

Bol. Invest. Mar. Cost.	25	87 - 105	ISSN 0122-9761	Santa Marta, Colombia, 1996
--------------------------------	-----------	-----------------	-----------------------	------------------------------------

GEOMORFOLOGIA Y FORMACIONES ARRECIFALES RECIENTES DE ISLA FUERTE Y BAJO BUSHNELL, PLATAFORMA CONTINENTAL DEL CARIBE COLOMBIANO

Juan M. Díaz, Juan A. Sánchez y Guillermo Díaz-Pulido

RESUMEN

Con base en observaciones directas en el campo e interpretación de fotografías aéreas y de perfiles efectuados con ecosonda se hace una descripción general de los rasgos geomorfológicos y de las formaciones coralinas de Isla Fuerte y Bajo Bushnell, dos áreas arrecifales localizadas frente a la costa sur-central del Caribe colombiano. Isla Fuerte es un complejo arrecifal holocénico parcialmente emergido. La plataforma insular ocupa un área de unos 13 km² y, además de una porción emergida, posee diversas estructuras arrecifales, tales como barrera franjeante a barlovento, cinturón arrecifal periférico en el borde de la plataforma y arrecifes de parche someros, además de amplias praderas de fanerógamas a sotavento. De otro lado, Bajo Bushnell es un banco coralino de unos 1300 m de diámetro, en forma de domo, próximo al borde de la plataforma, con una profundidad mínima de 12 m. Aunque las comunidades del fondo son relativamente homogéneas y los límites entre éstas son poco discretos, se distinguen en Bushnell al menos cuatro unidades de paisaje bentónico con base en la presencia/dominancia de la biota sésil más conspicua. La zona de mayor cobertura de coral vivo corresponde a la más somera, en el borde de sotavento del bajo. Se incluye una lista de los corales observados en ambas áreas. Al igual que otros bancos coralinos e islas situados frente a la costa central del Caribe colombiano, el origen de estos alto-relieves en la plataforma continental parece estar asociado a diapirismo y tectonismo, y subsecuente colonización por organismos hermatípicos desde el Holoceno.

ABSTRACT

Geomorphology and recent reef structures of Isla Fuerte and Bajo Bushnell, Colombian Caribbean continental shelf. Based on field surveys and interpretation of aerial photography and echosounder profiles, a general description of the geomorphological features and a characterization of the coralline structures of two reefal areas off the southern-central Colombian Caribbean coast, Isla Fuerte and Bajo Bushnell, are presented. Isla Fuerte is a partially emerged Holocenic reef-complex. The insular shelf occupies an area of about 13 km² and, besides a highstanding island, it has diverse geomorphological features such as a seaward fringing barrier reef, a peripheral reef-belt at the outer shelf margin, and shallow patch reefs, as well as large seagrass meadows on its leeward side. On the other hand, Bushnell is a dome-shaped coral bank, about 1300 m in diameter, with a minimum depth of 12 m, located near the shelf-edge. Despite the bottom communities being relatively homogeneous and their boundaries are ill-defined, at least four ecological

bottom units could be distinguished at Bushnell on the basis of the presence/dominance of conspicuous sessile organisms. The zone of greater living coral coverage corresponds to the shallowest, seaward part of the shoal. A list of coral species observed in both areas is included. Like other coral banks and islands off the central part of the Colombian Caribbean coast, the origin of these high-reliefs on the continental shelf seems to be related to diapiric and tectonic activity, and subsequent colonization by hermatipic organisms since Holocene times.

INTRODUCCION

Isla Fuerte y Bajo Bushnell son dos áreas arrecifales poco estudiadas hasta ahora, localizadas sobre la parte sur-central de la plataforma continental del Caribe colombiano. Estas representan aparentemente los elementos más meridionales de un cordón discontinuo de islas y bajos que se prolonga por casi 100 km entre Cartagena e Isla Fuerte, cuyo eje está alineado aproximadamente en dirección 30°, como la mayoría de estructuras geológicas de la región (cf. Duque-Caro, 1980), y del cual los archipiélagos de El Rosario y San Bernardo son los elementos más conspicuos (fig. 1).

En contraste con otras áreas coralinas del área central de la costa y plataforma continental del Caribe colombiano, que hacen igualmente parte del cordón arrecifal Salmedina-Rosario-Tortuga-San Bernardo-Isla Fuerte (Fig. 1), sobre las cuales se han publicado varios trabajos (p.ej. Erhardt y Meinel, 1975; Werding y Sánchez, 1979; Ramírez et al., 1986; Navas et al., 1992; Quintero et al., 1993; Ramírez et al., 1994; Sánchez, 1995), las informaciones específicas existentes hasta ahora acerca de los arrecifes coralinos y ambientes asociados de Isla Fuerte y Bajo Bushnell son muy escasas y fragmentarias. Anderson (1975) fue el primero en publicar acerca de la historia humana, el clima, la geología, la fauna y flora terrestres y aspectos socioeconómicos de Isla Fuerte, pero sólo marginalmente se refiere a la existencia de arrecifes coralinos y praderas de pastos marinos alrededor de la isla. Prahl y Erhardt (1985) comentaron brevemente acerca de los arrecifes y las especies de coral más comunes de Isla Fuerte con base en informaciones suministradas por buzos. Sin embargo, muy poco se conoce acerca de la composición y distribución de los arrecifes y de otros habitats bentónicos alrededor de la isla. Aunque breve y muy general, existe una única descripción inédita de la zonación ecológica general de Bajo Bushnell (Torres, 1993), mientras que Sánchez y Ortiz (1992) registraron la presencia de algunas especies de corales negros (*Antipatharia*) colectados en el bajo.

El propósito de este trabajo es hacer una primera descripción de la geomorfología general y una caracterización preliminar de las estructuras

coralinas de Isla Fuerte y Bajo Bushnell.

