scopulorum*, detalles de las ramas mostrando cistocarpos y tetraesporangios B.- *Crouania attenuata*, detalles del habito, las ramificaciones, y una rama mostrando tetraesporangios. 35

Figura 11. A.- *Taenioma perpusillum* Rodofita filamentosa, del tipo epifitas, encontradas en los transeptos 1 y 2 en las zonas media. Detalle de las ramas mostrando los pelos hialinos. B.- *Criptonemia Crenulata* macroalga frondosa de origen calcáreo, encontrada en los transeptos 1, 2 y 3 en las zonas somera, media y profunda, se detalla: Talo inconspicuo en forma de racimos de hoja, hojas con márgenes dentados de forma irregular en forma de estrella, filamentos medulares dirigidos periclinalmente e intermezclados, células de la corteza interna redondeadas.

36

Figura 12. Rodofitas filamentosas, integrantes del grupo de las tapete, A.- *Anotrichium tenue* encontradas en los transeptos 1 2 y 3 en las zonas medias y profundas, en detalle tetraesporangios y espermatangios, B.-*Acrothamnion butlerae*, encontrada en los transeptos 1 y 3 en la zona profunda, en detalle el habito, ramificación principal y células glandulares, C.- *Balliella pseudocorticata*, encontrada en los transeptos 2 y 3, en la zonas profundas, detalles del habito.

37

Figura13. Clorofitas: A.- *Neomeris annulata* macroalga frondosa de origen calcáreo encontrada en los transeptos 2 y 3 en las zonas somera, en la imagen detalla: la base blanco que revela la pesada incorporación de carbonato de calcio, Las pequeñas esferas expuestas en la base son estructuras reproductivas que producen esporas (esporangios) , B.-*Udotea cyathiformis f. infundibulum*, macroalga frondosa de origen calcáreo, encontrada en el transecto 2 en la transición de la zona media y profunda, en la imagen de detalla el habito, células del sifón paralelas con ápices irregulares y dicotomías estrechas y Apéndices laterales del estípite cortos

38

Figura 14. Cobertura Total de los Grupos funcionales de Algas a lo largo de toda la zona de muestreo en el arrecife de DMS.

39

Figura 15. Cobertura (%) de los grupos funcionales de algas, en el estrato somero (Planicie Arrecifal), a lo largo de las tres épocas de muestreo: A, junio: Jun, B, agosto: AG, C, Octubre:Oct.

42

Figura 16. Cobertura (%) de los grupos funcionales de algas, en el estrato medio (Cresta Arrecifal), a lo largo de las tres épocas de muestreo (A-junio (JUN), B-agosto(AG), C-octubre (OCT))

43

Fig 17. Cobertura (%) de los grupos funcionales de algas, en el estrato profundo (Talud Arrecifal), a lo largo de las tres épocas de muestreo (A-junio (JUN), B-agosto(AG), C-octubre (OCT))

44

Fig 18. Riqueza de especies de algas para los tres transeptos (T1,T2,T3) y las tres épocas de muestreo(J: JUNIO, A: AGOSTO, O: OCTUBRE, en los estratos de profundidad somero(S), medio(M) y profundo(P).

49

## INDICE DE TABLAS

- Tabla1. Especies de corales pétreos y octocorales, observados a lo largo del área de estudio, en el arrecife de Dos Mosquises Sur, Parque Nacional Archipiélago Los Roques. 31
- Tabla 2. Especies de algas encontradas en los tres transeptos durante las tres épocas del año. En el margen derecho de cada especie se identifica su ubicación en los grupos funcionales considerados en este estudio (Macroalgas Frondosas (MF), Tipo Tapete (TT), Coralináceas Incrustantes (IC) y Macroalgas Frondosas de Origen Calcáreo (MAFOC), Cianobacterias (CB)) 34
- Tabla3. Lista de especies de macroalgas que pudieron ser identificadas *in situ*, asociadas a los transeptos perpendiculares T1, T2 y T3 durante tres épocas del años distintas (J :Mayo-Junio, A:Julio-Agosto y O:Septiembre-October), a lo largo de los tres estratos de profundidad (Somero, Medio y Profundo). La presencia de las especies en cada ambiente se indica con "1" y la ausencia con "-". Se sombrea en color azul los casos que responden a la estacionalidad (mes de muestreo) o a la ubicación en el gradiente de profundidad (estrato). 47
- Tabla 4: Medición de parámetros ambientales: pH, conductividad, temperatura y salinidad en tres estratos fijos de profundidad, durante las tres épocas del año seleccionadas para el muestreo 71

## RESUMEN:

Gran parte de los arrecifes coralinos del Atlántico Occidental actualmente presentan una tendencia común, esto es, una pérdida significativa de coral vivo y una dominancia de algas sobre los sustratos coralinos muertos y otros sustratos duros en estos sistemas. El arrecife de Dos Mosquises Sur (DMS) en el Parque Nacional Archipiélago de Los Roques no escapa de esta realidad. Este arrecife está ubicado al sur-oeste del Parque y se extiende hasta una profundidad de 40 m y una longitud de 240 m. En este trabajo se realizó un estudio de la estructura y zonación de la comunidad de algas presentes en este arrecife en los meses de junio, agosto del 2012 y octubre de 2013. Para esto se fijaron transeptos perpendiculares y paralelos a la línea de costa para evaluar a través del método AGRRA, la cobertura de los principales grupos funcionales (GFA) y especies de algas. Con el fin de comparar la cobertura de los GFA en el gradiente de profundidad y entre los meses de estudio, se realizaron análisis de similitud (ANOSIM). Entre los resultados más relevantes se encontró que la comunidad de algas asociada al arrecife de DMS está representada por 4 phylum, 16 órdenes y 62 especies. Se identifico 1 nuevos registros de especies para Venezuela (*Udotea cyathiformis f. infundibulum*) y 8 para el PNALR. Las coberturas promedio de las algas denominadas tipo Tapete (TT) y las Macroalgas Frondosas (MF) resultaron significativamente superiores que las coberturas del resto de los grupos funcionales de algas. Por otra parte, la frecuencia de aparición de las MF disminuye a medida que aumenta la profundidad, mientras que las TT aumentan su frecuencia de aparición a medida que aumenta la profundidad. Los tres transeptos perpendiculares presentaron una alta heterogeneidad, revelando la existencia de un patrón de zonación vertical de especies en cada transecto. Las macroalgas con mayor cobertura son *Dyctiota dichotoma*, *D. humifusa*, *Jania adherens*, *J. capillacea* y *Halimeda opuntia*. Por otra parte, son los estratos medio y profundo los que presentaron mayor riqueza y diversidad de especies, mientras que los meses con mayor cobertura son junio y octubre y el mes de menor cobertura es agosto. Este estudio demuestra la complejidad del estudio de la distribución espacial de las especies de algas en un sistema arrecifal, donde existen variaciones en las condiciones ambientales (abióticas y bióticas) tanto en el plano vertical (profundidad) como el horizontal (ancho o extensión del arrecife), además de las variaciones temporales en la presencia de las distintas especies, producto de sus propios ciclos de vida (especies temporales, perennes) y de sus relaciones con los otros organismos del arrecife.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las algas son organismos fotosintéticos cuya naturaleza polifilética deriva en una amplia diversidad y distribución geográfica, que se manifiesta en su gran riqueza específica y abundancia. El grupo incluye organismos unicelulares hasta pluricelulares, con reproducción asexual por esporas y sexual.

Con respecto a su clasificación, las algas pertenecen al reino Protista (Hoek et al. 1995) y se han agrupado en 8 phyla (Cianofitos, Euglenofitos, Pirrofitos, Crisofitas, Clorofitas, Carofitos, ocrofitos, Rodofitas), Por otra parte, según Steneck y Dethier (1994), las algas pueden agruparse en tres grupos funcionales generales, coralináceas incrustantes, algas tipo tapete o césped y macroalgas, que a su vez se han subdividido en 6 grupos: las macroalgas que incluyen las formas foliosas, calcáreas articuladas y corticadas (Littler y Littler 1980), las algas tipo tapete o césped, compuestas mayoritariamente por tres grupos, filamentosas, articuladas calcáreas y las algas corticadas. Esta agrupación en grupos funcionales, toma como criterio algas con características ecológicas y morfológicas similares (Steneck y Dethier 1994), constituyendo ésta una herramienta útil a la hora de simular la dinámica de los ecosistemas (Littler y Littler 1980; Littler y Arnold 1982).

A escala mundial se han descrito entre 4100 (Womersley 1990) especies de algas rojas, 3054 especies de algas pardas y 4038 especies de algas verdes (Clayton and King 1990). Para el océano Atlántico se estima actualmente un total de 1300 especies de algas marinas bentónicas, distribuidas desde el Atlántico norte hasta el sur de Brasil (Wynne 1998a, Littler and Littler 2000). Para el mar Caribe Venezolano se han descrito entre 585 y 600 especies de algas bentónicas (Ganesan 1989)

Por ser organismos fotosintéticos, la distribución vertical de las algas está limitada por la profundidad, debido a la disminución de la radiación con la misma. El gradiente de distribución de las algas va desde las zonas menos profundas (límite superior de la pleamar) hasta las más profundas (el límite inferior de la zona luminosa) (Bula-Meyer 1987); además las especies pueden estar presentes en una o en varias zonas (Díaz-Pulido y Díaz-Ruíz 2003).

Por otra parte, las algas siguen también un patrón de distribución espacial determinado por parámetros fisicoquímicos como la temperatura, salinidad, pH, corrientes, la complejidad del hábitat, la disposición espacial y diversidad de tipos de sustrato (McCoy & Bell 1991, Sebens 1991), haciéndolas altamente sensibles a cambios en estos parámetros. La presencia y distribución de las especies de macroalgas depende de sus cualidades biológico-adaptativas, así como de la continuidad y discontinuidad de los gradientes ambientales y de la combinación de dichos gradientes, tanto a nivel local como regional. (Stephenson 1949)

En otras palabras, toda la homogeneidad o heterogeneidad de las comunidades algales y toda la continuidad o discontinuidad florística de una región dada, es respuesta a la homogeneidad o heterogeneidad de la misma región y a la capacidad de respuesta de dichas especies (Round 1983). Considerando lo anterior, la zonación no es nada más que una expresión particular de la distribución de los organismos, resultado de la interacción de los intervalos de tolerancia de las especies con la combinación de gradientes ambientales que existe en un lugar y tiempo dado, manifestándose en forma de franjas horizontales más o menos definidas (González-González 1993).

Así, la zonación es un tipo de patrón de distribución de la especie. Los factores físicos y sus efectos fisiológicos son solamente parte de la explicación de los patrones de distribución de las especies. La competencia, el pastoreo y otras interacciones inter e intra específicas también tienen un impacto importante. (Alveal 1995)

Las algas se desarrollan en diferentes ambientes, entre los cuales se encuentran los sistemas arrecifales. Las algas bentónicas marinas son consideradas un componente esencial en el equilibrio y mantenimiento de dichos sistemas (Bula-Meyer 2001); además de ser el primer eslabón en las cadenas tróficas, tienen un papel muy importante en la organización espacial de las comunidades marinas, modifican los fondos marinos al fijar los sustratos por medio de sus rizoides, enriquecen las aguas con oxígeno y aportan nutrientes (Huerta 1961).

El grupo de las macroalgas coralináceas no articuladas, cementan la estructura arrecifal al consolidar los restos calcáreos de los diversos organismos que componen el arrecife, en tanto que los otros grupos morfo-funcionales juegan un papel

importante en la cadena trófica ya que proporcionan alimentación y hábitat para los diferentes organismos marinos (Barrios et al. 2003).

Diversos estudios han demostrado que las algas poseen una morfología y rasgos funcionales que parecen facilitar su dispersión, tasa de crecimiento, resistencia al estrés físico, y capacidad competitiva; tales caracteres aunado a la pérdida de cobertura coralina (y consecuentemente el aumento de los espacio libre en los arrecifes), especialmente en el Caribe, han facilitado la expansión de las macroalgas en estos sistemas (Hughes 1994). Si bien para Venezuela se han realizado diversos estudios taxonómicos sobre algas, los cuales incluyen inventarios ficoflorísticos de gran parte del país, en el Parque Nacional Archipiélago de Los Roques tan solo existen ocho trabajos (Coltat 1964, Rodríguez 1964, Albornoz y Ríos 1965, Gómez 1998, Vera y col. 2011, Gómez y col. 2013, García y col. (en prensa), Gómez y col. (En prensa)), de naturaleza taxonómica, con poca o ninguna información ecológica, donde se relacione la presencia y dominancia de las distintas especies con distintos factores ambientales, o con variaciones en éstos debido al cambio climático u otros factores negativos.

Los arrecifes de coral cubren una superficie de aproximadamente 284.300 km<sup>2</sup>, es decir, un poco menos del 0,1 % de la superficie de los océanos. La región del Indo-Pacífico (incluyendo el mar Rojo, el océano Índico, el Sudeste Asiático y el Pacífico) representa el 91,9 % de este total. El sudeste asiático representa el 32,3 % de ésta cifra, mientras que el Pacífico incluyendo Australia representa el 40,8 %. Los arrecifes de coral de la región del Atlántico y del Caribe representan el 7,6 % del total (Spalding 2001) El Parque Nacional Archipiélago Los Roques (PNALR) es el complejo arrecifal más importante de Venezuela, está conformado por una barrera coralina en el sector este y una barrera al sur, de 24 y 30 km. de longitud, respectivamente. Estas barreras protegen las zonas internas del archipiélago y han permitido la formación de pequeños cayos, el crecimiento de arrecifes franjeantes o costaneros y la formación de lagunas.

Los arrecifes coralinos de los Roques son considerados uno de los cuatro arrecifes más diversos y mejor preservados en el Atlántico-Oeste (Kramer 2003). El arrecife de Dos Mosquises Sur es sin duda la comunidad coralina donde se han

realizado estudios de más larga data en el Parque Nacional Archipiélago Los Roques. Ya desde la década de los 80 se iniciaron los estudios sobre los corales en Los Roques (Hung 1985, Weil 1985).

A finales de la década de los 90 (Villamizar 2003) y luego entre el año 2005 hasta el 2011, se han invertido mayores esfuerzos dirigidos a evaluar la condición de salud en que estos se encuentran (Bastidas et al 2012, Villamizar 2008). Los estudios realizados concuerdan en señalar, una gran pérdida de cobertura de coral vivo (de 61% a 35%), sin embargo, poco es señalado sobre los cambios ocurridos en las comunidades de algas, a pesar de su importancia en la dinámica de los arrecifes.

Consideramos que en estos sistemas, que están cambiando rápidamente, en gran parte debido al calentamiento global y que han sido poco estudiados, es inminente realizar estudios que permitan actualizar y ampliar el conocimiento que se tiene sobre su biodiversidad. El presente trabajo pretende contribuir con el conocimiento de la diversidad de algas bentónicas marinas asociadas al sistema arrecifal del Cayo Dos Mosquises Sur en el PNALR, describiendo por primera vez, la estructura de las comunidades de algas, asociadas a este arrecife y sus patrones de zonación a lo largo del gradiente de profundidad.

## 2. ANTECEDENTES

Las primeras colecciones de algas marinas, de las costas venezolanas, datan del año 1847, cuando J. Agardh describió cinco especies, seguido del listado de especies realizado por Ganesan (1989). Posterior a estos importantes trabajos se han realizado diversos estudios taxonómicos sobre algas que involucran inventarios ficoflorísticos de gran parte de las regiones Oriental y Occidental del país, además de otros estudios en Refugios Naturales y Parques Nacionales. Para el caso específico del PNALR la información ficoflorística ha sido publicada en 8 trabajos que a continuación se describen, esta información está recopilada en el catálogo de macroalgas marinas del Herbario Nacional de Venezuela. A continuación se describen en forma cronológica los estudios taxonómicos y ecológicos sobre algas, realizados en el Parque Nacional Archipiélago de Los Roques:

- Coltat (1964) realizó un estudio sobre las Chlorophyta en el cual describió 25 especies de algas verdes para 12 Cayos del PNALR.
- Rodríguez (1964) realizó un estudio taxonómico de las Phaeophyta del Archipiélago de Los Roques, logrando identificar 41 especies, distribuidas en 41 cayos.
- Albornoz y Rios (1965) estudió las Chlorophyta y Phaeophyta, encontrando un total de 41 especies de Phaeophyta y 62 especies de Chlorophyta, distribuidas en 21 Cayos del PNALR.
- Gómez (1998) hizo un estudio sobre las Rhodophyta. Este trabajo aporta claves, descripciones, ilustraciones y algunos datos ecológicos, de la División Rhodophyta, y describe un total de 46 especies.
- Vera y col (2011) reportaron dos nuevos registros del género *Anadyomene* **J.V. Lamouroux** (Anadyomenaceae, Chlorophyta) para el Mar Caribe.
- Gómez, García, Villamizar y Narváez (2013 en prensa) determinaron las macroalgas bénticas asociadas a arrecifes submareales en el Parque Nacional Archipiélago de Los Roques
- García, Gómez, Villamizar y Narváez (en prensa) añadieron 5 nuevos registros a la ficóflora Marina de Venezuela. IV. Bryopsidales (Chlorophyta); Dictyotales (Heterokontophyta) y Ceramiales (Rhodophyta).

- Gómez, García y Gil. (en prensa) adicionan nuevos reportes a la Ficóflora Marina de Venezuela I. Rhodomelaceae (Rhodophyta).

Es importante destacar que hasta ahora para el PNALR los trabajos realizados en ficología han sido de naturaleza taxonómica y ninguno ficoecológico. Consideramos que este estudio puede generar una data de referencia en este sentido. A continuación expondremos en orden cronológico los trabajos realizados en otras regiones de Venezuela, en el mar Caribe en general y en otros importantes sistemas arrecifales en el mundo.

- Bula-Meyer y col. (1993), realizaron adiciones a los listados de macroalgas de los arrecifes coralinos de las Islas del Rosario que representan nuevos registros para el Caribe colombiano y el Atlántico. En su estudio taxonómico incluyen, 158 especies de algas.
- Steneck y Dethier (1994) realizaron un estudio que sugiere la clasificación de las algas en grupos funcionales, basándose en atributos morfométricos de cada especie, de importancia primordial para la estructura de las comunidades de algas marinas bentónicas, utilizado ventajosamente dicha clasificación para realizar de forma rápida estudios que permiten entender cuáles son los factores que conspiran en las alteraciones de la dinámica de las comunidades de algas en los arrecifes coralinos, sin tener que realizar un análisis exhaustivo de todas las especies presentes en la comunidad.
- Barrios (2003), realizó un estudio taxonómico de las macroalgas asociadas a arrecifes coralinos en el Parque Nacional Mochima, describiendo taxonómicamente 35 especies de algas asociadas a sistemas arrecifales
- Díaz-Pulido y Díaz-Ruíz (2003), realizaron la actualización de los listados de taxas de algas marinas, describiendo un total de 565 especies de algas para el Atlántico Colombiano.
- Acosta y col. (2004) realizaron un estudio sobre la variación espacial y temporal de la comunidad de algas en el arrecife costero de Boca de Canasí en La Habana, Cuba, evaluando la influencia de la descarga del río sobre las comunidades de algas de los arrecifes aledaños, utilizando la variación de patrones espacio temporales en la cobertura de los distintos grupos funcionales de algas.

