

invamar



Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago
de San Andrés, Providencia y Santa Catalina

ESTUDIOS TÉCNICOS, BIOFÍSICOS, OCEANOGRÁFICOS Y TOPOGRÁFICOS PREVIOS Y DE DISEÑO DE UN MUELLE DE DESEMBARQUE EN EL PARQUE REGIONAL NATURAL JOHNNY CAY, SAN ANDRÉS ISLAS



**INFORME TÉCNICO FINAL
ESTUDIOS PREVIOS**

**Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras
José Benito Vives De Andrés**

Vinculado al Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

Santa Marta, junio de 2007

ESTUDIOS TÉCNICOS, BIOFÍSICOS, OCEANOGRÁFICOS Y TOPOGRÁFICOS PREVIOS AL DISEÑO DEL MUELLE DE DESEMBARQUE EN EL PARQUE REGIONAL NATURAL JOHNNY CAY, SAN ANDRÉS ISLAS

INFORME TÉCNICO FINAL, ESTUDIOS PREVIOS

DIRECTIVOS INVEMAR

Director

Francisco A. Arias Isaza

Subdirector

Coordinación de Investigaciones
Jesús Antonio Garay Tinoco

Coordinador (E)

Programa Biodiversidad y
Ecosistemas Marinos (BEM)
Gabriel Navas Suárez

Coordinador

Programa Aprovechamiento de Recursos
Marinos Vivos (VAR)
Mario Rueda Hernández.

Coordinadora

Programa Calidad
Ambiental Marina (CAM)
Luisa Fernanda Espinosa

Coordinadora

Programa de Investigación
para la Gestión en Zonas Costeras
Paula Sierra Correa

Coordinadora

Programa Geociencias Marinas y
Costeras (GEO)
Georgina Guzmán Ospitia

Subdirector

Recursos y Apoyo a la Investigación
(SRA)
Carlos Pinilla Gpnzález

Grupo de investigadores

Coordinador de Servicios Científicos: Jefe de Proyecto

Oscar David Solano Plazas

Investigadores

Juan Carlos Márquez Hoyos

Fabián Cortés Pineda

Héctor Sáenz Betancourt

Juan Pablo Parra

Hyser Ltda.

Maryela Bolaño

Gustavo Gámez Estrada

Apoyo y Logística

John Ortiz Ruiz

junio de 2007 - Santa Marta - Colombia

Cítese como: INVEMAR, 2007. Estudios técnicos, biofísicos, oceanográficos, topográficos y de diseño para la construcción del muelle de desembarque en el Parque Regional Natural Johnny Cay, San Andrés Islas. Coordinación de Servicios Científicos, INVEMAR, Informe Técnico Final, Estudios previos para CORALINA, Santa Marta, 24 p.

Imagen portada: colonia del coral *Dendrogyra cylindrus*, tomada por Juan Carlos Márquez



TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	13
2. ALCANCES DE LOS TRABAJOS PROPUESTOS	15
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	15
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. ÁREA DE ESTUDIO.....	17
4. ANTECEDENTES DE MUELLES SIMILARES.....	19
5. METODOLOGÍA.....	25
5.1. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	25
5.2. OCEANOGRAFÍA.....	25
5.2.1. <i>Corrientes</i>	25
5.2.2. <i>Oleaje</i>	26
5.2.2.1. Oleaje en aguas profundas.....	26
5.2.2.2. Modelación de Oleaje	27
5.2.3. <i>Batimetría y perfiles de playa</i>	27
5.3. COMUNIDADES BIOLÓGICAS	27
5.3.1. <i>Sitio de muestreo y número de muestras</i>	27
5.3.2. <i>Comunidades de fondos blandos</i>	29
5.3.2.1. Fase de campo.....	29
5.3.2.2. Fase de laboratorio.....	29
5.3.2.3. Fase de gabinete.....	31
5.3.3. <i>Formaciones coralinas</i>	33
5.3.3.1. Fase de campo.....	33
5.3.3.2. Fase de gabinete.....	33
5.3.4. <i>Praderas de fanerógamas marinos</i>	34
5.3.4.1. Fase de campo.....	34
5.3.4.2. Fase de laboratorio.....	34
5.3.4.3. Fase de gabinete.....	35
5.3.5. <i>Comunidades ícticas</i>	35
5.4. CONCENTRACIONES DE HIDROCARBUROS AROMÁTICOS EN SEDIMENTOS.....	39
5.4.1. <i>Recolección y Transporte</i>	39
5.4.2. <i>Preparación de las muestras</i>	40
5.5. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL MUELLE	40
6. RESULTADOS Y CONCLUSIONES	43
6.1. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	43
6.1.1. <i>Clima</i>	43
6.1.1.1. Temperatura.....	44
6.1.1.2. Precipitación	44

4	ESTUDIOS BIOFÍSICOS, OCEANOGRÁFICOS, TOPOGRÁFICOS Y DE DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN MUELLE EN JOHNNY CAY	CORALINA
6.1.1.3.	Brillo Solar	45
6.1.1.4.	Humedad Relativa	45
6.1.1.5.	Evaporación	46
6.1.1.6.	Vientos	46
6.1.2.	<i>Geología</i>	48
6.1.2.1.	Formación de la plataforma marina	50
6.1.2.2.	Formación de la plataforma terrestre o formación San Luis	50
6.1.2.3.	Unidades de roca superficial - Calizas Coralinas Cristalinas.	50
6.1.2.4.	Lineamientos estructurales	50
6.1.2.5.	Formación calcárea de San Andrés	50
6.1.2.6.	Unidades de roca superficial	50
6.1.2.7.	Lineamiento estructural	51
6.1.2.8.	Depósitos de origen geológicos naturales	51
6.1.2.9.	Depósitos Cuaternarios	52
6.1.2.10.	Geología estructural	54
6.1.3.	<i>Geomorfología</i>	54
6.1.3.1.	Geomorfología costera	55
6.1.4.	<i>Morfodinámica</i>	56
6.1.4.1.	Procesos de erosión marina	56
6.1.4.2.	Variación en la línea de costa	56
6.2.	OCEANOGRAFÍA	56
6.2.1.	<i>Corrientes</i>	56
6.2.2.	<i>Oleaje</i>	58
6.2.2.1.	Oleaje en aguas profundas	58
6.2.2.2.	Oleaje en aguas someras (profundidades determinadas)	65
6.2.2.3.	Mareas	66
6.2.3.	<i>Batimetría y perfiles de playa</i>	68
6.3.	COMUNIDADES BIOLÓGICAS	69
6.3.1.	<i>Comunidades de fondos blandos</i>	69
6.3.1.1.	Descripción de la comunidad	69
6.3.1.2.	Análisis univariados	71
6.3.1.3.	Distribución espacial de las asociaciones	75
6.3.1.4.	Relación de los componentes Biótico y Físicoquímico	77
6.3.1.5.	Conclusiones	81
6.3.2.	<i>Formaciones coralinas</i>	82
6.3.2.1.	Especies presentes	82
6.3.2.2.	Cobertura por categorías	85
6.3.2.3.	Cobertura coralina	86
6.3.2.4.	Comparación por estaciones	93
6.3.2.5.	Análisis de ponderación de las especies coralinas (Kandoorp)	94
6.3.2.6.	Análisis de diversidad (números de Hill y curvas de K dominancia)	96
6.3.2.7.	Conclusiones	97
6.3.3.	<i>Praderas de fanerógamas marinas</i>	97
6.3.3.1.	Conclusiones	100
6.3.4.	<i>Comunidades ícticas</i>	100
6.3.4.1.	Composición de la ictiofauna	100
6.3.4.2.	Variación espacial	110
6.3.4.3.	Conclusiones	113
6.4.	CONCENTRACIONES DE HIDROCARBUROS AROMÁTICOS EN SEDIMENTOS	114
6.4.1.1.	Conclusiones	116
6.5.	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL MUELLE	116
6.6.	ESTUDIO GEOTÉCNICO	117

	ESTUDIOS BIOFÍSICOS, OCEANOGRÁFICOS, TOPOGRÁFICOS Y DE DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN MUELLE EN JOHNNY CAY	CORALINA	5
7.	RECOMENDACIONES		119
8.	BIBLIOGRAFÍA		121
9.	ANEXOS		131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 5.1. Localización de las estaciones de estudio.....	27
Tabla 6.1 Altura de ola y período del estudio realizado entre el DHI y la Universidad de los Andes en aguas profundas en Bocas de Ceniza	59
Tabla 6.2 Altura de ola y período del estudio realizado por la Universidad del Norte en aguas profundas en Bocas de Ceniza	60
Tabla 6.3 Valores de la profundidad marina en la zona del proyecto	69
Tabla 6.4 Promedios por estación (m ²) del número de familias, abundancia y biomasa húmeda (g) de la macrofauna bentónica en algunos sectores del Caribe colombiano.....	74
Tabla 6.5 Resultado del análisis multivariado (BIO-ENV) mediante el coeficiente de correlación armónico por rangos de Spearman. Combinación de 7 variables ambientales con el componente biótico para el área de estudio en diciembre de 2006. El primer valor indica la máxima correlación encontrada. [Materia orgánica (MO), sedimento tipo gránulos (S-Gr); arenas muy gruesas (S-Amg); arenas gruesas (S-Ag); arenas medias (S-Am); cieno-limo (S-CL); hidrocarburos aromáticos totales (HAT)].	79
Tabla 6.6 Variables ambientales con máximos coeficientes de correlación armónica (pw) obtenidos en diferentes estudios del Caribe colombiano. Amf, sedimento tipo arena muy fina; Af, sedimento tipo arena fina; Am, sedimento tipo arena media; Ag, sedimento tipo arena gruesa; Ci, sedimento tipo cieno; G, sedimento tipo grano; FO, fósforo orgánico MO, materia orgánica; NO, nitrógeno orgánico; NO ₂ , nitritos; OD, oxígeno disuelto; SO, saturación de oxígeno; Prof, profundidad; Turb, turbiedad; Zn, Zinc; Pb, plomo; Na, sodio; As, arsénico; HAP, hidrocarburos poliaromáticos; HAT, hidrocarburos aromáticos totales.	79
Tabla 6.7 Especies de corales escleractíneos presentes en el área de estudio	83
Tabla 6.8 Especies identificadas en los censos visuales en el mes de diciembre de 2006 en la Isla de Johnny Cay. Familia, especie, autor y año de la especie y frecuencia de aparición.	101
Tabla 6.9 Resultado de las correlaciones lineales de Pearson (r) entre las variables ecológicas de la comunidad íctica y las variables físicas del sustrato coralino. Valores significativos (p<0,05) se resaltan en negrilla.	110
Tabla 6.10 Concentración de hidrocarburos en sedimentos marinos de seis estaciones de muestreo en San Andrés Isla.	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Detalle de la ubicación de Johnny Cay dentro del contexto del Archipiélago de San Andrés Islas (Tomado y modificado de INVEMAR 2000).....	17
Figura 4.1 Ubicación de dos muelles anteriormente construidos y un espolón (Imagen tomada de Google Earth, 2006)	19
Figura 4.2 Vista desde el norte, de los muelles construidos en Johnny Cay.....	20

Figura 4.3 Muelle construido en Johnny Cay, actualmente en ruinas.....	20
Figura 4.4 Formación arrecifal en la que esta apoyado el cayo.	21
Figura 4.5 Detalle de un espolón sumergido en cercanías al antiguo muelle.....	21
Figura 4.6 Muelle flotante en servicio restringido actualmente. con sus cimientos y base en concreto	22
Figura 4.7 Muelle flotante: a. Base en concreto en la entrada a la plataforma. b. Vigas en concreto para soportar la plataforma	23
Figura 4.8 Plataforma del muelle flotante en uso restringido actualmente..	23
Figura 5.1 Medición de la dirección y velocidad de la corriente.....	25
Figura 5.2 Ubicación de las estaciones de estudio. Imagen de fondo Isla de San Andrés y ubicación de Johnny Cay. Recuadros Johnny Cay en donde se señalan en círculos de colores: a) estaciones de bentos, b) estaciones corales y peces y c) estaciones fanerógamas.	28
Figura 5.3 Toma de muestras de sedimentos con corazonador para el componente de bentos.	29
Figura 5.4 Empleo de censos visuales en el área de estudio, mediante la técnica del transecto de banda.	36
Figura 5.5 Curvas de diversidad acumulada de especies contra el número de transectos (10 m cada uno). Número de permutaciones empleadas 9999.	37
Figura 5.6 Distribución de estaciones de muestreo de hidrocarburos en la Isla Jhonny Cay.	39
Figura 6.1 Localización de la Zona de Convergencia Intertropical a) Estación seca. b) Época de transición. c) Época húmeda. (Andrade, 2000)	43
Figura 6.2 Variación de los vientos en el Caribe (THESE A L'UNIVERSITE DE BORDEAUX)	46
Figura 6.3 Rosa de los Vientos de la zona de San Andrés y Providencia	48
Figura 6.4 Mapa Geológico de la Isla de San Andrés y el cayo Johnny Cay.....	49
Figura 6.5 Mapa Fisiográfico de San Andrés (IGAC, 1980).....	55
Figura 6.6 Corrientes marinas en el Mar Caribe (THESE A L'UNIVERSITE DE BORDEAUX I. por FREDERIC LEBLAC)	57
Figura 6.7 Oleaje típico del Mar Caribe (Ocean Graphic Atlas of the North Atlantic Ocean)	59
Figura 6.8 Ubicación del sector de oleaje	60
Figura 6.9 Rosa de Olas en aguas profundas para el área de influencia de la Isla de San Andrés	61
Figura 6.10 Cálculo del oleaje Norte, en el punto de estudio seleccionado con profundidad indefinida; obteniendo altura de ola y periodo pico	62
Figura 6.11 Cálculo del oleaje Este, en el punto de estudio seleccionado con profundidad indefinida; obteniendo altura de ola y periodo pico	63
Figura 6.12 Cálculo del oleaje Sur, en el punto de estudio seleccionado con profundidad indefinida; obteniendo altura de ola y periodo pico	64
Figura 6.13 Entrada del programa Olas para cálculo de oleaje de diseño	66
Figura 6.14 Cálculo del oleaje este, en el punto de estudio seleccionado con profundidad definida; obteniendo altura de ola y periodo pico.....	67
Figura 6.15 Distribución porcentual de la abundancia entre los diferentes taxones de los organismos bentónicos registrados en el área de estudio.	70
Figura 6.16 Distribución porcentual de la abundancia de las principales familias de los organismos bentónicos registrados en el área de estudio. (ol) oligoqueto; (po) poliqueto; (ne) nemátodo.	70
Figura 6.17 Representación gráfica de la abundancia (número de individuos * 0,111 m ²) y biomasa (kg * 0,111 m ²), en cada una de las estaciones de muestreo.	71

8 ESTUDIOS BIOFÍSICOS, OCEANOGRÁFICOS, TOPOGRÁFICOS Y DE DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN MUELLE EN JOHNNY CAY CORALINA

- Figura 6.18 Representación gráfica del número de familias y de la riqueza de Margalef (d'), en cada una de las estaciones de muestreo..... 72
- Figura 6.19 a) Representación gráfica del índice de uniformidad de Pielou (J') y del índice de diversidad de Shannon-Wiener H' (\log_2); b) Diagrama de dispersión de puntos de los índices, en cada una de las estaciones de muestreo 73
- Figura 6.20 Curvas acumuladas (ABC), de comparación entre abundancia y biomasa, para cada una de las estaciones de muestreo en el área de estudio..... 75
- Figura 6.21 Curvas parciales (ABC), de comparación entre abundancia y biomasa, para cada una de las estaciones de muestreo en el área de estudio. 76
- Figura 6.22 Resultado del análisis de clasificación mediante el índice de similaridad de Bray-Curtis del componente biológico en cada una de las estaciones. Ligamiento promedio no ponderado UPGMA. 76
- Figura 6.23 Resultado del análisis de ordenación, mediante la técnica de escalamiento multidimensional no métrico (nMDS), combinado con el análisis de clasificación. Los grupos encerrados A y B, corresponden a los grupos formados en el dendrograma. Nivel de estrés = 0 (9999 reiteraciones)..... 77
- Figura 6.24 Análisis inverso de Kaandorp, sobre la estructura comunitaria, basado en las agrupaciones encontradas en el análisis de clasificación. Especies exclusivas en cada agrupación con abundancias del 100%. Las especies características se encuentran subrayadas y presentan abundancias superiores al 90% y frecuencias de ocurrencia del 100%. 78
- Figura 6.25 Superposición de valores de las variables abióticas (sedimentos tipo cieno-limo, sedimentos tipo arenas muy finas, e hidrocarburos aromáticos totales), sobre el análisis de ordenación nMDS de la macrozoofauna bentónica de la isla de Johnny Cay. El tamaño del punto representa la magnitud de la variable. 81
- Figura 6.26 Algunas de las especies coralinas presentes en el área de estudio. a) *Millepora complanata*, b) *Isophyllastrea rigida*, c) *Montastraea annularis*, d) *Diploria labyrinthiformis*, e) *Eusmilia fastigiata*, f) *Acropora cervicornis*, g) *Porites porites*, h) *Siderastrea siderea*, i) *Stephanocoenia michelinii*, j) *Diploria clivosa*, k) *Montastraea faveolata*, y l) *Madracis mirabilis*..... 84
- Figura 6.27 Porcentaje de cobertura de cada una de las categorías de sustrato. Las barras indican el error estándar..... 85
- Figura 6.28 Porcentaje de cobertura de cada una de las categorías de sustrato para cada estación: a) estación 1, b) estación 2, c) estación 3, d) estación 4, e) estación 5, y f) estación 6. Columnas indican el valor promedio y las barras el error estándar..... 86
- Figura 6.29 Porcentaje relativo de cobertura de cada especie coralina en todas las estaciones. Las abreviaturas de las especies son: aaga= *Agaricia agaricites*, acer= *Acropora cervicornis*, aten= *Agaricia tenuifolia*, cnat= *Colpophyllia natans*, dcli= *Diploria clivosa*, dlab= *Diploria labyrinthiformis*, dsto= *Dichocoenia stokesii*, dstr= *Diploria strigosa*, efas= *Eusmilia fastigiata*, ffra= *Favia fragum*, irig= *Isophyllastrea rigida*, isin= *Isophyllia sinuosa*, malc= *Millepora alcicornis*, mann= *Montastraea annularis*, mare= *Manicina areolata*, mcav= *Montastraea cavernosa*, mcom= *Millepora complanata*, mdec= *Madracis decactis*, mfav= *Montastraea faveolata*, mfra= *Montastraea franksi*, mmea= *Meandrina meandrites*, past= *Porites astreoides*, ppor= *Porites porites*, smic= *Stephanocoenia michillini*, srad= *Siderastrea radians* y, ssid= *Siderastrea siderea*. 87
- Figura 6.30. a) Porcentaje relativo de cobertura de cada especie coralina: aaga= *Agaricia agaricites*, cnat= *Colpophyllia natans*, dcli= *Diploria clivosa*, dstr= *Diploria strigosa*, ffra= *Favia*

- fragum*, isin=*Isophyllia sinuosa*, mann=*Montastraea annularis*, mcom=*Millepora complanata*, past=*Porites astreoides*, ppor=*Porites porites* y, ssid=*Siderastrea siderea*. b) Fotografía de la especie de hidrocoral *Millepora complanata* en la estación 1. 88
- Figura 6.31. a) Porcentaje relativo de cobertura de cada especie: aaga=*Agaricia agaricites*, dcli=*Diploria clivosa*, dlab=*Diploria labyrinthiformis*, dstr=*Diploria strigosa*, ffra=*Favia fragum*, mcom=*Millepora complanata*, past=*Porites astreoides*, ppor=*Porites porites*, smic=*Stephanocoenia michillini* y, srad=*Siderastrea radians*. b) Panorámica de la estación dos. 89
- Figura 6.32. a) Porcentaje relativo de cobertura de cada especie coralina. Las abreviaturas de las especies son: aaga=*Agaricia agaricites*, cnat=*Colpophyllia natans*, dcli=*Diploria clivosa*, dlab=*Diploria labyrinthiformis*, dsto=*Dichocoenia stokesii*, dstr=*Diploria strigosa*, efas=*Eusmilia fastigiata*, ffra=*Favia fragum*, irig=*Isophyllastrea rigida*, isin=*Isophyllia sinuosa*, mann=*Montastraea annularis*, mcav=*Montastraea cavernosa*, mfav=*Montastraea faveolata*, mmea=*Meandrina meandrites*, past=*Porites astreoides*, ppor=*Porites porites*, srad=*Siderastrea radians* y, ssid=*Siderastrea siderea*. b) Ambiente de plataforma calcárea somera. c) Ambiente de Vertiente y d) Ambiente de acantilado. 90
- Figura 6.33. a) Porcentaje relativo de cobertura de cada especie coralina. Las abreviaturas de las especies son: aaga=*Agaricia agaricites*, aten=*Agaricia tenuifolia*, cnat=*Colpophyllia natans*, dlab=*Diploria labyrinthiformis*, dsto=*Dichocoenia stokesii*, dstr=*Diploria strigosa*, efas=*Eusmilia fastigiata*, ffra=*Favia fragum*, isin=*Isophyllia sinuosa*, mann=*Montastraea annularis*, mcav=*Montastraea cavernosa*, mfav=*Montastraea faveolata*, mmea=*Meandrina meandrites*, past=*Porites astreoides*, ppor=*Porites porites*, smic=*Stephanocoenia michillini*, srad=*Siderastrea radians* y, ssid=*Siderastrea siderea*. b) Panorámica de las estación 4. ... 91
- Figura 6.34. a) Porcentaje relativo de cobertura de cada especie coralina. Las abreviaturas de las especies son: aaga=*Agaricia agaricites*, aten=*Agaricia tenuifolia*, dcli=*Diploria clivosa*, dlab=*Diploria labyrinthiformis*, dstr=*Diploria strigosa*, efas=*Eusmilia fastigiata*, ffra=*Favia fragum*, malc=*Millepora alcicornis*, mann=*Montastraea annularis*, mcom=*Millepora complanata*, past=*Porites astreoides*, ppor=*Porites porites*, srad=*Siderastrea radians* y, ssid=*Siderastrea siderea*. b) Panorámica de la estación 5. 92
- Figura 6.35. a) Porcentaje relativo de cobertura de cada especie coralina. Las abreviaturas de las especies son: aaga=*Agaricia agaricites*, acer=*Acropora cervicornis*, aten=*Agaricia tenuifolia*, cnat=*Colpophyllia natans*, dlab=*Diploria labyrinthiformis*, efas=*Eusmilia fastigiata*, isin=*Isophyllia sinuosa*, malc=*Millepora alcicornis*, mann=*Montastraea annularis*, mare=*Manicina areolata*, mcav=*Montastraea cavernosa*, mdec=*Madracis decactis*, mfav=*Montastraea faveolata*, mfra=*Montastraea franksi*, past=*Porites astreoides*, ppor=*Porites porites*, smic=*Stephanocoenia michillini*, srad=*Siderastrea radians* y, ssid=*Siderastrea siderea*. b) Vertientes con colonias de *Montastraea faveolata*. c) Colonia de *Acropora cervicornis*. 92
- Figura 6.36. Análisis de clasificación en donde se hacen evidentes los dos grupos de estaciones grupo (A) estaciones 1, 2 y 5, grupo (B) estaciones 3, 4 y 6. Se utilizó Bray-Curtis como índice de asociación, la escala de similaridad va de 0 a 100. 93
- Figura 6.37. Análisis escalamiento multidimensional no métrico en donde se muestran los dos grupos de estaciones grupo (A) estaciones 1, 2 y 5, grupo (B) estaciones 3, 4 y 6. 94
- Figura 6.38. Análisis inverso de las estaciones en la comunidad marina. Concentración de la abundancia en o más de 70% (*****), hasta o más de 90% (°°°°°). Se muestran las especies generalistas (nivel A-B) , exclusivas (eeeeee) y características (subrayadas) para cada uno de los grupos. 95

10 ESTUDIOS BIOFÍSICOS, OCEANOGRÁFICOS, TOPOGRÁFICOS Y DE DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN MUELLE EN JOHNNY CAY CORALINA

Figura 6.39 Comparación de las estaciones de muestreo en términos del índice de equitatividad de Pielou (J') y de los números de Hill (N0, N1 y N2).....	96
Figura 6.40 Comparación de los grupos en términos del índice de equitatividad de Pielou (J') y de los números de Hill (N0, N1 y N2).	96
Figura 6.41 Curvas de K-dominancia para los dos grupos establecidos	97
Figura 6.42. Estaciones de fanerógamas. a) Flora acompañante; b) Paisaje en una de las estaciones; c) acercamiento a una pradera de <i>Siringodium filiforme</i> ; d) Pradera de <i>Thalassia testudinum</i> con el cuadrante usado para cuntificar vástagos y estimar la densidad.....	99
Figura 6.43 Densidad de vástagos por metro cuadrado en cada una de las estaciones	99
Figura 6.44 Biomasa por metro cuadrado	100
Figura 6.45 Algunas de las especies de peces encontradas en el área de muestreo: a. <i>Holacanthus ciliaris</i> ; b. <i>Holocentrus adscensionis</i> ; c. <i>Chromis cyanea</i> ; d. <i>Pomacanthus arcuatus</i> ; e. <i>Chaetodon striatus</i> ; f. <i>Chaetodon capistratus</i> ; g. <i>Serranus tigrinus</i> ; h. <i>Halichoeres garnoti</i> ; i. <i>Haemulon flavolineatum</i> ; j. <i>Melichthys niger</i> ; k. <i>Haemulon plumieri</i> (arriba) y <i>Lutjanus apodus</i> (abajo); l. <i>Cephalopholis fulva</i> ; m. <i>Haemulon parra</i> (arriba) y <i>Mulloidichthys martinicus</i> (abajo); n. <i>Carangoides ruber</i> ; ñ. <i>Monacanthus tuckeri</i> ; o. <i>Malacanthus plumieri</i> ; p. <i>Acanthurus coeruleus</i> ; q. <i>Thalassoma bifasciatum</i> (fase juvenil, inicial y terminal).	105
Figura 6.46 Composición porcentual de la abundancia de las principales especies observadas mediante la técnica de censos visuales en las estaciones de muestreo.	106
Figura 6.47 Representación del número de especies y número de familias observados mediante la técnica de censos visuales en las estaciones de muestreo.	107
Figura 6.48 Representación del índice de dominancia de los números de Hill; índice de uniformidad de Pielou e índice de diversidad de Shannon-Wiener, de las especies observadas mediante la técnica de censos visuales en las estaciones de muestreo.	109
Figura 6.49 Resultado del análisis de clasificación mediante el índice de similaridad Bray-Curtis y del análisis de ordenación nMDS. Los grupos encerrados A, B y C corresponden a los grupos formados en el dendrograma.	111
Figura 6.50 Análisis inverso de Kaandorp de las especies observadas mediante la técnica de censos visuales en las estaciones de muestreo. Las especies exclusivas presentan abundancias relativas del 100% y las especies características con abundancias relativas del 100% y frecuencia relativa del 100% se encuentran subrayadas.....	112
Figura 6.51 Vista de Johnny Cay a. Zona de Playa, vista a San andrés, b. Zona de playa en la parte sur	117
Figura 6.52 Ubicación estrato rocoso en la zona del proyecto	118

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Abundancia por estación (Nº individuos/0,110 m ²), de la macroinfauna bentónica asociada a fondos blandos alrededor de la isla de Johnny Cay, durante el mes de diciembre de 2006.....	131
Anexo 2. Biomasa húmeda por estación (Nº individuos/0,110 m ²), de la macroinfauna bentónica asociada a fondos blandos alrededor de la isla de Johnny Cay, durante el mes de diciembre de 2006.....	133

- Anexo 3. Variación de la proporción de sedimento de acuerdo al tamaño del grano, registrados para cada una de las estaciones de muestreo en el área de estudio, durante el mes de diciembre de 2006. Sedimento tipo gránulos (S-Gr); arenas muy gruesas (S-Amg); arenas gruesas (S-Ag); arenas medias (S-Am); arenas finas (S-Af); arenas muy finas (S-Amf); cienos y limos (S-CL). 135
- Anexo 4. Variables ambientales tenidas en cuenta para relacionar con el componente biológico. Variables seleccionadas del sedimento: HAP: hidrocarburos poliaromáticos ($\mu\text{g/g}$); HAM: hidrocarburos monoaromáticos ($\mu\text{g/g}$); HAT: hidrocarburos aromáticos totales ($\mu\text{g/g}$); MO: materia orgánica (%); granulometría (%): S-Gr: sedimento tipo gránulos; S-Amg: sedimento tipo arena muy gruesa; S-Ag: sedimento tipo arena gruesa; S-Am: sedimento tipo arena media; S-Af: sedimento tipo arena fina; S-Amf: sedimento tipo arena muy fina; S-CL: sedimento tipo cienos y limos. 136
- Anexo 5. Resultados de la correlación de Pearson de pares de variables ambientales. Correlaciones superiores a $r > 0,9$ y valores de significancia inferiores a 0,05 se resaltan en negrilla. HAP: hidrocarburos poliaromáticos ($\mu\text{g/g}$); HAM: hidrocarburos monoaromáticos ($\mu\text{g/g}$); HAT: hidrocarburos aromáticos totales ($\mu\text{g/g}$); MO: materia orgánica (%); granulometría (%): S-Gr: sedimento tipo gránulos; S-Amg: sedimento tipo arena muy gruesa; S-Ag: sedimento tipo arena gruesa; S-Am: sedimento tipo arena media; S-Af: sedimento tipo arena fina; S-Amf: sedimento tipo arena muy fina; S-CL: sedimento tipo cienos y limos. 137
- Anexo 6. Gráfico de dispersión de puntos entre pares de variables ambientales (Draftsman plot). HAP: hidrocarburos poliaromáticos ($\mu\text{g/g}$); HAM: hidrocarburos monoaromáticos ($\mu\text{g/g}$); HAT: hidrocarburos aromáticos totales ($\mu\text{g/g}$); MO: materia orgánica (%); granulometría (%): S-Gr: sedimento tipo gránulos; S-Amg: sedimento tipo arena muy gruesa; S-Ag: sedimento tipo arena gruesa; S-Am: sedimento tipo arena media; S-Af: sedimento tipo arena fina; S-Amf: sedimento tipo arena muy fina; S-CL: sedimento tipo cienos y limos. 138

**12 ESTUDIOS BIOFÍSICOS, OCEANOGRÁFICOS, TOPOGRÁFICOS Y DE
DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN MUELLE EN JOHNNY CAY** **CORALINA**

1. INTRODUCCIÓN

El turismo en el Caribe es una actividad creciente, el atractivo de sus blancas playas, las aguas cristalinas y su colorido, todo ello favorecido por la presencia de arrecifes, hace de estos parajes, lugares atrayentes. En Colombia, la isla de San Andrés es uno de los más importantes destinos turísticos, buena parte de su economía actual y futura está sustentada en el valor paisajístico-recreativo que proporciona el entorno natural marino, fundamentalmente coralino o relacionado con éste (Díaz et al., 1995). Aunque en años anteriores su economía se sustentaba en gran parte en el comercio, pues fue declarada puerto libre a mediados de los cincuenta, actualmente y debido a las tendencias nacionales e internacionales de globalización de mercados, el turismo es ahora su principal actividad económica, es así que actualmente, los esfuerzos gubernamentales se enfocan en este sentido (CITA). Johnny Cay, un pequeño cayo de origen coralino situado a pocos metros al norte de San Andrés, tiene un lugar destacado en las actividades turísticas de la Isla, es el principal destino turístico y el lugar más visitado en la Reserva de la Biosfera Seaflower, que comprende al Archipiélago de San Andrés Providencia y Santa Catalina así como todos los Cayos aledaños (www.coralina.org.co). Esta circunstancia es una consecuencia de su cercanía a la Isla de San Andrés y al lugar de mayor movimiento y desarrollo turístico en ésta.

El deterioro de los arrecifes y ambientes asociados, como los pastos marinos y fondos blandos es a menudo causado por el incremento en el turismo, a través de daño directo de la construcción no regulada y de la operación irresponsable de facilidades turísticas. El turismo masivo representa una amenaza a los arrecifes y a los ingresos que estos proveen a las poblaciones locales.

El turismo sostenible, por otro lado, es una fuente de ingresos para la gente en las áreas arrecifales, incluso se constituye como una alternativa a las prácticas pesqueras destructivas (Cesar *et al.*, 2003). En este sentido y en el caso particular de Johnny Cay en la Islas de San Andrés, se está procurando desde hace algunos años, darle éste enfoque sostenible al turismo masivo que se concentra en este cayo, es así que en el año 2002 éste fuera declarado Parque Regional por la Corporación para el Desarrollo Sostenible del Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina (CORALINA), para así dar solución a los innumerables problemas ambientales que el turismo masivo estaba presentando para sus ambientes naturales asociados (<http://www.sanandres.gov.co/>). "En busca de su sostenibilidad ambiental, social y económica, en octubre del 2004, se inicia de manera permanente el cobro de la tarifa ecológica de ingreso al parque, con el fin de recaudar recursos necesarios para su manejo ambiental". Se han instalado baños de compostaje, se adelanta la señalización de los senderos del parque, la construcción de la torre de salvamento y un centro de información ambiental. Uno de los proyectos más importantes y que han generado gran expectativa es la construcción de un muelle turístico de desembarque que ayude a organizar y regular el turismo pero que además

**14 ESTUDIOS BIOFÍSICOS, OCEANOGRÁFICOS, TOPOGRÁFICOS Y DE
DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN MUELLE EN JOHNNY CAY CORALINA**

garantice una mayor seguridad y menor riesgo de accidentes para las personas que ingresan al parque (<http://www.coralina.gov.co/>).

Los arrecifes coralinos y los ecosistemas y hábitat asociados a estos como las praderas de fanerógamas marinas y fondos blandos entre otros, por sus características productivas y de diversidad han propiciado los asentamientos humanos en sus inmediaciones. De ellos derivamos sustento alimenticio y económico, además, puesto que son lugares protegidos contra los embates de los tsunamis y huracanes y del efecto erosivo del oleaje por los mismos arrecifes, son adecuados para establecer infraestructura. Adicionalmente y desde hace unos años los organismos que lo conforman y en ellos habitan, son fuente de sustancias activas con gran potencial en la industria farmacéutica (Davidson, 2002; Burke y Maidens, 2004).

Todo lo anterior representa para la economía a nivel mundial cerca de 30 billones de dólares al año en bienes y servicios netos, de estos la actividad económica que mayor beneficios proporciona es el turismo y la recreación con un aporte de 9.6 billones de dólares del total arriba indicado (Cesar *et al.*, 2003).

Este estudio pretende crear la línea base del componente biológico, oceanográfico y topográfico, como parte de los requisitos ambientales para la construcción del muelle turístico. En él, se estudiaron las comunidades coralinas, ícticas, de pastos marinos y fauna béntica en los alrededores de Johnny Cay. También, se incluyen los estudios técnicos oceanográfico y topográfico, necesarios para la elección del sitio de construcción del mismo.

Además de lo anterior, explícito y escrito en el presente informe, se entregará un documento adicional con el diseño (dos alternativas de construcción) y las características arquitectónicas y de ingeniería ideales para la creación y montaje del muelle turístico en Johnny Cay.

2. ALCANCES DE LOS TRABAJOS PROPUESTOS

Los alcances generales y específicos de este proyecto siguen en líneas generales los términos del convenio entre CORALINA y el INVEMAR para el desarrollo de los estudios anteriormente mencionados y que se resumen a continuación.

2.1. OBJETIVO GENERAL

Elaborar los estudios técnicos, biofísicos, oceanográficos, topográficos y el diseño del muelle de desembarque turístico en el Parque Regional Natural Johnny Cay.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar el clima, corrientes, olas, mareas y en general la dinámica marina del área de estudio.
- Caracterización general de las principales comunidades marinas presentes en el área de influencia del futuro muelle (fondos blandos, corales, fanerógamas y peces).
- Hacer el levantamiento topográfico del sitio de ubicación del muelle
- De acuerdo a los resultados de los estudios realizados, justificar y recomendar el sitio más adecuado para la construcción del muelle, así como las características del mismo.

**16 ESTUDIOS BIOFÍSICOS, OCEANOGRÁFICOS, TOPOGRÁFICOS Y DE
DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN MUELLE EN JOHNNY CAY** **CORALINA**

3. ÁREA DE ESTUDIO

Johnny Cay es un pequeño cayo (45,574 m²) ubicado a 2 Km. al norte de Isla de San Andrés (Figura 3.1) frente al sitio conocido como Sprat Bight, está localizado entre las coordenadas geográficas 12° 36'12,6"-12°36'5,5" N y 81°41'31,1"- 81°41'37,9" W. Del área total 15.342 m² corresponden a cobertura vegetal, 10.476 m² al área de playa y 19.756 m² a las áreas de restaurantes, zonas de recreación, tráfico al interior del cayo y otras facilidades e infraestructuras presente. La zona marina tiene un área arrecifal emergida de 3.837 m², caracterizada por arrecifes de barrera y franjeantes. (Plan de Manejo Parque Natural "Johnny Cay Regional Park", Coralina <http://www.coralina.gov.co/>)

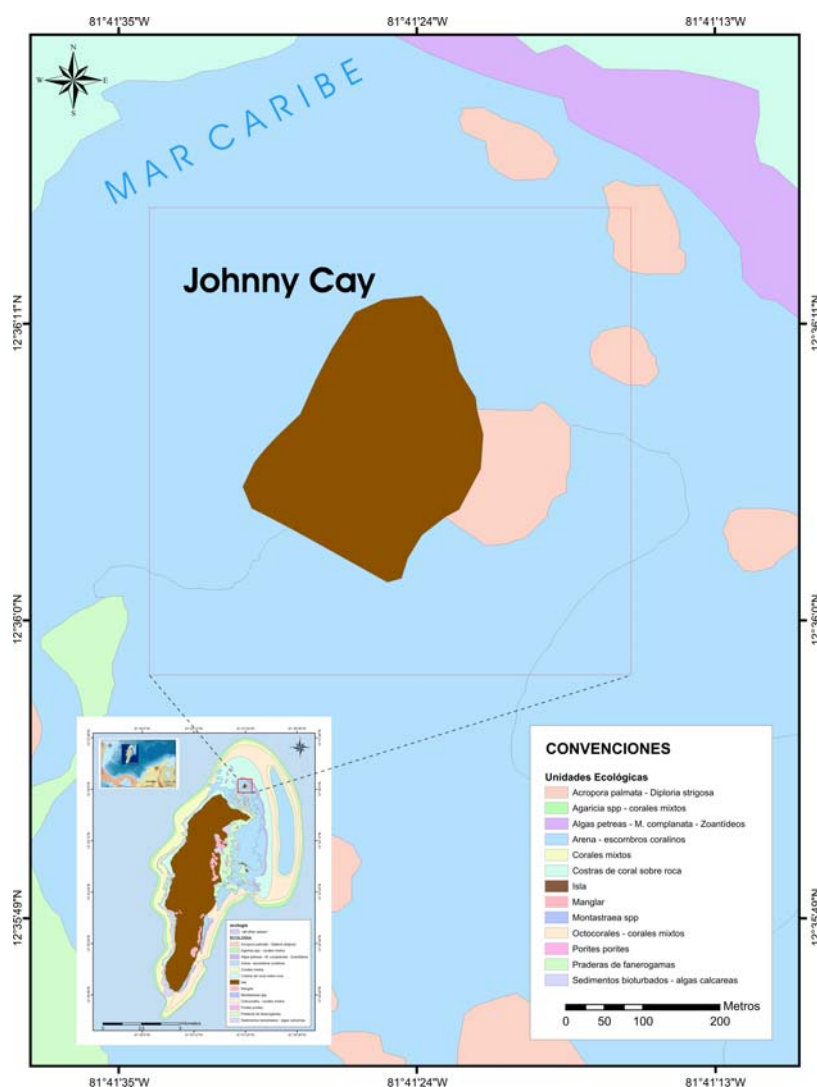


Figura 3.1 Detalle de la ubicación de Johnny Cay dentro del contexto del Archipiélago de San Andrés Islas (Tomado y modificado de INVEMAR 2000)

Este cayo hace parte del sistema coralino con mayor desarrollo en la Isla, sobre el costado norte, sin embargo y por encontrarse inmediatamente después (a sotavento) de la barrera coralina es un lugar de alta energía a donde desemboca el sistema de canales y espolones que generan fuertes corrientes y oleaje, todo lo cual hace de esta zona un lugar de características particulares en cuanto a sus ambientes naturales. Las formaciones coralinas, además de la barrera, son escasas, al igual que las praderas de pastos marinos de las cuales solo se ubicaron algunos parches monoespecíficos de pequeño tamaño entre los fondos de arena. La arena a su vez es el componente de mayor cobertura alrededor del Cayo.

La isla o cayo está cubierta principalmente por arbustos como el cedro playero *Suriana maritima* cocoteros *Cocos nucifera* y el necal *Tournefortia hirsutissima*, en cuanto a su fauna se observan iguanas y cangrejos como Cangrejos shankys *Gecarcinus laterales* y el Cangrejo negro *Gecarcinus ruricola* (Plan de Manejo Parque Natural "Johnny Cay Regional Park", Coralina <http://www.coralina.gov.co/>). Aunque no está habitado posee infraestructura turística, principalmente restaurantes y una torre de salvamento y centro de información ambiental.

4. ANTECEDENTES DE MUELLES SIMILARES

Con base en la necesidad de prestar un servicio de transporte al cúmulo de turistas que visitaban el cayo, en los años 50, se construyó el primer muelle de desembarco en Johnny Cay el cual se fue deteriorando con el tiempo por efecto del oleaje y los huracanes registrados hasta la fecha, hasta no ser viable su uso. En 1987 se construyó nuevamente un embarcadero, cuya duración no logró superar el periodo de diseño; a fin de recuperarlo, se implementó una obra costera mediante la construcción de un espolón, el cual también fue destruido por la acción de las olas y cuyos restos se encuentran sumergidos. En la actualidad, existe un muelle flotante que está en alto grado de deterioro y en servicio restringido, lo que obliga al acceso del personal desde las embarcaciones hacia la playa en forma directa. En la Figura 4.1 se aporta una fotografía satelital, que indica la ubicación de las tres estructuras construidas para habilitar y proteger la posibilidad de embarque de turistas.

En el registro fotográfico de la Figura 4.2 se aprecia una vista que incluye, el primer muelle totalmente destruido; más atrás, el muelle construido en 1987; y al fondo se observa la Isla de San Andrés, sitio del cual provienen las embarcaciones que transportan los turistas.



Figura 4.1 Ubicación de dos muelles anteriormente construidos y un espolón (Imagen tomada de Google Earth, 2006)



Figura 4.2 Vista desde el norte, de los muelles construidos en Johnny Cay.

Aproximadamente a 165 m desde el extremo norte, está la zona que recibe el oleaje más atenuado de todo el cayo, razón por la cual se ubicaron allí las obras para desembarque. Sin embargo, no han logrado dar el servicio por mayor tiempo, ya que con el paso de los huracanes y el oleaje permanente se han destruido, siendo necesario su reemplazo, actualmente se encuentran deteriorados, tal como lo muestran las fotografías de la Figura 4.3. Se aprecia un muelle flotante del que aún quedan las bases; fue construido en 1987 por Michael Pechtal, tiene 32 m de longitud (tarima), área de 96 m², flotante de 8 módulos y 12 flotadores. De dicho muelle solo se encuentran las bases de tierra, la parte flotante fue destruida. Los muertos circulares, que servían de amarre al muelle, de 1 m de diámetro y 0,5 m de altura están deteriorados.



Figura 4.3 Muelle construido en Johnny Cay, actualmente en ruinas.

En la Figura 4.4 se puede apreciar cómo el cayo está sustentado sobre roca coralina fósil, de gran resistencia y durabilidad, la cual emerge como una barrera arrecifal. Los pilotes del muelle

más antiguo están cimentados sobre dicha roca como lo registra la Figura 4.4. Se observa que a pesar del tiempo los pilotes se mantienen en el lugar donde se hincaron, es decir sobre este mando, en otros sitios están en el suelo.



Figura 4.4 Formación arrecifal en la que esta apoyado el cayo.

El espolón construido para protección del muelle se encuentra actualmente destruído y sumergido (Figura 4.5) con gran cantidad de roca y varillas de hierro.



Figura 4.5 Detalle de un espolón sumergido en cercanías al antiguo muelle

Después de la destrucción del primer muelle, se adelantaron las gestiones gubernamentales, para habilitar un nuevo sitio de embarque y desembarque, construyendo en 1987 otro muelle flotante, pero esta vez a 60 mts de distancia del anterior; con una plataforma en madera soportada al emerger del agua sobre una base en concreto que se inicia donde termina la base coralina arrecifal (Figura 4.6).



Figura 4.6 Muelle flotante en servicio restringido actualmente. con sus cimientos y base en concreto

La plataforma fue construida sobre pilotes de concreto con un radio de 1 m aproximadamente (Figura 4.7). Como soporte longitudinal, sobre los pilotes, tiene dos vigas de concreto con ancho de 0,20 mts y altura escalonada de 0,60 m aproximadamente, la cual tiene variaciones; dichas vigas están en un alto grado de deterioro, ya que están fracturadas y por consiguiente el refuerzo está totalmente corroído por efectos del agua salina y la exposición a la interperie. La plataforma tiene disposición de travesaños de madera (Figura 4.8) sobre las vigas de concreto.



Figura 4.7 Muelle flotante: a. Base en concreto en la entrada a la plataforma. b. Vigas en concreto para soportar la plataforma



Figura 4.8 Plataforma del muelle flotante en uso restringido actualmente..

5. METODOLOGÍA

5.1. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

Respecto a esta actividad, primordial en el estudio, se hicieron visitas y consultas en las instalaciones de CORALINA en San Andrés y hubo revisión de la documentación disponible para el área, tanto climatológica como oceanográfica en bases de datos nacionales y regionales.

5.2. OCEANOGRAFÍA

La visita de campo para hacer reconocimiento del terreno del proyecto y las áreas adyacentes, toma de data oceanográfica, batimétrica, topográfica y registros fotográficos, se efectuó entre los días 3 y 6 de Noviembre de 2006, con la participación del Cap. Alvaro Mendoza Mazzeo, Oceanógrafo físico, Guillermo Díaz, Ing. Geodesta Arquitecto y la Srta. Elina Acosta, Esp. Ambiental.

5.2.1. *Corrientes*

Durante los días 4 y 5 de noviembre de 2006 se midieron corrientes utilizando, Boyas de deriva, con aletas estabilizadoras a un metro de profundidad, con muy poca superficie bélica (Figura 5.1)

Se efectuó la medición de corrientes dentro de tres días en horas de pleamar y bajamar, con variadas condiciones de viento con el fin de determinar la mejor condición de abrigo. Las observaciones se tomaron sobre embarcaciones que prestan el servicio turístico a Johnny Cay con el fin de identificar las características de la embarcación tipo.



Figura 5.1 Medición de la dirección y velocidad de la corriente

26 ESTUDIOS BIOFÍSICOS, OCEANOGRÁFICOS, TOPOGRÁFICOS Y DE DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN MUELLE EN JOHNNY CAY

CORALINA

La boya se encontraba equipada con un receptor de GPS Garmin, ETREX VISTA con corrección diferencial WAAS vía satelital: el cual permitió graficar la dirección y velocidad de la corriente a un metro de profundidad (calado de la embarcación tipo).

5.2.2. Oleaje

Dada la limitación de información relacionada con el clima de oleaje para la costa colombiana, se recopiló y analizó la información de diferentes fuentes disponibles para el área del Caribe Colombiano.

A continuación se presenta una descripción general de la información utilizada para el presente proyecto:

- Se consultó la información disponible en proyectos costeros desarrollados por el Laboratorio de Ensayos Hidráulicos de Las Flores, la cual comprende observaciones realizadas en el Caribe durante el periodo enero de 1962 – diciembre de 1987, en el área comprendida entre los 10° y 20° de latitud Norte y los 60° y 80° de longitud Oeste, proviene de la base de datos recolectada y clasificada por la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) a partir de información suministrada principalmente por embarcaciones oceanográficas o navíos mercantes que voluntariamente reportan las observaciones meteorológicas que realizan rutinariamente, de acuerdo con los lineamientos de la Organización Meteorológica Mundial (WMO). Estos datos distinguen el oleaje según su relación con el viento local (Seas), y oleaje generado fuera del sitio de observación (Swell). La información de oleaje disponible frente al mar Caribe, está comprendida hasta 80° de longitud Oeste.
- Por otra parte, se contó con la información disponible en la base de datos del programa OLAS, desarrollado por DIMAR para las zonas costeras colombianas, dentro del proyecto de investigación del Centro de Control de Contaminación del Pacífico, el cual es un modelo de las características oceánicas de las dos costas colombianas; con información de oleaje y batimétrica para análisis y diseños de estudios costeros, desarrollado en conjunto con la Universidad de Cantabria y la Armada Nacional de Colombia.
- Adicionalmente, se tuvo en cuenta información relacionada con ciclones que han afectado el área del Caribe.

5.2.2.1. Oleaje en aguas profundas

Debido a que el Archipiélago de San Andrés no cuenta con un estudio de clima marítimo en aguas profundas se realizó un análisis a partir de la siguiente información:

- Gráficas de oleaje del Océano Graphic Atlas of the North Atlantic Ocean, (1964).
- Estudios realizados por la Universidad del Norte. (1989).

- Estudios realizados por la Universidad de los Andes en conjunto con el Laboratorio de Hidráulica de Dinamarca (DHI). (1993).

A partir de la información anteriormente citada, se realizaron análisis para determinar el oleaje típico en aguas profundas.

5.2.2.2. *Modelación de Oleaje*

Por otra parte con la base de datos del modelo OLAS de DIMAR, se determinó el oleaje en aguas profundas para el sector del Archipiélago de San Andrés.

5.2.3. *Batimetría y perfiles de playa*

Como base fundamental para conocer la forma de la superficie marina de la zona donde se ha de ubicar el muelle; se realizó un levantamiento batimétrico, en el cual se emplearon receptores de G.P.S. de alta precisión Marca Ashtech, referencias Reliance enlazados con el software oceanohidrográfico HYPACK y los cálculos de post-proceso con los software PRISM, Terra Model, Reliance para cálculo de posiciones estáticas y dinámicas con corrección diferencial. Las profundidades se midieron con ecosonda electrónica de precisión marca Furuno FMV-605. Las cotas de los puntos se registran en metros con corrección por altura de la marea.

Durante el proceso se generaron archivos de posiciones capturadas en coordenadas geográficas, utilizando como base del sistema el elipsoide *W.G.S. 84* y luego mediante procedimientos de cálculos se convirtieron al sistema de coordenadas de GAUSS, adoptado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi utilizando la proyección cartográfica U.T.M. (Universal Transversa de Mercator) con lo cual generamos planos en coordenadas nacionales.

La combinación de las posiciones de puntos con sus respectivos atributos, fueron posteriormente llevados a sistema gráfico tipo AUTOCAD para presentación de planos en formato dxf, o dwg.

5.3. COMUNIDADES BIOLÓGICAS

5.3.1. *Sitio de muestreo y número de muestras*

Se ubicaron 17 estaciones a lo largo de la zona de influencia del posible muelle turístico y con representatividad de los componentes biológicos a estudiar (Tabla 5.1). En la Figura 5.2 se ilustra la ubicación sobre el contorno del cay.