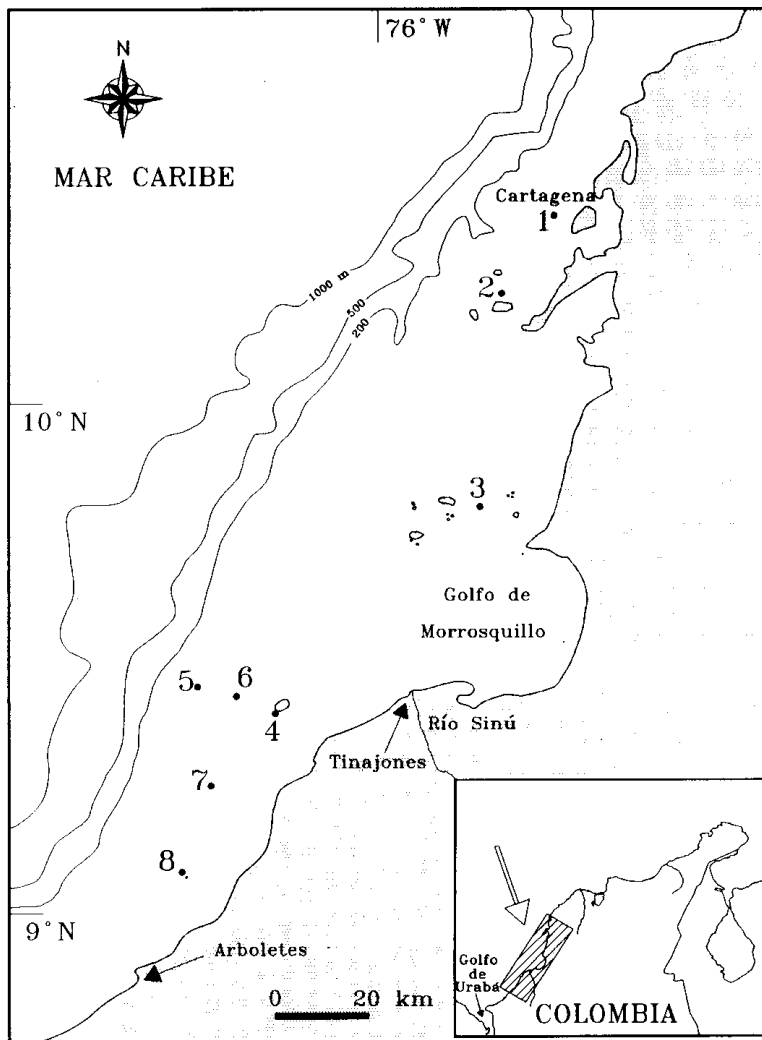


Figura 1. Región central de la costa del Caribe colombiano con algunas de las áreas arrecifales sobre la plataforma continental. 1, Bajo Salmendina; 2, Islas del Rosario; 3, Islas de San Bernardo; 4, Isla Fuerte; 5, Bajo Bushnell; 6, Bajo 'Burbujas'; 7, Bajo Caldas; 8, Isla Tortuguilla.

MATERIALES Y METODOS

Isla Fuerte ($9^{\circ} 23'N - 76^{\circ} 11'W$), localizada a unos 11 km de la costa, es una plataforma calcárea levantada, con ligera inclinación en dirección N-S, con un área emergida de 3.25 km^2 y una elevación máxima de 12 m (Anderson, 1975). Tradicionalmente habitada por unas cuantas familias que vivían esencialmente de la pesca y agricultura de subsistencia (Anderson, 1975), ésta pequeña isla está siendo actualmente transfor-

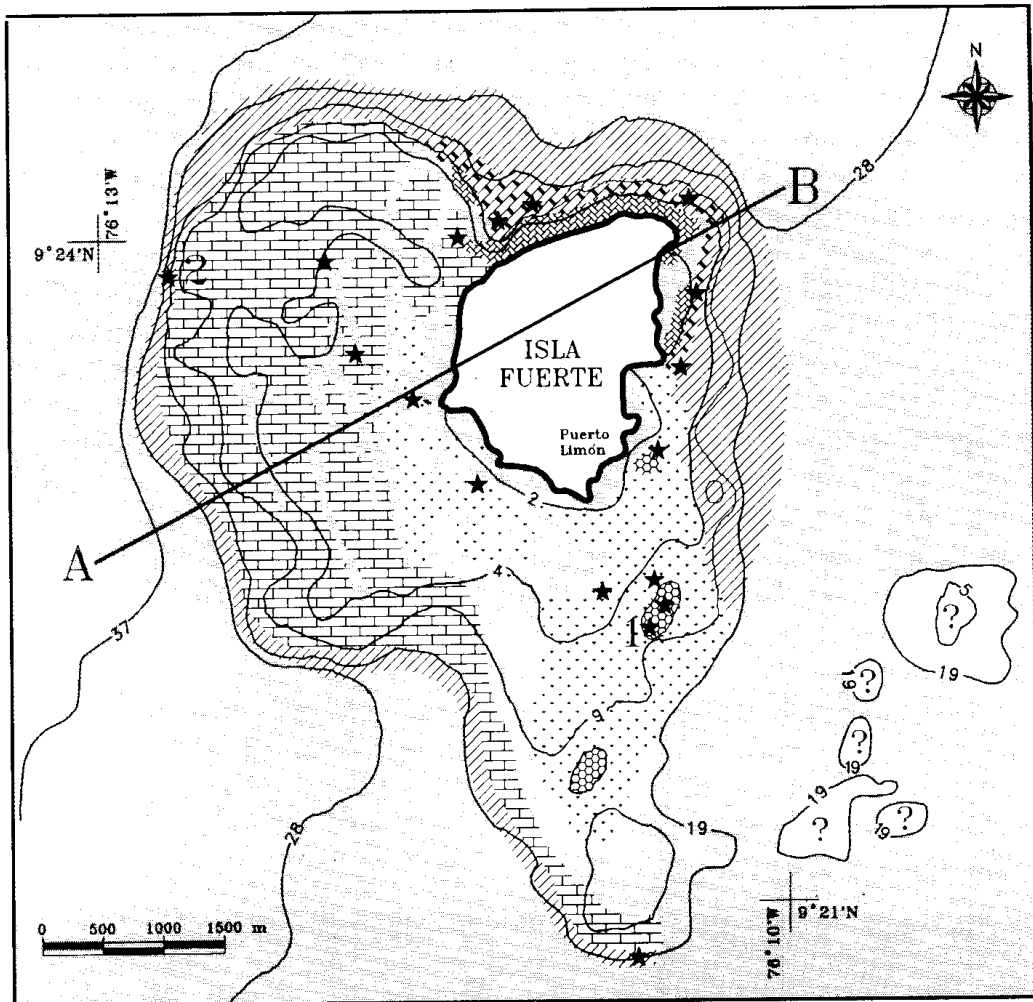
mada en un exclusivo lugar de vacaciones de familias del interior del país, que han adquirido la tierra para construir sus casas de recreo.

Bajo Bushnell (9° 25'N - 76° 21'W), localizado a 18 km al WNW de Isla Fuerte y a 30 km de la costa, es un pequeño bajo, en forma de meseta, que se eleva en la plataforma desde fondos circundantes de 50-60 m hasta unos 12 m de profundidad. El bajo debe su nombre al barco del Servicio Hidrográfico de Estados Unidos 'Bushnell', que en 1938 efectuó los sondeos batimétricos en esta área y a raíz de los cuales se documentó por primera vez su existencia. Este bajo, también conocido localmente como Bajo de Afuera, es visitado frecuentemente por pescadores de Isla Fuerte y se ha convertido en años recientes en un destino preferido por buzos deportivos.

El clima de la región es semiseco y cálido, con un comportamiento pluviométrico anual bimodal de alrededor de 1300 mm de precipitación total al año, una temperatura promedio anual de 27°C y vientos predominantes del NE (IGAC, 1975). La corriente marina prevaleciente en el área (Contracorriente del Darién) tiene un componente dominante hacia el NE, con velocidades de 1 a 3 km/h (Deutsches Hydrographisches Institut, 1958; Javelaud, 1986). La marea, como a todo lo largo de la costa del Caribe colombiano, es semidiurna con fuerte desigualdad diurna y su amplitud máxima es de 50 cm (Javelaud, 1986). La temperatura superficial del mar oscila poco alrededor de 28°C, al igual que la salinidad, que se mantiene casi constante alrededor de 36‰ (Patiño y Flórez, 1993), aunque es probable que el área de Isla Fuerte se vea influenciada durante la estación lluviosa por aguas turbias y de salinidad reducida provenientes de la escorrentía continental e insular.