- Kerswell (2006): Se propuso determinar si los patrones de riqueza, explicando que en muchos casos si tales patrones son generados y mantenidos a nivel global. Identificando la diversidad latitudinal y longitudinal para todos los géneros de macroalgas marinas bentónicas y de especies del orden de Bryopsidales
- Vroom y col. (2009): evaluaron la composición de la comunidad bentónica de algas asociadas a un arrecife del atolón de Palmira en el Océano Pacífico logrando determinar 158 especies de algas asociadas al sistema arrecifal.
- Vroom y col (2010): realizaron un estudio en los arrecifes de las islas del Noroeste de Hawai (NWHI), considerados como uno de los ecosistemas arrecifales más prístinos que quedan en el planeta. Estos arrecifes contienen de forma natural una cobertura alta de los grupos funcionales de algas, en comparación con la abundancia de corales. Su estudio proporciona los primeros datos completos sobre porcentaje de cobertura de algas, corales e invertebrados a nivel de especie, e investiga los patrones de diversidad espacial en todo el archipiélago, para documentar las comunidades bentónicas, antes de que ocurran más cambios ambientales en respuesta a el calentamiento global y la acidificación de los océanos.
- Fong y Paul (2011): Exponen la importancia ecológicas de las macroalgas bentónica en las comunidades de arrecifes de coral evidenciando funciones ecológicas vitales tales como la estabilización de la estructura del arrecife, la producción de arenas tropicales, la retención de nutrientes y el reciclaje, la producción primaria, y soporte trófico.
- Fricke , Teichberg, Beilfuss y Bischof (2011): Estudian los patrones de sucesión en las comunidades de algas tipo tapete en un arrecife de coral del Caribe Este estudio se centra en la composición de la forma de crecimiento de las algas siguiendo las sucesión de conjuntos de algas tipo tapete dando una idea de las primeras etapas de sucesión de la vegetación en los arrecifes mediante la identificación de las especies claves.
- Connell, Foster y Airoidi (2014): El estudio conceptualiza y caracteriza las algas filamentosas que conforman el grupo funcional “Tipo tapete”, con el fin de determinar, el uso de clasificaciones estandarizadas, definiciones operacionales, proporcionar conocimientos sobre la ecología y sus interacciones con otros componentes comunidad arrecifal.

- Hernández-Landa, Acosta-González, Núñez-Lara y Arias-González (2014): Estudiaron la distribución espacial de peces cirujanos y loros al norte del Sistema Arrecifal Mesoamericano. Evaluaron la distribución de estos peces en 34 sitios en cuatro hábitats (laguna, frente, laderas y terraza) a lo largo de un gradiente de profundidad (0,5-20 m). Encontrando que la variación espacial de la abundancia, la biomasa y el tamaño de los peces herbívoros estaba fuertemente relacionada con la cobertura de coral y de algas tipo tapete, así como con la
- Kurve, Kurve y Oak (2015) : Estimaron la diversidad, la riqueza y abundancia de macroalgas marinas en arrecifes coralinos, que rodean la costa de Konkan Maharashtra, India, desde junio 2012 hasta mayo del 2013 logrando identificar un total 35 especies de macroalgas.
- McCoy Sophie (2015): Este trabajo pretende explicar lo que se conoce acerca de las algas coralináceas su ecología y fisiología, sus relaciones filogenéticas y su distribución global, proporcionando el contexto para entender sus respuestas ante el cambio climático global y la acidificación.
- Dean, Steneck, Tager y Pandolfi (2015): Estudiaron la distribución, abundancia y diversidad de algas coralinas costrosas en 17 sitios al norte y centro de la Gran Barrera de Coral. Identificaron 30 especies de CCA, y observaron importantes diferencias en la estructura comunitaria y la distribución espacial de las CCA.

### **3. HIPOTESIS:**

Si la distribución espacial de las especies de algas está regida por parámetros ambientales como la luz, la topografía, las corrientes y factores bióticos como la herbívora, entonces se espera, que distintas especies se distribuyan diferencialmente, en el arrecife, a lo largo del gradiente de profundidad.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 Objetivo general.

Conocer la composición de la comunidad de algas y su distribución en el gradiente de profundidad, en el arrecife del cayo Dos Mosquises Sur en el PNALR.

### 4.2 Objetivos específicos

- Estimar la composición, riqueza y diversidad de especies de algas en el arrecife de Dos Mosquises Sur en el PNALR.
- Estimar la cobertura de algas en el gradiente de profundidad con el fin de determinar posibles patrones de dominancia espacial en el arrecife.
- Conocer la zonación espacial de las especies de algas en el arrecife y su relación con las características particulares de cada zona (profundidad, intensidad lumínica, cobertura de coral muerto, cobertura de coral vivo, cobertura de fondo arenoso, cobertura de otros grupos de invertebrados sésiles).
- Examinar los patrones de distribución espacial de los diversos grupos funcionales de algas.
- Comparar la composición, riqueza y dominancia de especies de la comunidad de algas entre dos épocas contrastantes del año.

## 5. ÁREA DE ESTUDIO

El Archipiélago de Los Roques es un extenso sistema arrecifal oceánico con forma de atolón, de 36 km de oeste a este y 24,6 km de norte a sur, formado por 50 islas y unos 292 cayos y bancos. El parque tiene uno de los arrecifes de coral más diversos y mejor conservados del Mar Caribe (Kramer 2003, Villamizar et al. 2003). Está ubicado a 160 kilómetros al norte del territorio continental de Venezuela ( $11^{\circ} 44'30''$ - $11^{\circ} 58'36''$ N,  $66^{\circ} 33'30''$ -  $66^{\circ} 57' 27''$ W). Desde 1991 Los Roques cuenta con un plan de ordenamiento y reglamento de uso (Gaceta Oficial N° 4.250), en el cual se delimitan siete zonas de manejo: Ambiente Natural Manejado, Protección Integral, Primitiva Marina, Recreación, Uso Especial, de Interés Arqueológico y de Servicios.

El arrecife a estudiar (Dos Mosquises) se encuentra al suroeste del archipiélago ( $11^{\circ}48'03''$ N y  $66^{\circ}53'30''$ O). Este tiene un ancho que varía entre 150-240 m y una profundidad máxima de 40 m (Hung 1985), se caracteriza por presentar una topografía particular que va desde caídas abruptas hasta pendientes suaves y se extiende en forma de herradura en dirección noroeste desde el Cayo Dos Mosquises Sur hasta el cayo Dos Mosquises Norte. En cuanto a las condiciones fisicoquímicas se conoce que la transparencia oscila entre 15 y 20 m de profundidad, la salinidad entre 35 a 37 ppm, la temperatura entre 26 y 28°C y la concentración de oxígeno disuelto en la capa de agua superficial varía entre 8 y 10 mg/l. Los sedimentos en el arrecife son del tipo calcáreo-arenoso, con bajo contenido de materia orgánica y la textura de sus sedimentos varía desde arenas gruesas y finas en zonas de menos profundidad, a limos y arcillas en zonas más profundas (Cróquer y Villamizar 1996).

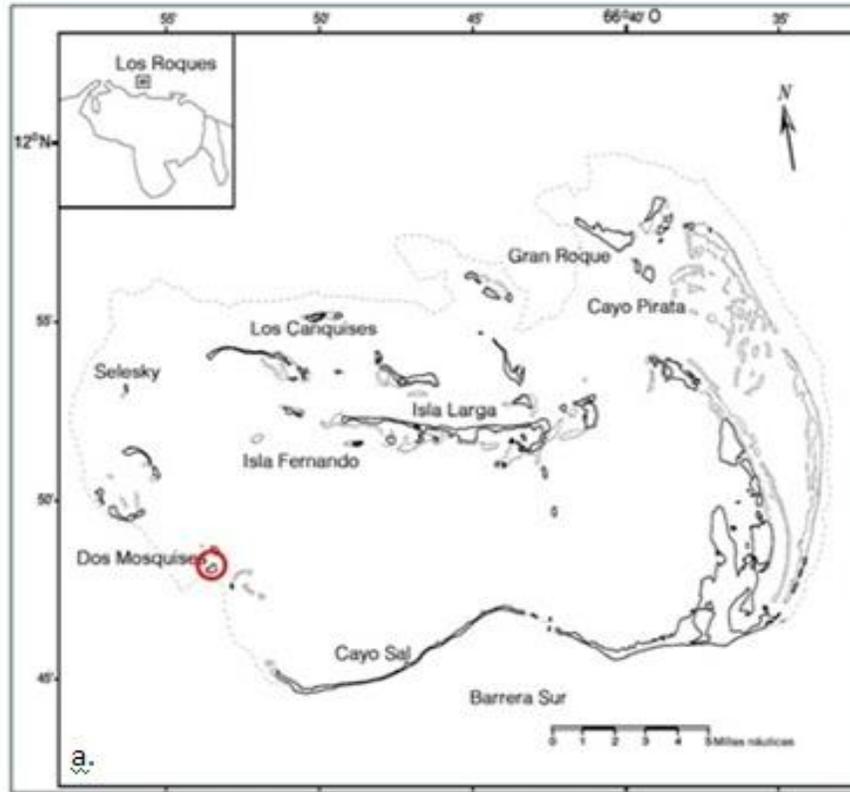


Figura 1. a: Mapa del Parque Nacional Archipiélago de los Roques (Tomado de Zubillaga y Cróquer 2008), b y c. Fotografías aéreas (M. Narváez). Se indica la ubicación ampliada del arrecife de estudio (Dos Mosquises Sur)

## 6. METODOLOGÍA:

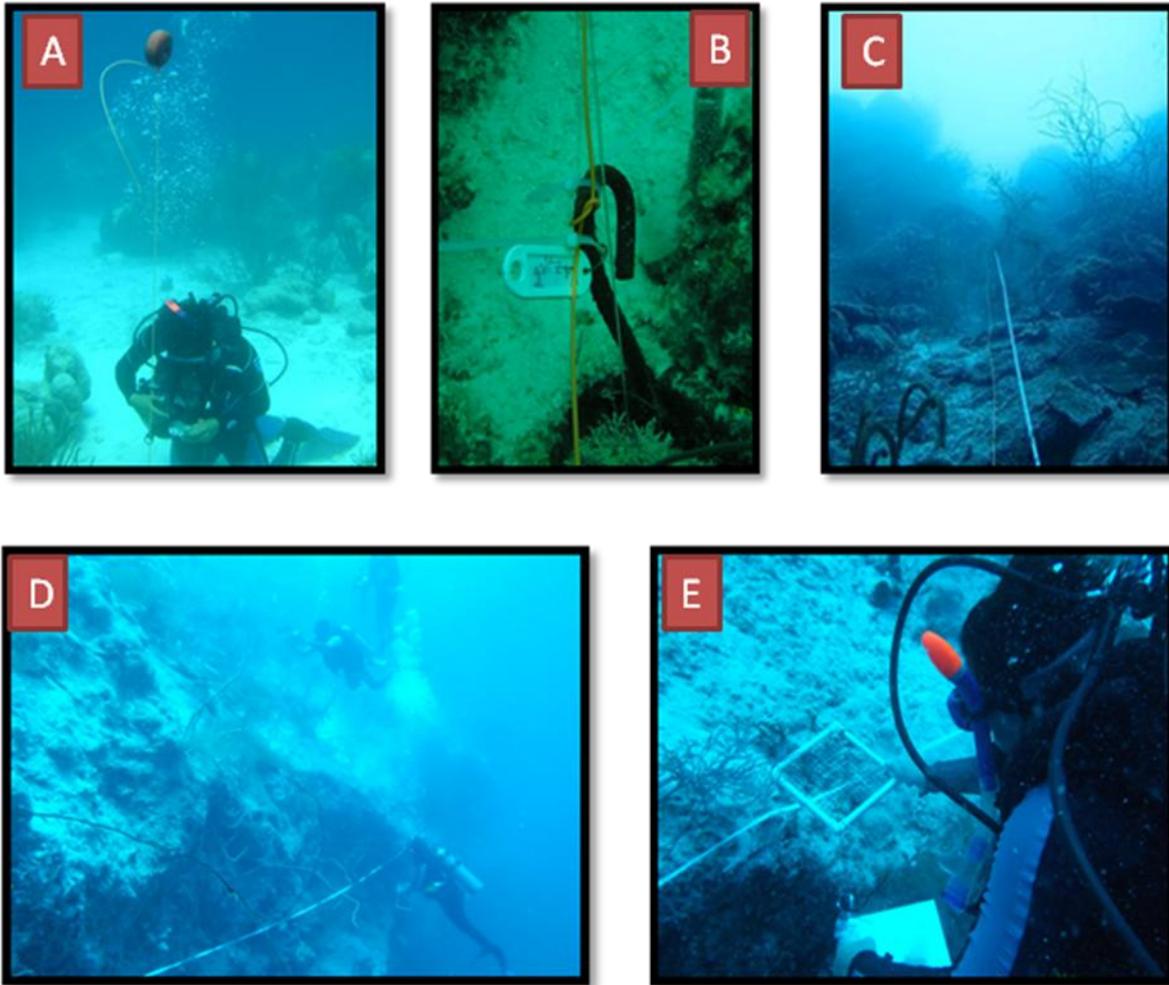
El arrecife estudiado se dividió topográficamente y codificó según la nomenclatura asignada por Cróquer y Villamizar (1998): Talud Suave (TS), Talud Intermedio (TI), Talud Intermedio Abrupto (TIA) y Talud Abrupto (TA). Esta sectorización del arrecife se realizó con el fin de comparar si existe o no una correlación entre la estructura de la comunidad de algas y el perfil topográfico.

Los muestreos se realizaron utilizando una variación del método o protocolo de evaluación rápida AGRRA (Atlantic and Gulf Reef Rapid Assessment; Steneck y Lang 1997) para algas. Dicho método comprende la estimación de la cobertura relativa de los grupos funcionales de algas a través de la siguiente codificación: Macroalgas Frondosas (MF), algas tipo Turf (TT), incrustantes coralinas (IC), Macroalgas frondosas de origen calcáreo (MAFOC), y cianobacterias (CB). El análisis taxonómico se realizó a nivel de especies no obstante, debido a la dificultad que representaba la visualización e identificación de algunas especies de algas *in situ* (en el campo), la estimación de algunos parámetros ecológicos, tales como la cobertura, se realizó con base a veinte especies.

La descripción de la comunidad se realizó mediante transeptos fijos, tanto perpendiculares como paralelos a la línea de costa, comprendiendo un área total de 105 de ancho x 225 m<sup>2</sup> de largo, para un arrecife que posee en su totalidad, un ancho que varía entre 150-240 m y una profundidad máxima de 40 m, según lo reportado por Hung (1985). Así, se colocaron tres transeptos perpendiculares a la costa (T1, T2, T3) siguiendo el perfil de profundidad del arrecife desde los 2 m hasta un máximo de 30m (Figs.2C, 3, 4) y distanciados uno del otro por 20 metros, cubriendo un área total de 212 m<sup>2</sup>.

A los lados de cada transepto perpendicular se colocaron 6 transeptos paralelos (P) a la línea de costa, que fueron ubicados en la zona de la planicie arrecifal (P1 y P2 entre 2 y 8 m), en el talúd superior (P3 y P4, entre 8 y 13m) y en el talúd inferior (P5 y P6 entre 13 y 30 m), cada una de 10 metros de longitud (Figs.2D, 3), cubriendo un área total del 180 m<sup>2</sup>.

Se describió el perfil de profundidad de cada transepto perpendicular con la ayuda de un computador de buceo marca Cressi, haciendo mediciones metro a metro a lo largo de cada transepto.



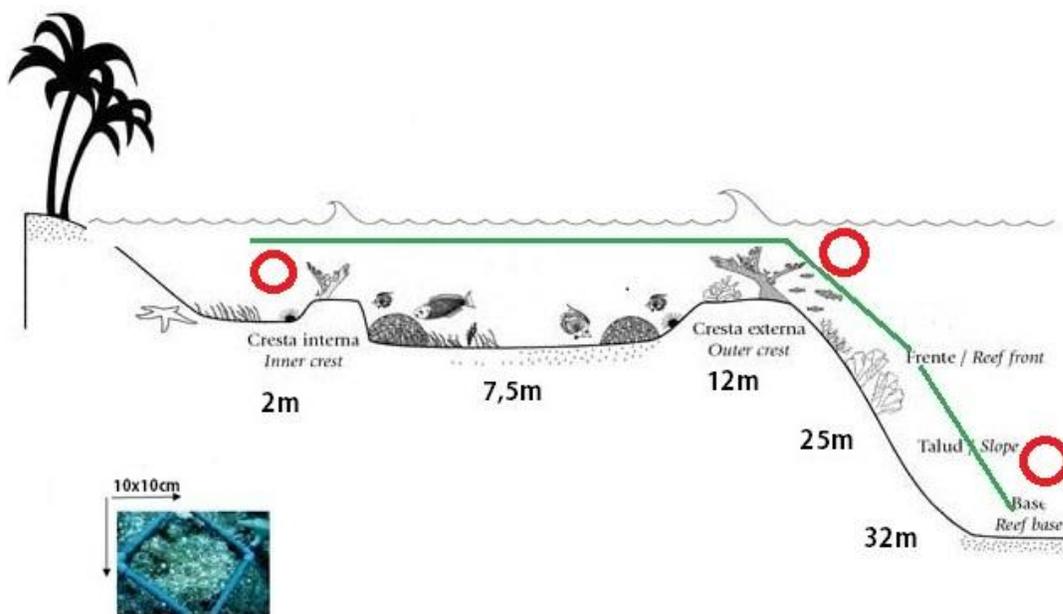
**Figura 2. A: Boya indicadora de la ubicación del transepto, B: Etiqueta indicadora de cada transepto a diferentes niveles de profundidades, C: transepto perpendicular a la costa desde la zona más profunda (32 m de profundidad) hasta la más somera (3,5 m de profundidad), D: transepto de 10m de longitud, paralelo a la costa e la zona profunda, E: levantamiento de la data con el uso de una cuadrata de 10X10cm.**

Con el fin de estimar la cobertura algal en el arrecife, se utilizaron cuadratas de 10 X10 cm, subdivididas en cuadrículas internas de 1 x 1 cm (Fig 2E). Se estimó la cobertura cada 2 metros a lo largo de los 3 transeptos perpendiculares (n=318 cuadratas), y de los 6 paralelos a la costa (n=270 cuadratas), cubriendo un total de 5880 cm<sup>2</sup>. Adicionalmente en cada transepto perpendicular y paralelo se estimó la cobertura lineal de los siguientes grupos: Cianobacterias, Hexacorales, Octacorales, Poríferos y otros Invertebrados sésiles, así como la cobertura lineal de sustrato duro libre y de arena.