Tabla 5.1. Localización de las estaciones de estudio

ESTACIÓN	LONGITUD	LATITUD
1 Bentos	12°36'8,6"	81°41'39,6"
2 Bentos	12°36'13,5"	81°41'38,9"
3 Bentos	12°36'5,1"	81°41'40,4"
4 Bentos	12°36'1,8"	81°41'34,8"

28 ESTUDIOS BIOFÍSICOS, OCEANOGRÁFICOS, TOPOGRÁFICOS Y DE
DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN MUELLE EN JOHNNY CAY

CORALINA

	ESTACIÓN	LONGITUD	LATITUD
5	Bentos	12°36'3,6"	81°41'31,3"
6	Bentos	12°36'4,6"	81°41'27,2"
1	Corales	12°36'16,7"	81°41'37,4"
2	Corales	12°36'7,7"	81°41'41,3"
3	Corales	12°36'4,1"	81°41'45,6"
4	Corales	12°35'56,7"	81°41'40"
5	Corales	12°36'5,2"	81°41'28,5"
6	Corales	12°35'48"	81°41'36,8"
1	Fanerógamas	12°36'11,5"	81°41'39"
2	Fanerógamas	12°36'3,6"	81°41'40,3"
3	Fanerógamas	12°36'3,4"	81°41'33,1"
4	Fanerógamas	12°35'59,3"	81°41'34,6"
5	Fanerógamas	12°36'2,6"	81°41'35,1"

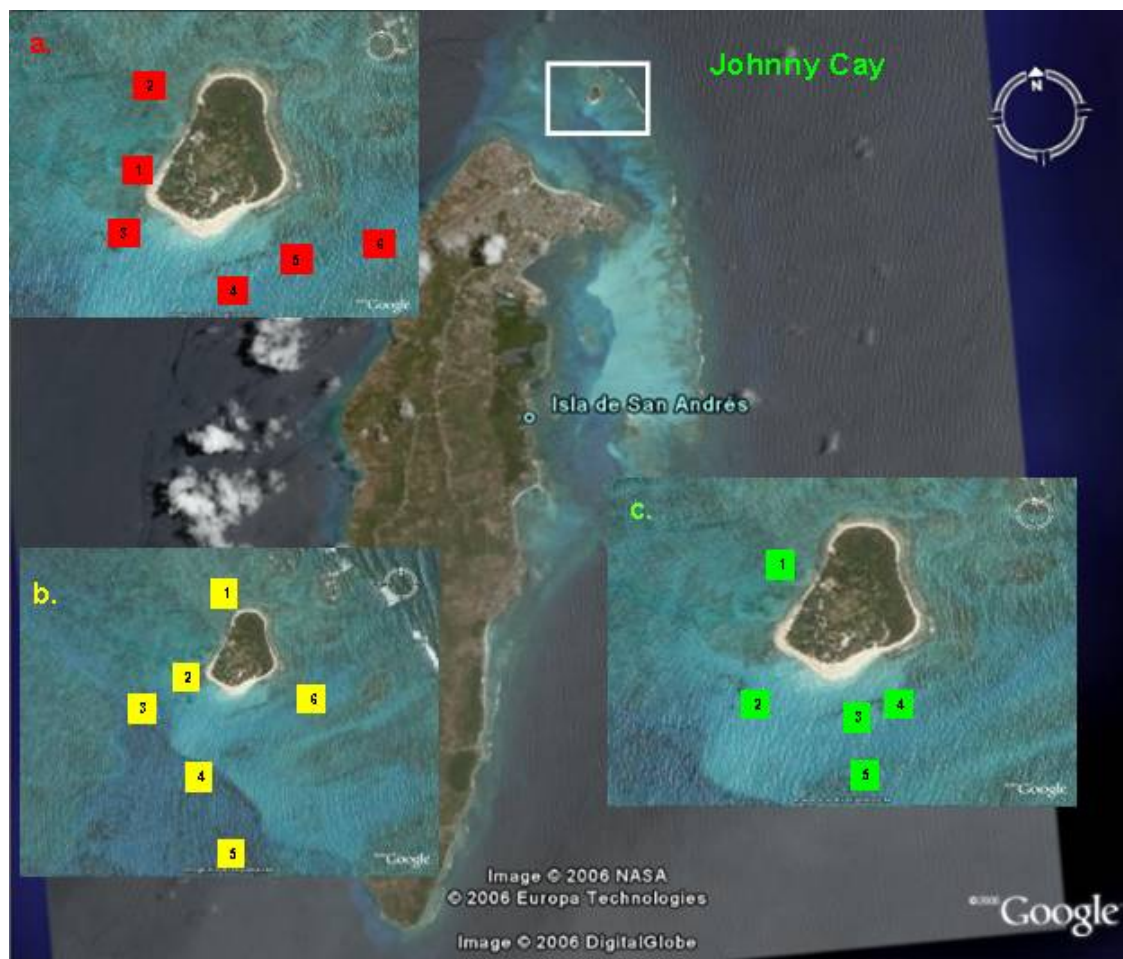


Figura 5.2 Ubicación de las estaciones de estudio. Imagen de fondo Isla de San Andrés y ubicación de Johnny Cay. Recuadros Johnny Cay en donde se señalan en círculos de colores: a) estaciones de bentos, b) estaciones corales y peces y c) estaciones fanerógamas.

5.3.2. Comunidades de fondos blandos

5.3.2.1. Fase de campo

La campaña de muestreo para este componente se efectuó el día 6 de diciembre de 2006, en una red de seis estaciones ubicadas alrededor de Johnny Cay, a lo largo de la zona de influencia del posible muelle turístico. Para la toma de las muestras, se utilizó un corazonador que cubrió un área de 0,022 m² con la que se hicieron seis (6) dragados en cada una de las estaciones, empleando equipo de buceo autónomo SCUBA (Figura 5.3). Las muestras recolectadas en cada inmersión fueron incluidas dentro de bolsas plásticas, debidamente rotuladas, las cuales se subieron a la embarcación y se transportaron a la playa. Se destinaron cinco (5) dragados para análisis biológico, a las que se agregó una solución de formalina al 4% preparada en agua de mar que servía a la vez como agente fijador y como colorante, pues previamente se le había añadido rosa de bengala (1%), tinte que se adhiere a los epitelios de la organismos facilitando su posterior separación en laboratorio (Mason y Yevich, 1967). El dragado con corazonador restante, fue utilizado para los análisis abióticos que de igual forma se guardaron por separado en bolsas plásticas debidamente rotuladas y se refrigeraron para su traslado a los laboratorios del INVEMAR en Santa Marta.

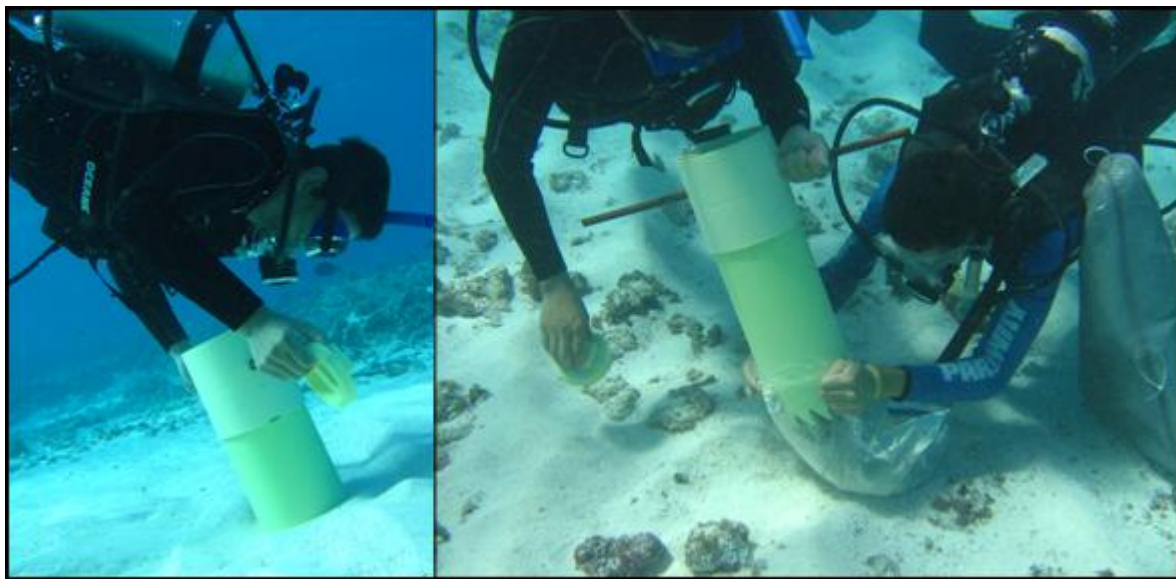


Figura 5.3 Toma de muestras de sedimentos con corazonador para el componente de bentos.

5.3.2.2. Fase de laboratorio

Componente Biológico

En el laboratorio, cada muestra biológica se cernió con agua sobre un tamiz con ojo de malla de 500 μ m, a fin de retener la macrofauna y descartar los componentes bióticos de menor tamaño y los sedimentos finos (Holme y McIntyre, 1984). Para extraer la macrofauna, todo el material retenido en el tamiz, se extendió en pequeñas porciones sobre bandejas planas a las que se

30 ESTUDIOS BIOFÍSICOS, OCEANOGRÁFICOS, TOPOGRÁFICOS Y DE DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN MUELLE EN JOHNNY CAY CORALINA

agregó agua y con la ayuda de pinzas se tomaron los organismos, separándolos por taxa mayores. Este proceso se realizó dos veces, cada una con observador diferente. Los individuos separados en cada réplica y estación, se guardaron en frascos debidamente etiquetados en alcohol al 70%.

Para la fase de identificación se utilizaron los organismos extraídos en cinco dragados con corazonador por estación que conformaron un área muestral de 0,110 m², tamaño relativamente similar a los empleados con éxito, para el estudio de las comunidades macrofaunísticas de fondos blandos de la plataforma continental colombiana por autores como Guzmán-Alvis (1993), Guzmán-Alvis y Díaz (1993 y 1996), Córdoba-Tejada, 1997; Guzmán-Alvis y Solano (1997). La identificación de la macrofauna se realizó hasta el nivel taxonómico de familia, empleando para ello trabajos taxonómicos especializados, y se registraron el número de individuos (abundancia) (Poliquetos: Fauchald, 1977; Uebelacker y Johnson, 1984; Salazar *et al.*, 1988; Rouse y Pleijel, 2001. Crustáceos: Rathbum, 1918; Barnard, 1969; Bousfield, 1973; Menzies y Kruczynsky, 1983; Williams, 1984; Barnard y Karaman, 1991; Manning y Felder, 1991. Moluscos: Abbott, 1974. Equinodermos: Clark y Downey, 1992; Hendler *et al.*, 1995. Sipuncúlidos: Cutler, 1994). La biomasa de los organismos se determinó por medio del método de peso húmedo (Birkett y McIntyre, 1971). En una balanza analítica con aproximación de 0,0001 gramos, se pesaron los organismos después de dejarlos escurrir por 2 minutos, siendo agrupados por familia de acuerdo a la estación. Los individuos pertenecientes a los taxa Annelida y Mollusca que presentaron tubos o conchas, se les extrajo para evitar la sobreestimación de la biomasa.

Partiendo de los datos obtenidos se construyeron matrices primarias que agruparon los datos bióticos donde se relacionan estaciones y familias (Field *et al.*, 1982). De cada taxa se seleccionaron los mejores ejemplares para formar la colección biológica de referencia que se depositó en el Museo de Historia Natural Marina de Colombia, con sede en INVEMAR.

Componente abiótico

Las muestras de sedimento tomadas para esta fase se secaron a temperatura ambiente con el fin de retirar el exceso de agua, posteriormente se introdujeron en la estufa a 75 °C hasta obtener peso constante (Holme y McIntyre 1984).

El análisis granulométrico del sedimento se realizó mediante el tamizaje en seco, teniendo en cuenta que su composición fue de tipo arena. Después de secada la muestra en la estufa hasta peso constante y homogenizada, se pesaron 100 gramos de sedimento haciéndolo pasar por una columna graduada de tamices de 2.000, 1.000, 500, 250, 125 y 63 µm durante 15 minutos. Finalmente se determinó el porcentaje de cada fracción presente en el sustrato, las cuales fueron previamente pesadas en una balanza analítica (Holme y McIntyre 1984).

La determinación de la materia orgánica se realizó tomando 10 gramos de sedimento que se calcinaron en una mufla Terrígena durante 2 horas a 550°C (Buchanan, 1984). El porcentaje de materia orgánica se determinó por gravimetría.

5.3.2.3. Fase de gabinete

Análisis univariados

Se determinó la abundancia como el número de individuos totales (Anexo 1) y la biomasa expresada en peso húmedo (g) por familia para cada estación y período de muestreo (Anexo 2). El número de familias por su lado determinó la expresión de la riqueza específica por sitio de muestreo. La información de las abundancias fue empleada para representar el concepto de diversidad mediante el índice de diversidad de Shannon-Weiner (H'), como una expresión relacionada con la composición intraespecífica de las comunidades y así poder descifrar su funcionamiento (Ramírez, 1999), la uniformidad mediante el índice de uniformidad de Pielou (J'), el cual expresa la equidad como la proporción de la diversidad observada en relación con la máxima diversidad esperada; y la riqueza mediante el índice de riqueza de Margalef (d), el cual relaciona el número de familias de acuerdo con el número total de individuos (Villareal *et al.*, 2006).

Para evaluar el nivel de perturbación ya sea de origen natural o antropogénico, se utilizaron las curvas ABC (comparación entre abundancia-biomasa), método gráfico de fácil interpretación (Clarke y Warwick, 2001). En condiciones normales (ausencia de perturbación), la curva de abundancia corre siempre por debajo de la biomasa y en situaciones perturbadas las curvas se invierten. Igualmente se puede establecer el grado de perturbación mediante el valor del estadístico W ó la estimación del área entre las dos curvas.

Análisis multivariados

Se aplicaron técnicas multivariadas con el propósito de detectar las variaciones espaciales de la estructura de la comunidad según sus atributos faunísticos en todas las estaciones muestreadas. Integrando la totalidad de las muestras por estación y período de muestreo, se llevó a cabo un análisis de clasificación cuantitativo, mediante el índice de similaridad de Bray-Curtis, usando como técnica de agrupamiento el ligamiento promedio (UPGMA) (Field *et al.*, 1982). Esta clasificación aproxima al conocimiento de la estructura de la comunidad, logrando una percepción de la respuesta biológica al entorno (Ramírez, 1999). Los análisis se efectuaron sobre la matriz básica de abundancia y los datos fueron transformados a raíz cuarta, para buscar la normalidad univariada, de acuerdo a la especificación de la ley de Taylor para distribuciones agregadas (Taylor *et al.*, 1980); con el fin de ponderar la contribución de los taxa comunes y raras en el análisis comunitario (Clarke y Warwick, 2001).

Con base en esta clasificación, se pudo realizar un análisis de ordenación por el método de escalamiento multidimensional no métrico (nMDS), basado en una relación no lineal entre las similaridades y las distancias en el plano cartesiano (Field *et al.*, 1982; Ramírez, 1999); el cual logra dar una mayor lucidez de los resultados y un uso eficiente de los datos con relación a la clasificación de una comunidad (Ludwig y Reynolds, 1988). Los resultados de esta técnica se graficaron sobre un mapa de puntos que delimita el espacio bidimensional donde los componentes se sitúan, obteniendo la configuración final que presente el menor nivel de estrés entre 9999 reiteraciones (Clarke y Ainsworth, 1993; Clarke y Warwick, 2001). Este es un método flexible que no se ve afectado por el tipo de distribución de los datos y puede representar en un

espacio de pocas dimensiones las relaciones complejas que existen entre las estaciones, debidas a la variación en abundancia y composición de los taxa en cada estación.

Posteriormente, se desarrolló el análisis inverso, necesario para determinar las especies que tipifican las agrupaciones encontradas en los análisis de clasificación y ordenación. Se siguió la técnica descrita por Kaandorp (1986) en la cual: 1- La matriz básica es ordenada de acuerdo a los grupos formados en estos análisis; 2- Se promedian las abundancias de las diferentes muestras por asociación; 3- Se determina la concentración de la abundancia de cada especie por grupo, respecto al total de la especie en todas las muestras, 4- Las especies características de una agrupación se definieron como aquellas que logran dentro de un grupo, abundancias mayores al 80% y adicionalmente presentaron más del 80% de frecuencia relativa de ocurrencia en el grupo; 5- Las especies que se encuentran en un sólo grupo son consideradas exclusivas y las especies generalistas son las características de la unión de todos los grupos.

Mediante el procedimiento de correlación Bio-Env, se pretendió definir los patrones ambientales multivariados que mejor pudieran explicar la estructura biótica observada (Clarke y Ainsworth, 1993; Clarke y Warwick, 2001). Los datos de las variables ambientales tenidos en cuenta para relacionar con el componente biológico se encuentran dentro de la matriz de datos fisicoquímicos obtenida en el muestreo (Anexo 4). Se escogieron las variables que fueron medidas y detectadas en el sedimento: HAP: hidrocarburos poliaromáticos ($\mu\text{g/g}$); HAM: hidrocarburos monoaromáticos ($\mu\text{g/g}$); HAT: hidrocarburos aromáticos totales ($\mu\text{g/g}$); MO: materia orgánica (%); granulometría (%): S-Gr: sedimento tipo gránulos; S-Amg: sedimento tipo arena muy gruesa; S-Ag: sedimento tipo arena gruesa; S-Am: sedimento tipo arena media; S-Af: sedimento tipo arena fina; S-Amf: sedimento tipo arena muy fina; S-CL: sedimento tipo cienos y limos (Anexo 3).

Como primer paso para la determinación del conjunto de variables ambientales que mejor explican el arreglo comunitario, se realizó un gráfico de dispersión de puntos (draftsman-plot) que visualiza las que están estrechamente relacionadas y cuales necesitan transformarse. Junto con un análisis de correlación de Pearson entre pares de dichas variables, con el fin de detectar variables correlacionadas entre sí que resultarían redundantes al momento de implementar el análisis del Bio-Env y evitar solapamiento en la información (Clarke y Warwick, 2001). Se descartaron las variables que presentaron correlaciones mayores a $|0,9|$ y un nivel de significancia $p < 0,05$ (Anexo 6). Las variables ambientales que presentaron concentración de puntos en un extremo de los gráficos fueron transformadas al nivel apropiado, en el cual se dispersen los puntos en el gráfico y de este modo hallar la normalidad univariada (Clarke y Ainsworth, 1993; Clarke y Warwick, 1994).

El Bio-Env se fundamenta en maximizar la correlación de los elementos de las matrices triangulares de similaridad biótica (Bray-Curtis) y abiótica (Distancia Euclidiana sobre las variables ambientales normalizadas). El proceso se repite con grupos crecientes de k-variables ambientales, dando como resultado una serie de coeficientes de correlación. El coeficiente máximo obtenido de todas las posibles combinaciones de las k-variables, indicará que esa combinación es la que 'mejor explica' el patrón biológico obtenido en el ordenamiento y clasificación (Clarke y Ainsworth, 1993; Clarke y Warwick, 2001). Se empleó para este propósito, el coeficiente armónico por rangos de Spearman, debido a las diferentes unidades y modos de construcción de las dos matrices (Ludwig y Reynolds, 1988; Clarke y Ainsworth, 1993).

5.3.3. Formaciones coralinas

5.3.3.1. Fase de campo

Inicialmente se realizó una búsqueda de los lugares representativos y con presencia coralina, ésta búsqueda se llevó a cabo mediante el método de manta tow, donde un investigador es arrastrado por un bote sobre líneas perpendiculares a la de costa. El rumbo se determinó con la ayuda de una brújula dependiendo de la dirección dada por el punto inicial y perpendicular a la costa como ya se indicó; cada arrastre tuvo una duración aproximada de dos minutos, durante este tiempo el investigador en el agua le indicó al del bote lugares potenciales para las estaciones, este con la ayuda de un GPS, los marcó y anotó las coordenadas respectivas. Una vez culminó cada arrastre se repitió el ejercicio sobre una línea paralela pero separada 200 metros en el sentido de las agujas del reloj hasta que se completó una vuelta a la Isla.

Finalizada esta etapa se procedió a estudiar los datos obtenidos y se establecieron 6 estaciones en donde la cobertura coralina viva fue mayor y fuera posible el trabajo en el agua. En cada estación se hicieron muestreos detallados de cobertura coralina viva y muerta así como de vegetación, invertebrados, sustrato duro y arena usando para esto transeptos de 10 m, sobre estos se anotó el componente bentónico observado sobre cada uno de los 100 puntos dispuestos sobre el mismo. Se determinó mediante curvas acumuladas de especies que 10 transeptos era el tamaño mínimo muestral, razón por la cual este fue el número de transeptos muestreados en cada estación

5.3.3.2. Fase de gabinete

La información recopilada se organizó en matrices en términos de porcentaje de cobertura relativa que ocuparon las categorías en cada transepto, además se obtuvo el promedio y desviación estándar por estación. Con estos datos se realizaron gráficas para observar el orden de importancia que ocupó cada categoría dentro de las estaciones y áreas de influencia.

Para crear un esquema claro de la distribución espacial de las estaciones en cuanto a las coberturas coralinas, se realizaron análisis de clasificación. Previo a los análisis se redujo la matriz básica de cobertura, eliminando las especies raras. Una vez aplicada la transformación más adecuada para los datos, se obtuvo la matriz de similaridad con base en el índice de Bray-Curtis; los grupos se formaron utilizando el método de ligamento promedio no ponderado (Field *et al*, 1982; Clarke y Warwick, 2001).

Complementariamente al análisis anterior se usó el escalamiento multidimensional no métrico (NMDS), con lo cual se obtuvieron los grupos de estaciones definitivos y se observó la configuración espacial de la comunidad (Clarke y Warwick, 2001). Este usa la misma matriz de similaridad obtenida en la clasificación y tiene algunas ventajas sobre otros métodos de ordenamiento, por ejemplo: es un método flexible que no hace suposiciones sobre el tipo de distribución de los datos y puede representar en un espacio de pocas dimensiones las relaciones complejas que existen entre las estaciones, debidas a la variación en abundancia y composición de taxa en cada estación.

Una vez definidas las asociaciones se buscaron las especies características de ellas, usando la metodología descrita por Kaandorp (1986). Se definen como géneros característicos, aquellos que se encuentran confinados a un grupo en un porcentaje de dominancia por encima del 80% y frecuencia del 80%. Esta técnica permite establecer igualmente géneros exclusivos y generalistas. Los primeros son aquellos que tienen una dominancia de 100% en un sólo grupo y los segundos son los que se encontraron en todas las estaciones o en la gran mayoría de ellas.

El resultado final de éste análisis es un diagrama que sigue el esquema del dendrograma obtenido en la clasificación, en donde se muestran los géneros responsables de los grupos formados. La distribución de los géneros en los diferentes grupos se hace teniendo en cuenta el porcentaje de concentración de la abundancia de cada género dentro de cada uno de ellos.

Una vez definidos los grupos se recalcularon parámetros comunitarios empleando métodos gráficos y matemáticos. Entre los primeros se destacan las curvas de K-dominancia (Lambshead et al, 1983; Clarke y Warwick, 2001) para diversidad, los números de Hill, (Zar, 1984; Ludwig y Reynolds, 1988; Clarke y Warwick, 2001). Las curvas de K-dominancia se emplearan con el fin de obviar los problemas desde hace algunos años descritos para los índices de diversidad intrínseca (Lambshead et al, 1983).

5.3.4. Praderas de fanerógamas marinos

5.3.4.1. Fase de campo

Siguiendo la misma metodología aplicada en el caso de las comunidades coralinas se establecieron 5 estaciones de muestreo. En estas estaciones parcelas se realizaron cuantificaciones de la biomasa foliar y cobertura de *Thalassia testudinum* o *Syringodium filiforme*, según la metodología propuesta en estudios anteriores hechos por INVEMAR (1988 y 1992). Dentro de un cuadrante de de 50 x 50 cm. colocado aleatoriamente sobre la parcela (cinco veces), se estimó el porcentaje de cobertura. Para la biomasa se cortaron a ras de fondo la totalidad de las hojas de la fanerógama correspondiente en un área de 100 cm². Las muestras se preservaron en formol al 4 % para su conservación durante el traslado al laboratorio.

Dentro de cada estación se hicieron observaciones generales del entorno, como la forma de la pradera, el tipo de sustrato y la profundidad.

5.3.4.2. Fase de laboratorio

Las hojas y raíces de *Thalassia* o *Syringodium* recolectadas el método descrito anteriormente fueron limpiadas de epífitos manualmente con HCl al 10 % y posteriormente fueron secadas en una estufa a 90° C durante 24 horas y tomado su peso constante. Los datos de biomasa se expresarán en gramos de peso seco por metro cuadrado.

5.3.4.3. Fase de gabinete

Los datos obtenidos para los pastos marinos fueron recopilados en matrices de densidad y biomasa, con sus promedios y desviaciones correspondientes por estación. Las comparaciones se realizaron gráficamente mediante la tabulación de promedios y errores estándar.

5.3.5. Comunidades ícticas

5.3.5.1. Fase de campo

La selección de las estaciones de muestreo se realizó de acuerdo al criterio usado en el monitoreo de comunidades coralinas, buscando los lugares representativos alrededor de la isla, que presentaran unidades ecológicas dominadas por corales y áreas rocosas. Las seis estaciones seleccionadas, fueron muestreadas entre el 7 y 10 de diciembre de 2006, abarcando un gradiente entre los 3 y 10 m de profundidad.

Luego de establecer las estaciones de muestreo y teniendo en cuenta que el empleo de censos visuales, ha sido recomendado y usado como una vía de minimizar la tendencia de subestimar el número de especies presentes (Russell *et al.*, 1978 y Smith y Tyler, 1972 En: Sale y Douglas, 1981), se realizó la técnica de censos visuales, empleando equipo de buceo autónomo SCUBA, mediante el método del transecto de bandas. Con referencia a la importancia del análisis tipo costo-beneficio para la escogencia del mejor tamaño de la unidad de muestreo (Sale, 1997), se tomaron transectos de 30 metros de longitud y dos metros de ancho, medidas que han sido recomendadas por varios autores (Bortone *et al.*, 1986; Sanderson y Solonsky, 1986; Sale, 1997) con el fin de lograr una comparación con los estudios realizados en la isla y en otras áreas como la Bahía de Santa Marta y las Islas del Rosario y San Bernardo.

El método empleado por Brock (1954), establece el nado de un observador a lo largo de la línea del transecto, y el registro de aquellos peces vistos únicamente a ambos lados del mismo, dos metros por encima del sustrato, cinco metros por delante de su cuerpo y dentro de la banda de aproximadamente dos metros de ancho (Brock, 1954; Sale, 1997) (Figura 5.4). Se realizaron algunas modificaciones de esta técnica, en el cual un solo buzo censó los peces vistos inmediatamente delante de él (Brock, 1954) y a ambos lados de la línea del transecto (Sale, 1997). El observador comenzó el recorrido en un extremo de la banda, tratando de nadar a velocidad constante, sin detenerse hasta completar la identificación y el conteo en el otro extremo (Sanderson y Solonsky, 1986). Dos buzos realizaron la misma operación, cada uno en un transecto diferente. El tiempo empleado fue registrado.

Aunque los buzos pueden no estimar correctamente las distancias bajo el agua (Sale, 1997; Bortone y Kimmel, 1991; Sale y Sharp, 1983), se estimó el ancho de los transectos tomando como guía, la extensión de los brazos colocados lateralmente a la altura de los hombros. Los transectos fueron delimitados por un flexómetro de 30 m, el cual estuvo fijado en cada uno de sus extremos. Se tuvo en cuenta las consideraciones hechas por Brock (1954), en la cual si un pez entraba en el transecto justo en el punto que está siendo observado se contaba, pero si el pez entraba por detrás del observador o éste se reconocía que había entrado por segunda vez, no se contaba. Para evitar los problemas de identificación y debido a las condiciones de poca

profundidad y fuertes corrientes, se eliminaron las especies crípticas, que generalmente son de tamaños pequeños (Bortone y Kimmel, 1991; Sale, 1997).

El propósito de los censos visuales fue de obtener una estimación lo más precisa posible de la estructura y composición de la ictiofauna presente en el área de estudio, sin perturbar su población (Sale y Sharp, 1983). Las ventajas del empleo de este método han sido bien documentados, resaltando la naturaleza no destructiva del conteo de poblaciones de peces (Colton y Alevizon, 1981; Bortone y Kimmel, 1991), ya que el uso de métodos como ictiocidas (rotenona), explosivos, trampas y redes, a pesar de ser eficientes para colectarlos, son incompatibles con los objetivos de conservación (Phillips y Pérez-Cruet, 1984). Asimismo, las aguas claras y los taxa fácilmente identificables, con base en la morfología externa, patrones de coloración y comportamiento; hacen de esta técnica una estrategia lógica (Sale, 1997), que permite realizar observaciones directas, rápidas y sucesivas en el campo, posibilitando así la valoración de la estructura de peces en un período dado.

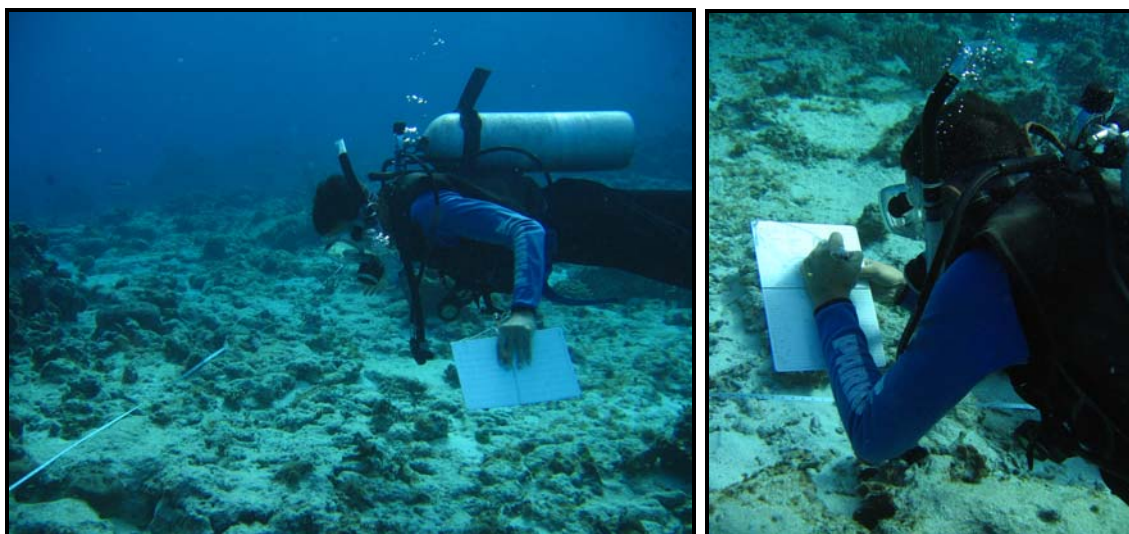


Figura 5.4 Empleo de censos visuales en el área de estudio, mediante la técnica del transecto de banda.

La información obtenida, sin embargo, puede tener un cierto grado de sesgo a causa de varios problemas relacionados con la cantidad y complejidad de los atributos inherentes a la vida en el coral. Ejemplo de estos problemas son: la variación temporal en abundancia, la territorialidad, las migraciones, los hábitos de los peces (Bortone *et al.*, 1986) y su patrón de coloración (Sale, 1997). Son comunes también, las limitaciones que se tienen para observar todos los peces, diferenciar especies similares y determinar con exactitud su presencia (Bortone y Kimmel, 1991; Sale, 1997). Finalmente, la velocidad a la cual realiza el investigador el conteo (Lincoln, 1988), además de algunos problemas físicos de la columna del agua como la claridad, los niveles de luz y las corrientes (Parker *et al.*, 1994).

Para contrarrestar los posibles efectos de variación en el muestreo, los censos fueron realizados por observadores previamente calibrados en este método con el objetivo de minimizar la variabilidad entre ellos. De otro modo, para tratar de disminuir el sesgo derivado de las

condiciones de visibilidad, los censos se realizaron siempre durante horas similares y con una visibilidad horizontal superior a los 10 m. En el campo, se logró estandarizar la velocidad a la cual los buzos deben recorrer cada transecto y el tiempo que tarda en hacerlo. Un tamaño mínimo muestral de 7 transectos de 30 m fue escogido para cada estación, teniendo en cuenta que éste fue representativo y a su vez, lo más práctico posible, para agilizar el trabajo y disminuir la cantidad de esfuerzo requerido (Bohnsack y Bannerot, 1986). Asimismo, las curvas de diversidad acumulada realizadas para la estación 1 y 3 contra el número de transectos empleados (10 m cada uno), demostraron que después de 20 transectos (200m), un incremento del 50% en el esfuerzo de muestreo, resulta en menos del aumento en la riqueza de cuatro y tres especies (estación 1 y 3 respectivamente) (Figura 5.5).

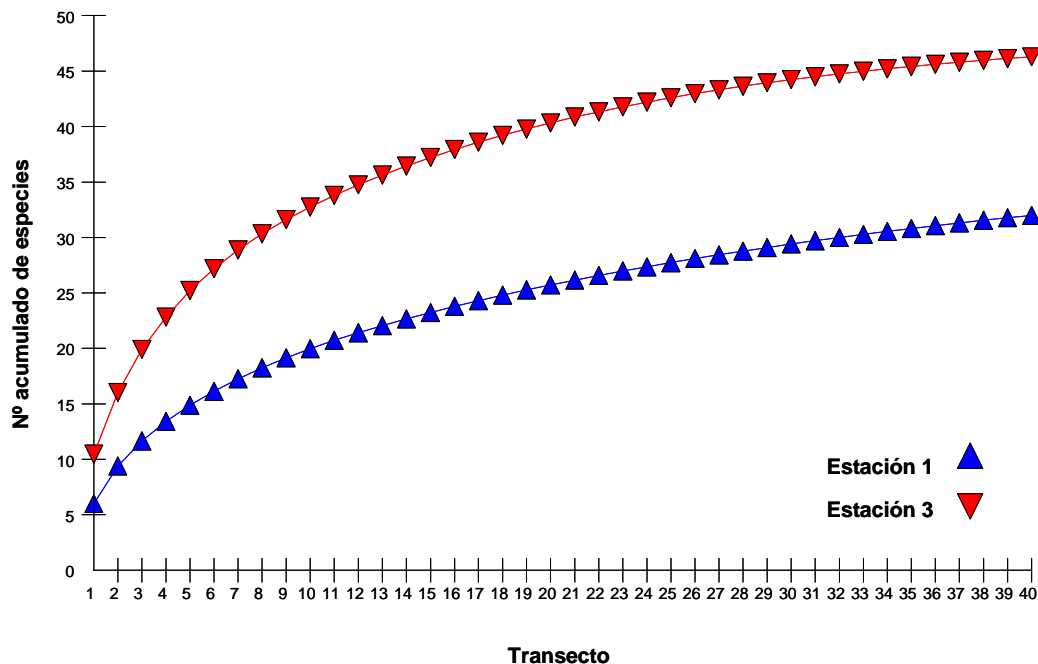


Figura 5.5 Curvas de diversidad acumulada de especies contra el número de transectos (10 m cada uno). Número de permutaciones empleadas 9999.

5.3.5.2. *Fase de gabinete*

Composición y Diversidad

El significado y la importancia de la diversidad no están en duda y se han desarrollado una gran cantidad de parámetros para medirla como un indicador del estado de salud de los sistemas ecológicos, con aplicabilidad práctica para fines de conservación, manejo y monitoreo ambiental (Spellerberg, 1991). Para estudiar la diversidad se puede considerar y separar en diferentes niveles para obtener información más allá de sólo listados de especies. Estos niveles se encuentran definidos a las escalas de trabajo local o regional para asociar a éstos, las medidas de la diversidad alfa, beta y gamma (Villareal *et al.*, 2006). Se elaboró un listado siguiendo el orden filogenético de las familias de acuerdo al trabajo de Nelson (1994), utilizando los nombres

y autores de las especies de conformidad con la recopilación de Eschmeyer (1998a, 1998b). Al interior de cada familia las especies fueron ordenadas alfabéticamente. La abundancia relativa de las especies en cada estación, fue calculada como el porcentaje del número de individuos pertenecientes a una especie, con respecto al número total de individuos (Christensen y Winterbottom, 1980; Solano *et al.*, 1990). Se realizó de manera descriptiva la composición de especies, durante el período de muestreo, seleccionando aquellas especies que presentaron una contribución superior al 5% en los censos para cada estación.

La diversidad alfa es la riqueza de especies de una comunidad determinada la cual se considera homogénea a escala local. Esta diversidad fue medida con respecto a la riqueza específica, como el número de especies y el número de familias por sitio de muestreo. La diversidad de las especies en relación a la abundancia, fue medida de acuerdo a la dominancia teniendo en cuenta las especies que están mejor representadas (dominan) sin contar a las demás; y de acuerdo a la equidad que tiene en cuenta la abundancia de cada especie y qué tan uniformemente se encuentran distribuidas (Villareal *et al.*, 2006). Para ello se determinaron los números de Hill siendo una medida del número de especies, cuando cada una es ponderada por su abundancia relativa, a medida que aumenta el número de especies, las más raras se vuelven menos importantes. (N1) para especies abundantes y (N2) para especies muy abundantes (Rodríguez, 1996; González-Sansón *et al.*, 1997). Se empleó el índice de Shannon-Wiener ($H' \log_2$), el cual asume que todas las especies están representadas en las muestras; indicando qué tan uniformes están representadas las especies (en abundancia) teniendo en cuenta todas las especies muestreadas. También se empleó el índice de uniformidad de Pielou (J'), el cual expresa la equidad como la proporción de la diversidad observada en relación con la máxima diversidad esperada.

Finalmente, se empleó el coeficiente de correlación de Pearson (r) ($\alpha = 0,05$) para establecer las correlaciones entre los atributos comunitarios de abundancia (N° individuos), número de especies, número de familias, índice de diversidad de Shannon-Weiner (H'), índice de uniformidad de Pielou (J'), índice de riqueza de Margalef (d); y las variables de cobertura (% coral, invertebrados, roca, arenas, cascajo, vegetación) y profundidad.

Análisis Multivariados

Se aplicaron técnicas multivariadas con el propósito de detectar las variaciones de la estructura de la comunidad en el espacio según sus atributos faunísticos. Integrando la totalidad de las muestras por estaciones, se llevó a cabo un análisis de clasificación cuantitativo, mediante el índice de similaridad de Bray-Curtis, usando como técnica de agrupamiento el ligamiento promedio no ponderado (UPGMA) (Field *et al.*, 1982). Esta clasificación aproxima al conocimiento de la estructura de la comunidad, logrando una percepción de la respuesta biológica al entorno (Ramírez, 1999). La matriz inicial fue transformada a raíz cuarta, para buscar la normalidad univariada, de acuerdo a la especificación de la ley de Taylor para distribuciones agregadas (Taylor *et al.*, 1980).

Con base en esta clasificación, se realizó un análisis de ordenación por el método de escalamiento multidimensional no métrico (nMDS), basado en una relación no lineal entre las similaridades y las distancias en el plano cartesiano (Field *et al.*, 1982; Ramírez, 1999); el cual

logra dar una mayor lucidez de los resultados y un uso eficiente de los datos con relación a la clasificación de una comunidad (Ludwig y Reynolds, 1988). Los resultados de esta técnica se graficaron sobre un mapa de puntos que delimita el espacio bidimensional donde los componentes se sitúan, obteniendo la configuración final que presente el menor nivel de estrés entre 9999 reiteraciones (Clarke y Ainsworth, 1993; Clarke y Warwick, 2001).

Tanto las técnicas de clasificación como de ordenación empleadas, sirvieron para medir la diversidad beta (β), definida como la medida del grado de cambio o reemplazo en la composición de especies entre diferentes comunidades en una región; reflejando la respuesta de los organismos a la heterogeneidad espacial (Villareal *et al.*, 2006). La complejidad estructural de un paisaje se encuentra íntimamente relacionada con los patrones de diversidad beta y alfa, pudiendo no encontrarse diferencias entre ambientes homogéneos en cuanto a su diversidad alfa, pero con un alto reemplazo de especies de un ambiente a otro si las condiciones ambientales son muy heterogéneas (elevada diversidad beta). El resultado final será una mayor diversidad a la escala regional (diversidad gamma) (Ruíz *et al.*, 2003). Los requisitos para elaborar los análisis de diversidad y multivariados fueron desarrollados en el paquete PRIMER (Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research).

5.4. CONCENTRACIONES DE HIDROCARBUROS AROMÁTICOS EN SEDIMENTOS

En la Figura 5.6 se ilustra la ubicación de las estaciones de recolección de sedimentos superficiales en la Isla Johnny Cay



Figura 5.6 Distribución de estaciones de muestreo de hidrocarburos en la Isla Jhonny Cay.

5.4.1. Recolección y Transporte

Las muestras de sedimento fueron preservadas en campo según el manual de técnicas analíticas del INVEMAR (Garay *et al.*, 2003), se depositaron en frascos de vidrio recubiertos con papel aluminio y se transportaron a INVEMAR en Santa Marta, donde se en recipientes de vidrio

40 ESTUDIOS BIOFÍSICOS, OCEANOGRÁFICOS, TOPOGRÁFICOS Y DE DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN MUELLE EN JOHNNY CAY CORALINA

tapados con papel aluminio y una vez en el laboratorio fueron preservados por congelación hasta el momento del análisis. En el presente informe se anexa la ficha técnica de este servicio analítico.

5.4.2. Preparación de las muestras

Inicialmente se realizó un análisis del contenido de limos-arcillas en cada una de las seis muestras de sedimento, utilizando un equipo de tamizado FRITSCH Analysette 3, con una malla de 0.062 mm.

Para el análisis de Hidrocarburos Aromáticos Totales (HAT) se realizó la digestión del sedimento sin tamizar mediante una saponificación con solución de KOH-Metanol (3%), seguido de una extracción con n-hexano. El extracto orgánico se separó, se concentró al vacío en un rotavapor Heidolph hasta un volumen aproximado de 0.5 mL, que se purificó y fraccionó por cromatografía de columna empacada con Alúmina Merck (120 – 230 mesh) como adsorbente. Las fracciones (F) separadas se obtuvieron utilizando los siguientes eluyentes: hexano (F1: hidrocarburos alifáticos), hexano:diclorometano (7:3) (F2: hidrocarburos monoaromáticos) y diclorometano (F3: hidrocarburos poliaromáticos). Cada una de las tres fracciones separadas se concentró en el rotavapor para su cuantificación por fluorometría (Garay et al., 2003).

Las fracciones aromáticas F2 y F3 se cuantificaron por medio de espectrofluorometría UV, en un espectrofluorómetro Shimadzu RF-5301 PC, con base a una curva de calibración externa generada a partir de soluciones estándar de Criseno (Supelco, > 99%). Las lecturas se realizaron a una longitud de onda de excitación de 310 nm y de emisión de 360 nm.

Como control analítico se analizó un blanco de reactivos y una muestra fortificada con criseno con concentración conocida. El límite de detección del método se calculó en 0.003 µg/g, con un porcentaje de recuperación del 88%.

5.5. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL MUELLE

En el campo se procedió a efectuar un levantamiento topográfico detallado del cayo, especialmente en la zona noreste, donde se encuentran los restos de dos muelles para embarcaciones menores que allí se construyeron y que se encuentran en ruinas. Allí se efectuaron la mayor parte de los estudios debido a que se encuentra a sotavento, condición que la resguarda de los fuertes vientos alisios que predominan en la zona.

El muestreo se realizó en la primera semana de noviembre de 2006, utilizando para las mediciones un equipo de alta eficiencia: Estación total Leyca TC 905L con su respectivo software de lectura y se procesó la información con el software microsurvey. Todo el sistema en general está referenciado a coordenadas geográficas, Latitud y Longitud, con base en el Elipsoide W.G.S. 84 y adicionalmente se dibujó una cuadrícula de coordenadas planas de Gauss anexa al sistema Nacional del I.G.A.C.

Se efectuó el levantamiento planimétrico del perímetro del cayo y altimétrico mediante perfiles de playa, perpendiculares al mar, desde una distancia de la línea de playa de aproximadamente 40 metros hasta una profundidad de 6 pies o dos metros, dentro del mar.

Con el fin de conocer las características del subsuelo en el sector proyectado para la construcción del muelle, se realizaron una serie de apiques, desde la superficie del agua hasta encontrar la superficie del estrato rocoso; distribuido en seis puntos a lo largo de una sección transversal frente a las bases del muelle flotante.

6. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

6.1. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

6.1.1. *Clima*

El Archipiélago de San Andrés está localizado en la zona de convergencia intertropical (ZCIT); el clima es cálido – húmedo, influenciado por su localización y características fisiográficas, por la acción de los vientos Alisios que soplan desde el Noroeste. Se encuentra en la región climática tropical marina del Caribe; hace parte de la zona de vida del bosque seco tropical (bs-t), según el sistema de Holdridge.

En el mar Caribe colombiano las masas de aire que lo abordan son principalmente los vientos alisios del noreste con una duración del 43% del tiempo y 60% en total del cuadrante noreste, y adicionalmente con una baja frecuencia los huracanes y tormentas tropicales generados en el Mar Caribe, que se mueven desde el este hacia el oeste, siguiendo trayectorias que se sitúan al norte de los 12° de latitud norte (entre Cuba y el continente americano) (Iberinsa, 1998).

El clima en el Caribe colombiano es modulado por la posición geográfica de la zona de convergencia intertropical (Figura 6.1) y por el movimiento meridional del sistema de monzones americanos (Andrade, 2000). Así, durante la estación de fuertes vientos la ZCIT permanece en el sur alrededor de los 0-5° de latitud sur desde donde influye en la región Caribe al incidir en el campo de las corrientes, lo cual hace que se generen fuertes y uniformes vientos sobre toda la cuenca del Caribe. La variación de la ZCIT, durante todo el año, permite que el viento del este ejerza influencia sobre la región y cuando esta sale de la cuenca hacia el norte, la aparición de los vientos del este cambia consecutivamente, generando durante la estación de lluvias vientos suaves y un desarrollo extenso de convección con severas tormentas al occidente del Caribe colombiano (Andrade, 2000).

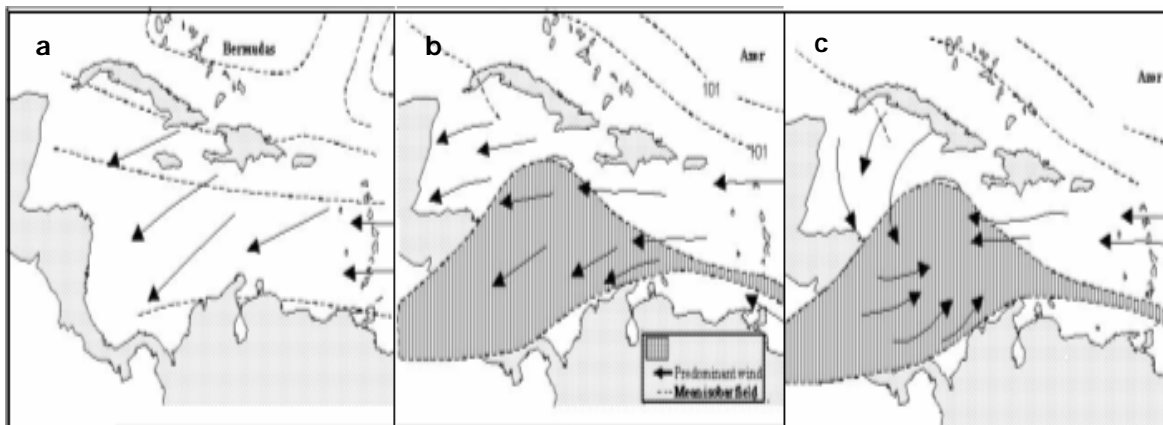


Figura 6.1 Localización de la Zona de Convergencia Intertropical a) Estación seca. b) Época de transición. c) Época húmeda. (Andrade, 2000)

Los parámetros meteorológicos, se pueden describir como sigue, con base en los registros de la estación del IDEAM situada en el aeropuerto internacional Gustavo Rojas Pinilla o Sesquicentenario, presentando las siguientes características climáticas:

- La humedad relativa media anual es del 81%; los registros medios mensuales varían entre 78% y 84% a lo largo del año. Los valores más bajos se observan entre enero y abril y los mayores entre junio y octubre.
- La evapo-transpiración potencial media anual en la isla es de 1.740 mm; los valores medios mensuales varían entre un máximo de 177 mm en marzo y un mínimo de 116 mm en octubre.
- En promedio hay 2.650 horas de brillo solar en el año, lo que representa una insolación media anual del 61%.

6.1.1.1. Temperatura

La temperatura media anual varía entre 27,5°C en la costa y 26,5°C en la parte superior del sistema de colinas que atraviesa la isla. La temperatura media mensual es relativamente uniforme durante el año. La temperatura mínima media anual es de 22,6 °C y la temperatura máxima anual alcanza los 30,9 °C., los meses de mayo – julio son los de máximas temperaturas, con escasa oscilación intra-anual, lo cual es típico en las regiones tropicales. Los extremos absolutos varían entre 17°C y 35°C. El mes con temperatura más elevada es mayo con 31,3°C y el de temperatura mas baja es enero con 25° C. La oscilación (rango anual de las temperaturas extremas (diferencia entre las temperaturas máxima y mínima medias) es muy baja (8,3 °C) debido al impacto del océano circundante, que atenúa los incrementos en la temperatura del aire.

La temperatura más alta registrada en San Andrés ha sido de 34,4 °C, en julio de 1972. Por otra parte se ha determinado que la amplitud diaria de la temperatura del aire (diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas medias diarias) aumenta a razón de 1,25 °C por cada 100 metros de incrementos en la distancia a la costa o línea divisoria océano – tierra en la isla (León, 1995), lo que significa que hacia el centro de la isla las variaciones diarias y anuales de la temperatura del aire son mayores que a lo largo de la línea de costera.

6.1.1.2. Precipitación

La precipitación media anual sobre la isla es de 1.989 mm; la distribución mensual es monomodal; se caracteriza por un periodo de lluvias bajas entre enero y abril donde se registra el 8% del total anual, y uno de lluvias altas, entre junio y noviembre con el 75% del total anual. Históricamente el mes más seco es marzo y el periodo mas lluvioso está comprendido entre septiembre y noviembre.

El principal sistema atmosférico macro escala que afecta las condiciones meteorológicas del Archipiélago es la Zona de Confluencia Intertropical (ZCI), sistema en el cual confluyen los vientos húmedos alisios del noreste y del sureste. Su actividad en esta zona del Caribe incide en

el régimen pluviométrico intra - anual de tipo uni modal, con una temporada lluviosa bien definida y una temporada seca en los meses restantes en los que la precipitación disminuye de manera notoria, aun cuando enero bien se puede considerar como un mes de transición entre los periodos secos y lluvioso, por cuanto en él se registran 85 mm en promedio.

Los meses de mayores precipitaciones son octubre y noviembre con cerca de 300 mm-mes⁻¹ y el de menor pluviosidad es marzo con apenas 22 mm-mes⁻¹. El número promedio de días con lluvia en el año es de 217, cifra que es indicativa de las condiciones de alta pluviosidad de la isla. En los meses de "invierno" o de mayor actividad pluvial se registran entre 20 y 24 días con lluvia por mes, es decir alrededor del 70% de los días totales del mes. La lluvia máxima "oficial" en 24 horas ha sido de 287 mm, cifra registrada en noviembre de 1972.

En cuanto a la distribución de la precipitación a lo largo del día, se ha definido que el 47% de la lluvia total anual se presenta en horas nocturnas, entre las 19 y las 7 horas; el 33 % ocurre entre las 13 y las 19 horas y el 20 % restante en las mañanas, o sea entre las 07 y las 13 horas (Rangel. 1985)

Relación Precipitación – Temperatura

Utilizando las definiciones de Gaussen (1952), respecto a la caracterización del clima por el índice de aridez (Precipitación sobre Temperatura - P/T -) los resultados obtenidos para la región del archipiélago de San Andrés son los siguientes:

- Un periodo seco (donde $P/T < 2$) de finales de enero a mediados de abril.
- Dos periodos de transición (donde $2 < P/T < 4$) de finales de diciembre a finales de enero y de mediados de abril a finales de abril.
- Un periodo húmedo (donde $P/T > 4$) de finales de abril a finales de diciembre.

6.1.1.3. Brillo Solar

Los registros multianuales reportan un brillo solar medio anual de 2.649 horas, con un mínimo de 1844,3 horas y un máximo de 3226,3 horas. Las horas promedio mensuales de brillo solar varían entre 281 en marzo (valor máximo) y 184 en octubre (valor mínimo), para una amplitud estadística anual de 97 horas. Esta amplitud significa que en los meses secos suelen registrarse alrededor de 3 horas efectivas de brillo solar / día mas que en los meses lluviosos o de menor nubosidad.