En septiembre-octubre de 1995 se realizó un crucero de investigación a las áreas arrecifales de la mitad sur del Caribe colombiano a bordo del B/I 'Ancón', del Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (Santa Marta, Colombia), con una permanencia de cinco días (octubre 2-6) en el área de Isla Fuerte-Bajo Bushnell. Se visitaron 17 (Isla Fuerte, Fig. 2) y 5 (Bajo Bushnell, Fig. 5) sitios para observación detallada y muestreo. Observaciones realizadas por uno de los autores (J.A.S.) durante una corta visita e inmersiones en agosto de 1992 (Sánchez y Ortiz, 1992) en el talud norte de Bajo Bushnell y el costado norte de Isla Fuerte hacen también parte de la información aportada. Se empleó SCUBA en sitios de más de 5 m de profundidad. Las observaciones sobre el tipo de fondo, profundidad, corrientes, visibilidad, dimensiones y patrones de zonación de los arrecifes, y composición de especies de organismos sésiles dominantes fueron anotadas en tabletas acrílicas. En dos sitios representativos en Isla Fuerte y en Bajo Bushnell se realizaron además determinaciones cuantitativas de la cobertura relativa de organismos sésiles y sustratos del

fondo mediante tomas en video (formato Hi-8, SONY) sobre tres transectos de cadena de 10 m de longitud por estación (Figs. 2 y 5). Además, se



- | | | | |
|--|--------------------------|--|-------------------------------|
| | Corales mixtos | | <i>Thalassia</i> |
| | <i>Acropora</i> muerto | | Sedimentos |
| | Arrecifes de parche | | Costa insular |
| | Terraza calcárea | | Isóbatas (m) |
| | Acumulación de escombros | | Alto-relieves sin identificar |

Figura 2. Topografía submarina y distribución de los tipos de fondos y arrecifes en la plataforma insular de Isla Fuerte. La línea oblicua (A-B) indica la localización del perfil de la figura 3. Las estrellas indican la localización de las estaciones de observación y las estrellas numeradas la de las estaciones evaluadas cuantitativamente. Isóbatas adaptadas de la carta USDMA 24514, 1982.

hicieron estimaciones visuales de la cobertura relativa de coral recientemente muerto. Información complementaria sobre la distribución de los ambientes bentónicos se adquirió durante un recorrido en embarcación menor alrededor de Isla Fuerte. Adicionalmente, se efectuaron tres transectos batimétricos en Bajo Bushnell, registrados con la ecosonda (28 khz), a lo largo de los cuales, a ciertos intervalos, se anotaron las características del fondo, observadas desde la superficie a través de un visor de vidrio. La localización de los sitios fue determinada con una exactitud de 20 m mediante un instrumento de posicionamiento por satélite (GPS).

Los mapas de distribución de habitats bentónicos, tipos de arrecifes y topografía del fondo fueron elaborados con base en la carta náutica U.S. DMA No. 24514, los perfiles graficados con ecosonda, interpretación de fotografía aérea pancromática de cobertura parcial del área de Isla Fuerte (vuelo C-2382, fotos 134-135, tomadas en 1989 por el Instituto Geográfico 'Agustín Codazzi'), los mapas publicados por Anderson (1975) y datos de campo. La clasificación morfológica y de habitats varía considerablemente entre los diferentes autores, pero los términos utilizados en este trabajo para definir las unidades morfológicas y los tipos de arrecifes se basan en Geister (1977, 1983; ver también Díaz et al., 1996).

RESULTADOS

Isla Fuerte

La plataforma insular de Isla Fuerte, por encima de la isóbata de 20 m, ocupa un área de aproximadamente 13 km², de la cual cerca del 20%, en su parte NE, es actualmente emergida. La terraza somera es una extensión de topografía uniforme que se profundiza suavemente desde la isla hacia el W, SW y S. La porción occidental de esta terraza se extiende unos 2 km hacia el W de la isla, entre el nivel del mar y 7-8 m de profundidad, y es conocida localmente como "Bajo el Bobito". Con excepción de algunos parches aislados de arena gruesa, el fondo calcáreo de la terraza es en esta parte prácticamente desnudo, colonizado primordialmente por algas filamentosas y macroalgas verdes (*Halimeda opuntia*) y pardas (*Dictyota* spp. y *Dictyopteris delicatula*); aisladamente se presentan pequeñas colonias costrosas de corales (*Diploria strigosa*, *Siderastrea siderea*, *Agaricia agaricites*) y algunos octocorales de poca talla, cuya densidad y tamaño se incrementa ostensiblemente en proximidades del borde exterior de la terraza. Hacia el S y SE, a sotavento de la isla, donde la dinámica del oleaje es más reducida, la terraza está cubierta en su ma-

yoría por sedimentos, lo que permite la existencia de amplias praderas de fanerógamas marinas, especialmente de *Thalassia testudinum*. La figura 3 es un perfil transversal de la plataforma de Isla Fuerte, que muestra la zonación de las comunidades bentónicas.

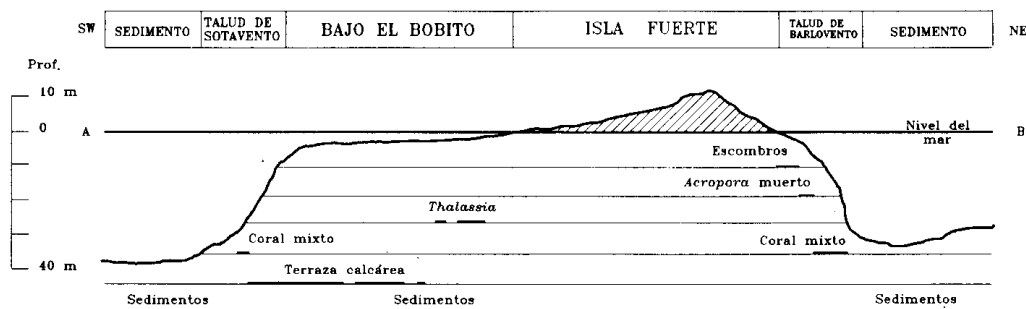


Figura 3. Perfil esquemático de la plataforma insular de Isla Fuerte en sentido SW-NE mostrando las zonas geomorfológicas y los tipos de fondos (la localización del perfil se muestra en la figura 2).

Exceptuando algunos arrecifes de parche de reducido tamaño, la zona de mayor crecimiento coralino es la periferia de la plataforma. En el flanco N y NE de la plataforma los arrecifes se extienden desde casi el nivel del mar y descienden por el talud hasta unos 22-28 m de profundidad, mostrando una zonación típica bien definida en los sectores más someros, que va desde una estrecha franja entre 0.5 y 1.5 m de profundidad dominada por el zoantídeo *Palythoa* y el hidrocoral *Millepora*, pasando por una zona con costras de *Diploria strigosa*, setos aislados de *Acropora palmata* (actualmente muertos en gran proporción y colonizados por algas cespitosas) y algunos octocorales hasta los 5 m de profundidad, una zona dominada por *Agaricia tenuifolia* muerta en gran proporción (5-7 m), hasta una zona caracterizada por la presencia de colonias semiesféricas de *Siderastrea siderea*, *Porites astreoides*, *Montastraea* spp. y *Colpophyllia natans*. A continuación de la zona de *Acropora palmata* muerto se encuentra intercaladamente entre 8 y 12 m de profundidad un pabellón de *A. cervicornis* muerto en su totalidad y colonizado por algas pardas; también se encuentran colonias grandes de corales masivos, particularmente de *Montastraea franksi* y *M. faveolata*, y formas costrosas de *Mycethophyllia ferox*, *M. lamarckiana*, *Isophyllia sinuosa*, *Montastraea cavernosa*, *Porites astreoides*, *Siderastrea siderea*, *Colpophyllia natans*, *Diploria strigosa* y *Agaricia* spp.; las grandes cabezas de *Montastraea* soportan además una rica fauna críptica, entre la que se destacan el hidrocoral *Stylaster roseus* y varias especies de esponjas. La diversidad de especies y la cobertura relativa de coral se incrementa paulatinamente con la profundidad hasta los 25-28 m (zona de corales mixtos), donde ter-

mina el talud para dar lugar a una llanura de arena o arena lodosa que rodea la plataforma.