**Figura.3. Descripción y señalización del área de estudio. Las líneas rojas representan los transeptos perpendiculares a la costa, los círculos rojos representan las boyas que separan las tres zonas de muestreo y las líneas amarillas los transeptos paralelos a la costa (Fotografías aéreas M. Narváez). Se indica la ubicación ampliada del arrecife de estudio (Dos Mosquises Sur)**

Cada zona de muestreo (planicie arrecifal, talúd superior y talúd inferior) fue marcada con una cabilla de acero de 45 cm de largo y fijada en el fondo arenoso o rocoso (Fig. 2-B). En cada cabilla se colocaron 2 boyas y una etiqueta de identificación con los códigos de la zona y el transepto (Fig. 2-C), lo que facilitó la localización y muestreo de las mismas a lo largo del periodo de estudio. (Figs.3 y 4).



**Figura 4. Perfil del arrecife: Esquema del diseño experimental. La línea verde representa un transecto lineal perpendicular a la línea de costa. Los círculos rojos representan las boyas colocadas para demarcar cada estrato de profundidad, donde fueron colocados los 2 transectos paralelos cada lado del transecto perpendicular (Imagen modificada de Cortés 1984).**

Se colectaron muestras de algas durante las tres salidas de campo (dos salidas durante la estación lluviosa (ELL) correspondientes a los meses de Mayo y Agosto de 2012, y una durante la estación seca (ES) correspondiente al mes Octubre 2013). Las muestras fueron colectadas en el interior de cada cuadrata de 10x10, separándolas del sustrato mediante la ayuda de una espátula y/o cuchillo, para finalmente colocarlas dentro de una bolsa codificada.

En el caso de las especies incrustantes se procedió a desprender el sustrato ocupado por el alga con la ayuda de martillo y cincel. Las especies fueron identificadas taxonómicamente, con ayuda de una lupa estereoscópica, en tanto que las láminas fueron examinadas con ayuda de un microscopio binocular marca Leica. Se realizaron cortes anatómicos a mano alzada. Todos los fueron facilitados por el Laboratorio de Ecología de Sistemas Acuáticos del Instituto de Zoología y Ecología tropical de la UCV (de la línea de investigación de Ecosistemas Marino Costeros). Para la identificación de las especies que conforman la comunidad de algas se emplearon las claves de Taylor (1960), Ganesan (1989), Wynne 2005 y Littler and Littler (2000), así como la data contenida en las diferentes páginas webs con registros mundiales, regionales y locales de algas bentónicas.

Para realizar todas las actividades mencionadas se utilizó un equipo de buceo autónomo marca Sherwood, siguiendo el patrón de seguridad que establece como primer recorrido las zonas profundas y luego las someras con intervalos de superficie.

Por otra parte, se midieron en el arrecife algunos parámetros fisicoquímicos, que según Huerta (1961) son claves en la distribución de las macroalgas:

- Radiación solar: evaluada en tres periodos durante el día: al amanecer, medio día y al atardecer. Estas mediciones se realizaron con la ayuda de un sensor de radiación solar digital, de marca LI-COR (LI-250 Light Meter).
- Transparencia: Se midió usando un disco de Secchi.
- pH y temperatura del agua: Su estimación se realizó con la ayuda de un sensor multiparamétrico marca Horiba.
- Salinidad: Se midió con la ayuda de un Refractómetro manual.

## **ANÁLISIS ESTADÍSTICOS:**

El análisis de datos se realizó a nivel de grupos funcionales y de especies. Se generaron matrices con la información correspondiente a la cobertura y frecuencia de aparición de las especies en relación a las distintas zonas del gradiente de profundidad estudiado, y a las distintas épocas del año consideradas. Los datos de cobertura fueron transformados y estandarizados a través de la transformación matemática de  $\arcsen \sqrt{p}$ , reduciendo así el peso de las especies muy abundantes, sin disminuir su importancia.

Se calculó la riqueza como el número de especies por transecto, estrato de profundidad y época de muestreo. Por otra parte, para determinar la posible existencia de diferencias en la composición de especies entre transectos, así como entre profundidades (zonación vertical), o entre las 3 épocas del año evaluadas, se aplicó la técnica de ANOSIM de una vía (Análisis de similitudes), utilizando la distancia de Bray-Curtis ( $p < 0,005$ ). En este análisis, los valores del coeficiente R iguales o cercanos a 1 indican una baja similitud entre los grupos; mientras que valores bajos, más cercanos a 0, indican una alta similitud entre grupos. (Clarke 1993).

Se calculó la beta diversidad para cada transecto, cada estrato de profundidad y época del año muestreada con el fin de capturar las diferencias en el reemplazo espacial de las especies.

## **7. RESULTADOS:**

### **7.1.-PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS**

Los arrecifes del Parque Nacional Archipiélago Los Roques se caracterizan por poseer altos índices de transparencia vertical en la columna de agua, el valor reportado para las tres épocas del año muestreadas osciló entre 21 y 23 m.

La incidencia solar fue relativamente alta para las tres épocas de muestreo, en especial para el mes de Octubre, resultando mayor en los primeros estratos de profundidad, entre la planicie arrecifal y la cresta, obteniéndose las mayores intensidades lumínicas en los horarios comprendidos entre las 12 del mediodía y 2:30 de la tarde y los menores para el final de la tarde. (Fig.5)

El periodo con menor intensidad lumínica fue el mes de Agosto (para los días de muestreo), reportándose una anomalía a los 6 m en el horario de las 9 am, con un registro superior a los obtenidos en estratos superiores a la misma hora, o incluso a la hora de mayor incidencia, es decir 12 pm. (Fig.5).

Temperatura salinidad y pH. Para los periodos de muestreo se midieron valores de pH, temperatura, conductividad y salinidad prácticamente invariables en los tres periodos de muestreo (junio y agosto 2013 y octubre 2014). Este resultado no era el esperado, pues estudios anteriores reflejan fluctuaciones al menos de temperatura y pH según la época del año (Anexo 1)

## Radiación:

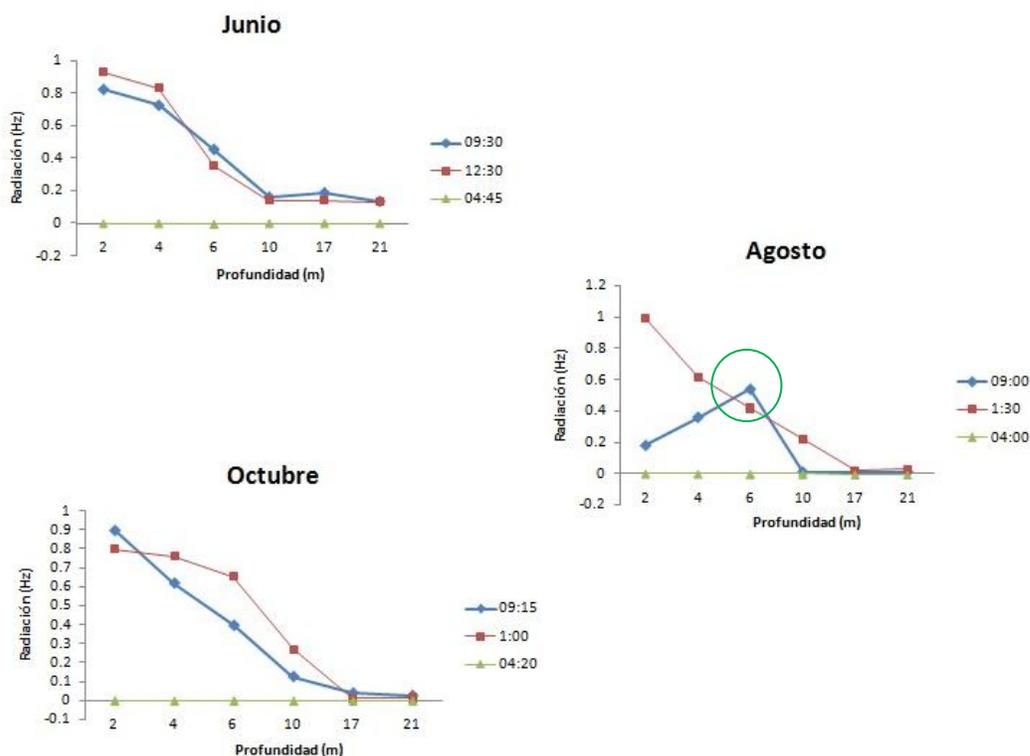
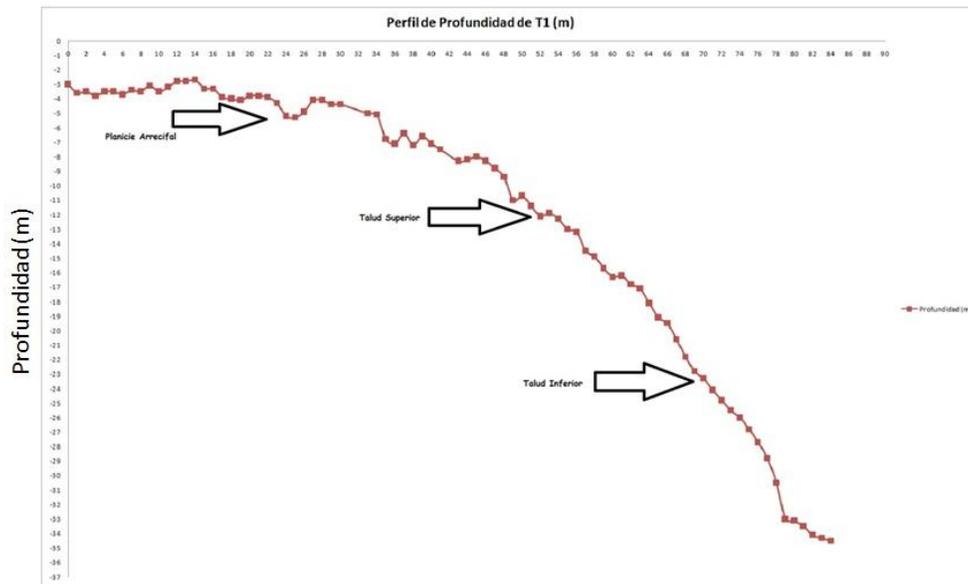


Figura 5. Radiación solar durante tres periodos diarios y a 6 niveles de profundidad para los meses de junio, agosto 2012 y octubre 2013.

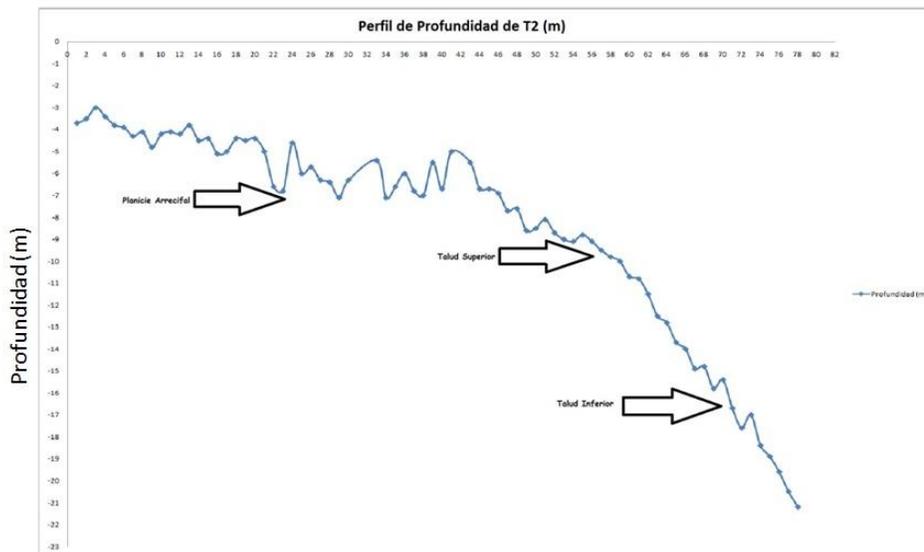
## 7.2 TOPOGRAFIA:

En la zona muestreada, se pueden señalar en cada uno de los transeptos de forma general, tres regiones principales: plataforma somera, de 0 a 8 m., cresta de 8 a 15m y talud de 15 a 35m., las cuales se señalan en las Fig. 6, 7 y 8, con las flechas.

Es importante destacar las grandes diferencias topográficas entre las tres zonas del arrecife muestreadas, donde pudimos observar prolongadas planicies arrecifales, con pisos de arena en las zonas del talud arrecifal, como el caso de la T1 (Fig.6), pendientes suaves y abruptas con paredes escalonadas como el caso de T2 (Fig.7), largos parches de arena que interrumpen la continuidad arrecifal como lo refleja el perfil topográfico como el caso de T3 (Fig. 8). A continuación se presentan los perfiles topográficos de cada uno de los tres transeptos perpendiculares realizados en el arrecife.



**Figura 6 Perfil de profundidad del Transepto Perpendicular 1. Se señalan tres puntos de inflexión, que marcan el final y/o el inicio de las diferentes zonas topográficas del arrecife.**



**Figura 7 Perfil de profundidad del Transepto Perpendicular 2. Se señalan tres puntos de inflexión, que marcan el final y/o el inicio de las diferentes zonas topográficas del arrecife.**

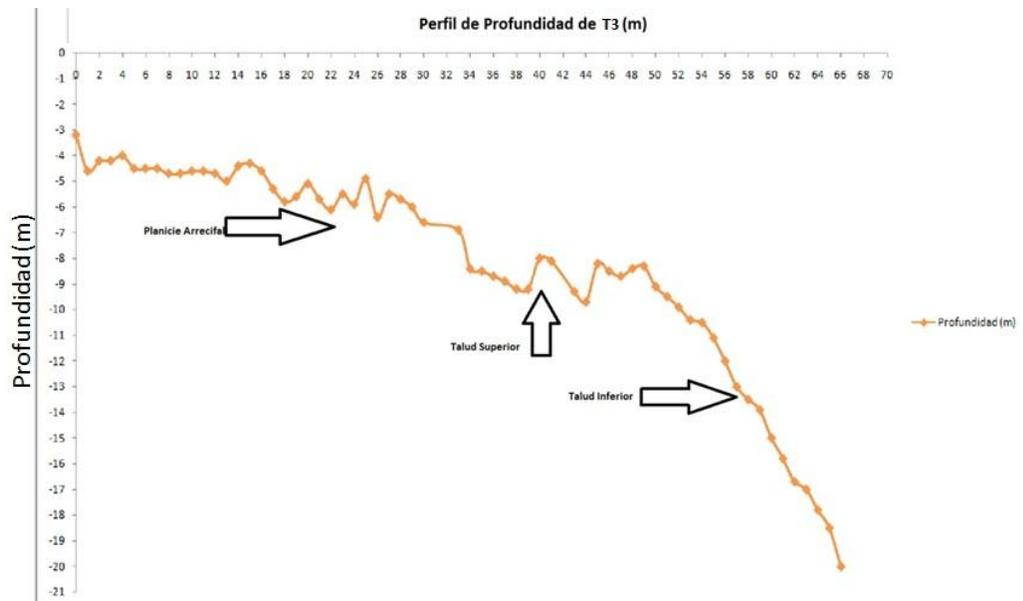


Figura 8 Perfil de profundidad del Transepto Perpendicular 3. Se señalan tres puntos de inflexión, que marcan el final y/o el inicio de las diferentes zonas topográficas del arrecife.

## 7.3 PARAMETROS BIOLÓGICOS

### 7.3.1. CARACTERIZACION DEL BENTOS DEL ARRECIFE DE DOS MOSQUISES

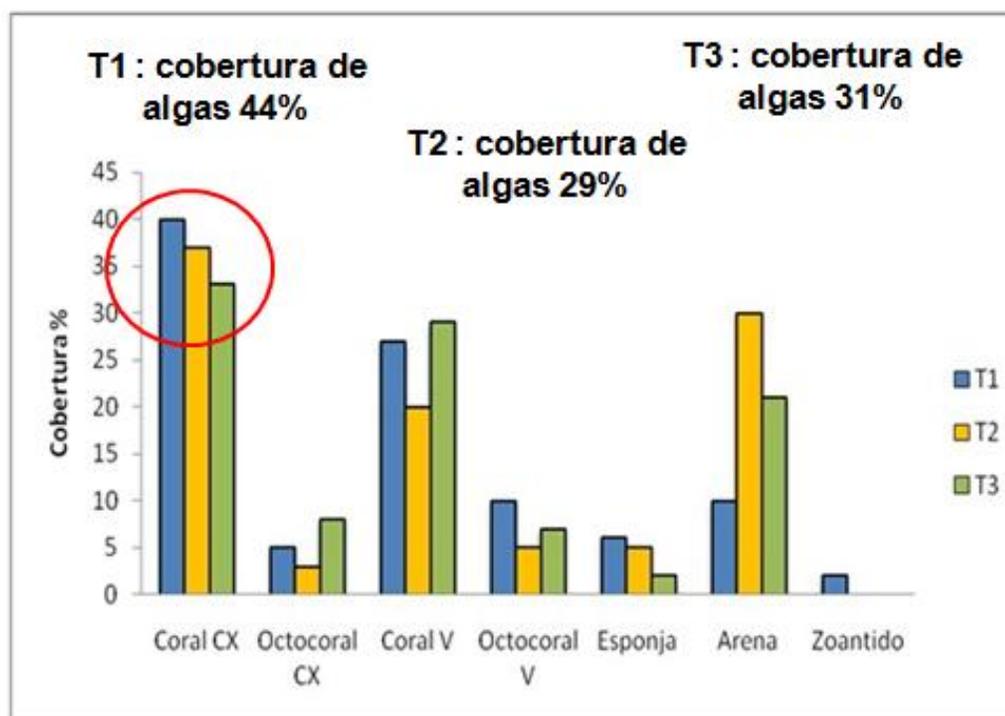
#### 7.3.2 Distribución y cobertura de corales

Se identificaron un total de 12 especies de corales pétreos y 2 de octocorales a lo largo de los transeptos, para el área de estudio (Tabla 1). Se pudieron observar tres zonas, una somera hasta 8 m cubierta por trozos de coral muerto, principalmente de *A. palmata* y *A. cervicornis*, una segunda zona, intermedia, entre 8 y 15 m dominada por corales masivos de gran tamaño de las especies *O.annularis*, *C.natans*, *P. strigosa* y *D.clivosa*, y algunas de tamaño pequeño como *E.fastigiata*, y por último una tercera zona asociada al talúd profundo, que se extiende desde los 15 a los 40 m donde hay una mayor dominancia de esponjas, octocorales y algunas especies de corales como *M. cavernosa* y *A. lamarcki*, así como unos fondos escalonados de arena.

**Tabla1. Especies de corales pétreos y octocorales, observados a lo largo del área de estudio, en el arrecife de Dos Mosquises Sur, Parque Nacional Archipiélago Los Roques.**

Phylum	Orden	Familia	Taxón
Cnidaria	Scleractinia	Faviidae	<i>Orbicella annularis</i>
			<i>Montastraea cavernosa</i>
			<i>Pseudodiploria labyrinthiformis</i>
			<i>Orbicella faveolata</i>
			<i>Diploria strigosa</i>
		Faviidae	<i>Colpophyllia natans</i>
		Meandrinidae	<i>Meandrina meandrites</i>
		Poritidae	<i>Porites astreoides</i>
		Siderastreidae	<i>Siderastrea siderea</i>
		Agariciidae	<i>Agaricia agaricites</i>
		Agariciidae	<i>Agaricia lamarcki</i>
	Astrocoeniidae	<i>Stephanocoenia intersepta</i>	
	Milleporina	Milleporidae	<i>Millepora complanata</i>
	Alcyonacea	Gorgoniidae	<i>Gorgonia ventalina</i>

En general, resalta la alta cobertura de sustrato coralino muerto, alcanzando un máximo de 39%, lo que representa un alto porcentaje de sustrato libre disponible factible de ser colonizado. No obstante, los porcentajes de coral vivo, no son tan bajos en el área muestreada (oscilando entre 20 y 28 %). Por su parte, la cobertura de arena varió en los tres transeptos, teniendo una cobertura significativamente mayor en el transepto 2, seguida en magnitud por la del transepto 3, producto de un relieve topográfico interrumpido por parches de arena, alcanzando un máximo de cobertura de 31%. (Fig.9).



