

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**“CARACTERIZACIÓN DE AMBIENTES SEDIMENTARIOS
CARBONÁTICO - RECIENTES DE AGUAS SOMERAS PRESENTES EN LA
ISLA GRAN ROQUE, PARQUE NACIONAL ARCHIPIÉLAGO LOS
ROQUES, DEPENDENCIAS FEDERALES”**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
para optar al Título de Ingeniero Geólogo
Por el Br. Jesús R. Padilla V.

Caracas, Junio 2003

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**“CARACTERIZACIÓN DE AMBIENTES SEDIMENTARIOS
CARBONÁTICO - RECIENTES DE AGUAS SOMERAS PRESENTES EN LA
ISLA GRAN ROQUE, PARQUE NACIONAL ARCHIPIÉLAGO LOS
ROQUES, DEPENDENCIAS FEDERALES”**

TUTOR: Prof. Rafael Falcón.
COTUTORA: Prof. María Eugenia Sandoval.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
para optar al Título de Ingeniero Geólogo
Por el Br. Jesús R. Padilla V.

Caracas, Junio 2003

ACTA DE LA EVALUACION DEL TRABAJO ESPECIAL DE GRADO DEL BR. JESUS RAFAEL PADILLA, DEPARTAMENTO DE GEOLOGÍA.

El jurado evaluador de la exposición y defensa del Trabajo Especial de Grado intitulado "Caracterización de los ambientes sedimentarios carbonáticos recientes de la Isla Gran Roque, Archipiélago Los Roques, Dependencias Federales", por el Br. Jesús Rafael Padilla, realizada el día 5 de junio del 2003, en el Salón Guillermo Zuloaga de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, queremos dejar sentado en esta acta que:

1. Considerando que el trabajo evaluado representa meritoriamente el arduo esfuerzo personal del Br. Padilla en la consecución de la excelencia académica y científica,
2. Considerando que el trabajo evaluado enriquece significativamente el conocimiento de la geología de los depósitos sedimentarios carbonáticos recientes de la Isla Gran Roque,
3. Considerando que el trabajo evaluado merece ser divulgado ante la comunidad científica y cultural dentro y fuera de Venezuela, por su gran valor como fuente de información y consulta,
4. Considerando que el trabajo evaluado enaltece el buen nombre de nuestro Departamento de Geología y de la Ilustre Universidad Central de Venezuela,

Acordamos:

1. Solicitar le sean concedidas al Br. Jesús Rafael Padilla, la Mención de Honor y la Mención Publicación.
2. Exhortar al Jefe del Departamento de Geología, a realizar las gestiones necesarias ante los entes competentes, para el otorgamiento al Br. Jesús Rafael Padilla de las menciones antes citadas.

En Caracas, a los nueve días del mes de junio del 2003.

El Jurado Evaluador


Prof. Rafael Falcón


Prof. Ricardo Alezones


Prof. Jorge Mora

Padilla V., Jesús R.

**“CARACTERIZACIÓN DE AMBIENTES SEDIMENTARIOS
CARBONÁTICO - RECIENTES DE AGUAS SOMERAS PRESENTES EN LA
ISLA GRAN ROQUE, PARQUE NACIONAL ARCHIPIÉLAGO LOS
ROQUES, DEPENDENCIAS FEDERALES”**

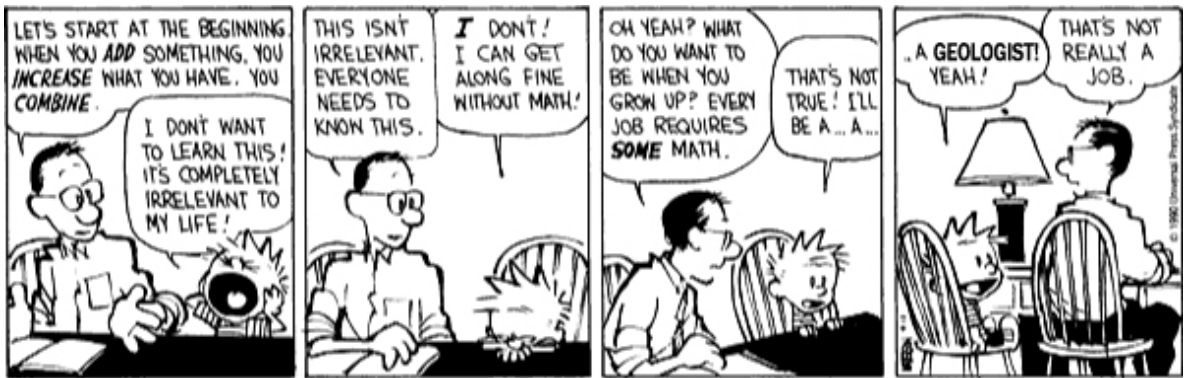
**Tutores Académicos: Profs. Rafael Falcón y María Eugenia Sandoval.
Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y
Geofísica. Junio 2003.**

Palabras Claves: Los Roques, Ambientes sedimentarios, Carbonatos recientes,
Dependencias Federales de Venezuela.

Resumen: Se realizó el estudio en detalle de los sedimentos depositados en los ambientes marino somero recientes, presentes en la isla Gran Roque ubicada en la zona noreste del Parque Nacional Archipiélago Los Roques, a 160 km al norte de La Guaira. En total se registraron seis facies para sedimentos no consolidados y dos para roca de playa distribuidas entre nueve ambientes sedimentarios ubicados dentro de las zonas supramareal, intermareal y submareal. Además se determinaron cinco biofacies definidas por la presencia de *Acropora palmata*, *A. cervicornis*, *Amphistegina sp* – *Archaias sp*, Ostrácodos – *Ammonia sp* y miliólidos.

De la misma forma, se estableció que los ambientes sedimentarios recientes se desarrollan dentro de una etapa de diagénesis temprana, abarcando las zonas marino freática estancada y activa, vadosa de agua dulce y de mezcla. Igualmente se identificaron las zonas de alta, moderada y baja energía de transporte, las cuales influyen en la procedencia de los diversos componentes que constituyen los sedimentos recientes.

Se planteó un modelo sedimentológico conceptual, en donde se muestra la evolución de los ambientes sedimentarios marino somero recientes, en la isla Gran Roque para los últimos 128 ka, basándose en la dinámica depositacional actual y los sucesivos cambios en el nivel del mar, provocados por el Interestadial Sangamon, los interestadiales menores post Sangamon, la Glaciación Wisconsin y la transgresión holocena.



Modificado de Calvin & Hobbes ® Bill Watterson

*A la memoria de Hilda, Carmen
Elena, Isabel, Antonia, Silvia, Luisa,
Pepe y al Profe Omar Rojas.*

AGRADECIMIENTOS:

A la Universidad Central de Venezuela, la que siempre “vence a la sombra”, por todas las vivencias y formación brindadas durante mi estadía como estudiante de pregrado.

A la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, de la Facultad de Ingeniería, por la formación como profesional de las Ciencias de la Tierra y por la oportunidad que me otorgó para desarrollar el Trabajo Especial de Grado.

A la Dirección General Sectorial de Parques Nacionales de INPARQUES, en especial a la Geog. Carmen González, por la colaboración prestada en los trámites y permisología necesarios para la consecución de este proyecto.

A la Superintendencia del Parque Nacional Archipiélago Los Roques, a cargo del Ing. Jesús Durán, a la T.S.U. Evens Arismendi, a todo el personal administrativo y de guardaparques, por su apoyo logístico e interés mostrado a esta investigación.

Al Profesor Rafael Falcón, por la gentileza de servir de tutor de este trabajo. Gracias “Rafa” por todas las recomendaciones, sugerencias y revisiones. Pero sobre todo, gracias por rescatar este proyecto en los momentos más difíciles.

Al Profesor Ricardo Alezones, por permitirme usar las facilidades del Laboratorio de Petrología Ígneo Metamórfica, por su disposición a la discusión y aportes a la investigación, Gracias por su amistad y confianza en la culminación de este proyecto.

Al Profesor Víctor Padrón, por su colaboración durante la etapa de reconocimiento micropaleontológico requeridas para esta investigación.

A los Profesores Franck Audemard, Franco Urbani, José Méndez, Olga Rey y María Eugenia Sandoval, por sus sugerencias, comentarios y apoyo a esta investigación.

Al Ing. Juan Carlos Suárez, por los largos ratos de reflexión, discusión y revisión hasta último momento. Gracias hermano por todo el empuje y confianza que brindaste a este trabajo.

Al Ing. Tulio Peraza, por las recomendaciones sobre metodología, bibliografía a consultar y “tips” en el reconocimiento paleontológico.

A los Ingenieros Luis Camposano, Mariela Noguera y Joseph Cedillo, por sus recomendaciones en la confección y análisis de dendrogramas, así como la utilización del Software NCSS® necesario para el estudio estadístico de agrupaciones.

A Gustavo Nieto y el Sr. Flores (quién falleció antes de la culminación de este informe) por su paciencia en la elaboración de las secciones finas en muestras poco consolidadas.

Al personal de la Biblioteca de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, en especial a la Lic. Morella Mikaty y al “flaco” Eduardo, por toda la ayuda prestada.

Al personal administrativo de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, a María Auxiliadora y Eunice, por toda la agilización de trámites correspondientes a la presentación de este Trabajo Especial de Grado.

A los Sres. Eduardo Rojas y Manuel Chavarri por su colaboración en la digitalización de los mapas cartográficos.

A los “viejos” compañeros en la escuela: Lilian Navarro, Leticia Ortega Ramón González, Aitor Ichaso, Siul Rodríguez, Lucía Barboza, Adrián “Koala” Castillo, Erika González, Elisa Ochoa, Erick Calderón, Elías Varela, Herbert Fournier, Luis Melo, Juancho Michelangeli, Eduardo “Highlander” Rojas, Nora Cueto y Mariela López, así como también a los “nuevos” compañeros: José Ramón “Moncho” Pérez, Jonathan Parra, Pedro Pablo Omaña, Mauricio Tagliaferro, Rosa Polanco, Pablo Ghinaglia, Adriana González, Márgaret Álvarez, Lissed Schmidt, Iván Arias, Iván Barito, Jesús (fotocopiadora) y a todos los ex alumnos de la práctica de Geología Física, por su amistad, apoyo y consejos

Al Centro Excursionista y Conservacionista de Biología CECOBIO, por incentivar mi afición al excursionismo. Gracias por tantas vivencias, experiencia y conocimientos, puestos a prueba en cada jornada de campo durante mi carrera.

A los “panas” de Juegos Ecológicos, en especial a los del Parque del Este durante los años 1985 –1993, por su amistad y constante camaradería aún presente entre nosotros luego de tanto tiempo

A los “volones” Raúl Moredo y Antonio León por su amistad, interés y horas de instrucción frente a la cessa.

A mis amigos, primos y tíos que siempre estuvieron pendientes de mis progresos durante la carrera.

A la familia Boulaine Vásquez y la Lic. María Elisa Vásquez, por su apoyo, colaboración y ayuda financiera durante la carrera.

A mis hermanos Miguel, Rafael Eduardo y Carlos por su interés y colaboración.

A papá por su apoyo y entusiasmo silencioso.

A ti Franca, por todo tu amor, paciencia y confianza durante la carrera.

A los que creyeron en mi, por su confianza.

A los que no creyeron en mi, por llevarles la contraria.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	Pag: i
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE GENERAL	vii
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE TABLAS	xix

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN:	1
1.1.- OBJETIVOS Y ALCANCE:	1
1.1.1.- Objetivos:	1
1.1.2.- Alcance:	1
1.2.- UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO:	2
1.3.- METODOLOGÍA:	3
1.3.1.- Etapa Preliminar:	3
1.3.2.-Etapa de Campo:	3
1.3.2.1.- <u>Muestras de Superficie</u> :	4
1.3.2.2.- <u>Calicatas</u> :	5
1.3.2.3.- <u>Muestras de laguna</u> :	7
1.3.2.4.- <u>Muestras de roca de playa</u> :	8
1.3.2.5.- <u>Muestreo in situ en terrazas de tormenta</u> :	8
1.3.2.6.- <u>Muestreo en manglares</u> :	9
1.3.3.- Etapa de Laboratorio:	9
1.3.3.1.- <u>Análisis textural de los sedimentos superficiales</u> :	10
1.3.3.2.- <u>Análisis de datos granulométricos</u> :	11
1.3.3.3.- <u>Análisis textural de los sedimentos de terrazas de tormenta</u> :	14
1.3.3.4.- <u>Análisis textural de los sedimentos en calicatas y lagunas</u> :	14
1.3.3.5.- <u>Análisis composicional y paleontológico</u> :	15
1.3.3.6.- <u>Análisis petrográfico</u> :	16

1.3.3.7.- <u>Análisis de agrupaciones:</u>	16
1.3.3.8.- <u>Clasificación de facies sedimentarias:</u>	18
1.4.- TRABAJOS PREVIOS:	19

CAPÍTULO II

2.- GEOGRAFÍA FÍSICA:	21
2.1 GEOMORFOLOGÍA :	21
2.1.1.- Geomorfología local:	22
2.2.- BATIMETRÍA:	25
2.3.- CLIMATOLOGÍA:	25
2.3.1.- Meteorología:	26
2.3.1.1.- <u>Régimen de temperatura:</u>	26
2.3.1.2.- <u>Humedad relativa:</u>	27
2.3.1.3.- <u>Presión atmosférica:</u>	28
2.3.1.4.- <u>Vientos:</u>	28
2.3.1.5.- <u>Nubosidad:</u>	28
2.3.1.6.- <u>Precipitación y Evaporación:</u>	29
2.3.1.7.- <u>Insolación:</u>	31
2.3.2.- Oceanografía:	31
2.4.- FLORA Y FAUNA:	31

CAPÍTULO III

3.- GEOLOGÍA REGIONAL:	34
3.1.- MARCO ESTRUCTURAL REGIONAL:	34
3.1.1.- Consideraciones morfo-batimétricas regionales:	34
3.1.1.1.- <u>Cuenca de Venezuela:</u>	34
3.1.1.2.- <u>Cumbre de Curazao:</u>	35
3.1.1.3.- <u>Fosa de Los Roques:</u>	37
3.1.1.4.- <u>Fosa de Bonaire:</u>	37
3.1.2.- Estructuras de deformación principales:	38

3.1.2.1- <u>Cinturón de Deformación del Caribe Sur:</u>	38
3.1.2.2- <u>Bloque de Bonaire:</u>	39
3.1.3.- Evolución Tectónica Regional:	40
3.2.- MARCO GLACIO-EUSTÁTICO REGIONAL:	44
3.2.1.- Interglacial Sangamon:	45
3.2.2.- Glaciación Wisconsin:	45
3.2.3.- Transgresión Holocena:	46
3.3.- ESTRATIGRAFÍA REGIONAL:	46
3.3.1.- Isla Gran Roque:	47
3.3.1.1- <u>Complejo Meta-Ígneo de Gran Roque:</u>	47
3.3.1.2.- <u>Formación Los Roques:</u>	50
3.3.2.- Archipiélago Las Aves:	52
3.3.2.1- <u>Caliza de Las Aves:</u>	53
3.3.3.- Isla La Orchila:	53
3.3.3.1- <u>Complejo Ígneo Metamórfico de La Orchila:</u>	54
3.3.3.2- <u>Formación La Orchila:</u>	56
3.3.4.- Cordillera de la Costa:	57
3.3.4.1.- <u>Asociación Metamórfica Ávila (Complejo Ávila):</u>	58
3.3.4.2.- <u>Grupo Cabo Blanco:</u>	58

CAPÍTULO IV

4.- GEOLOGÍA LOCAL:	61
4.1.- GENERALIDADES:	61
4.2.-FACIES SEDIMENTARIAS:	63
4.2.1.- F1 : Wackestone – Mudstone yesífero:	66
4.2.2.- F2 : Packstone yesífero:	69
4.2.3.- F3 : Packstone - Grainstone – Rudstone:	71
4.2.4.- F4 : Wackestone – Packstone:	76
4.2.5.- F5 : Rudstone – Grava de peñas:	78
4.2.6.- F6 : Turba:	82

4.2.7.- FRP1: Rudstone:	84
4.2.8.- FRP2: Grainstone – Rudstone:	88
4.3.- AMBIENTES SEDIMENTARIOS:	90
4.3.1.- Zona Supramareal:	91
4.3.1.1.- <u>Llanuras de marea ó “Tidal Flats”</u> :	91
4.3.1.2.- <u>Terrazas de tormenta</u> :	93
4.3.1.3.- <u>Zona de playa alta ó “Backshore”</u> :	96
4.3.2.- Zona Intermareal:	100
4.3.2.1.- <u>Zona de playa baja ó “Foreshore”</u> :	101
4.3.2.2.- <u>Costa Rocosa</u> :	103
4.3.2.3.- <u>Canales de Marea</u> :	105
4.3.2.4.- <u>Diques y canales interlagunares</u> :	107
4.3.2.5.- <u>Manglares</u> :	109
4.3.3.- Zona Submareal:	111
4.3.3.1.- <u>Zona de Arrecife</u> :	112
4.3.3.2.- <u>Lagunas Internas</u> :	116
4.4.- BIOFACIES:	120
4.4.1.- Generalidades:	120
4.4.2.- Relación biofacies - ambientes sedimentarios:	121
4.5.-DIAGÉNESIS:	122
4.5.1.-Definición:	122
4.5.2.-Procesos químicos:	122
4.5.2.1.- <u>Cementación</u> :	122
4.5.2.2.- <u>Neomorfismo</u> :	125
4.5.2.3.- <u>Reemplazo</u> :	127
4.5.2.4.- <u>Disolución</u> :	127
4.5.2.5.- <u>Compactación</u> :	130
4.5.3.-Procesos biológicos:	130
4.5.3.1.- <u>Agregación</u> :	131
4.5.3.2.- <u>Micritización microbiana</u> :	132

4.5.3.3.- <u>Bioturbación:</u>	132
--------------------------------	-----

CAPÍTULO V

5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS:	
5.1. -AMBIENTES DIAGENÉTICOS:	
5.1.1.- Zona marina freática:	136
5.1.2.- Zona vadosa de agua dulce:	136
5.1.3.- Zona freática de agua dulce:	136
5.1.4.- Zona de ambiente de mezcla:	137
5.2.- PROCEDENCIA DE LOS CLASTOS:	138
5.2.1.- Corales:	140
5.2.1.1- <u>Comunidad de <i>Acropora palmata</i>:</u>	140
5.2.1.2- <u>Comunidad de <i>Acropora cervicornis</i>:</u>	141
5.2.1.3- <u>Comunidad de <i>Porites sp.</i>:</u>	141
5.2.1.4- <u>Comunidad de <i>Montastrea sp.</i>:</u>	143
5.2.2.- Halimedas:	144
5.2.3.- Foraminíferos:	144
5.2.3.1- <u>Asociación de <i>Amphistegina- Archaias</i>:</u>	144
5.2.3.2- <u>Asociación de <i>Peneroplis - Archaias</i>:</u>	146
5.2.3.3- <u>Asociación de <i>Ammonia- Miliólidos</i>:</u>	147
5.2.4.- Ostrácodos:	147
5.2.5.- Bioclastos:	148
5.2.6.- Fragmentos de Rocas Meta-Ígneas:	149
5.2.7.- Fragmentos de Rocas Sedimentarias:	149
5.3.- RELACIÓN ENERGÍA DE TRANSPORTE – AMBIENTES SEDIMENTARIOS:	150
5.3.1.-Zona de alta energía:	151
5.3.2.- Zona de moderada energía:	152
5.3.3.-Zona de baja energía:	152
5.4.- MODELO SEDIMENTOLÓGICO CONCEPTUAL:	153
5.4.1.- Etapa 1: Pleistoceno Tardío 128 ka.	153

5.4.2.- Etapa 2: Pleistoceno Tardío 105 – 18 ka.	154
5.4.3.- Etapa 3: Holoceno 15 – 7 ka.	155
5.4.4.- Etapa 4: Holoceno 7–2 ka.	155
5.4.5.- Etapa 5: Holoceno 2 ka – presente.	157
	158
CAPÍTULO VI	160
6.- CONCLUSIONES:	
CAPÍTULO VII	162
7.- RECOMENDACIONES:	
CAPÍTULO VIII	166
8.- BIBLIOGRAFÍA:	
ANEXOS	167

LISTA DE FIGURAS

		Pag:
Figura 1.1.	Ubicación de la zona de estudio	2
Figura 1.2.	Parte de las actividades de procesamiento y recolección de datos durante el período de campo.	5
Figura 1.3.	Excavación y estudio de sedimentos en calicatas.	6
Figura 1.4.	Detalle de una cuña de sedimentos extraída a partir de un “box-core”	7
Figura 1.5.	Instalaciones y parte del equipo utilizado durante la etapa de laboratorio.	9
Figura 1.6	Diagrama de formas de ZINGG (1934) modificado de BOGGS (1995).	14
Figura 1.7	Diagrama de estimación visual de redondez y esfericidad de POWERS (1953) modificado de BOGGS (1995).	15
Figura 1.8	Pantalla de trabajo del software NCSS 2000®, utilizado para el análisis de agrupaciones.	17
Figura 2.1	Parque Nacional Archipiélago Los Roques.	21
Figura 2.2.	Fotomosaico isla Gran Roque (Misión 060107 –1973).	22
Figura 2.3.	Cerros Occidental, Central y Oriental en la isla Gran Roque (Rumbo foto N80W).	23
Figura 2.4.	Vista parcial de la planicie costera y sus ambientes sedimentarios (Rumbo foto S50E).	24
Figura 2.5.	Mapa batimétrico del Archipiélago Los Roques.	26
Figura 2.6.	Histograma de frecuencia para las temperaturas máximas mensuales entre 1969 y 1999 para la estación meteorológica La Orchila (GADEA, 1996, 2001)	27
Figura 2.7.	Histograma de frecuencia para la humedad relativa mensual entre 1969 y 1999 para la estación meteorológica La Orchila (GADEA, 1996, 2001).	27

Figura 2.8.	Histograma de frecuencia para la presión atmosférica (hectopascales) mensual entre 1969 y 1999 para la estación meteorológica La Orchila (GADEA, 1996, 2001).	28
Figura 2.9.	Histograma de frecuencia para la velocidad de viento (kph) entre 1969 y 1998 para la estación meteorológica La Orchila (GADEA, 1996, 2001).	29
Figura 2.10.	Histograma de frecuencia para la nubosidad (en octantes) entre 1969 y 1998 para la estación meteorológica La Orchila (GADEA, 1996, 2001).	29
Figura 2.11.	Histograma de frecuencia comparativo entre la evaporación y la precipitación mensual entre 1969 y 1997 para la estación meteorológica La Orchila (GADEA, 1996, 2001).	30
Figura 2.12.	Histograma de frecuencia para el régimen de insolación mensual (horas/día) entre 1969 y 1995 para la estación meteorológica La Orchila (GADEA, 1996, 2001).	30
Figura 2.13.	Lagartija o “guaripete” negro (<i>Chemidophorus lemniscatus</i>), rodeado de tallos y hojas de la hierba de vidrio (<i>Sessuvium portulacastrum</i>).	32
Figura 3.1.	Imagen espacial captada por un transbordador espacial estadounidense, donde se aprecia la región noroeste de Venezuela, las Antillas Holandesas así como los Archipiélagos de Las Aves y Los Roques.	35
Figura 3.2.	Mapa batimétrico regional. Modificado de GONZÁLEZ DE JUANA <i>et al.</i> (1980).	36
Figura 3.3.	Mapa estructural regional. Modificado de SILVER <i>et al.</i> (1975).	38
Figura 3.4.	Reconstrucción del Norte de Sudamérica para el Neocomiense (120 Ma). Tomado de OSTOS (1990).	40
Figura 3.5.	Reconstrucción del Norte de Sudamérica para el Albiense Tardío (100 Ma). Tomado de OSTOS (1990).	41
Figura 3.6.	Reconstrucción del Norte de Sudamérica para el Eoceno Temprano. Tomado de OSTOS (1990).	41
Figura 3.7.	Reconstrucción del Norte de Sudamérica para el Eoceno Tardío (140 Ma). Tomado de OSTOS (1990).	42
Figura 3.8.	Reconstrucción del Norte de Sudamérica para el Oligoceno Tardío (28 Ma). Tomado de OSTOS (1990).	43

Figura 3.9.	Reconstrucción del Norte de Sudamérica para el Mioceno Tardío. Tomado de OSTOS (1990).	43
Figura 3.10.	Curva de variación del nivel del mar durante los últimos 128 Ka. Modificado de LAMBECK & CHAPPELL (2001)	44
Figura 3.11.	Diques de diorita intrusionando un cuerpo de meta-diabasa ubicado al oeste del cerro Central en el Gran Roque. Escala 35 cm aproximadamente.	48
Figura 3.12.	Detalles del Complejo Meta-Ígneo de Gran Roque.	50
Figura 3.13.	Terraza calcárea perteneciente a la Formación Los Roques, ubicada al sur del cerro Occidental. (Rumbo foto N30E).	51
Figura 3.14.	Capa de conglomerados de la Formación Los Roques, ubicada al sureste del cerro Central. Al fondo el cerro Oriental (Rumbo foto N45E).	52
Figura 4.1.	Principales unidades litoestratigráficas presentes en la isla Gran Roque. Fotomosaico misión 060107.	62
Figura 4.2.	Dendrograma realizado con el software NCSS 2000®, utilizando el método del vecino más lejano, distancia euclidiana y ocho variables composicionales. Obsérvese la interpretación preliminar de facies, resultante de la agrupación efectuada por el programa	64
Figura 4.3.	Fotografía de la calicata 40 donde se observa a la facies F1 en las capas superiores ricas en limos y cristales de yeso.	68
Figura 4.4.	Distribución porcentual de los componentes en la muestra CAL-34-C3, típicos para la facies F1.	68
Figura 4.5.	Fotografía de la calicata 46. Obsérvese la capa de color grisáceo correspondiente a la facies F2, suprayacente a la facies F3.	70
Figura 4.6.	Distribución porcentual de los componentes en la muestra CAL-35-C4, típicos para la facies F2.	70
Figura 4.7.	Histograma de frecuencia para la distribución granulométrica en la grava LR-AR-8.	72
Figura 4.8.	Histograma de frecuencia para la distribución granulométrica en la arena LR-AR-12.	72

Figura 4.9.	Fotografía de la calicata 44. Nótese la capa de color grisáceo pertenecientes a sedimentos parcialmente consolidados de la facies F3.	75
Figura 4.10.	Distribución porcentual de los componentes en la muestra CAL-1-C3, perteneciente a la facies F2	75
Figura 4.11.	Fotografía de la calicata 51 mostrando una secuencia de packstone wackstone, pertenecientes a la facies F4.	77
Figura 4.12.	Distribución porcentual de los componentes en la muestra CAL-50-C1, correspondiente a la facies F4.	77
Figura 4.13.	Diagrama de dispersión de ZINGG (1934) para las partículas pertenecientes a la terraza de tormenta nororiental.	79
Figura 4.14.	Histograma de frecuencia relativa de los ejes largos medidos en la estación Mal Viento 2. Obsérvese la bimodalidad en la distribución de tamaños.	79
Figura 4.15.	Detalle una sección de terraza de tormenta, donde se aprecian las gravas de corales y rocas meta-ígneas, pertenecientes a la facies F5. Longitud de la escala 35 cm.	81
Figura 4.16.	Distribución porcentual de las distintas especies de corales y otros componentes de la facies F5 en la Sección 2.	81
Figura 4.17.	Muestras de turba extraídas en los manglares orientales, por medio de tubos plásticos de pvc.	83
Figura 4.18.	Distribución porcentual de los componentes de la facies F6.	83
Figura 4.19.	Fotografía de la roca de playa que conforma la facies FRP1, situada en la costa nororiental del Gran Roque. (Rumbo foto N40W)	85
Figura 4.20.	Fotomicrografía (nícoles cruzados) de la sección fina LR-RP-6B, destacando un fragmento de espina de equinodermo rodeado por bioclastos y restos de halimedas micritizadas de color pardo rojizo y cementadas por aragonito.	85
Figura 4.21.	Distribución porcentual de los distintos componentes en la sección fina LR-RP-7C, característicos en la facies FRP1.	87
Figura 4.22.	Fotografía de la roca de playa situada en la costa sur de la isla Gran Roque. Obsérvese la estratificación paralela y ligero buzamiento sur. (Rumbo foto N60W)	89

Figura 4.23.	Fotomicrografía (nícoles cruzados) de la sección fina LR-RP-8, donde se observa un foraminífero (miliólido) entre bioclastos y restos de halimedas micritizadas de color pardo rojizo y cementadas por aragonito.	89
Figura 4.24.	Distribución porcentual de los distintos componentes en la sección fina LR-RP-11, característicos en la facies FRP2.	90
Figura 4.25.	Aspecto de la llanura de marea del Gran Roque, desde el cerro Oriental. (Rumbo foto S70W)	92
Figura 4.26.	Cangrejo violinista (<i>Uca sp.</i>) y madriguera.	93
Figura 4.27.	Terraza de tormenta de la Boca del Mal Viento. (Rumbo foto S80E)	94
Figura 4.28.	Ubicación de las terrazas de tormenta en el Gran Roque. Fotomosaico misión 060107.	95
Figura 4.29.	Fotografía del sector oriental del Gran Roque, donde se aprecia la posición de la terraza de tormenta nororiental respecto a otros ambientes. (Rumbo foto S60W).	96
Figura 4.30.	Fotografía del pueblo del Gran Roque. Nótese la geometría característica de la zona de playa alta o “backshore” y su cobertura parcial de vegetación en comparación con la llanura de marea. (Rumbo foto S20E).	98
Figura 4.31.	Rizaduras estabilizadas por vegetación superficial, ubicadas en el sector occidental de la costa sur del Gran Roque. Escala: 1m. (Rumbo foto S85E).	99
Figura 4.32.	Rizaduras estabilizadas por vegetación superficial, ubicadas en el sector oriental del Gran Roque, entre la pista de aterrizaje y el pueblo. Obsérvese la sombra de la pala, proyectada de forma cuasi perpendicular sobre la traza de la cresta, durante el amanecer. Escala: 1 m. (Rumbo foto S30W).	100
Figura 4.33.	Aspecto del área de playa baja o “foreshore” característico en la costa sur del Gran Roque. (Rumbo foto S70E)	101
Figura 4.34.	Diferentes aspectos de la zona de playa baja o “foreshore”.	103
Figura 4.35.	Costa rocosa asociada a los depósitos de tormenta nororientales del Gran Roque. (Rumbo foto N70E)	105

Figura 4.36.	Detalle de la fotografía aérea 060107-126, donde se aprecia el canal de marea que comunica el mar con la laguna Norte.	106
Figura 4.37.	Ubicación del canal de marea que comunican las aguas de la laguna Sur con el mar. (Rumbo foto S15E).	107
Figura 4.38.	Área de lagunas internas en la isla Gran Roque. (Rumbo foto S35E)	108
Figura 4.39.	Distribución de las distintas especies de mangle y los distintos ambientes mareales donde habitan. Tomado de REY & RUTLEDGE (2002)	110
Figura 4.40.	Zona anegadiza donde prospera el mangle negro (<i>Avicennia nitida</i>) en las adyacencias a la laguna de Los Troncos.	111
Figura 4.41.	Fotomosaico de la costa de sotavento del Gran Roque, destacando los ambientes de sedimentación internos, así como los sedimentos depositados dentro de la plano arrecifal sur. (Rumbo fotomosaico S15W).	115
Figura 4.42.	Fotomosaico del sector oriental del Gran Roque, tomado desde el cerro Oriental. En esta zona se muestran las distintas lagunas y ambientes asociados. Al fondo se observa el cayo Madrizquí. (Rumbo fotomosaico S45E).	117
Figura 4.43.	Algunos de los microfósiles reportados entre los sedimentos del Gran Roque, empleados para determinar las biofacies: <i>Peneroplis sp.</i> Muestra: CAL50-C2 (a); <i>Amphistegina sp</i> rodeada de <i>Archaias sp.</i> Muestra: LR-AR-9 (b); ostrácodos. Muestra: BC-4-C1 (c); miliólidos varios. Nuestra:BC-5-C1 (d).	120
Figura 4.44.	Fotomicrografía (nícoles cruzados) de la sección LR-RP-3A. Se observa cemento aragonítico fibroso relleno parcialmente la porosidad fenestral entre dos fragmentos de <i>Halimeda sp</i> micritizados.	125
Figura 4.45.	Fotomicrografía (nícoles cruzados) parcialmente teñida con alizarina roja, correspondiente a la sección fina LR-RP-6B. Nótese la diferencia de color entre la calcita alta en Mg y baja en Mg.	126
Figura 4.46.	Restos de coral afectados por procesos de disolución en los depósitos de tormenta. Obsérvese la porosidad y coloración en los clastos.	129
Figura 4.47.	Aspecto de las bioturbaciones más comunes entre los sedimentos recientes del Gran Roque	133

Figura 5.1.	Fotomosaico (misión 060107) con la interpretación de procedencia de los sedimentos. Escala gráfica: pista de aterrizaje (900 m aproximadamente).	142
Figura 5.2.	Distribución de algunos foraminíferos típicos de plataformas carbonáticas, destacando: <i>Amphistegina sp.</i> , <i>Peneroplis sp.</i> y miliólidos. Modificado de BOERSMA (1978).	146
Figura 5.3.	Etapa 1. Reconstrucción paleogeográfica para el Pleistoceno Tardío (128 ka) correspondiente al Interglacial Sangamon.	155
Figura 5.4.	Etapa 2. Reconstrucción paleogeográfica para el área del Gran Roque durante el apogeo de la Glaciación Wisconsin (18ka) (128 ka).	156
Figura 5.5.	Etapa 3. Reconstrucción paleogeográfica para el Holoceno, durante la primera etapa de la Transgresión Flandriense (15-7ka)	158
Figura 5.6.	Etapa 4. Reconstrucción paleogeográfica para la segunda etapa de la Transgresión holocena (7-2 ka)	159
Figura 5.7.	Etapa 5. Reconstrucción paleogeográfica para el final de la Transgresión holocena (2 ka hasta el presente). Notese la progresiva migración de los planos arrecifales y líneas de costa hacia la periferia de la isla Gran Roque.	161

LISTA DE TABLAS

	Pag:
Tabla 1.1. Equivalencia entre tipo de tamices, aberturas y escala phi correspondiente. Tomado y modificado de RIVAS & ROJAS (1997).	10
Tabla 1.2. Escala granulométrica de KRUMBEIN (1934) modificada por BLAIR & MAC PHERSON (1999).	12
Tabla 1.3. Clasificación de carbonatos según DUNHAM (1962), tomado de BOGGS (1995).	13
Tabla 4.1. Correspondencia entre las biofacies identificadas, con las facies y ambientes sedimentarios presentes en el Gran Roque	121
Tabla 4.2. Principales tipos de cemento en carbonatos. Modificado de FLÜGEL (1982).	124
Tabla 4.3. Principales tipos de neomorfismo. Modificado de FLÜGEL (1982).	126
Tabla 4.4. Principales tipos de compactación. Modificado de TUCKER & WRIGHT (1990).	130
Tabla 4.5. Clasificación de agregados. Modificado de TUCKER & WRIGHT (1990)	131
Tabla 4.6. Organismos asociados a procesos de bioturbación y su relación con las distintas facies y ambientes sedimentarios en la isla Gran Roque.	134
Tabla 5.1. Características de las zonas freáticas, definidas por (FLÜGEL, 1982).	137
Tabla 5.2. División de la zona vadosa de agua dulce según LONGMAN (1980).	138
Tabla 5.3. Características de las zonas freáticas, definidas por (FLÜGEL, 1982).	139

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN:

1.1.- OBJETIVOS Y ALCANCE:

1.1.1.- Objetivos:

El objetivo principal de este trabajo, consiste en realizar un estudio detallado de los ambientes de depositación carbonático recientes, desarrollados sobre aguas someras en la isla Gran Roque.

