

Las variaciones de la pendiente topográfica, un factor a considerar en la evaluación de la estructura de una comunidad arrecifal

Aldo Cróquer^{1,2} y Estrella Villamizar^{1,2}

¹ Instituto de Zoología Tropical, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela. Fax: (58-2) (6931653), correo electrónico: museomar@telcel.net.ve, croquer@telcel.net.ve.

² Fundación Científica Los Roques, Caracas - Venezuela. Fax: (58-2) (2639729) (2613461)

(Rec. 25-VII-1997. Rev. 2-IV-1998. Acep. 5-V-1998)

Abstract: We studied the effect of slope variations on the structure of a reef community. Four sections of a reef characterized by different topographic slopes were studied. The sampling design was systematic, using the transections and quadrature methods to estimate the frequency, as well as total and relative coverage of the following substrata categories: coral species, gorgonians, sponges, bryozoans, dead coral and sand. Simultaneously the depth gradient for each section were measured. A total of 29 species of petreous corals was found. The dominant coral species was *Montastrea annularis*, followed by *Colpophyllia natans*, and *Madracis mirabilis*. An Importance Value Index was estimated for the different substrate categories on each section of the reef, taking into account the average relative coverage and the occurrence frequency. The Kendall correlation tests pointed out the existence of significative differences in the relative importance of these categories when similar zones of the studied sections were compared. The comparison between steep and intermediate slopes produced the biggest difference (82.24%, $p=0.1529$). Our results suggest that the slope variations within a same reef must be taken into account to establish the sampling design for the evaluation of community structure.

Keywords: Coral, reefs, slope, topography, Venezuela, community, structure.

El Parque Nacional Archipiélago de Los Roques se encuentra localizado al norte franco del litoral central venezolano, aproximadamente a 160 km de distancia de la costa. Está constituido por diferentes tipos de comunidades marinas, entre las que destacan los arrecifes coralinos (costaneros, de barrera y parches coralinos), praderas de fanerógamas marinas, bancos de arena y lagunas de manglar. Los cayos coralinos se disponen alrededor de una laguna central de poca profundidad. El archipiélago presenta dos grandes barreras arrecifales: la barrera este y la barrera sur. La primera de ellas se encuentra ubicada hacia la zona oriental del Parque y se extiende de norte a sur con una longitud de 20 km, mientras que la segunda se ex-

tiende de este a oeste con una longitud de 30 km y se localiza meridional al archipiélago.

Desde el punto de vista geológico el archipiélago es una cumbre de la cadena submarina que sustenta a las islas de Aruba, Curazao, Las Aves, La Orchila, La Blanquilla, el Banco Burgaña y los Hermanos. El origen de dicho archipiélago, se atribuye al continuo crecimiento y desarrollo de los arrecifes coralinos que iniciaron sus procesos formativos a finales del Pleistoceno, sobre una meseta ígnea - metamórfica que aflora únicamente en la isla del Gran Roque (Méndez 1977, 1978).

Este trabajo se llevó a cabo en el Cayo Dos Mosquises Sur, que se encuentra localizado al sur - oeste del archipiélago, específicamente

entre los 11°48'N y los 66°53'W. El arrecife de Dos Mosquises Sur es de tipo costanero, tiene un ancho que varía entre 150 y 240 m, presenta una profundidad máxima de aproximadamente 40 m y se caracteriza principalmente por presentar en algunas de sus secciones caídas que varían desde paredes verticales y escalonadas hasta pendientes suaves poco acentuadas. La zonación geomorfológica y biológica de los arrecifes es tan notable que representa un tópico de inclusión obligatoria en el estudio de toda comunidad arrecifal. Esta zonación difiere ampliamente entre arrecifes ubicados a barlovento (windward) y a sotavento (leeward), siendo más pronunciada en los primeros y menos en los últimos. En líneas generales se pueden señalar tres regiones o zonas principales en un arrecife de coral: la plataforma o planicie arrecifal, la cresta arrecifal y el talud (Jones & Endean 1977). La estructura de la cresta y el talud difieren significativamente entre los arrecifes a barlovento y a sotavento. En arrecifes a barlovento se encuentra una zona de escombros o cantos rodados paralelos al arrecife; por su parte la cresta arrecifal es de un relieve levemente superior, estando ubicada justo por encima del nivel de la marea baja de primavera. Hacia la parte inferior del talud, las esponjas, alcionarios y corales no hermatípicos aumentan en densidad y gradualmente reemplazan a los corales hermatípicos, aproximadamente entre los 30 y 70 metros de profundidad, dependiendo de la transparencia del agua. Por su parte en los arrecifes a sotavento las asociaciones de coral sobre la plataforma arrecifal externa emergen gradualmente con aquellas sobre la pendiente arrecifal superior. Diversas formas están presentes, aunque abundan las ramificadas de crecimiento rápido, este patrón es en promedio el que presenta el arrecife de Dos Mosquises Sur.

Las variables ambientales que mayormente se ven modificadas por tales cambios en topografía y profundidad son la luz (espectro, intensidad, etc.), las olas, corrientes, y sedimentación, todos factores determinantes en la distribución, frecuencia de aparición y cobertura de las especies presentes en los arrecifes, y por en-

de de la estructura de estas comunidades arrecifales (Stoddart 1969).

La estructura de la comunidad del arrecife de Dos Mosquises Sur fue estudiada anteriormente por Hung (1985), quien señaló un total de 40 especies de corales pétreos para un área de 900 m², lo que representa aproximadamente cuatro veces del área muestreada en este trabajo. En relación con las condiciones fisicoquímicas de la localidad de estudio se conoce que la transparencia del agua oscila entre los 15 y 20 m de profundidad, la salinidad entre 35 y 37 ppm, la temperatura entre 26 y 28°C, y la concentración de oxígeno disuelto en la capa de agua superficial puede variar entre 8 y 10 mg/l.

Los sedimentos presentes en este arrecife son de tipo calcáreo-arenoso, con bajo contenido de materia orgánica; están constituidos principalmente por fragmentos de diferentes tamaños del alga verde *Halimeda* spp. (Linnaeus 1758), así como también por fragmentos de hexacorales, gastrópodos, espículas de octocorales y foraminíferos. La textura de los sedimentos varía desde arenas gruesas y finas en las zonas menos profundas, hasta limos y arcillas en las zonas profundas, producto de la fragmentación del alga *Halimeda* spp. (Cróquer et al., 1997).