**Figura 9. Cobertura lineal total de los principales grupos de invertebrados sésiles, arena y sustrato libre a lo largo de los transeptos perpendiculares T1, T2 y T3.**

#### 7.4. ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LA COMUNIDAD DE ALGAS

Se identificaron un total de 62 especies de algas en el arrecife, pertenecientes a 16 órdenes y 33 familias, en las 4 principales phyla: 1 especie de Cyanobacteria, 16 de Chlorophyta, 5 Ochrophyta y 40 Rhodophyta (Tabla 1). En este trabajo se citan un nuevo registro para Venezuela (*Udotea cyathiformis f. infundibulum* (Fig 13B)) y 8 para el Parque Nacional Archipiélago Los Roques, (tabla 2). Algunas de ellas representadas en las imágenes de las figuras 10, 11, 12 y 13.

Al examinar el número de especies pertenecientes a cada una de las *phyla* estudiadas se observó una mayor proporción de rodofitas, seguidas por las clorofitas y por último las ocrofitas (Tabla 1). El orden con mayor riqueza de especies resultó ser el de las Ceramiales, con un total de 25 especies, seguido de las Corallináceas con 6 especies. A nivel morfológico se pudo determinar que el mayor porcentaje de las algas identificadas fueron del tipo filamentosa y en cuanto a los Grupos funcionales se determinó que la mayoría de especies encontradas pertenecen al grupo de las algas *tipo tapete* (TT), con un total de 32 especies, seguidas de las *Macroalgas frondosas* (MF) con un total de 20 especies. Es importante mencionar que una misma especie de alga puede formar parte de más de un grupo funcional durante su ciclo de vida o durante una fase, tal como puede observarse en la Tabla 2.

Tabla 2. Especies de algas colectadas en los tres transeptos durante las tres épocas del año. En el margen derecho de cada especie se identifica su ubicación en los grupos funcionales considerados en este estudio (Macroalgas Frondosas (MF), Tipo Tapete (TT), Coralináceas Incrustantes (IC) y Macroalgas Frondosas de Origen Calcáreo (MAFOC), Cianobacterias (CB)), los nuevos registros para el PNALR son identificados con un (++) y los nuevos registros para Venezuela con un (+)

Phylum	Orden	Familia	Taxón	Grupo Funcional
Cyanobacteria	Oscillatoriales	Oscillatoriaceae	Oscillatoria sp	(BC)
Chlorophyta	Dasycladales	Polyphysaceae	Acetabularia schenckii	(TT)
		Dasycladaceae	Neomeris annulata ++	(MAFOC)
	Bryopsidales	Udoteaceae	Udotea Cyathifomis f. infundibulum ++	(MAFOC)
		Halimedaceae	Halimeda opuntia	(MAFOC)
		Caulerpáceae	Caulerpella ambigua	(TT)
	Ulvales	Ulvaceae	Ulva flexuosa Wulfen (MF)	(MF)
			Ulva prolifera	(TT)
			Caulerpa racemosa var. macrophysa	(MF)
			Caulerpa serrulata	(MF)
			Caulerpa taxifolia	(MF)
		Bryopsidaceae	Bryopsis plumosa	(TT /MF)
	Cladophorales	Cladophoraceae	Chaetomorpha sp	(TT)
		Valoniaceae	Valonia ventricosa	(MF)
		Boodleaceae	Phyllocladon anastomosans	(TT)
		Pithophoraceae	Dictyosphaeria cavernosa	(MF)
			Dictyosphaeria ocellata ++	(MF)
			Cladophoropsis sp.	(TT)
Ochrophyta	Dictyotales	Dictyotaceae	Dictyota humifusa	(MF)
			Dictyota dichotoma	(MF)
			Lobophora variegata	(MF)
	Ectocarpales	Acinetosporaceae	Feldmannia mitchelliae ++	(TT)
	Sphacelariales	Sphacelariaceae	Sphacelaria rigidula	(TT)
Rhodophyta	Corallinales	Corallinaceae	Lithophyllum sp.	(IC)
			Lithothamnium sp.	(IC)
			Amphiroa fragilissima	(TT /MAFOC)
			Jania capillacea(jania sp2)	(TT /MAFOC)
			Jania adhaerens	(TT /MAFOC)
		Hapalidiaceae	Mesophyllum sp. ++	(IC)
	Ceramiales	Wrangeliaceae	Anotrichium tenue	(TT)
			Griffithsia globifera	(TT)
			Wrangelia penicillata	(MF)
		Spyridiaceae	Spyridia filamentosa	(MF)
		Ceramiaceae	Balliella pseudocorticata	(TT)
			Perikladosporon percurrans	(TT)
			Centroceras clavulatum	(TT)
			Ceramium nitens	(TT)
			Ceramium sp1	(TT)
			Ceramium sp2	(TT)
			Ceramium dowsonii	(TT)
		Dasyaceae	Heterosiphonia sp.	(TT)
			Dasya rigidula	(MF)
		Rhodomelaceae	Polysiphonia scopulorum	(TT)
			Laurencia obtusa var. intricata	(MF)
			Herposiphonia tenella ++	(TT)
		Delesseriaceae	Nitophyllum sp ++	(TT/MF)
			Taenioma perpusillum ++	(TT)
			Hypoglossum hypoglossoides	(MF)
	Ceramiales	Delesseriaceae	Martensia pavonia	(MF)
		Callithamniaceae	Crouania attenuata	(TT)
			Seirospora occidentalis	(TT)
			Spyridia filamentosa	(MF)
	Halymeniales	Halymeniaceae	Cryptonemia crenulata	(MAFOC)

Phylum	Orden	Familia	Taxón	Grupo Funcional
		Champiaceae	<i>Champia parvula</i>	(TT)
	Gelidiales	Gelidiaceae	<i>Gelidium pusillum</i>	(MF)
		Pterocladaceae	<i>Pterocladia americana</i>	(TT)
	Gigartinales	Solieriaceae	<i>Solieria filiformis</i>	(MF)
		Cystocloniaceae	<i>Hypnea spiniella</i>	(MF)
	Peyssonneliales	Peyssonneliaceae	<i>Peyssonnelia sp.</i>	(IC)
	Gelidiales	Gelidiellaceae	<i>Gelidiella acerosa</i>	(MF)
	Sporolithales	Sporolithaceae	<i>Sporolithon sp.</i>	(IC)



Figura.10: Rodofitas filamentosas. A.-*Polysiphonia scopulorum* Harvey 1855, detalles de las ramas mostrando cistocarpos y tetraesporangios B.- *Crouania attenuata* (J. Agarrdh)1842, detalles del habito, las ramificaciones, y una rama mostrando tetraesporangios.

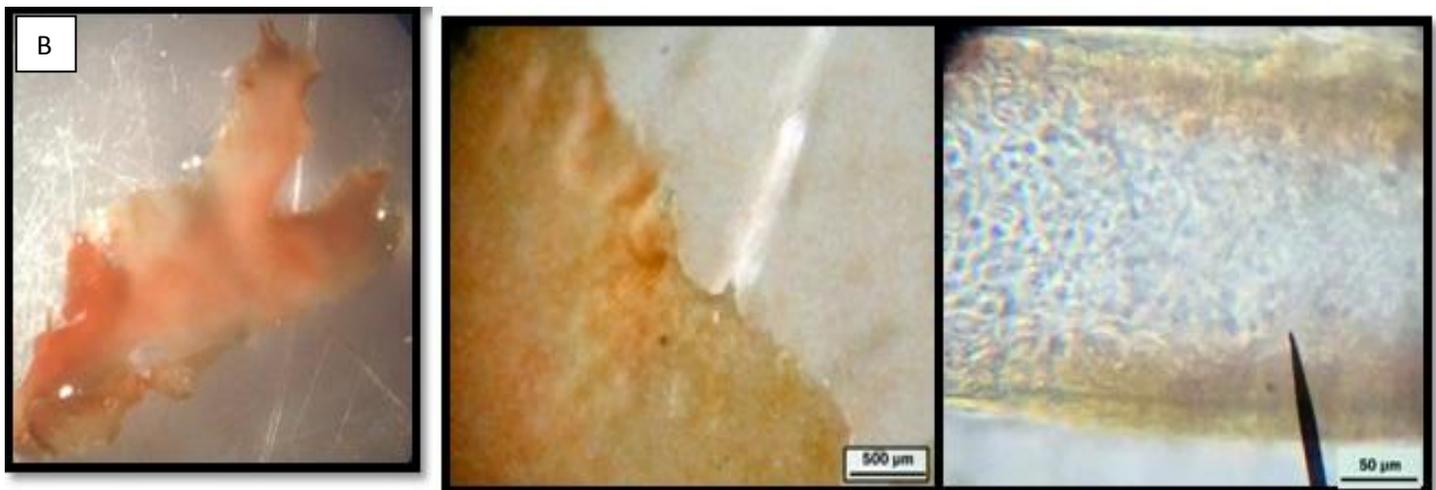


Figura 11. A.- *Taenioma perpusillum* (J. Agardh) 1863 Rodofita filamentosa, del tipo epifitas,. Detalle de las ramas mostrando los pelos hialinos. B.- *Criptonemia crenulata* (J. Agardh) 1851, macroalga frondosa de origen calcáreo, encontrada. Talo incospicuo en forma de racimos de hoja, hojas con margenes dentados de forma irregular en forma de estrella, filamentos medulares dirigidos periclinalmente e intermezclados, células de la corteza interna redondeadas.

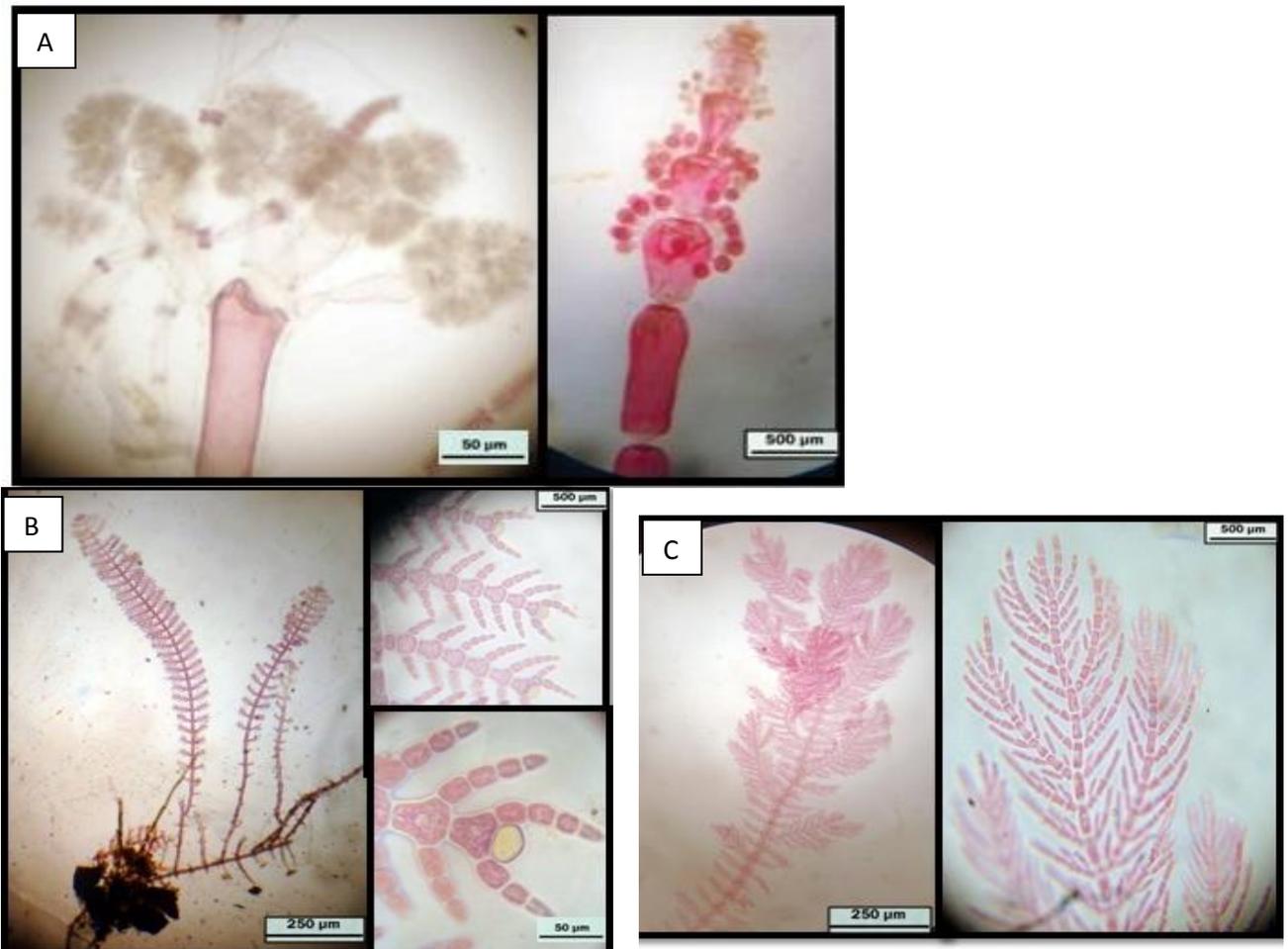


Figura 12. Rodofitas filamentosas, integrantes del grupo de las tapete, A.- *Anotrichium tenue* (C. Agardh) 1862, encontradas en los transectos 1 2 y 3 en las zonas medias y profundas, en detalle tetraesporangios y espermatangios, B.-*Acrothamnion butlerae* (F.S. Collins) 1956, en detalle el habito, ramificación principal y células glandulares, C.-*Balliella pseudocorticata* (E.Y. Dowson) 1874, detalles del habito.

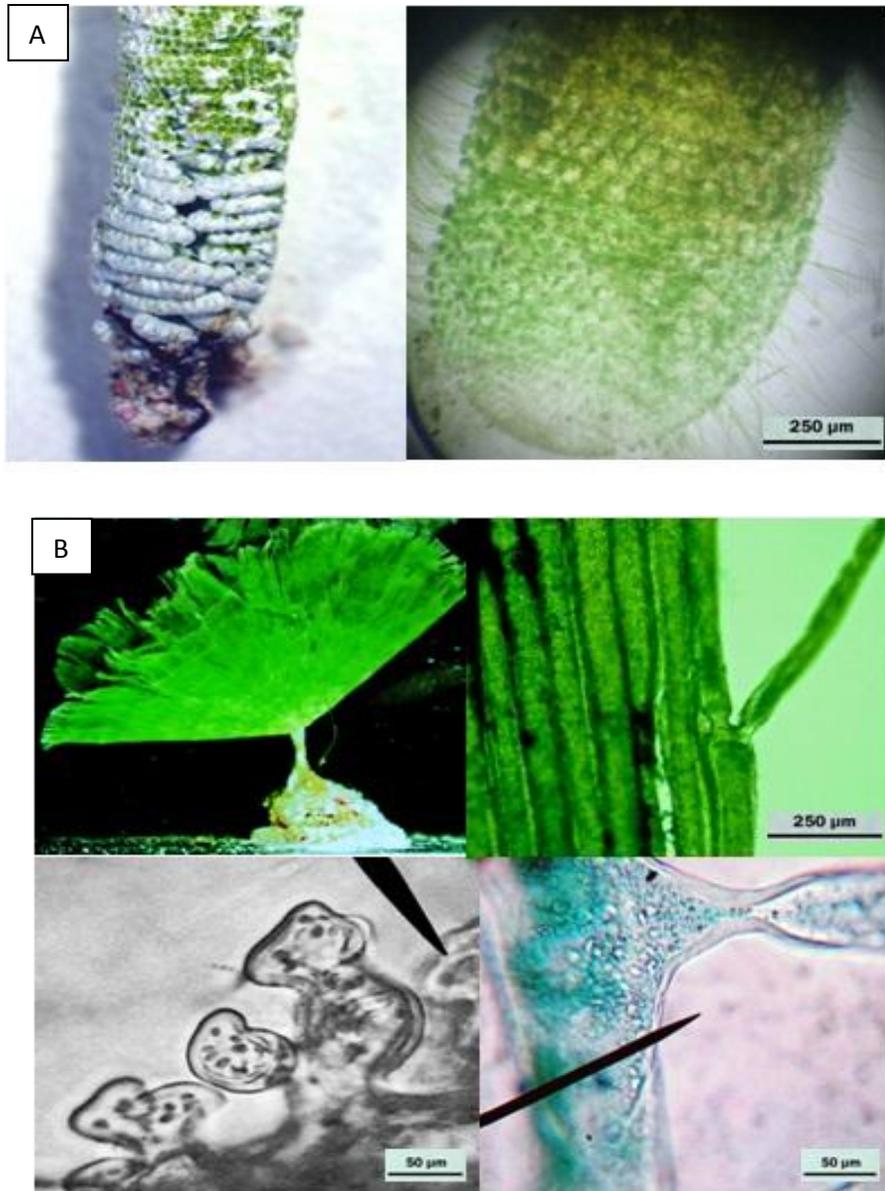


Figura13. Clorofitas: A.- *Neomeris annulata* (Dikie) 1874, macroalga frondosa de origen calcáreo, se puede observar, la base blanco que revela la pesada incorporación de carbonato de calcio, Las pequeñas esferas expuestas en la base son estructuras reproductivas que producen esporas (esporangios) , B.-*Udotea cyathiformis f. infundibulum* (J. Agardh) (D.S Littler and M.M LITTLER)

1990, macroalga frondosa de origen calcáreo, en la imagen de detalla el habito, células del sífon paralelas con ápices irregulares y dicotomías estrechas y Apéndices laterales del estípite cortos

### Cobertura Global de algas

El grupo funcional de algas con mayor cobertura a lo largo del área estudiada correspondió a las macroalgas frondosas (**MF**), alcanzando un 36 %, a pesar de no ser este el grupo como mayor riqueza de especies ni gran plasticidad morfológica, seguido de las algas tipo tapete (**TT**) con 28% que son el grupo con mayor riqueza de especies y plasticidad morfológica. Seguidamente las coralináceas incrustantes (**IC**) presentaron una cobertura de 14%, las macroalgas frondosas de origen calcáreo (**MAFOC**) 13% y finalmente las cianobacterias (**CB**) un 9%. (Fig 14)

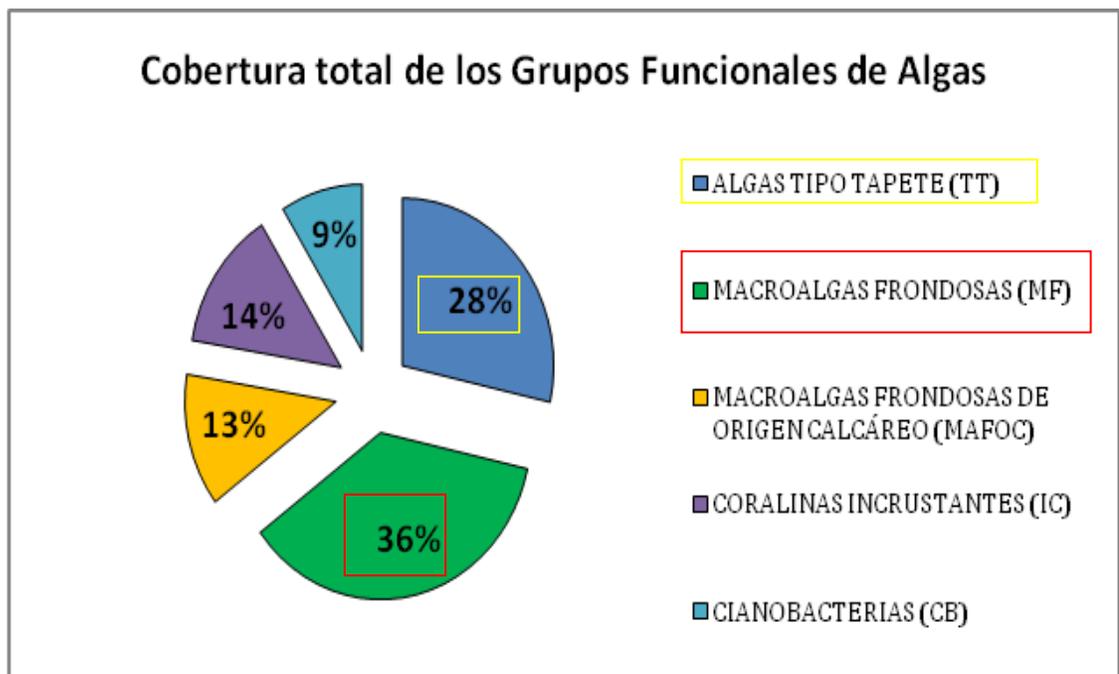


Figura 14. Cobertura Total de los Grupos funcionales de Algas a lo largo de toda la zona de muestreo en el arrecife de DMS.