Para lograr ésto se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Analizar las características granulométricas y texturales de los sedimentos presentes en cada ambiente.
- Efectuar un análisis composicional de las diferentes especies que constituyen los sedimentos.
- Relacionar los ambientes sedimentarios y la biota presente, dentro del sistema de depositación de carbonatos desarrollado en el archipiélago.
- Establecer las diferentes condiciones energéticas de depositación involucradas
- Establecer las condiciones diagenéticas que intervienen o intervinieron dentro del proceso de sedimentación carbonática de la isla.
- Proponer un modelo sedimentológico conceptual donde se expongan los distintos procesos sedimentarios y su posible evolución durante los últimos 128 ka.
- Elaborar un mapa de la zona en donde se observen los distintos ambientes sedimentarios identificados, así como las distintas litologías y rasgos geomorfológicos presentes en la isla Gran Roque.

1.1.2.- Alcance:

El trabajo esta orientado hacia el estudio de los sedimentos recientes, presentes en la isla Gran Roque, hasta una profundidad máxima de dos (2) metros, y

la elaboración de un modelo sedimentológico conceptual, que sugiera una posible evolución de los ambientes sedimentarios modernos durante los últimos 128 ka.

No se tiene previsto el análisis detallado de la Formación los Roques, ni de las rocas meta-ígneas, cuyas contactos, espesores y su relación con los sedimentos recientes, pudieran ser objeto de estudio en trabajos posteriores.

1.2.- UBICACIÓN Y VÍAS DE ACCESO:

La isla Gran Roque está ubicada en el sector nororiental del Parque Nacional Archipiélago Los Roques a 86 millas náuticas (160 km) al norte de La Guaira, en el litoral central venezolano y sus coordenadas geográficas son 11° 57' N y 66° 40' W (SCHUBERT & MOTICKA, 1971). El Gran Roque se presenta como una cuña alargada en dirección noroeste con una longitud de 3 km y una anchura máxima de 1,7 km en el sector oriental, representando el principal asentamiento poblacional de las Dependencias Federales (ver Figura 1.1).

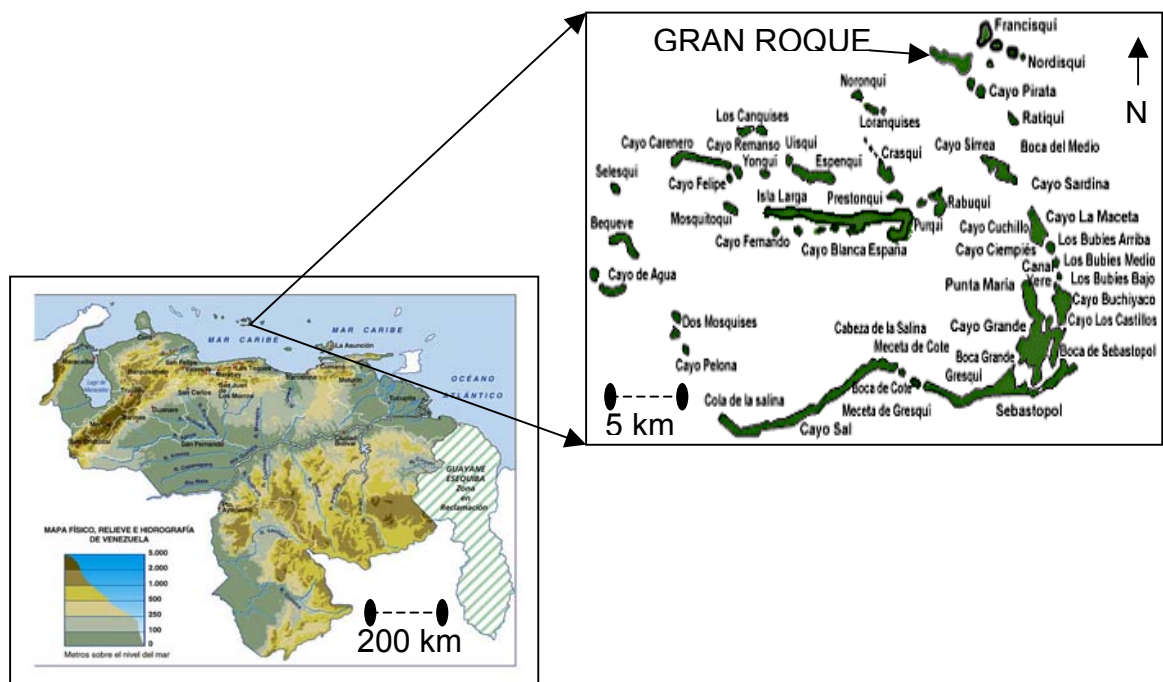


Figura 1.1. Ubicación de la zona de estudio

Al Parque Nacional Archipiélago Los Roques se le accede por vía marítima a través de tres rutas: al sureste por Sebastopol, suroeste por Dos Mosquises y al noreste por los Francisquices. El transporte por esta vía lo conforman embarcaciones deportivas de pequeño a mediano calado, además de lanchas de cabotaje y pequeños pesqueros del tipo “hieleras”. Sin embargo, el transporte aéreo que llega directamente al Gran Roque, es la vía de acceso mas utilizada tanto por los habitantes del lugar, como del público turista. Son varias las líneas aéreas que prestan servicio regular, como Aereotuy, Aeroejecutivos, Transaven, Sol de América, al mismo tiempo que llegan pequeños aviones en vuelos charter o privados.

1.3.- METODOLOGÍA:

1.3.1.- Etapa Preliminar:

Esta etapa consistió en la recopilación de toda la información necesaria para la elaboración de esta investigación como trabajos previos, datos geográficos y climáticos del sector, además de la compilación bibliográfica requerida para el área de sedimentología, geología de carbonatos, ambientes sedimentarios recientes, entre otras.

De igual forma, se adquirieron ocho fotografías aéreas del Gran Roque (misión 060107, 1973) a escala 1:6000, de las cuales se desprendió el análisis fotogeológico del sector, tomando en cuenta drenaje, unidades litológicas, formas de relieve, línea de costa y ubicación de las diferentes localidades de sedimentación reciente.

Por otra parte se elaboró un mapa base de la isla a escala 1:2500, tomando como referencia los trabajos de AGUERREVERE & LÓPEZ (1938) e INPARQUES (1986), donde posteriormente se representó la información fotogeológica y de campo.

1.3.2.-Etapa de Campo:

Esta etapa fue cubierta en varios períodos de cinco a quince días de duración cada uno, teniendo como base de operaciones las instalaciones del Instituto Nacional

de Parques INPARQUES ubicadas al extremo oeste del pueblo de Gran Roque, las cuales sirvieron de oficina y alojamiento.

El traslado hacia la isla se efectuó por vía aérea, tanto en vuelos comerciales como charter. Esta última modalidad fue la mas empleada, gracias a la colaboración entre los pilotos e INPARQUES.

Durante la etapa de campo, se revisaron las distintas localidades con procesos de sedimentación reconocidos durante el análisis fotogeológico, se recolectaron muestras de sedimentos de superficie, de calicatas, lagunas y roca de playa. Además se tomaron datos *in situ* de sedimentos rudáceos, que por sus características no podía transportarse eficazmente hacia las instalaciones de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica.

De igual manera, las especies de organismos involucrados en los procesos sedimentarios, fueron identificados siguiendo los manuales de GUTIC (1996) y HUMANN (1996 a, b).

1.3.2.1.-Muestras de Superficie:

La toma de muestras de superficie se realizó en la zona costera de la isla, abarcando las playas del sector sureste, este y tres puntos situados dentro de la terraza de tormenta ubicada al noreste del Gran Roque.

Para el muestreo se utilizó una pala, recolectando de 2 a 3 kg de sedimentos ubicados dentro de la línea intermareal y ocasionalmente en las crestas de las lomas playeras y zonas detrás de cresta. El espaciado entre las muestras fue de 100 a 200 m. aproximadamente, siguiendo la línea de costa del sector sureste y este de la isla, previamente cartografiada, mediante el levantamiento de una poligonal abierta y corregida con el mapa base y las fotografías aéreas.

En cuanto a la zona de terraza de tormenta, solo se recolectaron muestras de sedimentos en cinco localidades debido a que este ambiente presenta condiciones para su estudio que implica análisis *in situ* los cuales se describirán mas adelante.

Todas las muestras fueron secadas al sol y cuarteadas (ver Figura 1.2 a), hasta obtener de 300 a 500 gr de material por ejemplar. Dichas muestras además, fueron

ubicadas en el mapa base de la isla, empacadas en bolsas plásticas (tipo “click”) y rotuladas siguiendo el siguiente esquema:

- Muestra de línea intermareal: LR (Los Roques)- AR (arenas)- Número de muestra.
- Muestra de cresta de loma playera: LR (Los Roques)- AR (arenas)- Número de muestra + A.
- Muestra de zona detrás de loma playera: LR (Los Roques)- AR (arenas)- Número de muestra + B.



Figura 1.2. Parte de las actividades de procesamiento y recolección de datos durante el período de campo. Cuarteo de sedimentos obtenidos en la zona playera (a); Cordeleta de 5 m de longitud, empleada para el muestreo de sedimentos gruesos en la terraza de tormenta nororiental. Rumbo de la foto N10E (b).

1.3.2.2.-Calicatas:

A fin de obtener información de los sedimentos en el subsuelo, se requirió de la excavación y descripción de 50 calicatas, fueron distribuidas en arreglos poligonales y lineales, espaciadas en intervalos de 35 a 165 m. Para la ubicación de estos patrones, se escogieron aquellas zonas donde los ambientes sedimentarios

estuvieran lo suficientemente expuestos, libre de vegetación y poco intervenido por actividades antrópicas. Estas condiciones fueron previamente establecidas en el análisis fotogeológico y revisadas durante el campo.

Las calicatas fueron excavadas, en forma de trincheras de 1,5 m de largo, 1 m de ancho y profundidades variables entre 22 y 135 cm, dependiendo de la profundidad del nivel freático existente al momento de la excavación, utilizando mediante el uso de pala y cuchara de albañil (ver Figura 1.3 a, b).

Una vez completadas, se identificaron y describieron las capas observables teniendo como referencia variaciones de color, textura, contenido fósil y materia orgánica, así como presencia de estructuras sedimentarias, fragmentos de roca y cristales de evaporitas. De igual manera, se cartografiaron y fotografiaron cada sitio de excavación, se midieron los espesores de cada capa, y se recolectaron muestras en aquellas calicatas que mostraran variaciones apreciables en los ambientes sedimentarios ó que estuvieran muy distanciadas entre sí.

El muestreo de estas calicatas, se realizó capa a capa en porciones de 150 a 300 gr de material, empacándose dentro de bolsas plásticas (tipo “click”) y se rotularon siguiendo el siguiente esquema:

- Muestra de calicata: LR (Los Roques)- CAL (calicata) - Número de calicata - Número de capa (de superior a inferior).

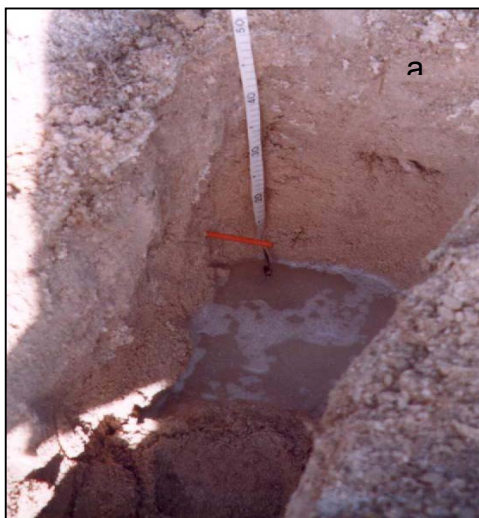


Figura 1.3. Excavación y estudio de sedimentos en calicatas. Detalle de calicata excavada en el sector oriental del Gran Roque (a); Calicata parcialmente excavada e inundada después de un breve aguacero (b).

1.3.2.3.-Muestras de laguna:

El muestreo en las lagunas internas, se realizó como complemento de las muestras de empleando una pala y una pieza de plástico de forma rectangular de 35 x 45 cm a fin de obtener superficie, con el propósito de recabar información valiosa sobre las condiciones de sedimentación subacuática presentes en el Gran Roque.

Para la obtención de las muestras se tomaron cinco “box-core” o núcleos de cajón, una “cuña” de sedimento del fondo de la laguna (ver Figura 1.4). Esta técnica de muestreo, aunque tiene como desventaja, la inaplicabilidad en cuerpos de agua cuyas profundidades sean superiores a un metro y su baja capacidad de penetración, presentan las ventajas de bajo coste, sencillez de aplicación y la preservación razonable de las estructuras y el espesor de las capas superiores.

Cada una de estos “box-cores” fueron ubicados en el mapa base, fotografiados y descritos siguiendo los mismos criterios empleados para las calicatas, en donde se identificaron las capas, se midieron sus espesores y tomaron muestras de 150 a 250 gr, que fueron igualmente empacadas en bolsas plásticas (tipo click) y rotuladas bajo la nomenclatura que se describe a continuación:

- Muestra de Laguna: LR (Los Roques)- BC (box-core) - Número de “box-core” - Número de capa (de superior a inferior).



Figura 1.4. Detalle de una cuña de sedimentos extraída a partir de un “box-core”

1.3.2.4.-Muestras de roca de playa:

Además de los sedimentos no consolidados, también se recolectaron 11 muestras de roca de playa ubicadas en el sector noreste y sur de la isla. En estas localidades, se tomaron mediciones de rumbo y buzamiento de los cuerpos rocosos, al tiempo que el muestreo se hizo dentro de la zona intermareal con espaciamiento proporcional, dependiendo de la longitud de los afloramientos.

El material recolectado fue previamente secado al sol, limpiado de restos de vegetación y otras impurezas, cubiertos en papel periódico, empacado en bolsas plásticas y etiquetado para la elaboración de secciones finas:

- Muestra de Roca de Playa: LR (Los Roques)- RP (Roca de Playa) - Número de muestra.

1.3.2.5.- Muestreo *in situ* en terrazas de tormenta:

Para estudiar las características granulométricas, texturales y composicionales de los sedimentos rudáceos presentes en las terrazas de tormenta, se requirió establecer cinco localidades de recolección de datos *in situ* a modo de transectas. Estas estaciones de muestreo se ubicaron de manera equidistante, tanto en la terraza de tormenta principal (al noreste del Gran Roque) como en la terraza menor de la “Boca del Mal Viento” situada el norte de la isla y consistieron en líneas perpendiculares a la línea de costa de 20 m de longitud, medidos desde la zona intermareal hacia tierra adentro.

Una vez demarcadas estas estaciones por medio de estacas y cordel, se estudiaron uno a uno los clastos ubicados por debajo de la línea de muestreo, teniendo en cuenta la medición de sus ejes largo, corto e intermedio (utilizando un vernier o cinta métrica), tipo de porosidad, redondez y origen (ver Figura 1.2 b). Entre las dos terrazas se recabaron datos de 770 clastos.

Toda la información, fue compilada en las libretas de campo y cada estación fue denominada como:

- Estación de muestreo *in situ*: LR (Los Roques)-Número de estación.

1.3.2.6.- Muestreo en manglares:

En la zona de manglares, se ensayó la extracción de núcleos superficiales, por medio de tubos plásticos (PVC) de 2 pulgadas de diámetro y 50 cm de longitud, los cuales se introdujeron en el terreno por percusión y se extrajeron manualmente luego de generar vacío obturando su parte superior. El material recolectado, fue descrito y analizado *in situ*, mientras que los puntos de muestreo se ubicaron en el mapa base.

El muestreo en esta zona, resultó particularmente difícil en el interior de los manglares, debido a lo pantanoso del sustrato y la gran cantidad de raíces, característico en este ambiente. Esta última peculiaridad, provocó el rápido deterioro en el material de extracción de núcleos, dada la resistencia de las raíces a la penetración de los tubos plásticos, por lo que el empleo de esta técnica se limitó a una sola localidad en el extremo oriental de la isla, prefiriéndose la descripción en muestras superficiales para el resto de la zona.

1.3.3.- Etapa de Laboratorio:

Esta etapa fue realizada en los Laboratorio de Sedimentología y de Petrografía Ígneo – Metamórfica de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la Universidad Central de Venezuela, en donde se realizaron todos los ensayos, mediciones, observaciones y preparación de muestras, además de los análisis estadísticos.



Figura 1.5. Instalaciones y parte del equipo utilizado durante la etapa de laboratorio.

1.3.3.1.- Análisis textural de los sedimentos superficiales:

Las muestras de sedimentos recolectados en las zonas playeras y de terraza de tormenta, fueron nuevamente secadas a temperatura ambiente, para luego pesarse y ser sometidas a un proceso de separación de tamaño de granos usando una torre de tamices C, A, 5, 7, 10, 14, 18, 25, 35, 45, 60, 80, 120, 170, 230 (ver Figura 1.5; Tabla 1.1), además un vibrador con control de tiempo y velocidad de agitado.

Tabla 1.1. Equivalencia entre tipo de tamices, aberturas y escala phi correspondiente. Tomado y modificado de RIVAS & ROJAS (1997).

TAMIZ Serie U.S	ABERTURA (mm)	ESCALA phi (Φ)
C	8	-3
A	6,35	-2,5
5	3,96	-1,5
7	2,79	-1
10	1,98	-0,5
14	1,40	0
18	0,991	0,5
25	0,701	1
35	0,495	1,5
45	0,351	2
60	0,246	2,5
80	0,175	3
120	0,124	3,5
170	0,088	4
230	0,062	4,5

El tamizado se realizó en dos etapas. La primera fue de agitación en el vibrador con una duración de cinco minutos a la menor velocidad, dada la gran fragilidad de las partículas y a fin de evitar valores inadecuados de granulometría provenientes del retrabajo y fragmentación en el tamizado. La segunda etapa correspondió a la separación de los tamices y el pesado de los sedimentos obtenidos en una balanza electrónica “KERN 572” con una capacidad de 2000 gr y una precisión de 0,1 gr.

Una vez procesados los sedimentos, cada muestra fue sometida a cuarteo para así reservar una submuestra de cada uno de ellas con el fin de efectuar un análisis microscópico; el resto del material fue embalado y reservado en caso de requerirse nuevos estudios.

Para dicho análisis se empleó una lupa binocular LEITZ, determinándose la esfericidad y redondez según el diagrama de KRUMBEIN & SLOSS (1955) y la especie del grano. De igual forma se establecieron los tamaños superior, inferior y promedio de los clastos empleando una retícula milimetrada.

En cuanto al análisis cuantitativo de las especies que conforman los sedimentos estudiados, se emplearon cartas de estimación visual de porcentaje.

1.3.3.2.- Análisis de datos granulométricos:

Los análisis de granulometría en sedimentos no consolidados, utilizan elementos gráficos como histogramas de frecuencia, curvas de frecuencia y curvas acumulativas entre otras, a fin de determinar parámetros matemáticos que muestren la distribución granulométrica en una muestra. Estos análisis se realizaron utilizando una base de datos Microsoft Excel 2000 ®.

Los histogramas de frecuencia, son diagramas de barras construidos al plotear los pesos individuales respecto a las clases establecidas en la escala phi (BOGGS, 1995).

De este modo, para los sedimentos recolectados en superficie, se tomaron los valores porcentuales en los pesos retenidos por tamiz en cada muestra y se distribuyeron según las clases phi de las escalas granulométricas de UDDEN-WENTWORTH (1922) y KRUMBEIN (1934).

Para los sedimentos estudiados *in situ* en las terrazas de tormenta, en vez de tomar el porcentaje de peso retenido, se contabilizaron el número de muestras, cuyos ejes largos correspondiesen a las clases phi establecidas por BLAIR & MACPHERSON (1999), la cual es una modificación de la escala UDDEN-WENTWORTH (*op. cit.*), aplicable a granulometría gruesa (ver Tabla 1.2).

Tabla 1.2. Escala granulométrica de KRUMBEIN (1934) modificada por BLAIR & MAC PHERSON (1999).

PARTICLE LENGTH (d _i)				GRADE	CLASS	FRACTION		
km	m	mm	∅			Unlithified	Lithified	
1075				-30	Megalith	Megagravel	Mega-conglomerate	
				very coarse				
538				-29				coarse
				-28				medium
134				-27				fine
				-26	very fine			
67.2				-25	Monolith			
				very coarse				
33.6				-24				coarse
				-23				medium
16.8				-22				fine
				-21	very fine			
2.1				-20	Slab			
1.0	1048.6			very coarse				
				-19		coarse		
0.5	524.3			-18		medium		
				-17	fine			
				-16	Block			
				very coarse				
				-15		coarse		
				-14		medium		
				-13	fine			
		4096		-12	Boulder			
				very coarse				
		2048		-11		coarse		
				-10		medium		
				-9	fine			
		512		-8	Cobble			
				coarse				
		256		-7	fine			
		128		-6	Pebble			
				coarse				
		64		-5		medium		
				-4		fine		
		32		-3	very fine			
		16		-2	Granule			
		8		-1				
		4		0	Sand			
		2		very coarse				
		1		coarse				
		0.50		1		medium		
				2		fine		
		0.25		3	Silt			
		0.125		4		very fine		
		0.063		5		coarse		
		0.031		6	Mud			
		0.015		7		medium		
		0.008		8	fine			
		0.004		9	very fine			
		0.002		10	Clay ↓ ?			
		0.001		11				
		0.0005		12				
		0.0002		13				
		0.0001						

Esta modificación fue requerida, dado lo complicado del análisis convencional aplicado a este tipo de sedimento voluminoso.

Por su parte el número de muestras analizadas por cada sección de terraza de tormenta, sobrepasaba los cien ejemplares, garantizando una población lo suficientemente representativa para emplear este instrumento estadístico.

Si bien ambos histogramas trabajan con tipos de frecuencia distintas, el primero con porcentaje de peso retenido y el segundo con el porcentaje de repeticiones dentro de una clase, mantienen el mismo concepto de distribución de tamaño de grano según una escala granulométrica dada. Aunque se hace la salvedad que los datos obtenidos en los sedimentos de terrazas de tormenta no representan relación con una distribución por peso, sino modal.

Las curvas de frecuencia, son esencialmente histogramas donde una curva suavizada ocupa el lugar de las barras (BOGGS, 1995), teniendo como referencia las marcas de cada clase.

Las curvas acumulativas, se generan a partir del trazado tamaño de grano contra la frecuencia de peso acumulada (BOGGS, *op. cit.*). Este tipo de curva, son las más empleadas y sirven para determinar los parámetros matemáticos, tomando en cuenta los percentiles (Φ) específicos para cada uno de ellos.

Los parámetros matemáticos empleados según FOLK & WARD (1957), fueron los siguientes:

- Mediana de Trask: Φ_{50}
- Escogimiento de Folk: $\sigma_1 = \frac{\Phi_{84} - \Phi_{16}}{4} + \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{6,6}$
- Asimetría: $SK_1 = \frac{\Phi_{84} + \Phi_{16} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{\Phi_{95} - \Phi_5 - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)}$
- Kurtosis : $k = \frac{(\Phi_{95} - \Phi_5)}{2,44(\Phi_{75} - \Phi_{25})}$

1.3.3.3.- Análisis textural en sedimentos de terrazas de tormenta:

Tomando como referencia los datos obtenidos en campo referentes a la longitud de los ejes largo, intermedio y corto (a, b y c respectivamente), se establecieron las formas dominantes, en los sedimentos tamaño grava, según ZINGG (1935) en (BOGGS, 1995) (ver Figura 1.6).

Dichas formas se calcularon a partir de un diagrama de dispersión, donde el eje “x” representa a la relación eje corto / eje intermedio, mientras que el eje “y” muestra la relación eje intermedio / eje largo $\left(\frac{b}{a}\right)$ (ver Figura 1.4). La redondez se estimó visualmente, siguiendo el gráfico comparativo de POWERS (1953) en PETTIJOHN *et al* (1987) (ver Figura 1.7).

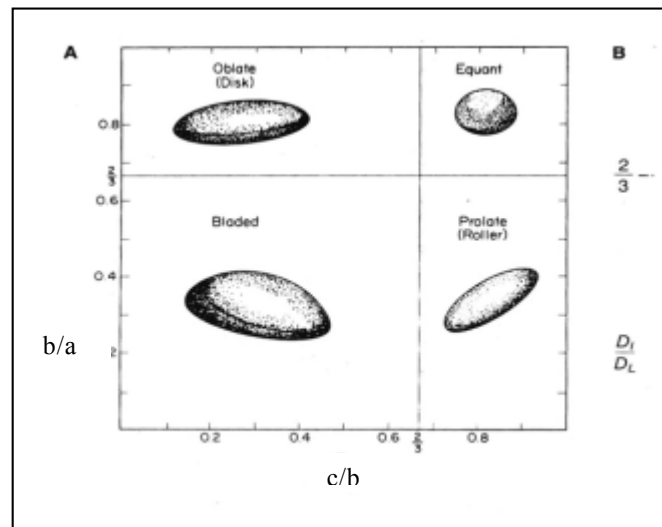


Figura 1.6. Diagrama de formas de ZINGG (1934) modificado de BOGGS (1995).

1.3.3.4.- Análisis textural de los sedimentos en calicatas y lagunas:

Dada las características de humedad, contenido de arcilla y materia orgánica, así como la presencia de restos fósiles en los sedimentos recolectados dentro de las calicatas y las lagunas, se procesaron las muestras de manera diferente a las de superficie.

En este caso, se cuartearon los sedimentos hasta obtener porciones de 60 gr aproximadamente los cuales fueron lavados con agua corriente y pasados por una

mallá de 200 mesh con el objeto de separar adecuadamente los sedimentos arenosos de las fracciones más finas.

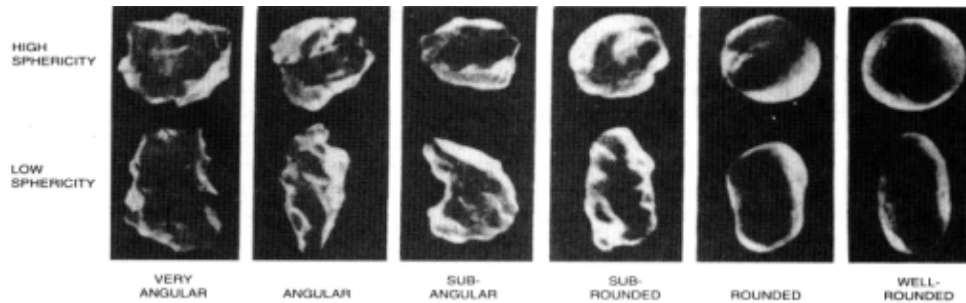


Figura 1.7. Diagrama de estimación visual de redondez y esfericidad de POWERS (1953) modificado de BOGGS (1995).

El material retenido se secó aparte del sobrante a temperatura ambiente, para luego ser analizados por separado a través de la lupa binocular LEITZ, determinando así los tamaños máximo, mínimo y promedio de los granos, su redondez según POWERS (1953) (ver Figura 1.7) y la distribución porcentual de los componentes o especies que conforman el sedimento.

Al mismo tiempo se estimó el escogimiento por medio de cartas comparativas de HARRELL (1984) y se colectaron granos de especies diferentes para su estudio en detalle.

1.3.3.5.- Análisis composicional y paleontológico:

Con la finalidad de establecer las relaciones existentes entre los componentes de los sedimentos y su ambiente de depositación, se identificaron las especies y su proporción dentro de la muestra, para cada una de las muestras analizadas bajo la lupa binocular LEITZ.

Primeramente, se separaron los cristales de evaporita y la fracción limo-arcillosa, luego se reconocieron los fragmentos de líticas sedimentarios y meta-ígneos, posteriormente los restos de bioclastos no reconocibles y después los fragmentos fósiles reconocibles. Estos últimos a su vez fueron clasificados

dependiendo del tipo de organismo, para lo cual se contó con la asistencia del Profesor Víctor Padrón especialmente en la parte de micropaleontología.

Una vez reconocidos los componentes principales de los sedimentos, se estimó el porcentaje de distribución por medio de cartas visuales, de modo similar al procedimiento empleado en la petrografía convencional de secciones finas.

Por último, se recolectaron los ejemplares más representativos de cada especie para su montaje definitivo en láminas de micropaleontología y la información obtenida fue compilada en una base de datos con la finalidad de realizar los análisis comparativos pertinentes.

1.3.3.6.- Análisis petrográfico:

De las muestras recolectada de roca de playa, se estudiaron once secciones finas, de las cuales siete se tiñeron por el método de “Alizarina Roja” (ZAPATA, 1983) con la finalidad de detectar la presencia de carbonato rico en Mg y dolomita. En cada sección se observaron los tipos de porosidad, cemento, matriz y contacto entre granos. Además se realizó un conteo modal composicional, por medio de una platina graduada acoplada a un microscopio binocular LEITZ – ORTHOPLAN, en donde se contabilizaron seis mediciones por sección, utilizando como referencia un arreglo de líneas imaginarias paralelas a los ejes corto y largo, dispuestas tanto en los bordes como en el centro de la sección fina.

1.3.3.7.- Análisis de agrupaciones:

Según NOGUERA & YÉPEZ (2002), el análisis de agrupaciones es el procedimiento estadístico que identifica grupos homogéneos de casos en función de los valores de un conjunto de variables.

Este tipo de análisis se empleó como método de identificación de las facies sedimentarias, basándose en las características composicionales de las muestras estudiadas, tanto de superficie, como de calicatas y “box-core”. A tal fin se aplicó el cálculo de distancia entre dos agrupaciones, tomando en cuenta la distancia entre los vecinos más lejano. De igual forma se estimó el grado de similaridad entre las

muestras, según la distancia que las separa de un sistema de coordenadas rectangular, conocida como distancia euclidiana (HARBAUGH & MERRIAM, 1968; en NOGUERA & YÉPEZ, *op. cit.*).

La representación gráfica para este análisis es el dendrograma, el cual consiste en una solución jerarquizada que muestra las ramificaciones combinadas y los valores de los coeficientes de distancia en cada paso. Por otra parte, el dendrograma no muestra las distancias reales. En su lugar, aplica un cambio de escala para que los valores se ajusten entre 0 y 1, conservando de este modo, la proporción entre las distancias de un paso a otro. (KAUFMAN & ROUSSEEUW 1990 en NOGUERA & YÉPEZ, 2002).

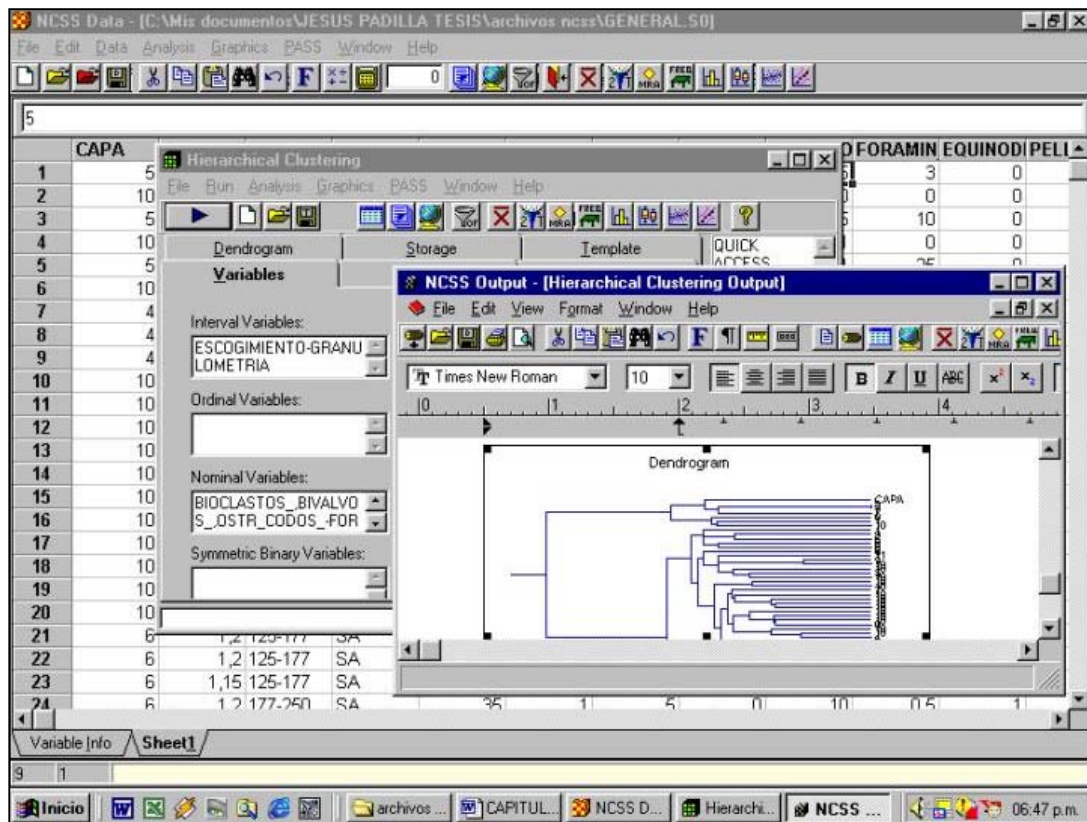


Figura 1.8. Pantalla de trabajo del software NCSS 2000®, utilizado para el análisis de agrupaciones.

Para la realización del análisis de agrupaciones, se utilizó el software NCSS 2000® (ver Figura 1.8), el cual muestra al dendrograma orientado verticalmente, donde el eje “x” representa el grado de disimilaridad. La escala de este eje puede ser convenientemente modificada, no solo entre 0 y 1, sino entre 0 y otro valor representativo. En los extremos de las ramificaciones, están representados el número de cada muestra.