Exceptuando el sector N y NE, en el que presenta la zonación arriba descrita, el cinturón coralino que bordea la plataforma a lo largo de la mayor parte de su periferia, en el talud de los flancos NW, W, SW y S, se extiende entre 9 y 15 m de profundidad y se caracteriza por la presencia de diversas especies de corales, octocorales y esponjas. Aproximadamente un 30-35 % del sustrato duro del fondo del talud está ocupado por corales vivos y un 10-15% por corales muertos recientemente, mientras que el restante 55-60 % corresponde a roca calcárea desnuda o cubierta por algas filamentosas o frondosas, esponjas, octocorales u otros organismos sésiles (Tabla 1, estación 1). El talud coralino del sector NW y W de la plataforma está surcado por canales irregulares más o menos amplios, por los que se evacuan sedimentos desde la terraza somera.

En la mitad sur de la terraza, cerca del borde oriental de la misma, rodeados por praderas de fanerógamas, se desarrollan algunos arrecifes de parche que alteran en muy poco la topografía casi plana de la terraza. Estos arrecifes, a profundidades entre 3 y 7 m, están formados predominantemente por *Porites porites* y *Agaricia tenuifolia*, pero también están presentes colonias semiesféricas de *Siderastrea siderea*, *Diploria strigosa* y *D. labyrinthiformis*. Octocorales del género *Eunicea* son también elementos conspicuos del paisaje. Aproximadamente un 60-70% de la superficie del fondo está ocupada por corales vivos, y el resto está colonizado principalmente por algas filamentosas (Tabla 1, estación 2). Aisladamente, pero en forma densa, se encuentran setos de *Acropora cervicornis*, muertos en gran proporción (85-100%) y cubiertos por algas; la mayor parte de las colonias de *A. cervicornis* están rotas o colapsadas aparentemente por efecto de las anclas de las embarcaciones y/o de explosiones con dinamita; igualmente, fragmentos de esqueletos y escombros de esta especie se observan dispersos por doquier en esta zona.

En el costado SE de Isla Fuerte, cerca del poblado de Puerto Limón, a unas pocas decenas de metros de la costa y en aguas relativamente turbias, se halla un pequeño parche coralino (de unos 20 m de diámetro), formado casi exclusivamente por colonias semiesféricas de *Siderastrea siderea*, que se eleva hasta unos pocos centímetros por debajo del nivel del mar. En este sector se observó el desprendimiento de burbujas de gas desde el fondo, que copiosamente fluían a través de grietas y oquedades del coral. En la figura 2 se presenta la distribución y extensión de los hábitats bentónicos sobre la plataforma de Isla Fuerte. Un total de 27 especies de corales pétreos fueron observados en los arrecifes que rodean Isla Fuerte (tabla 2).

Tabla 1. Porcentajes de cobertura absoluta de las especies y categorías que componen algunos arrecifes de Isla Fuerte y Bajo Bushnell.

Localidad	Isla Fuerte		Bajo Bushnell	
	1 11 m	2 3 - 5 m	3 13 - 15 m	4 17 m
<i>Millepora alcicornis</i>	0.50	0.27	-	0.71
<i>Millepora complanata</i>	-	2.41	0.20	-
<i>Agaricia agaricites</i>	2.42	-	0.88	11.89
<i>Agaricia tenuifolia</i>	8.04	15.81	28.32	0.28
<i>Colpophyllia natans</i>	0.64	-	-	5.59
<i>Diploria labyrinthiformis</i>	3.99	0.82	-	6.37
<i>Diploria strigosa</i>	1.00	-	-	-
<i>Dichocoenia stokesi</i>	1.57	-	-	-
<i>Eusmillia fastigiata</i>	-	-	0.27	0.99
<i>Helioseris cucullata</i>	1.35	-	0.27	0.28
<i>Isophyllia sinuosa</i>	0.85	-	-	-
<i>Madracis decactis</i>	-	-	0.14	0.21
<i>Meandrina meandrites</i>	0.43	-	-	-
<i>Montastraea cavernosa</i>	2.92	0.76	-	5.66
<i>Montastraea faveolata</i>	-	3.37	0.34	10.19
<i>Mycetophyllia ferox</i>	0.14	-	-	-
<i>Porites astreoides</i>	9.47	0.62	0.34	3.40
<i>Porites porites</i>	1.07	33.06	0.75	-
<i>Siderastrea siderea</i>	0.50	11.20	-	4.10
Total cobertura coralina	34.88	68.32	31.52	49.68
Esponjas	6.55	0.48	4.15	9.27
Gorgonáceos	0.57	-	0.54	1.13
Otros organismos bentónicos	0.64	-	-	0.99
<i>Amphiroa</i> spp.	5.27	1.37	1.02	0.42
<i>Dictyota</i> spp.	13.88	0.34	1.23	10.12
<i>Halimeda</i> spp.	8.68	4.54	37.92	8.92
Otras macroalgas frondosas	-	-	0.68	-
Algas costrosas	7.40	0.14	13.82	10.47
Céspedes algales	19.43	24.05	6.60	4.46
Cianobacterias	0.36	-	2.25	2.97
Total cobertura algal	55.02	30.45	63.51	37.37
Arena - cascajo - roca base	2.35	0.76	0.27	1.56
Total	100	100	100	100

Tabla 2. Especies de corales observados en Isla Fuerte y Bajo Bushnell.

* = este trabajo, ** = Torres, 1993.

Especie	Isla Fuerte	Bajo Bushnell
<i>Millepora alcicornis</i>	*	* **
<i>Millepora complanata</i>	*	* **
<i>Millepora squarrosa</i>		**
<i>Stylaster roseus</i>	*	* **
<i>Acropora cervicornis</i>	*	**
<i>Acropora palmata</i>	*	**
<i>Agaricia agaricites</i>	*	* **
<i>Agaricia tenuifolia</i>	*	* **
<i>Colpophyllia natans</i>	*	* **
<i>Diploria clivosa</i>		**
<i>Diploria labyrinthiformis</i>	*	* **
<i>Diploria strigosa</i>	*	* **
<i>Dichocoenia stokesi</i>	*	**
<i>Eusmillia fastigiata</i>	*	* **
<i>Favia fragum</i>	*	* **
<i>Helioseris cucullata</i>	*	* **
<i>Isophyllastrea rigida</i>	*	
<i>Isophyllia sinuosa</i>	*	
<i>Madracis decactis</i>	*	* **
<i>Madracis mirabilis</i>		**
<i>Meandrina meandrites</i>	*	* **
<i>Montastraea cavernosa</i>	*	* **
<i>Montastraea faveolata</i>	*	* **
<i>Montastraea franksi</i>	*	* **
<i>Mycetophyllia ferox</i>	*	* **
<i>Mycetophyllia lamarckiana</i>	*	
<i>Mussa angulosa</i>		**
<i>Porites astreoides</i>	*	* **
<i>Porites porites</i>	*	* **
<i>Scolymia lacera</i>		**
<i>Siderastrea radians</i>		**
<i>Siderastrea siderea</i>	*	* **
<i>Stephanocoenia intersepta</i>	*	

Bajo Bushnell

En contraste con Isla Fuerte, el Bajo Bushnell es un promontorio sin porción emergida, cuya profundidad mínima es de 12 m. La restitución topográfica, basada en los perfiles graficados con la ecosonda y datos puntuales obtenidos con profundímetro durante las inmersiones, muestra que el domo, de forma aproximadamente circular, se eleva abruptamente desde profundidades de 50-60 m hasta unos 22 m, dando lugar a una meseta de relieve plano a ligeramente irregular, cuya máxima elevación se encuentra en la mitad norte, alcanzando los 12 m de profundidad (Figs. 4 y 5). La base del domo tiene un diámetro aproximado de 1300 m, mientras que la meseta superior (entre 12 y 22 m de profundidad, con un promedio de 17 m) ocupa un área aproximada de 0.8 km². La pendiente del talud es notoriamente más pronunciada en la parte norte del domo, donde se presenta una pared subvertical entre los 28 y 40 m de profundidad. En la mitad sur, la pendiente del talud se va haciendo cada vez menos pronunciada e irregular, presentándose ocasionalmente algunos promontorios o escalones intermedios.