## 7.5.- ANALISIS ESPACIO-TEMPORAL DE LA COMUNIDAD DE ALGAS

### 7.5.1.- Distribución de las especies y Grupos Funcionales a lo largo del Perfil de Profundidad (Transectos Perpendiculares a la línea de costa).

#### 7.5.1.1. Grupos Funcionales:

Las coberturas generales de todos los grupos funcionales resultaron ser muy disimiles entre los tres transectos, así como en cada estrato de profundidad. En general se observó la tendencia de una mayor cobertura en los transectos, 3 y el 1, durante los meses de Junio y Octubre, en los estratos somero y profundo.

A nivel general los análisis estadísticos no arrojaron diferencias significativas en la cobertura entre los 4 grupos funcionales evaluados (Anosim  $p=0,12$ ) a lo largo del gradiente de profundidad de cada transecto, a pesar de ello se obtuvieron respuestas individuales en los tres transectos donde las coberturas de los grupos de las TT, MAFOC y CB : T1 ( $p= 0,00439$  para TT,  $p= 0,00427$  para MAFOC,  $p=0,0001954$  para CB) y T2 ( $p=0,002602$ ,  $p=0,003183$ ,  $p= 0,001902$ ) en el estrato profundo y para T3 en el estrato medio( $p= 0,000164$ ,  $p=0,00462$ ,  $p=0,00386$ ).

Por otro lado al analizar de forma global los valores de cobertura de los grupos funcionales en cada transecto, durante las 3 épocas del año muestreadas, no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas ( $p= 0,1938$ ), sin embargo, existen respuestas individuales para los grupos funcionales TT y MAFOC, en T1 ( $p=0,001573$ ,  $p=0,00001082$ ) y T3(  $p= 0,003182$ ,  $p= 0,00002916$ ), durante los meses de agosto y octubre, cuyas coberturas presentaron diferencias significativas entre ambos meses.

Tal como se observa en las Fig. 15, 16 y 17, la variabilidad temporal de la cobertura de los diferentes grupos funcionales para los tres transectos es también evidente a un mismo estrato de profundidad. Los meses con mayor cobertura resultaron ser los de JUN y OCT, mientras que AG resultó ser el mes con menor cobertura. A continuación se especifican los patrones obtenidos en cada estrato.

**Estrato Somero:** Es el estrato con menor variación temporal de la cobertura de los distintos grupos funcionales, lo que se evidencia al observar tendencias similares en los porcentajes de cobertura relativa para los tres periodos (con pocas excepciones). Resaltan los altos índices de cobertura de los transeptos 2 y 3 en los tres periodos evaluados. (Fig. 15-A-B-C)

Por otra parte, los grupos funcionales con mayor cobertura son los TT y MAFOC perteneciendo en su mayoría al phylum clorofita, presentes en los tres transeptos durante todo el muestreo, sin embargo, estos experimentaron variaciones a medida que se avanzaba en el tiempo (Fig. 15-A-B-C). En el caso de las MF se mantuvieron relativamente bajas, y en el caso de las CB, si bien no poseen una cobertura uniforme en los tres transeptos, esta experimentó altos niveles de cobertura en T2 durante los meses de agosto y octubre. (Fig. 15B y C) finalmente, es evidente la menor varianza (barras de desv.est.) en la cobertura para todos los grupos funcionales de algas durante el mes de octubre, en comparación con la varianza estimada para junio y agosto.

**Estrato Medio:** Es el estrato donde se observa la mayor variabilidad temporal de la cobertura de los diferentes grupos funcionales para los tres periodos evaluados y transeptos (Fig. 16-A-B-C), esta se evidencia al observar las barras de desviación estándar en la cobertura para todos los grupos funcionales en las 3 épocas del año muestreada.

Particularmente en el mes de agosto se observó una alta cobertura para todos los grupos funcionales (Fig.16-B). Los grupos funcionales con mayor cobertura son nuevamente los TT y MAFOC. Estos se encuentran presentes en los tres transeptos durante los tres periodos de muestreo, no obstante su cobertura experimentó variaciones a lo largo de los meses de muestreo.

En el caso de las MF, sus valores de cobertura no resultaron muy altos y se mantuvieron relativamente estables durante las tres épocas del año. Resaltan los valores muy bajos de este grupo funcional para T2. En el caso de las CB, éstas no poseen una cobertura uniforme en los tres transeptos y experimentaron altas coberturas en T2 durante agosto y un poco menor en octubre.

**Estrato profundo:** Se observa una variabilidad temporal de la cobertura de los diferentes grupos funcionales para los tres transeptos en este estrato de profundidad, sin embargo, no es muy alta. El transepto de mayor cobertura es T1, en los tres periodos evaluados. Los grupos funcionales con mayor cobertura son los TT y MAFOC presentes en los tres

transectos durante los tres periodos de muestreo, los cuales experimentaron variaciones a medida que se avanzaba en el tiempo. (Figs. 17-A-B-C).

En el caso de las MF se mantuvieron relativamente estables para los tres transectos y durante las tres épocas del año a pesar de no ser muy altas, resalta la fluctuación que sufren durante el mes de octubre donde sus coberturas experimentan una caída abrupta (Fig 17C). Las CB solo presentaron altas coberturas en el transecto 2 en los tres periodos evaluados.

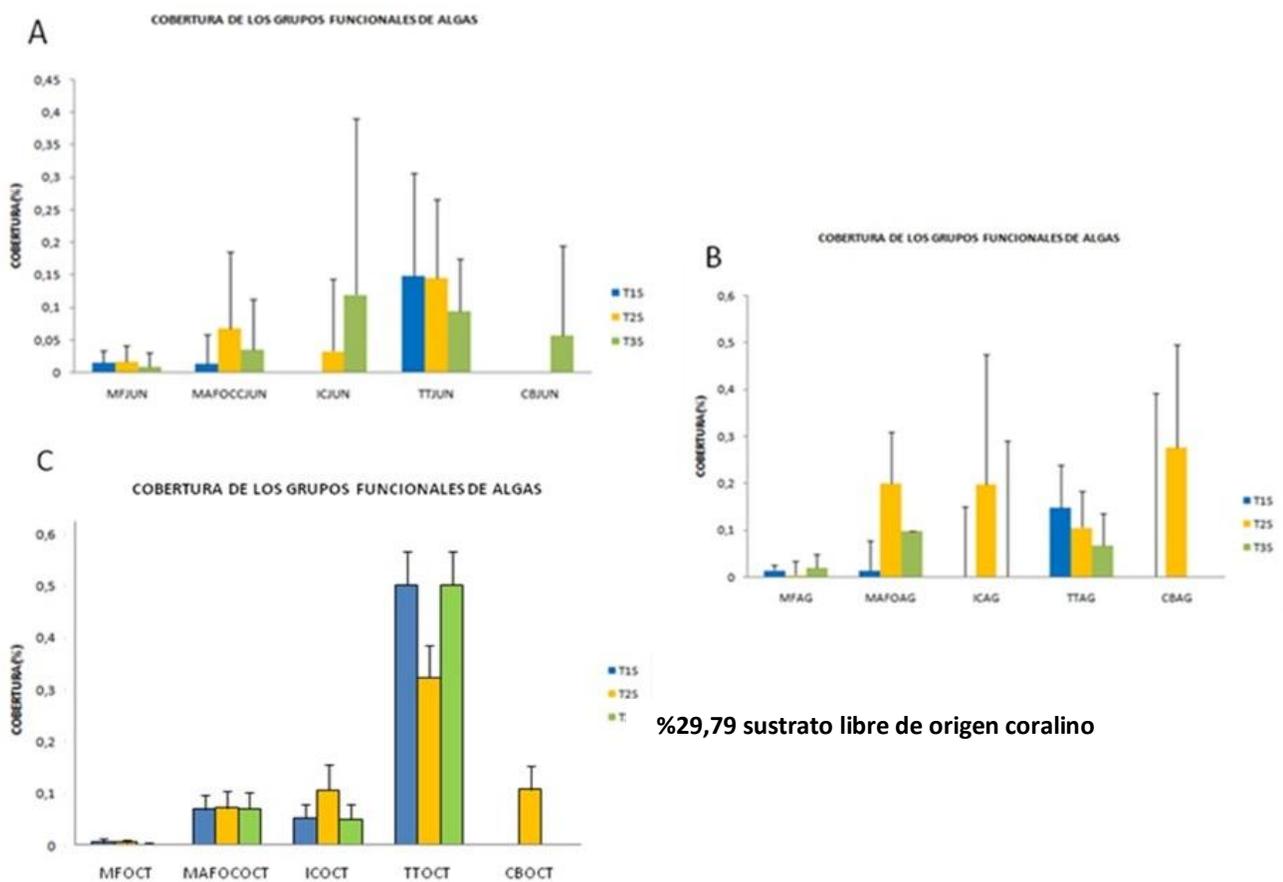


Figura 15. Cobertura (%) de los grupos funcionales de algas, en el estrato somero (Planicie Arrecifal), a lo largo de las tres épocas de muestreo: A, junio: Jun, B, agosto: AG, C, Octubre:Oct.

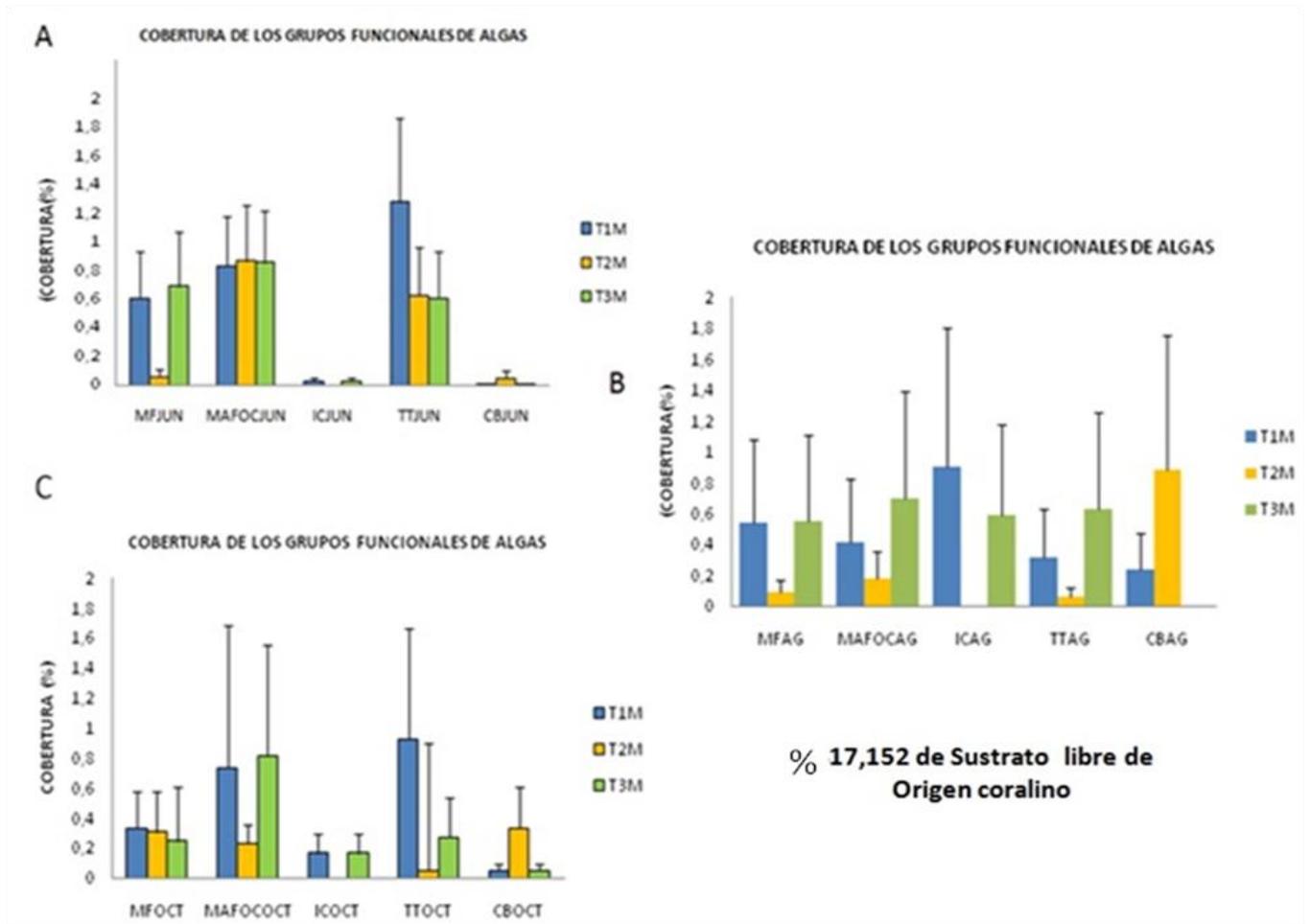


Figura 16. Cobertura (%) de los grupos funcionales de algas, en el estrato medio (Cresta Arrecifal), a lo largo de las tres épocas de muestreo (A-junio (JUN), B-agosto (AG), C-octubre (OCT))

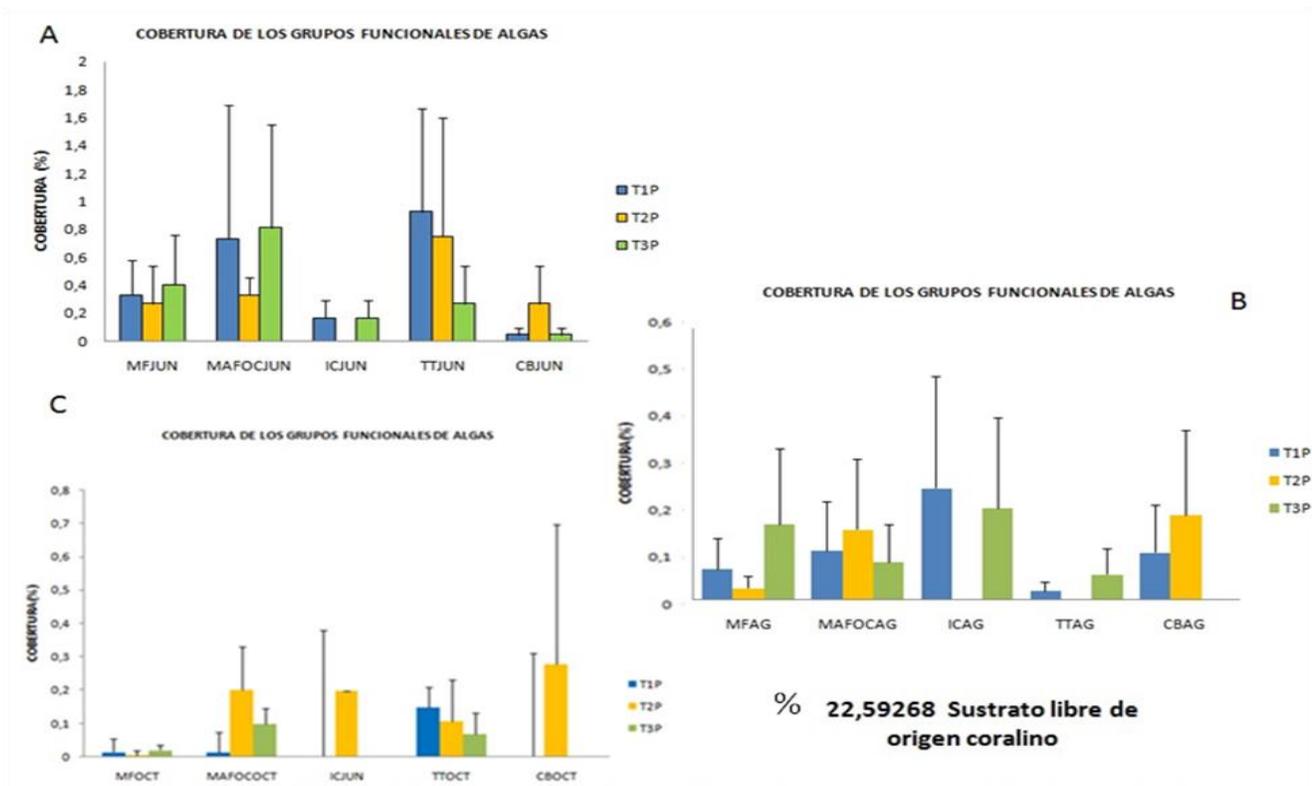


Figura 17. Cobertura (%) de los grupos funcionales de algas, en el estrato profundo (Talud Arrecifal), a lo largo de las tres épocas de muestreo (A-junio (JUN), B-agosto (AG), C-octubre (OCT))

#### Relaciones entre la pendiente y la cobertura de algas:

Pudimos observar que los transectos con menor pendiente son los que reportaron mayor cobertura, destacando que el transecto 1 es el que posee a nivel general mayor cobertura de algas y coral muerto.