Las agrupaciones establecidas en el dendrograma, sirvieron de base para establecer los criterios de selección de las facies, tomando en cuenta las relaciones existentes entre los distintos componentes que conforman a los sedimentos.

1.3.3.8.- Clasificación de facies sedimentarias:

Para la clasificación de las facies sedimentarias clásticas no carbonática, se empleó la escala granulométrica de KRUMBEIN (1934) modificada BLAIR & MACPHERSON (1999). Para las facies calcáreas se utilizó el sistema de clasificación de DUNHAM (1962) modificada por EMBRY & KLOVAN (1972), el cual está basado en el empaquetamiento de los granos, la abundancia relativa entre los granos y micrita, así como la división entre calizas alóctonas y autóctonas. Este sistema, a diferencia de la clasificación propuesta por FOLK (1962), no toma en cuenta la naturaleza de los fragmentos calcáreos (ver Tabla 1. 3).

A						DEPOSITIONAL TEXTURE RECOGNIZABLE			DEPOSITIONAL TEXTURE NOT RECOGNIZABLE		
Original components not bound together during deposition						Original components were bound together during deposition . . . as shown by intergrown skeletal matter, lamination contrary to gravity, or sediment-floored cavities are roofed over by organic or questionably organic matter and are too large to be interstices.			CRYSTALLINE CARBONATE		
Contains mud (particles of clay and fine silt size)			Lacks mud and is grain-supported								
Mud-supported		Grain-supported				BOUNDSTONE					
Less than 10% grains	More than 10% grains		(Subdivide according to classifications designed to bear on physical texture or diagenesis.)								
MUDSTONE	WACKESTONE	PACKSTONE	GRAINSTONE								

B						ALLOCHTHONOUS LIMESTONE			AUTOCHTHONOUS LIMESTONE		
Original components not organically bound during deposition						Original components organically bound during deposition					
Less than 10% >2 mm components				Greater than 10% >2mm components		By organisms that build a rigid framework	By organisms that encrust and bind	By organisms that act as baffles			
Contains lime mud (<0.03 mm)		No lime mud		Matrix-supported	>2 mm component-supported						
Mud-supported		Grain-supported				BOUNDSTONE					
Less than 10% grains (>0.03 mm <2 mm)	Greater than 10% grains			MUDSTONE	WACKESTONE		PACKSTONE	GRAINSTONE	FLOATSTONE	RUDSTONE	FRAMESTONE

Tabla 1.3. Clasificación de carbonatos según DUNHAM (1962), tomado de BOGGS (1995)

1.4.- TRABAJOS PREVIOS:

Según el L.E.V. (1997), los estudios realizados en la isla del Gran Roque se remontan al siglo XIX cuando el naturalista LUDWIG (1886) elabora una colección de rocas de la isla y de otras dependencias federales, que luego serían analizados por BARGOT y sus resultados publicados por SIEVERS (1898). Posteriormente RUTTEN (1931 y 1941), reexamina las muestras y publica estudios petrográficos más detallados, igualmente estudia la relación entre las Antillas Holandesas, la isla de Margarita y las Antillas venezolanas, además de sugerir una edad Cretácico tardío para las rocas del Gran Roque.

Bien entrado el siglo veinte, ROST (1938) realiza un estudio geológico con mayor detalle y evalúa los depósitos de fosfato de la isla. Durante ese mismo año AGUERREVERE & LÓPEZ (1938) publican un estudio geológico del Gran Roque en donde se observan descripciones detalladas y análisis químicos de las rocas ígneas, así como un mapa geológico de la isla. Otros informes relacionado con aspectos geomorfológicos y geográficos, fueron publicados por BOWEN (1961) y ESPINAL (1964). La SOCIEDAD DE CIENCIAS NATURALES LA SALLE (1956) publica un informe sobre las características geográficas, edafológicas y ecológicas de Los Roques y la Orchila y en ese mismo año BERMÚDEZ (1956) realiza un estudio sobre los foraminíferos recientes de Los Roques y la Orchila.

En la década de los setenta, SCHUBERT & MOTICKA (1973) en su informe sobre el reconocimiento geológico de las islas venezolanas entre Los Roques y Los Testigos, realizan un estudio detallado de las rocas ígneo-metamórficas aflorantes, modifican algunas observaciones tomadas por AGUERREVERE & LÓPEZ (1938) y denominan al grupo de rocas cristalinas del Gran Roque como “Complejo Ígneo del Gran Roque” actualmente referido en el L.E.V. (*op. cit.*) como “Complejo Meta-Ígneo de Gran Roque”.

SANTAMARÍA & SCHUBERT (1974) realizan estudios geoquímicos y geocronológicos en rocas del Gran Roque y otras dependencias federales así como de Aruba, Curazao y Bonaire. En 1976, el Ministerio de Energía y Minas inicia un

estudio sobre la geología marina del archipiélago y MÉNDEZ (1977) publica un trabajo en donde por primera vez se aborda en detalle el estudio de los sedimentos, distribución de biota y morfología del archipiélago. TALUKDAR & LOUREIRO (1982) mencionan al Gran Roque como parte de un complejo de subducción intrusionado por un magmatismo calco-alcalino intenso. MÉNDEZ (1984) profundiza los estudios emprendidos siete años antes y genera valiosa información sobre los ambientes sedimentarios, facies, biota y la evolución geológica del archipiélago durante el Cuaternario. ROJAS (1985), en su informe referente a un estudio de campo realizado por un grupo de profesores y estudiantes de la U.C.V, describe los ambientes carbonáticos del Gran Roque.

Finalmente, OSTOS (1990), en su trabajo sobre la evolución tectónica del borde septentrional de la Placa del Caribe, realiza estudios geoquímicos en las rocas meta-ígneas de la isla y establece una afinidad tectónica con rocas tipo MORB (Mid Ocean Ridge Basalt).

Como se puede apreciar, la mayoría de los estudios geológicos en la isla del Gran Roque se han concentrado hacia el conocimiento de las rocas cristalinas aflorantes. Sin embargo el Gran Roque, también constituye un excelente ejemplo de sedimentación carbonática reciente que merece ser investigada con más detalle a fin de obtener aplicaciones en ambientes más antiguos y generar mayor información sobre los ambientes carbonáticos en Venezuela.

CAPÍTULO II

2.- GEOGRAFÍA FÍSICA:

2.1 GEOMORFOLOGÍA :

El Archipiélago Los Roques constituye un complejo arrecifal comparable a un atolón, ubicado a 90 millas náuticas (160 km) al norte de La Guaira, en el litoral central venezolano. Este sector está limitado aproximadamente por los paralelos: $11^{\circ}44'55''N$ y $11^{\circ}58'56''N$, entre los meridianos $66^{\circ}32'42''W$ y $66^{\circ}52'57''W$ (MÉNDEZ,1984).



Figura 2.1. Parque Nacional Archipiélago Los Roques. Fotografía de Cayo Sal delimitando la Ensenada de los Corales con la barrera arrecifal sur. Rumbo aproximado de foto N45E (a); Fotografía de Madrizquí, Cayo Pirata y sus arrecifes frangeantes, situados al este del Gran Roque. Rumbo aproximado de foto N30E (b).

El archipiélago lo conforman, la isla Gran Roque, cuarenta cayos principales y numerosos cayos menores, aún en proceso de formación, así como numerosos arrecifes frangeantes y manchones arrecifales. Este conjunto arrecifal abarca 1500 km^2 de superficie, y está rodeado por dos grandes barreras arrecifales, tanto en su

extremo oriental como en el sur (MÉNDEZ,1984) (ver Figura 2.1 a, b). Así mismo, en la mitad sur del archipiélago destaca una gran laguna interna de aguas someras denominada “Ensenada de los Corales” o “Bajo de los Corrales”

La formación de los cayos se debe a procesos de acreción derivados de los arrecifes frangeantes que crecieron y se desarrollaron durante la transgresión holocena, sobre una plataforma carbonática pleistocena. El basamento de esta secuencia sedimentaria, lo constituye un complejo de rocas meta-ígneas, cuyo único afloramiento está representado en la isla Gran Roque (MÉNDEZ, *op. cit.*).

2.1.1.- Geomorfología local:

La isla Gran Roque está situada en el sector nororiental del Archipiélago Los Roques, presentando una forma de cuña alargada en dirección noroeste, con una longitud de 3 km y una anchura de 1 km (ver Figura 2.2). La superficie total de la isla es de 1,7 km², donde la mitad del área corresponde a tres pequeños macizos de escasa elevación y la otra pertenece a la planicie costera desarrollada la sureste del Gran Roque. Estos macizos fueron denominados por SCHUBERT & MOTICKA (1973) como cerros Occidental, Central y Oriental.

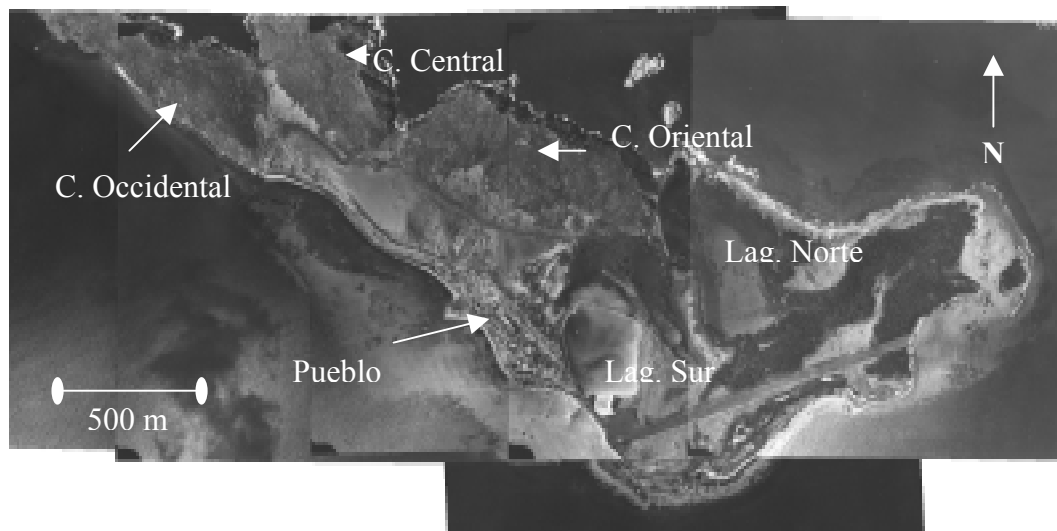


Figura 2.2. Fotomosaico isla Gran Roque (Misión 060107 –1973).

Los cerros Oriental y Central presentan laderas marcadamente asimétricas, con mayor pendiente hacia la vertiente norte formando acantilados escarpados. Por su parte, las laderas sur son menos inclinadas, marcando la transición entre los macizos y la planicie costera.

El cerro Occidental es el más alargado de los tres y presenta su mitad este, con un relieve moderadamente aplanado de 70 – 80 m de elevación. En contraste, la mitad oeste está caracterizada por dos cimas de tope redondeado y laderas escarpadas, conformando la máxima elevación del Gran Roque con 120 m sobre el nivel del mar. Contrariamente a los otros cerros, el Occidental presenta laderas moderadamente simétricas para ambas vertientes (ver Figura 2.2).

Estos macizos conforman el único afloramiento del Complejo Meta-Ígneo de Gran Roque, constituido por meta-diabasas y meta-gabros intrusionados por dioritas, pegmatitas y aplitas (SCHUBERT & MOTICKA, 1973).

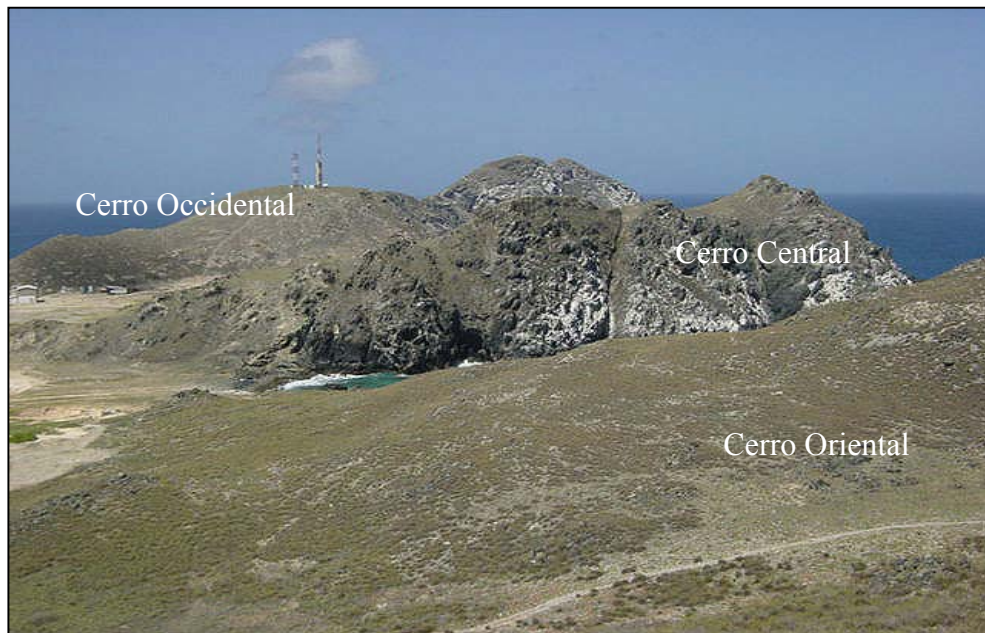


Figura 2.3. Cerros Occidental, Central y Oriental en la isla Gran Roque (Rumbo foto N80W). Obsérvese la diferencia de pendientes, el sistema de diaclasas en el cerro Central y la forma “aplanada” de cerro Occidental en las adyacencias de las antenas.

Estas rocas forman un sistema de diaclasas, que sirven de red de drenaje irregular, por donde escurren aguas de origen meteórico. Las llanuras de marea presentes en la planicie costera, funcionan como pequeñas cuencas receptoras de las aguas que corren por las laderas sur de los cerros Central y Oriental. En efecto, existen evidencias de pequeños conos de deyección ubicados entre los cerros Central y Occidental y en la ladera sur del cerro Oriental, asociados a depósitos de conglomerados de metadiabasa.

La planicie costera está situada hacia el sector sur y este de la isla, detrás de los macizos Central y Oriental (ver Figura 2.4). Dentro de esta planicie se desarrollan los ambientes de sedimentación reciente, tales como terrazas de tormenta, lagunas internas, llanuras de marea, playas y manglares, los cuales se depositan sobre los remanentes erosivos de la Formación Los Roques. Igualmente, esta zona sirve de asiento a la población del Gran Roque.



Figura 2.4. Vista parcial de la planicie costera y sus ambientes sedimentarios (Rumbo foto S50E). Al fondo se observa el cayo Madrizquí

La isla Gran Roque, presenta notables diferencias en sus costas dependiendo de la litología de cada sector, así como de la exposición al oleaje. De este modo se

tienen costas escarpadas y carentes de playas hacia la vertiente norte de los macizos, al igual que al sur del cerro Occidental. Por el contrario, en la zona de planicie costera se distinguen dos ambientes playeros, la primera se ubica hacia el noreste de la isla y se caracteriza por una playa formada por acumulaciones de grava de coral y costa rocosa, al mismo tiempo que la segunda, se encuentra rodeando la costa oriental, sur y suroeste del Gran Roque, destacando la acumulación de material arenoso y escaso desarrollo de rocas de playa.

2.2.- BATIMETRÍA:

En el interior del archipiélago las profundidades oscilan entre 1,5 a 50 m. Las áreas someras están limitadas dentro de la Ensenada de los Corales con una batimetría máxima de 9 m y un promedio de 5 m. En la zona de canales al este, las profundidades alcanzan los 15 m y en el área situada entre el Gran Roque y los Noronquises pueden llegar a 45m. (MÉNDEZ, 1984) (ver Figura 2.5)

En el sector noreste del archipiélago, dominado por los Francisquises, Madrizquí, Cayo Pirata, Nordizquí, el extremo norte de la barrera arrecifal oriental y el Gran Roque, predominan profundidades entre 5 y 40 m.

En el área circundante al Gran Roque, la batimetría es relativamente somera (5-15m) especialmente hacia el sector oriental, destacando el canal formado entre la isla y el cayo Madrizquí al sureste. Hacia el norte y el oeste del Gran Roque, las profundidades exceden los 30 m.

2.3.- CLIMATOLOGÍA:

Según el sistema de clasificación de KÖPPEN-GEIGERS (1954) en Koeppé & Long (1958), la región norte costera Venezuela se ubica dentro de un clima Seco-Desértico (tipo BW), caracterizado por un régimen de evaporación superior a la precipitación y temperaturas superiores a 17°C. Dentro de esta sección se describirán los aspectos meteorológicos y oceanográficos dominantes en el sector.

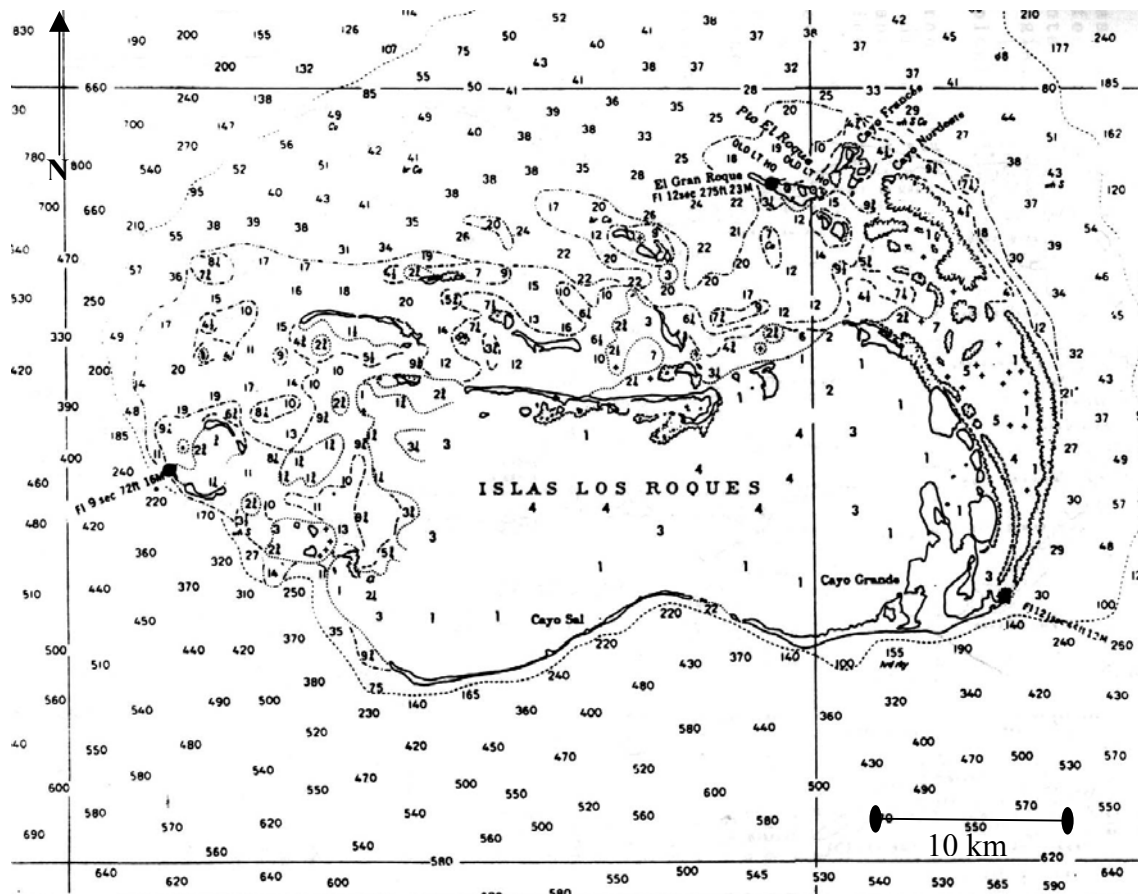


Figura 2.5. Mapa batimétrico del Archipiélago Los Roques (profundidades en “fathoms”; 1ftm equivale a 1,8m aproximadamente). Modifiedo de MÉNDEZ (1984).

2.3.1.- Meteorología:

Los parámetros meteorológicos, empleados para el área de estudio, fueron compilados a partir de los registros de la estación meteorológica La Orchila a cargo de la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Armada de Venezuela. Estos datos se encuentran disponibles en el Observatorio Cagigal de Caracas.

2.3.1.1.- Régimen de temperatura:

El régimen de temperatura anual observado entre 1989 y 1999 muestra un promedio de 30,53°C y 24,7°C para los valores de temperatura máxima y mínima respectivamente (ver Figura 2.6). El comportamiento mensual registrado entre 1969 y 1999 indica que los máximos valores se reportan para los meses de septiembre y octubre (31,2°C), mientras que los mínimos se encuentran de enero a marzo (24°C).

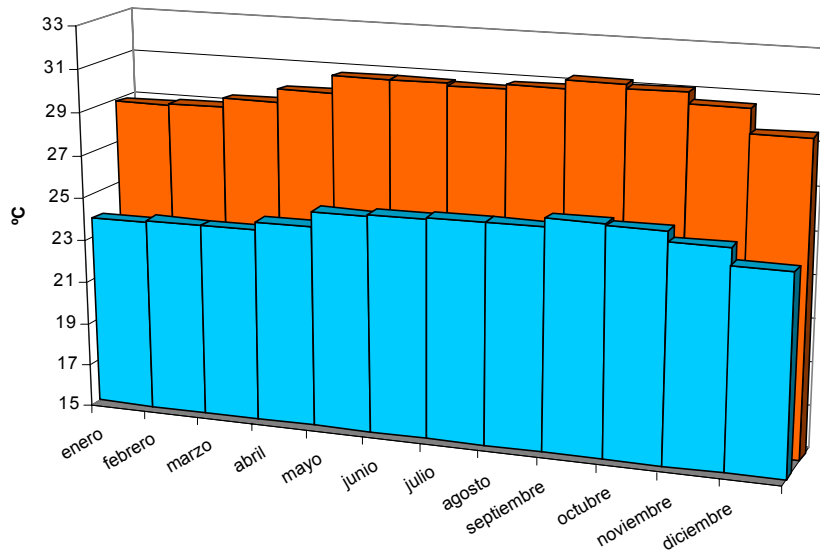


Figura 2.6. Histograma de frecuencia para las temperaturas máximas (naranja) y mínimas (azul) mensuales entre 1969 y 1999 para la estación meteorológica La Orchila (GADEA, 1996, 2001)

2.3.1.2.- Humedad relativa:

En promedio la humedad relativa registrada entre 1989 y 1999 se ubica en 81,96% (ver Figura 2.7). La variación mensual registrada entre 1969 y 1999 muestra sus máximos valores para mayo y junio (84,1%) y los mínimos entre febrero y marzo (81,2%).

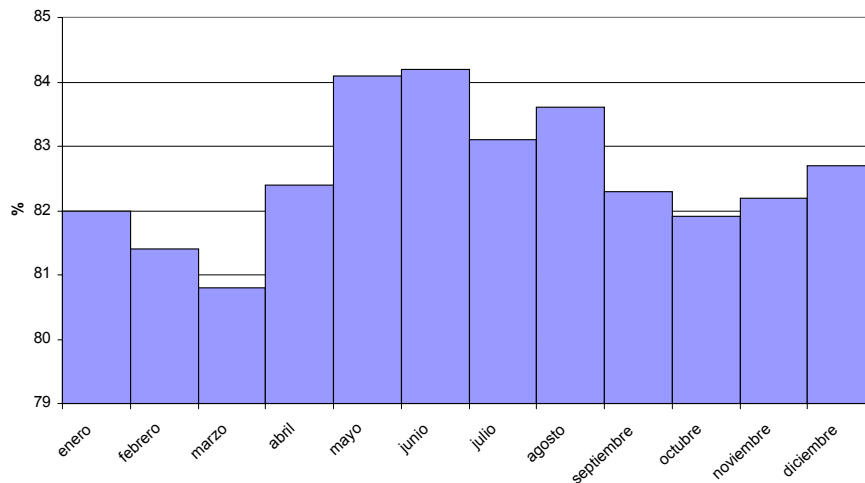


Figura 2.7. Histograma de frecuencia para la humedad relativa mensual entre 1969 y 1999 para la estación meteorológica La Orchila (GADEA, 1996, 2001).

2.3.1.3.- Presión atmosférica:

Para la presión atmosférica se observa un promedio anual entre 1989 y 1999 de 1013,4 hectopascales (ver Figura 2.8). Por su parte, los máximos mensuales presentan un comportamiento bimodal entre los meses de enero, febrero y el mes de julio (1014,6 Hp). Durante los meses de octubre y noviembre, la presión atmosférica alcanza sus mínimos valores (1012,1 Hp)

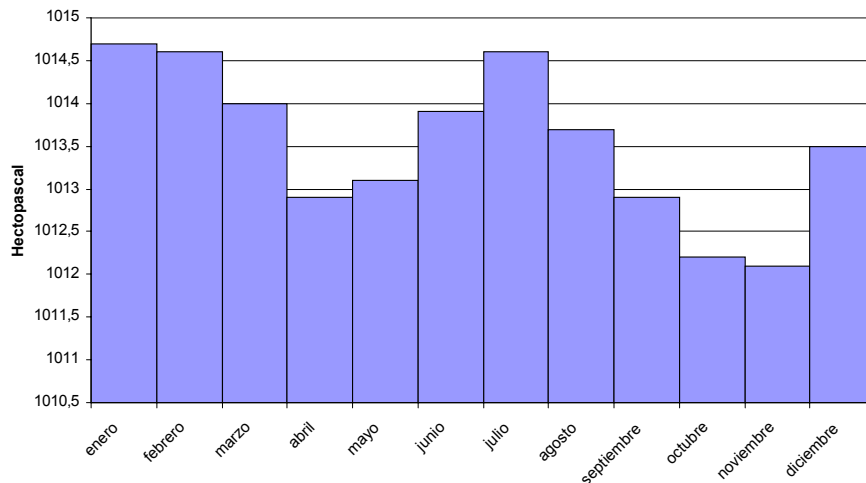


Figura 2.8. Histograma de frecuencia para la presión atmosférica (hectopascales) mensual entre 1969 y 1999 para la estación meteorológica La Orchila (GADEA, 1996, 2001).

2.3.1.4.- Vientos:

Los vientos presentan una dirección E-NE y ESE (MÉNDEZ, 1984). El promedio anual entre 1988 y 1998 corresponde a los 22,76 kph, mientras que la variación mensual entre 1969 y 1998 indican una mayor intensidad para Mayo y Junio (25,9 kph) y una mínima entre octubre y noviembre (20,1 kph) (ver Figura 2.9).

2.3.1.5.- Nubosidad:

La nubosidad promedio anual 1988 y 1999 fue de 3,74 octantes. La variación mensual registrada durante 1969 y 1999, indica una mayor nubosidad para los meses de junio y octubre-diciembre (4 oct), al mismo tiempo los meses más despejados resultan enero, febrero, marzo (3,4 oct) (ver Figura 2.10).

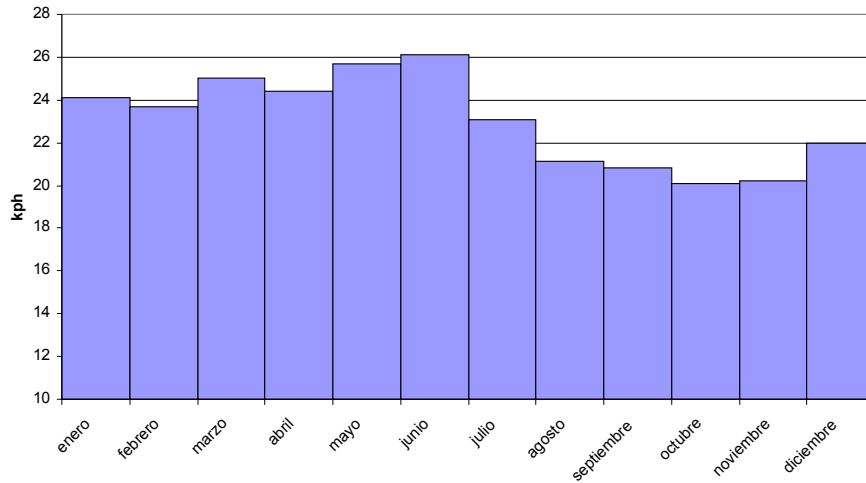


Figura 2.9. Histograma de frecuencia para la velocidad de viento (kph) entre 1969 y 1998 para la estación meteorológica La Orchila (GADEA, 1996, 2001)..

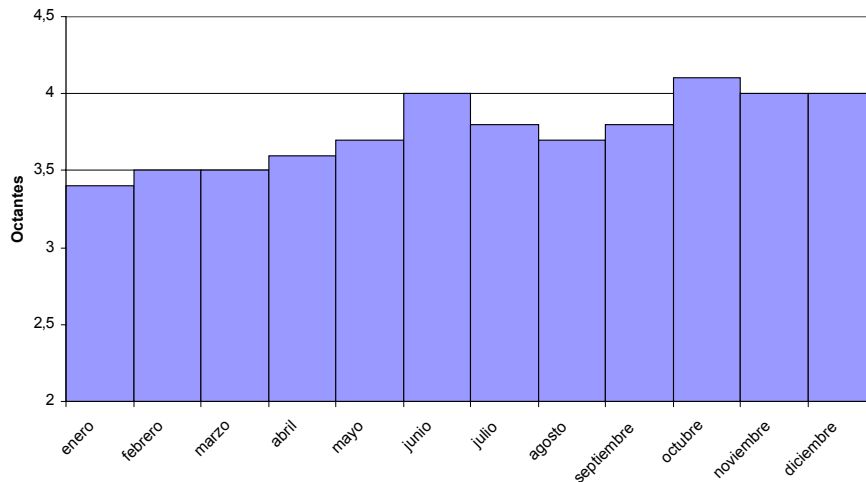


Figura 2.10. Histograma de frecuencia para la nubosidad (en octantes) entre 1969 y 1998 para la estación meteorológica La Orchila (GADEA, 1996, 2001).

2.3.1.6.- Precipitación y Evaporación:

Los promedios anuales de precipitación y evaporación entre 1986 y 1997, son de 259,48 y 1437,72 mm anuales respectivamente. Mensualmente, entre 1969 y 1997, se registra que la mayor precipitación está entre noviembre y diciembre (54,6 a 58,1 mm), mientras que la menor pluviosidad se registra para los meses de abril y mayo

(8.7 a 6.9 mm). La evaporación muestra sus máximos valores en mayo y junio (171,4 a 160,5 mm) y los mínimos se ubican entre noviembre y diciembre (127,9 a 131,9 mm) (ver Figura 2.11).

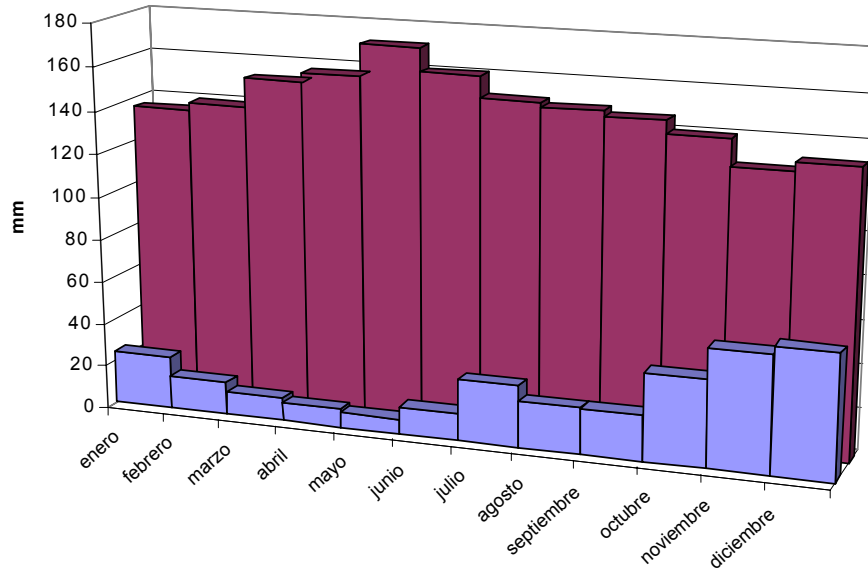


Figura 2.11. Histograma de frecuencia comparativo entre la evaporación (en púrpura) y la precipitación (en azul) mensual entre 1969 y 1997 para la estación meteorológica La Orchila (GADEA, 1996, 2001).

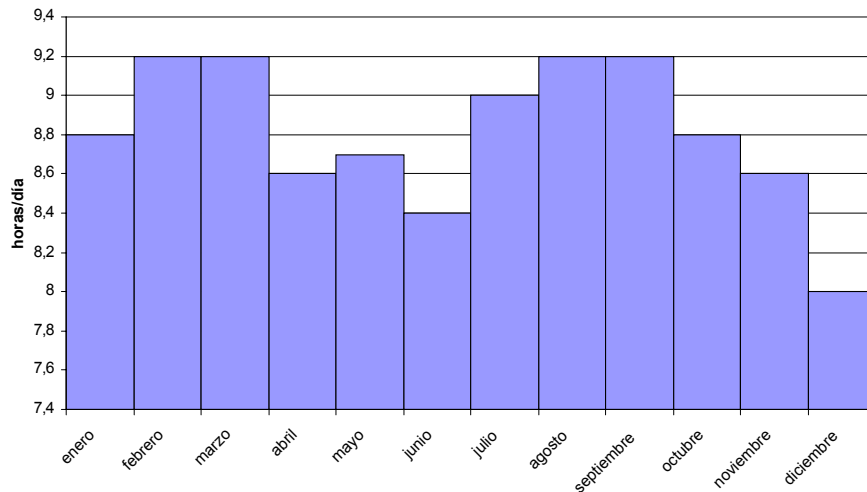


Figura 2.12. Histograma de frecuencia para el régimen de insolación mensual (horas/día) entre 1969 y 1995 para la estación meteorológica La Orchila (GADEA, 1996, 2001).

2.3.1.7.- Insolación:

El régimen de insolación promedio entre 1985 y 1995 se sitúa en 8,57 horas/día; en cuanto al comportamiento mensual registrado entre 1969 y 1995 se desprende que los meses de mayor insolación resultan febrero y marzo (9,2 h/d). Por su parte junio y diciembre presentan los menores valores (8,4 a 8 h/d) (ver Figura 2.12) .