El objetivo principal de este trabajo fue determinar cómo influyen las variaciones topográficas existentes en un arrecife coralino sobre la composición, abundancia y distribución de los organismos sésiles asociados al mismo. Se plantearon los siguientes objetivos específicos: 1.- Relacionar la presencia y la cobertura de las especies coralinas y de otros invertebrados sésiles (briozoarios, esponjas y gorgonios), coral muerto y arena a lo largo de un arrecife con variaciones de pendiente notables en toda su extensión. 2.- Determinar si existen cambios en el patrón de zonación ampliamente conocido para los arrecifes coralinos (plataforma, cresta, talud arrecifal y talud arenoso) con respecto a las características del perfil topográfico del arrecife considerado.

MATERIALES Y METODOS

El arrecife estudiado fue dividido en cuatro zonas, caracterizadas por presentar notables va-

riaciones en cuanto a la pendiente topográfica, a cada una de ellas se le asignó una nomenclatura de acuerdo con sus características topográficas: a la primera zona o sección se le llamó talud suave (TS), a la segunda talud intermedio (TI), a la tercera talud intermedio abrupto (TIA), mientras que a la última se le llamó talud abrupto (TA), por ser la que presentó mayor pendiente.

El muestreo empleado fue sistemático no estratificado, se empleó el método de transecciones y cuadratas (Weinberg 1981) para estimar la frecuencia de aparición, y la cobertura total y relativa de las siguientes categorías de sustrato: especies coralinas, gorgonios, esponjas, briozoarios, coral muerto y arena en cada una de las secciones estudiadas. Se utilizaron cuadratas de 1m² las cuales se colocaron cada 2 m a lo largo de transectas de 100 m de longitud, ubicadas perpendicularmente a la línea de costa. Paralelamente se obtuvieron los perfiles de profundidad para cada sección, realizando mediciones continuas cada metro, con la ayuda de un profundímetro Sherwood.

Para comparar la composición de especies entre zonas geomorfológicas similares para las diferentes secciones estudiadas, se utilizó el coeficiente de similitud de Sorensen (1948), cuya expresión es la siguiente:

$$S_D = 2(a) / 2(a) + b + c + d + e$$

donde:

“a” es el número de especies comunes a las cuatro secciones estudiadas del arrecife

b es el número total de especies presente únicamente en el talud suave

c es el número total de especies presente únicamente en el talud intermedio

d es el número total de especies presente únicamente en el talud intermedio-abrupto, y

e es el número total de especies presente únicamente en el talud abrupto.

Se calculó un Índice de Valor de importancia (IVI) para cada categoría de sustrato encontrada en cada una de las secciones del arrecife estudiado, éste se obtuvo del producto entre la cobertura relativa promedio de cada categoría y

sus respectivas frecuencias de aparición. El intervalo de variación de este índice oscila entre 0 y 1. El mismo se utilizó con el fin de ponderar los valores de cobertura obtenidos de una determinada categoría, con la frecuencia de aparición de la misma.

$$IVI = C_r \times F_a$$

donde C_r = Cobertura relativa promedio; F_a = Frecuencia de aparición

A partir de los valores de IVI se procedió a realizar el análisis de correlación de rangos de Kendall (Siegel 1976, Conover 1980), con dos finalidades:

1.-Determinar el grado de asociación o correlación entre los IVI de las categorías de sustrato entre las distintas secciones del arrecife (TS-TI; TS-TIA; TS-TA; TI-TIA; TI-TA; TIA-TA).

2.-Determinar el grado de asociación o correlación entre los IVI de las categorías de sustrato entre las distintas zonas de un mismo perfil o sección del arrecife.

Las hipótesis (H₀) correspondientes en cada caso fueron las siguientes:

1.- No existe correlación entre los IVI calculados para las categorías de sustrato entre las distintas secciones del arrecife estudiado, esto es, la pendiente topográfica es un factor determinante en la distribución y cobertura de las categorías consideradas.

2.- No existe correlación entre los IVI calculados para las categorías de sustrato entre las distintas zonas (plataforma, cresta, talud) de una misma sección topográfica, esto es, la pendiente y la profundidad determinan, en parte, la distribución vertical de las especies consideradas.

Para todas las pruebas estadísticas se consideró un nivel de 95% de significancia ($p < 0.05$).

RESULTADOS

Composición de especies: En el Cuadro 1 se muestra la lista taxonómica de las especies

coralinas encontradas en el área de estudio, según la clasificación de Ruppert y Barnes (1994). Se hallaron un total de 28 especies de corales pétreos agrupadas en 18 géneros, 12 familias y 5 subórdenes del orden Scleractinia (Clase Anthozoa). De igual forma se encontraron 2 especies del género *Millepora* (Clase Hydrozoa, Orden Hydroida, Familia Milleporidae). Todas estas especies fueron encontradas en un área de 200 m² (200 cuadratas de 1 m²).

Pendiente topográfica: En la fig. 1 se presentan los perfiles topográficos de las cuatro secciones estudiadas en el arrecife costanero de Dos Mosquises Sur.