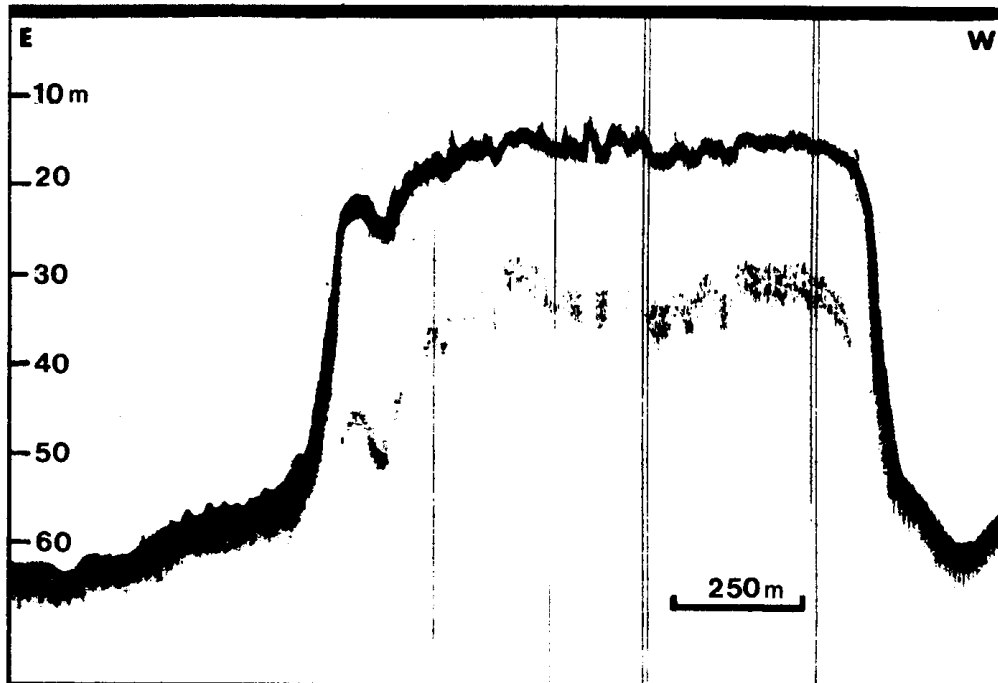
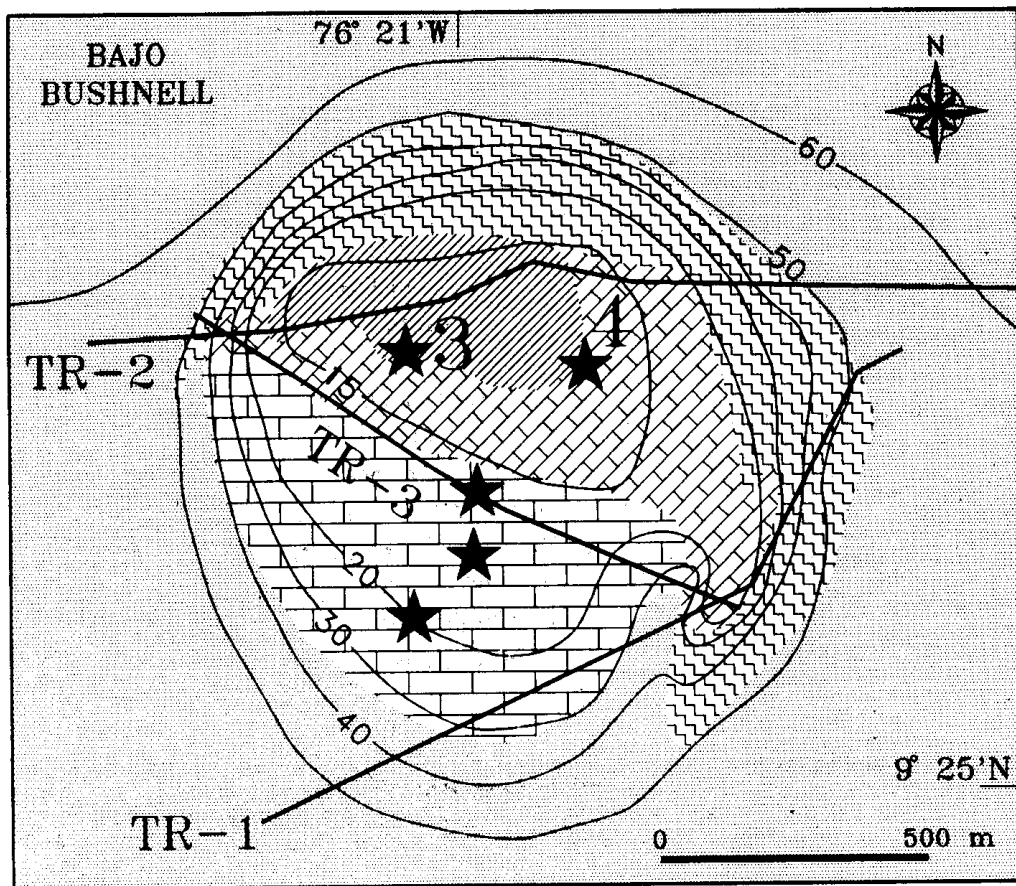


Figura 4. Ecotrazo correspondiente al transecto batimétrico TR-2 (Fig. 5) que ilustra la forma del domo de Bajo Bushnell. Nótese el relieve quebrado de la parte central de la meseta superior, que corresponde a los espolones y canales de la zona de mayor desarrollo coralino.








-  Cantil
-  Corales mixtos
-  Fondo duro con octocorales y esponjas
-  Fondo mixto con octocorales y esponjas dispersas
-  Sedimentos
- δ_0 Isóbatas (m)

Figura 5. Restitución topográfica y distribución de las comunidades bentónicas de Bajo Bushnell. Se indica la localización de los transectos batimétricos (TR-1, 2, 3), de las estaciones de observación (estrellas) y de las estaciones de evaluación cuantitativa (estrellas numeradas).

Aunque las unidades ecológicas o biotopos del fondo no son siempre discretas, y en la mayoría de los casos sus límites no están definidos claramente, al menos sí es permisible distinguir cuatro tipos de paisaje de

fondo con base en la presencia y/o dominancia de uno o más elementos bióticos, en el relieve y/o en características del sustrato (Fig. 5). En la zona norte de la meseta, la más somera del bajo, entre 12 y 17 m de profundidad, el fondo está surcado en el sentido de la pendiente (hacia el N y NE) por espolones o crestas alargadas o serpenteantes, elevadas 1-2 m sobre el fondo (Fig. 5), en las que se observaron las mayores coberturas coralinas (30 y 50 % del sustrato; Tabla 1, estaciones 3 y 4), dominadas bien por *Agaricia tenuifolia* o bien por *A. agaricites*, acompañadas por colonias hemisféricas de *Montastraea faveolata*, *M. cavernosa*, *Colpophyllia natans* y otros, además de esponjas (*Pseudaxinella* sp., *Agelas sceptrum*), octocorales (*Gorgonia ventalina*, *Pseudopterogorgia* spp., *Pterogorgia* spp., *Eunicea* spp., *Plexaura* spp. y *Plexaurella* spp.) y algas. Estas últimas pueden alcanzar altas coberturas (37-64%), siendo *Halimeda goreauii*, *Dictyota* spp. y coralináceas costrosas las más dominantes. Las coberturas de coral muerto recientemente son relativamente bajas (20-30%), y no se observan signos marcados de deterioro coralino. Los valles o depresiones entre las crestas presentan fondos de arena y cascajo densamente poblados por octocorales ramificados de gran talla (*Pseudopterogorgia* spp.).