2.3.2.- Oceanografía:

Regionalmente la estructura hidrodinámica del Mar Caribe se encuentra estrechamente relacionada con la dinámica y características del Océano Atlántico, las cuales ingresan a través de los pasajes que se encuentran entre las Antillas Menores. Estos pasajes presentan profundidades entre 740 y 950 m. Así mismo el retorno de las aguas se realiza por medio del Canal de Yucatán a razón de 30 millones de m³ (MÉNDEZ, 1984).

El patrón de corrientes en el Caribe, es predominantemente este a oeste, aunque existen zonas con corrientes meridionales tanto sur como norte. Superficialmente, están dominadas por los vientos alisios (MÉNDEZ, *op. cit.*).

En el área de Las Aves, Los Roques y La Blanquilla, el patrón se deriva de los vientos alisios provenientes del este, ENE y ESE.

Por otra parte, las mareas rara vez sobrepasan el metro de diferencia entre pleamar y bajamar, típico en las costas venezolanas clasificadas como micromareales (DAVIS, 1964 en DELGADO, 1988).

2.4.- FLORA Y FAUNA:

La vegetación predominante en el sector, es xerófila y muchas especies están especialmente adaptadas para soportar cambios en la salinidad (halófitas). Entre éstas destacan la hierba de vidrio (*Sessuvium portulacastrum*), el saladillo (*Batis maritima*) como plantas rastreras o herbáceas asociadas a zonas playeras. En los cerros del Gran Roque existen cactáceas como la guasábara (*Opuntia caribea*), el cardón

(*Pachycereus sp.*) y el melón de cerro o buche (*Melocactus caesius*). La vegetación arbórea esta representada por los mangle rojo (*Rhizophora mangle*), negro (*Avicennia nitida*) y blanco (*Laguncularia racemosa*) así como los uveros de playa (*Coccoloba uvifera*) y cocoteros (*Cocos nucifera*).



Figura 2.13. Lagartija o “guaripete” negro (*Chemidophorus lemniscatus*), rodeado de tallos y hojas de la hierba de vidrio (*Sessuvium portulacastrum*). Fotografía disponible en: http://www.a-venezuela.com/ciudades/dependencias/losroques/geografia_3.shtml.

La fauna terrestre se encuentra bien restringida dentro del archipiélago destacando pequeñas lagartijas entomófagas (*Chemidophorus lemniscatus*), iguanas (*Iguana iguana*), además de insectos y arácnidos (ver Figura 2.13). Los mamíferos terrestres están representados únicamente por el murciélago pescador (*Noctilio leporinus*). Sin embargo la avifauna es mucho más variada destacando el alcatraz (*Pelecanus occidentalis*), el pájaro bobo (*Sula leucogaster*); la tijereta o fragata (*Fregata magnificens*), el guanaguanare (*Larus atricilia*); el playero (*Charadrius alecandrinus*) y la garza pechiblanca (*Hydranassa tricolor*). Igualmente destacan especies migratorias como el flamenco (*Phoenicopterus ruber*) y el águila pescadora (*Pandion haliateus*).

La ictiofauna es particularmente rica en el archipiélago, siendo el recurso pesquero una de las principales fuentes de ingreso de la región. Entre las especies de peces que habitan esta aguas destacan la cachama amarilla (*Holocanthus ciliaris*), el

rabirubio (*Ocyurus chrysurus*), el cachicato (*Calamus calamus*), el navajón azul (*Acanthurus coeruleus*), la cachúa (*Balistes vetula*), peces loros (*Scarus puscitulus*, *S. Guacamaia*), la raya (*Dasyatis sp.*), el pargo (*Lutjanus sp.*), el mero (*Mycteroperca sp.*), el coro-coro (*Haemulon carbamarium*, *H. Flavolineatum*, *H. Sciurus*), el carite (*Scomber colias*), la carachana (*Euthynnus alleteratus*), el cataco (*Selar crumenophthalmus*), el jurel (*Caranx hippos*), el pampano (*Trachinotus glaucus*), la lisa (*Mugil curema*), y la picúa (*Sphyraena barracuda*) entre otras.

Otros organismos acuáticos delfines (*Delphinus delphi*), la tortuga verde (*Chelonia mydas*) y carey (*Eretmochelys imbricata*), así como la langosta espinosa (*Panulirus argus*) son frecuentes en el área.

De igual forma corales, esponjas, algas calcáreas, moluscos y crustáceos, muestran gran diversidad de formas. Estos organismos serán estudiados separadamente en los capítulos 4 y 5, dada su estrecha relación con los ambientes sedimentarios recientes.

CAPÍTULO III

3.- GEOLOGÍA REGIONAL:

3.1.- MARCO ESTRUCTURAL REGIONAL:

El Archipiélago Los Roques, está enmarcado dentro de la cadena de islas Aruba - Los Testigos, en la parte meridional del mar Caribe frente a las costas venezolanas (ver Figura 3.1). La posición en un área limítrofe de placas, su relación con la morfología submarina caribe y su evolución tectónica, serán expuestas dentro de esta sección.

3.1.1.- Consideraciones morfo-batimétricas regionales:

La parte centro-occidental del margen continental de Venezuela presenta cuatro grandes rasgos batimétricos a considerar: la Cuenca de Venezuela, la Cumbre de Curazao, la Fosa de Los Roques y la Fosa de Bonaire (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, 1980) (ver Figura 3.2).

3.1.1.1.- Cuenca de Venezuela:

La Cuenca de Venezuela es la región marina correspondiente a la llanura abisal del mar Caribe (hasta 5000 m de profundidad), limitando al norte por las Antillas Mayores, al este por la Prominencia de Aves, al oeste por la Prominencia de Beata y al sur por la Cumbre de Curazao y la Plataforma La Blanquilla-Margarita-Trinidad. Dentro de la cuenca se han estudiado dos paquetes de sedimentos (separados por un reflector “A”) suprayacentes a un basamento acústico “B” (EDGAR & SAUNDERS, 1975 en GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, *op. cit.*).

Por encima de “A” se reporta una secuencia de margas y arcillas ricas en foraminíferos y radiolarios intercaladas con cenizas volcánicas (Eoceno-Reciente). El reflector “A” corresponde a un nivel de fñanitas eocenas por debajo de las cuales se encuentra una secuencia estratificada continua hasta el Turoniense, con facies

pelágicas y hemipelágicas. En cuanto al reflector “B”, éste se encuentra asociado con un complejo estratiforme de basaltos y sills de diabasa (EDGAR, *et al.* 1971; EDGAR & SAUNDERS, 1975 en GONZÁLEZ DE JUANA, 1980).

3.1.1.2.- Cumbre de Curazao:

La Cumbre o “Ridge” de Curazao define el talud continental al norte de Suramérica y está compuesta por una estructura alargada de 1800 km aproximadamente, con orientación WNW, desde Colombia hasta las proximidades de la isla La Blanquilla, donde progresivamente se profundiza. Al sur de la cumbre se encuentra la Fosa de Los Roques. (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, *op.cit.*).

La Cumbre de Curazao constituye una gruesa secuencia de sedimentos plegados en forma de anticlinal. Estudios de perfiles sísmicos en el área de Bonaire, muestran 12 – 14 km de material de baja velocidad, así como reflectores deformados, correlacionables con reflectores no deformados, tanto en la Cuenca de Venezuela como de la Fosa de Los Roques. Este material, posiblemente se trate de sedimentos terciarios (SILVER *et al.*, 1975).



Figura 3.1. Imagen espacial captada por un transbordador espacial estadounidense, donde se aprecia la región noroeste de Venezuela, las Antillas Holandesas así como los Archipiélagos de Las Aves y Los Roques. Disponible en <http://images.jsc.nasa.gov/iams/images/earth/STS41C/lowres/10047486.jpg>

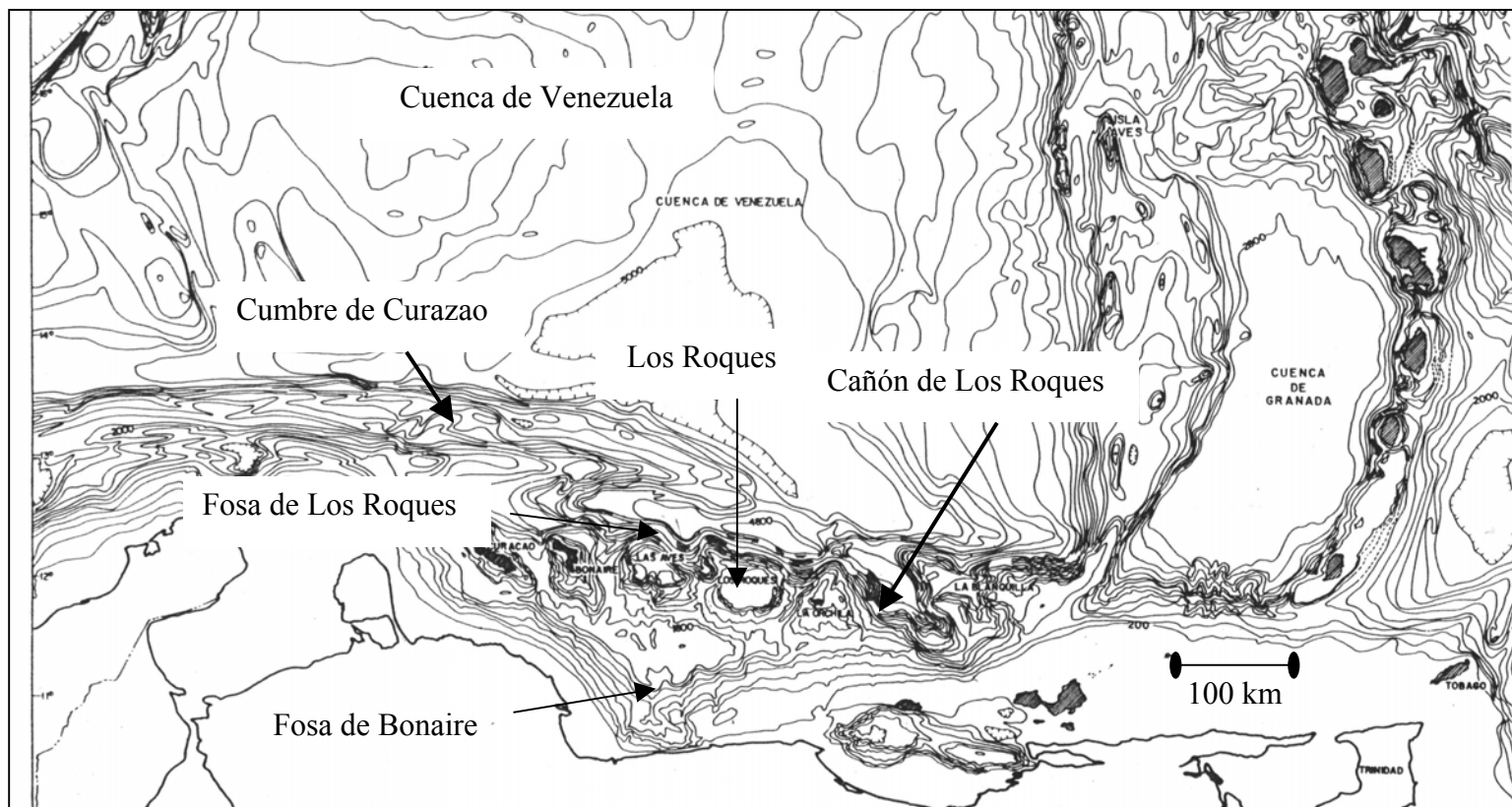


Figura 3.2. Mapa batimétrico regional. Modificado de GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* (1980)

3.1.1.3.- Fosa de Los Roques:

La Fosa de Los Roques está situada entre la Cumbre de Curazao y la cadena de islas Aruba – La Orchila, alcanzando profundidades superiores a 4800 m. Posiblemente se trate de un sinclinal asociado a la Cumbre de Curazao (SILVER *et al.*, *op.cit.*).

Sedimentológicamente, la fosa se encuentra dividida en dos sectores. El sector occidental se reconoce por una secuencia turbidítica desarrollada por encima de una sección pelágica mal estratificada. Por su parte, en el sector oriental la sección turbidítica está bien desarrollada aumentando su espesor hacia el este. Sin embargo, la sección pelágica se encuentra ausente (SILVER *et al.*, *op. cit.*; en GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, 1980).

3.1.1.4.- Fosa de Bonaire:

La Fosa de Bonaire se encuentra entre la cadena de islas Aruba-La Orchila, las plataforma del Golfo Triste y la Cordillera de la Costa. Al este la limita el Cañón de Los Roques, en las proximidades del Banco de la Tortuga. Esta depresión forma una cuenca de 390 x 74 km en sentido WNW y alcanza profundidades superiores a 2000 m, presentando buena circulación en sus aguas de fondo (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, *op. cit.*).

Hacia el sur la geometría de la cuenca es bastante suave, sin cañones submarinos y una topografía ondulada, salvo en la región de Turiamo. Al norte es más abrupto, dominado por en talud sur de la cadena de islas Aruba-Los Roques, con la presencia de varios bancos y cañones submarinos (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, *op. cit.*).

La sedimentación de la Fosa de Bonaire, es poco conocida, aunque muestra influencia continental proveniente de la Cordillera de la Costa. Así mismo se reconocen facies sedimentarias de talud, posiblemente limos y arcillas con faunas bentónicas y elevada proporción de foraminíferos. En los cañones submarinos presentes en la fosa, existen depósitos turbidíticos (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, 1980).

3.1.2.- Estructuras de deformación principales:

Al noroeste de Venezuela, en el mar Caribe, se han reportado una serie de estructuras de deformación relacionadas con la evolución tectónica entre las placas Sudamericana y Caribe. Dichas estructuras comprenden dos grandes zonas definidas como el Cinturón de Deformación del Caribe Sur y el Bloque de Bonaire (AUDEMARD & AUDEMARD, 2002).

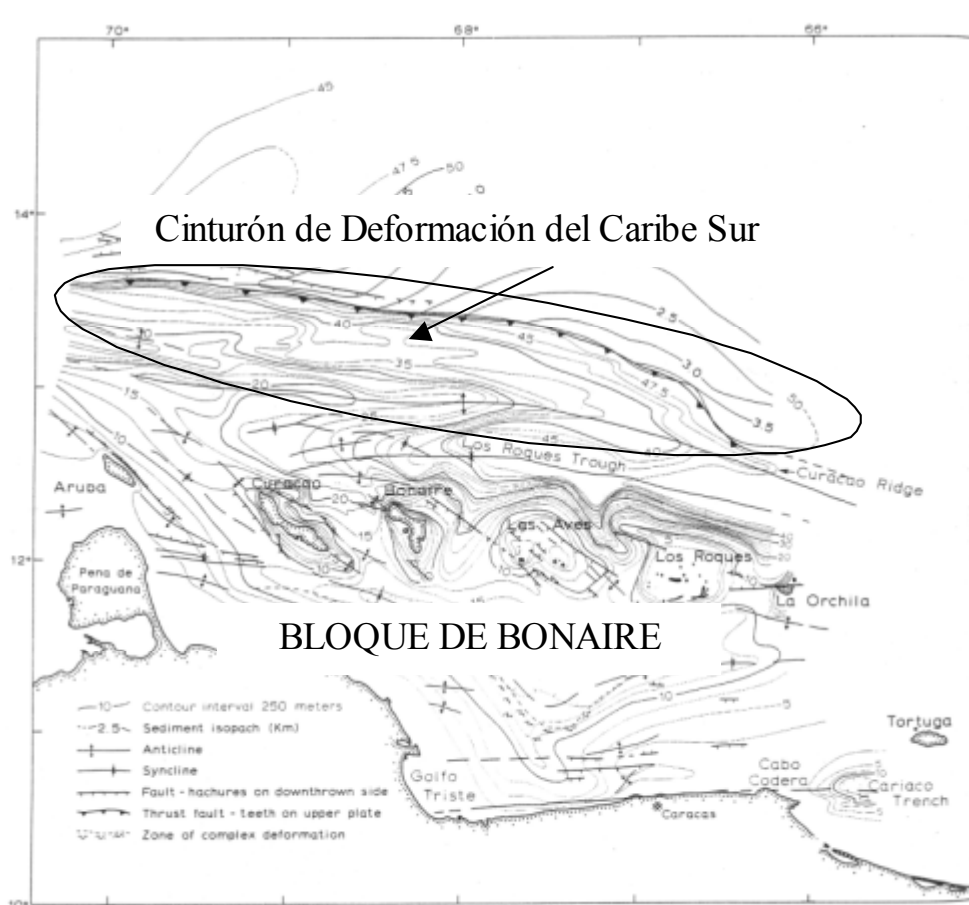


Figura 3.3. Mapa estructural regional. Modificado de SILVER *et al.* (1975)

3.1.2.1- Cinturón de Deformación del Caribe Sur:

El Cinturón de Deformación del Caribe Sur se encuentra al norte de las Antillas holandesas e islas venezolanas dentro del Bloque de Bonaire. En esta zona, SILVER *et al.* (1975) reconoce un sistema de corrimiento de vergencia sur, con una

orientación WNW, ubicado al norte de la Cumbre de Curazao y un sistema plegado de alineación W-E, que conforman el anticlinal y sinclinal de la Cumbre de Curazao y la Fosa de Los Roques respectivamente.

Estas estructuras están asociadas a la subducción de las Antillas de Sotavento, constituyendo un gran límite de placas de edad cretácica (según algunos modelos), que ha permanecido inalterable durante gran parte del Paleógeno y Neógeno temprano (AUDEMARD & AUDEMARD, 2002).

3.1.2.2- Bloque de Bonaire:

AUDEMARD & AUDEMARD (*op.cit.*) definen al Bloque de Bonaire, como una zona delimitada por la subducción de las Antillas de Sotavento al norte y el Bloque de Maracaibo al sur, a través del sistema de fallas Oca - Ancón y San Sebastián - El Pilar. Además del Cinturón de Deformación del Caribe Sur, este bloque es responsable de la deformación en la zona de Falcón, así como en la cadena de islas Aruba – La Orchila.

En el área de las Antillas Holandesas y las islas venezolanas, SILVER *et al.* (1975) observan que la morfología de las plataformas insulares de Aruba, Curazao y Bonaire presenta una orientación NW, en cambio Las Aves, Los Roques y La Orchila presentan plataformas con geometrías prácticamente equidimensionales.

De igual manera, SILVER *et al.* (*op. cit.*) reportar varios sistemas de fallas que “cortan” estas plataformas. La mayoría son fallas menores a 50 km, con orientación NW aproximadamente, como las observadas entre Aruba y Curazao así como en la plataforma de Las Aves. Hacia La Orchila, la dirección de las fallas es E-W, mientras que en el área del Cañon de Los Roques, PETER (1973) indica un control estructural en sentido NW (ver Figura 3.3).

Por su parte SILVER *et al.* (*op. cit.*) muestra que al sur de la cadena de islas, la deformación es menor, presentándose una serie de pliegues que conforman la Fosa de Bonaire y unas fallas menores asociadas a la Cordillera de la Costa y el sistema de fallas San Sebastián –El Pilar.

3.1.3.- Evolución Tectónica Regional:

TALUKDAR & LOUREIRO (1982) postularon que las rocas pertenecientes a Los Roques La Orchila y Los Hermanos, presentan afinidad con rocas metamórficas de la Cordillera de la Costa, en cuanto a litología y grado de metamorfismo. Estas rocas estuvieron posteriormente sometidas por un magmatismo calco-alcalino sobre un complejo de subducción.

OSTOS (1990) propone, en su modelo de evolución tectónica del Caribe sur central, una afinidad MORB (Mid Ocean Ridge Basalt) para las muestras estudiadas del Gran Roque. Así mismo establece un metamorfismo dentro de la facies de los esquistos verdes, para las rocas del complejo meta-ígneo.

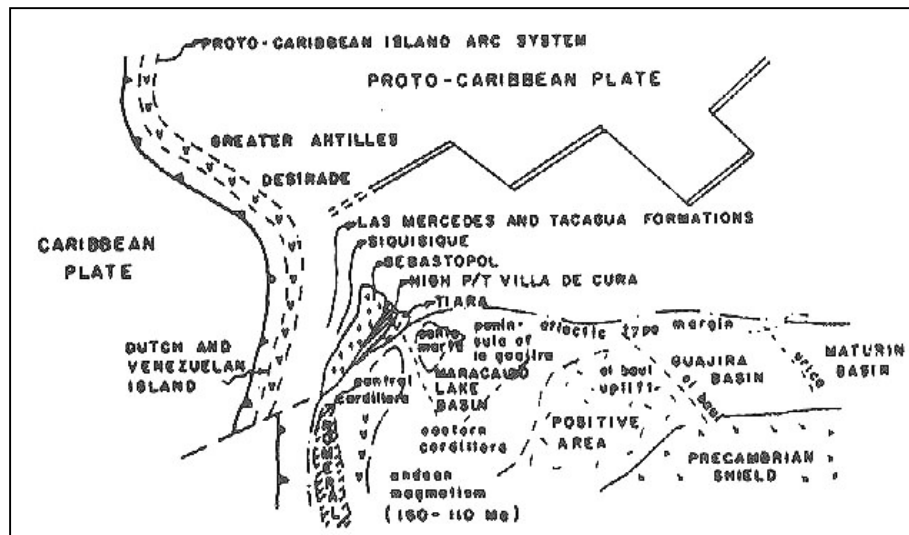


Figura 3.4. Reconstrucción del norte de Sudamérica para el Neocomiense (120 Ma). Tomado de OSTOS (1990)

Las edades de las meta-dibasas y meta-gabros, indican un período inicial de formación correspondiente al Neocomiense (Cretácico Inferior), dentro de un ambiente de arco de islas pertenecientes al Proto-Caribe (ver Figura 3.4). A partir del Albiense, la placa Caribe empieza su migración hacia el Noreste, provocando la evolución del arco de islas, en donde se incluyen además de las Antillas Holandesas y las islas venezolanas, los terrenos correspondientes a la Prominencia de Aves, las Antillas Mayores y la isla de Desirade (ver Figura 3.5). La edad de las intrusiones

calco-alcalinas se ubica en 65 +/- 6 Ma (Mastrichtiense-Paleoceno), correspondiente al período de migración de la Placa Caribe desde el Santoniense al Eoceno (OSTOS, 1990) (ver Figura 3.6).

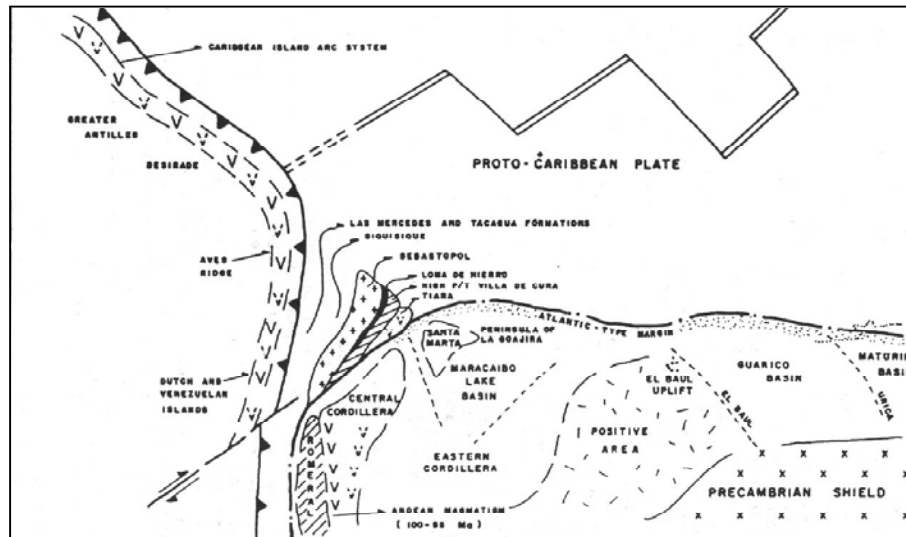


Figura 3.5. Reconstrucción del norte de Sudamérica para el Albiense tardío (100 Ma). Tomado de OSTOS (1990)

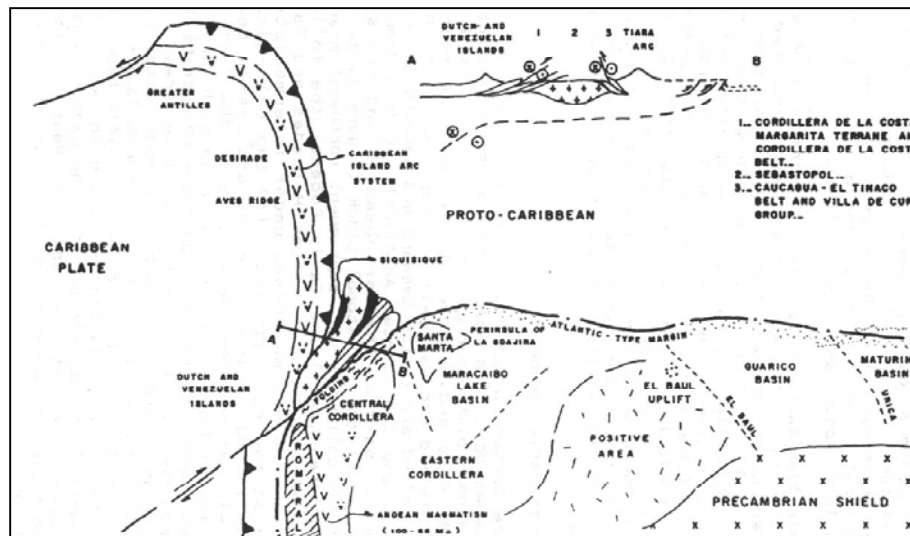


Figura 3.6. Reconstrucción del norte de Sudamérica para el Eoceno Temprano. Tomado de OSTOS (1990)

Durante el Terciario, las Antillas Mayores colisionaron con las Bahamas, lo que provocó la rotación del movimiento de la placa hacia el este y un efecto transpresional en los terrenos de Venezuela y el inicio del levantamiento al noroeste de Suramérica (ver Figura 3.7).

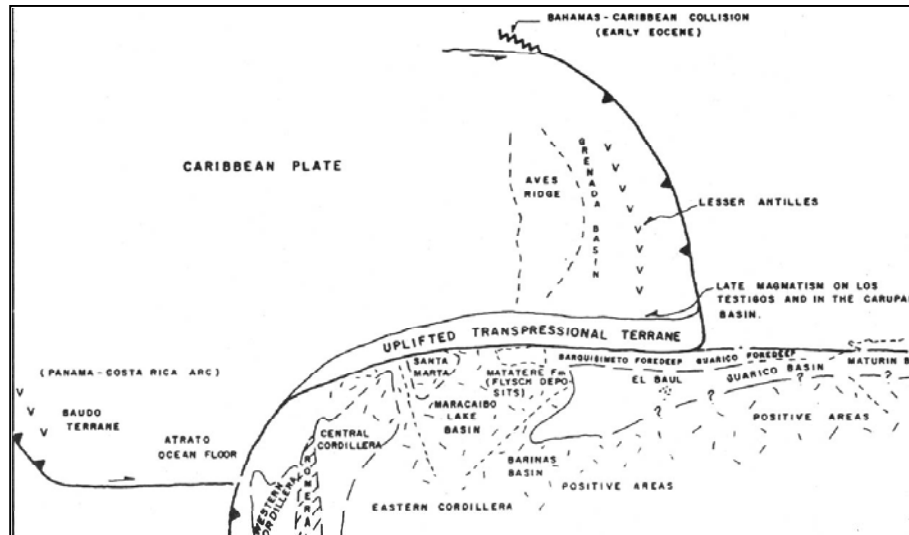


Figura 3.7. Reconstrucción del norte de Sudamérica para el Eoceno Tardío (40 Ma). Tomado de OSTOS (1990)

Para el Oligoceno, las cuencas “pull apart” de Falcón, Bonaire y la Baja Goajira se desarrollan como el resultado del fallamiento dextral a lo largo del norte de Sudamérica, al tanto que durante el Oligoceno Tardío – Mioceno Temprano, el Bloque de Maracaibo-Santa Marta comienza su movimiento hacia el norte a lo largo de la mega sutura de Boconó, provocando la formación del Cinturón de Deformación del Caribe Sur (OSTOS,1990) (ver Figura 3.8).

A partir del Mioceno Tardío hasta el presente, continuó la migración del Bloque de Maracaibo-Santa Marta hacia el norte, al mismo tiempo que el Cinturón de Deformación del Caribe Sur prosigue su movimiento, como lo muestran los sedimentos deformados del Neógeno y la actividad de las fallas de Boconó, Santa Marta y San Sebastián. Igualmente, la terminación oriental del cinturón de deformación se encuentra a lo largo de la Cuenca de La Orchila (Cañón de Los

Roques), la cual está bordeada por fallas con componente normal y transcurrente (OSTOS, 1990) (ver Figura 3.9).

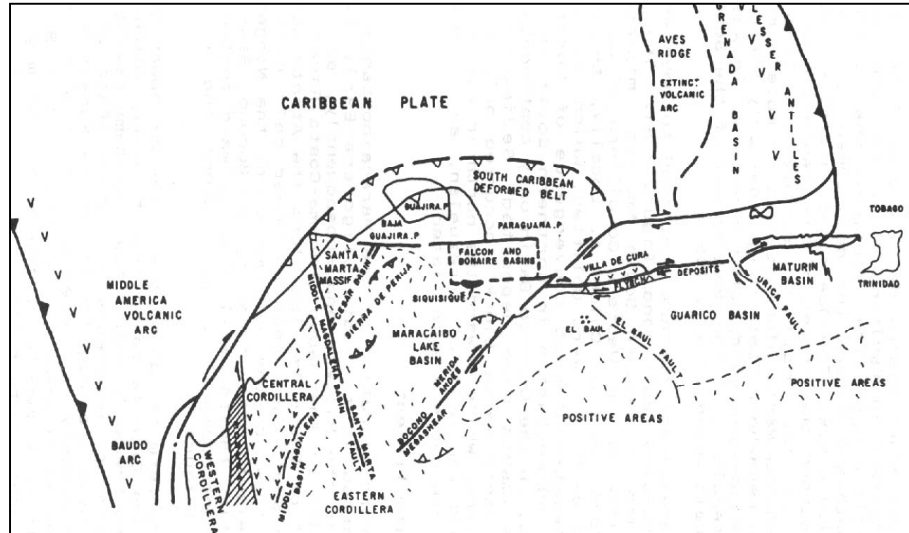


Figura 3.8. Reconstrucción del norte de Sudamérica para el Oligoceno Tardío (28 Ma). Tomado de OSTOS (1990)

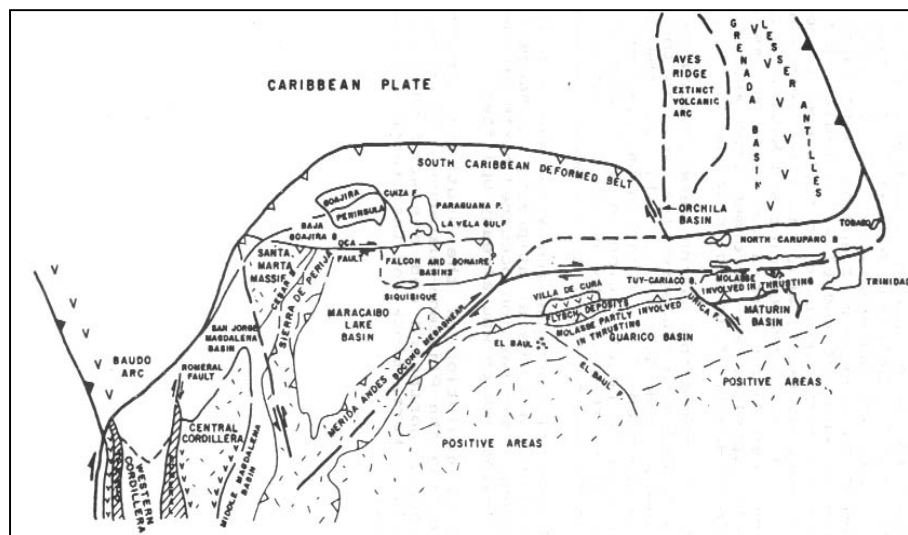


Figura 3.9. Reconstrucción del norte de Sudamérica para el Mioceno tardío. Tomado de OSTOS (1990)

3.2.- MARCO GLACIO-EUSTÁTICO REGIONAL:

El nivel del mar ha fluctuado a través del tiempo geológico, mostrando avances o retrocesos en la línea de costa. Estos cambios de la posición relativa entre el mar y la costa, son indicativos de movimientos verticales de los terrenos, cambios en el volumen oceánico y en muchas ocasiones una combinación de ambos factores (LAMBECK & CHAPPELL, 2001).

Durante el Cuaternario, el responsable principal de los cambios en el nivel del mar, corresponde al intercambio de masa de agua entre los casquetes helados y los océanos. Dichas fluctuaciones son respuesta a diferentes eventos climáticos globales, como las glaciaciones y los períodos interglaciales, provocando descensos y ascensos del nivel del mar respectivamente. A pesar de que estos procesos son a escala mundial, los cambios producidos muestran patrones temporales y espaciales complejos, por lo que las variaciones en las líneas de costa difieren en distintas localidades (a escala mundial), durante un mismo evento climático (LAMBECK & CHAPPELL, *op. cit.*) (ver Figura 3.10).

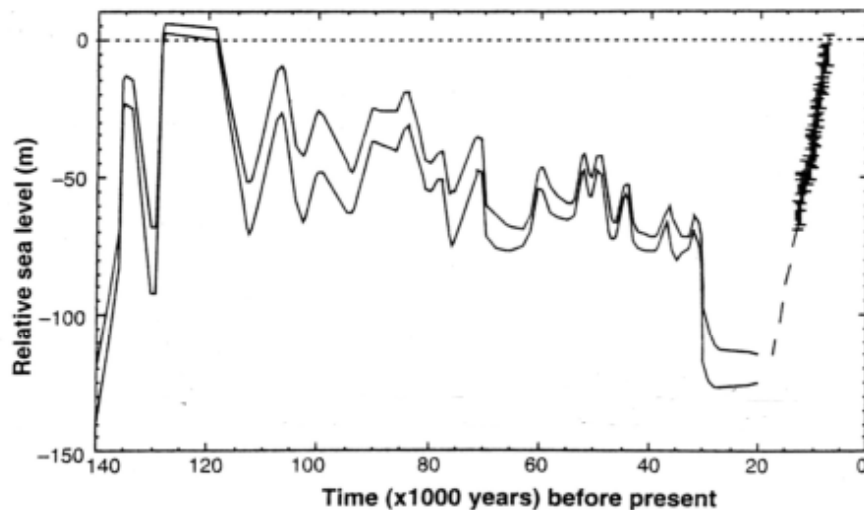


Figura 3.10. Curva de variación en el nivel del mar durante los últimos 140 ka. Modificado de LAMBECK & CHAPPELL (2001).