Como se observa, la pendiente varía ampliamente a lo ancho del arrecife, adoptando valores muy bajos en uno de sus extremos, correspondiendo esta sección a TS, con un valor de 0.075, una pendiente relativamente superior, de 0.168 en TI, de 0.327 en TIA y un valor bas-

CUADRO 1

Listado de las especies coralinas encontradas en el arrecife de Dos Mosquises Sur (Según clasificación de Ruppert y Barnes, 1994)

- A.- Clase Hydrozoa
 Orden: Hydroida
 Familia Milleporidae
Millepora alcicornis (Linnaeus, 1758)
Millepora complanata (Lamarck, 1816)
- B.- Clase Anthozoa
 Subclase: Hexacorallia
 Orden: Scleractinia o Madreporaria
 Suborden: Astrocoeniina (Vaughan & Wells, 1943)
- B1.- Familia Astrocoeniidae
 1. *Stephanocoenia intersepta* (Milne Edwards and Haine, 1848)
- B2.- Familia Pocilloporidae
 2. *Madracis decactis* (Lyman, 1859)
 3. *Madracis mirabilis* (Duchassaing & Michelotti, 1860)
 4. *Madracis pharensis* (Heller, 1868)
- B3.- Familia: Acroporidae
 5. *Acropora palmata* (Lamarck, 1816)
 6. *Acropora cervicornis* (Lamarck, 1816)
- Suborden: Fungiida (Verrill, 1845)
 Superfamilia: Agariciidae (Gray, 1847)
- B4.- Familia: Agaricidae (Gray, 1847)
 7. *Agaricia grahamae* (Wells, 1973)
 8. *Agaricia agaricites* (Linnaeus, 1758)
 9. *Agaricia lamarcki* (Milne Edwards & Haime, 1851)
 10. *Leptoseris cucullata* (Ellis & Solander, 1786)
- B5.- Familia: Siderastreidae (Vaughan & Wells, 1943)
 11. *Siderastrea siderea* (Ellis & Solander, 1786)
 12. *Siderastrea radians* (Pallas, 1766)
- Superfamilia: Poritidae (Gray, 1842)
- B6.- Familia: Poritidae (Gray, 1842)
 13. *Porites porites* (Pallas, 1766)
 14. *Porites astreoides* (Lamarck, 1816)
- Suborden: Faviina (Vaughan & Wells, 1943)
 Superfamilia: Faviidae (Gregory, 1900)
- B7.- Familia: Favidae (Gregory, 1900)
 15. *Diploria strigosa* (Dana, 1848)
 16. *Diploria labyrinthiformis* (Linnaeus, 1758)
 17. *Colpophyllia natans* (Houttuyn, 1772)
 18. *Montastrea annularis* (Ellis & Solander, 1786)
 19. *Montastrea cavernosa* (Linnaeus, 1767)
- B8.- Familia: Rhizangiidae (D'Orbigny, 1851)
 20. *Colangia* sp
- B9.- Familia: Meandrinidae (Gray 1847)
 21. *Meandrina meandrites* (Linnaeus, 1758)
 22. *Dendrogyra cylindrus* (Ehremberg, 1834)
- B10.- Familia: Mussidae (Ortman, 1890)
 23. *Mussa angulosa* (Pallas, 1766)
 24. *Scolymia wellsii* (Milne Edwards & Haime, 1851)
 25. *Isophyllastrea rigida* (Dana, 1848)
 26. *Mycetophyllia* sp. (Milne Edwards & Haime, 1851)
- Suborden: Caryophylliina (Vaughan & Wells, 1943)
 Superfamilia: Caryophylliicae (Gray, 1847)
- B11.- Familia: Caryophylliidae (Gray, 1847)
 27. *Eusmilia fastigiata*
- Suborden Dendrophylliina (Vaughan & Wells, 1943)
 B12.- Familia: Dendrophyllidae (Gray, 1847)
 28. *Tubastrea aurea* (Quoy & Gaimard, 1850)

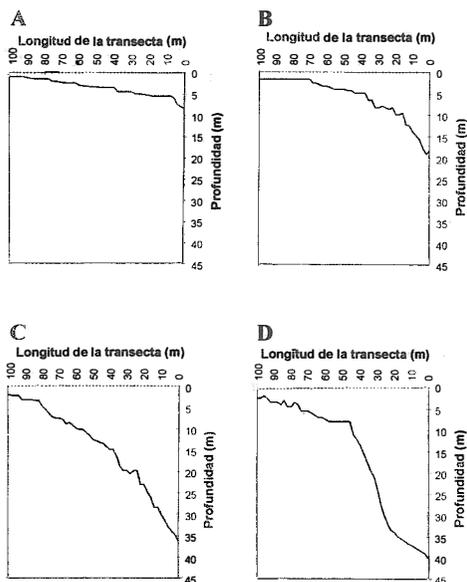


Fig. 1. Perfiles topográficos de las cuatro secciones estudiadas. Arrecife de Dos Mosquises Sur, Parque Nacional Archipiélago de Los Roques, Venezuela.

tante elevado, de 0.375, en su otro extremo (TA). Estas diferencias se hacen más evidentes cuando se divide cada sección en sus correspondientes zonas geomorfológicas, siendo las variaciones más conspicuas las correspondientes a los taludes, (TA= 0.5521, TIA= 0.4605, TI= 0.3132) mientras que las plataformas presentaron pendientes muy similares (TA= 0.1058, TIA= 0.2224, TI= 0.0719 Y TS= 0.0750).

En relación con el patrón de zonación ampliamente conocido para los arrecifes, donde existe una plataforma somera, una cresta, un talud y una plataforma arenosa profunda, se observó que la presencia de las distintas zonas mencionadas depende de las características de la pendiente topográfica de la sección del arrecife considerado. Así, de acuerdo a la nomenclatura utilizada para distinguir los cuatro perfiles estudiados (TS, TI, TIA y TA), se observó claramente que TA presentó las cuatro zonas mencionadas, ajustándose al patrón de zonación más común; mientras que en TIA, dicho patrón comienza a perderse, de tal forma que solo se pueden ubicar la plataforma externa

(3.6 a 15 m de profundidad) y el talud arrecifal que se extiende desde los 15 hasta los 36.5 m de profundidad.

Por su parte en el TI se reconocen claramente las zonas del talud y la plataforma, que a su vez se divide en plataforma interna y externa. Finalmente, el TS carece de este patrón de zonación, identificándose únicamente una plataforma externa muy extensa que solo alcanza los 8.5 m de profundidad para los 100 metros de transección estudiados (fig. 2).

Patrones de zonación biológica encontrada para las distintas zonas geomorfológicas en cada sección estudiada del arrecife: Los patrones de zonación fueron establecidos en función de la presencia (o ausencia) de las distintas especies o categorías de sustrato a lo largo de las distintas zonas (plataforma, cresta y talud) de las secciones estudiadas (TS, TI, TIA y TA). Para esto se consideraron los valores de frecuencia de aparición (Fa) de las mismas (Fig. 2).