6.1.1.4. Humedad Relativa

La humedad relativa es similar a lo largo del año, con un valor promedio anual del 82 % y una oscilación intra - anual que fluctúa entre una humedad relativa media mínima del 78% en marzo y en media máxima del 84% en junio y en octubre. Lo anterior refleja las condiciones de alta humedad atmosférica que prevalecen a lo largo de todo el año en la isla. Las humedades relativas mínimas diarias, próximas al 77% ocurren entre las 12 y las 14 horas, y las máximas diarias, cercanas al 89%, se presentan hacia las 5 horas. (Rangel, 1985).

6.1.1.5. Evaporación

La evaporación media anual es de 1.720 mm, con valores mensuales que fluctúan entre un mínimo de 114 mm en octubre y un máximo de 177 mm en marzo.

6.1.1.6. Vientos

El mar Caribe es una zona de frecuente afectación de ondas tropicales (Figura 6.2), las cuales se desplazan de Este a Oeste durante los meses de mayo a noviembre, principalmente. El cruce de cada una de estas ondas por un lugar incrementa la intensidad del viento y la altura de la ola, aunque no se conoce cuantitativamente el valor de ese incremento.

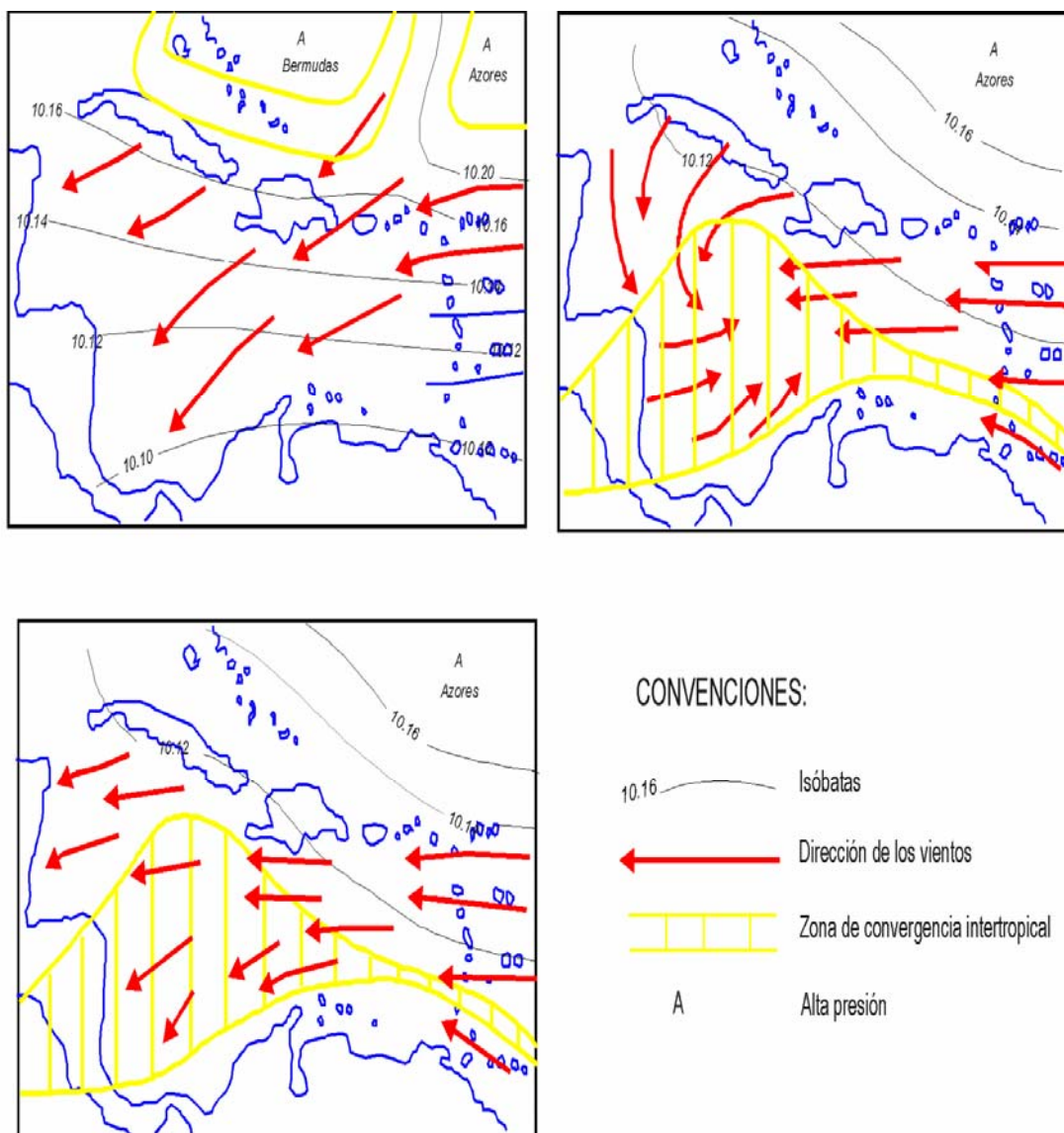


Figura 6.2 Variación de los vientos en el Caribe (THESE A L'UNIVERSITE DE BORDEAUX)

Los vientos del Este y del Noreste predominan en un 80% de las frecuencias registradas, correspondiendo a los vientos alisios que circulan en superficie en la región sin que sean modificados por factores de tipo local. Para la dirección del Noreste, el rango de velocidad predominante está entre 3,4 y 5,4 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, con un porcentaje de ocurrencia del 18%. Para la dirección del Este, el rango de velocidades prevalente está entre los 5,5 y 7,9 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ con un porcentaje de ocurrencia del 10%. Para esta última dirección, el segundo rango prevalente de velocidad se presenta entre 8 y 10,7 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Se puede notar la inexistencia de vientos de componentes Sur y Oeste. La velocidad media anual es alta, 5,5 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ y las velocidades medias mensuales varían entre una mínima de 4,2 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ en octubre y una máxima de 7,2 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ en julio. Las velocidades medias máximas oscilan entre 6,6 m/s en octubre y 10,9 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ en julio.

El viento predominante en este mar tropical, durante casi todo el año, es de región Este (desde el Nordeste hasta el Sudeste, con la mayor frecuencia en la dirección Este) con velocidades entre 12 y 28 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (Fuerza 3-4, según la escala Beaufort), el cual llega a alcanzar valores en la parte oriental entre 20 y 38 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (fuerza 4-5) durante los meses de mayo, junio y julio. Este régimen de viento genera alturas de olas que van de 0,5 a 1,25 m, con un incremento hasta de 2,5 m en el caso de persistir un número determinado de horas las velocidades del viento entre 29 y 38 $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ (fuerza 5). Estos vientos del Este (conocidos como Alisios) responden a la presencia del anticiclón semi-permanente del océano Atlántico, conocido como anticiclón Azores-Bermudas, con una influencia más marcada en estos meses de verano, al ubicarse su región central entre las latitudes 35 y 40 N. Este sistema anticiclónico penetra en forma de cuña sobre el mar Caribe y llega incluso en el mes de julio a cubrir con sus isobaras hasta la porción Sudeste de Estados Unidos y el Golfo de México (Sosa, 1985). Estos regímenes son modulados por la posición de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), que tiene un desplazamiento entre 5° S a 15° N y tiene un desfase de unos dos meses con la declinación solar.

Cuando la ZCIT se encuentra al sur de la Guajira, ocurre la época seca y se sienten en el área los vientos "Alisios del Norte", son vientos fuertes (mayores de 10 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) y uniformes del Noroeste. Si la ZCIT se encuentra al Norte de la Guajira, los vientos llegan más del Sur o el Sureste, son vientos mas lentos y cálidos que vienen del continente, normalmente cargados de vapor de agua y están asociados a precipitaciones en el área.

Esta modulación de la intensidad del viento es muy importante y sirve como "motor" de generación de olas, haciendo que los tiempos de duración y tamaño de las pistas de generación (fetch) sean menores a los intentos de explicación del oleaje hechos en trabajos anteriores por ejemplo, Leclerc (1972).

De acuerdo a mediciones del IDEAM, se aprecia la Rosa de los Vientos en el archipiélago de San Andrés (Figura 6.3)

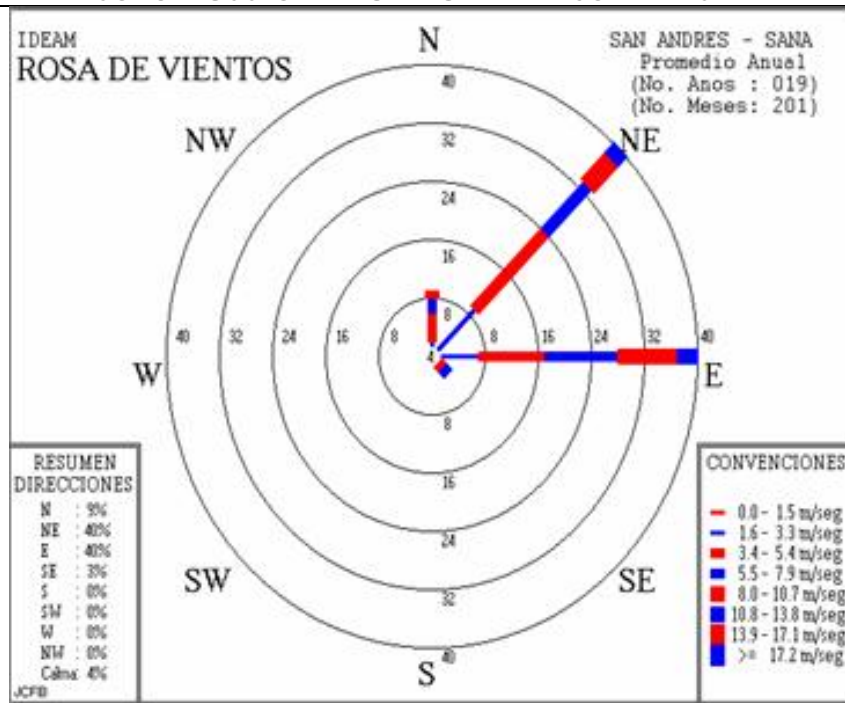


Figura 6.3 Rosa de los Vientos de la zona de San Andrés y Providencia

6.1.2. Geología

De acuerdo al estudio Áreas Coralinas de Colombia (Díaz *et al.*, 2000). El Archipiélago de San Andrés tuvo su origen a partir de un cono volcánico hundido, cuyo basamento se encuentra actualmente a más de 1.000 m de profundidad, que fue recubierto por calizas arrecifales formadas desde el Oligoceno (hace 35.5 millones de años) – Mioceno (hace 23,3 millones de años), configurando así un atolón. Durante el Plioceno (hace 1,64 millones de años) y parte del Pleistoceno (hace 1,64 millones de años), el atolón sufrió un basculamiento progresivo hacia su margen Este, quedando emergida una considerable porción de las estructuras calcáreas miocénicas de la parte Oeste. La parte central de la isla actual de San Andrés (La Loma) es precisamente una formación calcárea con depósitos sedimentarios de la antigua laguna del atolón, y está bordeada en las partes bajas de la isla por una amplia terraza coralina pleistocénica. Durante el Pleistoceno, una serie de oscilaciones del nivel del mar produjeron significativas modificaciones geomorfológicas, que se manifiestan en el truncamiento de las terrazas de abrasión y de los cantiles a diferentes niveles (Figura 6.4).

De acuerdo con el servicio Geológico Nacional (1960) y Hubach (1956), en el Archipiélago de San Andrés se encuentran tres formaciones que van de la más reciente a la más antigua así:

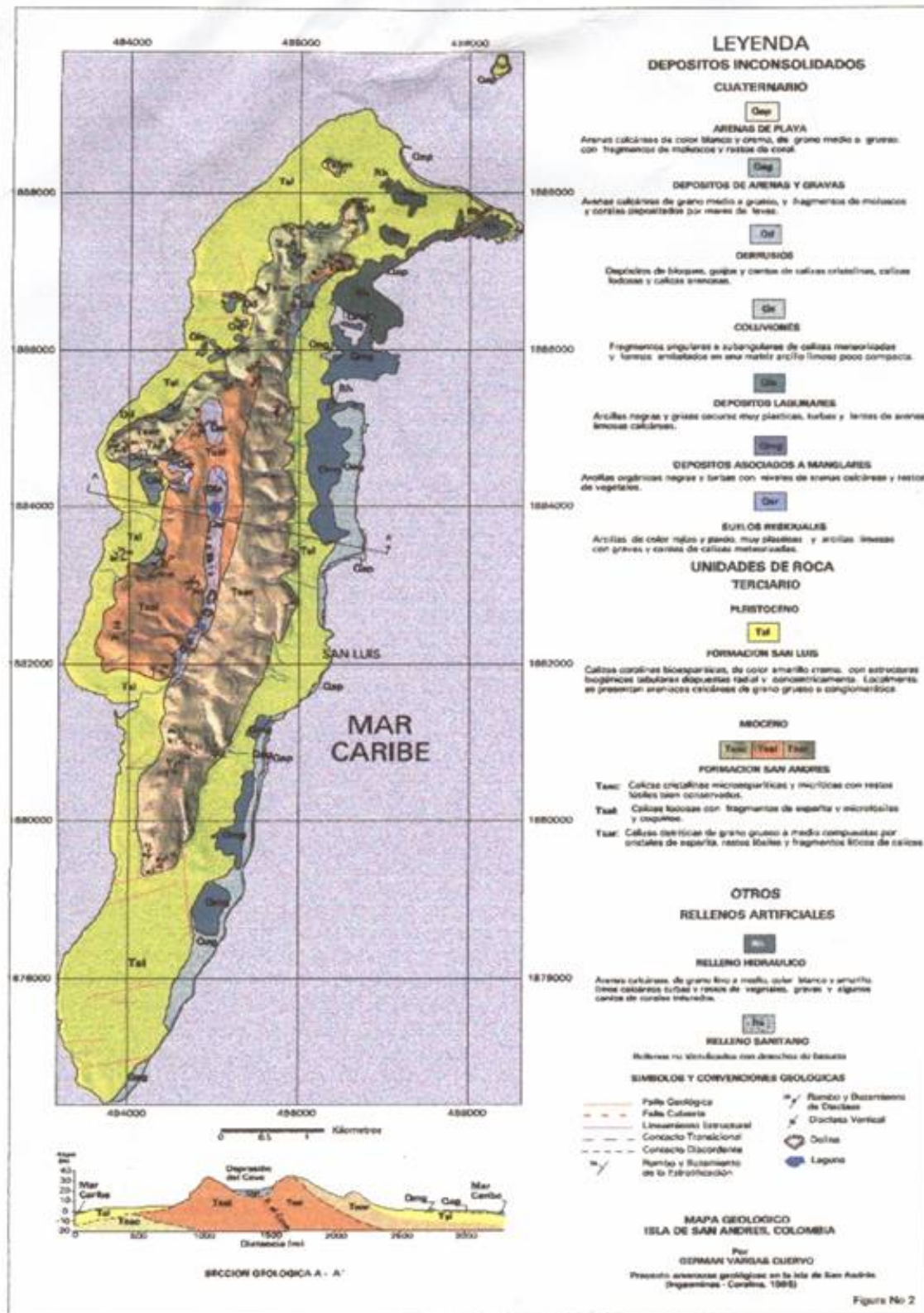


Figura 6.4 Mapa Geológico de la Isla de San Andrés y el cay Johnny Cay

6.1.2.1. Formación de la plataforma marina

Se identifica por dos sectores: la plataforma coralina protegida por el arrecife y la zona correspondiente al mar abierto. Estos depósitos están integrados por material arenoso, que cubre parcialmente los estratos de la formación San Luis. Hacia la línea de la costa éstos depósitos reunidos por el oleaje configuran las playas.

6.1.2.2. Formación de la plataforma terrestre o formación San Luis

Constituye las partes planas de la isla, conformada en primer lugar por calizas coralígenas sobre las cuales se observan suelos con poco desarrollo pedogenético y escasa profundidad y en segundo lugar, por arcilla calcárea arenosa depositada en zonas pantanosas (marismas) que dan origen a suelos orgánicos. El contacto de esta unidad con la formación San Andrés no se observa al nivel de afloramiento, sin embargo, teniendo en cuenta las relaciones espaciales y de tiempo es aparentemente discordante, pues se encuentra una unidad antigua (mioceno) circundada por otra más joven (pleistoceno-subreciente), descartándose que esta distribución sea el producto de fenómeno de plegamiento.

6.1.2.3. Unidades de roca superficial - Calizas Coralinas Cristalinas.

Esta unidad de rocas constituye la plataforma continental de la Isla de San Andrés que se manifiesta por desarrollar una morfología plana a ligeramente inclinada hacia el océano y constituyen el material litológico de las islas y cayos aledaños. El afloramiento de estas rocas se presenta principalmente en la zona costera, ya que al interior de la zona continental se presentan cubiertos por un suelo residual arcilloso de color rojizo y con espesores medios de 50 cm. Las calizas coralinas se muestran superficialmente de color negro y con superficies rugosas. Son rocas de alta dureza, frescas y poco meteorizadas aunque presentan procesos de disolución química. Localmente se presentan planos de diaclasas abiertas y con rellenos de material calcáreo y férreo.

6.1.2.4. Lineamientos estructurales

El diaclasamiento en las rocas coralinas de la formación San Luis no muestra una orientación preferencial. En general se observan abiertas 5-10cm, con relleno de material ferruginoso y calcáreo de paredes rugosas de persistencia moderada a alta y de baja frecuencia.

6.1.2.5. Formación calcárea de San Andrés

Corresponde al cordón interior de la isla conformada en su gran mayoría por caliza blanca maciza, moluscos re-cristalizados en calcita y fisuras rellenas de material oolítico ferruginoso, que ha originado suelos con características vérticas y altos contenidos de carbonato de calcio. Ver Figura No. 24 Geología de San Andrés

6.1.2.6. Unidades de roca superficial

Se subdivide en tres unidades superficiales:

Calizas Cristalinas

Las rocas de esta unidad afloran sobre el costado noroeste de la zona montañosa de la isla. Desarrollan una morfología de meseta, escarpada en su costado oeste y plana a ligeramente ondulada en la parte superior. En afloramiento estas rocas se observan de color crema, blanco y beige, de aspecto masivo, con superficies lisas y rugosas por alteración química, frescas a poco meteorizadas, muy duras y fracturadas a masivas, en capas muy gruesas a gruesas.

Calizas detríticas lodosas

Afloran en el costado occidental de la zona montañosa. Desarrollan una morfología de pendientes fuertes a escarpadas hacia el borde occidental y suavemente ondulada a plana en la parte central. En afloramiento se observaron estas rocas en capas delgadas (20cm) a medias (50cm), generalmente meteorizadas, con superficies caoliníticas de color blanco, untosas, de dureza media a blandas, en sectores con alta concentración de fósiles, formando coquinas. Presentan intercalaciones de calizas detríticas areno-lodosas y localmente calizas cristalinas microesparíticas y biomicríticas.

Calizas detríticas arenosas.

Esta unidad de roca aflora predominantemente en el costado oriental de la cordillera montañosa que se localiza en la parte central de la isla. Morfológicamente presenta pendientes suavemente onduladas en la parte superior de la cadena montañosa y hacia los costados desarrollan colinas de pendientes moderadas y de contornos geométricos. Estas rocas se observan en afloramiento de color amarillo crema, en capas delgadas (10cm) a medias (50cm), generalmente frescas a poco meteorizadas, de dureza media a baja y poco fracturadas.

6.1.2.7. Lineamiento estructural

El plegamiento en las rocas de la Isla de San Andrés no es un fenómeno muy desarrollado; las rocas de la formación San Andrés se presentan orientadas en dirección NS a EN e inclinadas al SE. Variaciones locales en la orientación e inclinación de los estratos se asocian más a basculamientos de bloques por tectonismo gravitacional que a plegamiento. Se identifica con claridad un pliegue local ubicado en el sector de Little Hill Road. Se trata de una estructura anticlinal asimétrico de poca inclinación de sus flancos 15/30 grados, su eje presenta una orientación de N50 E. Las diaclasas varían notablemente de un sector a otro. Se observan cerradas y abiertas, con relleno de material arcilloso o calcáreo cementante. La frecuencia y persistencia de estas estructuras aumenta en proximidad de las zonas de falla.

6.1.2.8. Depósitos de origen geológicos naturales

Origen marino-costero

Arenas y gravas calcáreas se presentan, principalmente en el costado sur-oriental de la isla, como producto de transgresiones del mar ocasionadas por huracanes y mares de levés. Arenas de Playa, las playas están constituidas por arenas calcáreas de color blanco-crema, de grano medio a grueso, de forma sub-angular a suredondeados con fragmentos de moluscos y de corales. Los principales depósitos de arenas de playa se localizan en la parte norte de la isla y en algunos sectores de la parte oriental, entre los que se destacan Rocky Cay, San Luís y el Decamerón.

Origen denudacional

Los afloramientos de roca son en general escasos, gran parte de estas están cubiertas por suelos residuales y otros materiales inconsolidados. Las calizas arrecifales de la formación San Luís generan unos suelos residuales arcillosos de color rojizo dado el alto contenido de óxido de hierro. Sobre las rocas calcáreas de la formación San Andrés los suelos residuales más importantes se presentan sobre la unidad de calizas detríticas lodosas. Estos suelos muestran en algunos sectores un perfil de meteorización bien desarrollado y en el sector del Cove generan unos suelos inmaduros no estructurados, constituidos por arcillas de color marrón y rojizo.

Origen lacustre

Localizado en la parte norte de la isla en los sitios aledaños al aeropuerto y en donde se localiza el estadio, en la región del Cove bajo las lagunas actualmente existentes. Dado el ambiente marino - costero de la isla, el desarrollo de manglares es notable. Sobre estas zonas la litología es particular, producto de las transgresiones del mar sobre estas zonas de intercambio. Allí se depositan arenas calcáreas y gravas formadas por fragmentos de corales. La descomposición de plantas sobre los suelos residuales produce capas turbosas y arcillas orgánicas, lo cual produce un depósito de arenas, arcillas y turbas interdigitadas en forma de lentes. Estos sectores se presentan aledaños a la costa oriental.

6.1.2.9. Depósitos Cuaternarios

Depósitos inconsolidados

En el archipiélago de San Andrés se presentan una gran diversidad de depósitos inconsolidados definidos por su origen, composición y espesor. Entre estos depósitos se tienen los de origen antrópico como los rellenos sanitarios y rellenos hidráulicos; los geológicos naturales definidos según su ambiente de depositación en: arenas de playa, depósitos de laderas, zonas lacustres y depósitos de manglares.

Depósitos de origen antrópico: son llenos hidráulicos y sanitarios.

Están representados por materiales de relleno artificial como rellenos sanitarios y rellenos hidráulicos; depósitos de origen lacustre; depósitos asociados a zonas de manglar; depósitos de vertientes como coluviones y derrubios.

- Arenas gravas (Qag). En algunos sectores costeros, principalmente en el costado Suroeste de la isla se presentan unos depósitos de arenas y gravas calcáreas como producto de transgresiones del mar ocasionadas por huracanes y mares de leva. Gran parte de estos materiales han sido extraídos como insumos de materiales de construcción. El espesor de estos depósitos puede alcanzar los 1.5 m.

- Arenas de playa (Qar). Las playas de San Andrés están constituidas por arenas calcáreas de color blanco – crema, de grano medio a grueso, de forma sub-angular a subredondeados, con fragmentos de moluscos (conchas, caracoles, etc) y de corales. El espesor de estos depósitos de playa alcanza los 3 m. Los principales depósitos de arenas de playa se localizan en la parte

Norte de la isla (zona hotelera) y en algunos sectores de la costa Este, entre los cuales de destacan el de Rocky Cay, San Luis y el Decamerón.

- Suelos residuales (Qsr). En la isla de San Andrés los afloramientos de roca son en general escasos (aproximadamente un 2%), gran parte de las rocas terciarias están cubiertas por suelos residuales y otros materiales inconsolidados.

Las calizas arrecifales de la Formación San Luís generan unos suelos residuales arcillosos de color rojizo dado el alto contenido de óxidos de hierro. Estos suelos presentan espesores máximos de 1.5 m.

Sobre las rocas calcáreas de la Formación San Andrés los suelos residuales más importantes se presentan sobre la unidad de calizas detríticas lodosas (Ts2). En el sector del Cove generan unos suelos inmaduros no estructurados, constituidos por arcillas de color marrón y rojizo.

- Derrubios (Qd). Son fragmentos de rocas depositados en la base de las laderas y escarpes rocosos. Estos depósitos se presentan en la isla de San Andrés en los taludes bajos o piedemontes de la zona montañosa central.

- Coluviones (Qc). Los coluviones son depósitos generados por la fragmentación, depositación y alteración de rocas. Los coluviones se caracterizan por formarse de una matriz que engloba fragmentos de rocas. En la región del Cove se presenta un depósito de coluvión asociado a la zona de falla de San Andrés.

- Depósitos lacustres (Qla). Son depósitos constituidos por arcillas, turbas y restos orgánicos. Las arcillas son de composición orgánica, muy plástica y blanda.

- Depósitos asociados a Manglares (Qmg). Dado el ambiente marino – costero de la isla, el desarrollo de manglares es notable. Sobre estas zonas de manglares la litología es particular, producto de las transgresiones del mar sobre estas zonas de intercambio. Allí se depositan arenas calcáreas y gravas formadas por fragmentos de corales.

Depósitos de origen geológicos naturales

Se hace referencia a los tipos de depósito relacionados con el presente estudio

Origen marino-costero

Arenas y gravas calcáreas se presentan, principalmente en el costado sur-oriental de la isla, como producto de transgresiones del mar ocasionadas por huracanes y mares de levass.

Arenas de Playa, las playas están constituidas por arenas calcáreas de color blanco-crema, de grano medio a grueso, de forma sub-angular a suredondados con fragmentos de moluscos y de corales. Los principales depósitos de arenas de playa se localizan en la parte norte de la isla y en algunos sectores de la parte oriental, entre los que se destacan Rocky Cay, San Luis y el Decamerón.

6.1.2.10. Geología estructural

Estructuralmente la isla puede ser definida a grandes rasgos en dos provincias estructurales correspondiente a los bloques separados por la Falla de San Andrés.

El bloque norte presenta buzamientos hacia el este que oscilan entre 20 y 40 grados, aunque en el extremo sur occidental las capas buzán 60 grados en la misma dirección. No se reconocen fallas ni pliegues de importancia en este bloque.

El bloque sur está dividido longitudinalmente por la falla del Cove. El flanco oriental de esta falla presenta buzamientos predominantes hacia el este. Se encuentran algunos pequeños pliegues anticlinales como en Little Hill Road, cuyo eje está orientado N60 grados E, presenta un ángulo interflancos de 135° y su plano axial está dispuesto 150°/80°, otro pliegue con orientación N-S y geometría no determinada se encuentra en la parte superior de los cerros entre Cove Road y Sound Bay Road. El flanco occidental tiene una disposición espacial similar a la del flanco opuesto. No hay presencia de pliegues ni de fallas notorias.

Falla San Andrés

Se trata del fenómeno asociado al presente estudio; ya que Johnny Cay está localizado en la zona norte y dentro del área por ella moldeada. La falla de San Andrés juega un papel importante en la evolución deformativa de la isla puesto que las orientaciones de los lineamientos son notablemente diferentes en cada uno de sus flancos. Esta estructura se localiza sobre la zona montañosa de la isla, en su costado noreste, presenta una dirección de N45 Grados E. Esta falla se caracteriza por su expresión (rectilínea) y contraste morfológico, la formación de silletas de falla y estrías de falla, particularmente en sector de Perry Hill, zonas de cizallamiento, espejos de falla y estrías de falla (sector del colegio Bolivariano) y zonas de alto fracturamiento que se manifiesta en los escarpes rocosos del Cliff.

Falla de Punta Hansa

Localizada en la parte Noreste de la Isla. Es una falla de dirección N55E, que muestra claramente un movimiento de rumbo sinistral, en el cual el bloque oriental se desplazó hacia el noreste y el bloque occidental hacia el sur oeste.

Teniendo en cuenta que esta falla afecta las rocas del Terciario (plioceno) de la formación San Luís y muestra sus efectos sobre la barrera coralina, se estima que esta fue generada en el periodo Cuaternario, lo cual implica una actividad tectónica reciente en la Isla.

6.1.3. Geomorfología

La geomorfología se orienta al estudio de las formas del terreno bajo tres aspectos principales: Morfométrico que cuantifica la geometría de las formas del terreno como la determinación del relieve en contornos de altitud, la medición de las pendientes, etc. morfológico que define las formas del terreno por su génesis y morfodinámico que representa los procesos dinámicos que

se realizan en la superficie e interior del terreno. La geomorfología de San Andrés se indica de acuerdo a la cartografía IGAC 1980 (Figura 6.5).

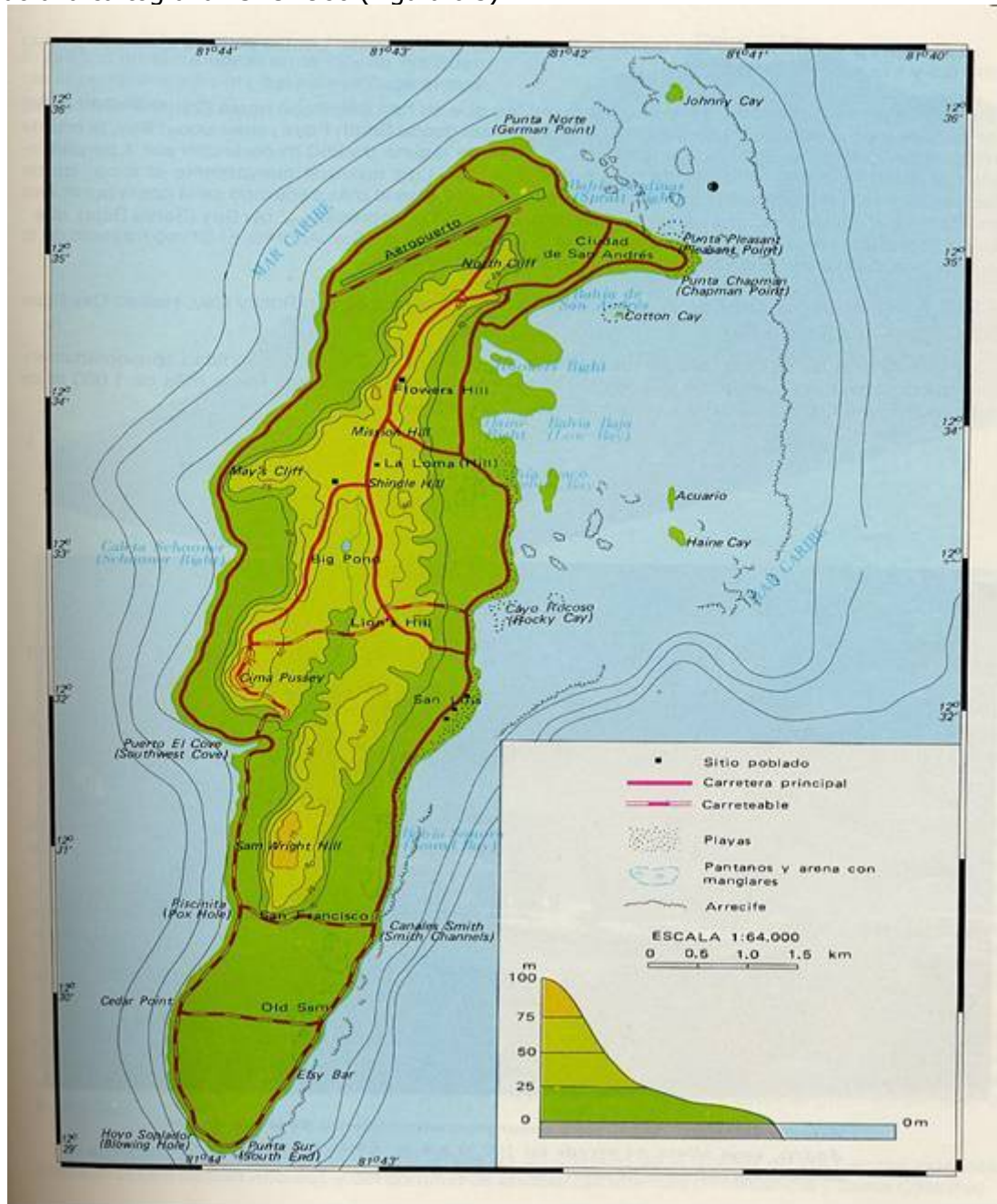


Figura 6.5 Mapa Fisiográfico de San Andrés (IGAC, 1980)

6.1.3.1. Geomorfología costera

La línea de costa de la isla de San Andrés presenta en un alto porcentaje una conformación rocosa. Sustentada en una caliza arrecifal de la formación San Luís y cuya edad es Pleistoceno tardío.

56 ESTUDIOS BIOFÍSICOS, OCEANOGRÁFICOS, TOPOGRÁFICOS Y DE DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN MUELLE EN JOHNNY CAY CORALINA

Esta formación arrecifal cuyo límite con el mar genera en la mayoría de las veces un acantilado, varía su geometría de un lugar a otro, como consecuencia de la dinámica que opera en cada sector y del estado en que se encuentra la misma roca en función de los procesos de meteorización química y física.

6.1.4. Morfodinámica

6.1.4.1. Procesos de erosión marina

La clasificación de los niveles de erosión es eminentemente subjetiva. En razón de que las características de degradación costera son diferentes en costas bajas (playas y manglares), que en costas altas (acantilados), se hace una clasificación particular para cada medio.

Borde arrecifal

Erosión alta: Ausencia de hendiduras o incipiente formación de éstas, substratos rocosos masivos carentes de grietas, Rasgos de disolución subordinados.

Erosión alta: Playas con escarpes de erosión (mayor de 20 cm de altura), Acumulación abundante de desechos de madera traídos por el mar, Raíces de manglares derribadas.

Erosión media: Playas con escarpes de erosión (menor de 20cm de altura), acumulación esporádica de desechos de madera sobre la playa.

Erosión baja: ausencia de escarpes de erosión en la playa, ausencia de desechos de madera sobre la playa, Manglar aparentemente floreciente.

Acreción

Área donde hay adición de terreno costero mediante depósito de material transportado por olas y corrientes, al comparar fotografías aéreas del IGAC de diferentes años en el rango (44-96), con el estado actual de la línea de costa, se evidencia expansión de las playas o zonas de manglar

6.1.4.2. Variación en la línea de costa

Johnny Cay es un cayo con una condición estable y permanente, debido a la presencia de la barrera arrecifal coralina, no se presentan mayores procesos erosivos en la gran mayoría del perímetro costero del cayo por lo tanto se conserva con la misma geometría, sin tener afectación salvo en la zona sur, donde se encuentra la zona de playa, que tiene atractivo turístico.

6.2. OCEANOGRAFÍA

6.2.1. Corrientes

El patrón de circulación general de las aguas del Mar Caribe (Figura 6.6), está dominado por una gran corriente que deriva en dirección Nor-Oeste a lo largo del eje principal de la cuenca; sin

embargo, de la margen Sur-Oeste se desprende una masa de agua superficial, que circula en sentido contrario, formando un giro ciclónico que afecta la Costa norte colombiana. (Corredor, 1981).

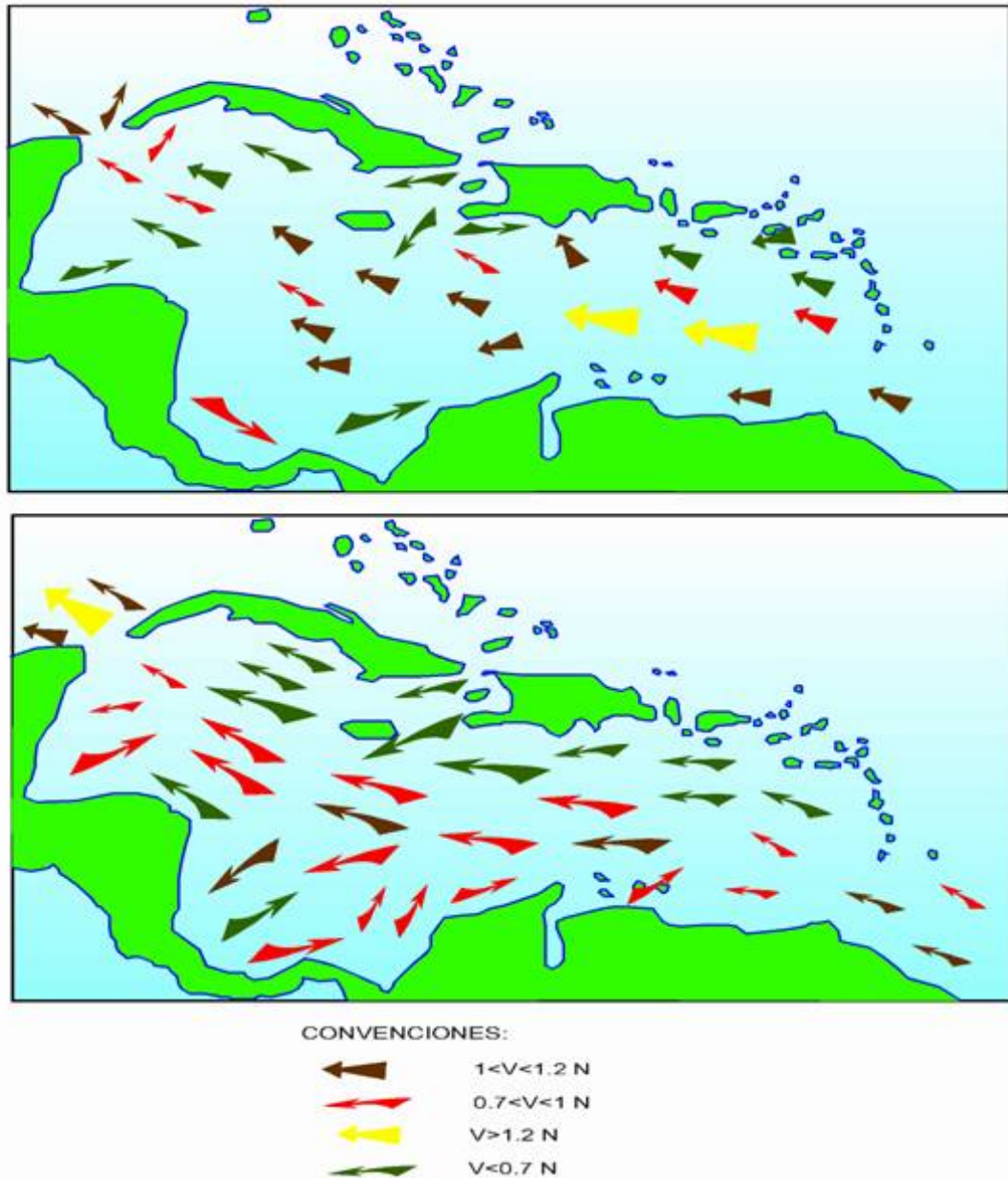


Figura 6.6 Corrientes marinas en el Mar Caribe (THESE A L'UNIVERSITE DE BORDEAUX I. por FREDERIC LEBLAC)

Pujos *et. al.* (1986) relacionan la circulación de las corrientes en el Caribe, con el desplazamiento de la Zona de Convergencia Intertropical (Z.I.C). Cuando la ZIC se encuentra en posición meridional, la corriente Caribe se dirige hacia el Oeste; al acercarse a las costas de Panamá. Se dobla hacia el Sur y luego hacia el Este, estableciendo una contra corriente a lo largo de las costas colombianas. La posición septentrional de la ZIC, genera en el Caribe

occidental, dos regímenes de vientos que favorecen la extensión y el incremento de la contracorriente proveniente del golfo de Panamá, hacia el Noreste cuyo alcance en las costas colombianas, depende de la estación del año.

El Caribe colombiano está influenciado por la acción de la corriente del Caribe y la contracorriente de Panamá, ambas dependen de la influencia del desplazamiento latitudinal de la zona de confluencia intertropical, y por ende del régimen climático prevaleciente. De acuerdo con Pujos (1984) en el periodo seco (diciembre – abril), la corriente del Caribe se desplaza hacia el Oeste por influencia de la configuración de las costas panameñas, cambia de dirección inicialmente hacia el Sur y luego hacia el Oeste, generando la contracorriente de Panamá la cual influye marcadamente hasta las costas del golfo de Urabá.

En el periodo húmedo (septiembre – noviembre) la contracorriente es reforzada por los vientos provenientes del Suroeste, permitiendo que esta alcance las costas de la Guajira en octubre y noviembre.

Las corrientes encontradas, con viento del Noreste con velocidad de 15 nudos constante y ráfagas de 20 nudos, marea saliendo, nos muestran una corriente con rumbo del 231° al 264° Sureste, con velocidades de 4 a 8 nudos, las cuales al llegar a la Isla de Johnny Cay cambian al rumbo al 208° SSW y reducen su velocidad a 0.2 nudos; permitiendo una zona de corrientes muy débiles, donde es factible la construcción de un muelle desde el punto de vista de corriente.

Es importante anotar que la corriente siempre siguió la dirección Sur-Oeste sin ser influenciada por la marea entrante o saliente, que para el caso del 4 de noviembre era de 062 cm. Siendo una de las más grandes alturas de marea que se puede encontrar en esta zona, predominando la fuerza y dirección del viento Nor-Este.

6.2.2. Oleaje

La costa Norte colombiana se ve expuesta anualmente a oleaje extremo producido por los huracanes que pasan al norte de la costa Caribeña durante la temporada de huracanes (junio a noviembre) y del incremento de los vientos Alisios durante el mes de diciembre hasta marzo. El oleaje y el nivel del mar bajo estas condiciones, alcanzan súbitamente valores peligrosos para la población y toda la infraestructura costera. Si a esta condición sumamos los efectos por un eventual ascenso del mar previsto en 1.0 m en los próximos 100 años, nos encontramos ante una condición que nos exige la mayor dedicación en los próximos años.

6.2.2.1. Oleaje en aguas profundas

Con las gráficas de Ocean Graphic Atlas of the North Atlantic Ocean se obtuvo que para una probabilidad de excedencia del 95% el oleaje típico para la zona en aguas profundas en San Andrés es de 4 m y el periodo oscila entre 6 – 7 seg (Figura 6.7)

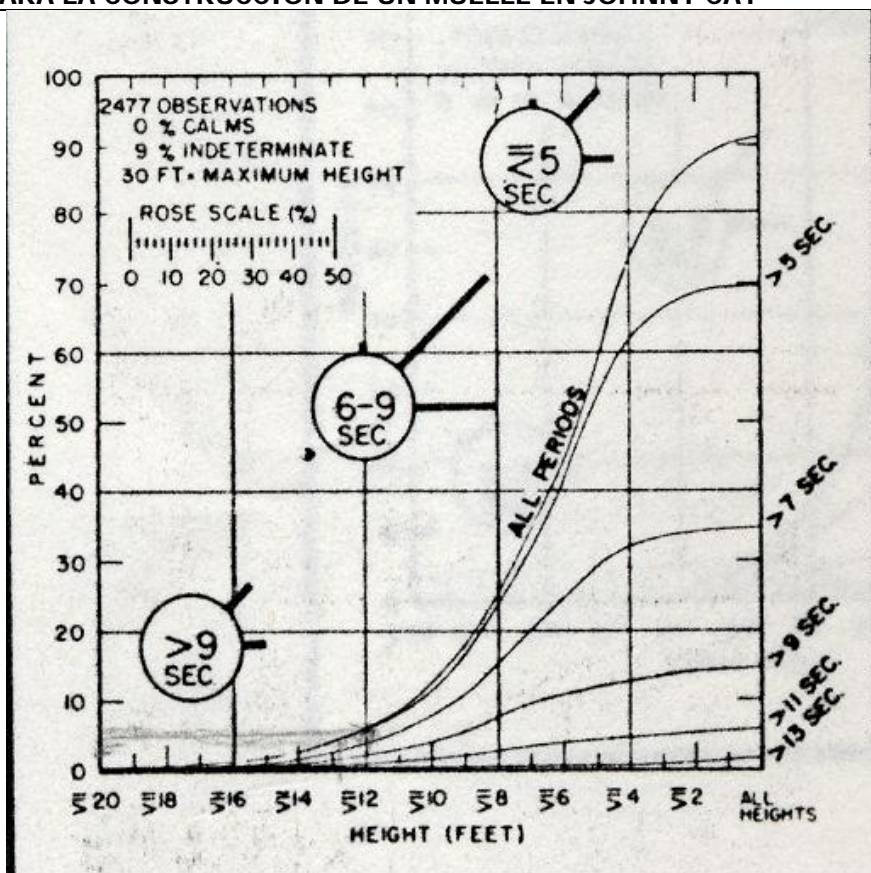


Figura 6.7 Oleaje típico del Mar Caribe (Ocean Graphic Atlas of the North Atlantic Ocean)

El estudio realizado por el DHI en conjunto con la Universidad de los Andes, arrojó el siguiente resultado (Tabla 6.1).

Tabla 6.1 Altura de ola y período del estudio realizado entre el DHI y la Universidad de los Andes en aguas profundas en Bocas de Ceniza

Periodo de retorno (años)	Hs (m)	Ts (seg)
10	2.5	9.2
15	3.5	10.8
50	4.0	11.5
100	4.4	12.2

De este estudio, se adopta se selecciona para San Andrés, el obtenido para un Período de Retorno de 50 años, el cual le correspondió una altura de ola de 4 m y un periodo de 11,5 seg.

La Universidad del Norte realizó un estudio del clima marítimo en aguas profundas, a partir de datos de vientos con base a su intensidad y zona de generación (Fechth). Ver Tabla 6.2.

Tabla 6.2 Altura de ola y período del estudio realizado por la Universidad del Norte en aguas profundas en Bocas de Ceniza

Duración (horas)	DIRECCIONES									
	N		N.N.E.		NE		E.N.E		E	
	Ts	Hs	Ts	Hs	Ts	Hs	Ts	Hs	Ts (seg)	Hs (m)
3	8.6	4.6	8.6	4.6	10.9	5.7	10	5.3	9.1	5.0
6	8.4	4.6	8.4	4.6	10.6	5.5	9.7	5.3	8.9	5.5
12	8.2	4.5	8.2	4.5	10.2	5.5	9.4	5.3	8.6	4.5
24	7.9	4.5	7.9	4.5	9.9	5.3	9.1	5.0	8.3	4.5

De este estudio se selecciona la dirección N.N.E. para una duración de 3 horas, con una altura de ola de 4.6 m y un promedio de 8.6 segundos.

De los resultados obtenidos utilizando las gráficas de Ocean Graphic Atlas of the North Atlantic Ocean y los estudios realizados por las universidades de los Andes y del Norte, se definió para la zona de aguas profundas de San Andrés una altura del oleaje media típica $H_s = 4.2$ m, con un período de 8 segundos.

5.3. MODELACIÓN

La Figura 6.8 presenta la ubicación del sitio de modelación con la base de datos del modelo OLAS, en el sector Nor - Este de San Andrés, entre las coordenadas geográficas: Longitud Este: $81^{\circ} 38' 18''$ y Latitud Norte: $12^{\circ} 27' 32''$; para profundidades indefinidas.

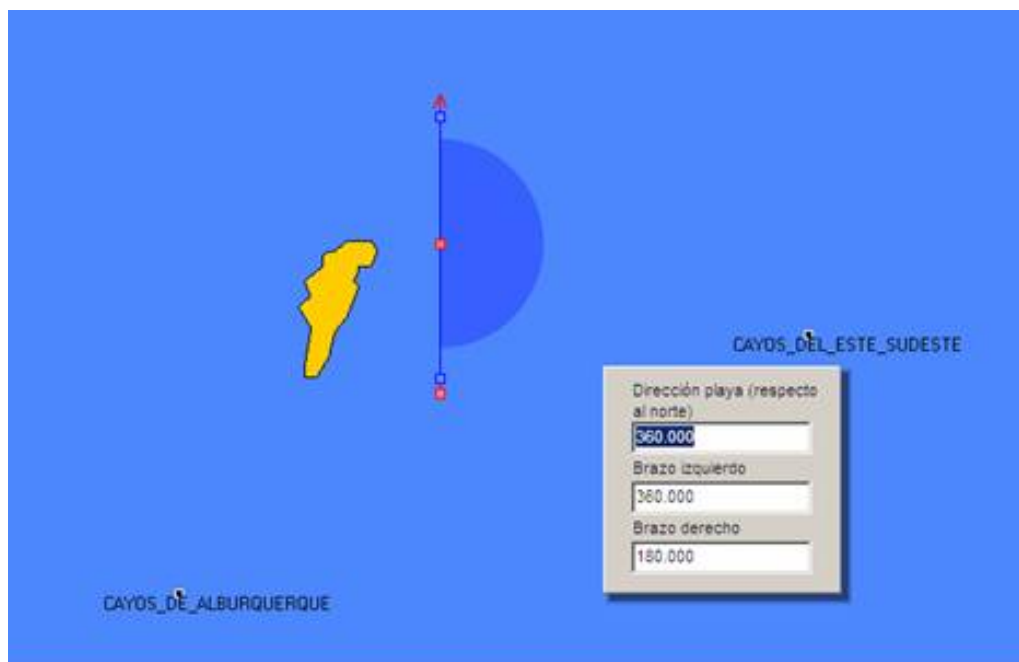


Figura 6.8 Ubicación del sector de oleaje

De la base de datos de este modelo, se obtuvo la Rosa de Oleaje para el sitio del proyecto, donde se confirma que la altura de oleajes para la zona de estudio alcanza valores de $H_s = 4.0\text{m.}$, con direcciones predominantes del Este al Nor-Este (Figura 6.9)

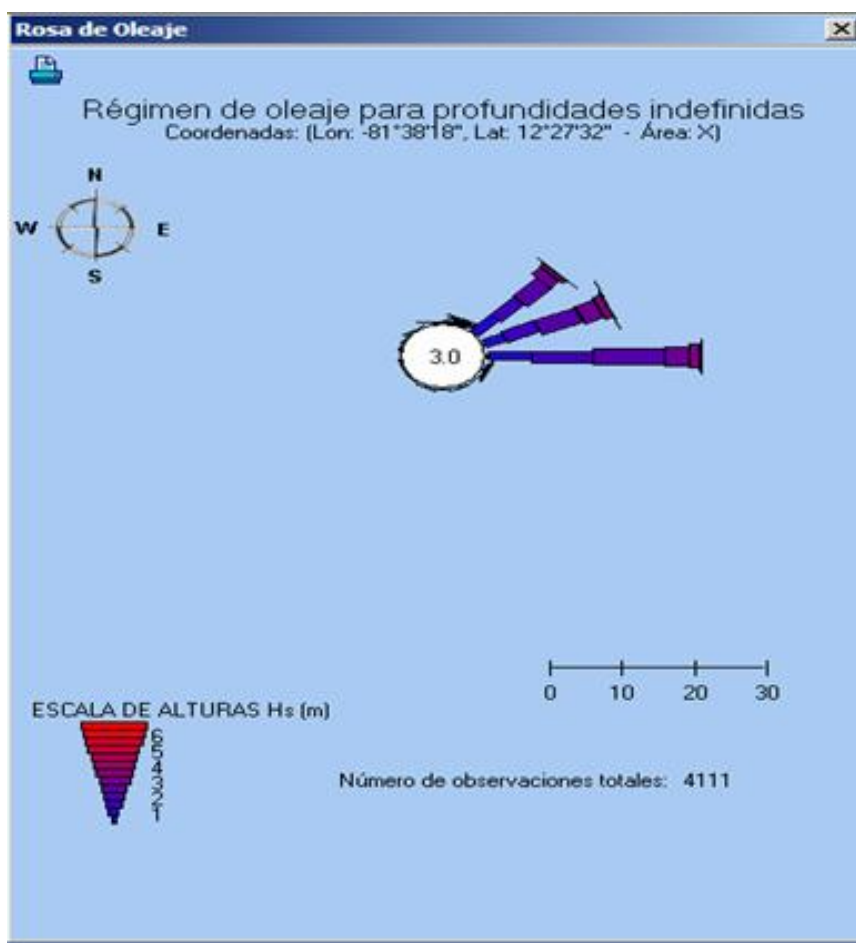


Figura 6.9 Rosa de Olas en aguas profundas para el área de influencia de la Isla de San Andrés

Utilizando el software OLAS, creado por el Centro de Control de Contaminación del Pacífico CCCP, en convenio con la Dirección General Marítima DIMAR y la Universidad de Cantabria, se calculó el oleaje para aguas profundas al Nor-Este del Archipiélago de San Andrés, en la zona de ubicación del cayo Johnny Cay. De los resultados del modelo se obtiene la siguiente información:

La altura significativa (H_s) de olas provenientes del Norte, para una probabilidad excedida del 1.0% es de $H_s = 5.5\text{ m}$ y un periodo pico $T_p = 15.0\text{ seg}$ (Figura 6.10).