Hoy en día, se reconocen al menos diecisiete ciclos glaciales para los últimos 1,61 Ma. Cada uno de estos ciclos comprende un período “frío” o glacial y un período “cálido” o interglacial. Dentro de las glaciaciones existen etapas relativamente cálidas, denominadas interestadios. Además, estos ciclos glaciales no son necesariamente correlacionables a nivel mundial, dadas las discrepancias existentes en los lapsos para cada una de estos eventos, entre Europa y Norteamérica (MÉNDEZ, 1997-b).

Los efectos de las glaciaciones, se han hecho notar en muchas de las formaciones cuaternarias de Venezuela. En el área insular y costera, resulta bien interesante la influencia del Interglacial Sangamón (Interglacial Araya), la Glaciación Wisconsin (Glaciación Mérida) y la Transgresión Holocena.

3.2.1.- Interglacial Sangamon:

Este período, cuyos inicios resultan difíciles de determinar (300 ka?), corresponde al último interglacial y marca la transición entre el Pleistoceno Medio y el Pleistoceno Tardío en el máximo estado transgresivo (128 ka). En este punto, el nivel del mar para el Caribe alcanzó los 5-6 m por encima del actual, propiciando la depositación de ambientes carbonáticos, como los observados en las Formaciones La Blanquilla (Miembro Falucho), La Orchila, Los Roques y Castillo de Araya. MÉNDEZ (*op. cit.*) propone el término “Interglaciación Araya” como equivalente regional al Sangamon.

3.2.2.- Glaciación Wisconsin:

Posterior al Interglacial Sangamon, sucede un progresivo descenso de la temperatura, marcando el inicio del Pleistoceno Tardío. Durante este período ocurre además un descenso en el nivel del mar, interrumpido por varios interestadiales (105, 84, 60 y 40 ka) originando terrazas submarinas en Las Aves, Los Roques, La Orchila y La Blanquilla. Durante el apogeo de la Glaciación Wisconsin (18 ka) el descenso se ubica entre 100 y 120 m por debajo del nivel actual, marcando la transición entre el Pleistoceno Tardío y el Holoceno (MÉNDEZ, *op. cit.*).

SCHUBERT (1976) (en MÉNDEZ, 1997 b) propone el término Glaciación Mérida, en sustitución de la Glaciación Wisconsin, para el período comprendido entre los 70-65 ka hasta los 10 ka.

3.2.3.- Transgresión Holocena:

La transgresión holocena (Transgresión Flandriense) se inició a partir de los 16 ka, con una tasa de ascenso del nivel del mar de 8 mm anuales, hasta los 7 ka. En este tiempo el nivel de aguas alcanzaron 10 m por debajo del actual. Posteriormente la tasa de ascenso disminuyó a 1,4 mm por año, hasta alcanzar el nivel actual entre los 4 a 2 ka (MÉNDEZ, *op. cit.*).

Durante esta etapa se han desarrollado importantes depósitos de carbonatos, como los presente en Los Roques, Las Aves, La Blanquilla, La Tortuga, La Orchila y en algunos sectores de la isla de Margarita (MÉNDEZ, *op. cit.*).

3.3.- ESTRATIGRAFÍA REGIONAL:

Las Dependencias Federales venezolanas se extienden desde Los Monjes, frente a la Península Guajira, hasta Los Testigos al este de la isla de Margarita (SCHUBERT & MOTICKA, 1973). En el área circundante al Archipiélago Los Roques se encuentra el Archipiélago las Aves, la isla La Orchila y la Cordillera de la Costa.

El Archipiélago las Aves comprende dos atolones, denominados Aves de Barlovento y Aves de Sotavento, ubicándose a 40 millas náuticas aproximadamente al oeste de la isla Gran Roque y 90 millas al norte de las costas de Aragua (MÉNDEZ, 1997-a).

Por su parte la isla La Orchila, se sitúa a 35 millas náuticas al este del Archipiélago Los Roques y 100 millas náuticas al NE de La Guaira, conformando una isla de 20 km² aproximadamente con varias islas menores de origen arrecifal, ubicadas al noreste (MOTICKA, 1997).

La Orchila presenta tres macizos montañosos, alcanzando una altura máxima de 135 metros sobre el nivel del mar (SCHUBERT & MOTICKA, *op.cit.*)

Así mismo, la Cordillera de la Costa se extiende a 100 millas al sur del Gran Roque, desde el norte del estado Carabobo, hasta Cabo Codera, estado Miranda, soportando una topografía abrupta y de grandes pendientes (URBANI, 1997) coronada por el Pico Naiguatá a 2765 metros sobre el nivel del mar.

La estratigrafía regional será descrita a continuación, en base a las unidades litoestratigráficas reconocidas tanto en el Gran Roque, como al resto de las localidades circundantes.

3.3.1.- Isla Gran Roque:

La isla Gran Roque se encuentra en el sector nororiental del Archipiélago Los Roques, representando el único afloramiento del complejo ígneo-metamórfico sobre el cual, se encuentran las calizas cuaternarias y los ambientes recientes. En esta localidad se presentan dos unidades:

- Complejo Meta – Ígneo de Gran Roque.
- Formación Los Roques.

3.3.1.1- Complejo Meta-Ígneo de Gran Roque:

Esta unidad se encuentra representada por un macizo de meta-lamprófidio (meta spessartita) en el cerro Occidental y un macizo de meta-diabasa en los cerros Central y Oriental. En ambos macizos se observan intrusiones de tamaño y forma variable de diorita cuarcífera, diques de aplitas graníticas y alcalinas, pegmatitas gráficas y meta lavas andesíticas. (SCHUBERT & MOTICKA, 1973).

El meta-lamprófidio, descrito por AGUERREVERE & LOPEZ (1938) como gabro hornabléndico, consiste en una roca fanerítica de grano grueso, masiva y de color gris oscuro. Análisis microscópicos muestran una textura ofítica, equigranular y de grano grueso en donde los minerales máficos constituyen mas del 50% de la roca. (SCHUBERT & MOTICKA, *op. cit.*)



Figura 3.11. Diques de diorita intrusionando un cuerpo de meta-diabasa ubicado al oeste del cerro Central en el Gran Roque. Escala 35 cm aproximadamente.

La meta-diabasa, referida por AGUERREVERE & LOPEZ (1938) como diabasa de grano fino, representa una roca fanerítica de grano muy fino, equigranular, masiva y densa, cuyo color varía de gris oscuro a negro. La roca, cuando es meteorizada, presenta tonalidades más claras, y en muchas ocasiones se encuentra muy diaclasada, rasgo también presente en el meta-lamprófido. Entre las grietas se observa material fosfático de color pistacho, amorfo, producto de la alteración de la roca caja por soluciones de ácido fosfórico proveniente del guano y aguas meteóricas. Bajo el microscopio, las meta-dibasas presentan textura equigranular intersertal, con una orientación ocasional preferencial de los granos de apariencia xenomórfica. Los minerales máficos representan la mayoría de elementos constituyentes de la roca. (SCHUBERT & MOTICKA, 1973)

La diorita cuarcífera se encuentra como pequeños cuerpos intrusivos en la meta-spessartita y meta-diabasa en forma de cuerpos irregulares o diques anchos los cuales suelen presentar xenolitos de roca caja embebidos dentro de la intrusión (ver Figura 3.11).

Dicha roca se presenta de grano grueso, fanerítica, equigranular y masiva. Su color es variable, de gris claro a gris oscuro, dependiendo de la cantidad de minerales máficos. Bajo el microscopio se observa una textura equigranular, con

granos alotriomorfos y una proporción de máficos variable, aunque no mayor de 30% (SCHUBERT & MOTICKA, 1973).

Las aplitas son de composición granítica e intrusionan las rocas anteriormente descritas en forma de diques con un espesor promedio de 1 m. De igual forma, son rocas faneríticas, de grano fino a medio, equigranular y masiva de color claro. Observadas bajo el microscopio, presentan textura equigranular de grano alotriomórfico fino a medio sin orientación preferencial. Estas rocas se encuentran asociadas a pegmatitas gráficas. (L.E.V., 1997) las cuales son de color blanco a pardo claro, faneríticas de grano grueso, masivas y ligeramente alteradas y que además presentan, bajo el microscopio, textura pegmatítica con intercrecimiento gráfico. (SCHUBERT & MOTICKA, *op. cit.*).

Las pegmatitas, al igual que las aplitas, se presentan en forma de diques de espesor variable o incluso en forma de manto que corta la parte superior del cerro Occidental en el sitio del faro nuevo.

Otros cuerpos rocosos dentro de este complejo de rocas meta-ígneas lo constituyen un dique de meta lava andesítica y una pequeña zona de ortoanfibolita.

La meta lava andesítica está representada por un dique intrusivo en las meta-diabasas del cerro Oriental, de unos 5 m. de espesor de roca porfídica con matriz afanítica. Su color es marrón a gris claro con fenocristales rosados. Análisis microscópicos muestran a una roca de textura porfirítica con cristales idiomórficos de grano medio a fino, matriz holocristalina de grano muy fino; se observa también, textura de flujo.

En cuanto a la ortoanfibolita, ésta fue reportada por SCHUBERT & MOTICKA (*op. cit.*) en una localidad situada en el extremo occidental del cerro Occidental en la zona de contacto entre el meta-lamprófiro y un dique de diorita cuarcífera, y se caracteriza por ser afanítica y presentar buena exfoliación, su textura es granular de grano fino, mientras que los granos se encuentran con una orientación preferencial. También es posible ubicar litologías similares entre los cerros Occidental y Oriental (ver Figura 3.12 a).

El Complejo Meta-Ígneo de Gran Roque presenta un sistema de diaclasas característico con orientación N18W - N60W, e incluso pueden interpretarse sistemas de fallas N70E relacionadas a éstas, aunque todavía no se han encontrado indicadores de desplazamiento (ver Figura 3.12 b).

Por otra parte, la edad radiométrica del complejo fue determinada por SANTAMARIA & SCHUBERT (1974) en OSTOS (1990) mediante el uso del método de K/Ar en diversas rocas, dando como resultado 130 +/- 14 MA en los meta-lamprófidos y metadiabasas, y de 65 +/- 4 MA en las pegmatitas y la dioritas. En este mismo trabajo OSTOS (*op. cit.*) menciona la existencia de una disconformidad de 66 a 1,6 MA entre las rocas del complejo meta-ígneo y las rocas cuaternarias.



Figura 3.12. Detalles del Complejo Meta-Ígneo de Gran Roque. Aspecto de la ortoanfibolita ubicada entre los cerros Central y Occidental (a); Metadiabasa intensamente fracturada en el cerro Oriental Rumbo foto N45W (b)

3.3.1.2.- Formación Los Roques:

La Formación Los Roques se encuentra restringida al área del archipiélago homónimo y representa el basamento calcáreo que soporta los arrecifes y sedimentos no consolidados holocenos, cuya superficie de sedimentación es de más de 1500 km². (L.E.V, 1997)

Su localidad tipo se encuentra en contacto discordante con las rocas metamórficas en el flanco sur del cerro Occidental entre la cota 0 y 2 m.s.n.m.(ver Figura 3.13); también se aprecia un buen afloramiento al sureste del cerro Central entre la Ensenada del Mal Viento y el cementerio local (ver Figura 3.14).

La litología la conforman sedimentos calcáreos litificados, que se depositaron durante el Pleistoceno tardío en el curso de la Transgresión Sangamon y posteriores transgresiones menores hasta el presente (MÉNDEZ, 1984) Los afloramientos de estas calizas del Sangamon son apreciables en la terraza del Gran Roque y en otras localidades del archipiélago como el plano arrecifal situado detrás de la barrera oriental y al oeste de Cayo de Agua y Dos Mosquises. (L.E.V, 1997).

En las terrazas del Gran Roque SCHUBERT & MOTICKA (1973) reportan fragmentos tamaño grava de rocas meta-ígneas cementadas con material calcáreo, ROJAS (1985) identifica estos conglomerados en el sector centro oeste de la isla y los ubica dentro de una zona de playa antigua y conos de deyección. En este mismo trabajo se describe con detalle los afloramientos y observa numerosas bioturbaciones y rastros de estratificación cruzada. El autor de la presente investigación, ha encontrado además, abundantes restos de gasterópodos muy similares a la quigua actual (*Cittarium pica*), así como fragmentos de huevos de vertebrados sin diferenciar. Dichos restos fueron encontrados en arenas infrayacentes a la capa de conglomerados.



Figura 3.13. Terraza calcárea perteneciente a la Formación Los Roques, ubicada al sur del cerro Occidental. (Rumbo foto N30E).



Figura 3.14. Capa de conglomerados de la Formación Los Roques, ubicada al sureste del cerro Central. Al fondo el cerro Oriental (Rumbo foto N45E).

El espesor real de las calizas Sangamon es desconocido, dado que el valor reportado de 3 m en la terraza del Gran Roque probablemente corresponda a un acuñamiento depositacional; sobre estas calizas se desarrollan todas las facies recientes.

La Formación Los Roques se correlaciona cronoestratigráficamente con la Formación La Orchila, el miembro Falucho de la Formación La Blanquilla, el miembro Punta Piedra de la Formación La Tortuga, la Formación Castillo de Araya y la Formación El Manglillo. La edad corresponde al Interglacial Sangamon según método de U/Th (L.E.V, 1997).

3.3.2.- Archipiélago Las Aves:

El Archipiélago Las Aves está conformado por dos conjuntos de islas denominadas: Aves de Barlovento y Aves de Sotavento, situados a 40 millas al oeste de Los Roques. En ninguna de las islas que conforma este archipiélago, afloran rocas ígneas o metamórficas. Sin embargo se pueden observar desarrollos de calizas post

Sangamon, en terrazas submarinas ubicadas en los arrecifes meridionales (MÉNDEZ, 1997-a). Dichas calizas reciben el nombre de “Caliza de Las Aves” (L.E.V, 1997).

3.3.2.1- Caliza de Las Aves:

La Caliza de Las Aves, no presentan localidades tipo específicas, debido a que no ocurrió la preservación de calizas por encima del nivel del mar, al no existir formas de relieve que lo permitieran, como es el caso del macizo ígneo - metamórfico del Gran Roque respecto a las calizas de la Formación Los Roques. Sin embargo, se pueden apreciar desarrollos de terrazas coralinas, asociadas a las transgresiones menores post- Sangamon, en los planos arrecifales situados detrás de los arrecifes de barreras orientales, tanto en las Aves de Barlovento como en las Aves de Sotavento (MÉNDEZ, *op. cit.*).

Dichos planos arrecifales están constituidos por fragmentos de corales *Montastrea*, *Porites* y *Acropora*, y conchas cementados por un calcarenita. La textura depositacional predominante corresponde a “grainstone” y ocasionalmente a “boundstone”. En las terrazas submarinas, se observan además corales *in situ* pertenecientes a los géneros *Montastrea* y *Diploria*, lo que podría corresponder a desarrollos iniciales de arrecifes frangeantes que evolucionaron a arrecifes de barrera (L.E.V, *op. cit.*).

La edad de la Caliza de Las Aves, corresponden al nivel transgresivo Sangamon (128 ? ka) y sucesivas transgresiones menores ocurridas entre 105 y 40 ka, las cuales son las responsables de la formación de las terrazas submarinas situadas entre 12 – 14 , 22 – 24 y 40 – 50 m de profundidad. Sobre estas calizas se desarrollan ambientes sedimentarios recientes abarcando una superficie de 280 km² aproximadamente (MÉNDEZ, *op. cit.*).

3.3.3.- Isla La Orchila:

La isla La Orchila se ubica a unas 30 millas náuticas (50 km) al este del Archipiélago Los Roques, con unas coordenadas aproximadas 11° 48' N y 66° 10' W. La Orchila realmente consiste en pequeño archipiélago con una isla grande en forma

triangular, con un diámetro máximo de 9 km y pequeños cerros de hasta 135 metros sobre el nivel del mar, así como un conjunto de islas menores de origen arrecifal situadas al noreste de la principal (SCHUBERT & MOTICKA, 1973).

En esta zona se presentan dos unidades litoestratigráficas:

- Complejo Ígneo Metamórfico de La Orchila.
- Formación La Orchila.

3.3.3.1- Complejo Ígneo Metamórfico de La Orchila:

En La Orchila se encuentra una asociación de rocas máficas, intermedias y félsicas, del Cretácico Tardío, metamorfizadas, ortoanfibolitas, meta-diabasas, metabasaltos, meta-lavas, ortognéises, esquistos, aplitas y pegmatitas. Estas rocas se encuentran aflorando en el cerro Walker, al oeste de la isla, además de otros cerros menores denominados Central y Oriental (SCHUBERT & MOTICKA, *op. cit.*).

Las rocas graníticas afloran hacia la parte occidental del cerro Walker, intrusionando a la meta-diabasa en forma de diques de color gris a pardo claro, representadas por un stock granítico-granodiorítico central, de grano grueso a muy grueso, ocasionalmente porfídico, con notoria deformación y cizallamiento, presentando textura gnéisica a esquistosa, dependiendo del grado de deformación (SCHUBERT & MOTICKA, *op. cit.*), (MOTICKA, 1997).

Mineralógicamente, estas rocas están compuestas por: plagioclasa, cuarzo, feldespato potásico, mica incolora, epidoto, biotita, actinolita, titanita y minerales opacos. La proporción de estos minerales resultó difícil de determinar debido al grado de cataclasis observada (SCHUBERT & MOTICKA, *op. cit.*).

La meta-diabasa aflora en la zona oriental del cerro Walker, en forma de cuerpo irregular ó como cuerpos interestratificados con otras rocas metamórficas. El aspecto general muestra una roca de color gris verdoso a gris oscuro, con granulometría afanítica a grano fino, ocasionalmente almohadillada, con foliación gnéisica o esquistosa y en algunos casos ligeramente porfídica. Mineralógicamente estas rocas se componen de plagioclasa (25-70%); actinolita (2-50%); epidoto (10-

20%); cuarzo (0-15%); clorita (0-10%); titanita (0-3%); opacos (0-2%); calcita (0-1%) (SCHUBERT & MOTICKA, 1973.).

La meta-lava (ortognéis porfídico), se encuentra intrusionando a la meta.diabasa en forma de pequeños diques de menos de 5 m de espesor. Estas rocas son de color verde a verde oscuro, presentandose como porfídicas, foliadas y félsicas, con vestigios de textura lávica asociadas a las rocas graníticas y granodioríticas de la isla. La granulometría es fanerítica de tamaño variable con textura gnéisica. Su mineralogía está compuesta por: cuarzo y plagioclasa en proporciones variables; mica incolora (5-15%); epidoto (1-10%); clorita (1-5%); titanita (0-2%); apatito (0-1%); opacos (0-1%) y carbonatos secundarios (SCHUBERT & MOTICKA, *op. cit.*).

Los gneises y los esquistos se encuentran en la parte sur de los cerros orientales, mostrándose intrusivos dentro de una secuencia metamórfica y consisten en gneises y esquistos micaceos, ricas en epidoto, asociadas a rocas cataclásticas. Estas rocas son faneríticas de grano fino a medio, foliadas, cizalladas con colores que varían entre verde oscuro, blanco moteado verde y pardo meteorizado. Generalmente se encuentran meteorizadas. Mineralógicamente se componen de cuarzo (35-45%); plagioclasa (30-40%); epidoto (12-25%); clorita (0-15%); hornblenda (0-5%); opacos (0-3%); biotita (0-1%); mica incolora (0-1%) y ocasionalmente se encuentra titanita y apatito (SCHUBERT & MOTICKA, *op. cit.*).

Igualmente se observan gneises hornbléndico granatíferos, aflorando en la parte oriental de La Orchila, mostrando textura gnéisica y equigranular de grano medio. El granate característico es el almandino. Su mineralogía consiste en: cuarzo (25-40%); plagioclasa (30-65%); hornblenda (5-15%); epidoto (1-4%); clorita (0-1%); granate (1-3%); opacos (0-3%); biotita (0-1%); mica incolora (0-1%) y ocasionalmente se encuentra titanita y apatito (SCHUBERT & MOTICKA, *op. cit.*).

Existen además filitas y esquistos cloríticos en el flanco sur del cerro Walker, en capas de buzamiento sur, sobre las rocas graníticas y granodioríticas quienes las intrusionan. Estas rocas se encuentran finamente foliadas, muy alteradas, con textura

equigranular, filítica a esquistosa y presenta micas bien orientadas (sericita), clorita, fedespato, cuarzo epidoto y opacos (SCHUBERT & MOTICKA, 1973).

Las ortoanfibolitas afloran en los cerros orientales, formando parte de una secuencia metamórfica que genera un amplio anticlinoide. Generalmente son de color gris a verde oscuro, afaníticas a faneríticas de grano fino a muy grueso y bajo el microscopio presentan textura esquistosa o gnésica, equigranular y ocasionalmente se observan estructuras de mosaico entre las plagioclasas. Mineralogía: anfíbol (40-70%); plagioclasa (5-45%); cuarzo (2-20%); epidoto (2-10%); clorita (1-15%); granate (1-3%); biotita (0-1%); mica sericita (0-5%); titanita (1-24%) apatito (0-1%) y opacos (0-3%) (SCHUBERT & MOTICKA, *op. cit.*).

Las pegmatitas y aplitas granodioríticas intrusionan la secuencia metamórfica en los cerros orientales en diques de espesor variable (no mayor a 10 cm) de color beige claro, blanco o gris claro. Las rocas se encuentran ligeramente meteorizadas y presenta textura aplítica o pegmatítica según el caso. La mineralogía es similar para ambos tipos de rocas y se compone de: plagioclasa (45-60%); cuarzo (20-30%); microclino (7-20%); mica incolora (sericita) (1-10%); epidoto (1-5%) y minerales oscuros (1-5%) (SCHUBERT & MOTICKA, *op. cit.*).

En La Orchila se reportan además otras rocas como serpentinitas, peridotitas en los cerros centrales, vetas de cuarzo y epidotitas en el cerro Walker, así como geises y esquistos micáceos epidóticos. (SCHUBERT & MOTICKA, *op. cit.*).

3.3.3.2- Formación La Orchila:

SCHUBERT & MOTICKA (*op. cit.*) describen a los depósitos cuaternarios, en forma de roca de playa y terrazas coralinas de 1,5 a 2m, los cuales se ubican en la costa sur y algunos sectores de la costa norte de La Orchila. MÉNDEZ (1985 a) incluye además a las terrazas submarinas entre 14, 22 y 45 m de profundidad presentes en la isla.

Estos depósitos cubren el 90% de la isla, abarcando toda la parte plana que rodea a los macizos del Complejo ígneo metamórfico de La Orchila y abarcan una superficie de afloramiento de 18 km² aproximadamente (MÉNDEZ, 1996 a).

Litológicamente, la Formación La Orchila consiste en una facies de grano grueso y otra de grano fino. La primera está formada por fragmentos de corales y conchas de granulometría variable de peñas a guijarros, cementados por cemento fibroso y espático, presentando coloraciones variables entre marrón claro a gris, en superficies meteorizadas (MÉNDEZ, 1996 a).

En cuanto a la facies de grano grueso, ésta se distingue por ser un conglomerado arenoso con fragmentos de conchas y corales, bien cementada por carbonato de calcio espático, representando una antigua roca de playa, formada al sur y este del cerro Walker, con ligero buzamiento sur.

La Formación La Orchila fue datada radiométricamente, por el método U/Th en fragmentos de corales, sugiriendo una edad de 131 ka aproximadamente, lo que correspondería al período de máxima transgresión perteneciente al Interglacial Sangamon (SCHUBERT & VALASTRO, 1976); (MÉNDEZ, *op. cit.*)

Esta formación es correlacionable con la Formación Los Roques, el Miembro Falucho de la Formación La Blanquilla, el Miembro Punta Piedra de la Formación La Tortuga, la Formación Castillo de Araya, así como la Terraza III de Barbados. De igual manera se correlacionan las terrazas submarinas de La Orchila con las presentes en La Blanquilla, Los Roques y Las Aves, correspondientes a los interestadales menores post- Sangamon (MÉNDEZ, 1985-a)

3.3.4.- Cordillera de la Costa:

La Cordillera de la Costa se sitúa 100 millas (160 km) aproximadamente al sur del Gran Roque, extendiéndose desde el norte del Estado Carabobo, hasta Cabo Codera, Estado Miranda, soportando una topografía abrupta y de grandes pendientes (URBANI, 1997).

Dentro de la Cordillera de la Costa se encuentra la Serranía del Ávila, conformado por una sistema montañoso en forma de filas alineadas a la costa, con crestas alargadas y cimas redondeadas, relieve abrupto y escarpado, limitado al oeste por el valle de la quebrada Tacagua y al este por el Cabo Codera. Las laderas son

asimétricas y la máxima altura corresponde al Pico Naiguatá (2765 m.s.n.m) (CASTILLO & SUÁREZ, 2001).

En esta zona, perteneciente a la región norcentral de Venezuela, se ubican dos grandes unidades litoestratigráficas:

- Asociación Metamórfica Ávila (Complejo Ávila).
- Grupo Cabo Blanco.

3.3.4.1.- Asociación Metamórfica Ávila (Complejo Ávila):

El nombre de esta unidad procede del macizo de El Ávila, localizado al norte de Caracas y la localidad tipo se encuentra en la quebrada San Julián al sur de Caraballeda. La cartografía de la Asociación Metamórfica Ávila se extiende desde el estado Carabobo, hasta Cabo Codera, estado Miranda (URBANI, 2000).

Litológicamente comprenden gneises graníticos del Augengneis de Peña de Mora, rodeados por los esquistos del Complejo San Julián. Aunque fácilmente distinguibles en campo, ocasionalmente ambas unidades se intercalan con espesores variables de pocos centímetros hasta varios metros, lo que dificulta su cartografía (URBANI, *op. cit.*).

Estas rocas se encuentran metamorfizadas en las facies de los esquistos verdes, zona de la biotita y el almandino. Sin embargo, existen evidencias que sugieren facies previas con metamorfismo de mayor grado. Las edades de las rocas pertenecientes a la Asociación Ávila, determinadas radiométricamente por el método Rb/Sr, varían desde 1560 +/- 83 Ma en el Augengneis de Peña de Mora, hasta 220 +/- 20 Ma en los gneises y esquistos de la quebrada San Julián (URBANI, *op. cit.*).

3.3.4.2.- Grupo Cabo Blanco:

En la región de Cabo Blanco (entre Catia la Mar y Maiquetía) estado Vargas, afloran un conjunto de sedimentos pliocenos - pleistocenos, las cuales descansan discordantemente sobre las rocas metamórficas de la Cordillera de la Costa. (L.E.V., 1997).

En total, cuatro unidades litoestratigráficas conforman al Grupo Cabo Blanco, las cuales se denominan, de más antigua a más joven como: Formación Las Pailas, Formación Playa Grande, Formación Mare y Formación Abisinia.

La Formación Las Pailas, es la más tectonizada del grupo y tiene como localidad tipo a la quebrada Las Pailas, aflorando desde ahí hasta Marina Grande, en dirección oeste. El espesor estimado es de 375 m, aunque puede ser mayor. La litología de esta formación está representada por conglomerados y areniscas gris verdoso a blanco, no fosilíferos, de origen no marino, con marcada estratificación cruzada. Localmente presenta capas carbonosas, con restos de hojas y troncos, así como granos de polen (BERMÚDEZ & FUENMAYOR, 1962 en GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, 1980).

La Formación Playa Grande, está representada por los acantilados del norte de Playa Grande, formando mesetas de suave buzamiento suroeste, compuesta por sedimentos clásticos de granulometría variable desde conglomerados a lutitas, con desarrollos locales de arrecifes de *Lithothamnium* sp. y *Lyropecten arnoldi*. Esta formación se divide en dos miembros: Catia y Maiquetía, expuestos al norte y al sur respectivamente de las falla de Las Bruscas (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, *op. cit.*).

El Miembro Catia, es la sección mejor desarrollada del Grupo Cabo Blanco, aflorando a lo largo de la urbanización Playa Grande. Litológicamente se compone de un conglomerado basal discordante sobre la Formación Las Pailas, seguido por limolitas y arenisca calcáreas, lutitas, caliza coquinas con *Ostrea* sp. y *Lyropecten arnoldi*. Los colores predominantes son marrón claro y amarillo quemado. El espesor del Miembro Catia podría exceder los 200 m (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, *op. cit.*).

Por su parte, el Miembro Maiquetía aflora al sur de la falla de Las Bruscas, en una franja relativamente estrecha. Su litología consiste en lutitas, limolitas, areniscas calcáreas y conglomerados de color gris pardo. El contacto en la base se desconoce, mientras que al tope lo constituye una discordancia angular debajo de la Formación Mare. Estudios en microfósiles del Miembro Catia, sugieren una edad correspondiente al Plioceno superior (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, *op. cit.*).

La Formación Mare, se encuentra aflorando al sur de la falla de Las Brujas, con la localidad tipo en la quebrada Mare, al norte del Aeropuerto de Maiquetía. Esta formación se encuentra parcialmente destruida por las obras de ampliación del aeropuerto y está representada por gravas friables de grano fino, arenas de grano progresivamente fino y limos consolidados de colores grises y pardo claros. Este conjunto alcanza un espesor máximo de 19 m. (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, 1980).

Por último, la Formación Abisinia comprende unos sedimentos marinos que forman la terraza de la urbanización Playa Grande, con localidad tipo en el caserío de Abisinia, Cabo Blanco, hoy día estado Vargas. Al igual que la Formación Mare, esta formación está fuertemente afectada por las obras del Aeropuerto de Maiquetía. Esta unidad está caracterizada por arcillas calcáreas (localmente fosilíferas), areniscas de grano fino, gravas calcáreas y arenas gruesas micáceas de color rojizo. El espesor máximo es de 15 m y variable debido al carácter discordante entre esta formación y el Miembro Catia de la Formación Playa Grande. Estudios realizados en los fósiles y por métodos radiométricos de U/Th revelan una edad de 300 ka, correspondiente al Pleistoceno superior, dentro del período Interglacial Sangamon (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, *op. cit.*).

CAPÍTULO IV

4.- GEOLOGÍA LOCAL:

4.1.- GENERALIDADES:

Dentro de la isla Gran Roque afloran las rocas meta-ígneas del Complejo Meta-Ígneo de Gran Roque, las calizas de la Formación Los Roques (L.E.V. 1997) además de los ambientes de sedimentación marino somero recientes (ver Figura 4.1).

Aún cuando el estudio de las unidades litoestratigráficas señaladas, no constituyen parte de este trabajo, su descripción resulta pertinente debido a su influencia dentro de los ambientes de sedimentación recientes.

El Complejo Meta – Ígneo de Gran Roque, se encuentra representado por los pequeños macizos correspondientes a los cerros Occidental, Central y Oriental, en los que afloran meta-diabasas y meta-gabros intrusionados por dioritas cuarcíferas, así como diques de pegmatita y aplita. Igualmente se aprecian pequeños cuerpos de ortoanfibolita y meta-lava andesítica (SCHUBERT & MOTICKA, 1973).

Las rocas de este complejo se ubican en un rango de edades comprendido entre 130 a 65 Ma (SANTAMARIA & SCHUBERT, 1974 en OSTOS, 1990).

La Formación Los Roques está constituida por unas pequeñas terrazas situadas al sur de los cerros del Gran Roque entre 0 y 3 m sobre el nivel del mar. En estos cuerpos se aprecian calizas y calcarenitas con restos de corales y gasterópodos, además de conglomerados de meta-diabasas y meta-gabros rodeados por una matriz calcárea.

Estas terrazas corresponden al Interstadial Sangamon, cuyo máximo transgresivo lo alcanzó hace 128 Ka (MÉNDEZ, 1985-a, b)

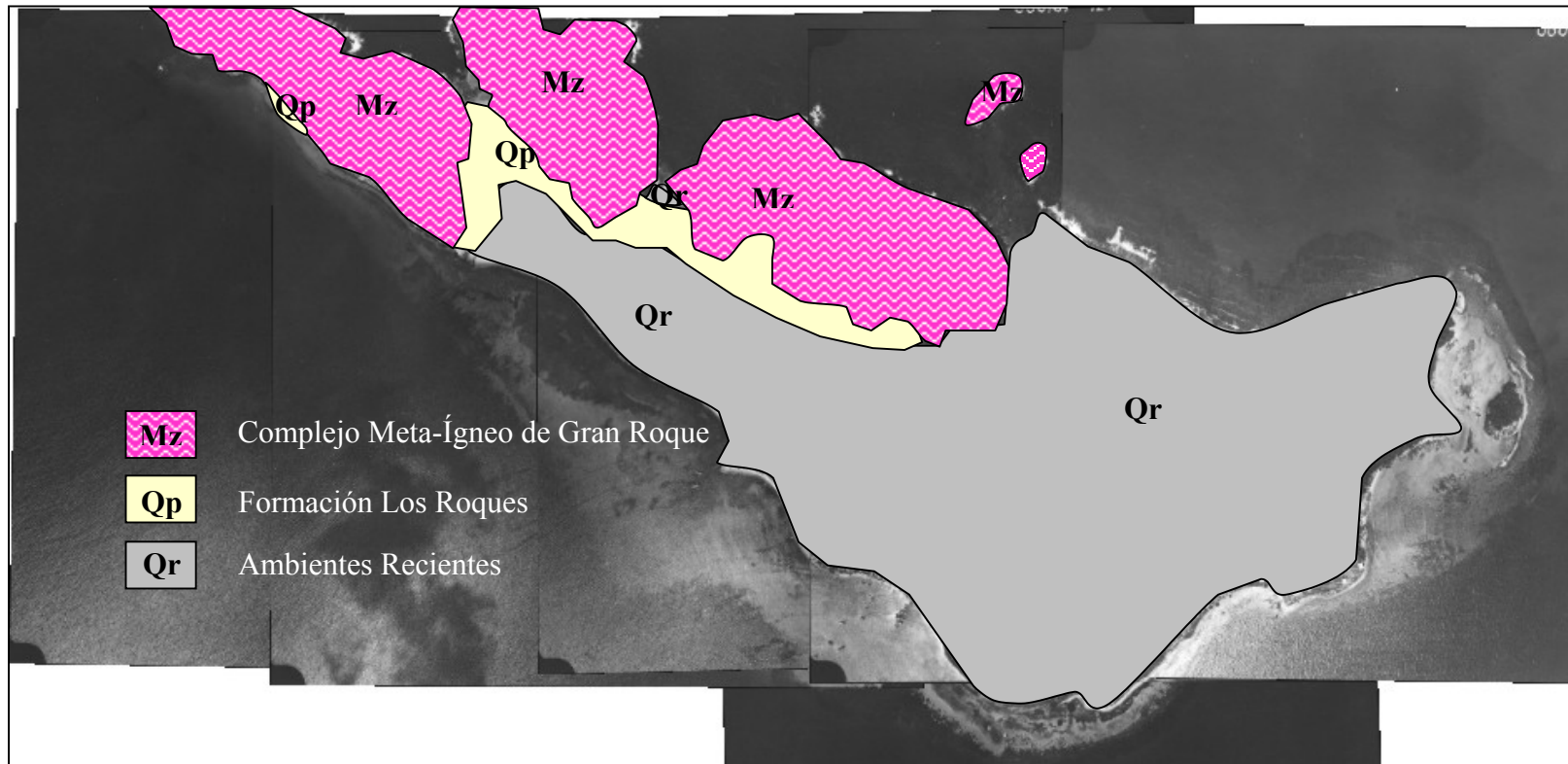


Figura 4.1. Principales unidades litoestratigráficas presentes en la isla Gran Roque. Fotomosaico misión 060107.