Como se observa gráficamente, en el caso de TI, *Montastrea annularis* Ellis & Solander es la especie con mayor Fa en la plataforma externa, de igual forma su frecuencia es bastante elevada para la zona del talud, como consecuencia de la estructura escalonada de la parte inicial de esta zona para el perfil considerado. Por su parte, *Colpophyllia natans* Houttuyn presenta su mayor Fa en el talud. Las especies *Siderastrea radians* Vaughan & Wells, *Acropora palmata* Lamarck y *Millepora complanata* Lamarck, presentan sus mayores frecuencias en la zona de la plataforma. En cuanto a la presencia de coral muerto y arena los mayores valores se obtuvieron para el talud. Finalmente, las especies *Montastrea cavernosa* Linnaeus, *Agaricia agaricites* Linnaeus *Agaricia grahamae* Wells, *Madracis decactis* Lyman y *Meandrina meandrites* Linnaeus tienen sus mayores frecuencias de aparición hacia la zona del talud.

Para el TIA se observó que la especie *M. annularis* alcanzó su máximo valor de Fa en la plataforma, no obstante ésta presenta un valor relativamente alto en el talud, sin embargo, este valor disminuye con respecto al alcanzado en

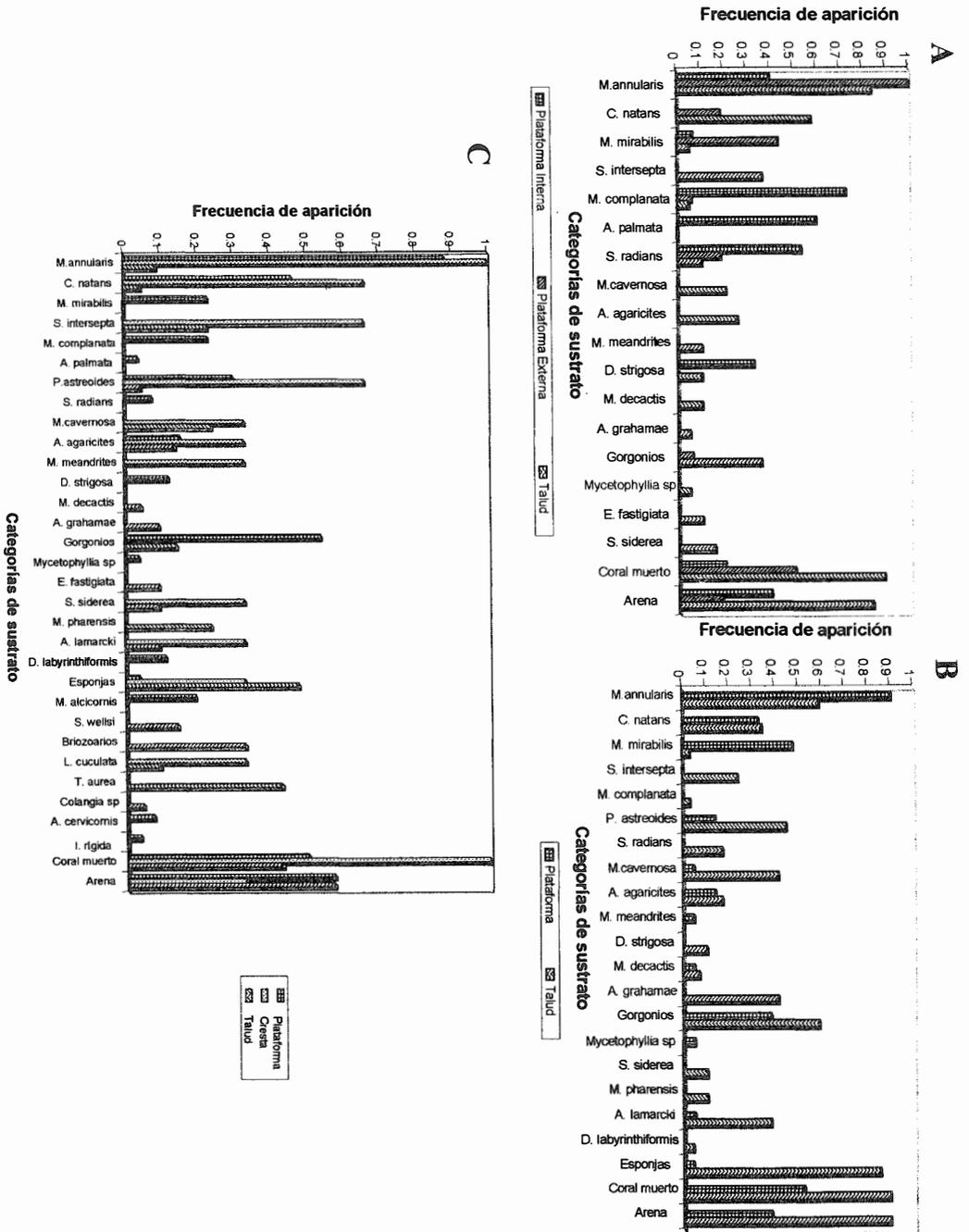


Fig. 2. Frecuencia de aparición de las distintas categorías de sustrato en las distintas zonas del arrecife de Dos Mosques Sur, para las secciones estudiadas. A) TI, B) TIA Y C) TA.

TI. Otra especie dominante en la plataforma es *Madracis mirabilis* Duchassaing & Michelotti, que también presentó una elevada Fa en el TI. Las categorías arena y coral muerto, al igual que las esponjas presentan su mayor Fa en las zonas profundas del arrecife. Las especies con elevada Fa en este perfil (TIA) son similares a las encontradas para el TI.

Para el TA se encontró que en la zona de la cresta existe un mayor número de especies y categorías de sustrato con valores elevados de Fa. De esta forma, *M. annularis* presentó su mayor Fa en la cresta. Otras especies bien representadas en esta zona son: *C. natans*, *Stephanocoenia intersepta* Milne Edwards & Haine, y *Porites astreoides* Lamarck. También en esta zona se obtuvo una elevada Fa para la categoría coral muerto, como resultado del daño observado en muchas colonias de *M. annularis*. De igual forma en la plataforma externa la especie con mayor Fa fue *M. annularis*. Otras especies con Fa medianamente elevada fueron *C. natans*, *M. mirabilis*, *M. complanata*, *P. astreoides* y *Millepora alcicornis* Linnaeus. En las zonas profundas de esta sección (talud) los mayores valores de Fa resultaron ser para *Tubastrea aurea* Quoy & Gaimard, *M. cavernosa*, y *Madracis pharensis* Heller. También en esta zona las categorías coral muerto y arena resultaron con Fa elevadas, lo que se traduce en una disminución de la cobertura total de otras especies coralinas.