Hacia el E y S el relieve de las crestas tiende a aplanarse y la cobertura coralina a disminuir, diluyéndose esta unidad ('corales mixtos' en la Fig. 5) paulatinamente en una terraza plana a ligeramente inclinada cuyo fondo es un pavimento calcáreo recubierto por céspedes de algas filamentosas y calcáreas, costras aisladas de coral y algunas macroalgas pardas (*Dictyota* spp. y *Styopodium zonale*). Los elementos dominantes del paisaje son grandes colonias de octocorales gorgonáceos (*Gorgonia ventalina*) y enormes esponjas (*Xestospongia muta*). Exceptuando algunos parches pequeños, en la franja relativamente amplia ocupada por esta unidad ('fondo duro con octocorales y esponjas' en la Fig. 5) están prácticamente ausentes las superficies cubiertas por sedimentos. Más hacia el SW, S y SE del bajo, en donde la inclinación del plano superior se va haciendo mayor hasta dar lugar al talud, el fondo cubierto por sedimentos, cascajo y rodolitos aumenta en proporción, pero las grandes esponjas y gorgonáceos continúan siendo los elementos característicos del paisaje. Bajo la cubierta de arena se observó un profuso crecimiento de algas coralináceas costrosas, en tanto que en los sitios en que la capa de arena es más gruesa se establecen algas psamofíticas (*Rhipocephalus phoenix*); también se observan localizadamente parches de cianobacterias. A medida que la profundidad se incrementa, esta unidad ('fondo duro con octocorales y esponjas dispersas' en la Fig. 5) presumiblemente se diluye poco a poco en una zona periférica de fondo sedimentario (inicialmente constituido probablemente por fracciones gruesas y a partir de los 35-40 m domi-

nado por arenas finas y lodo).

Dada la morfología del bajo, en su flanco N la zonación de biotopos es diferente. Allí, la zona de máximo desarrollo coralino se continúa hasta el borde superior del talud, donde ocurre un cambio súbito de la pendiente, aproximadamente a 17-18 m de profundidad; las paredes subverticales del talud son, al menos hasta una profundidad de 35-40 m, de consistencia calcárea, ocasionalmente colonizadas por formas laminares o de tejado de *Montastraea franksi*, *Mycetophyllia* sp. y *Agaricia agaricites*, esponjas tubulares, gorgonáceos azooxantelados elisélidos (*Ctenocella shmitti* y *C. barbadensis*) y corales negros (*Antipathes* sp., *Stichopathes* sp.) (zona de 'cantil' en la Fig. 5). Un total de 20 especies de corales hermatípicos fueron observadas en Bajo Bushnell (Tabla 2).

DISCUSION

Aplicando la nomenclatura propuesta por Geister (1983), la plataforma calcárea de Isla Fuerte puede catalogarse como un complejo arrecifal holocénico de la plataforma continental parcialmente emergido, en tanto que el Bajo Bushnell es un banco coralino aislado en el sector marginal de la plataforma. La edad de las calizas de Isla Fuerte ha sido estimada entre 5000 y 10000 años, coincidente con la de las Islas del Rosario (Anderson, 1975). Tanto por su localización geográfica como por sus características geomorfológicas, el origen de estos alto-relieves de la plataforma parece estar asociado a actividad diapírica arcillosa y tectonismo, al igual que la mayor parte de los bajos e islas que se extienden entre Cartagena y el Golfo de Morrosquillo (Vernette, 1985; Vernet et al., 1988). La colonización de los bajos diapíricos por parte de la biota hermatípica tuvo lugar progresivamente a partir de la última transgresión marina, cuando parte de los bajos se encontraba en la zona fótica, como lo sugieren las dataciones realizadas en esqueletos coralinos (Vernette et al., 1988). En el caso de Isla Fuerte, tectonismo y/o movimientos glacioeustáticos posteriores han producido evidentemente el levantamiento y emersión parcial del bajo, mientras que Bajo Bushnell aún conserva la forma característica de un domo diapírico colonizado por biota hermatípica, similar a otros localizados en cercanías de Cartagena (cf. Navas et al., 1992). Aunque no se ha establecido el espesor de la capa calcárea sobre los domos, la consistencia y naturaleza cementada del talud subvertical del norte de Bajo Bushnell, al menos hasta 40 m de profundidad, sugieren que la capa calcárea alcanza al menos los 25 m de espesor. Formaciones coralinas desarrolladas sobre domos de origen diapírico en el Atlántico occidental han sido también documentadas en el noroeste del Golfo de México (Rezak et

al., 1985).

Por su localización geográfica, características geomorfológicas y su probable origen, resulta evidente que Isla Fuerte y Bajo Bushnell hacen parte del cordón arrecifal que se extiende en dirección SSW desde el Bajo Salmedina sobre la plataforma continental. Como lo revela la carta náutica 24514 de la US Defense Mapping Agency (1982), existen algunas irregularidades topográficas de la plataforma continental aún más al SW de la latitud de Isla Fuerte ($9^{\circ} 20'N$), que se expresan en forma de pequeños 'bajos' elevados hasta profundidades de menos de 18 m, sobre los cuales es probable el desarrollo de estructuras arrecifales. Efectivamente, en algunos de los bajos localizados al SW de Isla Fuerte, como en el denominado Bajo Caldas ($9^{\circ} 13' 30''N$, $76^{\circ} 20'$), ocasionalmente visitado por buzos deportivos, se tiene noticia de la presencia de comunidades coralinas similares a las de Bajo Bushnell (E. Jaramillo, com. pers.). La existencia de varias especies de coral en torno a Isla Tortuguilla (R. Dueñas, com. pers.), localizada aún más al sur ($9^{\circ} 02'N$ - $76^{\circ} 22'W$), soporta también la hipótesis de que el cordón de arrecifes desarrollados sobre alto-relieves de origen diapírico en la plataforma continental se extiende probablemente hasta allí y no sólo hasta el Golfo de Morrosquillo, como se suponía anteriormente (cf. Prahl y Erhardt, 1985; Vernet, 1985; Vernet et al., 1988). Con ello, la longitud del cordón arrecifal sobrepasaría los 200 km. Además, la actividad diapírica, reflejada en la presencia de volcanes de lodo a lo largo de la costa, está bien documentada hasta la región de Arboletes (Vernet, 1985). Alto-relieves de la plataforma continental, de origen aparentemente diapírico, han sido también registrados aún más al sur, frente al Golfo de Urabá (Javelaud, 1986). Una evidencia inequívoca de que la actividad diapírica se manifiesta aún en algunos de los alto-relieves submarinos la constituye el desprendimiento de burbujas de gas, probablemente metano, desde el fondo, fenómeno que se observó en un sector cerca de la costa SE de Isla Fuerte y que aparentemente es generalizado en otras áreas de la plataforma que rodea la isla y otras zonas aledañas, como es el caso de un pequeño bajo localizado a media distancia entre Isla Fuerte y Bushnell, conocido como 'Bajo Burbujas' por los buzos deportivos debido precisamente a la ocurrencia de este fenómeno (E. Jaramillo, com. pers.).