4.2.-FACIES SEDIMENTARIAS:

Según TUCKER & WRIGHT (1990), el término facies se define como un conjunto particular de características presentes en los sedimentos como litología, textura, estructuras sedimentarias, contenido fósil, entre otras.

Las litofacies, se definen en base a las características sedimentológicas, siendo la más empleada por los sedimentólogos (quienes la refieren como “facies” simplemente). Las biofacies son determinadas basándose en diferencias paleontológicas. Por su parte las ichnofacies son distinguibles por las asociaciones de huellas o rastros fósiles.

TUCKER & WRIGHT (*op. cit.*) reconocen las dificultades para el reconocimiento de facies en carbonatos, dado que una “facies” en particular puede presentarse dentro de una misma secuencia varias veces y pueden pasar vertical o lateralmente a otra, debido a cambios en una o varias características como contenido fósil o tamaño de grano. Así mismo las facies carbonáticas son referidas usualmente en una de las tres formas que a continuación se citan:

- En sentido puramente descriptivo con pocos adjetivos pertinentes. Ejemplo: facies de “mudstone fenestral peloidal” o “grainstone oolítico”.
- En términos del ambiente depositacional. Ejemplo: facies de “llanura de marea”.
- En base a los procesos depositacionales. Ejemplo: facies de “arenas oolíticas” o “mudstone esqueletal de depósitos de tormenta”.

Como se aprecia, la primera se refiere a términos puramente descriptivos, al tiempo que la segunda y tercera forma son más interpretativas. En este trabajo se estableció el criterio descriptivo para la definición de facies, mientras que los interpretativos se utilizaron en la identificación de los diferentes ambientes sedimentarios.

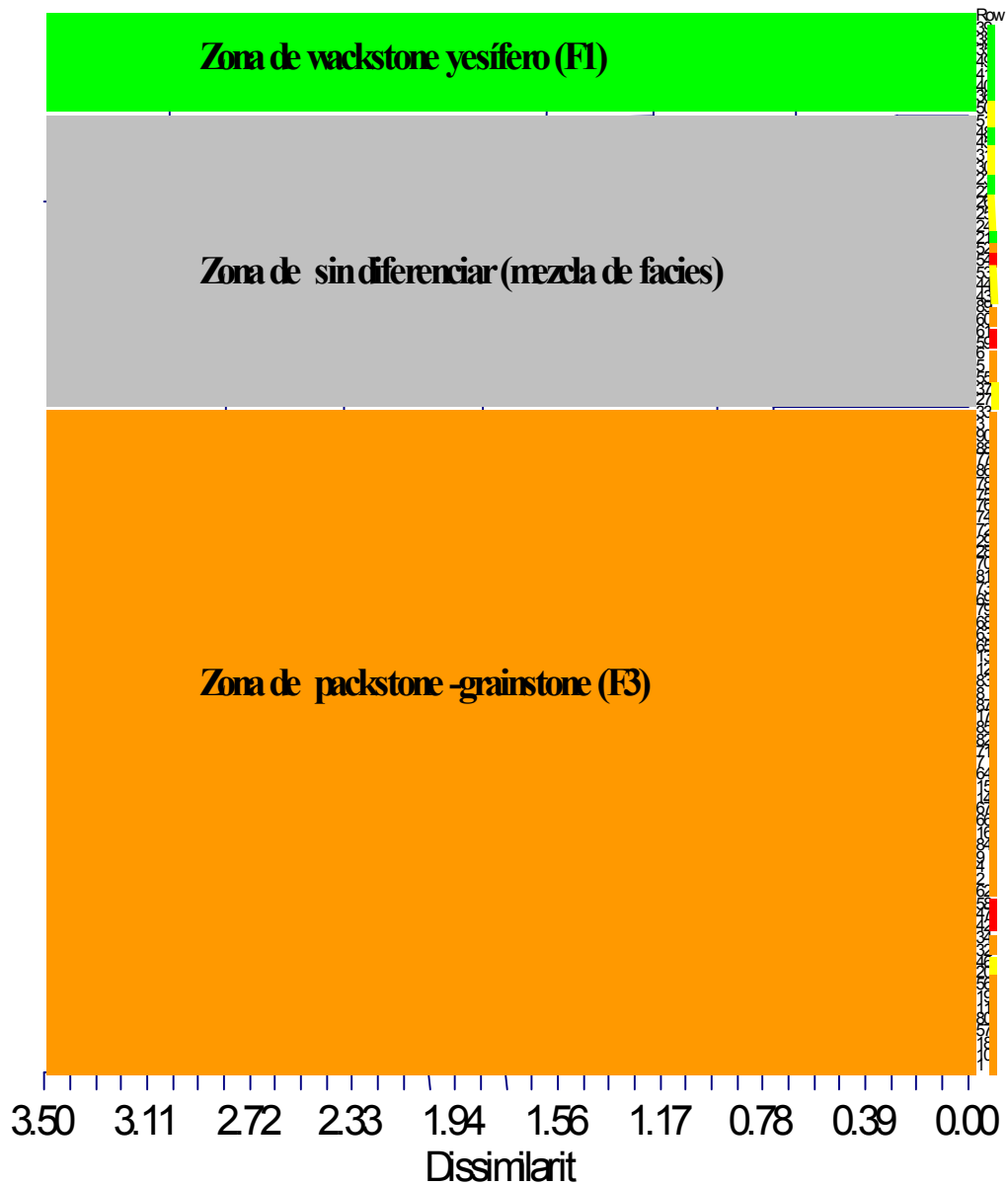


Figura 4.2. Dendrograma realizado con el software NCSS 2000®, utilizando el método del vecino más lejano, distancia euclidiana y ocho variables composicionales. Obsérvese la interpretación preliminar de facies, resultante de la agrupación efectuada por el programa

A partir de los análisis cuantitativo y cualitativo de las muestras durante la etapa de laboratorio, se obtuvieron los parámetros utilizados para la elaboración de un dendrograma, que sirvió de referencia inicial para identificación de las facies (ver Figura 4.2).

El análisis de grupo, se realizó utilizando el método de agrupación del vecino más lejano, empleando distancia euclidiana y una escala basada en la desviación estandar. Las variables utilizadas para la agrupación fueron los siguientes componentes: bioclastos, halimedas, gasterópodos, bivalvos, ostrácodos, foraminíferos, limo y yeso.

El dendrograma resultante, muestra a dos grupos mayores claramente diferenciados. El primero, es el de menor número de muestras y todas coinciden en presentar cantidades importantes de yeso y limos dentro de su composición. El segundo grupo, resulto mucho más amplio, pudiéndose subdividir en cuatro grupos menores o subgrupos. De estos subgrupos uno solo presenta características compartidas con el primer grupo mayor (presencia de limos y yeso). Sin embargo el resto de los subgrupos se caracterizan por presentar grandes cantidades de bioclastos y halimedas, además de ser carentes de yeso.

La explicación de esta pequeña zona de “mezcla” es atribuible a la elevada presencia de bioclastos y halimedas, en muestras yesíferas.

Por consiguiente, a partir del dendrograma se establecieron dos criterios básicos de discriminación de las facies: la abundancia de bioclastos y la presencia de yeso. Estos parámetros se refinaron, utilizando los datos texturales de los sedimentos, obtenidos en la descripción de las calicatas, box-cores y núcleos en campo, además de su relación con otros componentes.

Aunque los sedimentos presentes en áreas estudiadas *in situ*, como manglares y terrazas de tormenta, no se incluyeron dentro del análisis de grupos, presentaron características claramente distinguibles del resto, lo que facilitó su reconocimiento como facies individuales.

Los criterios composicionales para el reconocimiento de las facies dentro de este estudio son los siguientes:

- Limo + yeso > 50%.
- Limo + yeso < 50%.
- Bioclastos + Halimedas > 50%, Limo < 10%.
- Bioclastos + Halimedas < 50%, Limo > 10%.
- Coral + Fragmentos de rocas meta-ígneas > 50%.
- Restos de mangle + limo orgánico > 90%.
- Fragmentos de coral + bioclastos >80%.
- Bioclastos + Halimedas > 90%

De este modo se proponen ocho facies (litofacies) asociadas a los ambientes de sedimentación somero marino recientes presentes en la isla Gran Roque. De estas facies, seis corresponden a sedimentos no consolidados y dos para rocas de playa, las cuales se rigen por la siguiente nomenclatura:

F1: Facies no consolidada (F)- numeración (1,2....6).

FRP1: Facies roca de playa (FRP)- numeración (1,2).

4.2.1.- **F1** : Wackestone – Mudstone yesífero:

Criterio: Limo + yeso > 50%

Mezcla de partículas bioclásticas tamaño arena finas a media (1/16–1/4 mm.) soportados por limos calcáreos de color pardo a gris verdoso. Usualmente se encuentra expuesta o intercalada con otras facies a muy poca profundidad (menor a 30 cm). Suele ser muy yesífera y con escasos fósiles representados por ostrácodos, bivalvos y gasterópodos moderado a bien preservados (ver Figura 4.3).

Entre las estructuras sedimentarias presentes se observan, grietas de desecación, porosidad fenestral (estructuras “ojo de pájaro”), laminación paralela, así como horadaciones de formas tubulares o cilíndricas de 0,8 a 1,2 cm de diámetro. Estas horadaciones se presentan generalmente perpendiculares a la estratificación, profundizándose de manera irregular hasta los 80 – 120 cm. El origen de estas horadaciones es atribuible a “madrigueras” de crustáceos como los cangrejos violinistas (*Uca sp.*).

Los parámetros texturales y granulométricos, obtenidos por análisis petrográficos, dan como resultado una granulometría según UDDEN – WENTWORTH (1922) situada dentro del intervalo limo a gránulos (1/128 a 4 mm) un escogimiento visual (HARRELL, 1985) moderado a bueno ($0,5 < \sigma_1 < 1$) con una tendencia clara hacia los finos.

La composición se caracteriza por limos calcáreos (10-75%) de color pardo claro a gris verdoso oscuro, dependiendo de la presencia de materia orgánica en descomposición. El yeso (5-85%) se presenta en forma de escamas discoidales, subangulosas a redondeadas, transparentes o traslucidas de color lechoso. Muchas veces, es posible observar inclusiones de lodo dentro de estas escamas. Igualmente se observan restos de rocas meta-ígneas (4%) de color negro verdoso a pardo rojizo oscuro, pertenecientes a fragmentos de minerales ferromagnesianos como anfíboles, biotita o piroxenos (ver Figura 4.4).

Los bioclastos (1-31%) son fragmentos de tamaño variable (1/10 a 3 mm) de color crema a ocre rojizo, cuyo origen exacto es difícil de determinar dado su alto retrabajo y reducido tamaño. Por lo general, estos restos se presentan subangulares a redondeados y formas tabulares a esféricas.

Los fósiles son mucho menos abundantes, destacando algas calcáreas del género *Halimeda* (10%<) en forma de fragmentos retrabajados, blanquecinos, de 1,5 a 4 mm; bivalvos (0,5-18%) identificados como *Laevicardium laevigatum*, moderadamente preservados, con valvas de color blanquecino de 2 a 4 mm. Ostrácodos (10%<), distinguibles por su conchas bien a moderadamente preservadas, transparentes y de 1/2 a 1,5 mm de longitud, posiblemente identificables como *Cyprideis sp.*, *Loxoconcha sp.*, *Eucythere sp.*, mientras que los gasterópodos (3%<), representados por *Cerittium literarum* exhiben poco retrabajo y longitudes inferiores a los 4 mm.

Otros restos fósiles corresponden a espinas muy retrabajadas de equinodermos (1%<) de color verde pálido a púrpura, además de escasos foraminíferos (1%<) poco a moderadamente retrabajados pertenecientes a *Quinqueloculina sp.*, *Ammonia becarii*.



Figura 4.3. Fotografía de la calicata 40 donde se observa a la facies F1 en las capas superiores ricas en limos y cristales de yeso

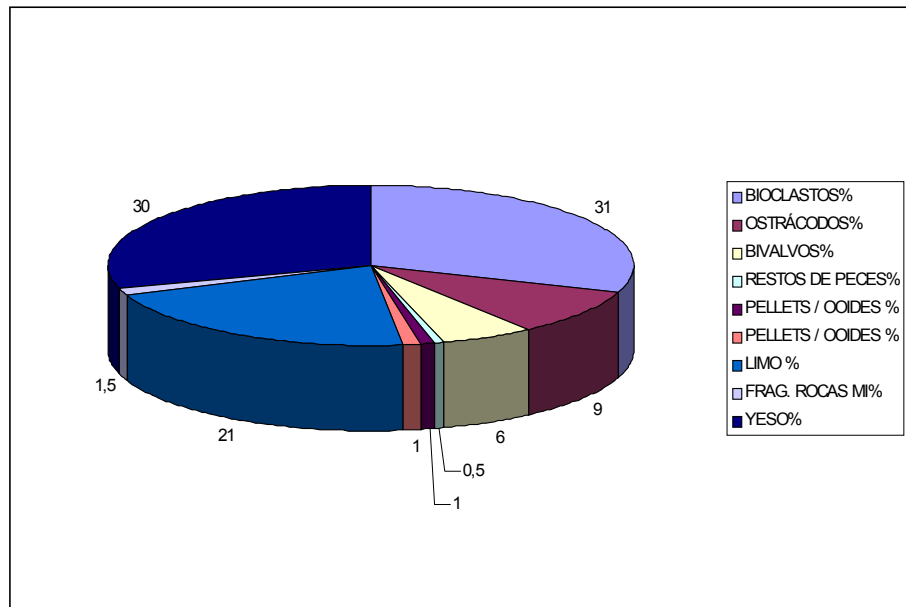


Figura 4.4. Distribución porcentual de los componentes en la muestra CAL-34-C3, típicos para la facies F1.

4.2.2.- F2: Packstone yesífero:

Criterio: Limo + yeso < 50%

Mezcla de partículas tamaño arena fina a guijarros y cristales de yeso soportada por limo calcáreos, de color crema a ocre pálido. Se ubica expuesta o poco profunda, intercalada muchas veces con F1, en forma de capas de 5 a 15 cm de espesor, o infrayacente a ésta, diferenciándose por su granulometría más gruesa y menor contenido de minerales evaporíticos (ver Figura 4.5).

Las estructuras sedimentarias son similares a las reportadas en F1, mientras que los parámetros texturales, observados a través de petrografía de los sedimentos, indican valores de granulometría variable entre limos y guijarros (1/64 – 64 mm) con un promedio de arenas finas a media (1/8 a 1/4 mm), mientras que el escogimiento visual (HARRELL, 1985) osciló entre muy bien escogido a mal escogido ($0,35 < \sigma_1 < 2$) siendo el moderado escogimiento el más frecuente entre las muestras con valores de 0,5.

La facies F2 está compuesta por una fracción limosa (5-20%), de color gris claro a pardo verdoso, calcárea con cierto contenido de materia orgánica. El yeso (1-20%) aparece en forma de escamas discoidales de 0,2 a 3 mm. traslúcidos, de color lechoso y frecuentemente subredondeados. También se observan restos de rocas meta-ígneas (3%<) de 0,5 mm. de tamaño promedio, subangulosos a subredondeados, de colores gris oscuro a negro (ver Figura 4.6).

Los bioclastos (17 –25%) se presentan con un tamaño variable entre arena media a gránulos (0,2 a 5 mm), formas tabulares a esféricas, angulosos a subredondeados, de color crema a ocre. Entre la fracción fósil reconocible destacan las algas calcáreas del género *Halimeda sp.* (1–30%), en forma de fragmentos retrabajados de color crema claro, subredondeados, con un tamaño promedio de 2 mm. Los bivalvos (24%<) aparecen en forma de valvas bien preservadas de *Laevicardium laevigatum*, con poco retrabajo y un tamaño variable entre 1,5 y 5 mm.

Por su parte los ostrácodos (30%<) se presentan en conchas transparentes o blanquecinas de 2mm, como tamaño promedio, además de poco a moderado retrabajo.



Figura 4.5. Fotografía de la calicata 46. Obsérvese la capa de color grisáceo correspondiente a la facies F2, suprayacente a la facies F3.

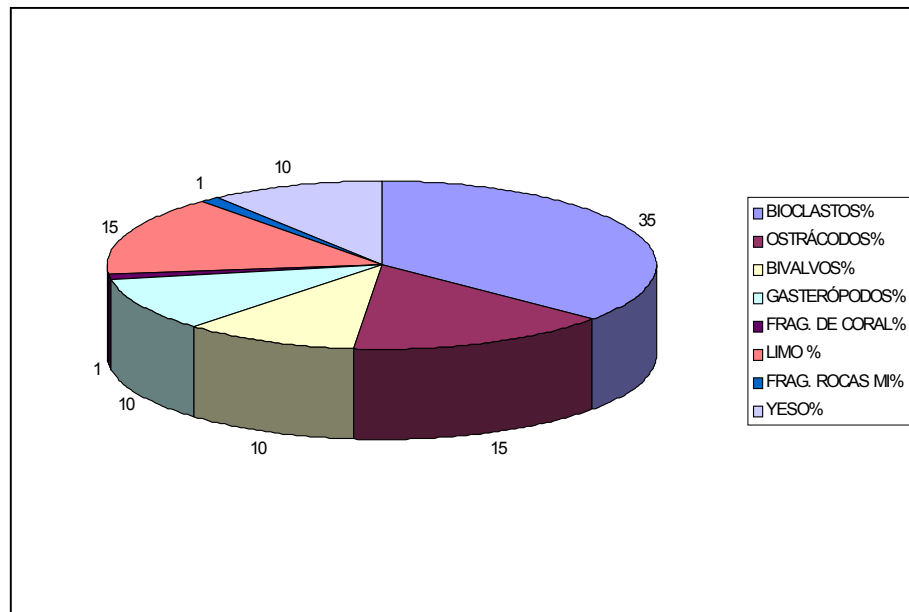


Figura 4.6. Distribución porcentual de los componentes en la muestra CAL-35-C4, típicos para la facies F2

Los gasterópodos (10%) se encuentran como fragmentos poco a muy retrabajados, muchas veces en formas de conchas fracturadas de *Cerithium literarum* y *Pronum apicinum*, de 3 a 6 mm. Equinodermos (2%<) son identificados como pequeñas espinas provenientes de erizos de mar (posiblemente *Diadema antillarum*), de 2 a 5 mm de longitud, altamente retrabajadas de coloración blanquecina, verdosa o púrpura pálido. En cuanto a los foraminíferos (2%), éstos aparecen como restos muy retrabajados de coloración blanquecina a rosa pálido de 0,3 a 1 mm, pertenecientes a *Quinqueloculina sp.* y *Homotrema rubrum*.

Además se reporta una pequeña fracción de corales (1,5%<) bien retrabajados, redondeados con una longitud máxima de 6,4 cm. correspondientes a *Porites sp* y *Acropora cervicornis*.

4.2.3.- **F3:** Packstone - Grainstone – Rudstone:

Criterio: Bioclastos + Halimedas > 50%, Limo < 10%.

Esta facies está conformada por sedimentos soportados arena fina a guijarros gruesos, calcáreos, poco o nada consolidados, de color crema, gris claro a ocre rojizo. Los sedimentos son mayoritariamente bioclásticos, muy fosilíferos, con escasa o nula presencia de limos, así como fragmentos de rocas meta-ígneas.

F3 suele encontrarse infrayacente a **F2** o intercalada con **F4**, en forma de capas de 15 cm promedio o en delgadas capas de sedimentos moderadamente cohesionados de 1,5 a 4 cm de espesor (ver Figura 4.9). Sin embargo, puede aflorar directamente en la superficie y presentar contactos laterales con las otras facies alcanzando espesores de 123 cm, medidos desde la superficie hasta el nivel freático, por lo que se desconoce el contacto inferior con otras unidades litoestratigráficas o facies. Dada su extensión y espesores registrados, es con mucho la facies más importante en cuanto a volumen se refiere.

Las estructuras sedimentarias están representadas por laminaciones paralelas, laminación cruzada planar de bajo ángulo (5°<), reliquias de dunas o lomas playeras, con una orientación preferencial N15W.

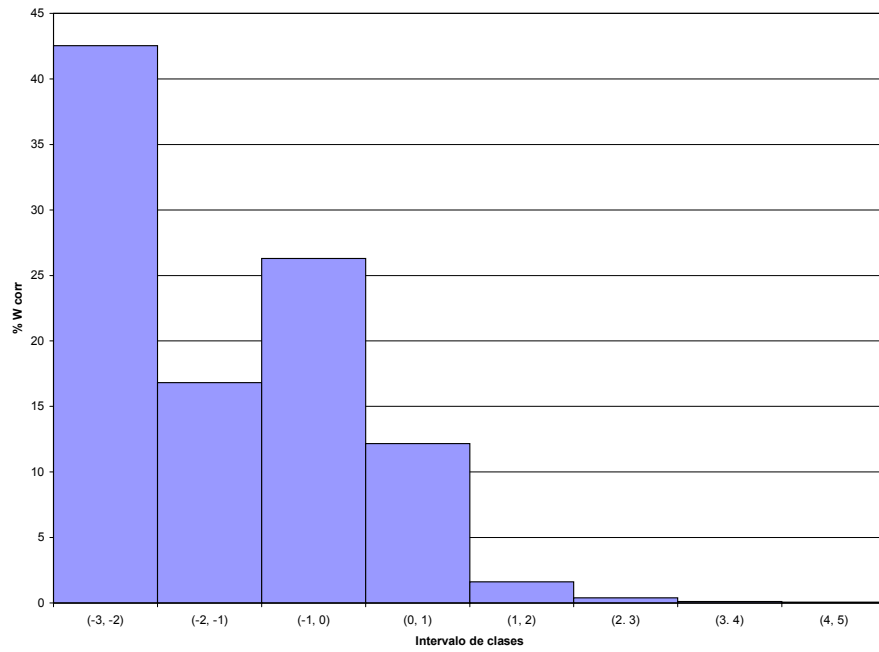


Figura 4.7. Histograma de frecuencia para la distribución granulométrica en la grava LR-AR-8.

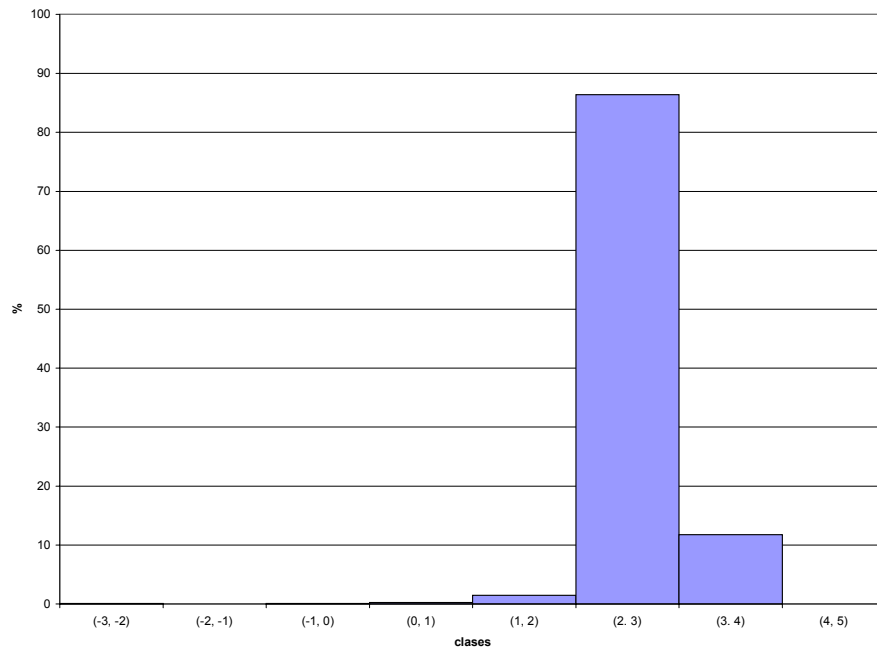


Figura 4.8. Histograma de frecuencia para la distribución granulométrica en la arena LR-AR-12.

Estas “lomas” presentan formas de crestas simétricas con unos 15 a 20cm de altura respecto al suelo y sobre ellas crece vegetación herbácea que las estabilizan. Lamentablemente, las raíces de estas plantas destruyen cualquier indicio de estructuras depositacionales previas.

También se reportan horadaciones o “burrows” de crustáceos con formas tubulares irregulares a cilíndricas de 1 a 3 cm de diámetro, parcial o totalmente rellenas por sedimento. Igualmente, en las capas de sedimento parcialmente endurecido, son apreciables marcas de raicillas de plantas de 2 mm de diámetro y perpendiculares a la estratificación.

La granulometría se determinó por medio de estudios petrográficos e histogramas de frecuencia, para muestras de calicatas y de superficie respectivamente, variando entre limos y guijarros muy gruesos (1/64 a 64 mm) (ver Figuras 4.7 y 4.8) con una media situada dentro del intervalo de arenas finas a medias (1/16 - 1/2 mm). Las curvas de frecuencias indican además una asimetría reducida ($-1 < SK_1 < 1$) con ligera tendencia hacia los finos, alcanzando valores hasta $SK_1 = 0,87$. El escogimiento se presenta visualmente entre bien y mal escogido ($0,35 < \sigma_1 < 2$) con una media de moderadamente escogidos ($0,5 < \sigma_1 < 1$). Este parámetro coincide con los valores de escogimientos de FOLK (1957) obtenidos a través del estudio de las curvas acumulativas, en las muestras tamizadas, indicando un rango general de bien a mal escogido ($0,39 < \sigma_1 < 1,71$) con promedio de moderado escogimiento ($0,5 < \sigma_1 < 0,7$).

Dentro de la composición presente en los sedimentos de esta facies, se observan limos (10%<) calcáreos, de color crema a gris claro; fragmentos de rocas meta-ígneas (10%<), angulosos a subangulosos, de colores pardo oscuro a negro verdoso y un tamaño variable entre los 0,5 y 3 mm. Los bioclastos (20 – 90%) se muestran como fragmentos de color crema a gris oscuro, subangulosos a redondeados, con tamaños que oscilan entre 1/16 a 0,5 mm (ver Figura 4.10). Las algas calcáreas *Halimeda* sp. (2-50%) presentan un poco a moderado retrabajo, se muestran fragmentadas o en hojas enteras en forma de “copos de avena” de color blanco a crema de 0,5 a 7 mm, incluso es posible apreciar la porosidad intrapartícula

en los restos fracturados. Los bivalvos (15%<) aparecen con poco a moderado retrabajo, un tamaño de 0,5 a 6 mm y en su mayoría corresponden a los géneros *Laevicardium*, *Macrocalista*, y *Arca*, además de algunos pectínidos. De igual manera, los gasterópodos (15%<) muestran un moderado a poco retrabajo, alcanzando tamaños entre 5 y 15 mm, exceptuando conchas de botutos (*Strombus gigas*) de 25 cm provenientes de antiguas “botuteras” formadas por la acumulación de sus restos una vez extraída su carne, en tiempos en que la explotación comercial de este molusco era permitida. Los gasterópodos mas frecuentes en las muestras analizadas resultan *Cerithium literalum*, *C. eburneum*, *Olivella sp.*, *Bulla sp.*, *Pronum apicinum*.

Fragmentos de corales (24%<) solo se reportan en algunas muestras, mostrándose como restos bien retrabajados de 1 a 6 cm, con formas cilíndricas a amorfas pertenecientes a *Acropora cervicornis*, *Millepora alcicornis*, *Porites sp.*, *Montastrea sp.* y *Siderastrea sp.* Muchos de estos restos presentan manchas de color rojizo, debido a la presencia de foraminíferos incrustantes *Homotrema rubrum*.

Los ostrácodos (20%<) se encuentran en forma de conchas transparentes a traslúcidas, rara vez unidas de 0,2 a 2 mm. Generalmente son escasos con un 3% promedio de abundancia, alcanzando sus máximos valores en zonas asociadas a canales interlagunares. Por su parte, los foraminíferos (30%<) presentan de poco a moderado retrabajo, una abundancia promedio de 4 a 5% comparten su máxima frecuencia en las mismas localidades ocupadas por los ostrácodos dentro de esta facies y se encuentran representados por *Triloculina sp.*, *Quinqueloculina sp.*, *Quinqueloculina auberiana*, *Archaias angulatus*, *Amphistegina lessoni*, *Praesorites orbitolitoides*, *Peneroplis pertusus*, *Milliolinella subrotunda*, *Neopateoris cumanensis* y *Homotrema rubrum*.

Otros componentes son restos de equinodermos (3%<) formados a partir de espinas de erizos fragmentadas y retrabajadas; fragmentos de crustáceos (3%<) correspondientes a restos de quelíceros y otras articulaciones; restos de plantas (8%) en su mayoría gramíneas y pellets (8%<) de formas esféricas a ovoidales de color crema de 0,2 a 0,5 mm.

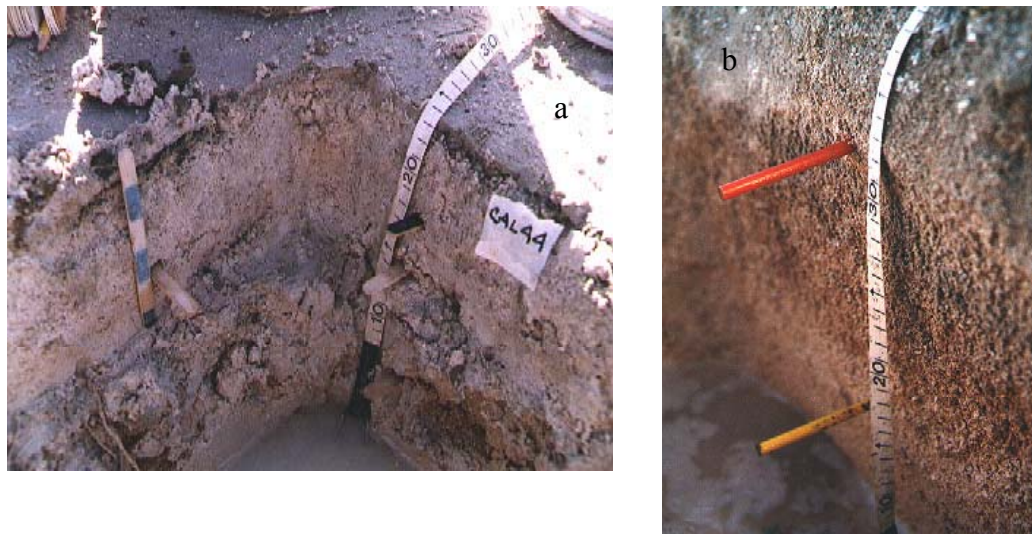


Figura 4.9. Fotografía de la calicata 44. Nótese la capa de color grisáceo pertenecientes a sedimentos parcialmente consolidados de la facies F3 (a); Detalle de la calicata 24, donde se observa la intercalación de arenas calcáreas gruesas entre arenas medias a finas de la facies F3 (b).

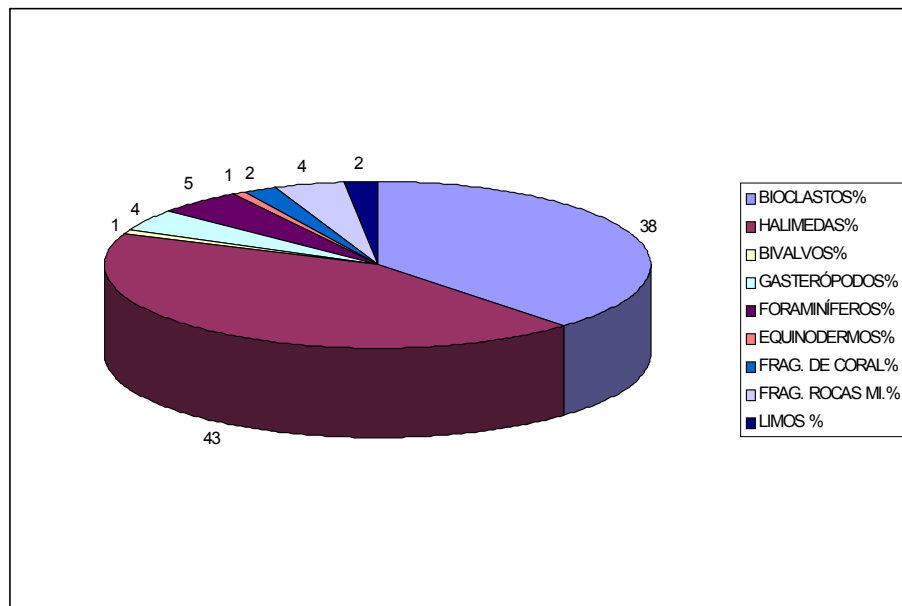


Figura 4.10: Distribución porcentual de los componentes en la muestra CAL-1-C3, perteneciente a la facies F2

4.2.4.- F4: Wackestone – Packstone:

Criterio: Bioclastos + Halimeda < 50%, Limo > 10%.

Mezcla de partículas bioclásticas con limo calcáreo y materia orgánica, de color gris verdoso a pardo rojizo (ver Figura 4.11). Muy fosilífera, con abundantes ostrácodos y buen porcentaje de gasterópodos, bivalvos y foraminíferos, así como de restos de plantas bien preservados.

Esta facies suele encontrarse expuesta en superficie, intercalada con **F3** en capas de 9 a 12 cm, y en los depósitos someros de las lagunas permanentes, alcanzando hasta 20 cm de espesor. Las estructuras sedimentarias vienen dadas por laminaciones paralelas y ocasionalmente laminación cruzada de bajo ángulo ($5^\circ <$) hacia el sur. Los parámetros texturales, determinados por análisis microscópicos, arrojan una granulometría de arcilla a guijarros (1/256 – 60 mm) con un promedio de arenas finas (1/16 a 1/4 mm). El escogimiento visual (HARRELL, 1985), varía entre moderado a pobremente escogido ($0,5 < \sigma_1 < 2$).