Al comparar el grado de similitud en la composición de especies y otras categorías de sustrato, entre zonas geomorfológicas similares de las distintas secciones, se pudo determinar, en líneas generales, que existe un mayor parecido entre los taludes de las distintas secciones que entre sus plataformas. Así, al compararse la similitud existente entre las plataformas de las cuatro secciones, esta resultó ser de 0.636, mientras que al comparar el grado de semejanza entre los taludes respectivos el valor obtenido fue levemente superior, 0.727. Sin embargo, cuando se compara la composición de especies entre las plataformas, excluyendo la plataforma de la sección denominada "talud intermedio", el índice de similitud aumenta a 0.714.

La plataforma del talud suave es la que presenta una mayor riqueza de especies coralinas (24), esto puede deberse a la gran extensión de la misma, mientras que la plataforma del talud intermedio resultó ser la de menor riqueza (5 especies).

Por otra parte, la especie *M. annularis* presentó la distribución más amplia a lo largo de todas las zonas de las secciones estudiadas ubicándose desde las zonas más someras (1m) hasta las más profundas del arrecife (30m), mientras que se observó que existen especies como *A. palmata*, *M. complanata*, *M. alcicornis* y *S. radians* cuyas Fa son mucho mayores en las partes someras del mismo. De igual forma, especies como *C. natans* y *M. mirabilis* tienden a ubicarse con mayor frecuencia en zonas relativamente someras y/o relativamente profundas mientras que otras especies como *M. cavernosa*, *A. grahamae* y *A. lamarcki* tienden a disponerse en las zonas más profundas del arrecife (Fig.2).

Indices de valor de importancia: En la Fig. 4 se representan con histogramas para cada una de las secciones (TA, TIA, TI, TS), los valores calculados del Índice de Valor de Importancia para las especies más representativas ($IVI > .001$) de corales y otros invertebrados del arrecife.

Es evidente la dominancia de la especie *M. annularis* para todo el arrecife, seguida de *C. natans* y de *M. mirabilis*, aunque en menor grado.

En esta figura puede observarse como la importancia relativa de la especie *M. annularis* disminuye considerablemente desde la sección de menor pendiente hasta la sección de mayor pendiente, mientras que para la especie *C. natans* la tendencia es opuesta, con excepción de una leve disminución del IVI para el TA.

Por su parte, en la Fig. 4 se representan dichos índices para todas las categorías consideradas, tomándose como un todo la categoría coral vivo.

Se observó que la mayor cantidad de coral muerto se encuentra asociada a los puntos extremos del arrecife (TS y TA), mientras que

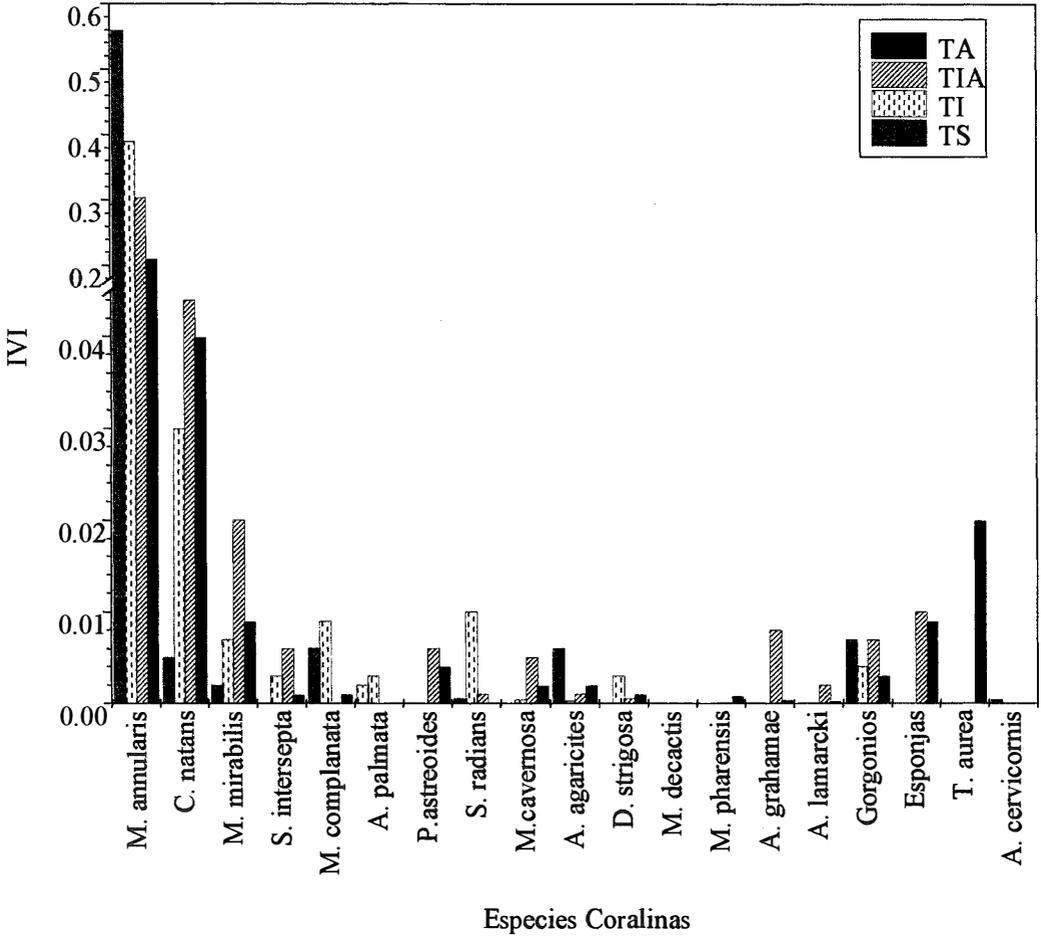


Fig. 3. Índices de valor de importancia (IVI) para las especies coralinas y otros organismos vivos para cada sección estudiada del arrecife de Dos Mosquises Sur, Parque Nacional Archipiélago de Los Roques, Venezuela.