#### PLANICIE ARRECIFAL:

T1(m= 1,24)>T3(m= 3,17)>T2(m=1,69)

#### CRESTA ARRECIFAL:

T3(m= 3,08)>T1(m=7,69)>T2(m= 5,93)

#### TALUD INFERIOR

T1(m= 1,69)>T3(m= 3,98)>T2(m=3,08)

### 7.5.2. Análisis por Especies (Frecuencia de aparición, cobertura, riqueza y diversidad de especies)

A nivel de especies si se observaron patrones espaciales y temporales. Esto fue demostrado mediante los análisis estadísticos, los cuales reflejaron unas respuestas positivas a los parámetros espacio-temporal evaluadas, es decir que existe una diferencia significativa en el patrón de cobertura de las especies de algas a lo largo del gradiente vertical, así como para las tres épocas del año evaluadas. Los resultados estadísticos del ANOSIM fueron los siguientes: para T1 de  $R=0.46$ ,  $p=0.001002$ , de T2  $R=0.40$ ,  $p=0.002056$  y de T3 con  $R=0.39$ ,  $p=0.0028301$ . Los tres transeptos presentaron una alta heterogeneidad, revelando la existencia de un patrón de zonación vertical en cada transecto, Las macroalgas con mayor cobertura fueron: *D. dichotoma*, *D. humifusa*, *J. adhaerens*, *J. capillacea* y *H. opuntia*.

### 7.5.3. Frecuencia de Aparición y Cobertura

Las especies con mayor frecuencia de aparición (Fa) son: *D. humifusa* 17%, *H. opuntia* 16%, *N. annulata* 16%, *J. capillacea* 15% y *D. dichotoma* 15 %; mientras que las de menor Fa son, *C. taxifolia* y *C. serrulata*, ambas con 6% de Fa.

La presencia de algunas especies está condicionada a la época del año o a su posición en el gradiente de profundidad, ejemplos de esto son: 1.- *C. racemosa*, *C. taxifolia*, *D. c.f. cavernosa* y *V. ventricosa* cuya presencia está restringida a los primeros estratos (somero y medio), desapareciendo a medida que aumenta la profundidad. 2.- *H. spiniella*, *G. marginata* y *C. cervicornis* ausentes en todos los transeptos y estratos de profundidad durante el periodo de muestreo correspondiente al mes de agosto. A continuación se presentan para los tres transeptos, las especies características de cada uno de los estratos de profundidad estudiados.

**Estrato Somero: Transecto 1:** las especies con mayor cobertura resultaron ser: *D. dichotoma*, *D. c.f. cavernosa* A., *C. cervicornis*, y *H. opuntia*. **Transecto 2:** las especies con mayor cobertura resultaron ser: *D. dichotoma*, *M. pavonica*, *H. spiniella*, *G. marginata* y *H. opuntia*, perteneciendo en su mayoría al phylum rodofitas muy seguido de las clorofitas. **Transecto 3:** las especies con mayor cobertura resultaron ser: *D. dichotoma*, *J. capillacea*, *C. cavernosa* y *H. opuntia*, perteneciendo en su mayoría al phylum clorofita. (tabla3).

**Estrato Medio: Transepto 1:** las especies con mayor cobertura resultaron ser *J. capillacea*, *V. ventricosa*, *A. fragilissima* y *H.opuntia*, perteneciendo en su mayoría al phylum rodofitas seguido de las clorofitas. La cobertura y riqueza de las especies fue significativamente mayor durante el mes de octubre. **Transepto 2:** En general podemos observar que la tendencia se mantiene para los periodos de muestreo con mayor riqueza y cobertura de especies siendo estos los de JUN y OCT y el de menor el de AG, siendo *D. dichotoma*, *M.pavonica*, *H. spiniella*, *L. variengata* y *H.opuntia*, las especies con mayor cobertura en los meses de mayor cobertura.

**Transepto 3:** a pesar de tener elevadas coberturas en las especies de algas *H.opuntia*, *A. fragilissima* *Jania capillacea* (*jania sp2*) y *D. c.f. cavernosa*, la riqueza de especies es muy baja, siendo *H.opuntia* la especie de mayor cobertura y presencia (tabla3).

**Estrato Profundo: Transepto 1:** las especies con mayor cobertura resultaron ser *J. capillacea* *J. adherens*, *C. crenulata*, *D. dichotoma* y *A. fragilissima* pertenecientes al phylum rodofitas. Por su parte, la cobertura y riqueza de las especies fue significativamente mayor durante el mes de Junio, seguido del mes de octubre. **Transepto 2:** las especies con mayor cobertura resultaron ser *N. annulata*, *M. pavonica*, *A. fragilissima* y *H.opuntia*, nuevamente la cobertura y riqueza de las especies fue significativamente mayor durante el mes de Junio. **Transepto 3:** es un transepto, en general, con coberturas altas de algas, dominando en cobertura las especies, *L.variegata* *D. humifusa* *J. capillacea* *J. adhaerens* y *D. dichotoma*, la cobertura y riqueza de las especies fue significativamente mayor durante el mes de Junio seguido del mes de octubre. (tabla3).

La desaparición de algunas especies en todos los niveles de profundidad, durante alguno de los meses evaluados, es posiblemente indicadora de posibles procesos sucesionales en estas comunidades de algas.

Tabla3. Lista de especies de macroalgas que pudieron ser identificadas *in situ*, asociadas a los transectos perpendiculares T1, T2 y T3 durante tres épocas del años distintas (J :Mayo-Junio, A:Julio-Agosto y O:Septiembre-Octubre), a lo largo de los tres estratos de profundidad (Somero, Medio y Profundo). La presencia de las especies en cada ambiente se indica con "1" y la ausencia con "-". Se sombrea en color azul los casos que responden a la estacionalidad (mes de muestreo) o a la ubicación en el gradiente de profundidad (estrato).

	SOMERO									MEDIO									PROFUNDO								
	T1J	T2j	T3j	T1A	T2A	T3A	T1O	T2O	T3O	T1J	T2J	T3J	T1A	T2A	T3A	T1O	T2O	T3O	T1J	T2J	T3J	T1A	T2A	T3A	T1O	T2O	T3O
<i>D. dichotoma</i>	1	-	1	1	1	1	1	-	-	1	1	-	-	1	1	1	-	-	1	1	1	-	-	-	1	-	-
<i>D. humifusa</i>	1	-	1	1	-	1	1	1	1	1	1	-	-	1	-	1	-	1	1	1	1	-	-	-	1	1	-
<i>C. cervicornis</i>	1	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	1	-	-	-	-	-	1
<i>D. friabilis</i>	1	-	1	1	1	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	1	-	-	-	-	-	1
<i>L. variegata</i>	1	-	-	-	-	1	1	-	1	1	1	-	-	-	-	1	-	1	1	-	1	-	1	-	1	-	1
<i>C. racemosa</i>	1	-	1	-	1	-	-	1	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>C. taxifolia</i>	1	-	1	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>C. serrulata</i>	1	-	1	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	-	1	1	1	-	1	-	-	1	1	-	1
<i>V. ventricosa</i>	1	-	1	-	1	-	-	-	-	1	1	-	1	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>B. pennata</i>	-	-	1	-	-	-	1	1	1	1	-	-	1	-	-	-	1	1	1	1	1	-	1	-	1	-	-
<i>D. c.f. cavernosa</i>	1	-	1	-	1	-	-	-	-	1	-	1	-	-	1	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>M. pavonia</i>	-	-	-	-	-	1	1	-	1	1	-	1	-	-	-	1	-	-	1	-	1	-	-	1	1	-	-
<i>H. spiniella</i>	-	-	1	-	-	-	1	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	1	1	-	1	-	-	-	1	-	-
<i>H. opuntia</i>	1	-	1	1	1	1	1	1	1	1	-	-	-	-	-	1	-	1	1	1	1	-	-	-	1	1	-
<i>N. annulata</i>	-	1	-	-	1	-	1	-	1	1	1	1	1	1	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	1	1	1
<i>G. marginata</i>	-	-	1	-	-	-	1	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	1	-	-	-	-	-	-
<i>J. adhaerens</i>	1	-	-	-	-	1	1	1	1	1	1	-	1	-	-	1	-	-	1	1	1	-	1	-	1	1	-
<i>J. capillacea</i>	1	-	1	-	-	-	1	1	1	-	-	1	1	-	-	-	-	1	1	1	1	-	-	1	1	1	1
<i>C. crenulata</i>	-	-	1	-	-	1	-	1	1	-	-	-	1	-	-	1	-	1	-	1	1	-	1	1	1	-	1
<i>A. fragilissima</i>	-	-	1	-	-	1	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	1	-	1	1	-	1	1	1	1	-
<b>Nro. Especies</b>	<b>13</b>	<b>1</b>	<b>16</b>	<b>5</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>13</b>	<b>7</b>	<b>12</b>	<b>18</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>7</b>	<b>15</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>13</b>	<b>5</b>	<b>7</b>

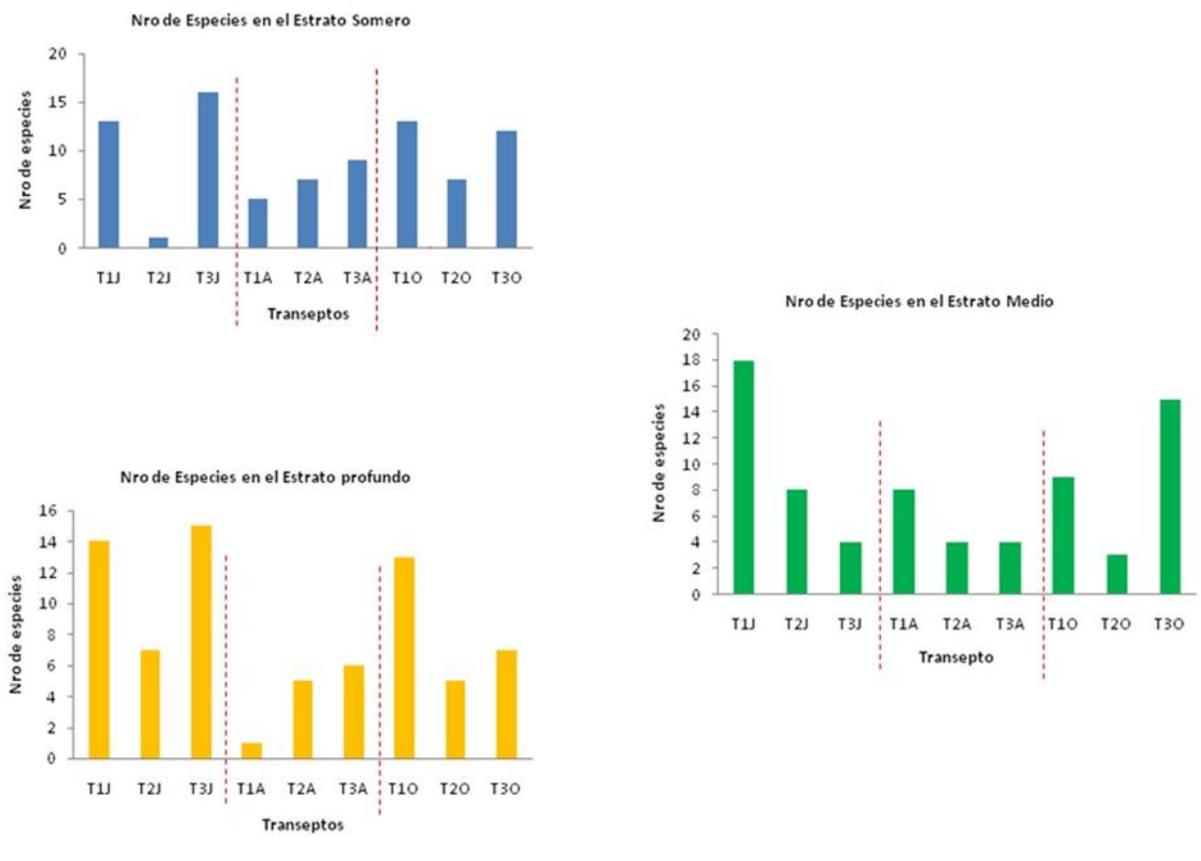
#### 7.7.4 Riqueza de Especies

Se observaron grandes diferencias en la riqueza de especies de algas. En general, se observan altos índices de riqueza en los meses de junio y octubre, así como una disminución significativa de la misma durante el mes de agosto. Los transeptos con mayor riqueza de especies en general son T1 y T3 (Tabla 3 y Fig.18-A-B-C), y el transepto con menor riqueza es T2. El estrato con mayor número de especies fue el somero, seguido del profundo. (Tabla 3 y Fig.18-A-B-C).

**Estrato Somero:** el transepto con mayor riqueza de especies fue T3, cuyos valores más altos son reflejados durante el mes de junio, seguido de T1; T2 por su parte presenta un muy bajo número de especies durante el primer lapso muestreado y experimenta un incremento a medida que se avanza en el año.(Fig. 18-A)

**Estrato Medio:** además de ser el estrato con mayor riqueza de especies, posee la distribución más equitativa de las mismas. El transepto con mayor riqueza de especies fue T1, seguido de T3, cuyos más altos valores son reflejados durante los meses de junio y octubre respectivamente. De igual forma el transepto 2 resultó ser el de menor número de especies en todos los meses del año muestreados, el mes con menor fluctuación para los tres transeptos sigue siendo el mes de agosto.(Fig. 18-B).

**Estrato Profundo:** Es el segundo estrato con mayor riqueza de especies, con grandes fluctuaciones estacionales, reflejadas por la abrupta disminución en el número de especies de T1 y T3 durante el mes de agosto, a pesar de ello es el transepto el que posee la mayor riqueza de especies, seguido de T3, manteniendo las tendencias de los estratos anteriores. (Fig. 18-B)



**Figura 18. Riqueza de especies de algas para los tres transectos (T1,T2,T3) y las tres épocas de muestreo(J: JUNIO, A: AGOSTO, O: OCTUBRE, en los estratos de profundidad somero(S), medio(M) y profundo(P).**

**7.5.5.BETA DIVERSIDAD:**

La diversidad beta confirma que las comunidades de macroalgas del arrecife de Dos Mosquises Sur son espacialmente sumamente heterogéneas. En la zona somera los tres transectos solo comparten cinco de las veinte especies evaluadas. Por su parte, en la zona media los tres transectos solo comparten 9 especies de las 20 evaluadas, y en la zona profunda comparten 7 de las 20 evaluadas. El análisis de la diversidad beta, deja claro que la planicie y talud arrecifal son las zonas con mayor heterogeneidad, así como los transectos 1 y 3 durante los meses de junio y agosto.

En el caso de los **transeptos paralelos**, se realizaron un total de 18 transeptos, evaluados en tres épocas del año. Entre los resultados de la cobertura total de macroalgas, se halló que el phylum con mayor porcentaje fue el de algas rodofitas, seguidas por las clorofitas y por último las ocrofitas. A nivel de grupos funcionales los de mayor cobertura y riqueza de especies resultaron ser: TT Y MF; lo que coincide con la información obtenida en los transeptos paralelos. Sin embargo los resultados obtenidos no fueron realmente significativos para evaluar la zonación horizontal ya que el numero de replicas era muy bajo por nivel de profundidad (solo 2 transeptos, y 6 cuadratas por transecto), lo que no permitió evaluar a plenitud, el posible recambio de las especies a lo largo del gradiente horizontal, así como la influencia del mismo y otros parámetros en la distribución de las especies.

## 8. DISCUSIÓN

### PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

Por ser organismos fotosintéticos, la distribución vertical de las algas está limitada por la profundidad, ya que la intensidad y el espectro de luz cambian con este parámetro. También se sabe que las algas siguen un patrón de distribución espacial determinado por factores fisicoquímicos tales como: la temperatura, salinidad, pH, corrientes, disposición espacial y diversidad de tipos de superficies (o sustratos) (Sebens 1991), haciéndolas altamente sensibles a cambios en dichos factores.

El arrecife de Dos Mosquises Sur durante el periodo de muestreo presentó un pH, temperatura, conductividad, y salinidad prácticamente invariables en los tres periodos de muestreo (junio y agosto 2012 y octubre 2013). Este resultado no era el esperado, al menos en lo que al parámetro temperatura se refiere, para el cual un incremento de la temperatura del agua, hacia los meses de agosto con el máximo valor para octubre era lo lógico. Estos resultados pudieron ser producto de un mal funcionamiento del equipo de medición (Multisensor Horiba U10).

Considerando tal situación se decidió descartar los valores obtenidos para los 4 parámetros y como una referencia de los posibles valores que adoptan estos parámetros en los meses de estudio, se utilizaron los valores registrados por Villamizar (2005-2009) para la misma localidad, durante el desarrollo del proyecto Evaluación y Monitoreo de la Condición de Salud de algunos arrecifes del Parque Nacional Archipiélago Los Roques. Cabe acotar que algunos autores, señalan que la temperatura para el mes de agosto en Los Roques, normalmente oscila entre 28 y 29°C, valor muy superior al registrado en este estudio (Tabla 6.).

### Radiación

En el caso de la luz sabemos que su capacidad de penetración en el agua de mar no es igual en las diferentes zonas oceánicas y a las distintas profundidades en un mismo océano. Se ha podido comprobar que en los mares con aguas frías la luz penetra menos. La propagación de las radiaciones luminosas en el océano se explica por las propiedades fisicoquímicas del agua y por las características físicas de la luz, que a su vez tienen gran importancia en los fenómenos biológicos que suceden en el mar.

Como se mencionó previamente, las algas, debido a su condición de vegetal su distribución vertical está limitada por la profundidad, debido a la disminución de la radiación con la misma (Bula-Meyer 2001), haciéndolas altamente sensibles a cambios en dichos patrones.

Uno de los factores fisicoquímicos con mayor influencia sobre las propiedades de la luz es la transparencia (Dudgeon 2010). Los arrecifes del Parque Nacional Archipiélago Los Roques se caracterizan por poseer altos índices de transparencia (entre 21-26 m), en el área de estudio (Villamizar 1996). El valor reportado para las tres épocas del año muestreadas osciló entre 21 y 23 m.

La incidencia solar fue relativamente alta para las tres épocas de muestreo, resultando mayor en los primeros estratos de profundidad, entre la planicie arrecifal y la cresta y disminuyendo progresivamente a medida que se descendía en la columna de agua, hasta las zonas del talúd abrupto. Los valores estimados diariamente para la radiación solar, correspondieron adecuadamente con el fotoperíodo diario, obteniéndose las mayores intensidades luminicas en los horarios comprendidos entre 12 del mediodía y 2:30 de la tarde y los menores para el final de la tarde, esto debido al cambio en el ángulo con el que inciden los rayos sobre el agua, que disminuye su capacidad de penetración a medida que avanza el día (Fig.4). Por otra parte, la penetración de la luz en la columna de agua puede verse afectada por una serie de condiciones ambientales, tales como las precipitaciones y la sedimentación.

Durante las temporadas de junio-agosto de 2012 se presentaron grandes precipitaciones y cielos nublados, a diferencia del resto de las temporadas de muestreo. Es probable que debido a estas irregularidades además de una lectura alterada del radiómetro, debido ocasionalmente a las corrientes que empujan los electrodos a estratos superiores de profundidad, o debajo de zonas sombreadas, se observó, a los 6 m y 9 am, un registro superior a los obtenidos en estratos superiores a la misma hora, o incluso a la hora de mayor incidencia solar, es decir 12 pm. (Fig.4).