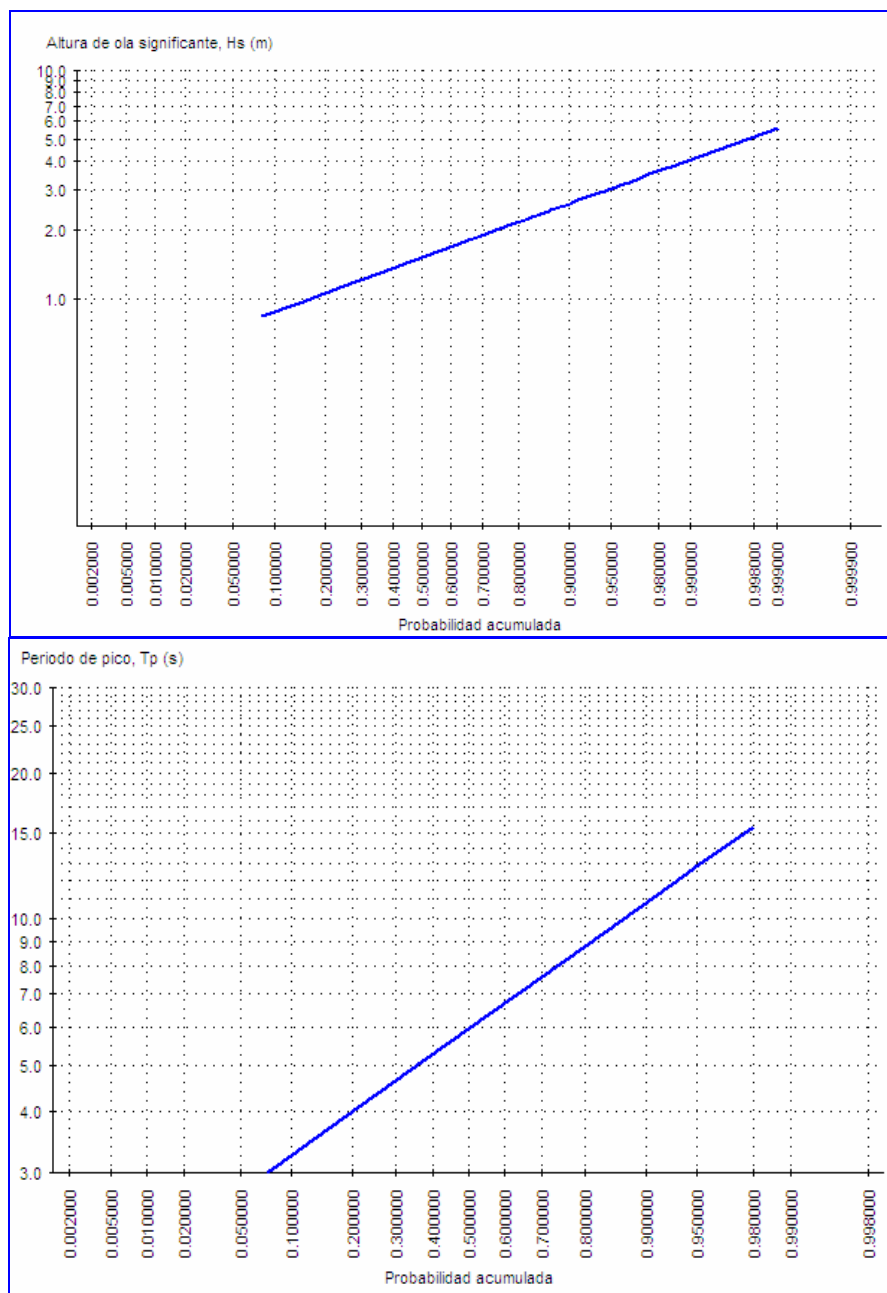


Figura 6.10 Cálculo del oleaje Norte, en el punto de estudio seleccionado con profundidad indefinida; obteniendo altura de ola y periodo pico

La altura significativa (H_s) de olas provenientes del Este, para una probabilidad excedida de del 1.0% es de $H_s = 5.5$ m y un periodo pico $T_p = 15.0$ seg (Figura 6.11).

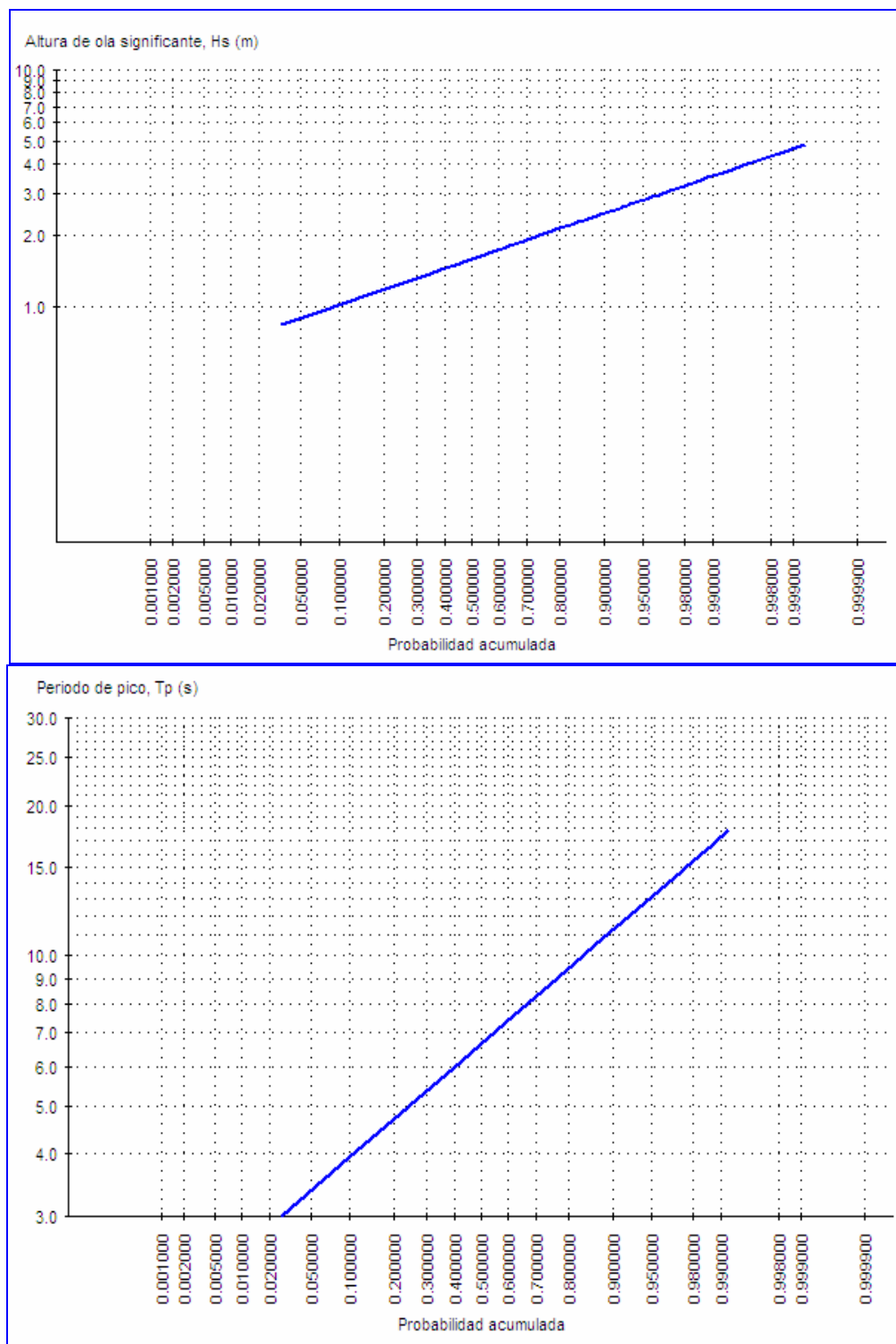


Figura 6.11 Cálculo del oleaje Este, en el punto de estudio seleccionado con profundidad indefinida; obteniendo altura de ola y periodo pico

**64 ESTUDIOS BIOFÍSICOS, OCEANOGRÁFICOS, TOPOGRÁFICOS Y DE
DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN MUELLE EN JOHNNY CAY**

CORALINA

La altura significativa (H_s) de olas provenientes del Sur, para una probabilidad excedida del 1,0% es de $H_s = 1,8$ m y un periodo pico $T_p = 17$ seg (Ver Figura 6.12).

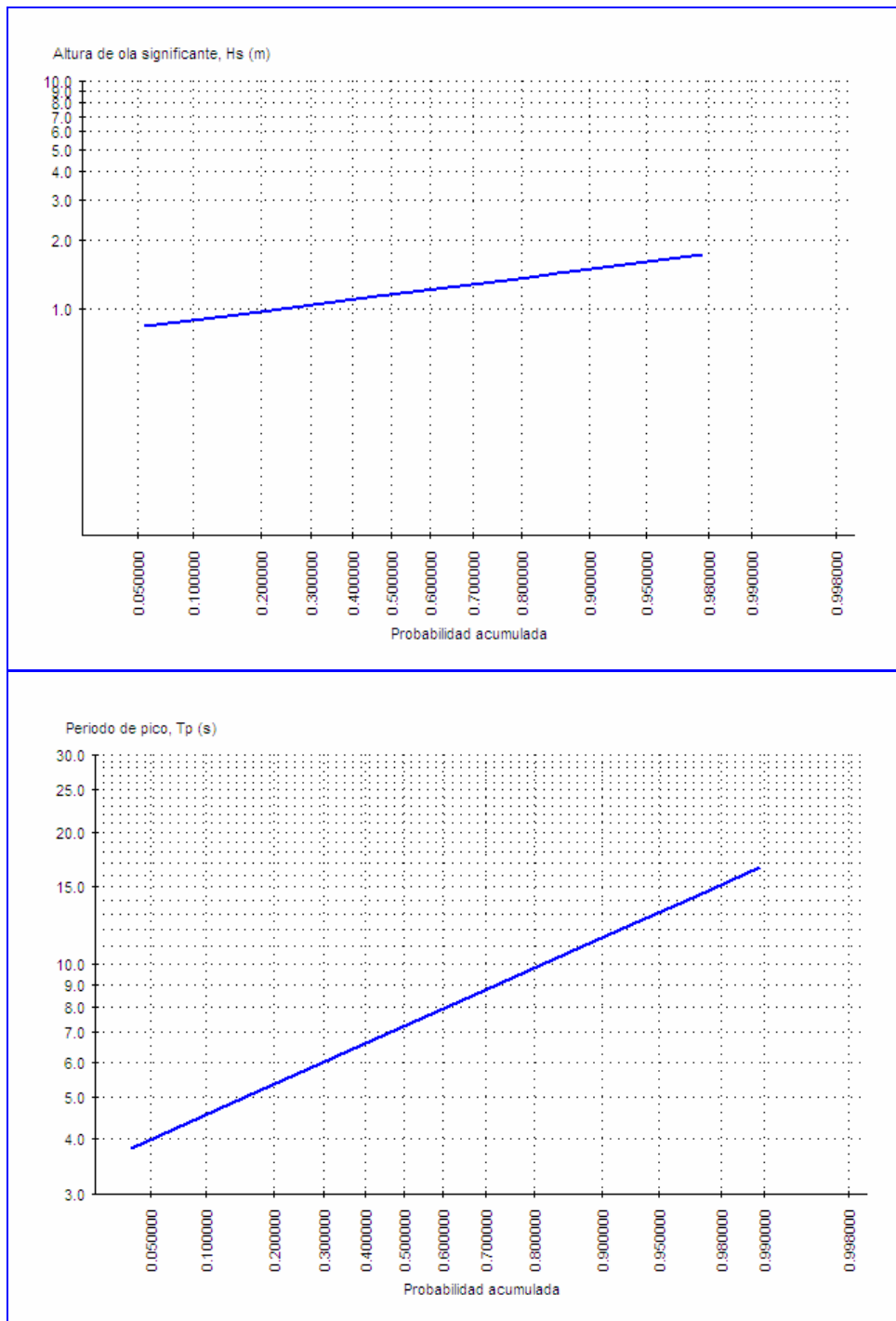


Figura 6.12 Cálculo del oleaje Sur, en el punto de estudio seleccionado con profundidad indefinida; obteniendo altura de ola y periodo pico

6.2.2.2. Oleaje en aguas someras (profundidades determinadas)

Cuando el oleaje se acerca a la costa se ve afectado por la disminución de los fondos o estructuras, lo cual hace que se transforme sus características hasta llegar a la rotura. Los fenómenos que hacen que el oleaje se transforme a su llegada a la costa son los siguientes:

Refracción. Es el cambio de dirección de propagación y amplitud que experimenta el oleaje al avanzar sobre fondos de profundidad variable. Este proceso es el que hace que el oleaje al llegar a la costa se coloque paralelamente a ésta.

Shoaling (Asomeramiento). Es el fenómeno de variación de la altura del oleaje inducida por el fondo.

Difracción. Es la modificación que experimenta el oleaje en su propagación por la existencia de una estructura o un obstáculo.

Para los diseños, el periodo de retorno adoptado para el oleaje es de 50 años, este oleaje se propaga desde aguas profundas al sitio del proyecto, el cual es disipado por efecto de la barrera arrecifal que se ubica desde el Sur hasta 327 m al Norte de Johnny Cay, generando una área protegida del oleaje oceánico, donde se reducen las profundidades hasta el orden de 2.0 m. El oleaje que puede penetrar hasta el sitio donde se proyecta la construcción del muelle, sufre los efectos de refracción y difracción.

Utilizando el modelo OLAS en proximidad del muelle proyectado, para aguas determinadas a una profundidad de 2.0 m, se obtuvieron los siguientes resultados:

- La Figura 6.13 muestra la ubicación del sitio de modelación y la entrada del modelo OLAS, en el sector Nor-Este de San Andrés, en las siguientes coordenadas geográficas, Longitud Este: $81^{\circ} 38' 18''$ y Latitud Norte: $12^{\circ} 27' 32''$; para profundidades definidas, para objetivo de 2,0 m.
- De la olas provenientes del Este, mediante el modelo se obtuvo la altura de la ola significativa (H_s) para una probabilidad excedida del 50%, generando un valor $H_s = 1.5$ m y un periodo pico $T_p = 7.0$ seg (Figura 6.14).

Teniendo en cuenta la altura de la ola significativa y la profundidad de rompiente profundidad de rompiente, se adopta como ola de diseño para la estructura del muelle, una altura $H_s = 1.5$ m y periodo de 7.0 Seg.

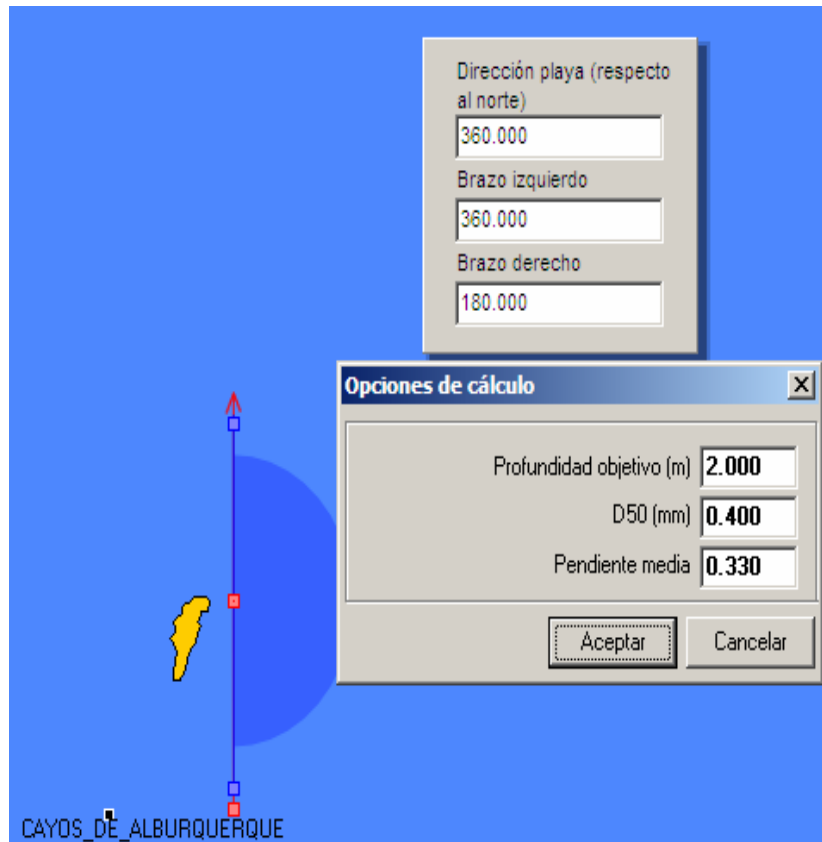


Figura 6.13 Entrada del programa Olas para cálculo de oleaje de diseño

6.2.2.3. Mareas

Las mareas en la Costa Caribe colombiana son irregulares, a pesar de que son del tipo semidiurno, no se presenta exactamente dos pleamares y dos bajamares en un periodo de 24 horas, sino que se presenta una pleamar, una bajamar seguido de un ascenso y descenso leve del nivel de las aguas, es decir con fuerte desigualdad diurna y una amplitud que es la oscilación del nivel a partir del nivel medio) media multianual es inferior a 0.6 m lo que permite clasificarla en el régimen micromareal (Juvelaud, 1986).

Mares de leva

El fenómeno conocido como "Mar de Leva", consiste en el aumento anormal de la altura del oleaje, aumento que es ocasionado por el efecto de fricción entre la superficie del mar y la masa de aire atmosférico en movimiento en forma de viento, el cual es intensificado con el paso de sistemas atmosféricos de mal tiempo (bajas presiones) que empujan las aguas oceánicas hacia la costa causando oleaje fuerte. El tamaño de las olas formadas depende de la velocidad y el tiempo que persista la misma velocidad de viento.

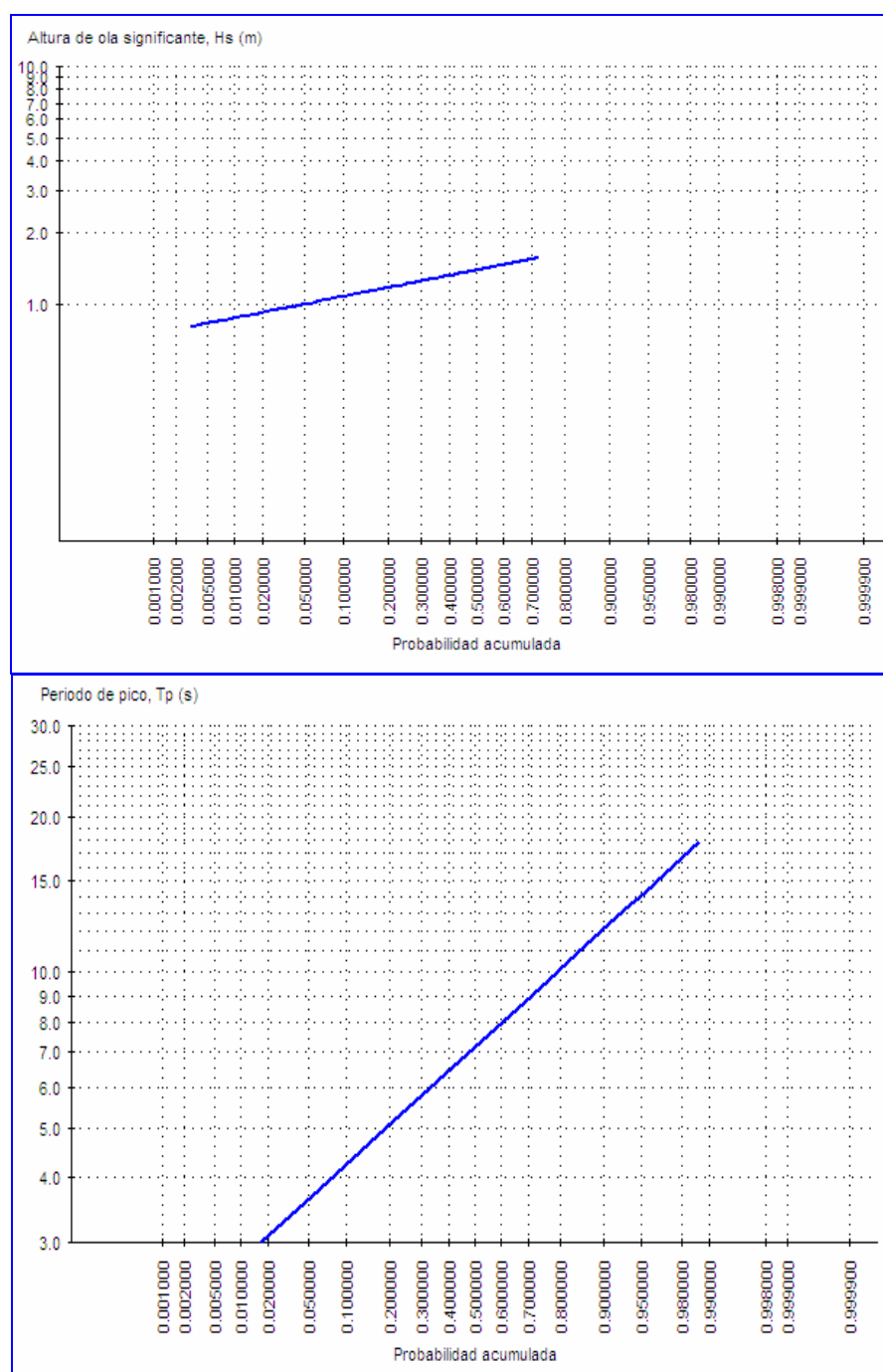


Figura 6.14 Cálculo del oleaje este, en el punto de estudio seleccionado con profundidad definida; obteniendo altura de ola y periodo pico

La incidencia de los efectos de este fenómeno sobre cualquier tipo de embarcación es mucho más fuerte en las áreas costeras ya que la altura de la ola aumenta en la medida que encuentre cambios en la batimetría. También se causan daños en la costa, provocando inundaciones en

sectores aledaños a las playas y originando además, diferentes grados de erosión que algunas veces ocasiona daños en las construcciones cercanas, tales como estructuras de muelles menores y viviendas que por su ubicación se expongan a los efectos directos del fenómeno.

En Colombia, el fenómeno afecta la costa Caribe y es típico de la época seca o de vientos (diciembre - abril), aunque las estadísticas muestran que casi siempre se presenta en Enero y Febrero y en algunas ocasiones se extiende a Marzo. Su duración es de aproximadamente 48 horas siendo su inicio más intenso que su final, pero su fuerza se ve reforzada por la acción de los vientos Alisios que por la época soplan del norte - noreste y son más intensos en horas de la tarde, lo cual hace el fenómeno mas dañino en esas horas. Se calcula que el fenómeno puede repetirse hasta cuatro veces en un solo mes y afecta a toda la costa del Mar Caribe Colombiano. El Sistema de mal tiempo que normalmente origina este fenómeno en el Caribe es el relacionado con la incursión del frente polar, que en su desplazamiento inicial hacia el sureste alcanza latitudes de 15° norte o menos. Esta incursión polar o frente lleva consigo un sistema de olas y vientos generados por su mal tiempo asociado y el cual comienza a viajar a través del Mar Caribe, con destino final las costas de Centroamérica, Venezuela y Colombia, donde se traduce en el fenómeno de Mar de Leva.

6.2.3. Batimetría y perfiles de playa

El levantamiento batimétrico cubrió desde el noroeste del cayo Jhonny Cay hasta el suroeste de dicha isla; la parte del noreste al sureste no se levanto debido a la gran cantidad de coral que allí se encuentra y considerando que para el objetivo del proyecto esta parte del cayo esta directamente a Barlovento, la cual la imposibilita como zona de muelle.

Partiendo del norte hacia el sur por el oeste se encuentra una playa muy angosta sostenida por una franja de roca, arrecife fósil, que soporta toda la isla. Al Este de la isla a medida que nos internamos en el mar la pendiente es muy suave 1:30, hasta la profundidad de 2 m. A 60 m. de la orilla, se encuentran bajos de coral dispersos los cuales serán referenciados por INVEMAR en los estudios que se adelantan.

La parte sur del cayo presenta una playa mas amplia la cual va variando en anchura de acuerdo a como le llega el viento; la pendiente de playa es mucho mas fuerte 1 a 10 y en su extremo sur 1 a 5 lo cual hace que la ola rompa muy fuerte sobre la playa, convirtiéndola en una zona inapropiada para la construcción de un muelle; navegando hacia el sur se encuentran profundidades de hasta 5 m.

La zona este es la más protegida del cayo, en esta se encuentran los restos de dos muelles y un espolón sumergido, el muelle mas reciente fue construido en 1987 por Michael Pechtal, 32 m de longitud (tarima), área de 96 m², flotante, de 8 módulos y 12 flotadores de dicho muelle solo se encuentra las bases de tierra, la parte flotante fue destruida y solo se encuentran los muertos circulares, que servían de amarre al muelle, de 1 metro de diámetro y 0,5 m de altura. Más hacia el Nor-Oeste se encuentran profundidades de 4 m, formando un canal natural por el cual penetra la ola oceánica que viene del Norte y que se refleja en los bajos del norte de la isla de San Andrés, esta onda se difracta llegando hasta las playas Este y Sur de Johnny Cay.

En la zona adyacente al proyecto se encuentra una fisiografía del fondo marino como se muestra en la Tabla 6.3 .

Tabla 6.3 Valores de la profundidad marina en la zona del proyecto

COTAS BATIMÉTRICAS PROYECTO MUELLE JOHNNY CAY							
Perfil	DISTANCIA (m)						
	0	10	20	30	40	50	60
14	0	-1.2	-1	-1.1	-1.6	-1.9	-2.35
15	0.6	-0.75	-1.25	-1.6	-1.75	-1.9	-2.3
16	1.5	0.1	-0.9	-1.4	-1.65	-1.9	-2.05
17	1.4	1.4	0.4	-0.7	-1.25	-1.6	-1.9
18	1.4	1.45	0.1	-0.8	-1	-1.7	-1.8
19	1.6	1.2	-0.5	-1.01	-1.5	-1.6	-1.8
20	1.4	1	-0.6	-1.2	-1.6	-1.5	-1.8
21	1.4	1.3	-0.1	-0.9	-1.6	-1.6	-1.75

6.3. COMUNIDADES BIOLÓGICAS

6.3.1. Comunidades de fondos blandos

6.3.1.1. Descripción de la comunidad

Durante el presente estudio, correspondiente al mes de diciembre de 2006, se registraron 8 taxa (anélidos, nemátodos, crustáceos, moluscos, equinodermos, nemertinos, sipuncúlidos, cefalocordados) dentro de los cuales se identificaron 66 familias en el muestreo. Se determinó una abundancia total de 9178 individuos y una biomasa total de 8,0537 gr, donde los anélidos presentaron el mayor aporte en las diferentes estaciones muestreadas, tanto de poliquetos (54,6%) como oligoquetos (17,32%). La segunda taxa en importancia fueron los nemátodos (21,7%), seguido de nemertinos (2,6%), crustáceos (2,4%) y moluscos (1,0%). Las demás taxa ocurrieron en el muestreo con muy poca abundancia (Figura 6.15).

Las nueve familias más importantes en abundancia con valores mayores al 2% se presentan en la Figura 6.16, las cuales concentran el 84,9% de la densidad total, siendo organismos vermiformes, destacando el mayor aporte por parte del nemátodo de la familia Monhysteridae (21,7%), seguido del oligoqueto de la familia Tubificidae (14,7%). Las demás familias se encuentran en su mayoría dentro del grupo de poliquetos. Se destaca asimismo la ausencia de los grupos de crustáceos y moluscos siendo grupos importantes en la conformación de las comunidades macrozoobentónicas.

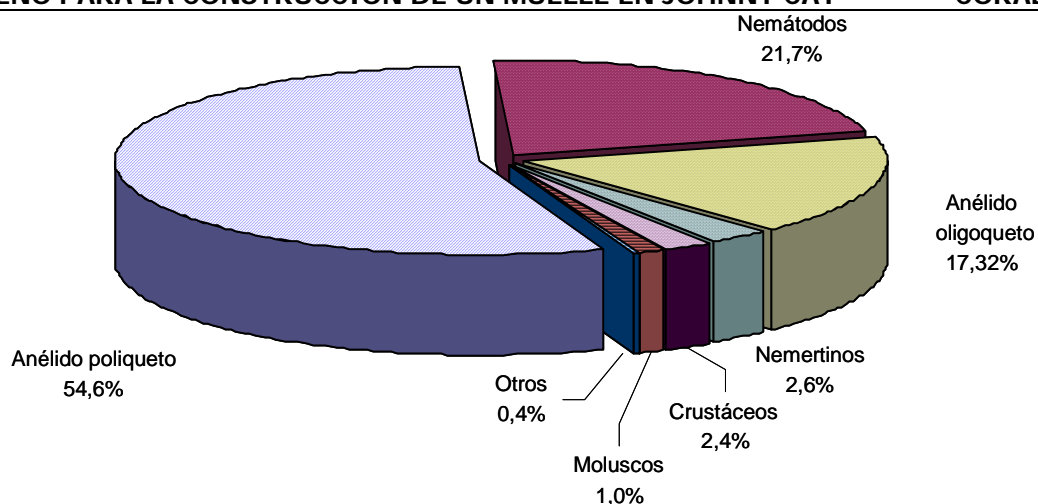


Figura 6.15 Distribución porcentual de la abundancia entre los diferentes taxones de los organismos bentónicos registrados en el área de estudio.

Los aportes de las diferentes taxa a la dominancia numérica y número de familias encontradas en el presente estudio, mostraron que los poliquetos fueron el grupo más importante tanto en la abundancia como en el número de familias; de la misma manera que en los trabajos realizados en la plataforma continental colombiana (García y Sandoval, 1983; Guzmán-Alvis, 1993). El segundo grupo en importancia fueron los crustáceos con una participación significativa principalmente en el número de familias, caso contrario al trabajo realizado en el área de Santa Marta realizado por Guzmán-Alvis (1993), donde los moluscos presentaron mayores aportes. Cabe mencionar, que dicho grupo no presentó aportes significativos y que su participación fue similar a otras taxa menores como sipuncúlidos y nemertinos. De otro modo, se resalta la alta dominancia de los nemátodos en el muestreo.

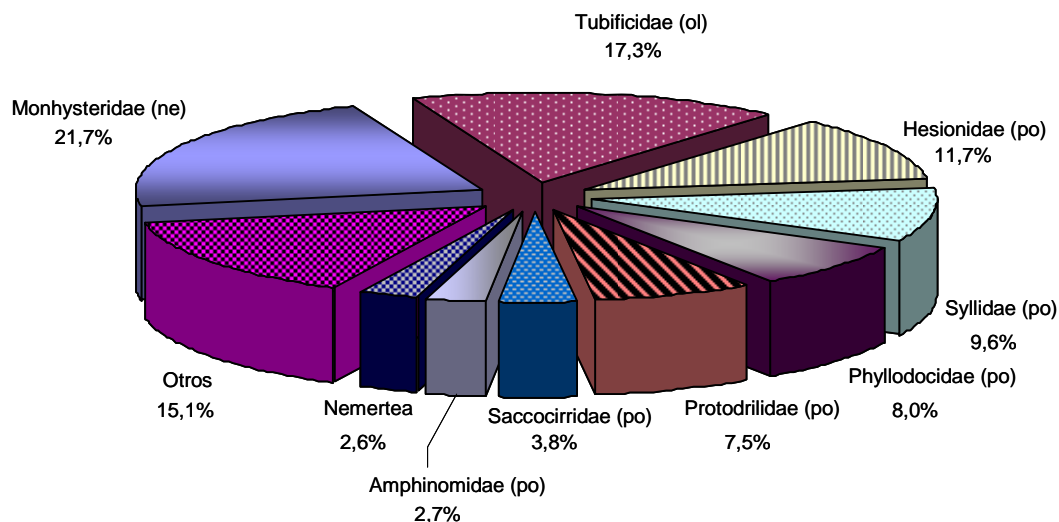


Figura 6.16 Distribución porcentual de la abundancia de las principales familias de los organismos bentónicos registrados en el área de estudio. (ol) oligoqueto; (po) poliqueto; (ne) nemátodo.

6.3.1.2. *Análisis univariados*

Los valores de abundancia de la macrofauna en el presente estudio, variaron entre 506 individuos en la estación 1 y 2380 individuos en la estación 2. Entre tanto la biomasa húmeda osciló entre 0,2153 gr en la estación 1 y 2,9877 gr en la estación 6 (Figura 6.17). Se observa que la relación entre estos atributos fue diferente para cada estación, en la cual existe una variación notable entre las estaciones 2 y 5, donde presentaron una abundancia similar, pero la biomasa presentó una diferencia de 1:6 entre estas dos estaciones. De la misma manera, en las estaciones 3, 4 y 6 con abundancias similares, esta última estación presentó una biomasa casi el doble de la abundancia y superior en cinco veces a la biomasa de las estaciones 3 y 4. De manera preliminar, se puede deducir que las estaciones del presente estudio, aunque se encuentran en un área de estudio relativamente pequeña, presentan características estructurales en la comunidad diferentes, en la cual, el disturbio natural propio de esta área, puede estar configurando dicha comunidad.

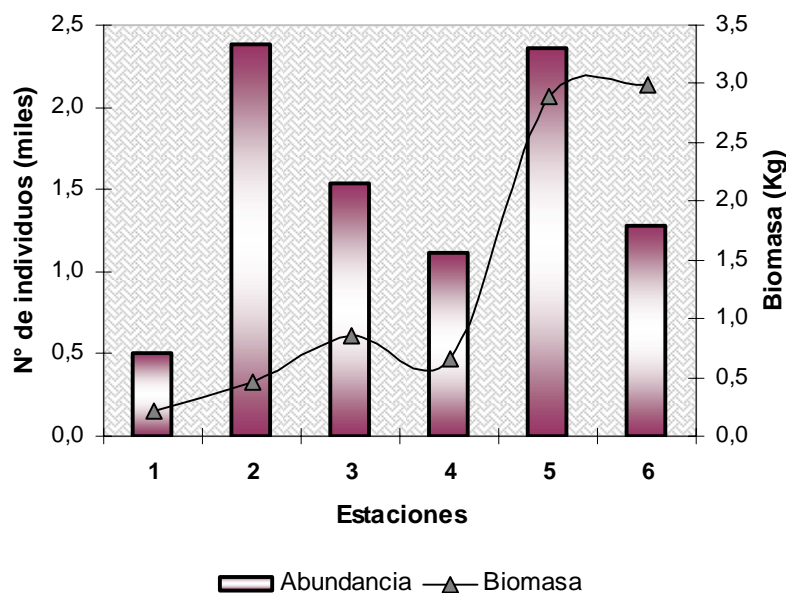


Figura 6.17 Representación gráfica de la abundancia (número de individuos * 0,111 m²) y biomasa (kg * 0,111 m²), en cada una de las estaciones de muestreo.

La riqueza específica en el área de estudio en cuanto al número de familias, varió entre 25 familias en la estación 1 y 43 familias en la estación 5. El índice de riqueza de Margalef (d'), osciló entre 3,40 en la estación 3 y 5,41 en la estación 4 (Figura 6.18). Se observa que el comportamiento de estos valores fue similar entre sí para cada una de las estaciones, siendo las estaciones 4 y 5 las que presentaron mayor riqueza en la zona. En cuanto a los valores de equitatividad (Pielou J') y diversidad (Shannon H'), estos presentaron la misma variación comparados a la riqueza, siendo de la misma manera, las estaciones 4 y 5 las más diversas y uniformes (Figura 6.19a). La uniformidad varió entre 0,58 en la estación 1 y 0,70 en la estación 5. La diversidad por su parte, osciló entre 2,70 bits en la estación 1 y 3,83 bits en la estación 5. En Noruega se han clasificado los fondos marinos como muy buenos (H' >4), buenos (H' 4- 3),

menos buenos ($H' 3-2$), malos ($H' 2-1$) y muy malos ($H' <1$) de acuerdo al valor del índice de diversidad de Shannon-Wiener (Hansen *et al.*, 2001), encontrando que de acuerdo a esta clasificación, el área de muestreo puede considerarse entre buena y menos buena.

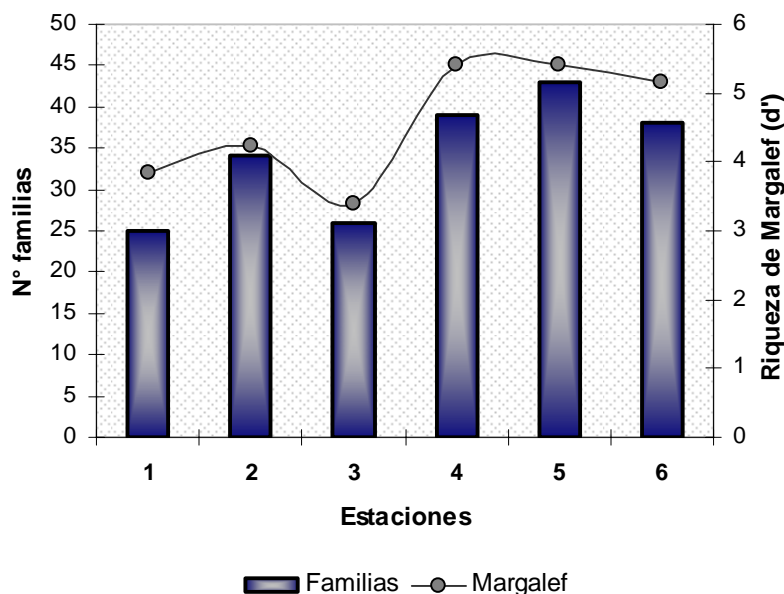


Figura 6.18 Representación gráfica del número de familias y de la riqueza de Margalef (d'), en cada una de las estaciones de muestreo.

Es preciso notar que las variaciones de los atributos faunísticos encontrados en el área de estudio pueden verse afectados por la riqueza en función al tamaño del ecosistema y la uniformidad o distribución de los organismos en función a la disponibilidad de hábitat en la plataforma costera. Estas características son el reflejo de la interacción de la comunidad con los cambios medioambientales que ocurren dentro del sistema (Ramírez, 1999). Su fuerte variación se vio reflejada en la abundancia expresada como el número de individuos donde los cambios fueron aparentes entre las estaciones y los valores de número de familias y diversidad (Figura 6.17; Figura 6.18). Conell (1978), propone también que dicho comportamiento podría interpretarse en relación con la hipótesis de "diversificación del nicho", según la cual la diversidad es función de la variedad de hábitat y del grado de especialización de las especies para repartirse esa variedad.

Ya que la diversidad es una expresión relacionada con la composición intraespecífica de las comunidades (Ramírez, 1999), el amplio rango de variación encontrado en el presente estudio (Figura 6.19), puede indicar que la zona de muestreo está siendo sometida a un agente perturbador. Sin embargo este tipo de variación también ha sido reportado por Guzmán-Alvis (1993), en el cual la autora menciona que su variación puede estar explicada como un evento asociado a las plataformas continentales de los trópicos, en donde la variación de la abundancia y diversidad es amplia y mayor que en las regiones subtropicales, siendo ello el resultado también de las condiciones cambiantes (Alongi, 1990).

Debido a que el estrés puede ser predicho, basado sobre los valores de los índices de diversidad y uniformidad, en cuanto al grado de favorabilidad o severidad del ambiente marino (estrés ambiental), así como del comportamiento temporal o pronóstico de la fauna bentónica (estrés fisiológico) (Preston y Preston, 1975); se tomó la relación de estos índices para la interpretación y comparación de cada una de las estaciones de muestreo (Figura 6.19b), siguiendo las especificaciones del diagrama de Alcolado (1992). De manera general, las estaciones al presentar valores de diversidad altos y uniformidad relativamente altos, fueron ambientes favorables y casi constantes, resaltando principalmente las estaciones 4 y 5. Entre tanto, las estaciones 1, 3 y 6 aunque presentaron diversidades altas superiores a 2,5 bit, las uniformidades no fueron tan altas, siendo al parecer ambientes poco probables que existan si son favorables y no muy constantes (Alcolado, 1992).

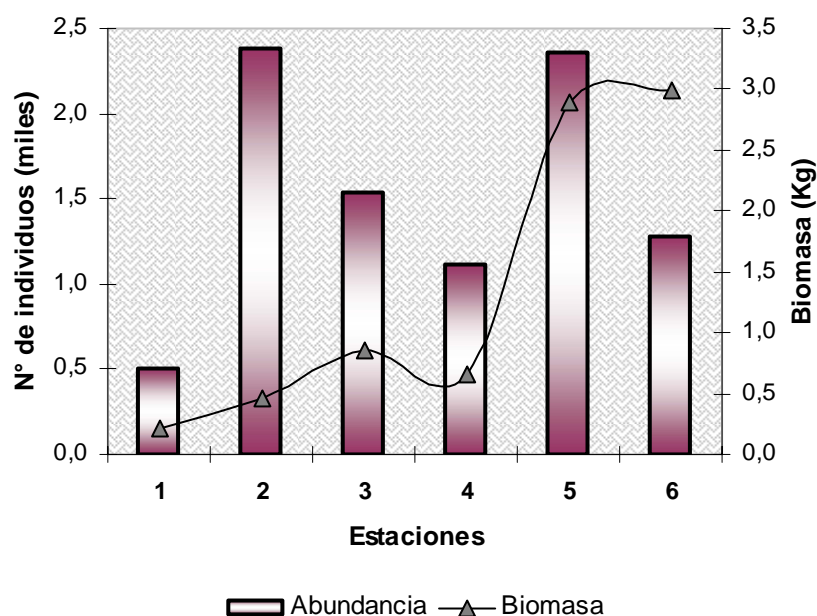


Figura 6.19 a) Representación gráfica del índice de uniformidad de Pielou (J') y del índice de diversidad de Shannon-Wiener H' (\log_2); b) Diagrama de dispersión de puntos de los índices, en cada una de las estaciones de muestreo

Con el fin de comparar los resultados de abundancia y biomasa húmeda encontrados en la presente investigación, con trabajos previos realizados en diversa áreas del Caribe colombiano, se extrapolaron los valores a metro cuadrado (m^2), apareciendo los valores mínimos y máximos de estos atributos en vez de la desviación estándar, ya que no se cuenta con este dato en algunos trabajos (Tabla 6.4). Debido a que no se encontraron resultados comparables con otros trabajos realizados en área insulares colombianas, solo se compararon con áreas de la plataforma continental. El promedio tanto de abundancia como de biomasa húmeda del presente estudio, fueron superiores al de los otros lugares del Caribe, solo comparable a la biomasa encontrada por Solano *et al.* (2007), en la plataforma de La Guajira. Del mismo modo, dichos valores fueron superiores comparados con otras áreas insulares del Caribe como en Jamaica, Barbados y Puerto Rico (Morales, 2005).

74 ESTUDIOS BIOFÍSICOS, OCEANOGRÁFICOS, TOPOGRÁFICOS Y DE DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN MUELLE EN JOHNNY CAY

CORALINA

Este resultado puede considerarse normal para el área de muestreo en cuanto a su composición y estructura, debido a la dominancia de las arenas gruesas; sustratos que soportan ensamblajes más diversos que los que están conformados por arenas más finas y por fangos (Calnan *et al.*, 1988), como los registrados en otras áreas. Además del aislamiento biogeográfico del presente estudio, que configura la comunidad alrededor de la isla, comparadas con las provincias continentales. Se resalta por el contrario, la poca riqueza encontrada, factor que puede estar influido por las corrientes y la poca profundidad del área de estudio, que influye en la colonización o asentamiento de los individuos. Otro factor a tener en cuenta, es la aparente variabilidad de estos atributos entre estaciones, los cuales fueron muy disímiles en un área de muestreo pequeña con respecto a los demás trabajos realizados.

Tabla 6.4 Promedios por estación (m²) del número de familias, abundancia y biomasa húmeda (g) de la macrofauna bentónica en algunos sectores del Caribe colombiano.

Localidad	Prof (m)	N° Flias promedio (Rango)	Abundancia promedio (Rango)	Biomasa promedio (Rango)	Fuente
Ciénaga G. Sta Marta (Col)	4-36	-----	1.119 (470-3.108)	3,3(0,7-7,4)	García <i>et al.</i> (1992)
Magdalena (Col)	15-100	-----	1.728 (34-6.902)	-----	Guzmán (1993)
Golfo de Salamanca (Col)	15-100	-----	678 (13-2.707)	-----	Guzmán-Alvis y Díaz (1996)
La Guajira (Col)	6-22	-----	2.187 (1413-3.280)	-----	Guzmán-Alvis y Solano (1997)
Golfo de Salamanca (Col)	15-150	23 (6-48)	700 (73-1.740)	3,6 (0,4-12,7)	Vides (1999)
Pozos Colorados (Col)	7-60	-----	1.499 (260-4.880)	-----	Guzmán <i>et al.</i> (2001)
Pozos Colorados (Col)	7-60	-----	3.122 (740-6.953)	9,7 (3,4-20,3)	Invemar (2003)
Cartagena (Col)	10-20	48 (31-71)	3.375 (840-6.531)	6,3 (1,1-14,2)	Invemar <i>et al.</i> (2004)
La Guajira (Col)	9-25	69 (62-79)	3.228 (2.756-3.862)	12,1 (4,9-17,8)	Invemar (2004a)
La Guajira (Col)	17-34	68 (58-89)	7.368 (4.813-9.847)	11,9 (4,9-19,4)	Invemar (2004b)
La Guajira (Col)	24-34	55 (41-68)	5.715 (2.020-10.139)	6,8 (2,5-15,4)	Solano <i>et al.</i> (2007). Marzo, Abril y Septiembre
	24-34	64 (56-78)	8.633 (6.853-10.533)	13,3 (8,2-22,6)	
	24-34	54 (46-65)	4.902 (3.827-8.313)	11 (4,5-19)	
Kingston (Jamaica)	0-18	-----	233 (148- 433)	-----	Morales (2005)
Barbados	50-250	-----	121 (47 - 226)	-----	Morales (2005)
Isla Culebra (Pto Rico)	28	-----	1143 (984-1248)	-----	Morales (2005)
Isla de Johnny Cay (Col)	3-9	34 (25 – 43)	13.780 (4.558 – 21.216)	12,1 (1,9 – 26,9)	Estudio actual

Para determinar los niveles de perturbación en la comunidad se construyeron curvas (ABC) acumuladas entre abundancia y biomasa para cada una de las estaciones. En la Figura 6.20, se observa como las estaciones 1 y 5 no presentaron perturbación en la comunidad, mientras que la estaciones 2, 3, 4 y 6, mostraron una configuración de levemente perturbadas. De manera general, dichas estaciones que se encontraron levemente perturbadas, fueron aquellas en donde las curvas de abundancia comenzaron arriba de la curva de biomasa y estas se entrecruzaron en algún punto. Este resultado es explicado - como lo indica Clarke y Warwick (2001) - porque las especies grandes dominantes fueron eliminadas, y por lo tanto la desigualdad del tamaño entre las curvas es reducida, estando cercanamente coincidentes y pueden cruzarse una o varias veces. En el presente estudio, no se encontraron fuertemente perturbadas, siendo aquellas donde la curva de abundancia siempre corre por encima de la curva de biomasa como resultado de un incremento dominado por una o pocas especies.

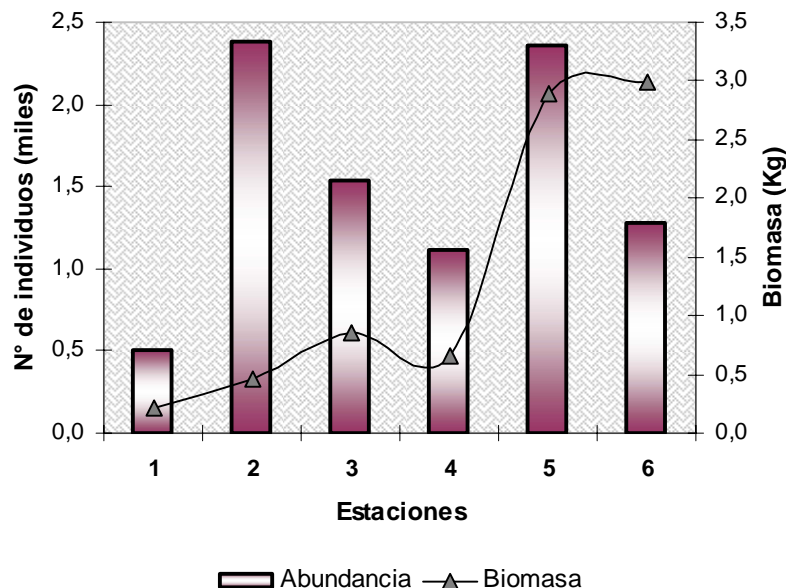


Figura 6.20 Curvas acumuladas (ABC), de comparación entre abundancia y biomasa, para cada una de las estaciones de muestreo en el área de estudio.

Sin embargo, para corroborar este resultado, se realizaron las curvas comparativas de abundancia y biomasa (ABC) parciales, teniendo en cuenta que estas curvas se basan en que las altas abundancias de una familia con bajas biomasa puede ser indicadoras de la ocurrencia de juveniles en la comunidad y no de una perturbación (Clarke y Warwick, 2001), y que estas no se ven afectadas por una sucesiva remoción de una o dos familias abundantes en términos de abundancia o biomasa cuando la perturbación es real, haciendo más confiable su interpretación.

De la misma manera, las curvas parciales mostraron iguales resultados que las curvas acumuladas de abundancia y biomasa. Se mantiene el mismo esquema de nivel de perturbación en las estaciones, mostrando en las estaciones 2, 3, 4 y 6 un nivel de perturbación leve (Figura 6.21). Contrario a lo esperado, en la estación 1 no se encontró perturbada, siendo aquella, la que presentó los atributos ecológicos más bajos del muestreo.

6.3.1.3. Distribución espacial de las asociaciones

El análisis de clasificación que tiene en cuenta tanto la composición de familias como la abundancia de los organismos en la comunidad macrobentónica, mostró a un nivel del 65% de similaridad en el dendrograma, una configuración espacial de dos grupos de estaciones A y B diferenciadas probablemente por la distancia de la costa y la profundidad, siendo el grupo A (estaciones 2, 3 y 4) más somero y cercano a la costa (Figura 6.22). Se observa que la estación 1 aunque fue poco profunda, se aísla del grupo A, probablemente debido a las fuertes condiciones de corrientes predominantes, siendo por lo tanto una zona perturbada. De otro modo el grupo B, presentó la mayor similaridad en la agrupación. La ordenación deja ver la misma configuración de los grupos de estaciones, notando además la alta similaridad entre los grupos (Figura 6.23).

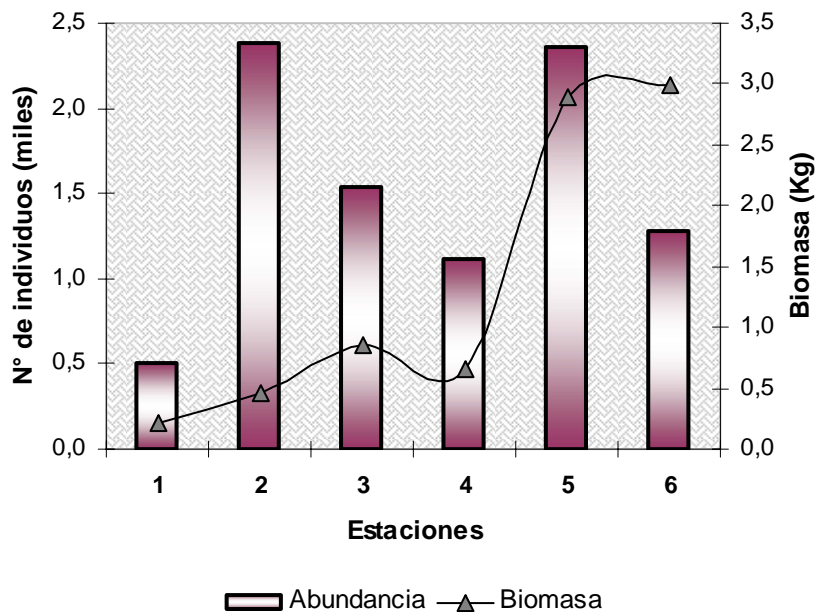


Figura 6.21 Curvas parciales (ABC), de comparación entre abundancia y biomasa, para cada una de las estaciones de muestreo en el área de estudio.