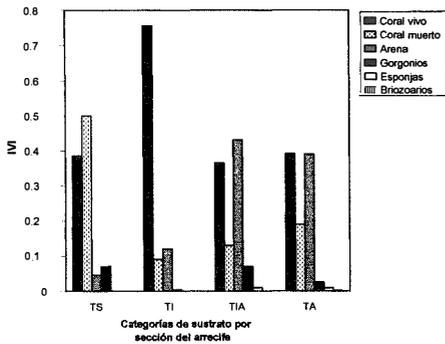


Fig. 4. Índice de valor de importancia de las distintas categorías de sustrato para las cuatro secciones estudiadas en el arrecife de Dos Mosquises Sur, Parque Nacional Archipiélago de Los Roques, Venezuela.

existe una menor proporción en las secciones intermedias del mismo (TI y TIA). Los valores de IVI estimados para la categoría coral vivo se mantuvieron relativamente constantes para todo el arrecife, exceptuando la sección TI donde alcanzó una magnitud mucho mayor con respecto a las otras categorías de sustrato. No obstante, debemos señalar que este resultado obedece básicamente a la dominancia de cinco especies de corales: *M. annularis*, *C. natans*, *M. mirabilis*, *S. radians* y *M. complanata*, en orden de importancia relativa (Fig. 4). De igual forma se observó que la proporción de sustrato arenoso resultó mayor en aquellas secciones

del arrecife donde la pendiente es mayor (TIA y TA).

Comparación de los IVI entre las cuatro secciones del arrecife y entre las distintas zonas geomorfológicas de una misma sección topográfica. Coeficiente de correlación de Kendall: La importancia relativa de las especies coralinas y el resto de los sustratos considerados resultó diferente (correlaciones no significativas) cuando se compararon zonas geomorfológicas similares entre las distintas secciones (Cuadro 2). Así se determinó un 81.02% de disimilitud entre la plataforma intermedia interna (PII) y la plataforma intermedia-abrupta (PIA), y un 82.24% entre los taludes de las secciones intermedia (TI) y abrupta (TA). No obstante, al comparar los valores de IVI entre las secciones considerando todo el perfil de profundidad, tales diferencias son enmascaradas, tal como lo indican los valores de correlación determinados para todos los casos (Cuadro 3).

En relación con la comparación de los IVI entre las distintas zonas de un mismo perfil topográfico dentro del arrecife (patrones de zonación vertical) los resultados se presentan en el Cuadro 4.

En este caso solo los TI, TIA y TA fueron considerados, ya que para el TS únicamente se detectó la zona de plataforma.

En cuanto al TI, tal como lo mencionamos anteriormente se distinguieron geomorfológi-

CUADRO 2

Coeficientes Tau de Kendall obtenidos al correlacionar los IVI de las categorías de sustrato

A)		
	PIA	PA
PII	0.1898 (p=0.1267) NS	0.493 (p=0.00073)
PIE	0.4903 (p=0.00008)	0.605 (p=0.0001)
PIA	-	0.5011 (p=0.00005)
B)		
	TIA	TA
TI	0.509 (p=0.00041)	0.1776 (p=0.1529) NS
TIA	-	0.39 (p=0.0016)

A: entre las plataformas de las distintas secciones. PII: Plataforma interna de la sección intermedia, PIE: Plataforma

externa de la sección intermedia, TIA: Plataforma de la sección intermedia-abrupta, TA: Plataforma de la sección abrupta. B) Entre los taludes de las distintas secciones. TI: Talud de la sección intermedia, TIA: Talud de la sección intermedia-abrupta, TA: Talud de la sección abrupta (p<0.05). Se indican las correlaciones no significativas (NS).

CUADRO 3

Coeficientes Tau de Kendall obtenidos al correlacionar los IVI de las distintas categorías de sustrato entre las distintas secciones estudiadas del arrecife de Dos Mosquises Sur

Secciones correlacionadas	Tau de Kendall	Nivel de Significación
TS vs TI	.527	.000012
TS Vs TIA	.406	.000710
TS Vs TA	.3345	.005300
TS Vs TIA	.605	.000000
TS Vs TA	.483	.000059
TS Vs TA	.592	.000001

TS: Talud o Sección Suave, TI: Talud o Sección Intermedia, TIA: Talud o Sección Intermedia-Abrupta y TA: Talud Abrupto (p<0.05). n=34 en cada fila.

CUADRO 4

Análisis de correlación de Kendall entre las distintas zonas geomorfológicas de cada sección estudiada del arrecife de Dos Mosquises Sur

A) n=19 en cada fila.		
Zonas correlacionadas	Tau de Kendall	Nivel de Significancia
PE vs. PI	0.4502	0.0070
PE vs Talud	0.4505	0.0070
PI vs Talud	-0.0569	0.7332 NS
B) n=22.		
Zonas correlacionadas	Tau de Kendall	Nivel de Significancia
PE vs. Talud	0.3410	0.0263
C) n=32 en cada fila.		
Zonas correlacionadas	Tau de Kendall	Nivel de significancia
PE vs Cresta	0.2002	0.1072 NS
PE vs Talud	-0.1421	0.2528 NS
Cresta vs Talud	0.3780	0.0023

A: Talud Intermedio, B: Talud intermedio abrupto, C: Talud abrupto. PE: plataforma externa, PI: plataforma interna. (p<0.05).

camente las zonas del talud y la plataforma (interna y externa) y en este caso no se encontró similitud o correlación entre los IVI de la plataforma interna y el talud (Kendall $p=0.7332$), así la distribución e importancia relativa de las especies y otras categorías de sustrato entre ambas es diferente.