### **Topografía**

La zonación geomorfológica y biológica guardan una relación estrecha, lo que representa un tópico muy importante en el estudio de las comunidades. El arrecife de Dos Mosquises sur es de tipo costanero o franjeante, con una amplitud entre 50 y 240m y una profundidad máxima de 40 m; se caracteriza por poseer una topografía irregular, que de acuerdo a Cróquer y Villamizar (1998) fue clasificado en las siguientes secciones topográfica: Talúd Suave (TS), Talúd Intermedio (TI), Talúd Intermedio Abrupto (TIA) y Talúd Abrupto (TA). Esta sectorización del arrecife se realizó con el fin de conocer si existía o no una correlación entre la estructura topográfica del arrecife y la comunidad de organismos sésiles asociados al mismo.

Al observar los gráficos (Figs. 5, 6 y 7) correspondientes a los perfiles de profundidad de los transeptos perpendiculares a la costa (1, 2 y 3), es importante destacar estas diferencias topográficas, que van desde prolongadas planicies arrecifales como el caso de la T1, a pendientes suaves y abruptas con paredes escalonadas con grandes parches de arena que interrumpen la continuidad arrecifal (Fig.5), como lo refleja el perfil topográfico en los transeptos 2 (Fig.6) y 3 (Fig.7), respectivamente, lo que corresponde a lo reportado por Cróquer y Villamizar (1998).

Dichas irregularidades topográficas pueden incidir de forma positiva o negativa, en algunas variables ambientales, tales como la incidencia de la luz solar, las corrientes y la sedimentación, factores determinantes en la distribución, frecuencia de aparición y cobertura de las especies presentes en estos sistemas, en especial las pertenecientes al componente ficoflorísticos (Fabricius 2001), contribuyendo así a que la composición de la comunidad de especies de algas varíe considerablemente entre un transepto y otro.

### **Comunidad de corales**

La cobertura de los corales pétreos se ha reducido substancialmente en los últimos 20 años debido al calentamiento global y al efecto de las actividades humanas (Chadwick y Morrow 2011). Según Tunnell (2007) ésta ha disminuido de manera alarmante en las últimas décadas. El evento más importante ocurrió en la década de 1970 en el Atlántico (Gardner *et al.* 2003), el cual provocó la muerte masiva de *A. palmata*, situación que modificó la estructura de las comunidades coralinas en todo el Caribe y el sur del Golfo de México (Tunnell *et al.* 2007) y posiblemente sea la causa de la ausencia de cobertura de *A. palmata* a lo largo del estrato somero de todos los transeptos.

El componente bentónico del arrecife de Dos Mosquises se caracteriza por estar constituido por grandes colonias de corales masivos, con un total de al menos 40 especies de corales pétreos, distribuidos en un área de 900 cm<sup>2</sup> principalmente de las especies *Orbicella annularis*, *O. faveolata*, *Pseudodiploria strigosa* y *Diploria labyrinthiformis*, observandose un patrón de zonación horizontal y vertical desde los 3,5 hasta los 25m de profundidad, lo que concuerda con lo señalado en la bibliografía (Hung 1985)

En este estudio se lograron identificar un total de 12 especies de corales pétreos y 2 de octocorales, siendo *O.annularis* la que alcanzó la máxima cobertura de coral vivo principalmente en la zona de la cresta y la plataforma arrecifal, seguida de *O. faveolata* y *M.cavernosa*, las cuales presentaron una mayor cobertura, en la zona correspondientes al talud arrecifal, mientras que *D.strigosa* y *C. natans* entre la plataforma y el talud (tabla2). Por

otra parte el porcentaje de cobertura de sustrato coralino muerto fue particularmente alto en los transectos 1 y 2 en los estratos de la cresta y el talúd arrecifal (Fig.8), y muy bajo en los primeros estratos de profundidad.

El reducido número de especies de corales hallada en este estudio podría obedecer a recientes eventos de mortalidad coralina, así como al reducido tamaño de la cuadrata, ideal para hacer una adecuada estimación de la cobertura algal pero no para la coralina (debido al tamaño mucho mayor de estos). A pesar de ello, están bien documentadas las crecientes fluctuaciones en la cobertura de sustrato coralino muerto, como consecuencia del incremento de la pérdida de sustrato de origen coralino vivo que ha sufrido el arrecife de DMS en los últimos 15 años, como respuesta a una serie de perturbaciones como enfermedades y blanqueamiento coralino, ubicando actualmente la cobertura coralina en un 35% (Bastidas et al. 2012), que en comparación con la cobertura estimada por Villamizar (2003) es 30% más baja, lo que ha liberado un importante espacio, que por su naturaleza sólida de roca caliza ( $\text{CaCO}_3$ ) representa el sustrato ideal para el asentamiento de los distintos grupos y especies de algas así como para otros componentes bentónicos. (Hughes 2003 )

A escala local, la cobertura depende del reclutamiento y crecimiento de corales así como de las variables oceanográficas (Hoegh-Guldberg *et al.* 2007), específicamente en áreas someras, los corales están expuestos a estrés ambiental, en particular debido al oleaje, mareas, variaciones de la temperatura, salinidad y alta incidencia de luz (Horta-Puga y Tello-Musi 2009), siendo el oleaje el factor que más influencia ejerce en la estabilidad de los corales escleractíneos (Miloslavich et al. 2012).

Es posible que la ausencia de colonias vivas de *A. palmata* y *A. cervicornis* en los muestreos de este estudio, se deba a que sus poblaciones aún se encuentran recuperando de la mortalidad masiva debido a la enfermedad de la banda blanca, que sufrieron en la década de los 80 (Tunnell et al. 2007), La rápida pérdida de *A. palmata* y *A. cervicornis* no tiene precedentes en el registro fósil y no sólo redujo la cobertura de coral sino también la capacidad de recuperación de los arrecifes ya que estos son dos de los corales de crecimiento más rápido en el Caribe (Jordán-Dahlgren 1992).

## **Algas Bentónicas**

### **Aanálisis espacio temporal de la comunidad de algas en el gradiente de profundidad (transeptos perpendiculares)**

La necesidad de inventariar las especies en los ecosistemas marinos ha sido señalada por Salazar-Vallejo *et al.* (2008), dada la acelerada pérdida de diversidad que estos han sufrido como producto de diferentes factores en la actualidad, lo cual es evidente en arrecifes coralinos, donde gran parte de los esfuerzos se han orientado a corales y peces (Hay 1994). Sin embargo, se han dejado a un lado los estudios sobre algas, a pesar de que las mismas cubren la mayor parte de los sustratos rocosos de origen coralino en los arrecifes, llegando a superar, en este estudio, el 40% del total del área muestreada con respecto a la cobertura de otros grupos bentónicos sésiles. Su mayor cobertura puede deberse a su alta capacidad competitiva, la cual han logrado a través de siete mecanismos principales:

- 1) Interferencia de las algas en el asentamiento y en la supervivencia de larvas y juveniles de otras especies, 2) sombreado, 3) alelopatía, 4) la atracción de la superficie de las algas para el asentamiento temporal de larvas, 5) abrasión, 6) la invasión basal y 7) incremento de la sedimentación debido a un flujo reducido de agua (Chadwick y Morrow 2011).

## **Grupos funcionales**

Las Macroalgas Frondosas (MF) seguidas de las Tipo Tapete (TT) resultaron ser las de mayor cobertura a lo largo de la zona muestreada (fig14). Se observó un patrón de distribución al evaluar la frecuencia de aparición de estos dos grupos funcionales, en el cual las MF disminuyen a medida que aumenta la profundidad, mientras que con las TT ocurre lo contrario, aumentando su frecuencia de aparición con la profundidad. No obstante, a pesar de haberse observado dichas tendencias, no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas para la cobertura de este grupo con respecto a las épocas del año muestreadas, ni zonas del arrecife. Sólo al desglosar estos grupos en sus diferentes especies, se pueden identificar casos, que responden a uno de los dos patrones o a ambos.

El grupo funcional con mayor cobertura fue el de las Macroalgas frondosas (MF) a lo largo de la zona muestreada, si bien la frecuencia de aparición de las mismas disminuye a medida que aumenta la profundidad (Tabla 3), no se obtuvieron diferencias significativas para la cobertura de este grupo con respecto a las épocas del año muestreadas y zonas del arrecife. Sin embargo, al desglosar estos grupos en sus diferentes especies, se pueden identificar casos, que responden a uno de los dos patrones o a ambos. Tampoco se hallaron diferencias estadísticas significativas en la riqueza de las algas TT entre las estaciones ni entre las zonas muestreadas del arrecife, lo que es corroborado con un resultado similar para la distribución mediante el ANOSIM ( $R_{\text{Global}} = 0,108$ ,  $p = 0,001$ ). Es posible que esto se deba a que las mismas crecen en forma de césped, con una altura inferior o igual a 1 cm y está constituido por complejos de especies entrelazadas y unidas al sustrato por estructuras rizoidales de fuerte adhesión al mismo. Esta condición les permite atrapar mayor cantidad de partículas de sedimento, acumulando así materia rica en fósforo orgánico y favorecer la proliferación de este grupo funcional de algas (Purcell y Bellwood 2001).

Si bien no logramos identificar *in situ* todas las especies que integran este grupo, en el laboratorio se logró determinar que a pesar de conformar un césped de no más de 1 cm de altura, este grupo presenta variaciones muy marcadas en la morfología de sus especies, además de estar integrada por algas transitorias, es decir, especies que durante una etapa de su ciclo de vida integran este grupo y posteriormente no, lo que les confiere una gran riqueza y a su vez les permite sustituirse entre periodos del año, manteniendo su dominancia en el arrecife (Airoldi 2001).

Así mismo, con respecto al gradiente de profundidad esto se refleja en una creciente lista de especies conformada en su mayoría, por especies correspondientes a este grupo funcional (Tabla 1). Debido a esto, la disminución en la cobertura de este grupo en los meses de mayores precipitaciones puede estar asociada a un crecimiento rápido de algas filamentosas pertenecientes a este grupo funcional (TT) que posteriormente van a pertenecer al grupo de las macroalgas. (Fig 15,16,17).

En el caso de las Coralináceas incrustantes (IC), este grupo funcional no presenta respuestas notorias a la estacionalidad, debido a que su tasa de crecimiento es mucho menor, comparado con otros grupos, tales como las algas filamentosas. Es posible que el tiempo de muestreo en el que se realizó este estudio resultara ser muy corto para permitirnos observar un cambio significativo en este grupo. Sin embargo existen casos particulares donde se pueden observar algunas diferencias, por ejemplo, en el transecto 2, la distribución de las algas coralináceas, parece estar restringida, notablemente, al estrato más profundo. (Figs 14,15,16).

La poca variación de las IC es producto de su morfología y tasas de crecimiento muy bajas, además de ser menos sensibles a las perturbaciones. La pérdida de su cobertura suele estar más asociada a la herbivoría directa o indirecta, así como a la sedimentación o erosión del sustrato (Fabricius y De'ath, 2001), esto, posiblemente en respuesta a la presión ejercida por los peces loros en los primeros estratos de profundidad, quienes de forma indirecta consumen estas algas al raspar los corales.

Otro factor a considerar es la disminución en las poblaciones de *D. antillarum*, pues se ha comprobado que favorecen el crecimiento de las algas coralinas costosas, las cuales son beneficiosas para los arrecifes coralinos dado que sustituyen a los corales como constructores (Barrios et al. 2003), evitan la destrucción biológica del coral y del sustrato, inducen el reclutamiento de los corales y octocorales, y tienen la capacidad de soportar cambios climáticos (O'Leary y McClanahan 2010).

Las Macroalgas Frondosas de origen calcáreo (MFOC) son el tercer grupo funcional con mayor cobertura en los estratos profundo y medio. Al igual que las algas tipo tapete su cobertura no resultó con diferencias estadísticamente significativas entre los meses, pero sí entre los estratos de profundidad. Su abundancia parece disminuir desde la zona profunda a las zonas someras, en especial en los transectos 1 y 2 (Fig 15, 16), que poseen parches de arena en estas áreas y pocos escombros coralinos de gran envergadura, que pudieran servir para fijarse de forma eficiente.

Finalmente las cianobacterias (CB) aparecen solo en los meses de verano (agosto), influenciados posiblemente por un aumento de temperatura. Resultados similares fueron registrados por Cowell y Botts (1994) en los cayos de la Florida y por Navarro y col. (2000) en el Mar Caribe. (Fig 15,16,17).

### **Composición de especies, riqueza y diversidad de la comunidad de algas**

Los tres transectos perpendiculares presentaron una alta variabilidad en estos parámetros, revelando la existencia de un patrón de zonación vertical en cada transecto. Las macroalgas con mayor cobertura fueron: *D. dichotoma*, *D. humifusa*, *J. adhaerens*, *J. capillacea* y *H. opuntia*.

En cuanto a la frecuencia de aparición (**Fa**) de las especies, pudimos observar que algunas no solo responden a la estacionalidad y el espacio de forma individual, sino que también responden a ambos parámetros de forma

sinérgica, resaltando los siguientes casos: la Fa de *D. dichotoma* y *D. humifusa* está restringida a los primeros estratos de profundidad y a los meses de junio (JUN) Y octubre (OCT), desapareciendo del estrato profundo y durante el mes de agosto (AG). Por su parte, *C. cervicornis* desaparece en AG en todos los estratos de profundidad, así como en el estrato somero durante el mes de OCT. *V. ventricosa*, *C. taxifolia*, *D. c.f. cavernosa* y *C. racemosa* están restringidas a los primeros estratos de profundidad y ausentes en todas las épocas de muestreo en el estrato profundo. Finalmente, *N. annulata*, *C. serrulata*, *J. adhaerens* y *A. fragilissima* están presentes en todos los estratos, durante todos los periodos, no obstante, 3 no suelen ser las especies de mayor cobertura.

### **Grupos Funcionales:**

**Estrato Somero (planicie arrecifal):** El estrato somero es una zona poco profunda, de alta radiación solar y gran transparencia, donde el efecto de la sustitución del sustrato coralino vivo por sustrato arenoso resulta ser un modulador negativo del ensamblaje de especies de macroalgas, reflejado en una baja diversidad de especies, como consecuencia que las especies que componen la comunidad de algas de este arrecife generalmente requieren de un sustrato sólido y muy pocas logran asentarse con éxito en los grandes bancos de arena de las zonas someras correspondientes a la planicie arrecifal. (Fig 17).

**Estrato Medio (cresta arrecifal):** Debido a la existencia de un alto porcentaje de sustrato libre de origen coralino (producto de recientes eventos de mortalidad coralina), la cobertura y riqueza de especies es mayor que en el sustrato somero, en particular de algas de tipo tapete y macroalgas frondosas del phylum de los rodófitos. Es importante resaltar que esta zona es altamente impactada por los herbívoros. (Fig 17B).

Al igual que otros grupos de organismos, las algas no escapan a la presión ejercida por los herbívoros en los primeros estratos de profundidad, así mismo pueden contribuir a la dispersión de algas durante la alimentación (Lapointe 1999). Los mecanismos por los cuales las algas se pueden dispersar a través del espacio en los arrecifes coralinos son poco conocidos. Recientes investigaciones atribuyen a los peces herbívoros en el Caribe la capacidad de dispersar fragmentos de algas a través del consumo y la posterior defecación, en especial del phylum de las rodofitas (en su mayoría especies del orden Gelidiaceae). Se ha señalado a los herbívoros como importantes moduladores de los patrones de distribución de las macroalgas en los arrecifes, en interacción con la complejidad estructural del paisaje arrecifal (McClanahan 2001). El arrecife de Dos Mosquises Sur no escapa a esta realidad, se

encuentra sometido al pastoreo de grandes y numerosas especies de escáridos, acanturidos, aunque a una baja población de erizos de la especie *Diadema antillarum*. La herbívora es una actividad que funciona como modulador en la abundancia de algas y la estructura de sus comunidades, especialmente en los primeros estratos de profundidad.

En las zonas medias, las comunidades de algas presentan alta riqueza de especies pero con escasa abundancia, lo cual genera que las comunidades manifiesten más equidad, esto sugiere que existen factores que limitan la abundancia de las especies, como la depredación por la carencia de espacios y refugios. También la menor penetración de luz podría limitar el crecimiento denso de algunas especies de algas cuyos requerimientos de luz sean mayores.

**Estrato Profundo (talud arrecifal):** es la zona con alta cobertura de sustrato libre de origen coralino (fig.16), además de ser la zona más profunda con menor incidencia solar, con mayor sedimentación, donde observamos corrientes de mayor intensidad, así como la zona de mayor impacto térmico, donde se evidencian las termoclinas. En este estrato se estimó una mayor cobertura de algas del phylum de las rodofitas, especialmente de las tipo tapete filamentosas, seguida de las MAOFC, esto debido a su forma de crecimiento en césped, que les permite acumular mayor cantidad de partículas de sedimento, y materia rica en fósforo orgánico. lo que les da ventaja en comparación a otras especies que requieren de mayor incidencia solar (17C).

#### **BETA DIVERSIDAD:**

Los términos diversidad  $\beta$  y reemplazo de especies han sido utilizados indistintamente por muchos autores y se han propuesto muchos índices para su estimación (Vellend 2001; Koleff *et al.* 2003).

Los resultados evidencian la gran heterogeneidad, en la composición de especies sin embargo, podemos observar una tasa de descenso en la semejanza en composición de especies con el incremento del gradiente lo que coincide con lo reportado por Condit (2002). Aun más, es posible obtener el valor de diversidad  $\beta$  a través del cociente de la diversidad  $\beta$  y  $\alpha$  (Dulvenvoorden *et al.* 2002). Estos resultados posiblemente están influenciados por la gran heterogeneidad que presentan la topografía coralina de cada transecto, indicando que dichas condiciones definen, en gran parte, la estructura de las comunidades de algas asociadas.

Un ejemplo de esto se observó en las zonas con mayor protección contra el oleaje, lo que favoreció el recubrimiento de las rocas coralinas por corales y algas filamentosas, mientras que las zonas menos protegidas generaron condiciones para el desarrollo de algas filamentosas y coralináceas incrustantes, ya que el establecimiento y desarrollo de una especie en cierto momento y en cierto lugar depende principalmente de la existencia de condiciones ambientales adecuadas para ello y de sus interacciones con los otros organismos, con los cuales comparte el hábitat donde se encuentra (Koleff 2003).

Desde el punto de vista del esquema universal de zonación, no podemos decir que se observan patrones de bandas o franjas definidas de grupos de especies de algas restringidas a un estrato de profundidad particular, sin embargo hay un número significativo de especies, entre estas algunas dominantes (en términos de cobertura), cuyos patrones de distribución parecen estar restringidos a un estrato de profundidad. Tales diferencias podrían explicarse en función de las condiciones locales, tales como la disponibilidad de luz, de espacio y refugio, los cuales son indispensables para las comunidades de macroalgas arrecifales.

Es necesaria una mayor profundización en el conocimiento de los factores reguladores de las comunidades de algas en los sistemas arrecifales, especialmente por su gran diversidad biológica y su importante papel ecológico en el mantenimiento de los mismos.