Composicionalmente, esta facies se caracteriza por la presencia de limos (12 – 30%) con alto contenido de materia orgánica en descomposición, coloración gris verdosa a pardo rojiza, olor característico, débil reacción al ácido clorhídrico y una textura gelatinosa que se torna esponjosa cuando pierde humedad (ver Figura 4.12). Los fragmentos de rocas meta-ígnea ($3\% <$) son muy escasos, presentan tamaños variables entre 0,3 a 1,5 mm, colores negro verdoso a gris claro y tienden a concentrarse hacia las proximidades del cerro Oriental.

Los bioclastos (14 - 25%) exhiben formas tabulares a esféricas de color crema a ocre, subangulosos a redondeados, con un tamaño variable entre 1/16 y 1/2 mm. Las algas calcáreas pertenecientes al género *Halimeda* (3–25%) se encuentran fragmentadas, con moderado retrabajo, ocasionalmente se encuentran hojas enteras en forma de “copos de avena” de 4 a 6 mm. Por su parte los gasterópodos muestran poco retrabajo, tamaños entre 5 y 64 mm y están representados por *Cerithium literalum*, *Pronum apicinum*, *Olivella sp.* y *Melongena sp.*



Figura 4.11. Fotografía de la calicata 51 mostrando una secuencias de packstone wackstone, pertenecientes a la facies F4.

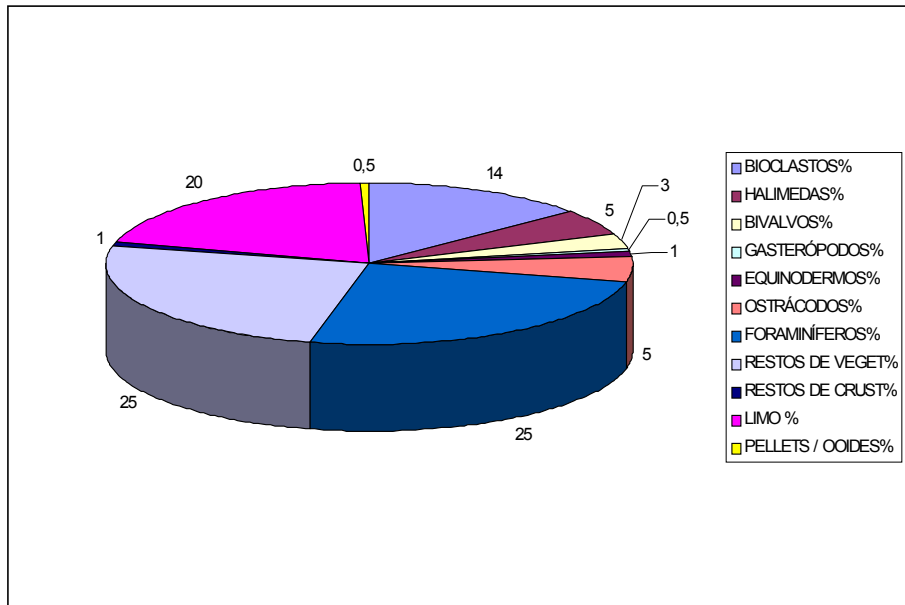


Figura 4.12. Distribución porcentual de los componentes en la muestra CAL-50-C1, correspondiente a la facies F4

Los bivalvos (3–25%) se destacan por la presencia de valvas de *Laevicardium laevigatum* con un moderado retrabajo, color blanquecino y tamaño promedio de 6 mm. Los ostrácodos (0,6–15%) se encuentran muy bien preservados, frecuentemente con las conchas unidas y restos internos visibles. Posiblemente correspondan a los géneros *Cyprideis* y *Loxoconcha*. Al mismo tiempo los foraminíferos (25%<) presentan poco a moderado retrabajo y están representados por *Amphistegina lessoni*, *Ammonia becarii*, *Archaias angulatus*, *Peneroplis pertusus*, *Triloculina sp.*, *Quinqueloculina sp.*, *Milliolinela subrotunda*, *Neopateoris cumanensis* y *Praesorites orbitolitoides*.

Restos de plantas (25%<) están presentes en formas de algas verdes y restos de mangle, bien preservados entre laminas paralelas de limos orgánico. En menor proporción aparecen restos de crustáceos (1%<), equinodermos (1%<) y pellets (5%<) de formas esféricas, diámetro de 0,3 mm. promedio posiblemente asociados a restos fecales de gasterópodos.

4.2.5.- **F5:** Rudstone – Grava de peñas:

Criterio: Coral + Fragmentos de rocas meta-ígneas > 50%.

Esta facies se caracteriza por sedimento tamaño gravas de guijarro a peñones, poco o nada consolidadas, originadas por la acumulación de fragmentos de corales, roca sedimentarias, roca meta-ígneas y otros organismos (ver Figura 4.15). Igualmente se presenta en contacto lateral con las facies **F3** y **F4**, mientras que su extensión en profundidad se desconoce, estas acumulaciones pueden alcanzar hasta 2,2 m. sobre el nivel del mar hacia el extremo nororiental del Gran Roque.

Estos depósitos presentan coloraciones crema, pardo verdoso y gris oscuro a negro, dependiendo de la proporción de rocas meta-ígnea. Las estructuras sedimentarias son escasas, aunque en algunos sectores se aprecian modestos desarrollos de imbricación de clastos. De igual forma son notorias, las porosidades intrapartícula, por horadación y disolución observables en los fragmentos de corales.

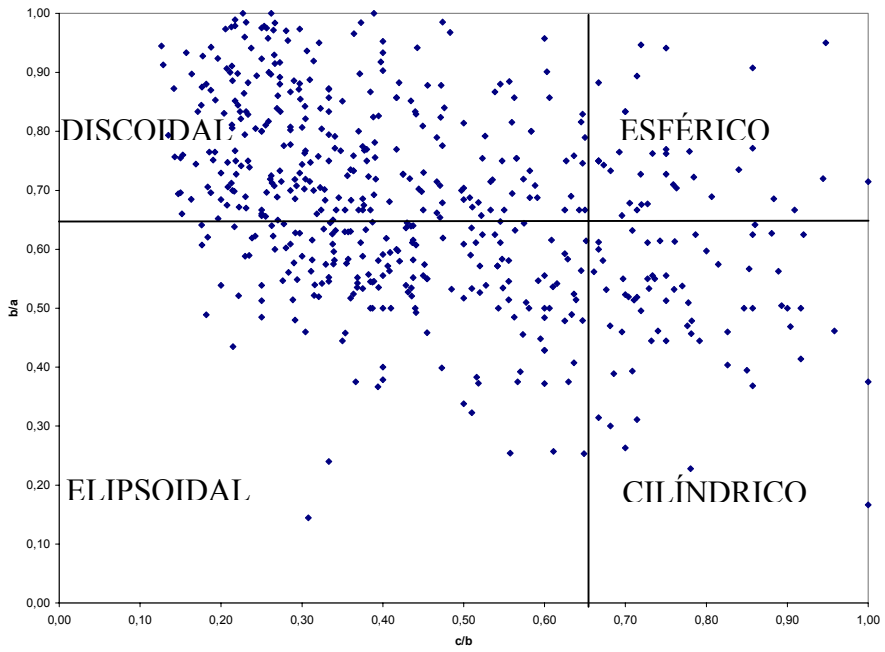


Figura 4.13. Diagrama de dispersión de ZINGG (1934) para las partículas pertenecientes a la terraza de tormenta nororiental.

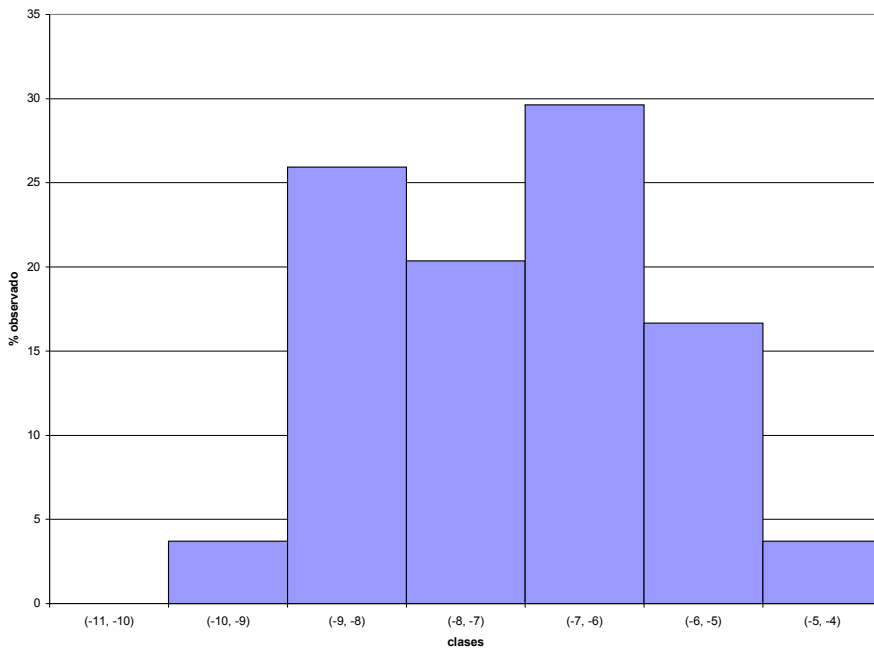


Figura 4.14. Histograma de frecuencia relativa de los ejes largos medidos en la estación Mal Viento 2. Obsérvese la bimodalidad en la distribución de tamaños

Del estudio *in situ* realizado para esta facies, se desprende que la granulometría varía entre guijarros finos a peñones grandes (8 a 1280 mm) (ver Figura 4.14), con una mediana situada dentro del rango de peñas pequeñas (64 a 256 mm) y marcada asimetría hacia gruesos ($-0,77 < \sigma_1 < -1,54$). En cuanto al escogimiento de FOLK (1957), se estimó entre moderado y malo ($0,66 < \sigma_1 < 1,44$).

La composición está dominada por fragmentos de coral (7,26%- 96%) con una media superior al 55% y tamaño variable (8–1280 mm) aunque generalmente se ubican entre 25 y 35 cm. Estas partículas se presentan en formas discoidales a cilíndrica relacionadas con la especie que las originaron (ver Figura 4.13), redondeadas a subangulosas, con porosidades de tipo intrapartícula, por horadación, así como también por disolución. Además es frecuente ver incrustaciones de *Homotrema rubrum* y huellas de gusanos en los restos de coral depositados dentro de esta facies.

Las especies reportadas son el coral “orejón” o “cacho de alce” (*Acropora palmata*), “cacho de venado” (*A. cervicornis*), coral “cerebro” (*Diploria sp.*, *Colpophilia natans*), coral “estrella” (*Solenastrea sp.*, *Siderastrea radians.*, *Montastrea anularis*), milleporinos o falsos corales como el coral de fuego (*Millepora alcicornis*, *millepora squarrosa*), zoántidos (*Palithoa caribeorum*) y gorgónidos (*Gorgonia flabellum*).

De todas estas especies, *Acropora palmata* es con mucho la mas frecuente dentro de esta facies, alcanzando valores hasta 82% del total de fragmentos analizados (ver Figura 4.16).

Otros organismos reportados son restos de equinodermos (1%<) en forma de espinas y placas corporales de erizo (*Diadema antillarum*), de color verdoso a blanquecino, poco retrabajadas y muy frágiles. Por su parte los gasterópodos (1%<) se muestran como restos mal a bien preservados, de tamaño variable (0,5 a 25 cm) provenientes de botutos (*Strombus gigas*), tritones (*Charonia variegata*), quiguas (*Cittarium pica*) y cerítidos (*Cerithium literalum*, *C. eburneum*).



Figura 4.15. Detalle una sección de terraza de tormenta, donde se aprecian las gravas de corales y rocas meta-ígneas, pertenecientes a la facies F5. Longitud de la escala 35 cm

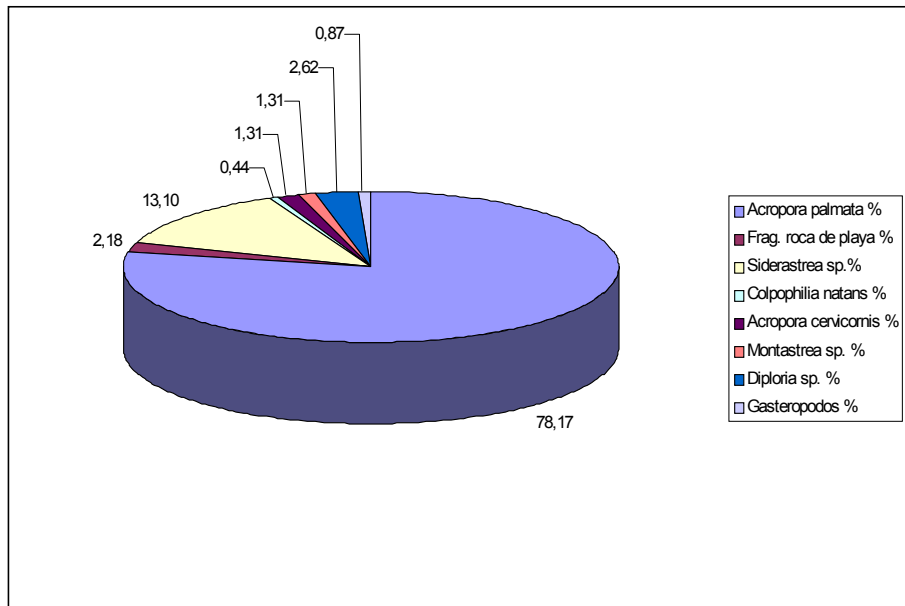


Figura 4.16. Distribución porcentual de las distintas especies de corales y otros componentes de la facies F5 en la Sección 2.

Los restos de rocas sedimentarias (0,64 – 31,7%) se muestran como fragmentos de roca de playa, amorfos y angulosos que no sobrepasan los 10 cm. Estos restos son abundantes en la zona de terraza de tormenta situados al noreste del Gran Roque, mientras que hacia la zona de la Boca del Mal Viento, situada hacia el norte de la isla entre los cerros Oriental y Central, dominan las rocas meta-ígneas (31-90%) producto del retrabajo de restos de meta-diabasas, meta-gabros y dioritas cuarcíferas. Las rocas meta-ígneas aparecen como clastos redondeados e incluso pulidos de 2,3 a 110 cm, de color negro verdoso a gris y una geometría preferencial ovoidal.

4.2.6.- **F6:** Turba:

Criterio: Restos de mangle + limo orgánico > 90%.

Esta facies está conformada por una mezcla de restos de mangles, limo orgánico y bioclastos de color pardo rojizo a negruzco, textura esponjosa, muy húmeda, escasamente fosilífera y muy bioturbada por raíces de mangle y horadaciones de crustáceos.

Ubicada hacia el sector oriental de la isla Gran Roque, se encuentra en contacto lateral y probablemente suprayacente con **F3**. El espesor medido para esta facies resultó de 35 cm, aunque el nivel freático se situó a 25 cm de profundidad (ver Figura 4.17).

La granulometría (estimada para los bioclastos) está dentro de las arenas medias a gránulos (1/16 a 4 mm), al mismo tiempo el escogimiento visual (HARRELL, 1985) se sitúa dentro de los bien a mal escogidos ($0,5 < \sigma_1 < 2$).

La composición está dominada por hojas, raíces y frutos de mangle negro (*Avicenia nitida*) y rojo (*Rhizophora mangle*) en diferentes estados de descomposición, lo cual le otorga a esta facies el color, textura y olor característicos, además de promover el desarrollo de una fracción limosa orgánica importante (>80%) (ver Figura 4.18).



Figura 4.17. Muestras de turba extraídas en los manglares orientales, por medio de tubos plásticos de pvc.

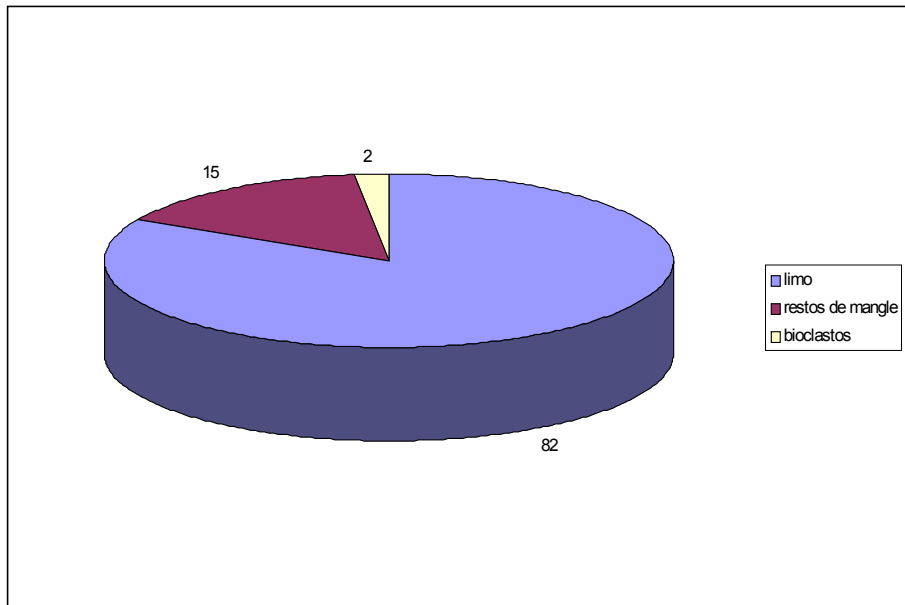


Figura 4.18: Distribución porcentual de los componentes de la facies F6.

Los bioclastos son escasos (5%<) y provienen de facies más arenosas como **F3**, transportados por mareas o tormentas desde la costa hacia las zonas interiores, al noreste del Gran Roque. Estas partículas presentan moderado retrabajo, coloración blanquecina a crema, formas irregulares a tabulares, subangulosas a subredondeadas.

Algunos restos de crustáceos como quelas de cangrejos violinistas (*Uca sp.*) y antiguas conchas de quiguas (*Cittarium pica*), asociadas a cangrejos ermitaños (*Coenobita clypeatus*), son apreciables dentro de esta zona especialmente a niveles superficiales.

4.2.7.- **FRP1:** Rudstone:

Criterio: Fragmentos de coral + bioclastos (>80%)

Roca de color crema a pardo verdoso, soportada por partículas tamaño arena fina a peñones grandes, producto de la fragmentación de corales, moluscos, espículas de equinodermos, algas calcáreas y foraminíferos, cohesionadas por una matriz micrítica y cemento fibroso aragonítico.

Esta facies aflora en el sector nororiental del Gran Roque, en forma de roca de playa con crestas semisumergidas situadas a 10 m de la orilla aproximadamente, y orientadas paralelas a la línea de costa. También es posible apreciar parte de la roca de playa aflorando entre los depósitos de tormenta de **F5** y en la zona de canal de marea que comunica el agua de mar con la Laguna Norte.

En algunos sectores, en la roca de playa se aprecia estratificación paralela, con orientación N18W- 5N. Igualmente es notorio el desarrollo de charcas mareales o “supratidal pools”, los cuales no son más que depresiones formadas en las crestas rocosas a partir de procesos de disolución por parte del agua meteórica y/o erosión producida por organismos, tales como erizos de mar (*Diadema antillarum*) y chitones (*Acantopleura granulata*). A pesar de que los “supratidal pools” se ubican en las porciones elevadas de la roca de playa, generalmente están cubiertos por agua de mar, ya sea por acción de salpicado del oleaje o por comunicación de canales internos o “sifones” que actúan en forma de red de tuberías, que permite el paso del agua hacia

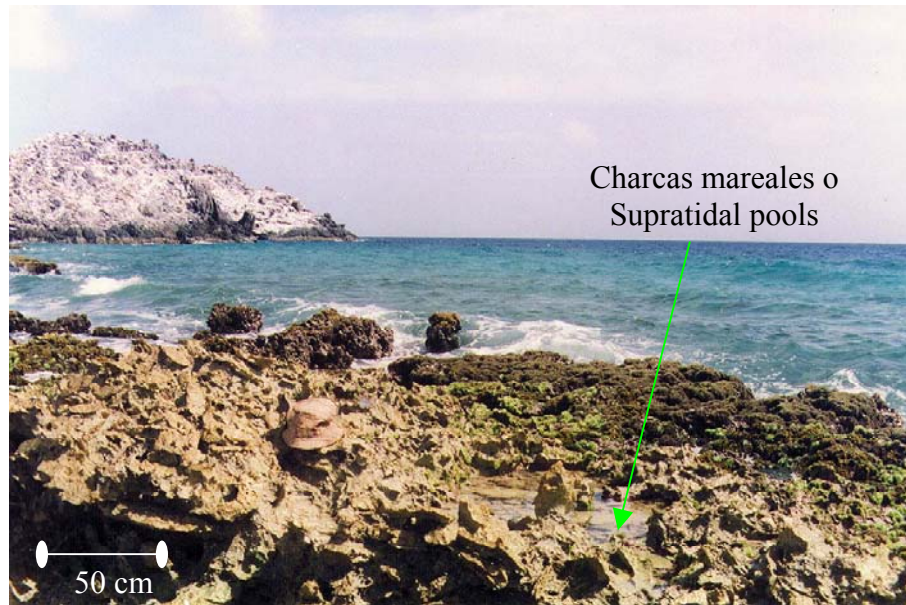


Figura 4.19. Fotografía de la roca de playa que conforma la facies FRP1, situada en la costa nororiental del Gran Roque. (Rumbo foto N40W)

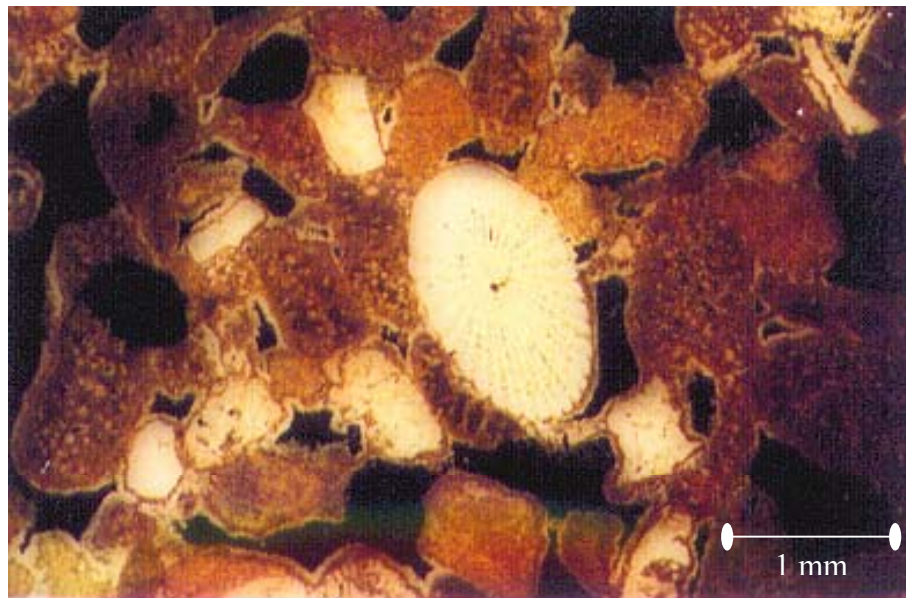


Figura 4.20. Fotomicrografía (nícoles cruzados) de la sección fina LR-RP-6B, destacando un fragmento de espina de equinodermo rodeado por bioclastos y restos de halimedes micritizadas de color pardo rojizo y cementadas por aragonito

la superficie al momento de subir la marea, al mismo tiempo que posibilita su drenaje cuando la ésta desciende (ver Figura 4.19).

A simple vista se aprecian fragmentos de corales *Acropora palmata*, *A. cervicornis*, y *Diploria sp.*, tamaño guijarro a peñones grandes (4 a 1000 mm), angulosos a redondeados, mal escogidos, cohesionados por una mezcla de partículas bioclásticas de tamaño arena media a gránulos (1/4 a 4 mm) y cemento calcáreo. Es común observar porosidades por disolución, intrapartícula y horadaciones de bivalvos o gusanos.

La distribución de los organismos en la roca de playa, presentes en la terraza de tormenta noreste del Gran Roque, sugiere que los grandes fragmentos de coral son más abundantes hacia los sectores oriental y occidental, mientras que en el sector central los fragmentos de menor tamaño, pertenecientes a bioclastos, algas calcáreas y moluscos, son los más frecuentes.

El análisis petrográfico realizado en porciones de roca de playa, libre de fragmentos superiores a los 20 mm, revela que la fracción de grano mas fino oscila entre los 0,045 y 8 mm, con un promedio de 0,4 a 1 mm con un moderado a pobre escogimiento. El neomorfismo reportado pertenece a la inversión homoaxial. Igualmente se aprecia que los contactos entre los clastos son del tipo: grano – cemento, grano – matriz y tangencial.

Por su parte, la composición general indica una fracción de granos (bioclastos, fósiles y restos de rocas sedimentarias y meta-ígneas) entre 35 y 65%, porosidades de tipo intrapartícula, interpartícula, por disolución y horadación que en conjunto varían entre 20 y 40%, matriz micrítica entre 3 y 40% además de cementos fibroso aragonítico y tipo menisco con una proporción menor a 12% (ver Figura 4.20).

La composición de los granos está dominada por bioclastos (20,49 – 72,42%) subangulosos a redondeados, de mineralogía calcítica presentando ocasionalmente porosidad intrapartícula sugiriendo un origen coralino; fragmentos de *Halimeda sp.* (10,06 – 56,57%) de formas alargadas a irregulares, micritizadas, moderadamente retrabajadas de 1 a 5 mm de longitud, mostrando porosidad intrapartícula parcialmente rellena por cemento fibroso aragonítico; algas rojas (10,44 – 19,49%),

fracturadas, con porosidad intrapartícula rellena por micrita (ver Figura 4.21). Además los restos de coral (2,47 – 31,44%) se encuentran bien re trabajados, ocasionalmente fracturados, exhibiendo porosidad intrapartícula y horadaciones, las cuales suelen estar formando estructuras tipo geopétalo, rellenas parcialmente por micrita y cemento fibroso aragonítico así como del tipo menisco.

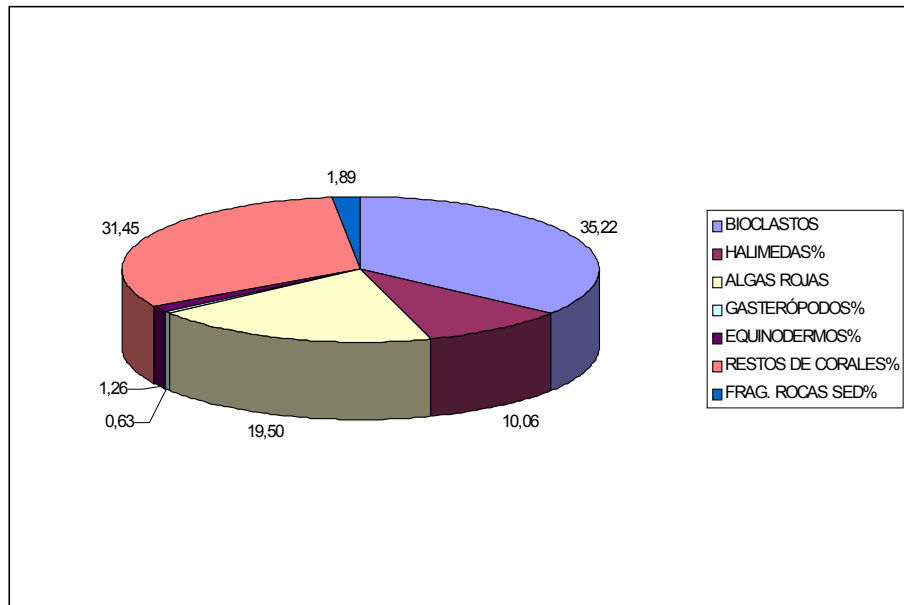


Figura 4.21. Distribución porcentual de los distintos componentes en la sección fina LR-RP-7C, característicos en la facies FRP1.

Otros componentes son restos de bivalvos (0,91%<), gasterópodos (0,62%<) y equinodermos (1,25%<) muy fracturados y re trabajados; pellets (2,06%<) de formas redondeadas y composición micrítica, así como restos de rocas sedimentarias (1,88%<) y rocas meta-ígneas (0,25%<), de tamaño inferior a los 0,3 mm, angulosos a subredondeados, provenientes tanto de la misma roca de playa como de cantos de metadiabasas. Los foraminíferos (2,47%<) están representados por restos de *Amphistegina lessoni*, moderadamente re trabajados.

4.2.8.- **FRP2:** Grainstone – Rudstone:

Criterio: Bioclastos + Halimedes > 90%

Roca de playa, de color crema a pardo verdoso, soportada por partículas tamaño arena fina a guijarros muy finos (0,1 a 4,5 mm), con promedio de arena gruesa (0,5 a 0,7mm), cohesionadas por cemento aragonítico. Dichas partículas son el producto de la fragmentación y retrabajo de restos de corales, algas calcáreas, gasterópodos, foraminíferos, equinodermos, rocas sedimentarias y meta-ígneas.

Este cuerpo rocoso aflora en la costa de sotavento del Gran Roque, adyacente al muelle principal, en forma de costras o lajas superpuestas de 15 a 25 cm de espesor, entre las arenas de **F3**, paralelas a la línea de costa, con una orientación N20W 6S, exhibiendo estratificación paralela (ver Figura 4.22).

Del análisis microscópico se desprende que la composición general está dominada por granos (bioclastos, fósiles y restos de rocas sedimentarias y meta-ígneas) con una proporción de 60 a 80%, cemento aragonítico con 5% y una porosidad del tipo intrapartícula, interpartícula que oscila entre 15 y 35% (ver Figura 4.23).

La composición de los granos está dada por bioclastos (40,37–53,89%) subredondeados, de composición calcítica y posible origen coralino. Los restos de *Halimeda sp.*(43,71–53,85%) se encuentran retrabajados, micritizados, con porosidad intrapartícula rellena por micrita y cemento fibroso aragonítico (ver Figura 4.24).

Los restos de corales (4,9%<), equinodermos (0,37%<), foraminíferos (0,75%<), gasterópodos (1,50%<) y algas rojas (0,32– 0,89%) están muy retrabajados y fragmentados y ocasionalmente micritizados, con un tamaño promedio entre 0,3 y 2 mm. En cuanto a los restos de rocas sedimentarias (0,29%<) y meta-ígneas (0,32– 0,59%), éstos se muestran subangulosos, con un tamaño promedio de 0,2 mm y provienen de la erosión de la misma roca de playa y fragmentos de meta-ígneos por parte del oleaje, que posteriormente se cementaron junto al resto de las partículas.



Figura 4.22. Fotografía de la roca de playa situada en la costa sur de la isla Gran Roque. Obsérvese la estratificación paralela y ligero buzamiento sur. (Rumbo foto N60W)

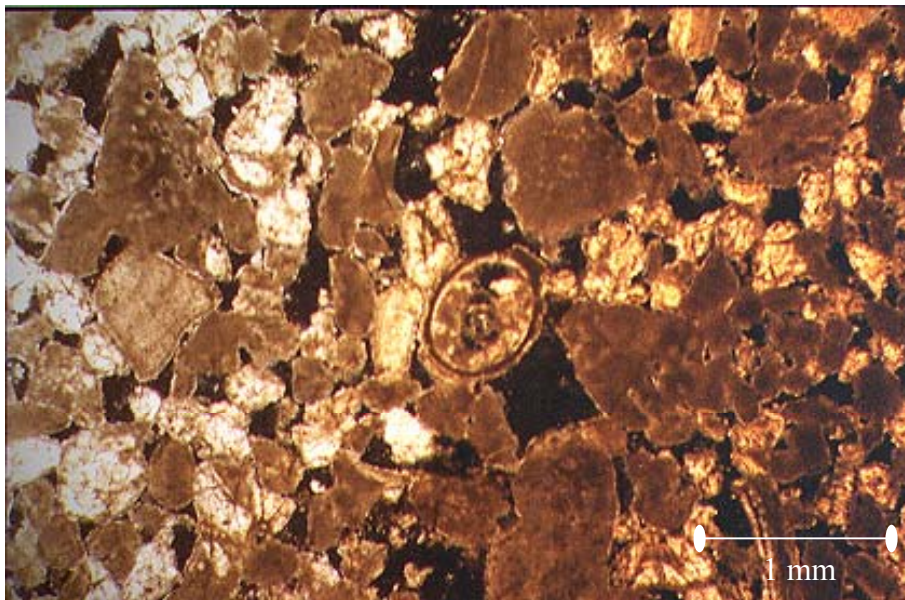


Figura 4.23. Fotomicrografía (nícoles cruzados) de la sección fina LR-RP-8, donde se observa un foraminífero (miliólido) entre bioclastos y restos de halimedas micritizadas de color pardo rojizo y cementadas por aragonito.

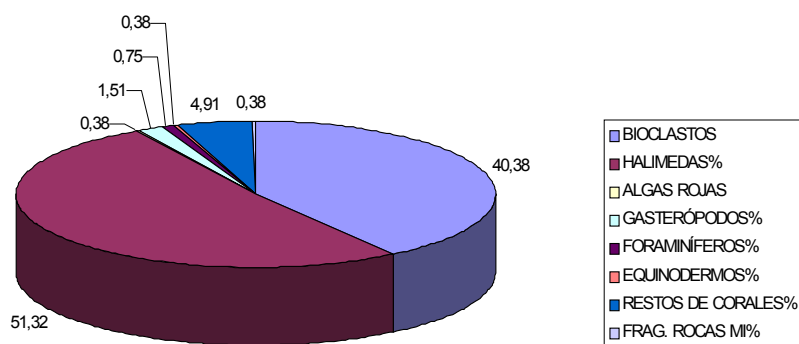


Figura 4.24. Distribución porcentual de los distintos componentes en la sección fina LR-RP-11, característicos en la facies FRP2.

4.3.- AMBIENTES SEDIMENTARIOS:

FLÜGEL (1982) establece primeramente tres grandes zonas, donde se pueden depositar los carbonatos de origen marino: Supralitoral, Eulitoral, Sublitoral y Marino Profundo.

La zonas Supralitoral y Eulitoral se desarrollan principalmente dentro de ambientes tropicales y subtropicales, las zonas Sublitorales en aguas con profundidades entre 20 y 200 m. (p.e. plataforma y bordes plataformales). En cuanto a la zona Marino Profundo, alcanzan profundidades hasta 4000 o 5000 m, dependiendo del nivel de compensación de carbonato y la sedimentación es predominantemente planktónica.

Los ambientes de sedimentación marino somero recientes, presente en la isla Gran Roque, se desarrollan sobre las calizas Sangamon de la Formación Los Roques y el basamento cristalino del Complejo Meta-Ígneo de Gran Roque.