Para el TIA no se detectaron diferencias significativas en la importancia relativa de las distintas categorías de sustrato entre la plataforma externa y el talud (Kendall, $p=0.0263$), ubicando a esta sección como la más homogénea en cuanto a distribución e importancia de las especies se refiere. Finalmente, para el caso del TA se encontró que la distribución e importancia relativa de las especies difiere entre todas las zonas, con excepción de la cresta y el talud (Kendall, $p=0.0023$). Así, no se encontró correlación entre las zonas de la plataforma externa y cresta y plataforma externa y talud (Kendall $p=0.1072$ y $p=0.2528$), lo que señala una zonación biológica diferencial entre ambas regiones de este perfil topográfico.

DISCUSIÓN

A lo largo de este trabajo se trató de establecer la importancia de la pendiente topográfica sobre la estructura de una comunidad arrecifal, mediante la cuantificación de las semejanzas (o diferencias) en estructura existentes entre cuatro perfiles topográficos presentes en dicha plataforma arrecifal. De igual forma se estudiaron los patrones de zonación geomorfológica y zonación de especies en cada sección. Según Alvarez et al. (1982, citado por Amend 1992), en los arrecifes de Los Roques se pueden definir tres zonas que se relacionan con cambios en la pendiente del arrecife. Una "zona somera o terraza" que va desde los 0.5 hasta los 6 o 8 m de profundidad, cubierta por trozos de coral muerto, (*A. palmata* y *A. cervicornis*), esta característica refleja el gran estrés físico al que se encuentran sometidos los organismos marinos por las fuertes corrientes y los cambios de marea. La segunda zona es "la plataforma o zona intermedia" cuya profundidad oscila entre 8 y 15

m., aquí la diversidad, riqueza y cobertura son mayores que en la terraza, dominando *M. annularis*, *C. natans*, *D. strigosa*, *D. clivosa* y *Eusmilia fastigiata*. La tercera zona es la del "talud" que se extiende desde los 15 hasta los 35 o 40 m, donde se encuentra la mayor riqueza de corales, siendo igualmente importantes el grupo de las esponjas. *M. cavernosa* y *Agaricia* sp. son los más abundantes. En este estudio se lograron detectar las zonas geomorfológicas de la plataforma y el talud, además de una tercera zona, la "cresta", para el caso de la sección denominada "talud abrupto". Sin embargo se debe mencionar que la presencia de estas zonas está condicionada a la pendiente predominante en la sección del arrecife que se esté considerando. Con relación a la sección del arrecife denominada "talud suave", se corroboró la gran proporción de coral muerto, condición que puede atribuirse a el estrés físico predominante en esta zonas someras (Fig.5).

La zonación biológica horizontal y vertical es en gran parte el resultado de tales diferencias topográficas, a través de las variaciones que producen en parámetros ambientales (luz, corrientes, olas, sedimentación, disponibilidad y tipo de sustrato, etc.), que a su vez son de suma importancia en los procesos de reclutamiento, crecimiento, reproducción y sobrevivencia de los organismos sésiles que conforman los arrecifes coralinos.

Las diferencias en la forma y el tamaño de las colonias coralinas son consecuencia parcial, de que no todo el sustrato rocoso está disponible para todas las especies. Las especies masivas de gran peso crecen sobre sustratos horizontales. Así, en la sección "intermedia" (TI), la estructura escalonada del talud y la forma gradual de incremento de su pendiente, suministran un sustrato bastante adecuado para la colonización y crecimiento de especies coralinas masivas como las que allí predominan. Sobre fondos planos o ligeramente inclinados, son más comunes formas ramificadas. Colonias incrustantes o en forma de disco pueden colocarse en pendientes abruptas o paredes rocosas verticales, por lo tanto, en muchos arrecifes coralinos la heterogeneidad del sustrato es uno de

los principales factores que determinan la gran diversidad de corales. (Kuhlman 1985).

Los resultados de este estudio apoyan lo antes dicho, especialmente si se considera la elevada diversidad de especies coralinas determinadas para la sección del arrecife denominada "talud abrupto", en donde la zona geomorfológica correspondiente al talud, está caracterizada por presentar numerosas grietas y oquedades a todo lo largo de esta pared vertical (Fig. 2).

No solamente se presentan diferencias topográficas entre arrecifes ubicados a barlovento o a sotavento, ocurre con frecuencia que un mismo arrecife puede presentar tales cambios topográficos a lo largo de su extensión (plano paralelo a la costa). Este es el caso del arrecife de Dos Mosquises Sur cuyos extremos presentan relieves topográficos muy distintos, especialmente cuando se comparan las pendientes de los taludes respectivos. En el caso de las plataformas las diferencias están representadas básicamente por la extensión de las mismas con respecto a la línea de costa y no por sus pendientes.

Las diferencias topográficas encontradas en el arrecife de Dos Mosquises Sur afectan la distribución, expresada en términos de su frecuencia de aparición (FA) cobertura e importancia relativa (IVI), de muchos de los organismos sésiles que integran dichas comunidades y en menor grado en su composición. Estas variaciones se hacen más conspicuas entre los taludes de las secciones con características topográficas más contrastantes (TS y TA), tal como lo evidencian los histogramas mostrados en la Fig. 3. Los coeficientes de similitud obtenidos al comparar la composición de especies entre las plataformas de las cuatro secciones entre sí y entre los respectivos taludes, resultaron bastante elevados, lo que indica que existe una zonación de especies bastante definida, donde grupos de especies de corales particulares están asociados a zonas geomorfológicas específicas del arrecife (plataforma, cresta, talud), independientemente de las variaciones topográficas particulares de cada sección. Otros factores abióticos y bióticos (no contemplados en este estudio) también pueden afectar estos parámetros comunitarios. Así, la mayor cobertura y

presencia de coral muerto hacia los extremos (laterales) del arrecife (secciones suave y abrupta) se debe en gran parte al mayor empuje de las corrientes hacia estas zonas, produciendo un efecto mecánico erosivo sobre los corales y una mayor resuspensión de sedimentos, lo que afecta directa (obstrucción de estructuras alimenticias y respiratorias, etc.) e indirectamente (menor penetración de luz) la sobrevivencia y crecimiento de las colonias coralinas.