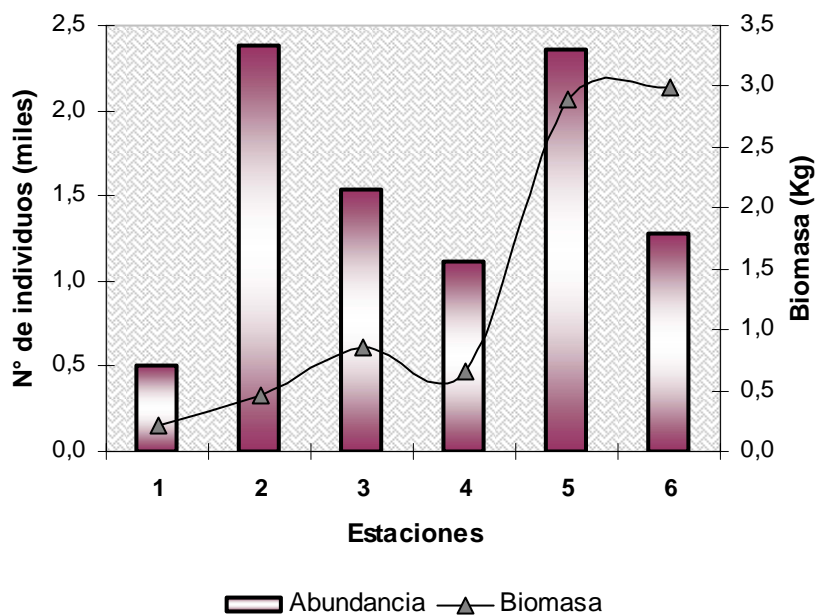


Figura 6.22 Resultado del análisis de clasificación mediante el índice de similitud de Bray-Curtis del componente biológico en cada una de las estaciones. Ligamiento promedio no ponderado UPGMA.

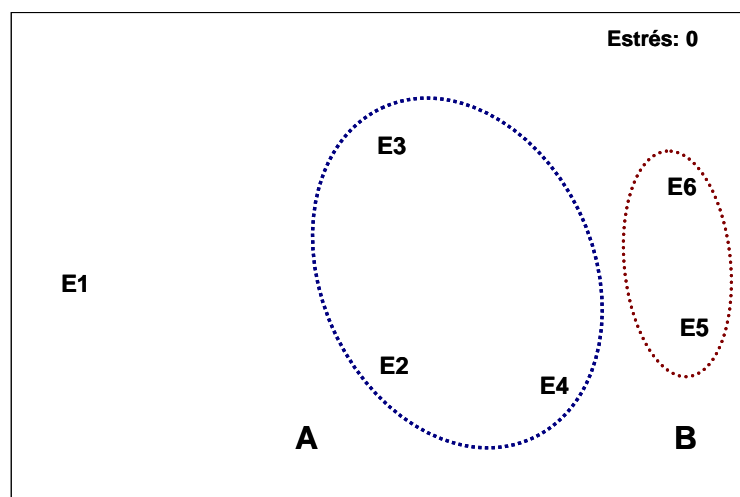


Figura 6.23 Resultado del análisis de ordenación, mediante la técnica de escalamiento multidimensional no métrico (nMDS), combinado con el análisis de clasificación. Los grupos encerrados A y B, corresponden a los grupos formados en el dendrograma. Nivel de estrés = 0 (9999 reiteraciones).

El análisis inverso de Kaandorp, muestra en el grupo A once familias exclusivas, dentro de las cuales solamente la familia Terebellidae fue característica del grupo. En el grupo B de estaciones 5 y 6 presentó 15 familias exclusivas incluyendo siete familias características Gammaridae, Cephalocarida, Dentaliidae, Aspidosiphonidae, Maldanidae, Magelonidae y Capitellidae. La estación 1, mostró la presencia de tres familias exclusivas. Se muestra una alta configuración de 20 familias generalistas compartidas entre los grupos A, B y la estación 1 y de 14 familias generalistas entre los grupos A y B.

6.3.1.4. Relación de los componentes Biótico y Fisicoquímico

Como primer paso para la determinación del conjunto de variables ambientales que mejor explican el arreglo comunitario, se realizó un análisis de correlación de Pearson entre pares de dichas variables, con el fin de detectar variables correlacionadas entre sí, para evitar solapamiento en la información y que éstas originen ruido en la combinación del componente abiótico con el componente biológico (Clarke y Warwick, 2001) (Anexo 5). De este modo, por presentar correlaciones mayores a $|r| \geq 0,9$ y un nivel de significancia $p < 0,05$, se eliminaron las variables de sedimento tipo arenas finas y arenas muy finas, además de hidrocarburos monoaromáticos e hidrocarburos poliaromáticos. Las variables ambientales no fueron transformadas para su normalización previo al análisis, ya que se encontraron dispersas en ambos ejes (Anexo 6). Mediante la aplicación del Bio-Env a las variables seleccionadas, se determinó que la variable de sedimento tipo cieno-limos influyó en la configuración de la comunidad (Tabla 6.5). Es preciso anotar que las variables de hidrocarburos aromáticos totales (HAT) y sedimentos tipo arenas muy finas (S-Amf), al encontrarse relacionadas significativamente con el sedimento tipo cieno-limos (S-CL), resultante del análisis, también se relacionaron con la estructura comunitaria encontrada en el muestreo (Anexo 5).

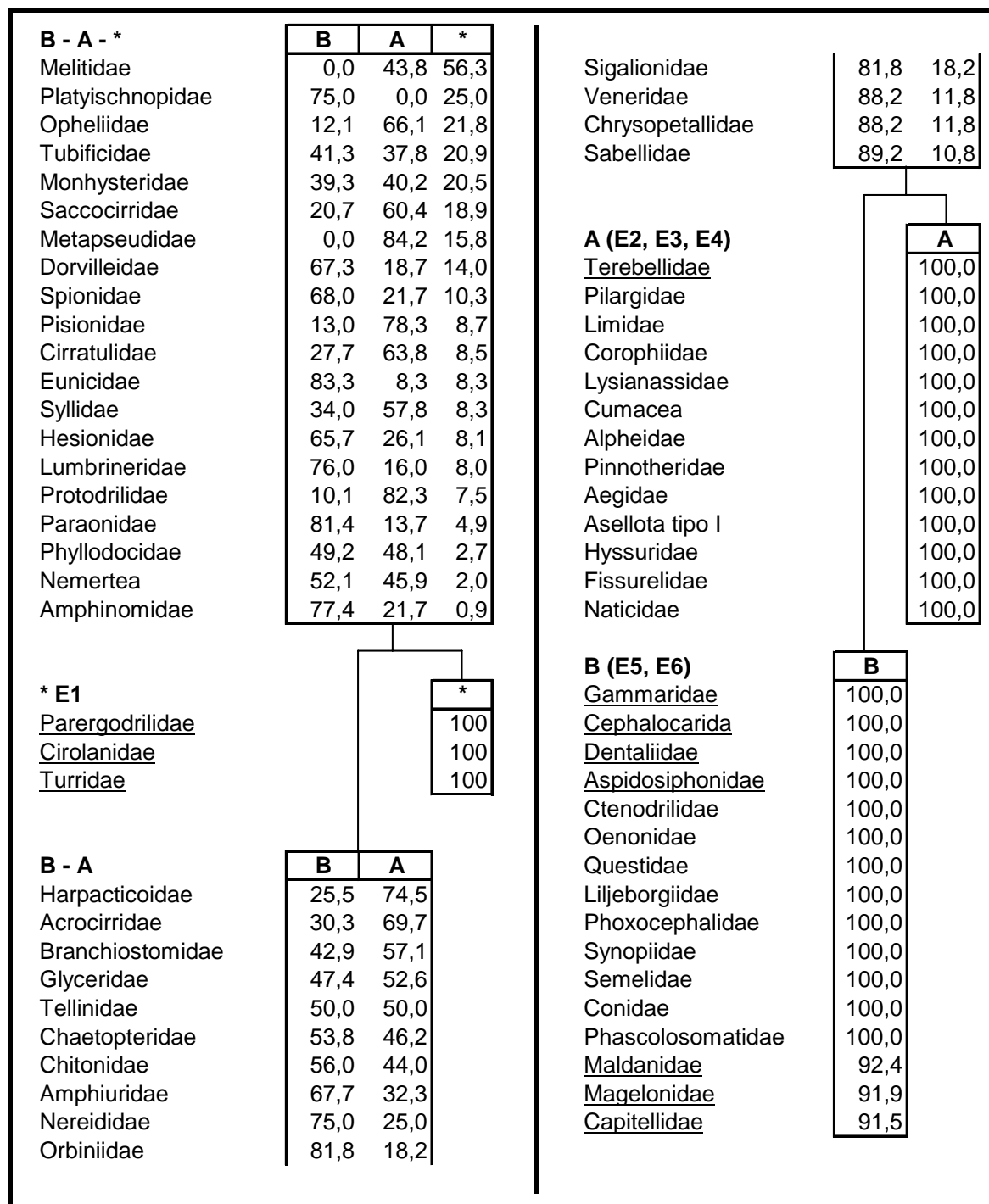


Figura 6.24 Análisis inverso de Kaandorp, sobre la estructura comunitaria, basado en las agrupaciones encontradas en el análisis de clasificación. Especies exclusivas en cada agrupación con abundancias del 100%. Las especies características se encuentran subrayadas y presentan abundancias superiores al 90% y frecuencias de ocurrencia del 100%.

Tabla 6.5 Resultado del análisis multivariado (BIO-ENV) mediante el coeficiente de correlación armónico por rangos de Spearman. Combinación de 7 variables ambientales con el componente biótico para el área de estudio en diciembre de 2006. El primer valor indica la máxima correlación encontrada. [Materia orgánica (MO), sedimento tipo gránulos (S-Gr); arenas muy gruesas (S-Amg); arenas gruesas (S-Ag); arenas medias (S-Am); cieno-limo (S-CL); hidrocarburos aromáticos totales (HAT)].

pW	MO	S-Gr	S-Amg	S-Ag	S-Am	S-CL	HAT
0,630						X	
0,621						X	X
0,293	X			X			
0,293	X			X		X	
0,293	X			X			X

La influencia de dichas variables ambientales y los cambios entre estaciones de las abundancias de las principales familias, evidencian de manera importante la variabilidad ocasionada en la comunidad macrozoobentónica. La comunidad durante el mes de diciembre de 2006 se vio afectada por la combinación de la variable de sedimento tipo cieno-limos, tipo arenas muy finas y de hidrocarburos totales principalmente. Es de resaltar que el coeficiente de correlación obtenido en el presente estudio es relativamente alto comparado con otras áreas del Caribe colombiano, siendo muy similar con los otros trabajos realizados en la zona de Pozos Colorados (Guzmán-A y Córdoba, 1996; Córdoba-Tejada, 1997) y en el área de Mingueo en La Guajira (Guzmán-A y Solano, 1997) (Tabla 6.6).

Tabla 6.6 Variables ambientales con máximos coeficientes de correlación armónica (pw) obtenidos en diferentes estudios del Caribe colombiano. Amf, sedimento tipo arena muy fina; Af, sedimento tipo arena fina; Am, sedimento tipo arena media; Ag, sedimento tipo arena gruesa; Ci, sedimento tipo cieno; G, sedimento tipo grano; FO, fósforo orgánico MO, materia orgánica; NO, nitrógeno orgánico; NO₂, nitritos; OD, oxígeno disuelto; SO, saturación de oxígeno; Prof, profundidad; Turb, turbiedad; Zn, Zinc; Pb, plomo; Na, sodio; As, arsénico; HAP, hidrocarburos poliaromáticos; HAT, hidrocarburos aromáticos totales.

VARIABLES	Pw	LOCALIDAD	FUENTE
Prof, MO, Ag	0,271	Campo Chuchupa (La Guajira)	Invemar (1995)
Prof, Turb	0,620	Pozos Colorados (Magdalena)	Guzmán-Alvis y Córdoba (1996)
Pro	0,309	Golfo de Salamanca, (Magdalena).	Guzmán-Alvis y Díaz (1996)
Prof, Amf	0,610	Mingueo (La Guajira)	Guzmán-Alvis y Solano (1997)
Prof	0,632	Pozos Colorados - Bahía El Rodadero (Magdalena)	Cordoba-Tejada (1997)
Prof, G, Sal, MO, FO	0,450	Pozos Colorados - Bahía El Rodadero (Magdalena)	Arango y Solano (1999)
Prof	0,532	Pozos Colorados - Bahía El Rodadero (Magdalena)	Guzmán-Alvis <i>et al.</i> (2001)
Ci	0,713	Bahía Portete (La Guajira)	Invemar (2004a)
Prof, MO, Ag, NO ₂	0,849	Campo Chuchupa (La Guajira)	Invemar (2004b)
Ag, Zn, Prof	0,866	Plataforma de gas "Chuchupa B" (La Guajira)	Solano <i>et al.</i> , 2007. Marzo – Abril - Septiembre
G, Am, Pb, Na, DBO ₅	0,843	Plataforma de gas "Chuchupa B" (La Guajira)	
HAPs, G, As, SO, Prof	0,946	Plataforma de gas "Chuchupa B" (La Guajira)	
Ci, Amf, HAT	0,630	Isla de Jonhny (San Andrés)	Estudio actual

De forma general se puede confirmar como se expresa en este estudio anteriormente, que la comunidad macrozoobentónica del área de influencia de la isla de Johnny Cay, mostró algún grado de alteración de su estructura, pues el análisis Bio-Env muestra como los hidrocarburos totales afectan la distribución y estructura comunitaria. La superimposición de símbolos en la ordenación muestra la influencia de los hidrocarburos sobre la comunidad, principalmente en el grupo B donde los valores son mayores. Probablemente, sea consecuencia del tránsito de lanchas hacia la isla, en la cual la ruta de llegada de las embarcaciones se hace en dirección de estas estaciones, incluyendo además la estación 4 (Figura 6.25). Los hidrocarburos pertenecen al grupo de los residuos químicos orgánicos, los datos relativos a la toxicidad de los hidrocarburos, prevén efectos biológicos a corto y largo plazo, los que son respectivamente causados por revestimiento y asfixia de los organismos y los generados por la toxicidad del petróleo (Marrugo, 1992). Resultados similares fueron encontrados en la Bahía de Hooker, San Andrés Islas, donde los hidrocarburos aromáticos procedentes de una electrificadora, influyeron en la composición de la comunidad de poliquetos (Londoño-Mesa *et al.*, 2001). Los resultados de estos autores, mostraron que los poliquetos de las familias Nereididae y Eunicidae se presentaron en sitios con una alta cantidad y variación en hidrocarburos aromáticos y con una baja cantidad y alta variación en la salinidad.

Aunque en el presente estudio, dicha variable ambiental correlacionada con la estructura de la macrofauna, se encuentra por debajo de los valores que produce riesgo para el ambiente, como los encontrados en otras áreas de estudios, no se puede dejar de considerar un efecto causado sobre la comunidad. De acuerdo a Sharp (1979), el efecto acumulado de pequeñas descargas o disturbios en ecosistemas naturales provocados por el petróleo, son difíciles de detectar y medir. Sin embargo, estos pueden ser definidos como el resultado de la exposición a concentraciones sub-letales y aparecen con un incremento progresivo en los cambios de la biota.

La interpretación de los resultados del Bio-Env con respecto a las variables de sedimento tipo cieno-limos y de arenas muy finas en la configuración de la estructura comunitaria, debe mirarse como una contribución parcial del aporte de sedimentos que permitió una variación de la comunidad con respecto a la dominancia de las fracciones mas grandes. En este sentido, aunque estas variables aportaron menos del 1% en la composición granulométrica del sedimento, dichas variaciones fueron importantes en la ocurrencia de la macrofauna. La dominancia de las fracciones de sedimento grandes tipo gránulos, arenas muy gruesas y gruesas, ofrecen las mejores condiciones como sustrato (mayor heterogeneidad, mayor contenido de carbonato de calcio, mayor porosidad y capilaridad, etc.) para un aumento en la densidad y diversidad de las asociaciones bentónicas. Esto es debido a que el tamaño de grano de los sedimentos es altamente dependiente de la turbulencia del agua y de la profundidad, y juega un papel importante para la estructura de las comunidades bénticas (Guzmán-Alvis y Díaz, 1996).

Estos sustratos con porcentajes altos de sedimentos gruesos, presentan mayor espacio entre los granos de arena en comparación con sedimentos finos, conteniendo por lo tanto mayor cantidad de agua rica en pequeños organismos que sirven de alimento para la infauna, mientras que en los sedimentos finos, se produce una mayor compactación, limitando en algunos casos la profundidad a la cual los organismos pueden penetrar (Méndez *et al.*, 1986). La presencia dominante de arenas gruesas y medias, y las pequeñas proporciones de arenas muy finas y cieno-limo, se atribuyen a que los sedimentos de la Isla de Johnny Cay, son de origen coralino

conformadas por fragmentos de conchas de caracoles y esqueletos de coral, lo cual es típico de zonas alejadas de la influencia de las descargas de los ríos o de lluvias (Aguado-Giménez y García-García, 2004).

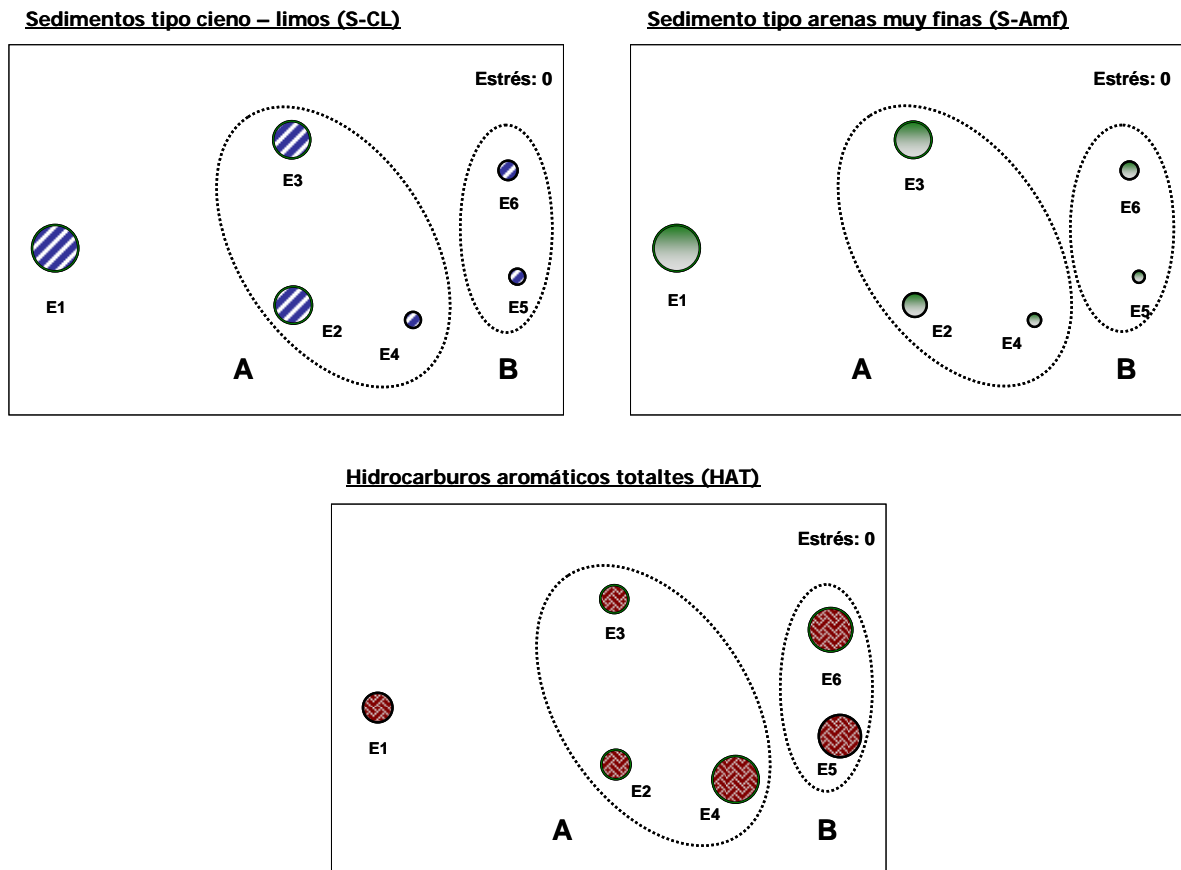


Figura 6.25 Superposición de valores de las variables abióticas (sedimentos tipo cieno-limo, sedimentos tipo arenas muy finas, e hidrocarburos aromáticos totales), sobre el análisis de ordenación nMDS de la macrozoofauna bentónica de la isla de Johnny Cay. El tamaño del punto representa la magnitud de la variable.

6.3.1.5. Conclusiones

- La comunidad macrozobentónica en el área de estudio, mostró que los anelidos fueron el grupo más importante tanto en la abundancia como en el número de familias, seguido del grupo de nemátodos. Estos grupos presentaron las nueve familias mas importantes destacando al nématodo Monhysteridae y al oligoqueto Tubificidae.
- Las estaciones del presente estudio, aunque se encontraron en un área de estudio relativamente pequeña, presentaron características estructurales en la comunidad diferentes, en la cual, el disturbio natural propio de esta área, puede estar configurando dicha comunidad. Su fuerte variación se vio reflejada en la abundancia expresada como

el número de individuos, y los valores de número de familias y diversidad, donde los cambios fueron aparentes entre las estaciones.

- El área de muestreo, al presentar valores de diversidad altos y uniformidad relativamente altos, fueron ambientes favorables y casi constantes, resaltando principalmente las estaciones 5 y 4. Sin embargo esta condición, no excluyó la presencia de un nivel de perturbación leve en las estaciones 2, 3, 4 y 6.
- La distribución espacial de la comunidad entre estaciones, mostró la separación de dos grupos diferenciados por la distancia de la costa y la profundidad. El grupo A de estaciones someras y cercanas de la costa, estuvo caracterizado por la familia Terebellidae y diez familias exclusivas, mientras que el grupo B se caracterizó con siete familias dentro de 15 familias exclusivas.
- La comunidad durante el mes de diciembre de 2006 se vio afectada por la combinación de la variable de sedimento tipo cieno-limos, tipo arenas muy finas y de hidrocarburos totales principalmente. La influencia de dichas variables ambientales y los cambios entre estaciones de las abundancias de las principales familias, evidencian de manera importante la variabilidad ocasionada en la comunidad macrozoobentónica.
- Los hidrocarburos totales aromáticos (HAT), mostraron mayores concentraciones sobre la comunidad, principalmente en el grupo B, como una consecuencia del tránsito de lanchas hacia la isla, en la cual la ruta de llegada de las embarcaciones se hace en dirección de estas estaciones, incluyendo además la estación 4. Aunque dicha variable se encontró por debajo de los valores que produce riesgo para el ambiente, el efecto puede ser causado como el resultado de la exposición a concentraciones sub-letales sobre la comunidad.
- Las diferencias encontradas entre las estaciones de muestreo, estuvieron relacionadas con las pequeñas variaciones de las fracciones mas finas de sedimentos tipo cieno-limos y arenas muy finas, aunque la alta diversidad encontrada, ha sido relacionada y documentada con la composición granulométrica de las fracciones más grandes.

6.3.2. Formaciones coralinas

6.3.2.1. Especies presentes

Se registraron un total de 26 especies en las 6 estaciones, 2 hidrocorales y 24 corales escleractíneos (Tabla 6.7). De estas *Agaricia agaricetes*, *Siderastrea siderea*, *Porites astreoides*, *Porites porites* e *Isophyllastrea rigida* estuvieron presentes en todas las estaciones, de otro lado *Isophyllia sinuosa* se observó únicamente en la estación 3. Algunas se pueden ver ilustrativamente en la Figura 6.26. Las especies restantes fueron registradas por lo menos en dos de las estaciones.

Tabla 6.7 Especies de corales escleractíneos presentes en el área de estudio

TAXA	ESTACIÓN	1	2	3	4	5	6
Phylum COELENTERATA							
Clase HIDROZOA Owen, 1843							
Orden MILLEPORINA Hickson, 1901							
Familia MILLEPORIDAE Fleming, 1901							
1. <i>Millepora alcornis</i> , Linnaeus, 1758						X	X
2. <i>Millepora complanata</i> , Lamarck, 1816	X	X				X	
Clase ANTHOZOA Ehrenberg, 1834							
Orden SCLERACTINIA Bourne, 1900							
Suborden ASTROCOENIINA Vaughan y Wells, 1943							
Familia ASTROCOENIIDAE Koby, 1890							
3. <i>Stephanocoenia michelinii</i> , Milne Edwards y Haime, 1848			X		X		X
Familia POCILLOPORIDAE Gray, 1848							
4. <i>Madracis decactis</i> , (Lyman, 1859)							X
Familia ACROPORIDAE Verrill, 1902							
5. <i>Acropora cervicornis</i> , (Lamarck, 1816)							X
Suborden FUNGIINA Verrill, 1865							
Superfamilia AGARIICAE Gray, 1847							
Familia AGARICIIDAE Gray, 1847							
6. <i>Agaricia agaricites</i> , (Linnaeus, 1758)	X	X	X	X	X	X	X
7. <i>Agaricia tenuifolia</i> , Dana, 1848				X	X	X	X
Familia SIDERASTREIDAE Vaugahn y Wells, 1943							
8. <i>Siderastrea siderea</i> , (Ellis y Solander, 1786)	X	X	X	X	X	X	X
9. <i>Siderastrea radians</i> , (Pallas, 1766)		X	X	X			X
Superfamilia PORITICAE Gray, 1842							
Familia PORITIDAE Gray, 1816							
10. <i>Porites astreoides</i> , Lamarck, 1816	X	X	X	X	X	X	X
11. <i>Porites porites</i> , (Pallas, 1766)	X	X	X	X	X	X	X
Suborden FAVIINA Vaughan y Wells, 1943							
Superfamilia FAVIICAE Gregory, 1900							
Familia FAVIIDAE Gregory, 1900							
12. <i>Favia fragum</i> , (Esper, 1797)	X	X	X	X	X		
13. <i>Diploria clivosa</i> , (Ellis y Solander, 1786)	X	X	X		X		
14. <i>Diploria strigosa</i> , (Dana, 1848)	X	X	X	X	X		
15. <i>Diploria labyrinthiformis</i> , (Linnaeus, 1758)		X	X	X	X		X
16. <i>Manicina areolata</i> , (Linnaeus, 1758)							X
17. <i>Colpophyllia natans</i> , (Houttuyn, 1772)	X		X	X			X
18. <i>Montastrea annularis</i> , (Ellis y Solander, 1786)	X		X	X			X
19. <i>Montastrea franksi</i> , (Gregory, 1895)							X
20. <i>Montastrea faveolata</i> , (Ellis y Solander, 1786)			X	X			X
21. <i>Montastrea cavernosa</i> , (Linnaeus, 1767)			X	X			X
Familia MEANDRINIDAE Gray, 1847							
22. <i>Meandrina meandrites</i> , (Linnaeus, 1758)			X	X			
23. <i>Dichocoenia stokesi</i> , Milne Edwards y Haime, 1848			X	X			
Familia MUSSIDAE Ortmann, 1890							
24. <i>Isophyllia sinuosa</i> , (Ellis y Solander, 1786)	X		X	X			X
25. <i>Isophyllastrea rigida</i> , (Dana, 1848)			X				
Suborden CARYOPHYLLINA Vaughan y Wells, 1943							
Superfamilia CARYOPHYLLICAE Gray, 1847							
Familia CARYOPHYLLIIDAE Gray, 1847							
26. <i>Eusmilia fastigiata</i> , (Pallas, 1766)			X	X	X	X	X

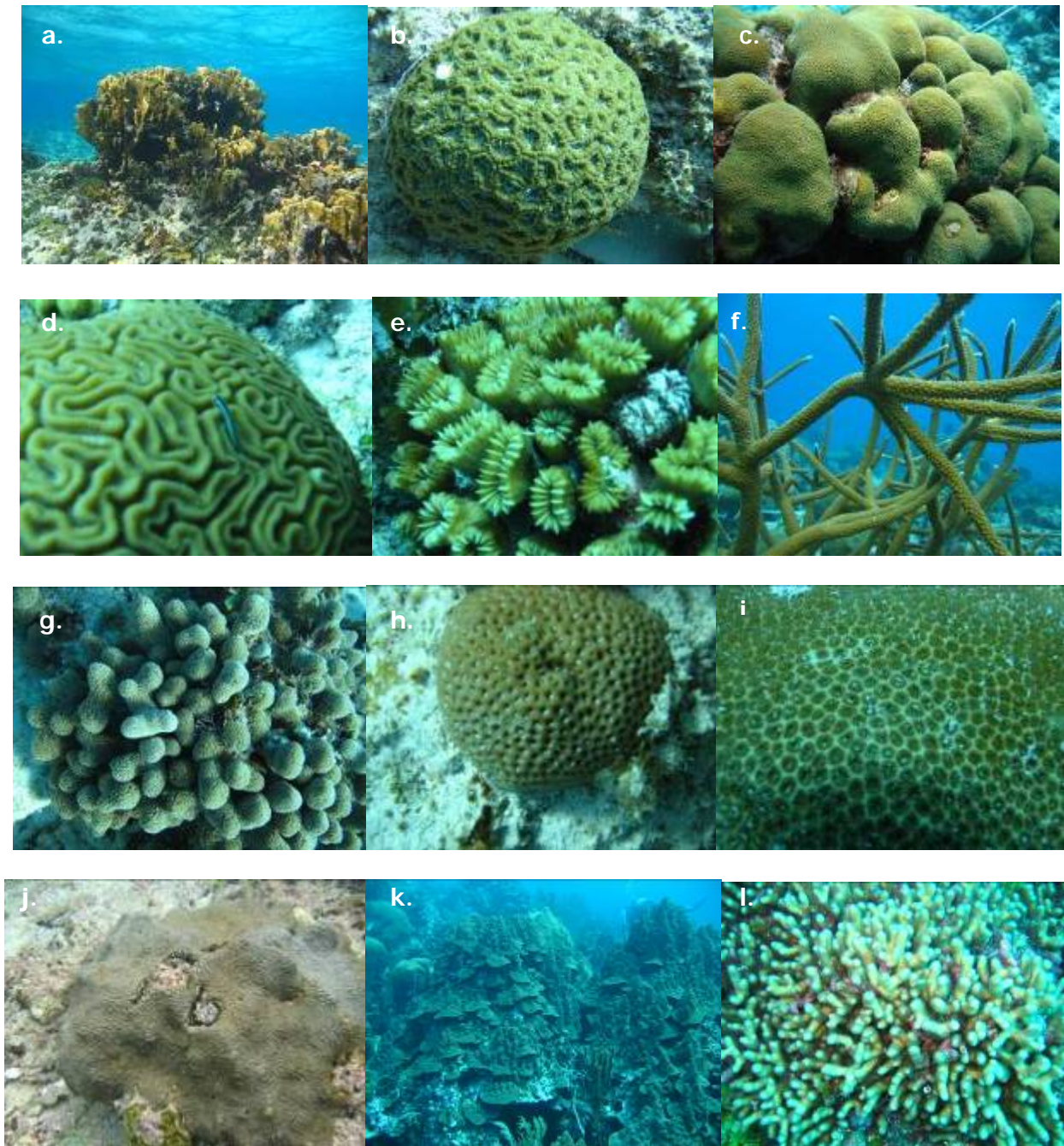


Figura 6.26 Algunas de las especies coralinas presentes en el área de estudio. a) *Millepora complanata*, b) *Isophyllastrea rigida*, c) *Montastraea annularis*, d) *Diploria labyrinthiformis*, e) *Eusmilia fastigiata*, f) *Acropora cervicornis*, g) *Porites porites*, h) *Siderastrea siderea*, i) *Stephanocoenia michelinii*, j) *Diploria clivosa*, k) *Montastraea faveolata*, y l) *Madracis mirabilis*.

El número total de especies registrado en este estudio es en términos generales fue menor al número de especies reportados para San Andrés, es así que Geister (1973) reporta 49 especies, Díaz *et al.* (1995) 24 y Díaz *et al.* (2000) observaron 30 especies. Es de esperarse, puesto que estos fueron estudios realizados en los arrecifes y comunidades coralinas de toda la Isla, que el

número de especies de corales encontradas en estos estudios sea mayor a las reportadas en este trabajo, que se limitó a las comunidades coralinas alrededor de Johnny Cay, sin embargo, existen también diferencias de tipo taxonómico. En el caso del estudio realizado en 1995 las especies del género *Montastraea* se agruparon en una sola especie, además, las especies de los géneros *Mycetophyllia* y *Agaricia* no fueron identificadas hasta especie, razón por la cual el número de especies registradas es menor al estudio presente. Algo similar sucede en el trabajo de Díaz et al. (2000), en donde por ejemplo aún no se reconocían las especies del complejo *Montastraea spp.* lo mismo que sucede con Geister (1973), no obstante para esa época, se aceptaban más especies en términos taxonómicos, que actualmente, lo que marca una gran diferencia.

Es notorio que aunque el crecimiento coralino en Johnny Cay está limitado por las condiciones oceanográficas y se trata de un área pequeña, el número de especies es similar a otras áreas arrecifales del Caribe continental Colombiano (ver Díaz et al., 2000), en donde, sin embargo, la presencia de especies a su vez está restringida por las aguas de origen continental que incurren en estas áreas, con altos contenidos de material suspendido, nutrientes, fluctuaciones en la temperatura etc.

6.3.2.2. Cobertura por categorías

Se tuvieron en cuenta 6 categorías: arena, cascajo, coral, invertebrados, roca y vegetación (Figura 6.27) De estas la de mayor cobertura en las seis estaciones fue la categoría de roca, seguida por corales. Como ya se ha mencionada varias veces, el desarrollo coralino en esta zona es limitado debido a las condiciones de alta energía por las corrientes y el oleaje. La mayoría del sustrato duro corresponde a roca de la terraza sobre la que se encuentra o está conformado el cayo propiamente. El cascajo ocupa el tercer lugar en cobertura. Esta situación es ahora normal en la mayoría de zonas cercanas a la barrera en los arrecifes coralinos del Caribe, este cascajo está constituido principalmente por fragmentos muertos de Acropóridos (*Acropora palmata* y *A. cervicornis*) que antes eran componentes importantes en la zona inmediatamente posterior a la barrera.

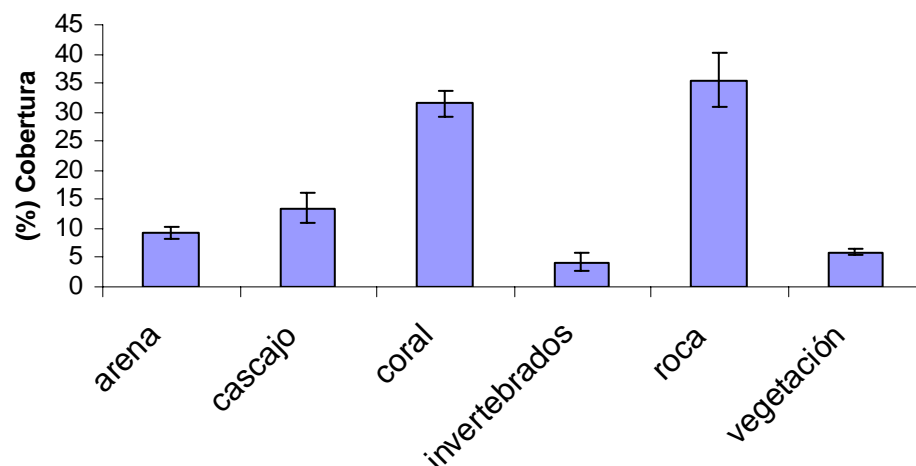


Figura 6.27 Porcentaje de cobertura de cada una de las categorías de sustrato. Las barras indican el error estándar.

86 ESTUDIOS BIOFÍSICOS, OCEANOGRÁFICOS, TOPOGRÁFICOS Y DE DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN MUELLE EN JOHNNY CAY

CORALINA

Este patrón, en donde la roca es el componente de mayor cobertura se repite en la mayoría de las estaciones a excepción de las estaciones uno y seis en donde el coral supera por poco a la categoría roca. La arena y el cascajo son las siguientes categorías en cobertura. La arena rodea las porciones de terraza sobre la que se asientan los corales. La cobertura más baja en todas las estaciones fue para los invertebrados a excepción de las estaciones tres y cuatro en donde es solo superada por la vegetación que se trata en su gran mayoría de algas calcáreas verdes y frondosas cafés (Figura 6.27).

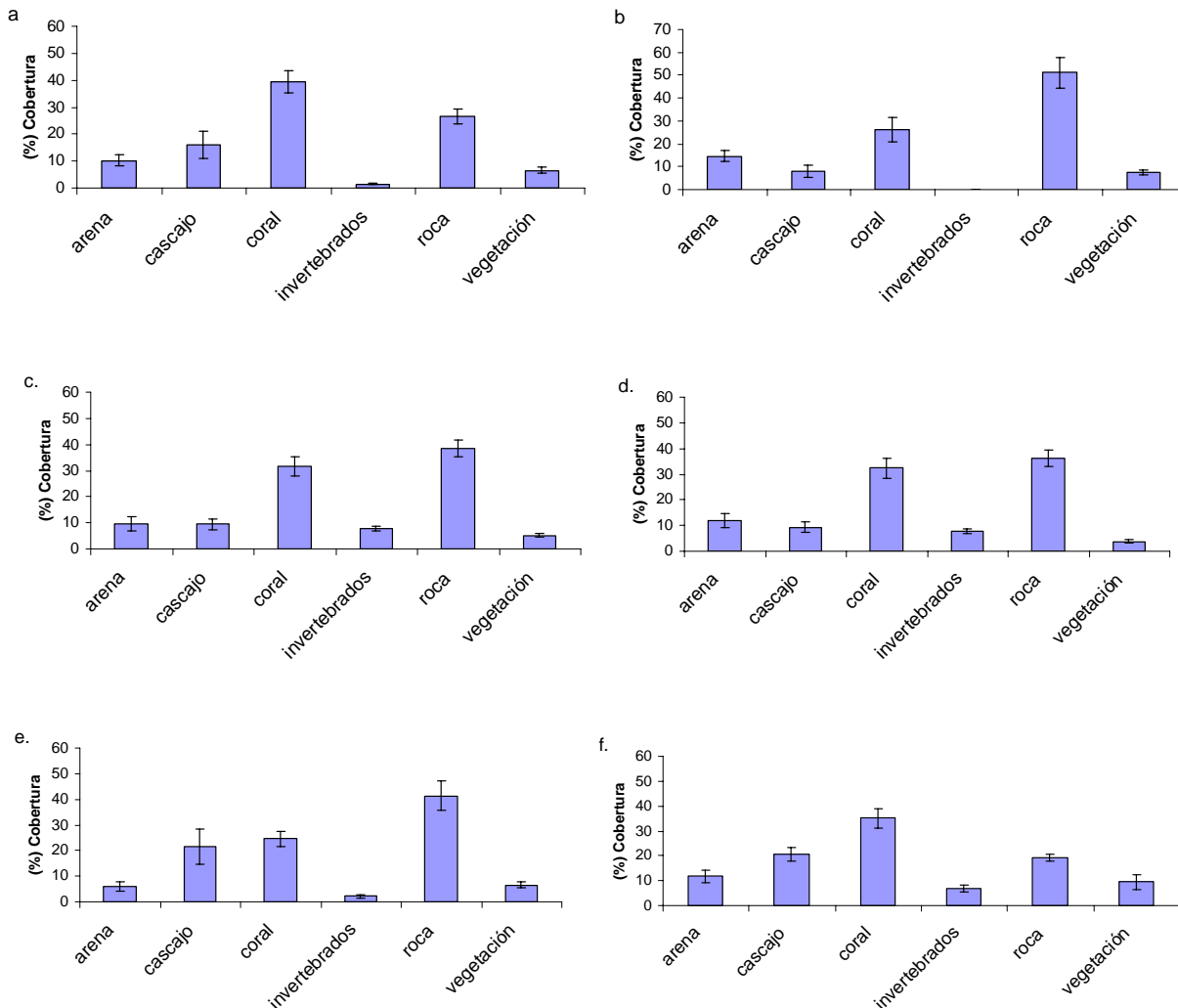


Figura 6.28 Porcentaje de cobertura de cada una de las categorías de sustrato para cada estación: a) estación 1, b) estación 2, c) estación 3, d) estación 4, e) estación 5, y f) estación 6. Columnas indican el valor promedio y las barras el error estándar.

6.3.2.3. Cobertura coralina

La cobertura coralina promedio fue del 31.5% (± 1.2), valor cercano a las coberturas en otras regiones del Caribe Colombiano y del Gran Caribe con algunas excepciones como el Urabá

Chocoano o Bahía Gayraca en el Parque Tayrona, así también como algunos arrecifes en Puerto Rico, en donde se han registrado coberturas alrededor del 40% Invemar (2004). No obstante lo anterior, desde hace por lo menos dos décadas se ha detectado una disminución general en la cobertura coralina en el Caribe Colombiano y el Gran Caribe (Garzón-Ferreira y Kielman, 1993; Burke y Maidens, 2004). En San Andrés para 1992 (Zea et al, 1998) se cuantificó un porcentaje medio de coral muerto recientemente, relativo al sustrato duro, de 52%, alcanzando máximos hasta de 99%, siendo los valores más altos para los parches de la laguna en donde dominaban especies foliosas o ramificadas (*Porites porites*, *Acropora* spp. y *Millepora* spp.), y los más bajos para las zonas de canales y espolones, que corresponden a la zona objeto de este estudio, en donde, según nuestras cuantificaciones la cobertura de coral muerto relativo fue de 1.3% (± 0.3), con su máximo en 2.4% para la estación 4. De acuerdo con Invemar (2004) desde hace unos cinco años la cobertura coralina se ha estabilizado en el Caribe Colombiano, posible razón por la cual los porcentajes de coral muerto recientemente cuantificados en este estudio son bajos.

En cuanto a la cobertura coralina relativa por especie, los corales con mayor cobertura fueron *P. astreoides* (17.2%), *A. agaricetes* (16%), *Montastraea faveolata* (15%), *P. porites* (12.4%) y *Montastraea annularis* (10.5%), las especies restantes tuvieron coberturas por debajo del 10% (Figura 6.29).

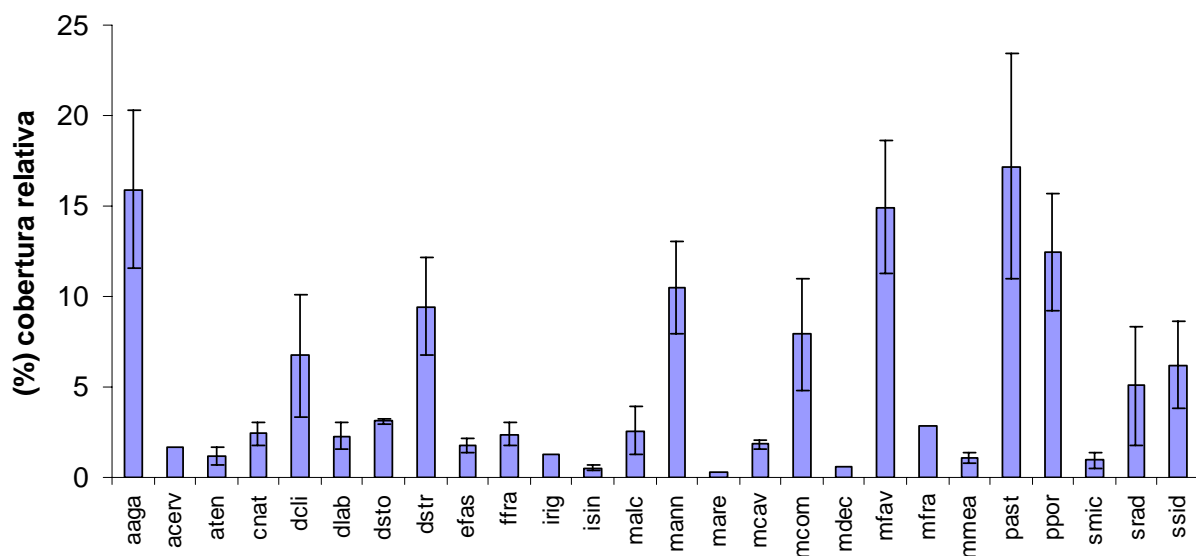


Figura 6.29 Porcentaje relativo de cobertura de cada especie coralina en todas las estaciones. Las abreviaturas de las especies son: aaga= *Agaricia agaricetes*, acer= *Acropora cervicornis*, aten= *Agaricia tenuifolia*, cnat= *Colpophyllia natans*, dclic= *Diploria clivosa*, dlal= *Diploria labyrinthiformis*, dsto= *Dichocoenia stokesii*, dstr= *Diploria strigosa*, efal= *Eusmilia fastigiata*, ffra= *Favia fragum*, irig= *Isophyllastrea rigida*, isin= *Isophyllia sinuosa*, malc= *Millepora alcicornis*, mann= *Montastraea annularis*, mare= *Manicina areolata*, mcav= *Montastraea cavernosa*, mcom= *Millepora complanata*, mdec= *Madracis decactis*, mfav= *Montastraea faveolata*, mfra= *Montastraea franksi*, mmea= *Meandrina meandrites*, past= *Porites astreoides*, ppor= *Porites porites*, smic= *Stephanocoenia michillini*, srad= *Siderastrea radians* y, ssid= *Siderastrea siderea*.

A continuación se realizará una descripción de cada una de las estaciones visitadas:

Estación 1:

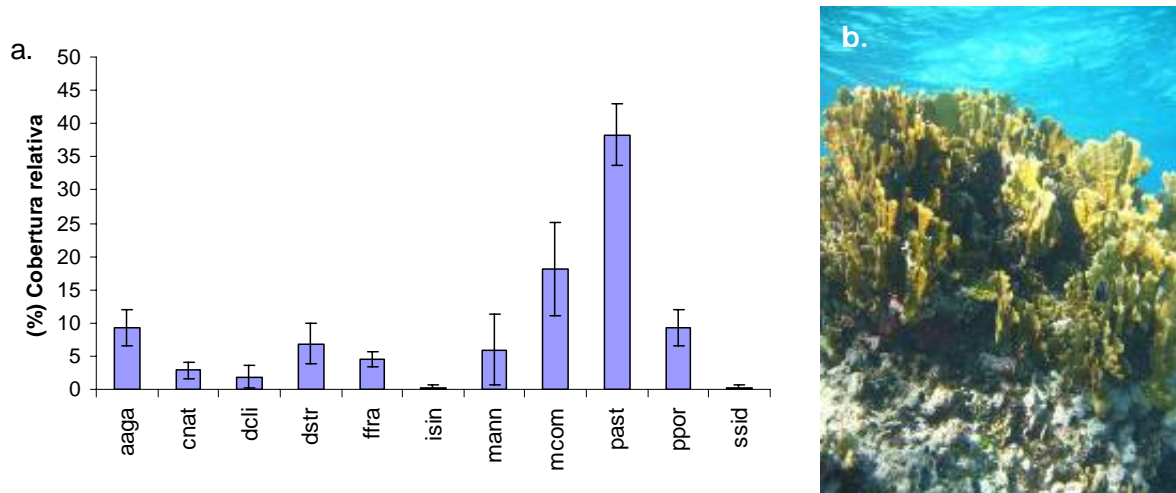


Figura 6.30. a) Porcentaje relativo de cobertura de cada especie coralina: aaga= *Agaricia agaricetes*, cnat= *Colpophyllia natans*, dclic= *Diploria clivosa*, dstr= *Diploria strigosa*, ffra= *Favia fragum*, isin= *Isophyllia sinuosa*, mann= *Montastraea annularis*, mcom= *Millepora complanata*, past= *Porites astreoides*, ppor= *Porites porites* y, ssid= *Siderastrea siderea*. b) Fotografía de la especie de hidrocoral *Millepora complanata* en la estación 1.

La estación número 1 se ubicó en el costado noroccidental de Johnny Cay en las coordenadas geográficas 12°36'16.7"N y 81°41'37.4" W. Es una de las estaciones más cercanas a la barrera coralina, por lo que las corrientes y el oleaje son fuertes y determinan el paisaje coralino. Es básicamente una terraza de abrasión rodeada por arena, un ambiente coralino típico de barrera con parches elevados (cercanos a la superficie) del hidrocoral *Millepora complanata* y algas calcáreas incrustantes principalmente. En las porciones inferiores, sobre la terraza, se encuentran pequeños parches y colonias disgregadas de especies masivas *Porites astreoides*, *Montastraea annularis* y *Diploria strigosa*, ramificadas como *Porites porites* y costrosas o foliosas como *Agaricia agaricetes*. La cobertura coralina fue de 40% (4±). De las 11 especies registradas en esta estación la especie con mayor cobertura fue *P. astreoides* seguida por *Millepora complanata* (Figura 6.30). El porcentaje relativo de coral muerto 0.8%. No se observaron colonias con enfermedades o con signos de estrés.

Podemos decir que este es el paisaje característico de la porción norte de la Isla en la zona inmediatamente posterior a la barrera coralina

Estación 2:

Esta estación se ubico en la porción sur occidental de la isla a pocos metros de la misma en las coordenadas 12°36'7,7" N y 81°41'41,3" W; se trata de un parche coralino somero de aguas característicamente turbias debido a que en este punto se conjuga, por refracción, el oleaje que golpea a la isla desde el noreste, lo que determina que se presente una alta resuspensión. Es una terraza calcárea y podría tratarse de una continuación del Cayo. Debido a la influencia del oleaje y la resuspensión predominaron especies de crecimiento costroso como *Siderastrea*

radians y *Diploria clivosa*, pero también especies masivas o semimasivas como *Diploria strigosa* y *P. astreoides* y ramificadas pero en pequeños y disgregados parches como es el caso de *P. porites* entre las de mayor cobertura (Figura 6.31). La cobertura coralina promedio fue de 26.3%(±5.3), en donde la roca fue la categoría predominante. El porcentaje relativo de coral muerto fue de 1.9%, al segundo más alto entre las estaciones como consecuencia posiblemente a su cercanía a la isla, es decir a factores deletereos de origen antrópico y a la alta resuspensión, sin embargo no se observaron signos de enfermedades o estrés en ninguna de las 11 especies reportadas en esta estación

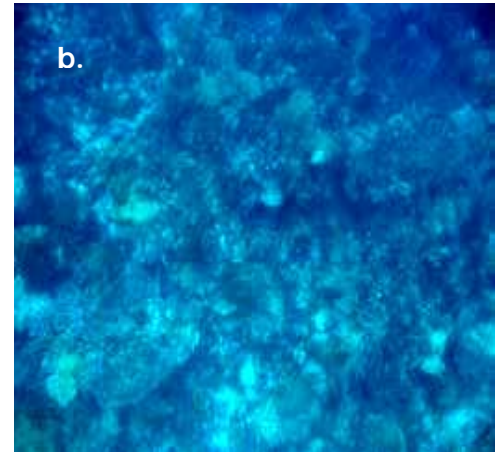
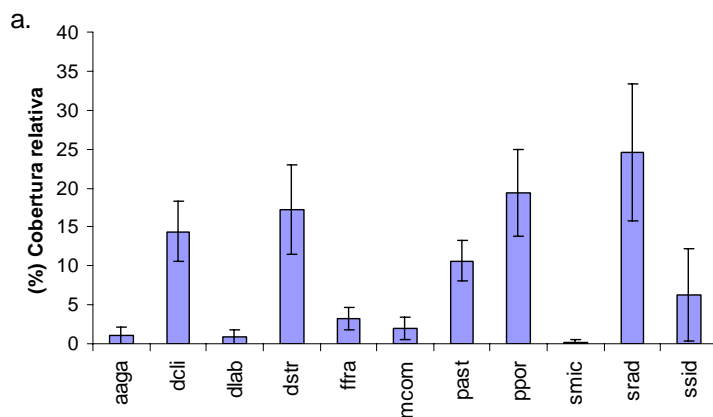


Figura 6.31. a) Porcentaje relativo de cobertura de cada especie: aaga= *Agaricia agaricites*, dccli= *Diploria clivosa*, dlabb= *Diploria labyrinthiformis*, dstr= *Diploria strigosa*, ffra= *Favia fragum*, mcom= *Millepora complanata*, past= *Porites astreoides*, ppor= *Porites porites*, smic= *Stephanocoenia michillini* y, srads= *Siderastrea radians*. b) Panorámica de la estación dos.