Además de las diferencias geomorfológicas evidentes entre Isla Fuerte y Bajo Bushnell y a pesar de su proximidad geográfica, existen otras diferencias ambientales marcadas entre estas dos áreas arrecifales, que se reflejan en la presencia/ausencia, composición, distribución y estructura de las comunidades bióticas. Debido a su localización más cercana al continente y a que posee un área emergida considerable, la plataforma de Isla Fuerte recibe algunos aportes de sedimentos silíceos y

carbonatados respectivamente, que se depositan preferencialmente en la mitad sur, condicionando así la presencia de praderas de fanerógamas y fondos de arena y lodo. Estos sedimentos son en parte fácilmente resuspendidos en épocas de alta dinámica de oleaje, contribuyendo a reducir la visibilidad en el agua. Isla Fuerte recibe además estacionalmente la influencia de aguas relativamente turbias y de salinidad algo reducida, acarreadas superficialmente en dirección SW desde la desembocadura del río Sinú (cf. Molina et al., 1994). Es por ello que los valores estimados de visibilidad submarina en los sitios de observación en Isla Fuerte (5-8 m) son notoriamente más bajos que en Bajo Bushnell (15-20 m).

Puesto que desde 1942 el río Sinú abandonó su antigua desembocadura en el sur del Golfo de Morrosquillo, y desde entonces vierte su cauce en la zona de Tinajones (Troll y Schmidt-Kraepelin, 1965; Robertson, 1989), al E de Isla Fuerte, la influencia de sus descargas en esta área ha sido mucho mayor en las últimas décadas. Consecuencia de ello son seguramente modificaciones en el régimen sedimentario y alteraciones en la composición y estructura de las comunidades coralinas. La abundancia observada de esqueletos y escombros esparcidos de algunas especies de corales altamente sensibles a la sedimentación y características de aguas bien iluminadas, como *Acropora* spp. y *Agaricia tenuifolia* (cf. Geister, 1977, 1983; Porter et al., 1982), de los cuales hoy día se observan muy pocas colonias vivas, así como la dominancia actual en los arrecifes someros de formas 'resistentes' como *Siderastrea siderea*, *Diploria* spp., y *Montastraea cavernosa* (Hubbard y Pockock, 1972; Loya, 1976), muestran que la composición y estructura de estos arrecifes ha experimentado cambios, debidos probablemente, al menos en parte, a tasas de sedimentación más elevadas que en el pasado. Las condiciones ambientales actuales, al menos durante una parte del año, son posiblemente subóptimas para el crecimiento y desarrollo de muchas especies de corales escleractíneos en la plataforma de Isla Fuerte.

La diversidad morfológica de la plataforma de Isla Fuerte, que se expresa en la existencia de amplios gradientes topográficos, hidrodinámicos y de tipos de sustrato, se refleja en la presencia de estructuras arrecifales variadas, que incluyen arrecifes franjeantes en la zona de barlovento, cinturón arrecifal de borde de talud en la periferia, arrecifes someros de parche a sotavento y terraza de abrasión pobremente colonizada por corales en las zonas someras con alta dinámica. La composición de especies de coral en cada una de estas estructuras es generalmente bien definida, de acuerdo a los patrones de zonación condicionados principalmente por el grado de exposición al oleaje, inclinación del sustrato, profundidad y sedimentación (cf. Loya, 1976; Geister, 1977, 1983).

De otra parte, la localización geográfica de Bajo Bushnell, más

lejana de la influencia continental, hace que prevalezcan condiciones oceánicas durante la mayor parte del año y la calidad de las aguas esté sometida a menos variaciones. Además, la menor variabilidad espacial de la mayoría de factores antes anotados hace que las unidades de paisaje sean menos discretas y diversas. La comunidad coralina de la zona más somera de la meseta corresponde a una típica asociación de formas hemisféricas y foliadas de varias especies, no muy diferente a la descrita por Navas et al. (1992) de un bajo similar en cercanías de Cartagena y a la que comunmente se halla en inmediaciones del borde del talud de diversos complejos arrecifales oceánicos del Caribe (cf. Goreau, 1959; Geister, 1975, 1992; Duyl, 1985; Díaz et al., 1996), caracterizada por su homogeneidad en composición y estructura debido a la relativa estabilidad ambiental y efecto moderado del oleaje. Igualmente, las características de la comunidad del talud subvertical del norte del bajo, dominada por corales en forma de tejado, esponjas tubulares, gorgonáceos elliséllidos y corales negros, es muy similar a la observada en este tipo de ambientes de pendiente pronunciada e iluminación reducida, como es el caso de las islas del Rosario (Sánchez, 1995) y el atolón Courtown (Díaz et al., 1996).

No es posible por ahora dar una explicación satisfactoria a la reducida cobertura coralina en la mitad sur de la meseta de Bushnell, donde en lugar de corales escleractíneos dominan los gorgonáceos y esponjas; sin embargo, la ausencia de relieves arrecifales y la presencia en mayor proporción de fondos cubiertos por arena en esta parte del bajo reflejan condiciones de baja turbulencia, a sotavento con respecto a la dirección dominante del viento y el oleaje. Tal y como lo sugiere Zea (1993), esta condición, sumada al de un incremento en profundidad, parece favorecer la presencia de ciertas especies de esponjas y gorgonáceos sobre la de corales. De otra parte, el sector SW del bajo está enfrentado más directamente al flujo de la corriente dominante, ofreciendo aparentemente condiciones más favorables para el crecimiento exuberante de algunas especies de gorgonáceos y determinando en buena parte sus formas de crecimiento (cf. Wainwright y Dillon, 1969; Rees, 1972).

Finalmente, debe mencionarse que, atendiendo a la abundancia, estado y grandes tallas de *Gorgonia ventalina* observadas en el Bajo Bushnell, este gorgonáceo aparentemente no ha resultado seriamente afectado en esta área por las mortalidades masivas que han tenido lugar en las costas del Caribe de Centro y Suramérica en años recientes, incluyendo áreas de la costa colombiana (Garzón-Ferreira y Zea, 1992) y complejos arrecifales oceánicos del Caribe suroccidental (Díaz et al., 1995).

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su gratitud a Sven Zea y Luz S. Mejía (INVE-MAR, Santa Marta), así como a la tripulación del B/I 'Ancón' por su valiosa ayuda en el campo. Por el suministro de valiosa información complementaria agradecemos al instructor de buceo Eduardo Jaramillo (Medellín) y al biólogo marino Ricardo Dueñas (Universidad de Córdoba, Montería). Igualmente agradecemos a Georges Vernet (Univ. de Burdeos, Francia) por la revisión crítica del manuscrito. Este estudio fue financiado por el Instituto Colombiano de Ciencia y Tecnología (COL-CIENCIAS, Proyecto No. 2105-09-023-93) y el Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras -INVEMAR-, Santa Marta.