Por su parte, en las plataformas de las distintas secciones se encuentran las mismas especies de corales, a excepción de la plataforma de la sección denominada "talud intermedio" donde se encontró el menor número de especies coralinas. Resulta también interesante que para esta sección fue que se obtuvo el máximo valor de IVI para la categoría "coral vivo" (Fig. 5). Tanto estos resultados como los relativos a los valores de IVT de las distintas categorías de sustrato, estimados para las distintas secciones del arrecife, indican que de las cuatro secciones estudiadas, la Intermedia es la más distinta. Así, solo se hallaron 5 especies de corales en la plataforma de esta sección (mínima riqueza de especies) y la mayor cobertura de coral vivo. Como se mencionó anteriormente este resultado no es posible explicarlo a través de las variaciones en pendiente existentes entre las cuatro plataformas, ya que el valor de pendiente de esta sección ($b = 0.0719$) resultó ser muy semejante al del TS y TA, y la única sección con una pendiente distinta para la plataforma fue la del TIA. Es posible que otras condiciones microambientales sean las responsables de este resultado. Una explicación alternativa se podría plantear en el marco de la Hipótesis de perturbaciones intermedias (Sanders 1968). Es posible que estos resultados se deban a una menor perturbación física (mayor protección) existente para esta región del arrecife, lo que explicaría en cierta forma la presencia de un menor número de especies pero cada una con una cobertura viva elevada.

De todo lo anterior se deduce, que la estructura de la comunidad arrecifal que se obtenga dependerá en gran magnitud de la sección par-

ticular del arrecife que sea seleccionado para estimar dicha estructura. Los resultados de una evaluación que no considere la posibilidad de tales variaciones al momento de seleccionar el diseño muestral, solo serán correctos en el caso de que el arrecife estudiado presente una estructura geomorfológica o topográfica relativamente homogénea.

AGRADECIMIENTOS

A la Fundación Científica Los Roques y todo su personal técnico que labora en el Cayo Dos Mosquises Sur (Pablo, José Miguel y Octavio) por habernos prestado el apoyo logístico requerido para la realización de este trabajo. A Carlos y Mario Palacios por habernos acompañado y colaborado en las inmersiones realizadas. A Gustavo Palacios por su desinteresada ayuda y asesoramiento en el uso de los programas de computación. A los profesores Jesus Ramos, Renato Nóbrega y Luis Bulla por su asesoramiento oportuno en los análisis estadísticos y a su pupilo Victor Hugo por ayudar en la realización de las corridas de los programas estadísticos. A Nicida Noriega y Jazmin Navarro por su buena disposición en colaborar en todo lo que se requiriese.

RESUMEN

El objetivo principal del presente trabajo fue estudiar el efecto que pueden tener las variaciones en pendiente existentes para las diferentes secciones de un arrecife sobre la estructura de una comunidad arrecifal. Se estudiaron cuatro secciones de un arrecife caracterizadas por presentar diferentes pendientes topográficas. El muestreo fue sistemático, utilizando el método de transecciones y cuadratas para estimar la frecuencia, cobertura total y relativa de las siguientes categorías de sustrato: especies coralinas, gorgonios, esponjas, briozoarios, coral muerto y arena. Paralelamente se realizaron los perfiles de profundidad para cada sección. Se encontraron un total de 29 especies de corales pétreos. La especie coralina dominante resultó ser *Montastrea annularis*, seguida por *Colpophyllia natans* y *Madracis mirabilis*. Se calculó un índice de valor de importancia en cada sección del arrecife, para cada una de las categorías de sustrato consideradas tomando en cuenta la cobertura relativa promedio y la frecuencia de aparición simultáneamente. El coeficiente de correlación de Kendall señaló la

existencia de diferencias significativas en la importancia relativa de estas categorías cuando se compararon zonas similares entre las secciones estudiadas. La mayor diferencia se encontró al comparar los taludes de las secciones abrupta e intermedia (82.24%, $p = 0.1529$). Nuestros resultados sugieren que las variaciones de la pendiente dentro de un mismo arrecife deben ser consideradas al momento de establecer el diseño muestral para la evaluación de su estructura comunitaria.

REFERENCIAS

- Amend, T. (de.). 1992. Parque Nacional Archipiélago Los Roques. Inparques y Fundación Polar. Caracas, Venezuela. 223 p.
- Barnes, R. & T. Hughes. 1982. An introduction to marine ecology. Blackwell. 339 p.
- Conover, W. J. 1980. Practical Nonparametric Statistics. Wiley & Sons. Canadá. 489 p.
- Cróquer, A, E. Villamizar & N. Noriega. 1997. Estudio preliminar de los sedimentos en dos arrecifes coralinos del Parque Nacional Archipiélago de Los Roques. Resumen publicado en Acta Científica Venezolana, XLVII Convención Anual de la AsoVAC, Tomo I, Vol. 48, Suplemento N° 1, pag. 55.
- Hung, M. 1985. Los corales pétreos del Parque Nacional Archipiélago de Los Roques. Tesis de Grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.
- Jones, O.A. & R. Endean (eds.). 1977. Biology and Geology of Coral Reefs, IV. Geology 2. 337 p.
- Kühlman, D. 1984. Living Coral Reefs of the World. Arco Publishing, INC. N.Y., 185 p.
- Méndez Baamonde, J. 1977. Aspectos de la Geología Marina en el Archipiélago de Los Roques. V. Congreso Geológico Venezolano, I: 195-227.
- Méndez Baamonde, J. 1978. Archipiélago Los Roques/Islas de Aves. Cuadernos Lagoven. Caracas, Venezuela. 48 p.
- Ruppert, E.E. & R.D. Barnes. 1994. Invertebrates Zoology. Sixth Edition. Saunders College. 1056 p.
- Sanders, H. 1968. Marine benthic diversity: A comparative study. Amer. Nat., 102 (925): 243-282.
- Siegel, S. 1976. Estadística no paramétrica aplicada a las ciencias de la conducta. Editorial Trillas, Méjico. 346 p.
- Stoddart, D.R. 1969. Ecology and Morphology of Recent Coral Reefs. Biol. Rev. 44: 498.
- Weinberg, S. 1981. A comparison of coral reef survey methods. Bijdragen tot de Dierkunde 51(2): 199 - 218.