## 9. CONCLUSIONES

- La comunidad de algas asociada al área muestreada del arrecife de Dos Mosquises está representada por 4 phylum, 16 órdenes, 62 especies y 33 familias, 1 especie de Cyanobacteria, 16 de Chlorophyta, 5 Ochrophyta y 40 Rhodophyta. Se reportan un nuevo registro de especie para Venezuela (*Udotea cyathifomis* f. *infundibulum*) y 8 para el Parque Nacional Archipiélago Los Roques.

- Con base a nuestros resultados se concluye que el arrecife de Dos Mosquises Sur tiene una alta heterogenidad espacial, asociada a una alta riqueza y diversidad de especies de algas.

- En general, resalta la alta cobertura de sustrato coralino muerto, sobre todo en el estrato somero, correspondiente a la zona de la plataforma arrecifal y en el estrato profundo, en el talud, alcanzando un valor máximo de 39%, lo que representa un alto porcentaje de sustrato libre disponible para ser colonizado.

- Son los estratos medio y profundo, correspondientes al talud arrecifal, los que poseen mayor riqueza y diversidad de especies de algas.

- Existe una zonación vertical (en profundidad) a nivel de ciertas especies de algas en el arrecife, mas no a nivel de grupos funcionales. Estos patrones de distribución espacial de las especies son determinados por varios factores bióticos y abióticos, entre los que se puede resaltar la alta heterogenidad topográfica del arrecife evaluado.

- A pesar de ser una herramienta que facilita el trabajo con algas en los arrecifes, el uso de los grupos funcionales para determinar la estructura de una comunidad de algas, tiene sus limitaciones,, pues existen grupos como las algas tipo tapete, con altas tasas de recambio, entre las cuales se encuentran especies transitorias, para las cuales es muy difícil observar alguna variación significativa de este grupo.

-En cuanto a la variable temporal, entre los meses evaluados, los de mayor cobertura fueron junio y octubre y el mes de menor cobertura agosto, a pesar de que este último mes presento una alta equidad en la cobertura.

.- La ausencia de ciertas especies de algas durante alguno(s) de los meses evaluados indican procesos sucesionales a una corta escala temporal.

## BIBLIOGRAFIA.

- Acosta, A. 2004. Variación Espacial y Temporal de la Comunidad de Algas en el Arrecife Costero de Boca de Canasí, La Habana, Cuba, Rev. Invest. Mar. 25(2):123-131
- Agardh, J. G. 1841. In *historiam algarum symbolae*. *Linnaea*.15: 1-50.
- Airoidi, L. 2001. Distribution and morphological variation of low-shore algal turfs. *Marine Biology*, 138: 1233-1239.
- Albornoz, O. 1965. Lista de Chlorophyta y Phaeophyta del Archipiélago Los Roques, Venezuela. *Lagena* Nro. 8: 3-12 pp.
- Alveal, K. & Romo, H. 1995. Estudios Zonacionales. EN: Manual de Métodos Ficológicos (Universidad de Concepción, Concepción, Chile,). 826 pp.
- Aponte, M. 1985. Evaluación Taxonómica de las Algas Marinas de la Costa Noreste de la Isla de Margarita. Trabajo de Maestría, Mención Biología Marina. Universidad de Oriente, Instituto Oceanográfico, Cumaná. Venezuela. 381 pp.
- Barrios, J. 2003. Macroalgas Asociadas a Arrecifes Coralinos en el Parque Nacional Mochima, Venezuela, *Saber*, Universidad de Oriente, Venezuela, Vol. 15. Nº 1 - 2: 28-32.
- Bastidas, C., Bone, D., Cróquer, A., Debrot, D., García, E., Humanes, A., Ramos, R., Rodríguez, S. 2012. Massive Hard Coral loss after a severe bleaching event at Los Roques, Venezuela. *Rev. Biol. Trop.* 60(1): 29-37.
- Bula-Meyer, G. 1987. Taxonomic and Ecology studies of a subtidal sand plain macroalgal community in the Colombian Caribbean. Tesis de Ph. D., Coll. Mar. Atud., Univ, Delaware, Newark, USA.
- Bula-Meyer, G., Diaz-Pulido, G., 1993. Adiciones a las Macroalgas de los Arrecifes Coralinos de las Islas del Rosario, con Nuevos Registros para el Caribe Colombiano y el Atlántico, *Anales del Instituto de Investigación Marinas de Punta Betin*, 22:21-29.
- Bula-Maeyer, G. 2001. Ecología de las Macroalgas del Plano Arenoso Contiguo al Talud de los Sistemas Coralinos con énfasis en el Caribe, *Revista de la academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 25:495-507
- Clarke, KR 1993. Análisis multivariado no paramétrico de los cambios en la estructura de la comunidad. *Australian Journal of Ecology* 18: 117-143.

- Clayton, M.N, King, R.J. 1990. Biology of marine plants, Longman Cheshire, Melbourne.
- Coltat, O. 1964. Chlorophytas del Archipiélago de Los Roques. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. Universidad Central de Venezuela, Caracas.190 pp.
- Connell, S. D., Foster, M. S., & Airoidi, L. (2014). What are algal turfs? Towards a better description of turfs. *Mar.Ecol.Prog. Ser*, 495, 299-307.
- Cortés, J & M.J. Risk. 1984. El arrecife coralino del Parque Nacional Cahuita, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*32: 109-121.
- Cowell, B.C. and P.S. Botts. 1994. Factors influencing the distribution, abundance and growth of *Lyngbia wallei* in central Florida, *Aquat. Bot.* 49: 1-17.
- Chadwick, N. E., & Morrow, K. M. 2011. Competition among sessile organisms on coral reefs. In *Coral Reefs: an ecosystem in transition* (pp. 347-371). Springer Netherlands.
- Cróquer, A. y Villamizar, E. 1998. Las Variaciones de la Pendiente Topográfica, un Factor a considerar en la Evaluación de la Estructura de Una Comunidad. *Rev. Biol. Trop.* 46: 29-40.
- Dean, A. J., Steneck, R. S., Tager, D., & Pandolfi, J. M. 2015. Distribution, abundance and diversity of crustose coralline algae on the Great Barrier Reef. *Coral Reefs*, 1-14.
- Díaz-Pulido, G., & Díaz-Ruíz, M. 2003. Diversity of Benthic Marine Algae of the Colombian Atlantic. *Biota Colombiana*, 5(1): 203-246. ISSN 0124 5276.
- Dudgeon, SR., Aronson, RB., Bruno, JF. 2010. Phase Shifts and Stable States on Coral Reefs. *Mar Ecol. Prog. Ser.* 413:201–216
- Dulvenvoorden, JF., Svenning, JC., Wright, SJ. 2002. Beta diversity in tropical forests. *Science* 295: 636-637.
- Fabricius, K. and G. De'ath. 2001. Environmental factors associated with the spatial distribution of crustose coralline algae on the Great Barrier Reef. *Coral Reefs*, 19 (4): 303-309.
- Fong, P., & Paul, V. J. 2011. Coral reef algae. In *Coral reefs: an ecosystem in transition*. Springer Netherlands. 241-272
- Fricke, A., Teichberg, M., Beilfuss, S., & Bischof, K. 2011. Succession patterns in algal turf vegetation on a Caribbean coral reef. *Botanica Marina*,54(2), 111-126.

- Ganesan, E. 1989. A catalog of Benthic Marine Algae and Seagrasses of Venezuela. Fondo Editorial CONICIT, Caracas.
- Gardner, TA., Côté, IM. & Watkinson, AR. 2003. Disminución de los Corales a Largo Plazo en toda la Región la del Caribe. *Ciencia* 301: 958-960.
- Ginsburg, RN. (ed.). 1994. Actas del Coloquio Sobre los Aspectos Globales de los Arrecifes de Coral, Salud, de Riesgos y de la Historia. RSMAS de la Universidad de Miami, Miami, EE.UU
- Gómez, S. 1998. Rhodophyta del Parque Nacional Archipiélago Los Roques. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela .
- González-González, J. Comunidades algales del Pacífico Tropical Mexicano. En: Biodiversidad Marina y Costera de México. Com. Nal. Conocimiento Biodiv. y Centro de Investigaciones de Quintana Roo, CIQRO, México, 1993). 807-816
- Hay, M.E. (1994): Species as noise in community ecology: do sea-weeds block our view of the kelp forest? *Trens. Ecol. Evol.* 9: 414-416.
- Hernández-Landa, R. C., Acosta-González, G., Núñez-Lara, E., & Arias-González, J. E. 2014. Spatial distribution of surgeonfish and parrotfish in the north sector of the Mesoamerican Barrier Reef System. *Marine Ecology*.
- Huerta, M. L. 1961. Flora Marina de los Alrededores de la Isla Pérez, Arrecife Alacranes, Sonda de Campeche, México. *Anales de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (México)* 10: 11-22., 265.
- Hughes, T. P. 1994. Catastrophes, Phase-Shifts, and Large-Scale Degradation of a Caribbean Coral-Reef. *Science* 360–365.
- Hughes,T. 2003. Climate Change, Human Impacts, and the Resilience of Coral Reefs, *Science* 301: 929-933
- Hung, M .1985. Los corales Pétreos del Parque Nacional Archipiélago de los Roques. Tesis de grado, Escuela de Biología, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela. 204 pp
- Hoegh-Guldberg, O. , Mumby, PJ. , Hooten, A.J, Steneck, R.S and others. 2007. Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification. *Science* 318:1737–1742
- Hoek v.d, Mann D.G,Jahns H.M. 1995. Algae: An introduction to Phycology, *European Journal of Phycology*. 32(2):203-205. DOI: 10.1017/S096702629621100X

- Horta Puga, G. y Tello, J. 2009. Sistema Arrecifal Veracruzano: condición actual y programa permanente de monitoreo: Primera Etapa. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. DM005. México D. F 234-325
- Jordán-Dahlgren, E. 1992 Recolonization patterns of *Acropora palmata* in a marginal environment. *Bulletin of Marine Science* 51(1): 104-117
- Kramer, P.A., Marks K.W. & Turnbull T.L. 2003. Assessment of Andros Island Reef System, Bahamas (part 2: fishes). *Atoll Res. Bull.* 496: 100-122.
- Kerswell, Ailsa P. 2006. Global biodiversity patterns of benthic marine algae. *Ecology*, vol. 87, no 10, p. 2479-2488.
- Koleff, P., K.J. Gaston y J.J. Lennon. 2003. Measuring beta diversity for presence–absence data. *Journal of Animal Ecology* 72:367–382.
- Kurve, P., Kurve, N., & Oak, G. 2015. Diversity and Abundance of Marine Macroalgae along Borli Coast: a Zone under Western Ghats, Maharashtra, India. *Ambient science* 02: 01-08
- Lapointe, B.E. 1999. Simultaneous top-down and bottom-up forces control macroalgal blooms on coral reefs (Reply to the comment by Hughes et al.). *Limnol Oceanography*. 44: 1586-1592.
- Littler, M.M. and D.S. Littler.1980. The evolution of thallus form survival strategies in benthic marine macroalgae: field and laboratory tests of a functional form model. *Am. Nat.* 116: 25-44.
- Littler, M.M. and K.E. Arnold.1982. Primary productivity of marine macroalgal functional-form groups form southwestern North America. *J. Phycol.* 18: 307-311.
- Littler M, Littler D. 1994. Tropical Reef as Complex Habitats For Diverse Macroalgae. *Seaweed Ecology and Physiology*. Cambridge university press: 72-75.
- Littler, D. S. and M. M. Littler. 2000. Caribbean Reef Plants. An identification guide to the reef plants of the Caribbean, Bahamas, Florida and Gulf of Mexico. *Offshore Graphics*. Washington. 542p.
- Losos E, Hubbell SP (2002) Beta diversity in tropical forest trees. *Science* 295: 666-66.
- McClanahan, T.R., M. McField, M. Huitric, K. Bergman, E. Sala, M. Nystrom, I. Nordemar, T Elfwing and N.A. Muthiga.2001. Responses of algae, corals and fish to the reduction of macroalgae in fished and unfished patch reefs of Glovers Reef Atoll, Belize. *Coral Reefs*, 19(4): 367- 379.

- McCoy, E. D., Bell, S. S. 1991. Habitat Structure: The Evolution and Diversification of a Complex Topic. In: Bell, S. S., McCoy, E. D., Mushinsky, H. R. (eds.) Habitat structure -the Physical Arrangement of Objects in Space. Chapman & Hall, London, p. 3-27
- McCoy, S. J., & Kamenos, N. A. 2015. Coralline algae (Rhodophyta) in a changing world: integrating ecological, physiological, and geochemical responses to global change. *Journal of Phycology*. 22:34-38
- Miloslavich P., Díaz, J. M., Klein, E., Alvarado, J. J., Díaz, C., Gobin, J., Escobar-Briones, E., Cruz-Motta, J. J., Weil, E., Cortés, J., Bastidas, A. C., Robertson, R., Zapata, F., Martín, A., Castillo, J., Kazandjian A. y M. Ortiz. 2012. Marine biodiversity in the Caribbean: region estimates and distribution patterns. *Plos ONE* 5(8): e11916.
- Navarro, A., J.E. Corredor, J. Morell and R.A. Anmstrong.2000. Distribution of the cyanophyte *Trichodesmium* (Oscillatoriaceae) in the eastern Caribbean Sea: influence of the Orinoco River. *Rev. Biol. Trop.*, 48(1):115-124.
- O'Leary, J. K., & McClanahan, T. R. 2010. Trophic cascades result in large-scale coralline algae loss through differential grazer effects. *Ecology*, 91(12), 3584-3597.
- Purcell, S., & Bellwood, D. 2001. Spatial patterns of epilithic algal and detrital resources on a windward coral reef. *Coral Reefs*, 20(2), 117-125.
- Rodríguez, N. 1964. Phaeophyta del Archipiélago de Los Roques. Tesis de Licenciatura en Biología. Facultad de Ciencias. Escuela de Biología. Universidad Central de Venezuela, Caracas.67pp.
- Round, F.E. 1983. *The Ecology of Algae* (Cambridge University Press,). 653 pp.
- Salazar-Vallejo, S.I. 2012. Antártida. La vida en el límite. Las expediciones Bentart. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 46(3): 499–500.
- Sebens, K. P. 1991. Habitat Structure and Community Dynamics in Marine Benthic Systems. (eds.) *Habitat structure– the physical arrangement of objects in space*. Chapman & Hall, London, p. 211-234.
- Spalding, Mark, Corinna Ravilious, and Edmund Green. 2001. *World Atlas of Coral Reefs*. Berkeley, CA: University of California Press and UNEP/WCMC. 12:67-72
- Steneck, R. S. & Dethier, M. N. 1994. A Functional Group Approach to The Structure of Algal Dominated Communities. *Oikos*, 69: 476-498.
- Steneck, R., Lang, J., Kramer, PH., Ginsburg, R. 1997. Atlantic and Gulf Reef Assessment (AGRA). Rapid Assessment Protocol. <http://www.coral.aoml.noaa.gov/agra/>

- Stephenson, T.A. & Stephenson, A. 1949. The universal features of zonation between tide-marks on rocky coasts. *J. Ecol.* 38: 289-305.
- Taylor, W. R. 1960. *Marine Algae of The Eastern Tropical and Subtropical Coasts of The Americas.* University Michigan Press. Ann Arbor. 870 p .
- Tunnell Jr., J. W., Chávez, E. A. y K. Withers. 2007. *Coral Reefs of the Southern Gulf of the México.* Texas A&M University Press. College Station. 194 p.
- Vellend M (2001) Do commonly used indices of b-diversity measure species turnover? *J. Veget. Sci.* 12: 545-552.
- Vera, B., Paz, C. y Linares, J. 2011. Nuevos Registros del Género *Anadyomene* J.V. Lamouroux (*Anadyomenaceae*, Chlorophyta) para el Mar Caribe. *Acta Bot. Venez.* . 2011, vol.34, n.1 [citado 2014-01-26], pp. 105-112.
- Villamizar, E. 1996. Nuevos Registros de Peces para el Archipiélago de los Roques y o Venezuela, *Act. Biol. Venez.*, Vol 16(2): 35-41.
- Villamizar, E., Posada, J. & Gómez, S. 2003. Rapid Assessment of Coral Reefs in the Archipiélago de Los Roques National Park, Venezuela (Part 1: stony corals). *Atoll Res. Bull.* 496: 512-529.
- Villamizar E., Camissotti H., Rodríguez B., Pérez J. y Romero M. 2008. Impacts of the 2005 Caribbean Bleaching Event at Archipiélago de Los Roques, National Park, Venezuela. *Rev. Bio. Trop.* Vol. 56: 255-270.
- Vroom, P.S, Braun, C.L, Smith, J.E 2009. Examination of Algal Diversity and Benthic Community Structure at Palmyra Atoll, U.S. Line Islands. *Proc 11<sup>th</sup> Coral Reef Symp* 18: 865–869.
- Vroom, P.S, Braun, C.L. 2010. Benthic Composition of a Healthy Subtropical Reef: Baseline Species-Level Cover, with an Emphasis on Algae, in the Northwestern Hawaiian Islands. *PLoS ONE* 5(3): e9733. doi:10.1371/journal.pone.0009733. Las Islas del Noroeste de Hawai ( NWHI )
- Weil, E. 1985. Corales escleractínidos del Parque Nacional Archipiélago de Los Roques. Informe Técnico Fundación Científica Los Roques, Caracas, Venezuela. 5 p.
- Woelkerling, W.J. 1990. An Introduction Biology of Red Algae in: K.M.Cole, R.G.Sheath (eds)., Cambridge University Press, New York. pp.1-6
- Womersley, H. B. & Bailey, A. 1969. The marine Algae of The Salomon Islands and their Place in Biotic Reefs. *Phil. Trans. Roy. Soc. London. Series B.* 255:433-442.

- Wynne, M.J. 1998a. Benthic Marine Algae from The Seychelles Collected During the R/V Teveja Indian Ocean Expedition. *Contr. Univ. Michigan Herb.* 20: 261-346.
- Wynne, M. 2005. A Checklist of Benthic Marine Algae of the Tropical and Subtropical Western Atlantic: second revision. *Nova Hedwigia* 129: 1-152.
- Zubillaga, A. L., Cróquer.A. 2008. Ecological and genetic data indicate recovery of the endangered coral *Acropora palmata* in Los Roques, Southern Caribbean Coral Reefs (2008) 27: 63-72 .

## XI. ANEXOS

### Anexo 1. Medición de parámetros ambientales: pH, conductividad, temperatura y salinidad en tres estratos fijos de profundidad, durante las tres épocas del año seleccionadas para el muestreo

	pH	Conductividad	Temp (°C)	Salinidad (ppm)
Superf JN	7.6	48.9	26.3	32.1
5 m JN	7.6	49.4	26.2	32.5
10 m JN	7.62	49.5	26.2	32.5
Superf AG	7.6	48.9	26.3	32.1
5 m AG	7.6	49.4	26.2	32.5
10 m AG	7.62	49.5	26.2	32.5
Superf OCT	7.6	48.9	26.3	32.1
5 m OCT	7.6	49.4	26.2	32.5
10 m OCT	7.62	49.5	26.2	32.5