Estación 3:

La tercera estación se ubicó en las coordenadas 12°36'4.1"N y 81°41'45.6"W al sur occidente del Cayo, se caracteriza por tener tres ambientes, el primero más somero una plataforma calcárea con escaso desarrollo coralino, en donde predomina el cascajo y las algas principalmente pardas, con algunas colonias masivas dispersas. Un segundo ambiente hacia al sur, más profundo sobre una caída que forma un pequeño acantilado que da lugar a algunas cavernas, en esta porción dominan las colonias masivas *Siderea siderea*, *D. strigosa* y *M. annularis*, también se registraron especies como *P. porites* y *A. agaricetes*. El tercer ambiente es la vertiente hacia el costado occidental, en donde dominan colonias de gran tamaño del coral *M. faveolata* (Figura 6.32). En esta estación las corrientes y el oleaje son menores, aunque perceptibles. La cobertura coralina fue de 31.6% (±3.6). La cobertura relativa de coral coral muerto fue de 1.3%. No se observaron signos de enfermedades o estrés. 18 especies coralinas fueron observadas en esta estación, una de las estaciones con mayor número de especies. Es muy probable que esta conformación característica (de tres ambientes) sea una consecuencia del avance en dirección sur de la terraza lagunar que ha cubierto ya gran parte del parche original, este mismo proceso en diferentes estados de progresión se observa en las estaciones cuatro y seis como se describirá a continuación.

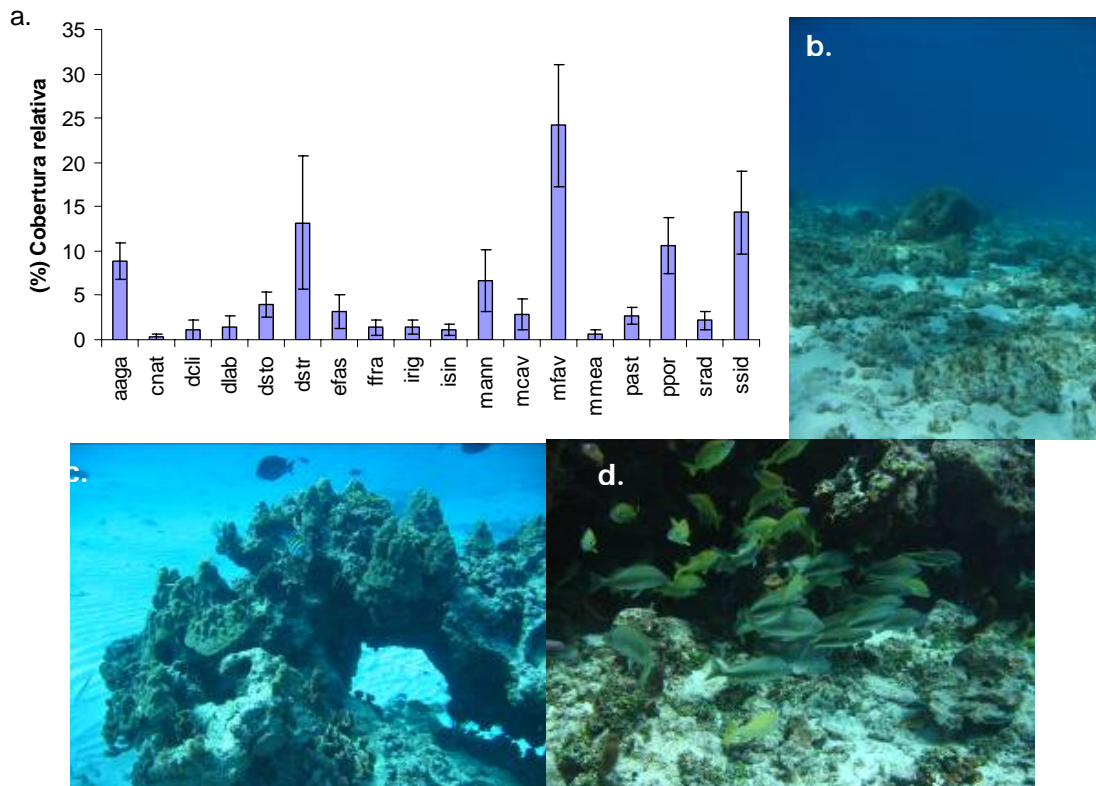


Figura 6.32. a) Porcentaje relativo de cobertura de cada especie coralina. Las abreviaturas de las especies son: aaga= *Agaricia agaricites*, cnat= *Colpophyllia natans*, dcli= *Diploria clivosa*, dlab= *Diploria labyrinthiformis*, dsto= *Dichocoenia stokesii*, dstr= *Diploria strigosa*, efas= *Eusmilia fastigiata*, ffra= *Favia fragum*, irig= *Isophyllastrea rigida*, isin= *Isophyllia sinuosa*, mann= *Montastraea annularis*, mcav= *Montastraea cavernosa*, mfav= *Montastraea faveolata*, mmea= *Meandrina meandrites*, past= *Porites astreoides*, ppor= *Porites porites*, srad= *Siderastrea radians* y, ssid= *Siderastrea siderea*. b) Ambiente de plataforma calcárea somera. c) Ambiente de Vertiente y d) Ambiente de acantilado.

Estación 4:

Esta estación es una terraza más extensa y profunda que la de las estaciones anteriores, esta al sur de la isla en las coordenadas 12°35'56.7"N y 81°41'40"W. Presenta un mayor desarrollo coralino sobre todo en la vertientes, en donde se pueden encontrar grandes colonias de *Montastraea* spp. No obstante, las especies dominantes fueron *A. agaricetes* y *P. porites* seguidas por *M. faveolata*, *M. annularis*, *P. astreoides* y *S. siderea*. Como se ve aquí el promedio de cobertura relativa para las especies está más homogéneamente distribuido entre las diferentes especies que en las anteriores estaciones. Se registraron en esta estación 18 especies de corales pétreos (Figura 6.33). La cobertura coralina fue de 32.4 % (± 3.8). La cobertura relativa de coral muerto fue de 2.4%, la más alta de las seis estaciones estudiadas, sin embargo al igual que en las estaciones anteriores, no se registraron enfermedades y como tampoco signos de estrés sobre los corales. Como se mencionó en la descripción de la estación tres, esta estación se encuentra sobre el borde de la terraza lagunar que se hace evidente como un talud de arena sobre el costado norte de la misma, este talud es dinámico y se espera que avance

sobre el parche a medida que la terraza se vaya colmatando de arena, como posiblemente sucedió en la estación anterior.

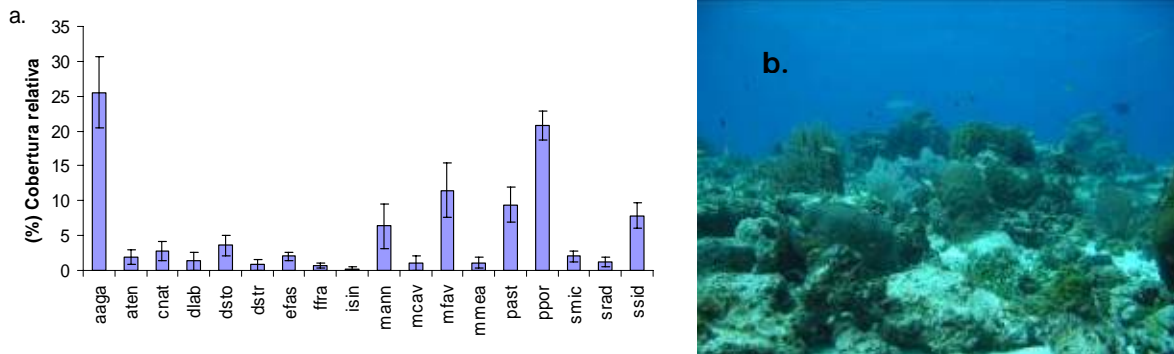


Figura 6.33. a) Porcentaje relativo de cobertura de cada especie coralina. Las abreviaturas de las especies son: aaga= *Agaricia agaricites*, aten= *Agaricia tenuifolia*, cnat= *Colpophyllia natans*, dlab= *Diploria labyrinthiformis*, dsto= *Dichocoenia stokesii*, dstr= *Diploria strigosa*, efas= *Eusmilia fastigiata*, ffra= *Favia fragum*, isin= *Isophyllia sinuosa*, mann= *Montastraea annularis*, mcav= *Montastraea cavernosa*, mfav= *Montastraea faveolata*, mmea= *Meandrina meandrites*, past= *Porites astreoides*, ppor= *Porites porites*, smic= *Stephanocoenia michillini*, srad= *Siderastrea radians* y, ssid= *Siderastrea siderea*. b) Panorámica de la estación 4.

Estación 5:

La estación cinco ubicada en las coordenadas 12°36'5.2"N y 81°41'28.5"W, es similar a la estación número uno pues se encuentra al igual que esta, bajo la influencia de fuertes corrientes y oleaje que determinan el paisaje. Se ubicó sobre el costado oriental de la isla donde golpean las corrientes y vientos directamente desde el noreste. Es una terraza abrasiva con parches elevados de *M. complanta* y algas calcáreas incrustantes. Sobre las porciones bajas de la terraza dominan especies masivas y semi masivas como *P. astreoides* y *D. strigosa*. En cuanto a la cobertura relativa *A. agaricetes* ocupa un lugar predominante. Las especies restantes de las 13 observadas, tuvieron porcentajes bajos de cobertura (Figura 6.34). Las terrazas están rodeadas por arena y cascajo y en este caso en particular se encuentran cerca de parches de *Acropora palmata* muertos en posición de vida que probablemente murieron al final de la década de 1980 y principios de la década de 1990 por la enfermedad de la Banda Blanca (Garzón y Kielman, 1993). El porcentaje de cobertura coralina fue de 24.6% (± 3), más baja que la cobertura en la estación uno, que tendría explicación en la extensión de terraza disponible para el reclutamiento o asentamiento de corales que en esta estación es menor. La cobertura relativa de coral muerto fue de 1.2%. No se presentaron signos de deterioro como enfermedades, blanqueamiento, invasiones por esponjas excavadoras u otros signos de deterioro.

Estación 6:

Esta estación es una terraza calcárea a diferentes niveles de profundidad con importante desarrollo coralino, principalmente sobre las vertientes en donde se registraron grandes colonias de *Montastraea* spp., no obstante, sobre la terraza la mayor cobertura fue para *A. agaricetes* acompañada por *P. porites* y *P. astreoides* y colonias esporádicas de *S. siderea* (Figura 6.35).

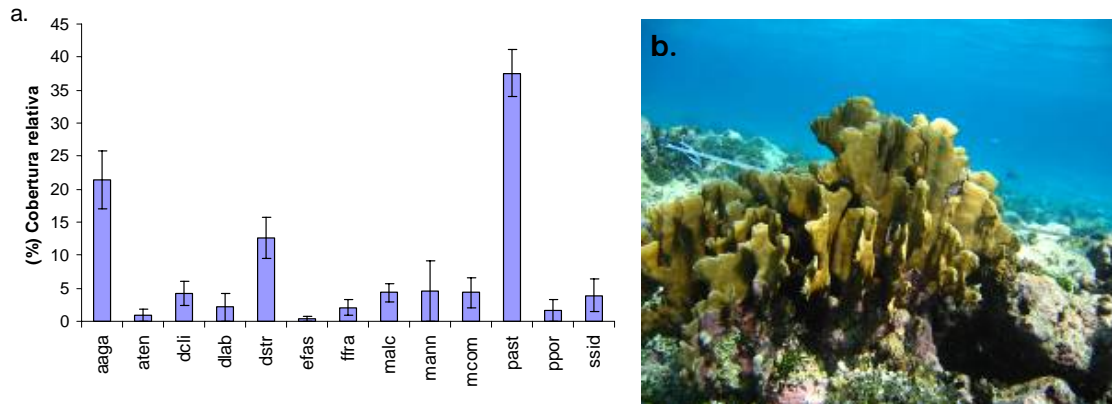


Figura 6.34. a) Porcentaje relativo de cobertura de cada especie coralina. Las abreviaturas de las especies son: aaga= *Agaricia agaricites*, aten= *Agaricia tenuifolia*, dcli= *Diploria clivosa*, dlab= *Diploria labyrinthiformis*, dstr= *Diploria strigosa*, efas= *Eusmilia fastigiata*, ffra= *Favia frugum*, malc= *Millepora alcicornis*, mann= *Montastraea annularis*, mcom= *Millepora complanata*, past= *Porites astreoides*, ppor= *Porites porites*, srad= *Siderastrea radians* y, ssid= *Siderastrea siderea*. b) Panorámica de la estación 5.

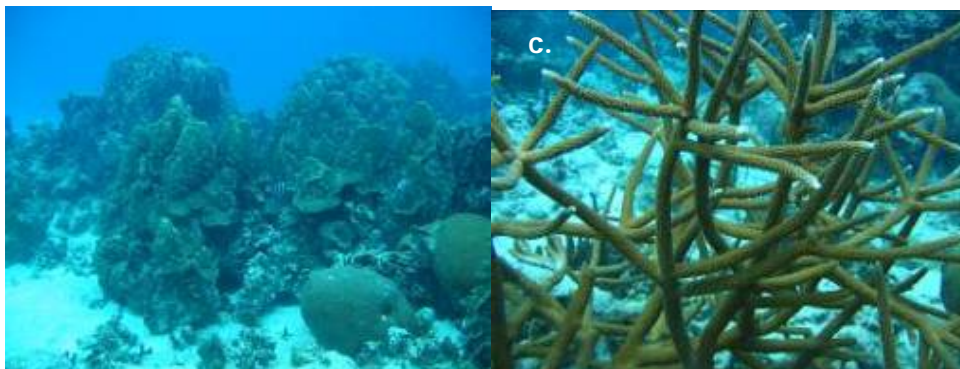
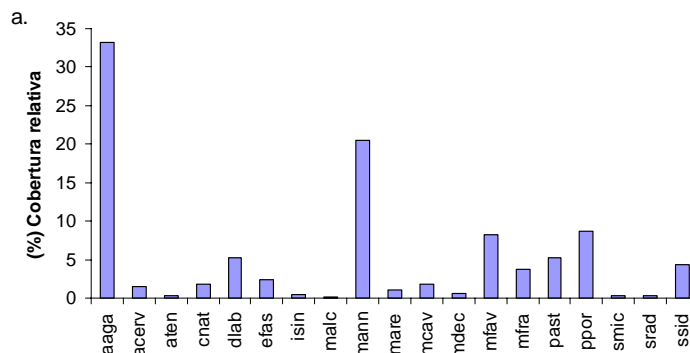


Figura 6.35. a) Porcentaje relativo de cobertura de cada especie coralina. Las abreviaturas de las especies son: aaga= *Agaricia agaricites*, acer= *Acropora cervicornis*, aten= *Agaricia tenuifolia*, cnat= *Colpophyllia natans*, dlab= *Diploria labyrinthiformis*, efas= *Eusmilia fastigiata*, isin= *Isophyllia sinuosa*, malc= *Millepora alcicornis*, mann= *Montastraea annularis*, mare= *Manicina areolata*, mcav= *Montastraea cavernosa*, mdec= *Madracis decactis*, mfav= *Montastraea faveolata*, mfra= *Montastraea franksi*, past= *Porites astreoides*, ppor= *Porites porites*, smic= *Stephanocoenia michillini*, srad= *Siderastrea radians* y, ssid= *Siderastrea siderea*. b) Vertientes con colonias de *Montastraea faveolata*. c) Colonia de *Acropora cervicornis*.

El promedio de cobertura coralina fue de 35.1% (± 3.9) una de las más altas en los alrededores de Johnny Cay. Se debe resaltar que esta fue la única estación en la que se observó una colonia viva y sana de *Acropora cervicornis* y la estación en donde más especies se registraron (19). Esta estación fue la más meridional y se ubicó en las coordenadas geográficas 12°35'48"N y 81°41'36.8"W. Al igual que en todas las otras estaciones no se observaron colonias enfermas o con signos de estrés. Al igual que la estación 4 se encuentra cerca al borde de la terraza lagunar aunque a diferencia del esta, está separada del talud aún por unos cuantos metros. Tanto esta como la estación cuatro son parches coralinos en la laguna según los describen Díaz *et al* (1995).

6.3.2.4. Comparación por estaciones

Análisis de clasificación y NMDS

De acuerdo al análisis de clasificación y el NMDS se forman dos agrupaciones, la primera que reúne las estaciones 1, 2 y 5 las más cercanas a la isla y las estaciones 4, 3 y 6 las cuales están al sur del Cayo sobre el borde inferior del talud de arena que limita la terraza inferior de Johnny Cay (Figura 6.36; Figura 6.37). Como ya se ha mencionado con anterioridad el primer grupo de estaciones, en las inmediaciones del Cayo se caracterizan por estar en ambientes de alta

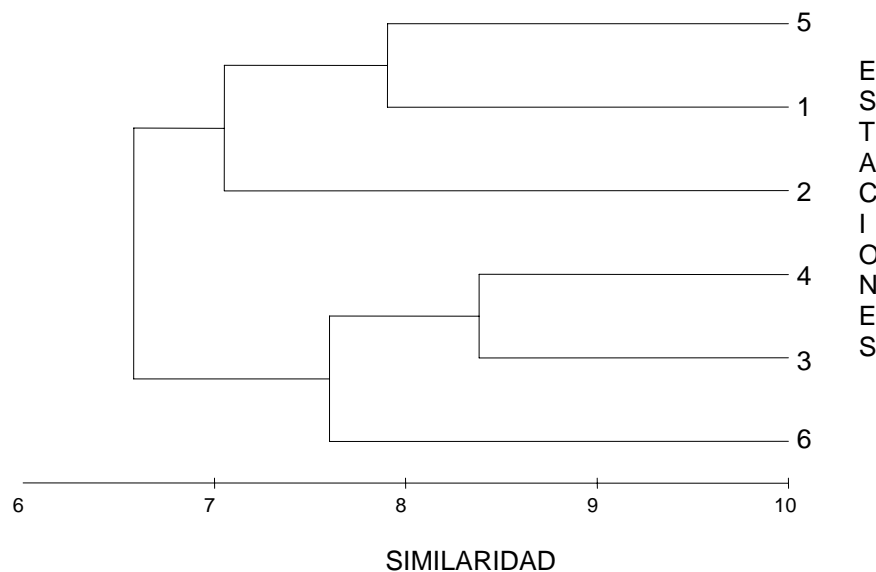


Figura 6.36. Análisis de clasificación en donde se hacen evidentes los dos grupos de estaciones grupo (A) estaciones 1, 2 y 5, grupo (B) estaciones 3, 4 y 6. Se utilizó Bray-Curtis como índice de asociación, la escala de similitud va de 0 a 100.

energía, con corrientes y oleajes fuertes son estaciones someras sobre terrazas de abrasión con una resuspensión mayor a las estaciones que conforman el otro grupo de estaciones más profundas con menor intensidad en el oleaje y las corrientes lo que permite un mayor desarrollo coralino con grandes colonias de corales masivos y parches de tamaño medio de corales foliosos

y ramificados, se tratan además como ya se señaló de parches coralinos de la laguna que separa a la terraza lagunar o parte trasera de la barrera de los ambientes costeros de la isla de San Andrés.

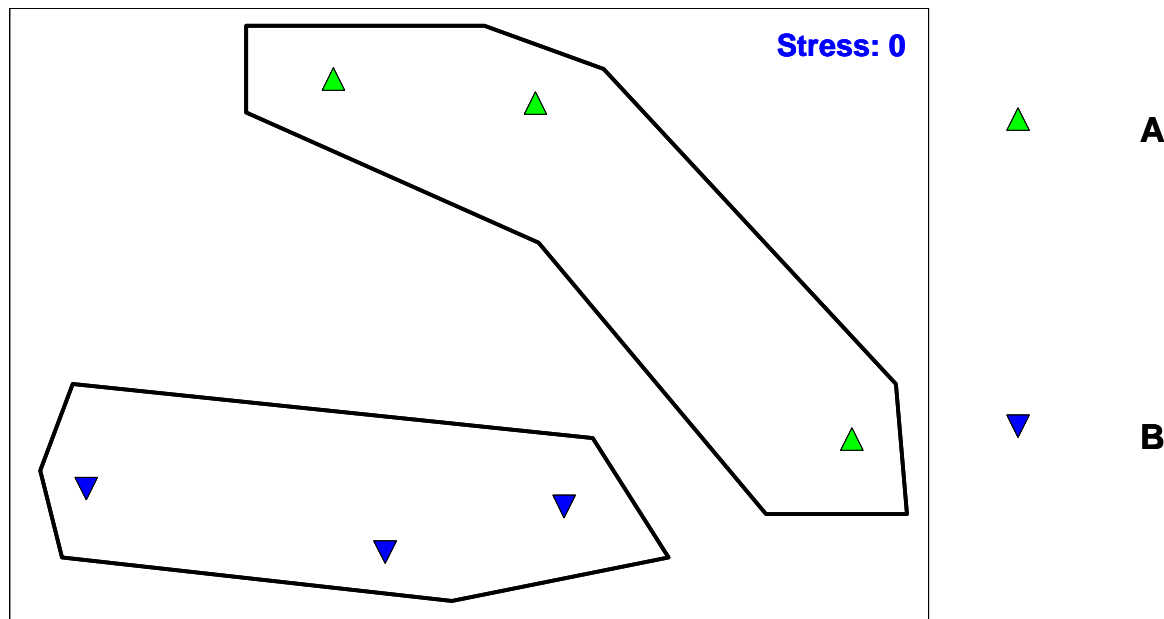


Figura 6.37. Análisis escalamiento multidimensional no métrico en donde se muestran los dos grupos de estaciones grupo (A) estaciones 1, 2 y 5, grupo (B) estaciones 3, 4 y 6.

6.3.2.5. Analisis de ponderación de las especies coralinas (Kandoorp)

Tan solo 4 especies de coral fueron compartidas en los dos grupos, tres de las cuales fueron especies masivas a excepción de *P. porites*, en cuanto a *Montastraea annularis* y *P. astreoides* se piensa que ahora están reemplazando a las especies formadoras de arrecife, entre estas los acropóridos que han mermado sus poblaciones hasta casi desaparecer en los arrecifes del Caribe pero principalmente en Colombia y que antes dominaban en estas zonas. El hidrocoral *M. complanata*, fue exclusivo y característico del grupo A, que reúne a las estaciones cercanas a la barrera, ambiente característicamente dinámico en donde solo algunas especies pueden reclutar como es el caso de esta especie, que junto con las algas rojas calcáreas y el zonathideo *Palythoa caribaeorum*, que aunque no fueron reportadas en esta estudio, conforman típicamente esta unidad ecológica (Díaz *et al*, 2000). Especies como *D. clivosa* y *P. astreoides* fueron a su vez características de este grupo, por sus forma de crecimiento, semimasivas e incrustantes, tienen la capacidad de establecerse en este tipo de ambientes. En el grupo B por otro lado en donde la dinámica del oleaje y las corrientes es menor, aparecen otras especies que no tienen la capacidad de establecerse en los ambientes típicos, ya descritos en varias ocasiones, de las estaciones del grupo A, razón por la cual la mayoría de las especies de este grupo son exclusivas (Figura 6.38).

A-B	A	B
<i>Montastraea annularis</i>	oooooo	oooooo
<i>Diploria labyrinthiformis</i>	oooooo	oooooo
<i>Colpophyllia natans</i>	oooooo	oooooo
<i>Porites porites</i>	oooooo	oooooo

A	A
<i>Millepora complanata</i>	<u>eeeeee</u>
<i>Diploria clivosa</i>	oooooo
<i>Millepora alcicornis</i>	oooooo
<i>Siderastrea radians</i>	*****
<i>Porites astreoides</i>	*****
<i>Favia fragum</i>	*****
<i>Diploria strigosa</i>	*****

B	B
<i>Acropora cervicornis</i>	eeeeee
<i>Dichocoenia stokesii</i>	eeeeee
<i>Isophyllastrea rigida</i>	eeeeee
<i>Manicina areolata</i>	eeeeee
<i>Montastraea cavernosa</i>	eeeeee
<i>Madacis decactis</i>	eeeeee
<i>Montastraea faveolata</i>	eeeeee
<i>Montastraea franksii</i>	eeeeee
<i>Menadina meandrites</i>	eeeeee
<i>Eusmilia fatigiata</i>	oooooo
<i>Stephanocoenia michilini</i>	*****
<i>Isophyllia sinuosa</i>	*****
<i>Siderastrea siderea</i>	*****
<i>Agaricia tenuifolia</i>	*****
<i>Agaricia agaricetes</i>	*****

Figura 6.38. Análisis inverso de las estaciones en la comunidad marina. Concentración de la abundancia en o más de 70% (*****), hasta o más de 90% (oooooo). Se muestran las especies generalistas (nivel A-B), exclusivas (eeeeee) y características (subrayadas) para cada uno de los grupos.

6.3.2.6. *Análisis de diversidad (números de Hill y curvas de K dominancia)*

Los números de Hill muestran a las estaciones 3 y 4 como las más diversas, debido a que poseen alto número de especies (N0) y un gran número de especies abundantes y muy abundantes (N1 y N2), lo que refleja baja dominancia en dichas estaciones. No obstante, la estación 6 que presentó el mayor número de especies (N0), exhibió un bajo número de especies muy abundantes (N2) en relación a su "N0" indicando mayor dominancia que las estaciones 3 y 4 y por lo tanto menor diversidad que estas. Lo anterior se ve corroborado por los valores del índice de equitatividad de Pielou (J'), mostrando que la distribución de las abundancias entre las familias presentes en las estaciones 3 y 4 es altamente uniforme (Figura 6.39), mientras que en la estación 6 se observa la menor uniformidad del muestreo. La estaciones 1, 2 y 5 presentaron los menores valores de los números de Hill (N0, N1 y N2) por lo tanto son las menos diversas. Sin embargo, la estación 2 mostró la mayor equitatividad (J').

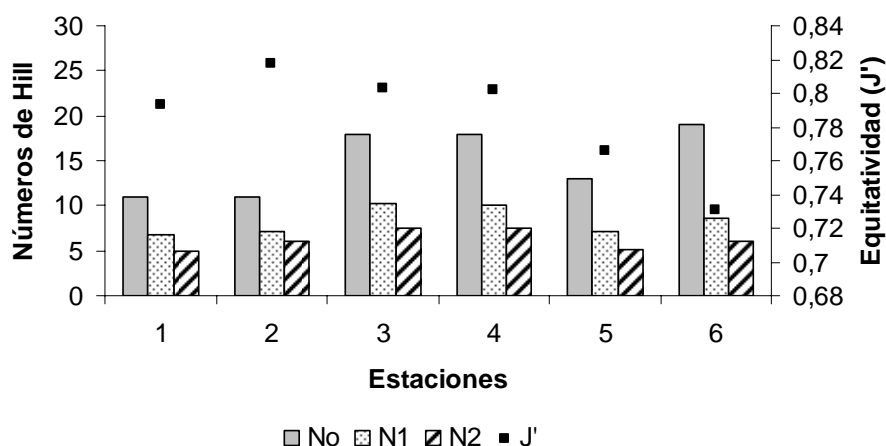


Figura 6.39 Comparación de las estaciones de muestreo en términos del índice de equitatividad de Pielou (J') y de los números de Hill (N0, N1 y N2).

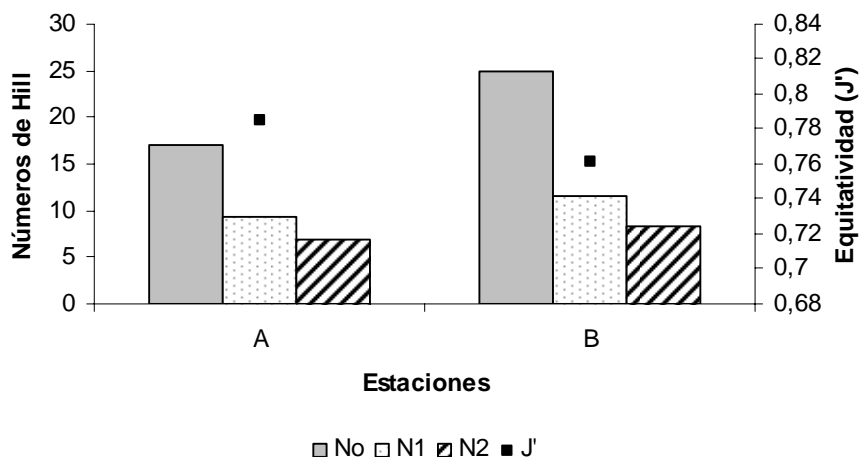


Figura 6.40 Comparación de los grupos en términos del índice de equitatividad de Pielou (J') y de los números de Hill (N0, N1 y N2).

En cuanto a las curva de K- dominancia para los grupos establecidos se puede afirmar en general que el grupo de estaciones A (1, 2 y 5) es menos diverso que el grupo de estaciones B (3, 4 y 6) (Figura 6.41), todo lo cual se ajusta a las discusiones anteriores y a las descripciones de las estaciones .

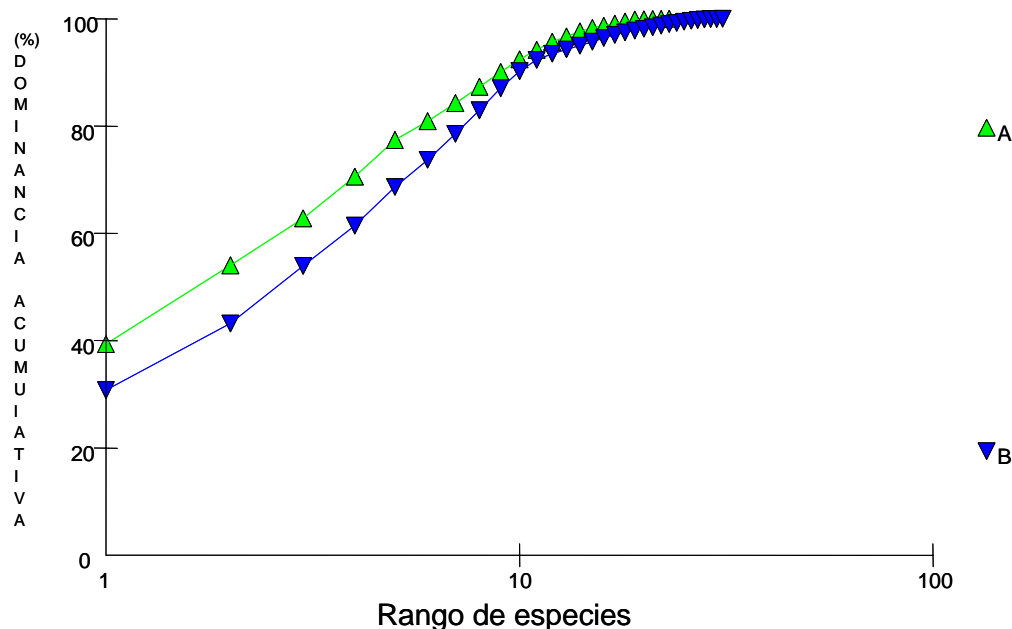


Figura 6.41 Curvas de K-dominancia para los dos grupos establecidos

6.3.2.7. Conclusiones

- La estructura de los parches coralinos de Johnny Cay está determinada posiblemente en gran parte por las corrientes y el oleaje. Mientras las estaciones sobre el borde de la terraza lagunar presentan un mayor desarrollo y diversidad, las estaciones sobre la terraza contrastan en estos dos aspectos pues allí desembocan los canales y espolones de la barrera coralina.
- La cobertura coralina alrededor de Johnny Cay es importante, sin embargo se concentra en pequeños parches, lo cual hace de estos fáciles para su protección, pero a la vez susceptibles.

6.3.3. *Praderas de fanerógamas marinas*

El desarrollo de praderas de fanerógamas acuáticas alrededor de Johnny Cay es limitado, se trata de pequeños parches en las zonas en donde la resuspensión, el oleaje y las corrientes lo permiten. Son parches monoespecíficos acompañados por algas verdes como *Halimeda* spp.,

Penicillus spp., *Caulerpa* spp. *Avrainvillea* spp, *Rhipocephalus* spp y *Udotea* spp. Cuatro estaciones fueron de *Siringodium filiforme* y una de *Thalassia testudinum*. Los parches están en aguas someras, rodeados por arena.

La estación número 1, la única estación de *T. testudinum* fue a su vez la estación con menor densidad y biomasa, por otro lado las estaciones 3, 5 y 6 compuestas por *S. filiforme* tuvieron densidades similares entre si, la estación 4 por su parte fue la que obtuvo las densidades más altas, por encima de las otras estaciones, lo mismo para la biomasa, en donde la diferencia fue aún más marcada (Figura 6.43; Figura 6.44).

Las estaciones 4, 5 y 6 se ubicaron sobre el costado sur oriental de Johnny Cay, en una zona protegida del embate de las corrientes y las olas, estas tres estaciones además aunque separadas por arena se encuentran cercanas unas a otras por lo tanto y como ya se mencionó se desarrollan en las mismas condiciones físicas lo que determina su similitud.

Para las praderas, factores tales como la luz, temperatura, salinidad, calidad del agua, tipo de sedimento y la hidrodinámica son importantes al determinar su distribución, pero además, sus características poblacionales como densidad y biomasa (Fong et al, 1997; Livinstong et al, 1998; Koch y Gust, 1999). En el caso particular de las praderas de *Thalassia tetudinum* se ha demostrado que la hidrodinamica determina en gran parte la densidad de vástagos que a su vez está relacionado directamente con la capacidad de intercambio del agua entre el parche, la baja densidad encontrada en esta estación (comparativamente con otras áreas de San Andrés y del Caribe, ver Invemar 2004 y 2005) significa que las hojas de *T. testudinum* se aseguran un intercambio idóneo mientras disminuyen la turbulencia y aumentan la deposición de partículas aumentando la captación solar (Koch y Gust, 1999).

Ahora bien, ¿por qué este es el único parche de esta especie en las inmediaciones de Johnny Cay?, es probable que la fuerte dinámica en el área de estudio no permitan una mayor extensión de *T. testudinum* o que se registre en otros lugares alrededor de Johnny Cay, no obstante, se debe tener en cuenta que en el 2005 se presentó una tormenta tropical que se desarrolló en huracán alcanzando vientos hasta de 100 Km que al parecer tuvieron efectos deletereos sobre las praderas de *T. testudinum* en San Andres y Providencia (Invemar, 2005). Esto a su vez, aunque no fue determinado, pudieron tener también un efecto negativo en el tamaño y distribución de esta especie alrededor del Cayo, no obstante se ha señalado que esta especie es capaz de resistir estos embates debido a que se enraiza fuerte y profundamente, capacidad en la que supera a *S. filiforme* (Cruz-Palacios y Tussenbroek, 2005) lo que iría en contradicción con las observaciones de este estudio en cuanto a la dominancia de esta última alrededor de Johnny Cay.

Otra posibilidad está en las propiedades físicas y químicas del agua marina en esta zona, como ya mencionamos la calidad del agua es un factor de suma importancia en la distribución y atributos ecológicos y biológicos de estas praderas, según Livinstong et al (1998), *S. sirigodium* dominará en lugares en donde predominene condiciones oceánicas con fluctuaciones de temperaturas y salinidad y bajos contenidos de nutrientes en el agua y sedimentos, condiciones características de las aguas de San Andrés (Garay y Gutierrez 1984; Garay et al, 1988), sin embargo *T. testudinum* es la especie dominante en San Andrés, es así entonces

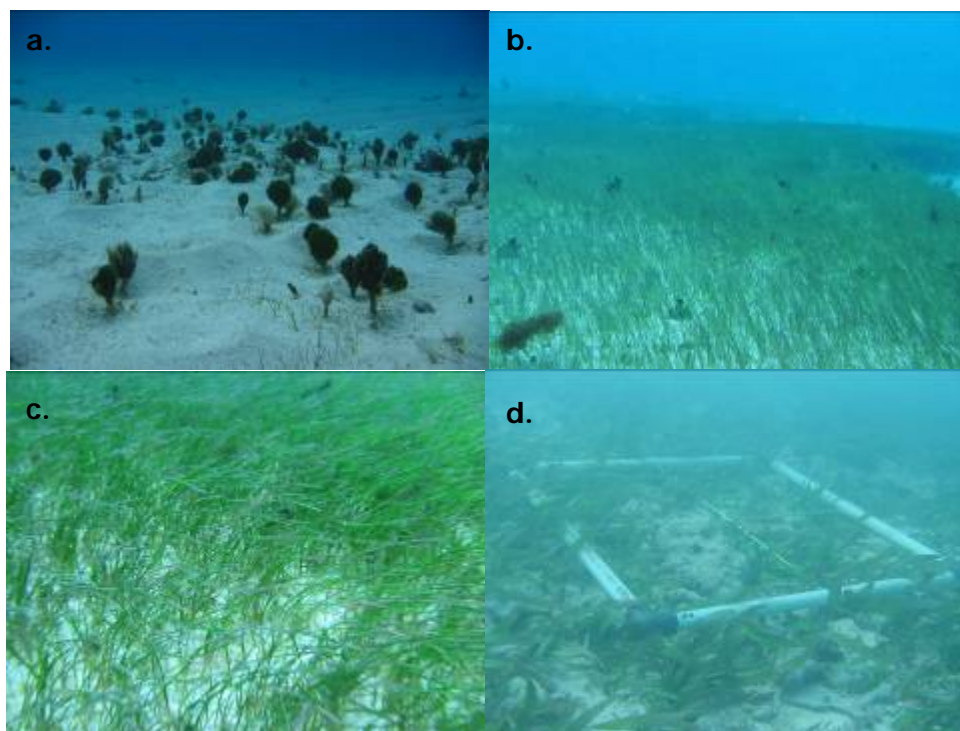


Figura 6.42. Estaciones de fanerógamas. a) Flora acompañante; b) Paisaje en una de las estaciones; c) acercamiento a una pradera de *Siringodium filiforme*; d) Pradera de *Thalassia testudinum* con el cuadrante usado para cuntificar vástagos y estimar la densidad.

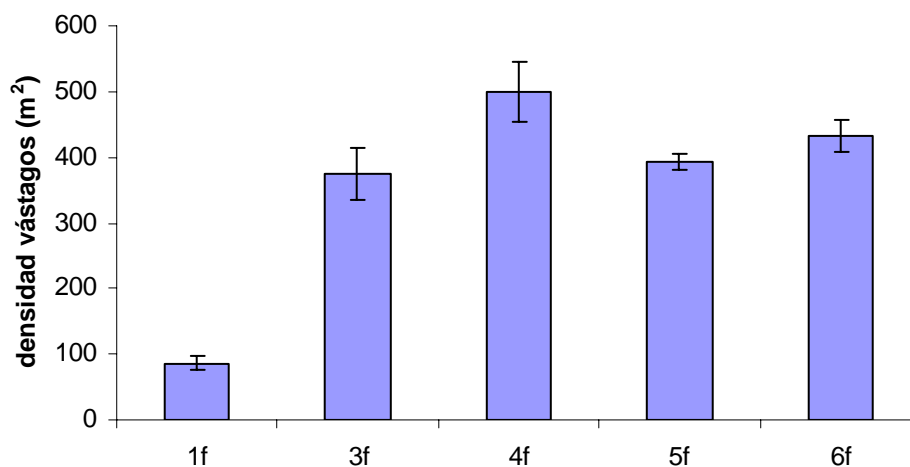


Figura 6.43 Densidad de vástagos por metro cuadrado en cada una de las estaciones

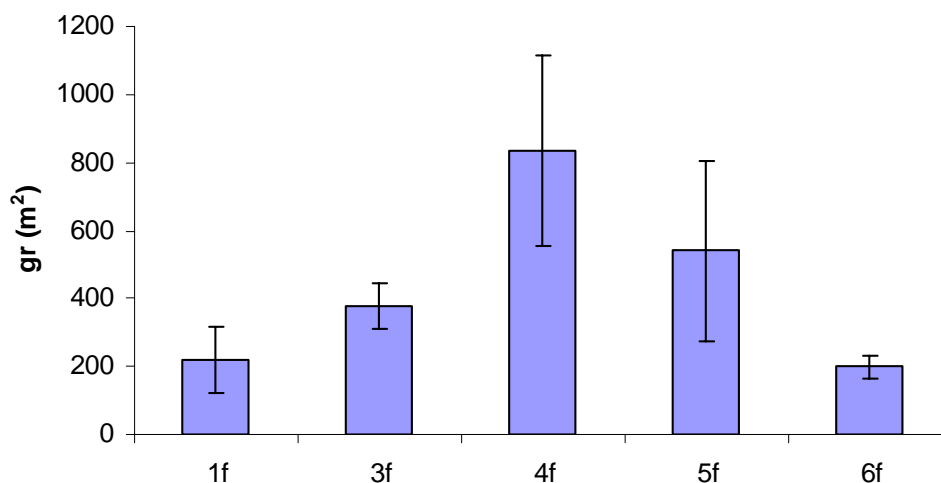


Figura 6.44 Biomasa por metro cuadrado

que el factor más probable para explicar la dominancia de *S. sirigudium* en los alrededores de Johnny Cay, es el tipo de sustrato. Según Acosta y colaboradores (Invemar, 2005), el sustrato en donde predomina *T. testudinum* es de tipo limo arcilloso y que a medida que este cambia al alejarse de la costa a granos más gruesos se va presentando un reemplazo de esta fanerógama por *S. sirigudium*, según nuestras propias observaciones (Anexo 3) el tipo de sustrato predominante en Johnny Cay es arenas gruesas.

La estaciones de *S. filiforme* presentaron otra particularidad que ya mencionamos en los primeros párrafos, aunque la densidad fue similar la biomasa en promedio fue mayor en las estaciones 4 y 5, no obstante como se puede ver en la Figura 6.44, la dispersión de los datos fue alta lo que seguramente significa que no hay diferencias significativas. Según nuestras propias observaciones, dentro de un mismo parche la densidad y la biomasa pueden cambiar de un punto a otro dependiendo si están en el centro hacia los bordes del parche o en zonas más altas o mejor consolidadas, es así que puede existir algún sesgo debido a la zona en donde se tomaron las muestras en cada lugar.

6.3.3.1. Conclusiones

- De la misma manera las praderas de fanerógamas en la inmediaciones de Johnny Cay son limitadas, en su mayoría se trata de parches monoespecíficos de *S. filiforme* debido posiblemente a la composición del sustrato y a la dinámica de las corrientes y el oleaje.

6.3.4. Comunidades ícticas

6.3.4.1. Composición de la ictiofauna

Un total de 7005 individuos fueron registrados en los censos realizados en el mes de diciembre de 2006, en las estaciones muestreadas en el cayo de Johnny Cay; representados en 24 familias

y 71 especies. En la Tabla 6.8 se especifican las especies observadas en orden filogenético de las familias (Nelson, 1994) con el autor y año de la especie y la frecuencia de aparición en las estaciones.

La última revisión extensa de la ictiofauna presente en el Caribe colombiano, fue realizada por Reyes-Nivia *et al* (2004), en la cual para la Isla de San Andrés, registraron 128 especies de peces coralinos, siendo nueve registros nuevos para el área. Anteriormente, autores como Victoria y Gómez (1984) y Gómez y Victoria (1986), listaron 189 especies de peces identificados a partir de especímenes capturados por una cooperativa de pescadores, incluyendo en este registro 34 nuevas especies para el área. Mejía *et al* (1998), censaron 169 especies en cuatro atolones del archipiélago de San Andrés y Providencia. En general para el área de San Andrés e incluyendo los complejos arrecifales de los cayos y de la isla de Providencia, se habían listado 202 especies (Reyes-Nivia *et al*, 2004). En áreas costeras de arrecifes coralinos del Caribe colombiano, Acero y Garzón (1987) listaron 146 especies de peces en el Urabá chocoano; Torres *et al* (1998), reconocieron 102 especies en el bajo arrecifal Imelda, Isla Barú; y Olaya (2006), registró 180 especies en la extensa área de Santa Marta y el Parque Nacional Tayrona.

Tabla 6.8 Especies identificadas en los censos visuales en el mes de diciembre de 2006 en la Isla de Johnny Cay. Familia, especie, autor y año de la especie y frecuencia de aparición.

TAXA	ESTACIÓN					
	1	2	3	4	5	6
Familia MURAENIDAE						
<i>Gymnothorax sp.</i> Linnaeus, 1758				X		
Familia HOLOCENTRIDAE						
<i>Holocentrus adscensionis</i> (Osbeck, 1765)	X		X	X	X	X
<i>Holocentrus rufus</i> (Walbaum, 1792)				X		X
<i>Myripristis jacobus</i> Cuvier, 1829	X			X		
Familia AULOSTOMIDAE						
<i>Aulostomus maculatus</i> Valenciennes, 1837			X			X
Familia SERRANIDAE						
<i>Cephalopholis cruentata</i> (Lacèpede, 1802)			X	X		X
<i>Cephalopholis fulva</i> (Linnaeus, 1758)						X
<i>Epinephelus striatus</i> (Bloch, 1792)						X
<i>Mycteroperca bonaci</i> (Poey, 1860)						X
<i>Rypticus saponaceus</i> (Bloch y Schneider, 1801)					X	
<i>Serranus tigrinus</i> (Bloch, 1790)			X	X	X	X
Familia PRIACANTHIDAE						
<i>Heteropriacanthus cruentatus</i> (Làcepede, 1801)				X		X
Familia MALACANTHIDAE						
<i>Malacanthus plumieri</i> (Bloch, 1786)					X	X
Familia CARANGIDAE						
<i>Carangoides ruber</i> Bloch, 1793	X		X	X	X	
Familia LUTJANIDAE						
<i>Lutjanus apodus</i> (Walbaum, 1792)	X		X	X	X	X
<i>Lutjanus mahogoni</i> (Cuvier, 1828)					X	
Familia HAEMULIDAE						

**102 ESTUDIOS BIOFÍSICOS, OCEANOGRÁFICOS, TOPOGRÁFICOS Y DE
DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN MUELLE EN JOHNNY CAY**

CORALINA

TAXA	ESTACIÓN					
	1	2	3	4	5	6
<i>Haemulon flavolineatum</i> (Desmarest, 1823)	X	X	X	X		X
<i>Haemulon melanurum</i> (Linnaeus, 1758)			X	X		
<i>Haemulon parra</i> (Desmarest, 1823)			X	X		
<i>Haemulon plumierii</i> (Lacépède, 1801)	X		X	X	X	X
<i>Haemulon sciurus</i> (Shaw, 1803)	X	X	X	X	X	X
Familia SPARIDAE						
<i>Calamus bajonado</i> (Bloch y Schneider, 1801)			X			
<i>Calamus pennatula</i> Guichenot, 1868				X		X
Familia MULLIDAE						
<i>Mulloidichthys martinicus</i> (Cuvier, 1829)						X
<i>Pseudupeneus maculatus</i> (Bloch, 1793)				X		X
Familia PEMPHERIDAE						
<i>Pempheris schomburgki</i> Müller y Troschel, 1848			X			
Familia CHAETODONTIDAE						
<i>Chaetodon capistratus</i> Linnaeus, 1758		X	X	X	X	X
<i>Chaetodon striatus</i> Linnaeus, 1758	X	X		X	X	
Familia POMACANTHIDAE						
<i>Holacanthus ciliaris</i> (Linnaeus, 1758)	X			X		
<i>Holacanthus tricolor</i> (Bloch, 1795))				X		X
<i>Pomacanthus arcuatus</i> (Linnaeus, 1758)			X			X
<i>Pomacanthus paru</i> (Bloch, 1787)	X	X				
Familia KYPHOSIDAE						
<i>Kyphosus</i> spp	X				X	
Familia POMACENTRIDAE						
<i>Abudefduf saxatilis</i> (Linnaeus, 1758)	X	X	X	X	X	X
<i>Chromis cyanea</i> (Poey, 1860)			X	X	X	X
<i>Chromis multilineata</i> (Guichenot, 1853)	X		X	X		X
<i>Microspathodon chrysurus</i> (Cuvier, 1830)	X		X	X	X	X
<i>Stegastes adustus</i> (Troschel, 1865)	X	X	X	X	X	X
<i>Stegastes dienaecus</i> (Jordan y Rutter, 1897)	X	X	X	X	X	X
<i>Stegastes leucostictus</i> (Müller y Troschel, 1848)	X	X	X	X		X
<i>Stegastes partitus</i> (Poey, 1868)	X	X	X	X	X	X
<i>Stegastes planifrons</i> (Cuvier, 1830)	X	X	X			X
<i>Stegastes variabilis</i> (Castelnau, 1855)	X		X	X	X	X
Familia LABRIDAE						
<i>Bodianus rufus</i> (Linnaeus, 1758)			X	X		
<i>Clepticus parrae</i> (Bloch y Schneider, 1801)				X		X
<i>Halichoeres bivittatus</i> (Bloch, 1791)	X	X	X	X	X	
<i>Halichoeres cyanocephalus</i> (Bloch, 1791)			X			
<i>Halichoeres garnoti</i> (Valenciennes, 1839)			X	X	X	X
<i>Halichoeres maculipinna</i> (Müller y Troschel, 1848)	X	X	X	X	X	X
<i>Halichoeres poeyi</i> (Steindachner, 1867)	X	X	X	X	X	
<i>Halichoeres radiatus</i> (Linnaeus, 1758)	X	X	X		X	
<i>Lachnolaimus maximus</i> (Walbaum, 1792)			X	X		
<i>Thalassoma bifasciatum</i> (Bloch, 1791)	X	X	X	X	X	X
Familia SCARIDAE						

TAXA	ESTACIÓN					
	1	2	3	4	5	6
<i>Scarus croicensis</i> Bloch, 1790	X		X	X		X
<i>Scarus taeniopterus</i> Desmarest, 1831			X	X	X	X
<i>Scarus vetula</i> Bloch y Schneider, 1801				X		X
<i>Sparisoma aurofrenatum</i> (Valenciennes, 1840)				X	X	X
<i>Sparisoma chrysopterus</i> (Bloch y Schneider, 1801)				X	X	X
<i>Sparisoma rubripinne</i> (Valenciennes, 1840)				X		
<i>Sparisoma viride</i> (Bonnaterre, 1788)	X	X	X	X	X	X
Familia BLENNIIDAE						
<i>Ophioblennius atlanticus</i> (Valenciennes, 1836)	X		X			
Familia ACANTHURIDAE						
<i>Acanthurus bahianus</i> Castelnau, 1855	X	X	X	X	X	X
<i>Acanthurus chirurgus</i> (Bloch, 1787)	X		X	X		X
<i>Acanthurus coeruleus</i> Bloch y Schneider, 1801	X	X	X	X	X	X
Familia BALISTIDAE						
<i>Melichthys niger</i> (Bloch, 1876)	X		X			
Familia MONACANTHIDAE						
<i>Cantherhines pullus</i> (Ranzani, 1842)	X	X	X	X	X	X
<i>Monacanthus tuckeri</i> Bean, 1906			X			
Familia OSTRACIIDAE						
<i>Acanthostracion polygonius</i> Poey, 1876			X			
<i>Lactophrys triqueter</i> (Linnaeus, 1758)	X			X		X
Familia DIODONTIDAE						
<i>Diodon holocanthus</i> Linnaeus, 1758		X	X	X		X
<i>Diodon hystrix</i> Linnaeus, 1758			X	X		

Las familias más representativas en el área fueron Pomacentridae y Labridae (10 especies); Scaridae (7 especies), Serranidae (6 especies), Haemulidae (5 especies), Pomacanthidae (4 especies); Holocentridae y Acanthuridae (3 especies). Las 16 familias restantes estuvieron presentes con una o dos especies en el muestreo (Tabla 2). Se resalta la familia Labridae con las especies *Halichoeres bivittatus*, *H. garnoti*, *H. maculipinna*, *H. radiatus* y *Thalassoma bifasciatum*; y la familia Pomacentridae con las especies *Abudefduf saxatilis*, *Microspathodon chrysurus*, *Stegastes adustus*, *S. diencaeus* y *S. partitus*; las cuales además de ser representativas, presentaron una alta dominancia y frecuencia de ocurrencia en el muestreo. Otras especies fueron *Acanthurus bahianus* y *A. coeruleus* (Acanthuridae); *Holocentrus adscensionis* (Holocentridae); *Scarus croicensis* y *Sparisoma viride* (Scaridae); *Haemulon flavolineatum* y *Haemulon plumieri* (Haemulidae). Se encontró que del total de las especies observadas, el 46,5% (33 especies) estuvieron ampliamente distribuidas en el muestreo, siendo comunes en al menos cuatro de las seis estaciones. La presencia de dichas familias en el área, es consistente con el patrón encontrado en la mayoría de arrecifes del Caribe colombiano (Mejia *et al.*, 1998; Reyes-Nivia *et al.*, 2004; Olaya 2006), considerando entonces que las comunidades de peces arrecifales del presente estudio son típicas de ambientes coralinos tropicales del Caribe.