BIBLIOGRAFIA

- Anderson, P.S. 1975. Isla Fuerte. Colombia Geográfica, 5 (2): 119-191.
- Deutsches Hydrographisches Institut. 1958. Westindien-Handbuch, I. Teil: Die Nordküste Süd- und Mittelamerikas. HHI, Hamburg, 720 p.
- Díaz, J.M.; J. Garzón-Ferreira y S. Zea. 1995. Los arrecifes coralinos de la isla de San Andrés, Colombia: estado actual y perspectivas para su conservación. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Colección 'Jorge Alvarez Lleras', No. 7, 150 p.
- _____; J.A. Sánchez; S. Zea y J. Garzón-Ferreira. 1996. Morphology and marine habitats of two southwestern caribbean atolls: Albuquerque and Courtown. Atoll Res. Bull., 435: 1-33.
- Duque-Caro, H. 1980. Geotectónica y evolución de la región noroccidental colombiana. Bol. Geol. Ingeominas, 23(3): 4-37.
- Duyf, F. van. 1985. Atlas of the living reefs of Curacao and Bonaire (Netherlands Antilles). Found. Sci. Res. Surinam and Netherlands Antilles, Utrecht, 78 p.
- Erhardt, H. y W. Meinel. 1975. Die scleractinen Korallen der Insel Ceycen, Islas San Bernardo, vor der kolumbianischen Atlantikküste. Phillipia, 2: 236-247
- Garzón-Ferreira, J. y S. Zea. 1992. A mass mortality of *Gorgonia ventalina* (Cnidaria: Gorgoniidae) in the Santa Marta area, Caribbean coast of Colombia. Bull. Mar. Sci., 50(3): 522-526.
- Geister, J. 1975. Riffbau und geologische Entwicklungsgeschichte der Insel San Andrés (westliches karibisches Meer, Kolumbien). Stuttgarter Beitr. Naturk., Ser.B, 15: 1-203.
- _____. 1977. The influence of wave exposure on the ecological zonation of Caribbean coral reefs. Proc. Third Int. Coral Reef Symp. (Miami), 1: 23-29.
- _____. 1983. Holozäne westindische Korallenriffe: Geomorphologie, Ökologie und Fazies. Facies, 9: 173-284.
- _____. 1992. Modern reef development and Cenozoic evolution of an oceanic island/reef complex: Isla de Providencia (Western Caribbean Sea). Facies, 27: 1-70.
- Goreau, T. F. 1959. The ecology of Jamaican reefs I. Species composition and zonation. Ecology, 40: 67-90.
- IGAC. 1975. Estudio hidroclimático de la región del Caribe. Instituto Geográfico 'Agustín Codazzi', Bogotá. 77 p.
- Javelaud, O. 1986. Sedimentología de la plataforma continental del Caribe colombiano. Bol. Cient. CIOH, 6: 17-39.
- Hubbard J.A. y Y.P. Pockock. 1972. Sediment rejection by recent scleractinian corals: A key to paleoenvironmental reconstruction. Geol. Rundsh. 61: 598-626.
- Loya, Y. 1976. Effects of water turbidity and sedimentation in the community structure of Puerto Rican corals. Bull. Mar. Sci., 26: 450-466.

- Molina, A.; C. Molina; L. Giraldo; C. Parra y P. Chevillot. 1994. Dinámica marina y sus efectos sobre la geomorfología del Golfo de Morrosquillo. Bol. Cient. CIOH, 15: 93-113.
- Navas, G.R.; O.D. Solano y D.F. Torres. 1992. Las comunidades del bajo arrecifal Imelda, Isla Barú, Caribe colombiano: II Caracterización estructural de la comunidad coralina (Scleractinia). Mem. VIII Semin. Nac. Cienc. Tecnol. Mar, CCO, Bogotá, I: 291-303.
- Patiño, F. y F. Flórez. 1993. Estudio ecológico del Golfo de Morrosquillo. Univ. Nacional de Colombia - Fondo 'FEN' Colombia, Santafé de Bogotá, 109 p.
- Porter, J.W; J. Battei y G. Smith. 1982. Perturbation and change in coral reef communities. Proc. Natl. Acad. Sci., 79: 1678-1681.
- Prahl, H. von y H. Erhardt. 1985. Colombia, corales y arrecifes coralinos. Fondo FEN Colombia, Bogotá, 245 p.
- Pujos, M.; J.Pagliardini; R. Steer; G.Vernette y O. Weber, 1986. Influencia de la Contracorriente Norte colombiana, para la circulación de las aguas en la plataforma continental. Bol. Cient. CIOH, 6: 3-15.
- Quintero, R.; J.A. Sánchez y A. Ramírez. 1993. Cartografía bioecológica de Isla Tesoro, Caribe colombiano. Bol. Cient. CIOH, 13: 45-64.
- Ramírez, A.; D. Miranda y G. Viña. 1994. Estructura arrecifal del archipiélago de San Bernardo (mar Caribe, Colombia), estudio de línea base. Trianea, 5: 189-219.
- Ramírez, A.; I. Borrero y J.E. Correal. 1986. Ecología descriptiva de las llanuras madreporarias del Parque Nacional Submarino Los Corales del Rosario (Mar Caribe), Colombia. Fondo FEN Colombia, Bogotá, 50 p.
- Rees, J.T. 1972. The effect of current on growth form in an octocoral. J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 10: 115-123.
- Rezak, R.; T.Brigh y D.W. Macgrail. 1985. Reefs and banks of the Northwestern Gulf of México. John Wiley and Sons, USA, 259 p.
- Robertson, K. 1989. Evolución reciente del delta del Rio Sinú, Colombia. Bull. Inst. Geol. Basin de Aquitaine, 45: 305-312.
- Sánchez, J. A. 1995. Benthic communities and geomorphology of the Tesoro island coral reef, Colombian Caribbean. An. Inst. Invest. Mar. Punta Betín, 24: 55-77.
- _____ y V. Ortiz. 1992. Distribución de los corales negros (Antipatharia, Antipathidae) de arrecifes coralinos entre Cartagena y el Golfo de Urabá, Caribe colombiano. Mem. VIII Semin. Cienc. Tecnol. Mar, CCO, Bogotá, I: 362-369.
- Torres, D.F. 1993. Abundancia y diversidad de 26 familias de peces arrecifales del costado oeste del Caribe colombiano. Tesis Biol. Mar., Univ. Jorge Tadeo Lozano, Cartagena, 118 p.
- Troll, C. y E. Schmidt-Kraepelin. 1965. Das neue Delta des Rio Sinu an der karibischen Küste Kolumbiens. Erdkunde, 19: 14-23.
- Vernette, G. 1985. La plate-forme continentale caraibe de Colombie (du debuché du Magdalena au golfe de Morrosquillo), importance du diapirisme argileux sur la morphologie et la sedimentation. Thèse de doctorat d'état ès Sciences, Univ. Bordeaux, 387 p.
- _____ ; G. Le Blanc; L. Briceño; H. Carvajal; C. Faugeres; J. Gayet; E. Gonthier; R. Griboulard y A. Molina. 1988. Manifestaciones tectónicas en márgenes activas, comparaciones entre dos sectores del Caribe (margen colombiana y prisma de Barbados). Mem. VI Semin. Nac. Cienc. Tecnol. Mar, CCO, Bogotá: 240-252.
- Wainwright, S. y J. Dillon. 1969. On the orientation of sea fans (genus *Gorgonia*). Biol. Bull., 136: 130-139.
- Werding, B. y H. Sánchez. 1979. Informe faunístico y florístico de las Islas del Rosario en la costa norte de Colombia. 1, Situación general y estructuras arrecifales. An. Inst. Inv. Mar. Punta Betín, 11: 7-20.
- Zea, S. 1993. Cover of sponges and other sessile organisms in rocky and coral reef habitats of Santa Marta, Colombian Caribbean Sea. Carib. J. Sci., 29(1-2): 78-88.

DIRECCION DE LOS AUTORES:

Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras-INVEMAR, A.A. 1016, Santa Marta, Colombia.