Las especies observadas en este estudio, correspondieron generalmente a peces asociados a arrecifes de coral y fondos duros que se encuentran ampliamente distribuidos en el Caribe colombiano (Figura 6.45). Aunque el número de especies encontradas fue relativamente bajo, comparado con los demás registros en la isla y en otras áreas del Caribe colombiano, puede estar relacionada con la intensidad del muestreo, puesto que éste se realizó espacialmente de manera puntual, descartando la variabilidad temporal que pudiera registrar otras especies, así como las diferencias razonables debidas al tipo de metodología empleado y a la profundidad. Estas diferencias también han sido encontradas por varios autores como Ruiz *et al.* (2003) y Fariña *et al.* (2005).

Otro factor importante a resaltar, es que el área de muestreo es relativamente pequeña con relación a los diseños de muestreo de los demás estudios, puesto que Johnny Cay es un pequeño cayo de 45.574 m² con un área arrecifal emergida de 3.837 m², caracterizada por arrecifes de barrera y franjeantes (Plan de Manejo Parque Natural "Johnny Cay Regional Park", Coralina <http://www.coralina.gov.co/>). De este modo, se puede considerar que el área de estudio presenta una alta riqueza por sitio, comparadas con las extensas áreas muestreadas en los demás estudios. La importante riqueza observada, es probablemente resultado de los factores como la alta diversidad y complejidad de los hábitat locales. Las características de poca profundidad y la intensidad de las corrientes que confluyen en esta zona por varios puntos, hacen que sea una zona heterogénea y que por consiguiente genera una gran variedad de ambientes como playas arenosas, lechos de pastos marinos y áreas coralinas que estas favoreciendo la alta riqueza de especies.

En cuanto a la abundancia a nivel de especies censadas en el muestreo, se puede detallar la presencia de una sola especie compartida en las seis estaciones *Thalassoma bifasciatum*, además de *Stegastes partitus* ausente en la estación dos y *Halichoeres bivittatus* excepto en la estación 4 y 6. En la estación 1 y 2 se destacaron además las especies, *Stegastes adustus* y *Acanthurus coeruleus*. En la estación 3 ocurrió *Halichoeres garnoti* y en la estación 4, además de la anterior, estuvieron presentes *Acanthurus bahianus* y *A. coeruleus*. En la estación 6 ocurrió también la especie *Chromis cyanea* (Figura 6.46). En general, la mayor parte de la comunidad presentó abundancias relativas bajas, donde solamente ocho de las 71 especies censadas (11,27%) ocurrieron con abundancias relativas superiores al 5%.

Estas ocho especies encontradas como dominantes en el área de estudio, han sido registradas comunes para el Caribe colombiano. Mejía y Garzón-Ferreira (2000), describieron a *Chromis cyanea*, *Clepticus parra*, *Thalassoma bifasciatum*, *Stegastes partitus* y *Grama loreto* como especies dominantes en los cayos y bancos estudiados, encontrando que aunque fueron comunes en los arrecifes del Caribe, varió el orden de abundancia y no es tan determinado como sucede con las familias. Por lo general, en trabajos anteriores se encontró que dominaron algunas de estas especies en el presente estudio, pero no siempre las mismas (Jones y Thompson 1978, Phillips y Pérez-Cruet 1984; Mejía y Garzón-Ferreira, 2000; Mateo y Tobías, 2001; Ruiz *et al.*, 2003; Fariña *et al.*, 2005; Olaya, 2006).

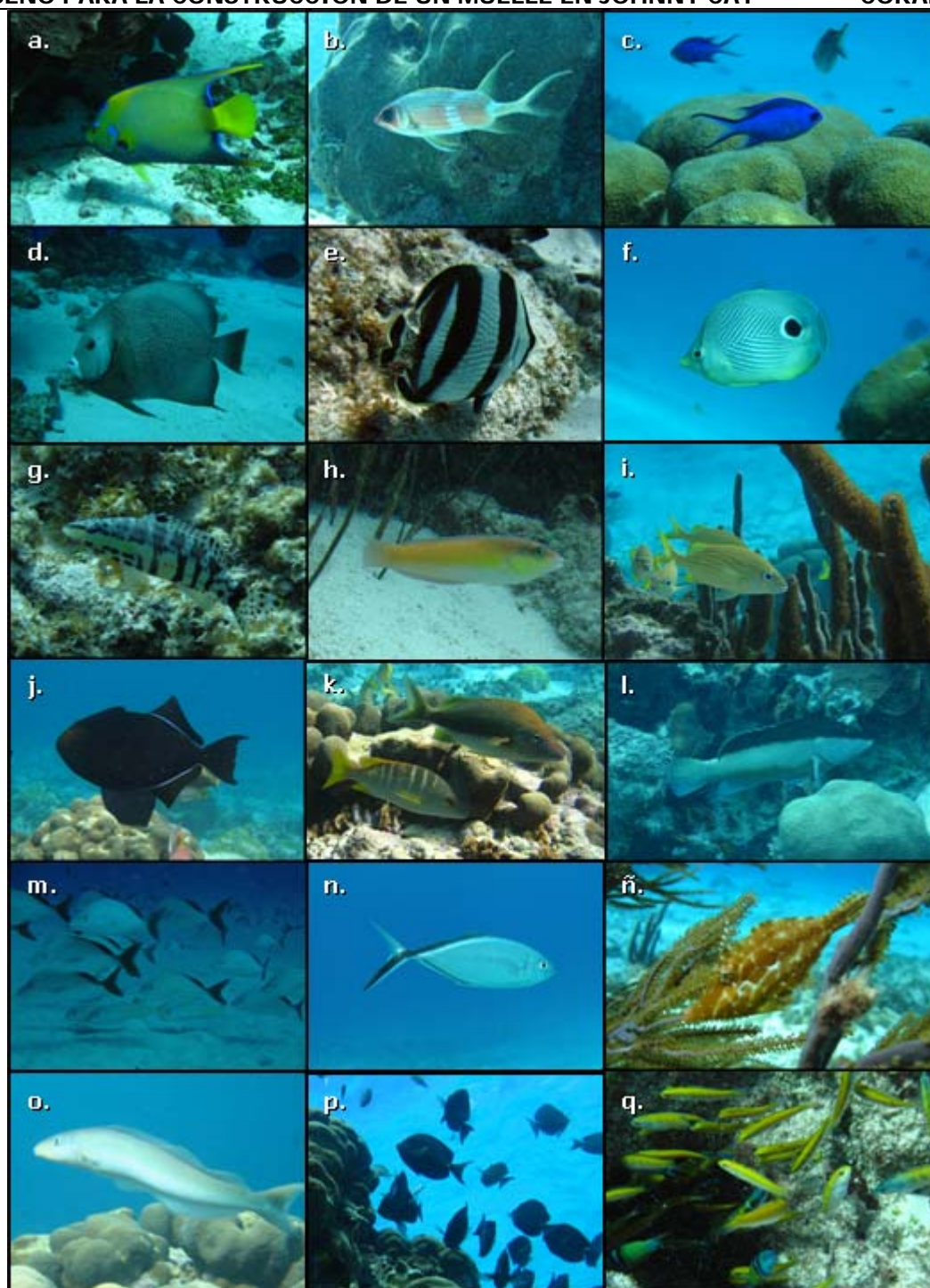


Figura 6.45 Algunas de las especies de peces encontradas en el área de muestreo: a. *Holacanthus ciliaris*; b. *Holocentrus adscensionis*; c. *Chromis cyanea*; d. *Pomacanthus arcuatus*; e. *Chaetodon striatus*; f. *Chaetodon capistratus*; g. *Serranus tigrinus*; h. *Halichoeres garnoti*; i. *Haemulon flavolineatum*; j. *Melichthys niger*; k. *Haemulon plumieri* (arriba) y *Lutjanus apodus* (abajo); l. *Cephalopholis fulva*; m. *Haemulon parra* (arriba) y *Mulloidichthys martinicus* (abajo); n. *Carangoides ruber*; ñ. *Monacanthus tokeri*; o. *Malacanthus plumieri*; p. *Acanthurus coeruleus*; q. *Thalassoma bifasciatum* (fase juvenil, inicial y terminal).

Según Mateo y Tobías (2001), las diferencias de las especies dominantes entre los diferentes estudios, puede estar relacionada también por las condiciones físicas y la proximidad al arrecife principal. En este sentido, en el Caribe, la asociación de pastos marinos/manglares con arrecifes de coral, y la interacción de las especies de peces entre estos hábitat, son factores adicionales que influyen en la organización de las comunidades de peces en aguas superficiales. Esta condición ha sido encontrada en el presente estudio, en donde además de las formaciones coralinas, existen algunos parches monoespecíficos de fanerógamas marinas de pequeño tamaño entre los fondos de arena. La arena a su vez es el componente de mayor cobertura alrededor del Cayo (Plan de Manejo Parque Natural "Johnny Cay Regional Park", Coralina <http://www.coralina.gov.co/>). El contacto entre los pastos marinos y los arrecifes de coral, ha sido bien documentado, con referencia particular al forrajeo de los peces arrecifales sobre los lechos de pastos marinos (Ogden y Zieman, 1977; Robblee y Zieman, 1984; Shulman 1984).

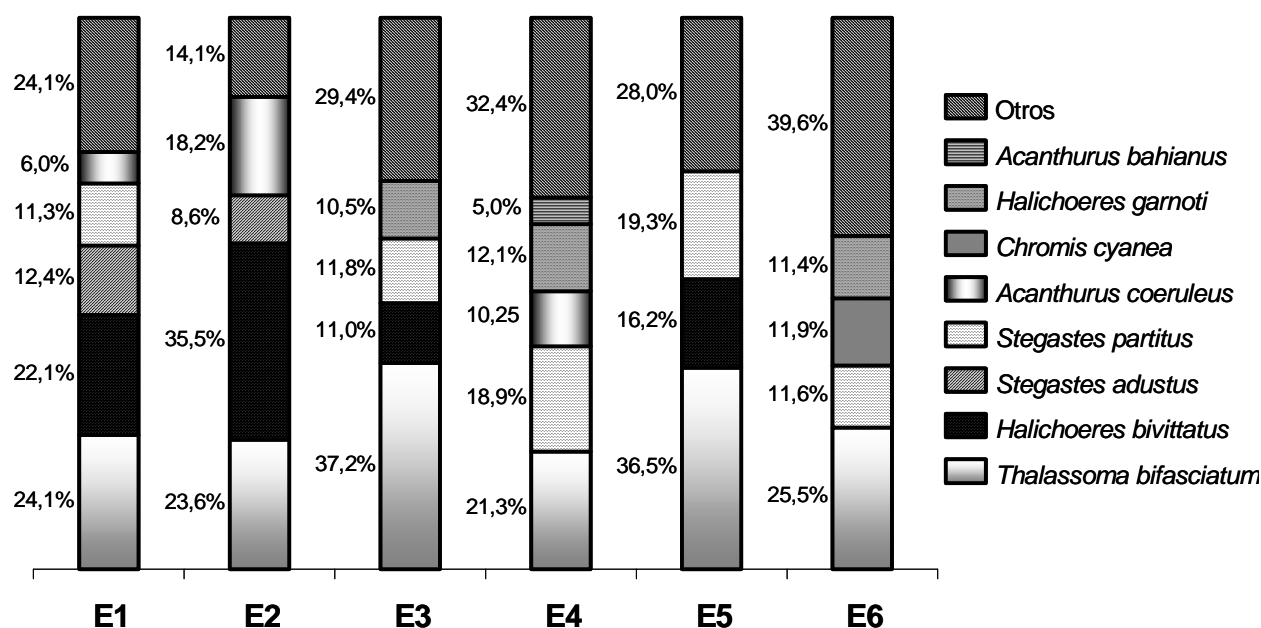


Figura 6.46 Composición porcentual de la abundancia de las principales especies observadas mediante la técnica de censos visuales en las estaciones de muestreo.

Las especies que tienen un patrón de distribución determinado pueden tener un ámbito estrecho de dominancia o por el contrario, estar distribuidas ampliamente por varias zonas (Mejía y Garzón-Ferreira, 2000). En el primer caso se puede mencionar a la familia Pomacentridae, ya que sus especies se distribuyen de manera diferencial entre las zonas (Emery 1973). Las características del hábitat y la ecología de la especie, explican en parte, el alto porcentaje de abundancia y dominancia de *Stegastes adustus* con respecto a las demás especies de su género, ya que sus preferencias espaciales son condiciones adversas para las otras especies. Esta es la especie más abundante del género en aguas someras del Caribe colombiano (Acero, 1978; Lallinde, 1980), siendo especialmente numerosa en arrecifes rocosos y/o rocosos coralinos, como los del presente estudio, en donde prefiere las partes bajas de las formaciones y no depende de la zona del arrecife, la movilidad del agua o la sedimentación.

La especie *Stegastes partitus*, por su parte, prefiere las áreas cercanas a los arrecifes, donde la sedimentación es elevada. Esta fue una especie encontrada por Mejía y Garzón-Ferreira (2000) en zonas profundas, siendo territorial, y donde su situación estratégica con respecto a su alimento en combinación con la competencia por espacio y su tamaño reducido, haya llevado a esta especie a vivir en este ambiente. *Stegastes variabilis* prefiere las zonas alejadas de los arrecifes coralinos someros, en los cuales está ausente de las partes con mayor sedimentación (Acero, 1978). Entre tanto *Stegastes planifrons* ha sido encontrada muy abundante en aguas relativamente profundas pero protegidas de la acción del oleaje, y *Stegastes diencaeus* dominó en aguas someras de los atolones (Mejía y Garzón-Ferreira, 2000).

En el segundo caso, se puede destacar a la especie *Thalassoma bifasciatum*, la cual además de ser frecuente en todas las estaciones, presentó las mayores abundancias registradas. Esta especie se distribuye por todo el arrecife, aparentemente sin verse afectadas por ningún factor ambiental (Mejía y Garzón-Ferreira, 2000). Según Tupper y Hunte (1994), *T. bifasciatum* no mostró diferencias de reclutamiento cuando se comparó entre arrecifes naturales y artificiales sugiriendo que es generalista.

La riqueza expresada como el número de especies y de familias presentes en el estudio, ha mostrado variaciones a nivel espacial, en la cual las estaciones 1, 2 y 5 presentaron los valores más bajos, mientras que la estación 4 fue la más diversa en cuanto a su composición (Figura 6.47). A nivel de familias, la variación fue similar, notando solamente una semejanza entre las estaciones 3 y 4 que no se compensan con el número de especies para esas mismas estaciones.

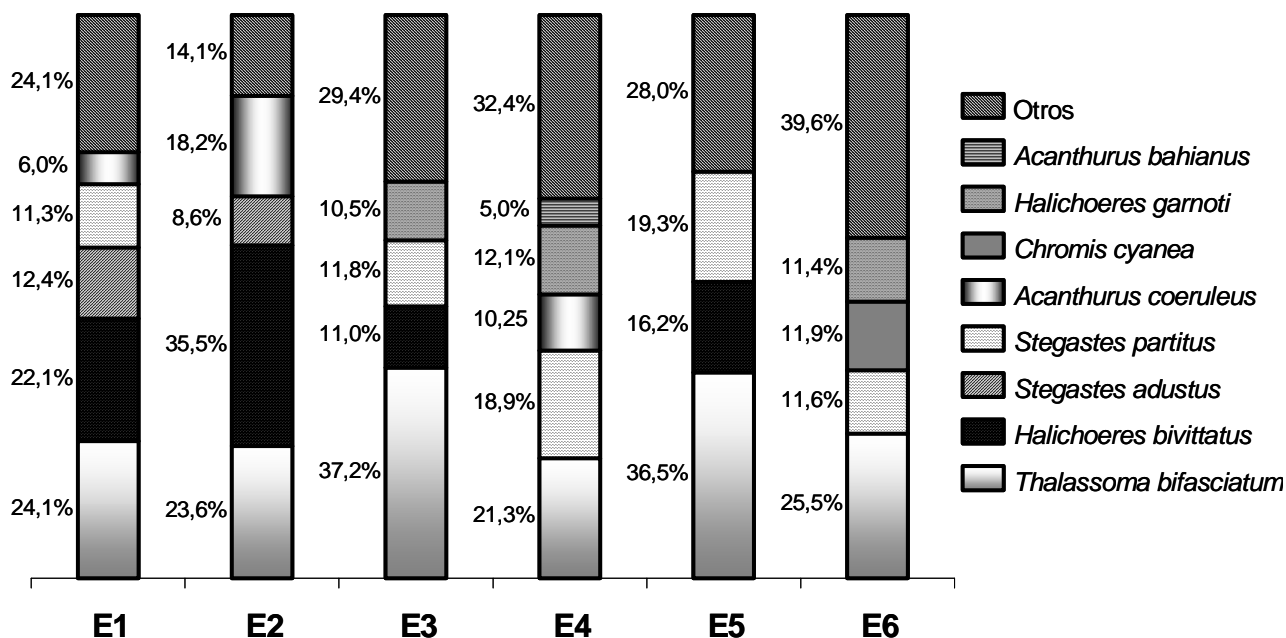


Figura 6.47 Representación del número de especies y número de familias observados mediante la técnica de censos visuales en las estaciones de muestreo.

Los atributos de la comunidad en cuanto a la dominancia, uniformidad y diversidad de las especies en cada una de las estaciones muestreadas, se observan en la Figura 6.48, donde se

destacan las estaciones 4 y 6 con los mayores valores de cada uno de estas índices y las estaciones 2 y 5 con los valores más bajos. La dominancia de N1 varió entre 6,54 y 15,77 especies, y N2 entre 4,46 y 8,78 especies; el índice de diversidad de Shannon-Wiener osciló entre 2,71 y 3,98 bits, mientras que la uniformidad de Pielou (J') varió entre 0,62 y 0,72. Al comparar dichos valores obtenidos con los reportados por varios autores, se observa diferencias, los cuales por ejemplo en cuanto a la diversidad fueron superiores con respecto al trabajo de McKenna (1997), en un estudio realizado en diversas áreas arrecifales de Dry Tortugas, EUA (1,23 bits); así como en el estudio de Mateo y Tobías (2001) para aguas someras de la costa norte de St Croix (0,1 – 1,1 bits); y de Claro *et al.* (1990), para algunas estaciones del Golfo de Batabanó. De otro modo, fueron similares a los registrados por Fariña (2005), para un arrecife del archipiélago de los Roques en Venezuela (3,87 bits); y por Ruiz (2003), para peces arrecifales del Parque Nacional Mochima, Venezuela (3,31 – 4,08 bits). Entre tanto, la diversidad de este estudio fue menor a la registrada por García-Coll *et al.* (1988) para un arrecife cubano (5,5 – 6,1 bits). Tales diferencias, nuevamente pueden ser atribuidas a las diferentes técnicas empleadas, los estratos de profundidad y las características propias de cada ambiente en particular.

Como se ha mencionado anteriormente, los censos visuales realizados mediante transectos, ocasionan pequeñas perturbaciones en el ambiente, que hacen que los peces, ante la presencia de los buzos, tomen actitudes evasivas, dificultando así su registro (Jones y Thompson, 1978; Bortones y Kimmel, 1991; Mejía, 1997). Sin embargo, las especies del género *Stegastes* spp; así como *Abudefduf saxatilis*, muestran una alta territorialidad y son agresivas tanto intra como interespecíficamente (Acero, 1977; Acero 1978; Botero *et al.*, 1979; Lalinde, 1980; Williams, 1980). Es posible pensar, por lo tanto, que ésta es una de las razones por las cuales, especies de la familia Pomacentridae, presentaron las mayores dominancias en la mayoría de las estaciones de muestreo.

Es preciso notar que las variaciones de estos valores pueden verse afectados por la riqueza en función al tamaño del ecosistema y la uniformidad o distribución de los organismos en función a la disponibilidad de hábitat en el área coralina. Estas características son el reflejo de la interacción de la comunidad con los cambios medioambientales que ocurren dentro del sistema. Krebs (1985) y Margalef (1983), señalan que la diversidad tiene una relación directa con la equitatividad e inversamente proporcional con la dominancia numérica, por lo que un mayor número de especies hace que aumente la diversidad de las mismas, e incluso una distribución uniforme o equitativa entre ellas también aumentará la diversidad de especies. Sin embargo, esta relación entre atributos, parece que no se cumple en este muestreo. Tanto la dominancia de especies muy abundantes (N2), especies abundantes (N1) y el número total de especies, así como la uniformidad, presentaron un comportamiento similar a la diversidad. Debido a que las variaciones de estos atributos entre las estaciones de muestreo ocurrieron de la misma manera, es posible pensar que las variables ambientales imperantes en el área de estudio (especialmente las asociadas con el grado de exposición al oleaje y la poca profundidad), diferenciaron cada una de las estaciones, como una respuesta adaptativa al hábitat, según la necesidad de refugio y alimento y la capacidad de resistir la alta turbulencia (Mejía y Garzón-Ferreira, 2000). En este caso, los factores determinísticos regularon la organización estructural de la ictiofauna.

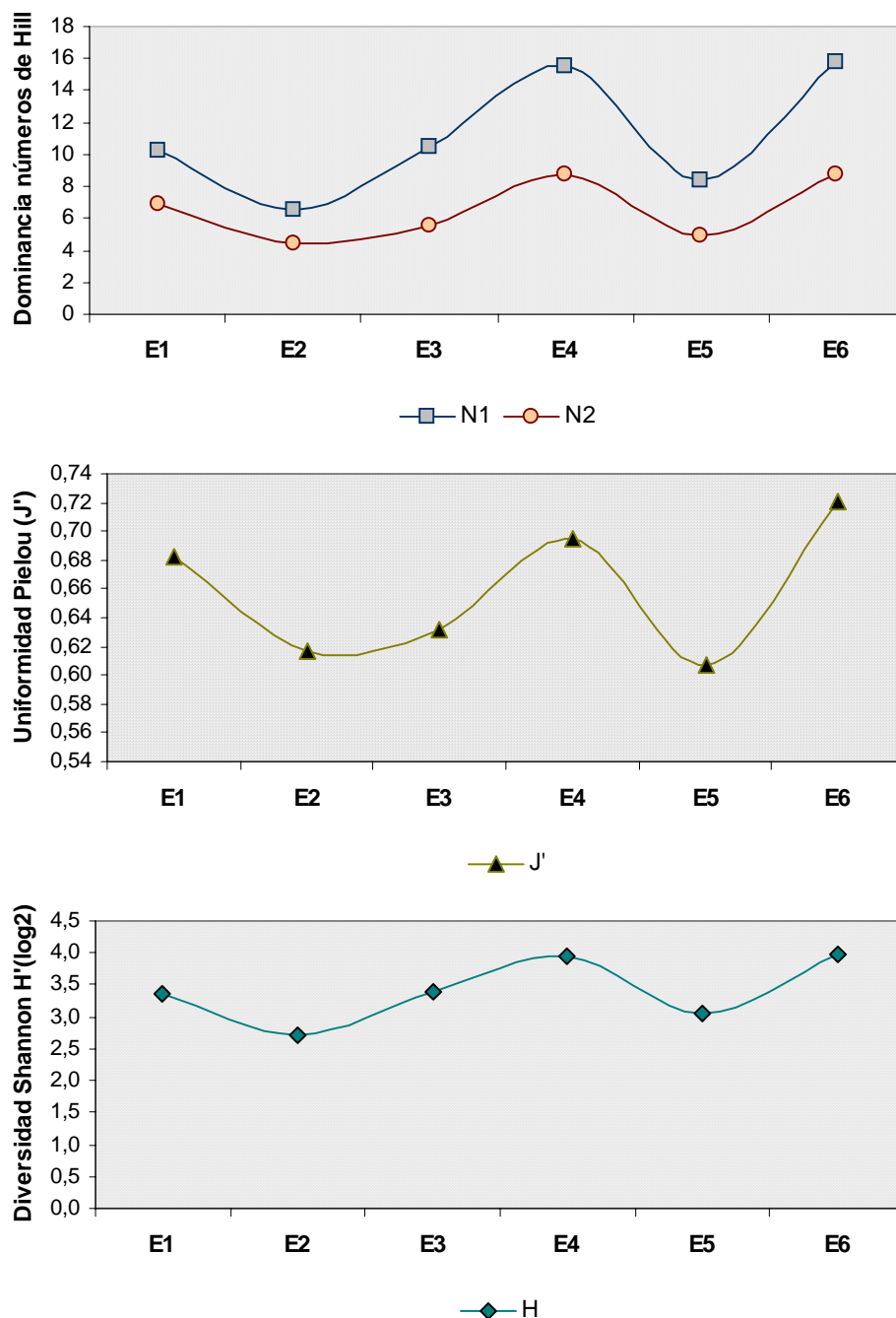


Figura 6.48 Representación del índice de dominancia de los números de Hill; índice de uniformidad de Pielou e índice de diversidad de Shannon-Wiener, de las especies observadas mediante la técnica de censos visuales en las estaciones de muestreo.

En la Tabla 6.9 se indican las relaciones lineales del coeficiente de correlación de Pearson entre los atributos ecológicos de la comunidad y las variables físicas del sustrato coralino y la profundidad. Se observa que el porcentaje de cobertura de invertebrados en el sustrato,

110 ESTUDIOS BIOFÍSICOS, OCEANOGRÁFICOS, TOPOGRÁFICOS Y DE DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN MUELLE EN JOHNNY CAY CORALINA

presentó las mayores correlaciones con los atributos ecológicos, siendo significativas tanto para la riqueza específica [número de especies ($p= 0,007$); número de familias ($p= 0,010$) e índice de Margalef ($p= 0,010$)] como para la diversidad de la comunidad ($p= 0,046$); y cercanamente significativas con la dominancia de especies muy abundantes ($p= 0,054$). Entre tanto la uniformidad presentó correlaciones significativas con el porcentaje de arenas ($p= 0,28$) y de roca ($p= 0,030$) en el sustrato coralino. Finalmente, el porcentaje de vegetación estuvo correlacionado inversamente con la abundancia de individuos ($p= 0,018$). Se destaca que tanto el porcentaje de roca como de vegetación, estuvo correlacionado negativamente con todas las variables ecológicas.

Tabla 6.9 Resultado de las correlaciones lineales de Pearson (r) entre las variables ecológicas de la comunidad íctica y las variables físicas del sustrato coralino. Valores significativos ($p<0,05$) se resaltan en negrilla.

	Nº individuos	Nº especies	Nº familias	Riqueza (d)	Uniformidad (J')	Diversidad (H')	Dominancia N1	Dominancia N2
Profund	0,353 $p=0,493$	0,7537 $p=0,084$	0,7501 $p=0,086$	0,7967 $p=0,058$	0,4581 $p=0,361$	0,7087 $p=0,115$	0,7175 $p=0,108$	0,5515 $p=0,257$
% Arena	0,1449 $P=0,784$	0,4897 $p=0,324$	0,3956 $p=0,438$	0,5205 $p=0,290$	0,8603 $p=0,028$	0,6869 $p=0,132$	0,7178 $p=0,108$	0,7932 $p=0,060$
% Cascajo	-0,1261 $P=0,812$	0,0756 $P=0,887$	0,1856 $p=0,725$	0,1198 $p=0,821$	0,2038 $p=0,699$	0,1952 $p=0,711$	0,1628 $p=0,758$	0,1868 $p=0,723$
% Coral	0,2408 $p=0,646$	0,3307 $p=0,522$	0,4478 $p=0,373$	0,3363 $p=0,515$	0,7961 $p=0,058$	0,5952 $p=0,213$	0,5457 $p=0,263$	0,6706 $p=0,145$
% Invert	0,7723 $p=0,072$	0,9308 $p=0,007$	0,9186 $p=0,010$	0,9179 $p=0,010$	0,5063 $p=0,305$	0,8190 $p=0,046$	0,8044 $p=0,054$	0,6334 $p=0,177$
% Roca	-0,2193 $p=0,676$	-0,5328 $p=0,276$	-0,6404 $p=0,171$	-0,5729 $p=0,235$	-0,8543 $p=0,030$	-0,7685 $p=0,074$	-0,7311 $p=0,099$	-0,7817 $p=0,066$
% Vegetación	-0,889 $p=0,018$	-0,8024 $p=0,055$	-0,7019 $p=0,120$	-0,7424 $p=0,091$	-0,3002 $p=0,563$	-0,6256 $p=0,184$	-0,6015 $p=0,207$	-0,5043 $p=0,308$

Se muestra de esta manera, la influencia de las variables del microhábitat sobre la comunidad, como factores denso-independientes que modelan la estructura y diversidad a escala local (Mellin *et al.*, 2006); notando como la uniformidad aumenta, con mayores valores en coberturas con arenas y disminuye con aumento de coberturas de rocas, mientras que la diversidad y la riqueza específica fueron explicadas con mayores aumentos de la cobertura de invertebrados. Otro factor a destacar es la relación inversa de la abundancia y el porcentaje de vegetación presente, la cual indica una preferencia en la heterogeneidad espacial que ofrece los sustratos duros. Roberts y Ormond (1987), sugieren que la composición del sustrato solamente es a efecto local.

6.3.4.2. Variación espacial

Los resultados del análisis de clasificación muestran a un nivel del 60% de similaridad, la separación de tres grupos de estaciones. La ordenación mediante el escalamiento multidimensional no métrico (nMDS), confirma en general la separación de los tres grupos de estaciones (Figura 6.49). Se observa en primera instancia que el gradiente de profundidad

separó el grupo A (3 m), del grupo B (6-9 m) y C (6 m). Estas estaciones fueron las más someras con una profundidad promedio de 3 metros, por lo que las corrientes y el oleaje son fuertes y determinan el paisaje coralino. Posteriormente, la separación de los grupos B y C estuvo dada por la distancia de Johnny Cay, en los cuales el grupo B (estaciones 4 y 6), además de ser las estaciones más profundas, se caracterizaron por ubicarse sobre el borde de la terraza lagunar, siendo las más alejadas del cayo, presentando la mayor similitud (75%). El grupo C por su parte (estaciones 3 y 5), se caracterizó por presentar una profundidad de 6 metros en promedio, aunque la estación 3 presentó varios niveles de profundidad y la estación 5 presentó una alta turbulencia en la zona de muestreo.

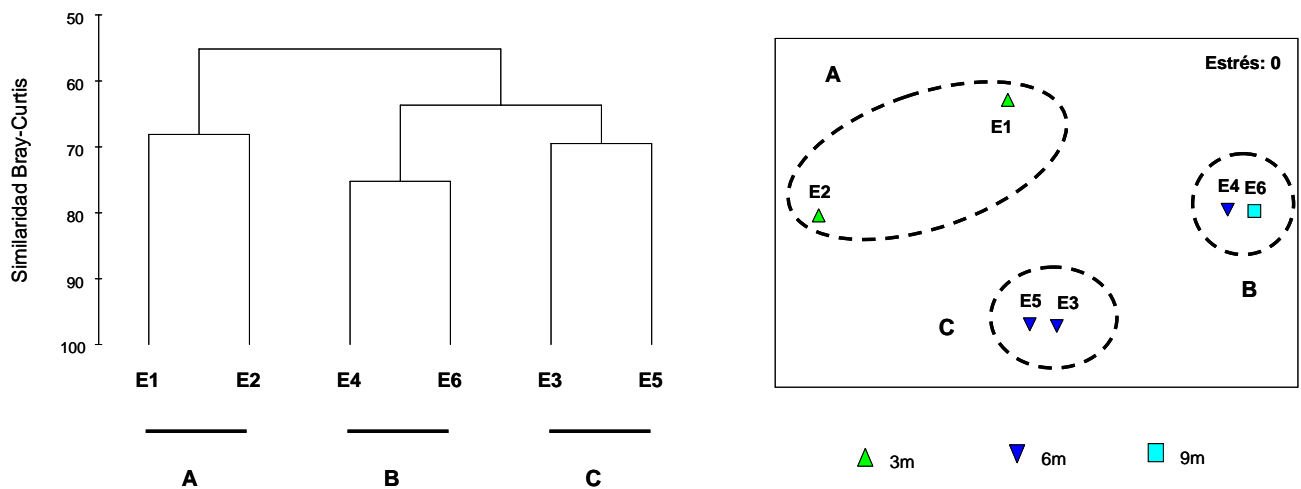
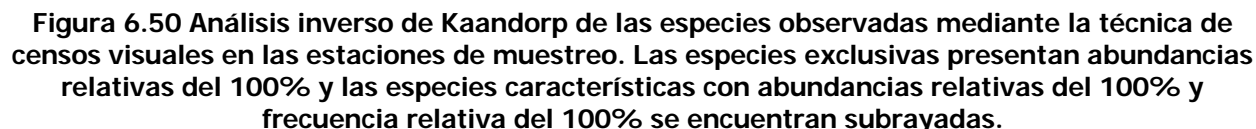


Figura 6.49 Resultado del análisis de clasificación mediante el índice de similaridad Bray-Curtis y del análisis de ordenación nMDS. Los grupos encerrados A, B y C corresponden a los grupos formados en el dendrograma.

Con la agrupación dada en los análisis de clasificación y ordenación se realizó el análisis inverso de Kaandorp (1986), para identificar las especies características (Figura 6.50). Durante el período de muestreo, el grupo A de estaciones someras (1 y 2), presentó dos especies exclusivas, poco abundantes y sin ninguna especie característica. En el grupo B se reunió el mayor número de especies exclusivas (14), incluyendo dentro de estas, a ocho especies características: *Calamus pennatula*, *Cephalopholis cruentata*, *Clepticus parrae*, *Heteropriacanthus cruentatus*, *Holacanthus tricolor*, *Holocentrus rufus*, *Pseudopeneus maculatus* y *Scarus vetula*, aunque solamente esta última especie fue abundante. Finalmente, el grupo C presentó seis especies exclusivas, poco abundantes y ninguna especie característica. En cuanto a las uniones entre grupos, el grupo B-C-A comparte 30 especies generalistas mientras que el grupo B-C presentó 17 especies generalistas.



INSTITUTO DE INVESTIGACIONES MARINAS Y COSTERAS

necesario aclarar que la estimación de las frecuencias de ocurrencias para diferenciar las especies características de las especies exclusivas, pueden estar subestimadas para el primer tipo de especies. El 67,1% de las especies se encontraron ampliamente distribuidas entre las estaciones de muestreo (generalistas), siendo además las especies más abundantes que dominaron en los muestreos, aunque las proporciones variaron entre grupos. Esta afinidad comprueba que las zonas muestreadas no presentaron mayores diferencias en cuanto a su composición y que solamente el grupo A presentó una leve diferenciación de su composición con respecto a los grupos B y C. Al encontrar únicamente especies exclusivas y características en estos dos grupos, se puede pensar que dichas estaciones hayan quedado separadas por efectos del muestreo y no por una diferencia real en su estructura. De este modo el factor que parece influir en mayor proporción ya sea de manera directa o indirecta, fue la profundidad y el grado exposición al oleaje.

Resultados contrarios, fueron encontrados por Mejía y Garzón-Ferreira (2000), en el cual hubo diferencias en las preferencias de la mayoría de las especies, las cuales no se distribuyeron homogéneamente entre las zonas muestreadas. Con respecto al análisis inverso, el 54% de las especies fueron características de un grupo y el 23% no fueron características, pero se agruparon en zonas con semejanza en condiciones ambientales. Al respecto, la diferencia fue debida al tamaño muestral y a la diferenciación entre las zonas muestreadas de periférico de barlovento, laguna, terraza prearrecifal de sotavento y terraza de barlovento. Alevizon *et al.* (1985), también observaron en Bahamas, que las especies se distribuían de manera diferencial en el arrecife, con relación a la zonación coralina.

6.3.4.3. Conclusiones

- La ictiofauna presente en la isla de Johnny Cay es típica de ambientes coralinos tropicales del Caribe, siendo las familias Pomacentridae, Labridae, Scaridae, Serranidae, Haemulidae, Pomacanthidae, Holocentridae y Acanthuridae, las más representativas en el área de estudio y que a su vez fueron consistentes con el patrón encontrado en la mayoría de arrecifes del Caribe colombiano.
- La importante riqueza observada, es probablemente resultado de las características del área, en cuanto a la poca profundidad y la intensidad de las corrientes que confluyen en esta zona por varios puntos, que hacen de ésta una zona heterogénea y que por consiguiente genera una gran variedad de ambientes que favorecen la alta riqueza de especies.
- El área de estudio, estuvo dominada por ocho especies (11,27%): *Thalassoma bifasciatum*, *Stegastes partitus*, *Halichoeres bivittatus*, *Stegastes adustus*, *Acanthurus coeruleus*, *Halichoeres garnoti*, *Acanthurus bahianus* y *Chromis cyanea*; las cuales ocurrieron con abundancias relativas superiores al 5%. Aunque su ocurrencia ha sido registrada común para el Caribe colombiano, no es tan determinada como sucede con las familias, variando el orden de abundancia.
- Se destacan las especies del género *Stegastes* spp, que por su distribución marcada y territorialista estuvieron presentes en todas las estaciones de muestreo, además de

Thalassoma bifasciatum considerada como especie generalista y distribuida ampliamente en la zona.

- Las variables ambientales imperantes en el área de muestreo, diferenciaron cada una de las estaciones, mostrando que los atributos ecológicos presentaron el mismo tipo de variación entre estaciones. Las estaciones 4 y 6 presentaron las mejores condiciones con los valores más altos de los atributos ecológicos, contrario a la estación dos con los valores más bajos.
- Las variables de cobertura del sustrato fueron factores denso-independientes que modelaron la estructura y diversidad a escala local en el área de muestreo. El porcentaje de cobertura de invertebrados, se correlacionó significativamente con la riqueza específica, uniformidad y diversidad, siendo un buen estimador de la ocurrencia de peces en el arrecife, mientras que el porcentaje de roca y vegetación, se correlacionaron inversamente con los atributos, especialmente con la abundancia de individuos.
- De manera directa o indirecta, tanto la profundidad y el grado exposición al oleaje con respecto a la distancia de la costa, configuraron la ordenación espacial en tres grupos de estaciones. El grupo A fue el más somero y cercano a la costa. La ubicación del grupo B (estaciones 4 y 6) sobre el borde de la terraza lagunar, siendo las más alejadas del cayo, permitió las mayores condiciones de este grupo, presentando la mayor similitud y la concentración de especies exclusivas (14) dentro de las cuales se caracterizaron ocho (8) especies por su alta frecuencia y dominancia.

6.4. CONCENTRACIONES DE HIDROCARBUROS AROMÁTICOS EN SEDIMENTOS

En general la entrada de hidrocarburos petrogénicos en el medio marino y costero se debe a las operaciones marítimas, las descargas de aguas servidas y las entradas naturales y atmosféricas (Chouksey *et al.*, 2004). La contaminación por hidrocarburos petrogénicos y pirolíticos en el medio marino puede causar una serie de impactos económicos en las actividades costeras y afectar socialmente a las comunidades que explotan los recursos marinos. La presencia de hidrocarburos también puede ser letal en altas concentraciones, especialmente para muchas especies de larvas y microorganismos, y a largo plazo se pueden presentar impactos que involucran procesos de bioacumulación y difusión a través de la cadena trófica (Betancourt *et al.*, 2006).

La importancia de vigilar la presencia de residuos de hidrocarburos petrogénicos radica en que los productos del petróleo resultan ser mezclas extremadamente complejas que contienen una extensa cantidad de hidrocarburos individuales y compuestos relacionados; estos componentes se subdividen en saturados (alcanos lineales, ramificados y ciclo alcanos), aromáticos (mono, di, y poli aromáticos), y en menor abundancia resinas y asfáltenos (Xu y Obrad, 2004; Viñas *et al.*, 2002). Los hidrocarburos poli aromáticos (HAP) son considerados altamente carcinogénicos y con efectos mutagénicos (Metcalfel, *et al.*, 1997, Piccardo *et al.*, 2001). Los HAP's que se pueden clasificar de acuerdo al peso molecular en: compuestos de bajo peso molecular (2 y 3

anillos), asociados con el petróleo, y de alto peso molecular (4 y 5 anillos) asociados con productos de la combustión. Los compuestos aromáticos de elevado peso molecular son los más resistentes a la biodegradación que aquellos constituidos por un número menor; por su carácter hidrofóbico tienden a ser adsorbidos rápidamente por las partículas del sedimento (Baumard *et al.*, 1998) siendo altamente persistentes en el ambiente y pudiendo llegar a ser translocados a los organismos y la vegetación (Chouksey *et al.*, 2004). Según Hyland y Schneider (1976) todos los tipos de crudo y varios de los productos refinados en concentraciones significantes, son perjudiciales para todos los organismos marinos, para el equilibrio ecológico y sus riesgos para la salud humana debido a su efecto cancerígeno.

El Archipiélago de San Andrés, tiene una población proyectada de 77084 habitantes y su principal actividad industrial es el turismo. La disposición final de residuos sólidos y el vertimientos de aguas servidas son los factores que generan el mayor riesgo de deterioro ambiental de sus ecosistemas (INVEMAR, 2006). El proyecto de construcción de un nuevo embarcadero en el sector Jhonny Cay, genera la necesidad de hacer un levantamiento de línea base sobre las condiciones ambientales en la área costera que se podría ser potencialmente afectada.

Atendiendo la solicitud de CORALINA, en el presente informe técnico se presentan las concentraciones de hidrocarburos aromáticos en 12 muestras de sedimentos marinos, colectados en 6 estaciones de la Isla de Jhonny Cay en San Andrés Islas.

En la Tabla 6.10 se presentan los resultados de la concentración de hidrocarburos monoaromáticos (HAM), poli aromáticos (HAP) e hidrocarburos aromáticos totales (HAT) en sedimentos marinos provenientes de la isla de Jhonny Cay en San Andrés Islas.

Tabla 6.10 Concentración de hidrocarburos en sedimentos marinos de seis estaciones de muestreo en San Andrés Isla.

Estación de muestreo	HAM $\mu\text{g/g}$	HAP $\mu\text{g/g}$	HAT $\mu\text{g/g}$
E 1,1	0,009	0,010	0,019
E 1,2	0,017	0,007	0,024
E 2,1	0,012	0,009	0,021
E 2,2	0,012	0,010	0,022
E 3,1	0,015	0,008	0,023
E 3,2	0,010	0,007	0,018
E 4,1	0,025	0,014	0,039
E 4,2	0,014	0,015	0,029
E 5,1	0,014	0,015	0,029
E 5,2	0,021	0,012	0,033
E 6,1	0,028	0,007	0,035
E 6,2	0,013	0,016	0,029

En el país no existen criterios sobre niveles permisibles, valores umbral de hidrocarburos en sedimentos o referencias de concentraciones de HAT que puedan causar efectos tóxicos a la vida marina; por esta razón se tomó como referencia el valor de 3.9 µg/g, que la NOAA (1990) menciona como concentración alta en sedimentos. La comparación del anterior valor de referencia con los valores obtenidos para las muestras analizadas, permite inferir que no se presenta riesgo de contaminación por hidrocarburos aromáticos. por lo menos en la época de colecta de los sedimentos.

Los hidrocarburos son principalmente adsorbidos dentro de los sedimentos suspendidos y su biodisponibilidad en la columna de agua es altamente variable, dependiendo de varios factores, entre ellos las tasas de sedimentación, el contenido de carbón orgánico y de arcillas que gobiernan su partición entre el sedimento y el agua de poro , y en comportamiento individual de estos componentes (NAS, 1985); además de que las partículas finas de sedimento dispersas en la columna de agua tienden a absorber y atrapar efectivamente contaminantes traza, como los hidrocarburos, que entran al medio marino (Chouksey *et al.*, 2004). Los sedimentos analizados corresponden a sectores con predominio coralino y presentan bajos contenidos de limos y arcillas (0 – 2 %), lo cual favorece su baja adsorción.

Como referencia para el sector estudiado, REDCAM midió en la época seca de 2001 y 2003 las concentraciones de hidrocarburos dispersos y disueltos (HDD) en aguas registrando 0,40 y 0,04 µg/L respectivamente, que son niveles significativamente más bajos que el valor guía (10 µg/L) que mencionan Atwood (1988) y UNESCO (1984) para el Gran Caribe, como evidencia de un bajo riesgo por estos tóxicos en Jonhny Cay.

6.4.1.1. Conclusiones

- Los resultados obtenidos en los sedimentos superficiales de todas las estaciones registraron concentraciones de hidrocarburos menores al valor de valor de referencia aplicado (3.9 µg/g), lo cual indica una zona con bajo riesgo de contaminación por este tipo de tóxicos orgánicos.
- Las concentraciones de hidrocarburos aromáticos en las matrices de sedimento analizadas, reflejan en cierta medida, los bajos niveles de hidrocarburos dispersos y disueltos en aguas registrados por el monitoreo de la REDCAM (<10 µg/L), que ratifica al Archipiélago de San Andrés y Providencia como una región en situación de bajo riesgo ambiental por estos contaminantes.

6.5. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL ÁREA DE INFLUENCIA DEL MUELLE

Johnny Cay es un cayo rocoso, cubierto de arena, protegido por una barrera coralina de 296 mt de largo de norte a sur y 178 mts de este a oeste en su parte mas ancha, tiene 100 mts de ancho en norte y sur. El cayo está completamente vegetado con palmeras y manglar.

La línea de costa al Norte y al Este es completamente rocosa con una playa escasamente cubierta de arena: la parte Sur presenta las playas mas amplias hasta de 40 mts de ancho, las cuales varían en amplitud siendo modeladas por los vientos y las corrientes, presentan una pendiente muy fuerte 1:5 sobre la cual la ola rompe fuertemente (Figura 6.51).

La parte más protegida es en el costado Oeste, donde se encuentra un socaire, la pendiente es suave 1:20 con una franja de playas de 12 a 15 m de ancho, lo cual la hace propicia desde el punto de vista topográfico para la construcción del muelle.



Figura 6.51 Vista de Johnny Cay a. Zona de Playa, vista a San andrés, b. Zona de playa en la parte sur

6.6. ESTUDIO GEOTÉCNICO

El objeto del estudio geotécnico es analizar la naturaleza de los fenómenos que podrían ocurrir como resultado del comportamiento típico de los materiales en el medio geotécnico de la isla, así como los factores intrínsecos que los controlan y los efectos externos que los desencadenan. Esta actividad permite establecer que dentro de los mecanismos de inestabilidad de terrenos que pueden actuar en el territorio; debe tenerse en cuenta en la planificación de los muelles a construir. Para lo cual se analizaran los resultados de una inspección preliminar que se realizó en esta fase y un estudio detallado mediante perforaciones profundas para determinar la posición y las características del estrato rocoso, sobre el cual se fundara la estructura del muelle.

A partir de la inspección preliminar se obtuvo el perfil de la superficie del estrato rocoso frente al muelle hasta una distancia de 60 mts aguas adentro, mediante seis apiques, cada diez metros. Del resultado se observa que la superficie del estrato rocoso varía entre 1.75 y 2.40 mts por debajo de superficie del agua (Figura 6.52)

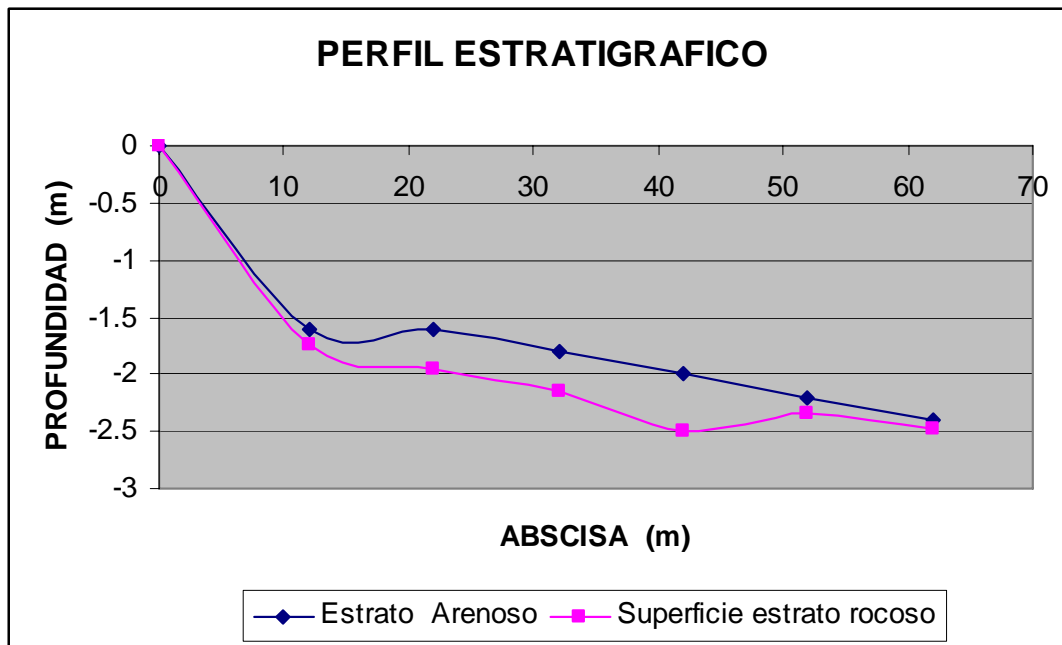


Figura 6.52 Ubicación estrato rocoso en la zona del proyecto

7. RECOMENDACIONES

- Es recomendable establecer un monitoreo de las estaciones designadas, tanto de corales y peces como para fanerógamas y comunidades de fondos blandos, durante y posteriormente a la contrucción del muelle para determinar los posibles cambios ocasionados por la contrucción del mismo, pero también por otras perturbaciones ya se a de tipo natural como antropogénico.
- Con el mismo fin, se debe también implementar una red de monitoreo de parámetros fisicoquímicos.
- Se recomienda continuar con la implementación del Plan de Manejo del Parque Regional el cual mejorará las condiciones para los ambientes marinos y ayudará aumentar la resiliencia de los mismos.

8. BIBLIOGRAFÍA

- ABBOTT, R.T. 1974. American Seashells. The marine mollusca of the Atlantic and Pacific Coasts of North America. Van Nostrand Reinhold Company. New York. 663 pp.
- ACERO, A. 1978. Anotaciones ecológicas y sistemáticas sobre los peces de la familia Pomacentridae en el Caribe colombiano. An. Inst. Inv. Mar. Punta Betín, 10: 249-259.
- ACERO, A. y J. GARZÓN. 1987. Los peces marinos hallados durante la expedición Urabá II al Caribe chocoano (Colombia). An. Inst. Invest. Mar. Punta Betín, 17: 113-136.
- AGUADO-GIMÉNEZ, F. y B. GARCÍA-GARCÍA. 2004. Assessment of some chemical parameters in marine sediments exposed to offshore cage fish farming influence: a pilot study. Aquaculture, 242: 283-296.
- ALCOLADO, M.P. 1992. Sobre la interpretación del ambiente marino mediante el empleo de los índices de diversidad y equitatividad. Ciencias Biológicas, 24: 124-127.
- ALONGI, D. 1990. The ecology of tropical soft-bottom benthos ecosystems. Oceanogr. Mar. Annu. Rev., 28: 381-496.
- ANDRADE, C.A. 2000. The circulation and variability of the Colombian Basin in the Caribbean Sea. (La circulación y la variabilidad de la Cuenca de Colombia en el mar Caribe). Tesis doctoral Universidad de Gales, 257pp.
- ATWOOD, D. K., F. BURTON, J. CORREDOR, G. HARVEY, A. MATA-JIMENEZ, A. VASQUEZ-BOTELLO, B. WADE. 1988. Petroleum pollution in the Caribbean. Oceanus, 30 (4): 25-32.
- BARNARD, J.L. 1969. The families and genera of marine gammaridean amphipoda. United State National Museum Bulletin, 271. Smithsonian Institution Press. Washington. 535 pp.
- BARNARD, J.L. y G.S. KARAMAN. 1991. The families and genera of marine gammaridean amphipoda (except marine gammaroids). Records of the Australian Museum. Suplemento 13, Partes 1 y 2. 866 pp.
- BAUMARD, P., H. BUDZINSKI, Q. MICHON, T. BURGEOT Y J. BELLOCQ. 1998. Origin and bioavailability of PAH's in the Mediterranean Sea from mussel and sediment records. Est. Coast. Shelf Scien., 47:77-90.
- BETANCOURT, J., J. SÁNCHEZ, W. TRONCOSO, J. GARAY, M. CAVIEDEZ, J. LÓPEZ Y G. ARTEAGA. 2006. Evaluación de la contaminación por hidrocarburos petrogénicos en la bahía de Tumaco (Nariño). Informe Técnico Final. 35 pp.
- BIRKETT, L. y A. McINTYRE. 1971. Treatment and sorting of samples. Pg. 156-168. En: Holme, N. y A. McIntyre (eds). Methods for the study of marine benthos. I.B.P. Handbook 16. Editorial Blackwell scientific publications. Londres. 333 pp.

**122 ESTUDIOS BIOFÍSICOS, OCEANOGRÁFICOS, TOPOGRÁFICOS Y DE
DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN MUELLE EN JOHNNY CAY CORALINA**

- BOHNSACK, J.A. y S.P. BANNEROT. 1986. A stationary visual census technique for quantitatively assessing community structure of coral reef fishes. NOAA Technical Report NMFS 41. 15p.
- BORTONE, S. y J.J. KIMMEL. 1991. Chapter 6. Environmental assessment and monitoring of artificial habitat. 177-235p. En: Artificial habitats and freshwater fisheries. Academic Press, Inc.
- BORTONE, S., R. HASTINGS y J. OGLESBY. 1986. Quantification of reef assemblages: a comparison of several in situ methods. Northeast Gulf Science, 8(1): 1-22.
- BOTERO, J., J. GARZÓN-FERREIRA y G. GUTIÉRREZ. 1979. Los peces de la península de Catillo Grande (Bahía de Cartagena). Tesis Biología Marina. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, 147p.
- BOUSFIELD, E.L. 1973. Shallow-water gammaridean amphipoda of New England. Cornell University Press. London. 311 pp.
- BROCK, V.E. 1954. A preliminary report on a method of estimating reef fish population. J. Wildl. Management, 18(3): 297-308.
- BUCHANAN, J.B. 1984. Sediment analysis. (En: Holme, N.A. and A. D. McIntyre, eds.). Methods for the study of marine benthos. 2nd Ed. I.B.P. Handbook No.16 London. 387 p.
- BURKE, L Y J. MAIDENS (EDS). 2004. Reef at Risk in the Caribbean. World Resources Institute.USA. 84p.
- CALNAN, T. y T. LITTELTON. 1989. Correlation of live mollusks with sediment and bathymetry on the Texas inner shelf. The Veliger, 32(2): 130-146.
- CESAR, H., L. BURKE Y L. PET-SOEDE. 2003. The Economics of Worldwide Coral Reef Degradation. Cesar Environmental Economics Consulting. 24 p.
- CHOUKSEY M.K., A.N. KADAM Y M.D. ZINGDE. 2004. Petroleum hydrocarbon residues in the marine environment of Bassein-Mumbai. Mar. Pollut. Bull. 49: 637-647.
- CHRISTENSEN, MS. y R. WINTERBOTTOM. 1980. A correction factor for, and its application to visual censuses of littoral fish. S-Afr. Ty dskr. Dierk, 16(2): 73-79.
- CLARK, A. y M. DOWNEY. 1992. Starfishes of the Atlantic. Natural History Museum Publication. Chapman y Hall. London. 794 pp.
- CLARKE, K. R. Y R. M. WARNICK. 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Plymouth Marine Laboratory, Plymouth. 172 p.
- CLARKE, K. R. y R. N. GORLEY. 2001. Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research v5. User Manual / Tutorial. Primer-E Ltd. 91 p.
- CLARKE, K.L. y M. AINSWORTH. 1993. A method of linking multivariate community structure to environmental variables. Mar. Ecol. Prog. Ser. Vol. 92. p. 205-219
- CLARKE, K.R. y R.M. WARWICK. 1994. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Plymouth Marine Laboratory. Natural Environment research Council. UK. 131 p.

- CLARKE, K.R. y R.M. WARWICK. 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. Plymouth Marine Laboratory, Plymouth. 172 p.
- CLARO, R., J. GARCÍA-ARTEAGA, E. VALDÉS-MUÑOZ y L. SIERRA. 1990. Características de las comunidades de peces en los arrecifes del Golfo de Batabanó. En: R. Claro (ed). Asociaciones de Peces en el Golfo de Batabanó. Academia de Ciencias de Cuba. 1-49p.
- COLTON, D.E. y W.S. ALEVIZON. 1981. Diurnal variability in a fish assemblage of a Bahamian coral reef. *Env. Biol. Fish.*, 6(3-4): 341-345.
- CONNELL, J. 1978. Diversity in tropical rain forest and coral reefs. *Science*, 199: 1302-1309.
- CÓRDOBA-TEJADA, M.E. 1997. Macrofauna bentónica asociada a fondos blandos de la plataforma continental de Pozos Colorados y El Rodadero, Caribe colombiano. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Tesis de grado. Facultad de Biología Marina. 100p.
- CRUZ-PALACIOS, V. Y B. I. VAN TUSSENBROEK. 2005. Simulation of hurricane-like disturbances on a Caribbean seagrass bed. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 324: 44– 60.
- CUTLER, E.B. 1994. The Sipuncula. Their systematics, biology and evolution. Cornell University Press. London. 453 pp. ESCHMEYER, W.N. (Ed). 1998a. Catalog of fishes. Volume I. Introductory materials, species of fishes (A-L). California Academy of Sciences, San Francisco, EE.UU, 958 p.
- DAVIDSON, M.G. 2002. Protecting coral reefs: the principal national and international legal instruments. *Harvard Environmental Law Review* Vol 26: 499-546.
- DÍAZ J.M., J. GARZÓN-FERREIRA, S. ZEA. 1995. Los arrecifes coralinos de las Isla de San Andrés, Colombia: Estado actual y perspectivas para su conservación. Academia Nacional de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. 151p.
- DÍAZ, J.M., L.M. BARRIOS, M.H. CENDALES, J. GARZÓN-FERREIRA, J. GEISTER, M. LÓPEZ-VICTORIA, G.H. OSPINA, F. PARRA-VELANDIA, J. PINZÓN, B. VARGAS-RANGEL, F.A. ZAPATA Y S. ZEA. 2000. Áreas arrecifales de Colombia. INVEMAR. Serie de publicaciones especiales 5. Santa Marta. 175p.
- ESCHMEYER, W.N. (Ed). 1998b. Catalog of fishes. Volume II. Species of fishes (M-Z). California Academy of Sciences, San Francisco, EE.UU, 959-1820 p.
- FARIÑA, A., A. BELLORÍN, S. SANT y E. MÉNDEZ. 2005. Estructura de la comunidad de peces en un arrecife del archipiélago de Los Monjes, Venezuela. *Ciencias Marinas*, 31(3): 585-591.
- FAUCHALD, K. 1977. The polychaete worms. Definitions and keys to the orders, families and genera. Natural History Museum. Los Angeles, U.S. Science Series 28: 188 p.
- FIELD, J., K. CLARKE Y R. WARWICK. 1982. A practical strategy for analysing multispecies distribution pattern. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 8: 37-52.
- FIELD, J., K. CLARKE y R. WARWICK. 1982. A practical strategy for analysing multispecies distribution pattern. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 8: 37-52.
- FONG, P., M.E. JACOBSON, M.C. MESCHER, D. LIRMAN Y M.C. HARWELL. 1997. Investigating the Management Potential of a Seagrass Model Through Sensitivity Analysis and Experiments. *Ecological Applications*, 7(1): 300-315.

**124 ESTUDIOS BIOFÍSICOS, OCEANOGRÁFICOS, TOPOGRÁFICOS Y DE
DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN MUELLE EN JOHNNY CAY CORALINA**

- GARAY, J., F. CASTILLO, C. ANDRADE, J. AGUILERA, L. NIÑO, M. DE LA PAVA, W. LÓPEZ, G. MÁRQUEZ. 1988. Estudio oceanográfico del área insular y oceánica del Caribe Colombiano-Archipiélago de San Andrés y Providencia y Cayos vecinos. Boletín Científico CIOH. No. 9: 3-73.
- GARAY, J., G. RAMÍREZ, J. BETANCOURT, B. MARÍN, B. CADAVID, L. PANIZO, L. LESMES, J. SÁNCHEZ, H. LOZANO Y A. FRANCO (EDS). 2003. Manual de técnicas analíticas para la determinación de parámetros físico-químicos y contaminantes marinos: aguas, sedimentos y organismos. INVEMAR, Santa Marta. 177pp.
- GARAY, J.A. Y H. GUTIERREZ. 1984. Contribución al estudio oceanográfico químico del Archipiélago de San Andrés y Providencia. Boletín Científico CIOH 5:25-29.
- GARCÍA, C. y H. SANDOVAL. 1983. Comunidades macrozoobénticas de fondos blandos en la plataforma continental de Ciénaga, Caribe Colombiano. Tesis de Grado. Facultad Biología Marina. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá, 84p.
- GARCÍA-COLL, I., E. GUEVARA-CARRÍO y A. BOSH-MÉNDEZ. 1988. Estudio de las comunidades de peces en un arrecife costero cubano. Revista de Investigaciones Marinas, 9(3): 29-39.
- GARZÓN-FERREIRA, J. Y M. KIELMAN. 1994. Extensive mortality of corals in the Colombian Caribbean during the last two decades: 247-253. En: Ginsburg, R.N. (Ed.). Proceedings of the Colloquium on Global Aspects of Coral Reefs. Health, Hazards and History. RSMAS, University of Miami, Miami, 420p.
- GEISTER, J. 1969. Contribución al conocimiento de los arrecifes de barlovento al Norte de la Isla de San Andrés (Mar Caribe, Colombia). Primer Congreso Colombiano de Geología. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (abstr.).
- GEISTER, J. 1973. Los arrecifes de la Isla de San Andrés (Mar Caribe, Colombia). Mitt. Inst. Colombo-Alemán. Invest. Cient. 7:211-278.
- GEISTER, J. 1975. Riffbau und geologische Entwicklungsgeschichte der Insel San Andrés (westliches Karibisches Meer, Kolumbien). Stuttgarter Beit. Naturk. Ser. B. (Geol. And Paläont.) 15: 1-203.
- GEISTER, J. Y J.M. DIAZ. 1997. A field guide to the oceanic barrier reefs and atolls of the southwest Caribbean (Archipelago of San Andres and Providencia, Colombia) p. 235-262. In: H.A. Lessios and I.G. Macintyre (eds.) Proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium Vol. 1. Smithsonian Tropical Research Institute, Panama.
- GEISTER, J. Y J.M. DIAZ. 1997. A field guide to the oceanic barrier reefs and atolls of the southwest Caribbean (Archipelago of San Andres and Providencia, Colombia). In: H.A. Lessios and I.G. Macintyre (eds.) Proceedings of the 8th International Coral Reef Symposium Vol. 1. Smithsonian Tropical Research Institute, Panama.
- GONZÁLEZ-SANSÓN, G., C. AGUILAR, J. ANGULO y C. GONZÁLEZ. 1997. Variación espacial y estacional de la ictiofauna en un arrecife de coral costero de la región noroccidental de Cuba. II: Diversidad. Revista de Investigaciones Marinas, 18(3): 233-240.
- GUZMAN-ALVIS, A y J.M. DIAZ. 1993. Distribución espacial de la taxocenosis Anellida-Mollusca en la plataforma continental del Golfo de Salamanca, Caribe Colombiano. An. Inst. Inv. Mar Punta Betín. 22:45-59

- GUZMAN-ALVIS, A. y J. M. DIAZ. 1996. Soft-bottom macrobenthic assemblages off Santa Marta, Caribbean coast of Colombia. *Carib. J. Sci.*, 32(2): 176-186.
- GUZMÁN-ALVIS, A. y M. CÓRDOBA-TEJADA. 1996. La comunidad de fondos blandos de la ensenada de Pozos Colorados y áreas aledañas (Caribe colombiano). *Resúmen Mem. X Semin. Cienc. Tecnol. Mar. CCO. Santafé de Bogotá.*
- GUZMAN-ALVIS, A. y O. D. SOLANO. 1997. Estructura de la taxocenosis Annelida-Mollusca en la región de Mingueo, Guajira (Caribe Colombiano). *Bol. Inst. Invest. Mar. Punta Betín* 26:35-52.
- GUZMAN-ALVIS, A., O. D. SOLANO, M. CORDOBA-TEJADA y A. LÓPEZ-RODRÍGUEZ. 2001. Comunidad macroinfaunal de fondos blandos someros tropicales (Caribe Colombiano). *Bol. Invest. Mar. Cost.*, 30: 39-66.
- GUZMÁN-ALVIS, A.I. 1993. La comunidad macrozoobentónica de fondos blandos de la plataforma continental del departamento del Magdalena (Caribe Colombiano). Tesis M.Sc. Postgrado en Biología Marina. Universidad Nacional de Colombia. Santa Marta, 74p.
- HANSEN, P.K., A. ERVIK, M. SCHAANNING, P. JOHANNESSEN, J. AURE, T. JAHNSEN y A. STIGEBRANDT. 2001. Regulating the local environmental impact of intensive, marine fish farming II. The monitoring programme of the MOM system (Modelling-Ongrowing fish farms-Monitoring). *Aquaculture*, 194: 75-92.
- HENDLER, G., J. MILLER, D. PAWSON y P. KIER. 1995. *Sea Stars, Sea Urchins, and Allies. Echinoderms of Florida and the Caribbean.* Smithsonian Institution Press. Washington. 390 pp.
- HOLME, N.A. y A.D. McINTYRE. 1984. *Methods for the study of marine benthos.* Second edition. IBP Handbook No. 16, Blackwell Scientific Publications. Oxford, 387 p.
- INVEMAR, 2004a. Monitoreo de Ecosistemas Representativos de Bahia Portete. Informe Final. 137 pp.
- INVEMAR, 2004b. Levantamiento de información oceanográfica necesaria para las actividades en las plataformas Chuchupa "A y B". Coordinación de Servicios Científicos, INVEMAR. Informe final para ChevronTexaco. Santa Marta, 191 pp.
- INVEMAR. 1988. Diagnóstico actual de las comunidades marinas de la bahía Portete, análisis de efectos reales por la construcción y operación de las instalaciones portuarias. Informe final. Editado por J. M Díaz, O. D. Solano, R. Dueñas y J. Garzón- Ferreira. Preparado para CARBOCOL, INTERCOR, El Cerrejón-Zona Norte. INVEMAR, Santa Marta, 156 p.
- INVEMAR. 1992. Descripción inicial de unidades de monitoreo de ecosistemas marinos en la Bahía de Portete. Determinación del área de influencia de Puerto Bolívar afuera de la Bahía de Portete. Informe final. Editado por J. M. Díaz, J. Garzón Ferreira, M. Puyana y C. Obregón. Preparado para CARBOCOL, INTERCOR, El Cerrejón-Zona Norte. INVEMAR, Santa Marta, 67 p.
- INVEMAR. 2004. Informe del estado de los ambientes marinos y costeros en Colombia: Año 2004. Serie Publicaciones Periódicas INVEMAR 8, Santa Marta, 77-114.

**126 ESTUDIOS BIOFÍSICOS, OCEANOGRÁFICOS, TOPOGRÁFICOS Y DE
DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN MUELLE EN JOHNNY CAY CORALINA**

- INVEMAR. 2005. Informe del Estado de los Ambientes Marinos y Costeros en Colombia: Año 2005. Serie de publicaciones periódicas No.8 Santa Marta. 360 p.
- INVEMAR. 2006. Diagnóstico y Evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y
- JONES, G. 1969. The benthic fauna of the mainland shelf of Southern California. Allan Hancock Monographs in Marine Biology, 4: 1-219.
- JONES, R.S. y M.J. THOMPSON. 1978. Comparison of Florida reef fish assemblages using a rapid visual technique. Bull. Mar. Sci., 28: 159-172.
- Kaandorp, J. 1986. Rocky substrate communities of the infralitoral fringe of the Boulonnais coast, NW France: a quantitative survey. Mar. Biol., 92: 255-265.
- KAANDORP, J. 1986. Rocky substrate communities of the infralitoral fringe of the Boulonnais coast, NW France: a quantitative survey. Mar. Biol., 92: 255-265.
- KAANDORP, J.A. 1986. A selection procedure for different numerical classification methods and inverse analysis applied in quantitative investigations of marine communities. Manuscrito sin publicar.
- Kochl, W. and G. Gust. 1999. Water flow in tide- and wave-dominated beds of the seagrass *Thalassia testudinum*. Marine Ecology Progress Series 64:63-72.
- LALINDE, F. 1980. Estudio del comportamiento de *Eupomacentrus dorsopunicans* (Poey) en su medio natural y en condiciones controladas de laboratorio. Tesis de grado. Facultad de Biología Marina. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Bogotá. 77p.
- Lambshed, P. J. D., H. M. Platt y K. M. Shaw. 1983. The detection of differences among assemblages of marine benthic species based on an assessment of dominance and diversity. J. Nat. Hist., 17: 859-874.
- LINCOLN, M.P. 1988. Effects of observer swimming speed on simple counts of temperate rocky reef fish assemblages. Mar. Ecol. Prog. Ser., 43: 317-323.
- LIVINGTON, R.J., S.E. MCGLYNN Y X. NIU. 1998. Factors controlling seagrass growth coastal system: Water and sediment quality and light. Aquatic Botany 60:135-159.
- LONDOÑO-MESA, MH., J.H. POLANÍA y I. VÉLEZ-ESCOBAR. 2001. Análisis Físicoquímico en Tres Comunidades de Poliquetos Asociados a Raíces de R. mangle en Islas San Andrés y Providencia, Colombia. IX Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar IX COLACMAR. Presentación póster. San Andrés, Islas. Colombia.
- LUDWIG, J. y J. REYNOLDS. 1988. Statistical Ecology. A Willey-Interscience publication. United States of America. 337 p.
- LUDWIG, J. Y J. REYNOLDS. 1988. Statistical Ecology. A Willey-Interscience publication. United States of America. 337 p.
- MANNING, R. y D. FELDER. 1991. Revision of American callinassidae (Crustacea: Decapoda: Thalassinidea). Proc. Biol. Soc. Wash., 104(4): 764-792.
- MARGALEF, R. 1983. Limnología. Ediciones Omega S.A. Barcelona (España). 1010p.
- MARRUGO, A.J. 1992. Estudio de la contaminación marina por hidrocarburos en el Pacífico Colombiano – Fase III. VIII Seminario Nacional de Ciencias y Tecnologías del Mar.

- Congreso Centroamericano y del Caribe de Ciencias del Mar. Santa Marta, Colombia: 1056-1066.
- MASON, W.T. Jr. y P.P. YEVICH. 1967. The use of phloxine B and rose bengal stains to facilitate sorting benthic samples. *Trans. Am. Microsc. Soc.*, 86 (2): 221-223.
- MATEO, I. y W. TOBÍAS. 2001. Distribution of shallow water coral reef fishes on the northeast coast of St. Croix, USVI. *Caribbean Journal of Science*, 37(3-4): 210-226.
- McKENNA, J.E. 1997. Influence of physical disturbance of the structure of coral reef fish assemblages in Dry Tortugas. *Caribbean Journal of Science*, 33(1-2): 962-972.
- MEJÍA, L.S. 1997. Comunidades ícticas de los cayos colombianos de San Andrés y Providencia y su relación con la estructura y salud arrecifal. Trabajo de grado (M. Sc.). Universidad Nacional de Colombia – INVEMAR. 112p.
- MEJIA, L.S. y GARZON-FERREIRA, J. 2000. Estructura de comunidades de peces arrecifales en cuatro atolones del Archipiélago de San Andrés y Providencia (Caribe sur occidental). *Revista de Biología Tropical*, 48(4): 883-896p. ISSN 0034-7744.
- MELLIN, C., J. FERRARIS, R. GALZIN, M. KULBICKI y D. PONTONA. 2006. Diversity of coral reef fish assemblages: Modelling of the species richness spectra from multi-scale environmental variables in the Tuamotu Archipelago (French Polynesia). *Ecological Modelling*, 198: 409–425.
- MÉNDEZ, M.N., V. SOLIS y A. CARRANZA. 1986. La importancia de la granulometría en la distribución de organismos bentónicos. Estudio de playas del estado de Veracruz, México. *An. Inst. Cienc. Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México*, 13(3): 45-56.
- MENZIES, R.J. Y W. KRUCZYNSKY. 1983. Memoirs of the hourglass cruises – Isopoda crustacea (Exclusive of Epicaridea). Florida Department of Natural Resources. Florida. 6: 125p.
- METCALFEL, D., L. METCALFEL, G. RIDDLE Y D. HAFFNE. 1997. Aromatic hydrocarbons in biota from the Detroit river and western Lake Erie. *J. Great Lakes Res.*, 23(2):160-168.
- MILLIMAN, J.D. Y P.R. SUPKO. 1968. On the geology of San Andrés Island, Western Caribbean. *Geologie en Mijnbouw*, 47(2):102-105.
- MORALES, A.G. 2005. Caracterización temporal y espacial de la macroinfauna béntica tropical alrededor de jaulas sumergidas para el cultivo de peces en mar abierto. Tesis de maestría en ciencias. Biología. Universidad de Puerto Rico. Mayaguez. 79p.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE (NAS). 1985. Oil in the sea: inputs, fates, and effects. National Academy Press, Washington, D.C. 601 pp.
- NELSON, J.S. 1994. Fishes of the world. John Wiley y Sons, Nuev York, 600p.
- NOAA. 1990. A special 20th anniversary report, coastal environmental quality in the United States, chemical contamination in sediments and tissues. Washington. 6 pp.
- OGDEN, J.C. y J.C. ZIEMAN. 1977. Ecological aspects of coral reef, seagrass beds in the Caribbean. *Proc. 3rd Int. Coral Reef Symp.*, 1:377-389.
- OLAYA, J. 2006. Caracterización de las comunidades de peces arrecifales en el área de Santa Marta (Caribe colombiano). Tesis de Grado. Facultad de ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Antioquia. Medellín. 51p.

- 128 ESTUDIOS BIOFÍSICOS, OCEANOGRÁFICOS, TOPOGRÁFICOS Y DE DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN MUELLE EN JOHNNY CAY CORALINA PACÍFICO COLOMBIANO.** Red de vigilancia par la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia. Informe técnico. Santa Marta, 304 pp.
- PARKER, R., A. CHESTER y R. NELSON. 1994. A video transect method for estimating reef fish abundance, composition and habitat utilization at Gray's Reef National Marine Sanctuary, Georgia. *Fishery Bulletin*, 92: 787-799.
- PATTENGILL-SEMMENS, C.V. 1998. The reef fish assemblage of Bonaire Marine Park: an analysis or REEF fish survey data. Proctor the Gulf Caribbean Fisheries Institute, Pub., 53:591-605.
- PHILLIPS, P.C. y M.K. PÉREZ-CRUET. 1984. A comparative survey of reef fishes in Caribbean and Pacific Costa Rica. *Revista de Biología Tropical*, 32(1): 95-102.
- PICCARDO, M.T., R. CORADEGHINI Y F. BALEIRO. 2001. Polycyclic aromatic hydrocarbon pollution in native and caged Mussels. *Mar. Pollut. Bull.*, 42 (10) 951- 956 pp.
- PRAHL., H VON Y H. ERHARDT. 1985. Colombia: corales y arrecifes coralinos. FEN COLOMBIA. Bogotá. 295p.
- PRESTON, E.M. y J.L. PRESTON. 1975. Ecological structure un a West Indian gorgonian fauna. *Bull. Mar. Sci.*, 25(2): 71-81.
- RAMÍREZ, G.A. 1999. Ecología aplicada. Diseño y análisis estadístico. Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano. Santafé de Bogotá. 325 p.
- RATHBUM, M. 1918. The grapsoid crabs of America. Associate in Zoology, United States National Museum. Government Printing. Washington. 61 p.
- REYES-NIVIA, M.C., A. RODRÍGUEZ-RAMÍREZ y J. GARZÓN-FERREIRA. 2004. Peces asociados a formaciones coralinas de cinco áreas del Caribe colombiano: Listado de especies y primeros registros para las áreas. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 33: 101-115.
- RICHARDS, P. y J.C. LANG. 2003. The Atlantic and gulf Rapid Reef Assessment (AGRRA) protocols: former version 2.2. 611-624. En: Lang J.C. (Ed) Status of coral reefs in the Western Atlantic: Results of initial surveys, Atlantic and gulf Rapid Reef Assessment (AGRRA) Program. *Atoll. Res. Bull.*, 496:630.
- ROBBLEE, M.B. y J.C. ZIEMAN. 1984. Diel variation in the fish fauna of a tropical seagrass feeding ground. *Bull. Mar. Sci.*, 34(3): 335-345.
- ROBERTS, C.M. y R.F.G. ORMOND. 1987. Habitat complexity and coral reef fish diversity and abundance on Red Sea fringing reefs. *Marine Ecology Progress Series*, 41: 1–8.
- RODRÍGUEZ, A. 1996. Ictiofauna bentónica asociada a praderas de *Thalassia testudinum* ex Koning 1805 en Isla grande e Isla Rosario. Estación seca (Caribe colombiano): relación entre la estructura íctica y la de las praderas. Tesis de pregrado. Facultad Biología Marina. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Cartagena. 109p.
- ROUSE, G. y F. PLEIJEL. 2001. Polychaetes. Oxford University Press. UK. 354p.
- RUIZ, L.J., E. MÉNDEZ, A. PRIETO-A., B. MARÍN y A. FARIÑA. 2003. Composición, abundancia y diversidad de peces arrecifales en dos localidades del Parque Nacional Mochima, Venezuela. *Ciencias Marinas*, 29(2): 185-195.

- RYAN, P.W. y J.M. HAYNES. 2006. Fish and coral community structure are related on shallow water patch reefs near San Salvador, Bahamas. *Bulletin of Marine Science*, 79(2): 365-374.
- SALAZAR-VALLEJO, S., J. LEÓN-GONZÁLEZ y H. SALAICES-POLANCO. 1988. Poliquetos (Annelida: Polychaeta) de México. Universidad Autónoma de Baja California Sur. Libros Universitarios. 212 pp.
- SALE, P.F. 1997. Visual census of fishes: how well do we see what is there?. *Proc. 8th Int. Coral Reef Sym.*, 2: 1435-1440.
- _____ y W.A. DOUGLAS. 1981. Precision and accuracy of visual census technique for fish assemblages on coral patch reefs. *Env. Biol. Fish.*, 6(3-4): 333-339.
- SALE, P.F. y B.J. SHARP. 1983. Correction for bias in visual transects censuses of coral reef fishes. *Coral Reefs*, 2: 37-42.
- SANDERSON, S.L. y A.C. SOLONSKY. 1986. Comparison of a rapid visual and strip transect technique for censusing reef fish assemblages. *Bull. Mar. Sci.*, 39(1): 119-128.
- SCHMITT E.F., R.D. SLUKA y K.M. SULLIVAN-SEALEY. 2002. Evaluating the use of roving diver and transect surveys to assess the coral reef fish assemblage off southeastern Hispaniola. *Coral Reefs*, 21:216-223.
- SCHMITT, E.F. y K.M. SULLIVAN. 1996. Analysis of volunteer method for collecting fish presence and abundance data in the Florida Keys. *Bull. Mar. Sic.*, 59(2):404-416.
- SHARP, J.M. 1979. The accumulative effects of petroleum drilling and production in and near-shore areas. *The Offshore Ecology Investigation, Rice University Studies*, 65(4/5): 3-15.
- SHULMAN, M.J. 1984. Resource limitation and recruitment patterns in a coral reef fish assemblages. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 74: 85-109.
- SOLANO, O.D., J.C. ALONSO, L. ARANGO, C. CÓRDOBA, E. CHIQUILLO, J. FAILLACE y J. TORRES. 1990. Abundancia de las familias de peces arrecifales Chaetodontidae, Pomacanthidae, Pomacentridae, Labridae y scaridae y su relación con el sustrato. *Memorias VII Sem. Nac. Cienc. Tecnol. Mar. Cali*, 430-440.
- SOLANO, OD., G. RAMÍREZ, F. CORTÉS, A. BÁEZ, H.F. SÁENZ, J. LEÓN, M.L. GÓMEZ, J.P. PARRA y B. CADAVID. 2007. Monitoreo de calidad de aguas, sedimentos y comunidades biológicas durante la perforación de pozos de gas en Chuchupa B. *Informe Final. INVEMAR, Santa Marta*. 126p.
- SPELLERBERG, I.F. 1991. *Monitoring ecological change*. Cambridge University Press, U.K. 334p.
- STIRN, J. 1981. *Manual of methods in aquatic environment research*. Part 8, Ecological assesment of pollution effects. *FAO Fish. Tech. Pap.*, 209: 1-70.
- STRICKLAND, D.H. y R.T. PARSONS. 1972. *A practical handbook of seawater analysis*. Fish. Res. Board of Canada. 2nd Edition. Ottawa.
- TAYLOR, L.R., WOIWOD I.P. y PERRY J.N. 1980. Variance and the large scale spatial stability of aphids, moths and birds. *Journal of Animal Ecology*, 49: 831-854
- TUPPER, M. y W. HUNTE. 1994. Recruitment dynamics of coral reef fishes in Barbados. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 108: 225-235.

**130 ESTUDIOS BIOFÍSICOS, OCEANOGRÁFICOS, TOPOGRÁFICOS Y DE
DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN MUELLE EN JOHNNY CAY CORALINA**

- UEBELACKER, J. y P. JOHNSON (editors). 1984. Taxonomic guide to the polychaetes of the northern gulf of Mexico. Final report to the minerals management service. Alabama, U.S. Vol. 1-4.
- UNESCO, 1984. Manuales y guías No. 13 de la COI. Manual para la vigilancia del aceite y de los hidrocarburos del petróleo disueltos/dispersos en el agua de mar y en las playas. 87pp.
- VEGAS, M. 1980. Introducción a la ecología del bentos marino. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos. 2a. edición. Monografía Serie Biología. No. 9. Washington, D.C. 98 p.
- VICTORIA, P. y D.P. GÓMEZ. 1984. Nuevos registros de peces para la isla de San Andrés (mar Caribe colombiano). An. Inst. Inv. Mar. Punta Betín, 14: 115-132.
- VILLARREAL H., M. ÁLVAREZ, S. CÓRDOBA, F. ESCOBAR, G. FAGUA, F. GAST, H. MENDOZA, M. OSPINA y A.M. UMAÑA. 2006. Métodos para el análisis de datos: una aplicación para resultados provenientes de caracterizaciones de biodiversidad. En: Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad segunda edición (pp. 185-226). Programa de Inventarios de Biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Bogotá, Colombia.
- VIÑAS, M; M. GRIFOLL; J. SABATÉ Y A. M. SOLANAS. 2002. Biodegradation of a crude oil by three microbial consortia of different origins and metabolic capabilities. J. Ind. Micro. Biotech., 28:252-260.
- WARWICK, R.M. y K.R. CLARKE. 1994. Relearning the ABC: taxonomic changes and abundance/biomass relationships in disturbed benthic communities. Mar. Biol., 118: 739-744.
- WILLIAMS, A.D. 1984. Shrimps, lobsters, and crabs of the Atlantic coast of the eastern United States maine to Florida. Smithsonian Institution Press. Washington. 550p.
- XU, R. Y J. P. OBRAD. 2004. Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in oil contaminated beach sediments treated with nutrient amendments. J. Environ. Qual., 33:861-867.
- YINGSTA, J.Y. y D.C. RHOADS. 1985. The structure of soft-bottom benthic communities in the vicinity of the Texas Flower Garden Banks, Gulf of Mexico. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 20(5): 569-592 .
- ZAR, J. H. 1984. Biostatistical analysis. Second edition. Prentice-Hall, Inc. New Jersey, 718 p.
- ZARET, T. 1982. The stability/diversity controversy: a test of hypotheses. Ecology, 63(3): 721-
- ZEA, S., J. GEISTER, J. GARZÓN-FERREIRA Y J.M. DÍAZ. 1998. Biotic changes in the reef complex of San Andrés Island (Southeastern Caribbean sea, Colombia) occurring over nearly three decades. Atoll Research Bulletin No. 456: 1-30.

9. ANEXOS

Anexo 1. Abundancia por estación (N° individuos/0,110 m²), de la macroinfauna bentónica asociada a fondos blandos alrededor de la isla de Johnny Cay, durante el mes de diciembre de 2006.

N°	GRUPO - TAXA	FAMILIA	E1	E2	E3	E4	E5	E6
1	Anélido-Poliqueto	Acrocirridae	0	35	4	23	3	15
2	Anélido-Poliqueto	Amphinomidae	1	23	19	32	141	35
3	Anélido-Poliqueto	Capitellidae	2	1	0	6	92	1
4	Anélido-Poliqueto	Chaetopteridae	0	0	0	18	12	2
5	Anélido-Poliqueto	Chrysopetallidae	0	1	0	0	5	0
6	Anélido-Poliqueto	Cirratulidae	2	18	2	25	11	2
7	Anélido-Poliqueto	Ctenodrilidae	0	0	0	0	0	1
8	Anélido-Poliqueto	Dorvilleidae	5	6	4	10	41	7
9	Anélido-Poliqueto	Eunicidae	1	1	1	1	20	0
10	Anélido-Poliqueto	Glyceridae	0	6	1	8	5	4
11	Anélido-Poliqueto	Hesionidae	40	121	115	149	171	475
12	Anélido-Poliqueto	Lumbrineridae	1	3	2	1	16	3
13	Anélido-Poliqueto	Magelonidae	0	0	2	3	21	17
14	Anélido-Poliqueto	Maldanidae	2	1	2	4	89	16
15	Anélido-Poliqueto	Nereididae	0	0	0	7	7	7
16	Anélido-Poliqueto	Oenonidae	0	0	0	0	2	0
17	Anélido-Poliqueto	Opheliidae	9	3	76	3	4	6
18	Anélido-Poliqueto	Orbiniidae	0	0	0	1	2	1
19	Anélido-Poliqueto	Paraonidae	3	2	0	23	90	9
20	Anélido-Poliqueto	Parergodrilidae	1	0	0	0	0	0
21	Anélido-Poliqueto	Phyllodocidae	8	271	62	97	249	44
22	Anélido-Poliqueto	Pilargidae	0	1	0	3	0	0
23	Anélido-Poliqueto	Pisionidae	1	14	0	13	3	0
24	Anélido-Poliqueto	Protodrilidae	19	421	189	12	50	1
25	Anélido-Poliqueto	Questidae	0	0	0	0	1	0
26	Anélido-Poliqueto	Sabellidae	0	2	0	0	3	8
27	Anélido-Poliqueto	Saccocirridae	27	60	93	106	55	4
28	Anélido-Poliqueto	Sigalionidae	0	0	0	1	3	0
29	Anélido-Poliqueto	Spionidae	7	19	2	23	84	8
30	Anélido-Poliqueto	Syllidae	29	286	214	109	130	109
31	Anélido-Poliqueto	Terebellidae	0	4	1	1	0	0
32	Anélido-Oligoqueto	Tubificidae	153	464	72	295	442	164
33	Cefalocordado	Branchiostomidae	0	0	0	2	1	0
34	Crustáceo-Anfípodo	Corophiidae	0	0	2	0	0	0
35	Crustáceo-Anfípodo	Gammaridae	0	0	0	0	1	1
36	Crustáceo-Anfípodo	Melitidae	3	7	0	0	0	0
37	Crustáceo-Anfípodo	Liljeborgiidae	0	0	0	0	1	0

**132 ESTUDIOS BIOFÍSICOS, OCEANOGRÁFICOS, TOPOGRÁFICOS Y DE
DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN MUELLE EN JOHNNY CAY**

CORALINA

N°	GRUPO - TAXA	FAMILIA	E1	E2	E3	E4	E5	E6
38	Crustáceo-Anfípodo	Lysianassidae	0	1	0	0	0	0
39	Crustáceo-Anfípodo	Phoxocephalidae	0	0	0	0	0	1
40	Crustáceo-Anfípodo	Platyschnopidae	1	0	0	0	3	3
41	Crustáceo-Anfípodo	Synopiidae	0	0	0	0	0	1
42	Crustáceo-Cefalocárido	Cefalocárido tipo I	0	0	0	0	14	8
43	Crustáceo-Copépodo	Harpacticoidae	0	112	1	1	0	26
44	Crustáceo-Cumáceo	Cumáceo tipo I	0	0	0	1	0	0
45	Crustáceo-Decápodo	Alpheidae	0	0	0	6	0	0
46	Crustáceo-Decápodo	Pinnotheridae	0	2	0	0	0	0
47	Crustáceo-Isópodo	Aegidae	0	1	0	0	0	0
48	Crustáceo-Isópodo	Asellota tipo I	0	0	0	1	0	0
49	Crustáceo-Isópodo	Cirolanidae	1	0	0	0	0	0
50	Crustáceo-Isópodo	Hyssuridae	0	3	0	0	0	0
51	Crustáceo-Tanaidáceo	Metapseudidae	1	15	0	1	0	0
52	Equinodermo-Ofiúrido	Amphiuridae	0	1	0	9	11	3
53	Molusco-Bivalvo	Limidae	0	0	2	1	0	0
54	Molusco-Bivalvo	Semelidae	0	0	0	0	0	1
55	Molusco-Bivalvo	Tellinidae	0	0	3	0	1	1
56	Molusco-Bivalvo	Veneridae	0	0	0	2	2	8
57	Molusco-Gastrópodo	Conidae	0	0	0	0	1	0
58	Molusco-Gastrópodo	Fissurelidae	0	0	0	1	0	0
59	Molusco-Gastrópodo	Naticidae	0	0	1	0	0	0
60	Molusco-Gastrópodo	Turridae	1	0	0	0	0	0
61	Molusco-Poliplacóforo	Chitonidae	0	2	24	7	19	9
62	Molusco-Escafópodo	Dentaliidae	0	0	0	0	1	1
63	Nemátodo	Monhysteridae	186	416	591	89	457	256
64	Nemertino	Nemertino tipo I	2	57	54	25	86	17
65	Sipuncúlido	Aspidosiphonidae	0	0	0	0	2	3
66	Sipuncúlido	Phascolosomatidae	0	0	0	0	3	0
		Total abundancia	506	2380	1539	1120	2355	1278
		No. de Familias	25	34	26	39	43	38

Anexo 2. Biomasa húmeda por estación (N° individuos/0,110 m²), de la macroinfauna bentónica asociada a fondos blandos alrededor de la isla de Johnny Cay, durante el mes de diciembre de 2006.

N°	GRUPO - TAXA	FAMILIA	E1	E2	E3	E4	E5	E6
1	Anélido-Poliqueto	Acrocirridae	0	0,0016	0,0002	0,0009	0,0013	0,0011
2	Anélido-Poliqueto	Amphinomidae	0,0001	0,008	0,011	0,0233	0,1188	0,0434
3	Anélido-Poliqueto	Capitellidae	0,0003	0,0024	0	0,143	0,2954	0,0143
4	Anélido-Poliqueto	Chaetopteridae	0	0	0	0,013	0,013	0,0026
5	Anélido-Poliqueto	Chrysopetallidae	0	0,0002	0	0	0,0005	0
6	Anélido-Poliqueto	Cirratulidae	0,0128	0,0007	0,0004	0,0054	0,0083	0,0014
7	Anélido-Poliqueto	Ctenodrilidae	0	0	0	0	0	0,0001
8	Anélido-Poliqueto	Dorvilleidae	0,0009	0,0017	0,0004	0,0031	0,0189	0,0016
9	Anélido-Poliqueto	Eunicidae	0,0003	0,0002	0,0001	0,0026	0,014	0
10	Anélido-Poliqueto	Glyceridae	0	0,0236	0,0203	0,0344	0,0916	0,0007
11	Anélido-Poliqueto	Hesionidae	0,0066	0,0098	0,0148	0,0183	0,0167	0,0967
12	Anélido-Poliqueto	Lumbrineridae	0,0002	0,1039	0,1562	0,0032	0,4442	0,0694
13	Anélido-Poliqueto	Magelonidae	0	0	0,0024	0,0094	0,01	0,0037
14	Anélido-Poliqueto	Maldanidae	0,1079	0,0001	0,0215	0,0041	0,0739	0,0017
15	Anélido-Poliqueto	Nereididae	0	0	0	0,0037	0,0086	0,0012
16	Anélido-Poliqueto	Oeonidae	0	0	0	0	0,0086	0
17	Anélido-Poliqueto	Opheliidae	0,0187	0,0004	0,0855	0,0194	0,0014	0,0005
18	Anélido-Poliqueto	Orbiniidae	0	0	0	0,0041	0,128	0,092
19	Anélido-Poliqueto	Paraonidae	0,0003	0,0009	0	0,0039	0,0108	0,0009
20	Anélido-Poliqueto	Parergodrilidae	0,0001	0	0	0	0	0
21	Anélido-Poliqueto	Phyllodocidae	0,0004	0,0304	0,0034	0,0128	0,0232	0,0053
22	Anélido-Poliqueto	Pilargidae	0	0,0063	0	0,018	0	0
23	Anélido-Poliqueto	Pisionidae	0,0001	0,0023	0	0,0027	0,0007	0
24	Anélido-Poliqueto	Protodrilidae	0,0005	0,0141	0,0015	0,001	0,0007	0,0001
25	Anélido-Poliqueto	Questidae	0	0	0	0	0,0001	0
26	Anélido-Poliqueto	Sabellidae	0	0,0002	0	0	0,0006	0,0009
27	Anélido-Poliqueto	Saccocirridae	0,0022	0,0018	0,0027	0,0046	0,0015	0,0002
28	Anélido-Poliqueto	Sigalionidae	0	0	0	0,0457	0,4165	0
29	Anélido-Poliqueto	Spionidae	0,0052	0,1001	0,0004	0,0225	0,1362	0,0024
30	Anélido-Poliqueto	Syllidae	0,0017	0,013	0,0135	0,01	0,0175	0,0092
31	Anélido-Poliqueto	Terebellidae	0	0,0007	0,0084	0,0016	0	0
32	Anélido-Oligoqueto	Tubificidae	0,0098	0,039	0,0049	0,0429	0,0396	0,0079
33	Cefalocordado	Branchiostomidae	0	0	0	0,0044	0,013	0
34	Crustáceo-Anfípodo	Corophiidae	0	0	0,0004	0	0	0
35	Crustáceo-Anfípodo	Gammaridae	0	0	0	0	0,0001	0,0002
36	Crustáceo-Anfípodo	Melitidae	0,0004	0,0011	0	0	0	0
37	Crustáceo-Anfípodo	Liljeborgiidae	0	0	0	0	0,0003	0
38	Crustáceo-Anfípodo	Lysianassidae	0	0,0002	0	0	0	0
39	Crustáceo-Anfípodo	Phoxocephalidae	0	0	0	0	0	0,0009
40	Crustáceo-Anfípodo	Platyischnopidae	0,0041	0	0	0	0,006	0,0044
41	Crustáceo-Anfípodo	Synopiidae	0	0	0	0	0	0,0002
42	Crustáceo-Cefalocárido	Cefalocárido tipo I	0	0	0	0	0,0008	0,0005

**134 ESTUDIOS BIOFÍSICOS, OCEANOGRÁFICOS, TOPOGRÁFICOS Y DE
DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN MUELLE EN JOHNNY CAY**

CORALINA

N°	GRUPO - TAXA	FAMILIA	E1	E2	E3	E4	E5	E6
43	Crustáceo-Copépodo	Harpacticoidae	0	0,007	0,0001	0,0001	0	0,0016
44	Crustáceo-Cumáceo	Cumáceo tipo I	0	0	0	0,0002	0	0
45	Crustáceo-Decápodo	Alpheidae	0	0	0	0,0224	0	0
46	Crustáceo-Decápodo	Pinnotheridae	0	0,0117	0	0	0	0
47	Crustáceo-Isópodo	Aegidae	0	0,0398	0	0	0	0
48	Crustáceo-Isópodo	Asellota tipo I	0	0	0	0,0001	0	0
49	Crustáceo-Isópodo	Cirolanidae	0,0065	0	0	0	0	0
50	Crustáceo-Isópodo	Hyssuridae	0	0,0003	0	0	0	0
51	Crustáceo-Tanaidáceo	Metapseudidae	0,0001	0,0015	0	0,0002	0	0
52	Equinodermo-Ofiúrido	Amphiuridae	0	0,0052	0	0,1316	0,3005	0,0043
53	Molusco-Bivalvo	Limidae	0	0	0,0078	0,0022	0	0
54	Molusco-Bivalvo	Semelidae	0	0	0	0	0	0,0581
55	Molusco-Bivalvo	Tellinidae	0	0	0,2274	0	0,0162	2,3436
56	Molusco-Bivalvo	Veneridae	0	0	0	0,0024	0,0079	0,0213
57	Molusco-Gastrópodo	Conidae	0	0	0	0	0,3003	0
58	Molusco-Gastrópodo	Fissurelidae	0	0	0	0,0085	0	0
59	Molusco-Gastrópodo	Naticidae	0	0	0,0675	0	0	0
60	Molusco-Gastrópodo	Turridae	0,0153	0	0	0	0	0
61	Molusco-Poliplacóforo	Chitonidae	0	0,0139	0,1799	0,0151	0,0549	0,0302
62	Molusco-Escafópodo	Dentaliidae	0	0	0	0	0,2159	0,0194
63	Nemátodo	Monhysteridae	0,0064	0,0141	0,0108	0,0043	0,0178	0,0076
64	Nemertino	Nemertino tipo I	0,0144	0,0102	0,0059	0,0041	0,0479	0,0059
65	Sipuncúlido	Aspidosiphonidae	0	0	0	0	0,0005	0,1322
66	Sipuncúlido	Phascolosomatidae	0	0	0	0	0,005	0
		Total Biomasa	0,2153	0,4664	0,8474	0,6492	2,8877	2,9877
		No. de familias	25	34	26	39	43	38

Anexo 3. Variación de la proporción de sedimento de acuerdo al tamaño del grano, registrados para cada una de las estaciones de muestreo en el área de estudio, durante el mes de diciembre de 2006. Sedimento tipo gránulos (S-Gr); arenas muy gruesas (S-Amg); arenas gruesas (S-Ag); arenas medias (S-Am); arenas finas (S-Af); arenas muy finas (S-Amf); cienos y limos (S-CL).

Sedimento	Tamiz	E1	E2	E3	E4	E5	E6
S-Gr	2000um	15,44	9,80	7,16	13,61	6,66	12,88
S-Amg	1000um	14,50	15,60	8,50	31,04	14,03	27,58
S-Ag	500um	20,05	29,61	19,93	25,25	25,09	25,78
S-Am	250um	35,13	34,67	44,92	25,00	47,06	24,76
S-Af	125um	13,95	9,79	18,75	4,83	6,90	8,64
S-Amf	63um	0,73	0,37	0,57	0,21	0,19	0,28
S-CL	<63um	0,21	0,17	0,17	0,07	0,07	0,09

Anexo 4. Variables ambientales tenidas en cuenta para relacionar con el componente biológico.

Variables seleccionadas del sedimento: HAP: hidrocarburos poliaromáticos ($\mu\text{g/g}$); HAM: hidrocarburos monoaromáticos ($\mu\text{g/g}$); HAT: hidrocarburos aromáticos totales ($\mu\text{g/g}$); MO: materia orgánica (%); granulometría (%): S-Gr: sedimento tipo gránulos; S-Amg: sedimento tipo arena muy gruesa; S-Ag: sedimento tipo arena gruesa; S-Am: sedimento tipo arena media; S-Af: sedimento tipo arena fina; S-Amf: sedimento tipo arena muy fina; S-CL: sedimento tipo cienos y limos.

VARIABLE	E1	E2	E3	E4	E5	E6
HAM $\mu\text{g/g}$	0,0130	0,0120	0,0125	0,0195	0,0175	0,0205
HAP $\mu\text{g/g}$	0,0085	0,0095	0,0075	0,0145	0,0135	0,0115
HAT $\mu\text{g/g}$	0,0215	0,0215	0,0205	0,0340	0,0310	0,0320
MO %	2,75	2,35	2,40	2,15	2,30	2,85
S-Gr %	15,43809	9,79533	7,15678	13,61440	6,66200	12,88361
S-Amg %	14,49790	15,59843	8,50211	31,03657	14,03421	27,57843
S-Ag %	20,05401	29,61133	19,93495	25,24768	25,08753	25,77710
S-Am %	35,12703	34,66895	44,92122	24,99771	47,05912	24,75549
S-Af %	13,95279	9,79069	18,74975	4,82841	6,90207	8,64005
S-Amf %	0,72515	0,37019	0,57014	0,20515	0,18506	0,28022
S-CL %	0,20504	0,16509	0,16504	0,07007	0,07002	0,08509

Anexo 5. Resultados de la correlación de Pearson de pares de variables ambientales. Correlaciones superiores a $r > 0,9$ y valores de significancia inferiores a 0,05 se resaltan en negrilla. HAP: hidrocarburos poliaromáticos ($\mu\text{g/g}$); HAM: hidrocarburos monoaromáticos ($\mu\text{g/g}$); HAT: hidrocarburos aromáticos totales ($\mu\text{g/g}$); MO: materia orgánica (%); granulometría (%): S-Gr: sedimento tipo gránulos; S-Amg: sedimento tipo arena muy gruesa; S-Ag: sedimento tipo arena gruesa; S-Am: sedimento tipo arena media; S-Af: sedimento tipo arena fina; S-Amf: sedimento tipo arena muy fina; S-CL: sedimento tipo cienos y limos.

HAP	0,8246 p=,043										
HAT	0,9698 p=,001	0,9369 p=,006									
MO	0,0415 p=,938	-0,4267 p=,399	-0,1715 p=,745								
S-Gr	0,234 p=,655	0,0659 p=,901	0,156 p=,768	0,4614 p=,357							
S-Amg	0,823 p=,044	0,7051 p=,118	0,8033 p=,054	0,0108 p=,984	0,591 p=,217						
S-Ag	0,2543 p=,627	0,4595 p=,359	0,3443 p=,504	-0,2753 p=,598	-0,0989 p=,852	0,4117 p=,417					
S-Am	-0,5378 p=,271	-0,3333 p=,519	-0,4629 p=,355	-0,2601 p=,619	-0,789 p=,062	-0,8941 p=,016	-0,345 p=,503				
S-Af	-0,7274 p=,101	-0,9297 p=,007	-0,8386 p=,037	0,3164 p=,541	-0,1992 p=,705	-0,7465 p=,088	-0,6931 p=,127	0,4778 p=,338			
S-Amf	-0,7341 p=,097	-0,8758 p=,022	-0,8311 p=,040	0,4607 p=,358	0,2611 p=,617	-0,5793 p=,228	-0,7011 p=,121	0,2286 p=,663	0,8468 p=,033		
S-CL	-0,8927 p=,017	-0,9089 p=,012	-0,946 p=,004	0,332 p=,520	0,1639 p=,756	-0,6387 p=,172	-0,4181 p=,409	0,247 p=,637	0,7793 p=,068	0,9312 p=,007	
	HAM	HAP	HAT	MO	S-Gr	S-Amg	S-Ag	S-Am	S-Af	S-Amf	

Anexo 6. Gráfico de dispersión de puntos entre pares de variables ambientales (Draftsman plot). HAP: hidrocarburos poliaromáticos (µg/g); HAM: hidrocarburos monoaromáticos (µg/g); HAT: hidrocarburos aromáticos totales (µg/g); MO: materia orgánica (%); granulometría (%): S-Gr: sedimento tipo gránulos; S-Amg: sedimento tipo arena muy gruesa; S-Ag: sedimento tipo arena gruesa; S-Am: sedimento tipo arena media; S-Af: sedimento tipo arena fina; S-Amf: sedimento tipo arena muy fina; S-CL: sedimento tipo cienos y limos.