Según REECKMANN & FRIEDMAN (1982) los ambientes dominantes en el archipiélago, se encuentran enmarcados dentro de un ambiente marino plataformal por lo que se reconocen tres zonas principales:

- Zona Supramareal.
- Zona Intermareal.
- Zona Submareal.

4.3.1.- Zona Supramareal:

Según REECKMANN & FRIEDMAN (1982) esta zona o ambiente de sedimentación se encuentra por encima de la influencia marina, inundándose rara vez por mareas altas o corrientes de tormenta.

La naturaleza de estos depósitos está dominada por las condiciones climáticas, tanto de sequía como de humedad, y en ellos pueden presentarse alteraciones diagenéticas tempranas debido a la mezcla entre agua dulce y agua altamente salina. La zona supramareal corresponde a la “Supralitoral” (FLÜGEL, 1982)

En la isla Gran Roque los ambientes que ocupan la zona supramareal son:

- Llanuras de marea ó “Tidal Flats”.
- Terrazas de tormenta.
- Zona de playa alta ó “Backshore”.

4.3.1.1.- Llanuras de marea ó “Tidal Flats”:

Las llanuras de marea en sí, son sistemas integrados y todas, excepto aquellas dominadas por mareas eólicas, están compuestas de tres ambientes básicos: supramareal, intermareal y submareal (SHINN, 1983). Por su parte REECKMANN & FRIEDMAN (*op. cit.*) separan elementos de las llanuras de marea y las ubican dentro de cada una de las zonas mareales.

En la isla Gran Roque, este ambiente se comporta prácticamente como supramareal y se encuentra rodeado al norte y oeste, por los pié de cerro del macizo meta-ígneo, al sur por los ambientes playeros de sotavento y el pueblo del Gran Roque y al este por las lagunas permanentes, formando una pequeña depresión susceptible a inundarse por agua de lluvia en esporádicos aguaceros y en ocasiones por eventos de mar de leva o “rebozos” provocado por cambios en la

dirección usual de los vientos alisios NE por vientos y marejadas provenientes del SW (ver Figura 4.25).

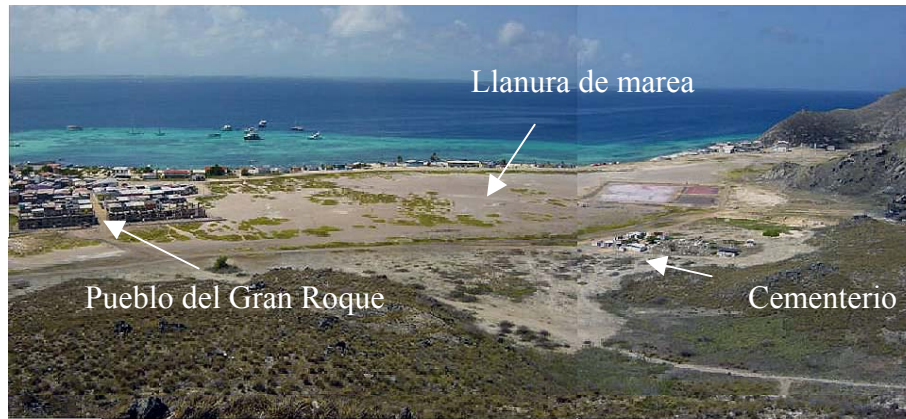


Figura 4.25. Aspecto de la llanura de marea del Gran Roque, desde el cerro Oriental. (Rumbo foto S70W)

Dentro de las llanuras de marea se desarrollan pequeñas lagunas temporales, muy someras ($10\text{ cm} <$) en donde crecen algas cianofíceas que entranpan sedimento fino removido por acción del viento.

Al evaporarse progresivamente, las lagunas se tornan hipersalinas y hacia la periferia se observan delgadas costras de yeso y halita. Igualmente se forman huellas de desecación en forma de polígonos de 10 a 25 cm de ancho sobre un material de apariencia acartonada, típico de las planicies algales ó “algal mats”.

Estas lagunas y planicies algales comprenden sedimentos de las facies **F1**. Por su parte existen cuerpos en forma de lóbulos irregulares ubicados al sur de las llanuras de marea que marca la transición con el área playera de sotavento. Estos cuerpos se orientan perpendicular a la línea de costa, son poco prominentes (10 a 20 cm de altura respecto a la depresión) y se encuentran horadados por crustáceos como el cangrejo violinista (*Uca sp.*) y parcialmente cubiertos por vegetación como “hierba de vidrio” (*Sesuvium portulacastrum*) u otras gramíneas (ver Figura 4.26).

El origen de estos depósitos parece corresponder a antiguos depósitos playeros removilizados durante períodos de tormenta o mar de leva, por lo que

muestra características sedimentarias, compartidas entre las arenas playeras y los limos calcáreos yesíferos propios de llanuras de marea, correspondiente a la facies **F2**.



Figura 4.26. Cangrejo violinista (*Uca sp.*) y madriguera

4.3.1.2.- Terrazas de tormenta:

Las terrazas de tormenta son ambientes asociados a zonas de planos arrecifales, caracterizados por la acumulación de partículas de tamaño variable, provenientes en su mayoría de restos de corales y otros organismos provenientes de la cresta arrecifal que la antecede. Parte de estos sedimentos pueden formar rocas de playa que varían entre grainstone a rudstone (JAMES, 1983).

Este tipo de ambiente presenta componentes supra e intermareales. La componente supramareal corresponde a los depósitos rudáceos, situados por encima del nivel de marea alta. Mientras que en la intermareal, se sitúan depósitos rudáceos no consolidados por debajo del nivel de marea alta, así como la roca de playa que conforma la zona de costa rocosa (MULTER, 1972). Por esta razón se estudiarán aparte los depósitos de tormenta, de la roca de playa asociada. Ésta última será analizada dentro de los ambientes situados dentro de la zona intermareal.

En el Gran Roque se reconocen dos depósitos de tormenta activos, ambos ubicados dentro de la zona costera de alta energía, situada al norte de la isla.

La primera se sitúa entre los cerros Central y Oriental, al sur de una pequeña ensenada conocida localmente como la Ensenada ó Boca del Mal Viento, formando una franja orientada en sentido E-W aproximadamente, con una longitud de 50 m y una anchura de 30 a 35 m (ver Figura 4.27).



Figura 4.27. Terraza de tormenta de la Boca del Mal Viento. (Rumbo foto S80E)

Los sedimentos rudáceos, propios de la facies **F5** se depositan sobre antiguas acumulaciones ya consolidadas y parcialmente erosionadas formando una rampa con ligero buzamiento 5° N. Otro aspecto destacable, resulta la distribución preferencial de los sedimentos coralinos respecto a los provenientes de rocas meta-ígneas.

Así se tiene que los sedimentos bioclásticos ocupan la mitad este de la terraza, al mismo tiempo que los fragmentos meta-ígneos se disponen en la mitad oeste.

Esto puede relacionarse con la orientación preferencial ENE-E (MÉNDEZ, 1977) de las corrientes y el oleaje respecto a la geometría actual de la costa. De esta forma, en la zona de la Boca del Mal Tiempo, el cerro Central queda más expuesto al oleaje y el producto de la erosión tiende a depositarse hacia la parte occidental de la ensenada, representados por cantos de meta-gabros, dioritas y meta-diabasas. Por su parte los restos de corales, provienen de la erosión del arrecife frangeante desarrollado al norte del cerro Oriental.

El segundo depósito se desarrolla dentro de la terraza de tormenta mas extensa de la isla, situada en su extremo nororiental, la cual forma una franja irregular de anchura variable entre 15 y 65 m, que se prolonga 1100 m hacia el este, medidos desde el cerro Oriental (ver Figura 4.28). Dicha franja es interrumpida hacia el extremo oriental de la isla, por un canal somero y continúa formando un pequeño arco hacia el sur de 300 m de longitud, funcionando como agente protector de ambientes más tranquilos ubicados hacia el sur, como manglares y lagunas permanentes (ver Figura 4.29).

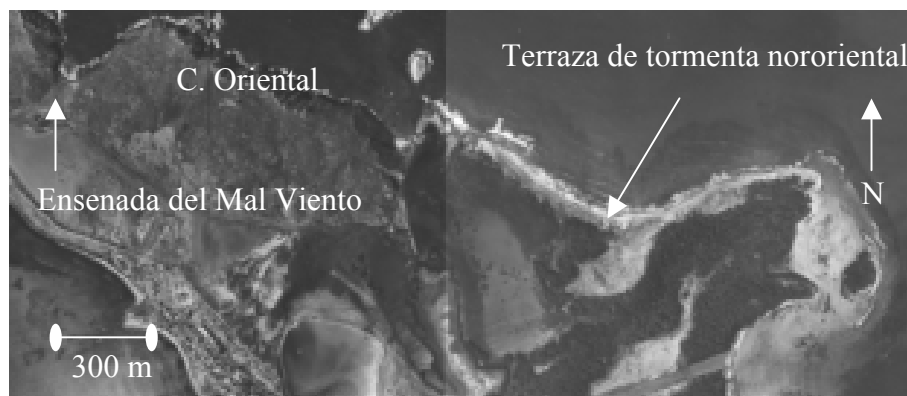


Figura 4.28. Ubicación de las terrazas de tormenta en el Gran Roque. Fotomosaico misión 060107.

Las acumulaciones de este depósito pueden alcanzar hasta 2,2 m de altura sobre la línea intermareal y generalmente se disponen a modo de lomas alargadas con pendientes asimétricas que oscilan entre 19 y 24° N para el lado frontal y de 1 a 16° S hacia la zona detrás de terraza.

Los sedimentos se acumulan sobre roca de playa, la cual aflora ocasionalmente entre los depósitos. La facies más abundante corresponde a las gravas de coral de **F5**, diferenciándose de las acumulaciones de la Boca de Mal Viento, por la escasa presencia de fragmentos de rocas meta-ígneas, provenientes de las meta-dibasas del cerro Oriental. Además se observan algunas acumulaciones en forma de “parches” alargados o irregulares, conformados por arenas bioclásticas de **F3**, las cuales se encuentran en zonas relativamente protegidas del fuerte oleaje, como el área detrás de las crestas formadas por los depósitos rudáceos.

Estos cuerpos se encuentran parcialmente cubiertos por vegetación y se hacen progresivamente más amplios hacia la zona de los manglares y la Laguna Norte, mientras que los fragmentos de corales y moluscos escasean.

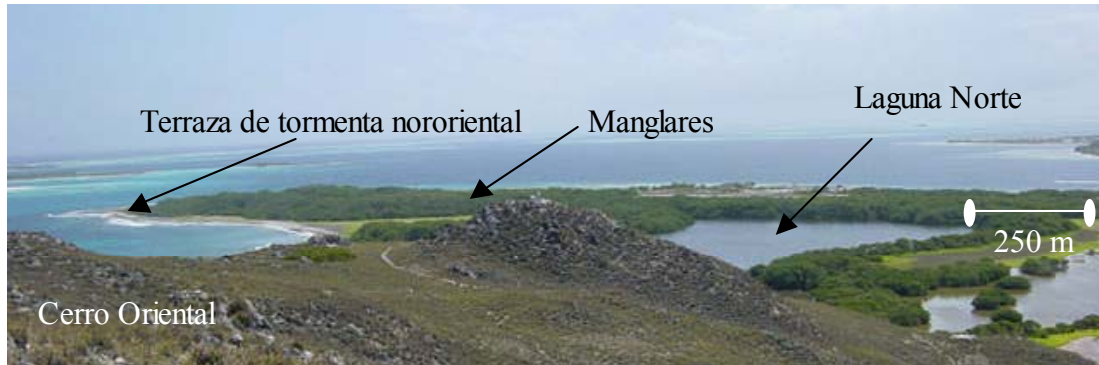


Figura 4.29. Fotografía del sector oriental del Gran Roque, donde se aprecia la posición de la terraza de tormenta nororiental respecto a otros ambientes. (Rumbo foto S60W).

En ambas terrazas de tormenta, los depósitos adquieren una coloración característica que varían de pardo verdoso hacia la línea intermareal y blanco en la zona frontal, a gris oscuro en la parte distal de la terraza.

Tales variaciones obedecen a la influencia de las mareas y el oleaje sobre la terraza, por lo que las coloraciones pardo verdosas corresponden a la constante influencia del agua de mar y a la presencia de algas verdes sobre la roca de playa y los sedimentos basales. En cuanto a los tonos blanquecinos, es atribuible a la acción de salpicado de agua por parte del oleaje, lo que permite la precipitación de sales, incluyendo al carbonato de calcio. Por último, la presencia de clastos de coloración grisácea se debe a la menor influencia del agua de mar, dada su posición más protegida del oleaje y a la reacción del agua meteórica sobre los fragmentos calcáreos provenientes de corales u otros organismos.

4.3.1.3.- Zona de playa alta ó “Backshore”:

Según INDEN & MOORE (1983), la zona de playa constituye un sistema sedimentológico costero, dominado por el oleaje y compuesto por una pérdida de

sedimentos, los cuales a pesar de su morfología externa y características internas, pueden contener modificaciones inducidas por la actividad mareal y/o corrientes a lo largo de la costa.

Los ambientes playeros pueden dividirse en cuatro zonas:

- Costa afuera (Offshore).
- Anteplaya (Shoreface).
- Playa Baja (Foreshore).
- Playa Alta (Backshore).

Donde el área de costa corresponde a la zona de sedimentación de materiales en la plataforma. La anteplaya conforma la parte más distal de la playa, entre el nivel de marea baja y la influencia del oleaje sobre el fondo. La playa baja es aquella que se encuentra en la transición tierra firme y el mar, limitados por los niveles de marea alto y baja (KUMMEROV & ODEHNAL, 1990).

La zona de playa alta se le considera a aquella que se sitúa por encima del nivel de marea alta y solamente se ve afectado por el oleaje durante períodos de tormenta.

Dentro de este tipo de ambiente se incluyen, el desarrollo de dunas, abanicos de tormenta o “washover fans” y lomas playeras y sobre éste se forman complejos supramareales como resultado de la acción del viento, marea y tormentas. Lateralmente pueden gradar a costa adentro hacia ambientes continentales, lagunares o sabkhas (INDEN & MOORE, 1983).

En la isla Gran Roque, la zona de playa alta es uno de los ambientes más extensos y se muestra como una llanura de arenas y limos calcáreos delimitados por la cresta playera al sur y este de la isla, la terraza de tormenta al noreste, la llanura de marea al noroeste e internamente está limitado por las lagunas internas permanente, situadas al este.

Esta zona está dominada por acumulaciones de arenas calcáreas bioclásticas de **F3** y en la zona de transición con las llanuras de marea se observan **F2**. Dichas acumulaciones muestran diferentes patrones y localidades.

Así se tiene que la mitad occidental de la isla, entre el pueblo y los cerros Oriental y Central, son apreciables unos cuerpos de forma irregulares a lobulares que se prolongan hasta 200 m tierra adentro. En cambio hacia la mitad oriental, estas acumulaciones tienden a ser más extensos aún, formando barras o diques (ROJAS, 1985), entre las lagunas permanentes, que al estrecharse generan canales interlagunares (ver Figura 4.30).



Figura 4.30. Fotografía del pueblo del Gran Roque. Nótese la geometría característica de la zona de playa alta o “backshore” y su cobertura parcial de vegetación en comparación con la llanura de marea. (Rumbo foto S20E)

La mayoría de estos cuerpos se encuentran totalmente emergidos y suelen estar tapizados por vegetación baja como hierba de vidrio (*Sesuvium portulacastrum*) y otras plantas gramíneas, así como algunos casos mangle rojo (*Rhizophora mangle*). Sin embargo algunos de estos diques y especialmente en las cercanías de los canales interlagunares, se encuentran sometidos a constantes modificaciones por efectos de mareas, por lo que se estudiarán aparte dentro de la zona intermareal.

En cuanto al origen de estos depósitos, ROJAS (*op. cit.*) sugiere que los diques interlagunares son producto de acumulación de estos sedimentos durante períodos de marea alta. Por su parte los cuerpos situados al norte del pueblo (al menos recientemente) parecen corresponder a acumulaciones ocurrida durante períodos de mar de leva o “rebozos” provenientes del SW, que fueron capaces de transportar sedimentos tierra adentro.

Otro aspecto interesante en la dinámica depositacional de estos sedimentos, constituye la presencia de acumulaciones de arenas medias a finas, en forma de rizaduras mal preservadas, de crestas moderadamente rectilíneas, aparentemente simétricas, paralelas, orientadas con rumbo N15-20W y espaciadas 30 a 60 cm entre sí (ver Figura 4.31 y 4.32).



Figura 4.31. Rizaduras estabilizadas por vegetación superficial, ubicadas en el sector occidental de la costa sur del Gran Roque. Escala: 1m. (Rumbo foto S85E)

Estas estructuras se presentan en ambos lados de la pista de aterrizaje y los depósitos ubicados entre el puesto de Guardacostas y la zona de servicios, al oeste del pueblo del Gran Roque. Además presentan crestas de escasa altura (10 a 20 cm) y vegetación herbácea cuyas raíces estabilizan los sedimentos.

La posición de estas crestas, perpendiculares a la dirección de los vientos alisios ENE, sugiere un papel importante del transporte eólico de los sedimentos superficiales (ver Figura 4.32).



Figura 4.32. Rizaduras estabilizadas por vegetación superficial, ubicadas en el sector oriental del Gran Roque, entre la pista de aterrizaje y el pueblo. Obsérvese la sombra de la pala, proyectada de forma cuasi perpendicular sobre la traza de la cresta, durante el amanecer. Escala: 1 m. (Rumbo foto S30W)

4.3.2.- Zona Intermareal:

Esta zona está caracterizada por una sedimentación rítmica, dado que los continuos cambios en el nivel del mar (REECKMANN & FRIEDMAN, 1982). A pesar de que la caracteriza una abundante vida, las condiciones ambientales son extremas, por lo que la biota debe ser capaz de adaptarse a los constantes cambios de marea y de condiciones fisico-químicas en el agua.

Al igual que en la zona supramareal, puede ocurrir alteraciones diagenéticas tempranas, lo que incluiría la formación de evaporitas y dolomita.

La zona intermareal, generalmente es de alta energía que depende de la influencia de mareas, dirección del viento, corrientes costeras y de la presencia o no

de barras costeras y verticalmente se encuentra entre los niveles máximo y mínimo de mareas. La zona intermareal es equivalente al “Eulitoral” definido por FLÜGEL (1982)

Dentro del área de estudio se observan los siguientes ambientes intermareales:

- Zona de Playa Baja ó “Foreshore”.
- Costa Rocosa.
- Canales de Marea.
- Diques y Canales Interlagunares.
- Manglares.

4.3.2.1.- Zona de playa baja ó “Foreshore”:

Esta zona es considerada la verdadera playa, representa la parte más elevada de una secuencia de depositación por oleaje, verticalmente delimitada por los nivel de marea alta y baja e incluye alternancias de sedimentos finos – gruesos y en ocasiones gradación inversa, además de laminaciones con ligero buzamiento hacia el mar (INDEN & MOORE, 1983).



Figura 4.33. Aspecto del área de playa baja o “foreshore” característico en la costa sur del Gran Roque. (Rumbo foto S70E)

Una gran variedad de moluscos, gusanos y crustáceos producen horadaciones, características de ambientes de alta energía y sedimentación, que perturban estructuras preexistentes como las laminaciones. También son frecuentes pequeñas

cavidades (“keystone vugs”) formadas por pequeñas burbujas de aire, atrapadas entre el sedimento producto de la acción del oleaje sobre la playa y que luego escapan a través de la porosidad interpartícula una vez retirada la ola.

También se pueden observar estructuras como rizaduras, antidunas y lineaciones de corrientes, las cuales son raras en ambientes más antiguos debido a las modificaciones de los sedimentos en la parte superior de la capa, por parte de sedimentos suprayacentes (HARMS, 1979).

En el Gran Roque, esta zona se ubica a sotavento de la isla, protegida de las corrientes ENE dominantes en el archipiélago (MÉNDEZ, 1984) y se reconoce como una estrecha franja de anchura variable (3 a 20 m) entre la línea intermareal y la loma playera, extendiéndose desde la zona de servicios al oeste del pueblo, hasta los manglares cercanos a la pista de aterrizaje, al noreste de la isla (ver Figura 4.33).

Dicha franja se muestra con escasa pendiente (3-10° S) hacia el mar, con poco desarrollo de laminaciones, aunque si muy bioturbada por crustáceos como el cangrejo fantasma (*Ocypode quadrata*). De igual forma se aprecian “keystone vugs” en la zona de contacto oleaje – sedimento, dentro de la línea intermareal (ver Figura 4.34 a).

En la zona de loma playera, situada al sur del pueblo, se encuentra una granulometría que varía desde arena gruesa, a 1,2 m de profundidad, hacia arena fina hacia el tope.

La facies representativa de este ambiente corresponde a **F3**, quien muestra un aumento en el tamaño de grano hacia el extremo sureste de la isla, depositándose además de las arenas calcáreas, gravas de corales (*Acropora cervicornis*, *Porites* sp) y gasterópodos (ver Figura 4.34 b).

Además de los sedimentos no consolidados, en este ambiente se encuentra un desarrollo de roca de playa (**FRP2**) de 60 m de longitud, con capas de 15 a 22 cm de espesor, alineada paralelamente a la costa, orientada con rumbo N20W 6S, ubicándose en las inmediaciones del muelle principal, al sur del pueblo. Esta roca es el producto de la cementación y consolidación de arenas calcáreas depositadas dentro de ambiente de playa baja (ver Figura 4.22).

La acción de la erosión por parte del oleaje en la zona, tiende a incrementarse durante períodos de tormenta, provocando el desgaste paulatino y el eventual colapso de estos cuerpos rocosos, por lo que es posible encontrar fragmentos de roca de playa retrabajados, tamaño grava como parte de los sedimentos no consolidados depositados en la playa.

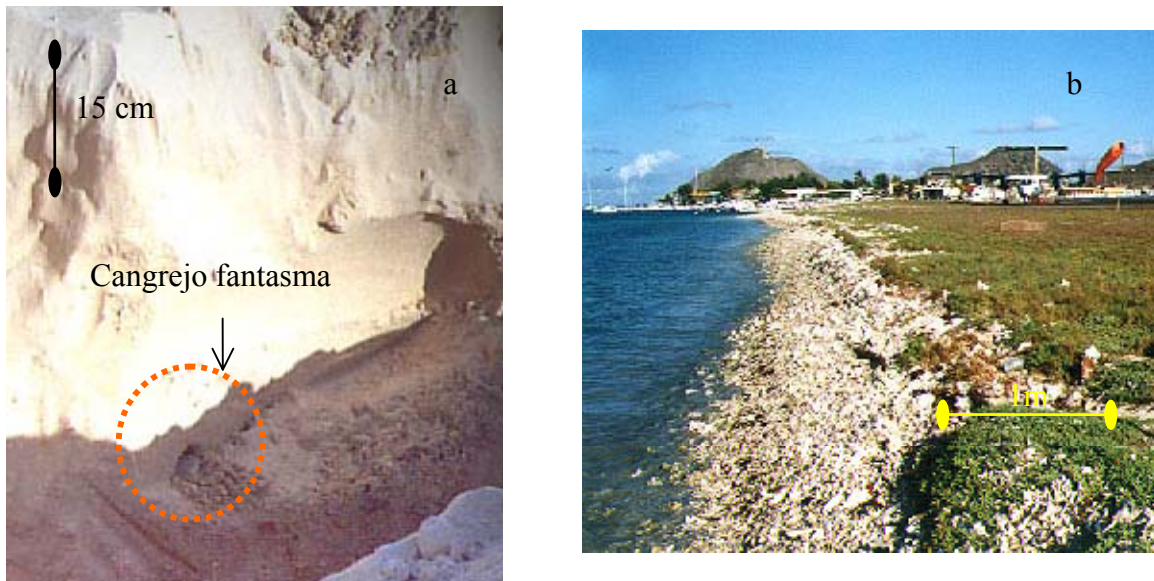


Figura 4.34. Diferentes aspectos de la zona de playa baja o “foreshore”. Detalle de la calicata 1 y cangrejo fantasma (*Ocypode quadrata*) excavando una madriguera (a). Extremo sureste de la costa de sotavento, en las cercanías a la cabecera de la pista de aterrizaje, caracterizado por la sedimentación de gravas de corales (*Acropora cervicornis*) y gasterópodos. (Rumbo foto N70W) (b).

4.3.2.2.- Costa Rocosa:

El Servicio de Geología de los Estados Unidos (U.S.G.S, 1998) define a la costa rocosa como un ambiente marino de alta energía, los cuales están expuestos como producto de la erosión continua por parte del oleaje o fuertes corrientes. El substrato es superficialmente estable, permitiendo que prosperen organismos sésiles o sedentarios como invertebrados, algas o líquenes. Además muestran una zonación vertical, que es función del nivel mareal, la acción del oleaje y grado de exposición solar.

Generalmente, la presencia de rocas de playa o fragmentos de roca es superior al 75% respecto a la cobertura vegetal que pudieran tener estas zonas con valores inferiores al 25% (U.S.G.S, 1998).

MULTER (1972) considera a la costa rocosa como uno de los ambientes de alta energía dentro de los sistemas de depositación carbonáticos recientes.

MÉNDEZ (1984) identifica este ambiente como roca de playa, que se forma a orillas de los cayos del archipiélago en la zona de barlovento, encontrándose relativamente protegida del oleaje por las crestas de un arrecife frangeante situado mar afuera. Por su parte ROJAS (1985) reconoce la costa rocosa dentro de los elementos de la terraza de tormenta, presentes hacia el sector nororiental del Gran Roque.

El término costa rocosa parece más adecuado para definir este ambiente, que el de roca de playa, si bien este último litológicamente es correcto, dado que las rocas de playa también se forman en condiciones energéticas más tranquilas como las presentes en la costa sur o de sotavento del Gran Roque.

Describiendo a detalle este ambiente, la costa rocosa aparece como una roca playera de grano grueso (**FRP1**) parcialmente sumergida, sometida a fuerte oleaje y bajo constante influencia mareal, que sirve de “basamento” para los depósitos de tormenta tamaño arena a grava (**F3, F5**), entre los cuales ocasionalmente aflora. Es posible observar crestas de rocosas y semisumergidas, de 5 a 30 m de longitud, orientadas paralelamente a la línea de costa a distancias variables entre 10 y 20 m mar adentro (ver Figura 4.35).

En los cuerpos de roca de playa aflorantes, se aprecia el desarrollo de “supratidal pools”, bañados constantemente por el oleaje o llenados a través de un sistema de cavidades internas, que actúan como red de canales reguladores del flujo del agua de mar al momento de golpear la ola o en los ascensos y descensos mareales. Estas charcas mareales o “supratidal pools” son erosionados, tanto por a la acción del oleaje, como por parte de organismos que habitan dentro de ellos, tales como erizos de mar, chitones y gusanos.

El producto de estos procesos erosivos, origina el aporte de fragmentos de roca de playa a los depósitos de tormenta dominados por restos de corales.

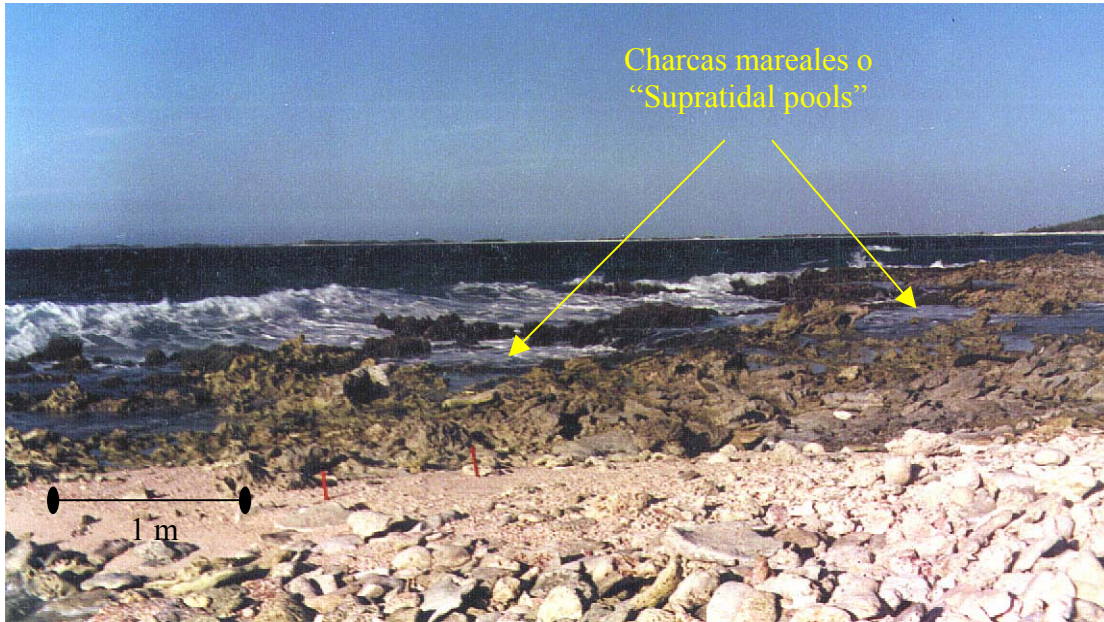


Figura 4.35. Costa rocosa asociada a los depósitos de tormenta nororientales del Gran Roque. (Rumbo foto N70E)

En algunos sectores de la costa nororiental del Gran Roque, se encuentran rocas de playa con desarrollo de capas paralelas, orientadas N18W-5N y espesores de 25 cm, similares a las reportadas en la costa sur de la isla y de granulometría más arenosa en comparación con los rudstone dominantes en el sector.

La roca de playa formada dentro del ambiente de costa rocosa, estabilizan los sedimentos que la rodean, sirviendo inicialmente de rompeolas natural que restringe la removilización de los depósitos de tormenta por parte del oleaje, lo que facilita su litificación posterior, al cementarse los granos en el momento que existan las condiciones fisico-químicas favorables (MÉNDEZ, 1984).

4.3.2.3.- Canales de Marea:

SHINN (1983) considera que los canales de marea forman un ambiente dentro de la zona submareal y algunos ejemplos en el Golfo Pérsico y las Bahamas destacan

las profundidades de 0 a 15 m y 3m respectivamente. Todos los canales a pesar de su profundidad máxima, se hacen más someros tierra adentro, tendiendo a desaparecer.

Por su parte REECKMAN & FRIEDMAN (1982) consideran a los canales de marea como parte de la zona intermareal, aunque reconocen que existen características que los pueden hacer indistinguibles de los ambientes submareales cercanos a la costa.

En el Gran Roque existen dos canales de marea activos, muy someros, con profundidades inferiores a 1 m que algunas veces pueden quedar totalmente expuestos, por lo que se consideran como parte de un ambiente intermareal.

El primer canal, es el principal y el que sirve de comunicación entre el mar y la laguna Norte, que a su vez alimenta al resto de las lagunas internas. Este se ubica en el sector occidental de la terraza de tormenta nororiental de la isla, con unos 20 m de ancho y una longitud de 50 m, orientados perpendicularmente a la línea de costa. Dichos valores pueden variar sensiblemente dependiendo del nivel de marea (ver Figura 4.36).

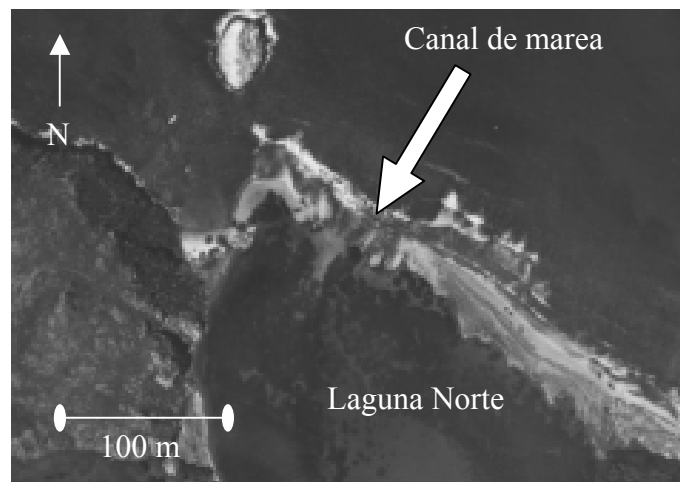


Figura 4.36. Detalle de la fotografía aérea 060107-126, donde se aprecia el canal de marea que comunica el mar con la laguna Norte.

Este canal se forma sobre la roca de playa (**FRP1**), erosionándola parcialmente y hallándose prácticamente libre de gravas de coral, por lo que las

profundidades en esta zona rara vez alcanzan los 50 cm de profundidad promedio, aunque al adentrarse en la laguna puede alcanzar hasta 1.2 m, donde un pequeño delta de marea se desarrolla, acumulando arenas calcáreas típicas de **F3**.

El segundo canal se encuentra hacia el sur de la isla, entre el pueblo del Gran Roque y la pista de aterrizaje. Con una longitud de 35 m y un ancho de 5 m, este canal actualmente se encuentra embaulado por una batea de concreto y parcialmente obstruido por las arenas de la loma playera que restringen la circulación entre la laguna Sur y el mar (ver Figura 4.37).



Figura 4.37. Ubicación del canal de marea que comunican las aguas de la laguna Sur con el mar. (Rumbo foto S15E).

Este canal parece actuar más como aliviadero del agua de las lagunas, que como fuente de aporte de agua, dado que la recarga parece fluir desde el canal norte, excepto en períodos de mar de leva, en donde el flujo se hace inverso.

En general, ambos canales juegan un papel importante en el intercambio de O_2 y nutrientes entre el mar y las lagunas internas (ROJAS, 1985) además de servir de agentes reguladores en las condiciones de salinidad, pH y temperatura.

4.3.2.4.- Diques y canales interlagunares:

Aunque muchos de los diques están totalmente emergidos, parte de éstos se encuentran bajo la continua influencia de mareas, especialmente en las proximidades

a los canales interlagunares, los cuales son los que permiten la circulación de agua entre las lagunas permanentes.

En total se identifican cuatro canales interlagunares, de los cuales uno de ellos se encuentra prácticamente obstruido por las arenas gruesas de **F3**, situándose en la mitad de la barra que separa la laguna de los Troncos con la laguna Sur. El resto presenta una mejor comunicación entre las lagunas.

Generalmente estos canales son bastante someros, con profundidades promedio de 50 a 120 cm. La geometría en planta, varía de formas de “reloj de arena”, rectilíneas y sinusoidales, con dimensiones entre 52 y 15 m de longitud y una anchura entre 5 y 18m (ver Figura 4.38).

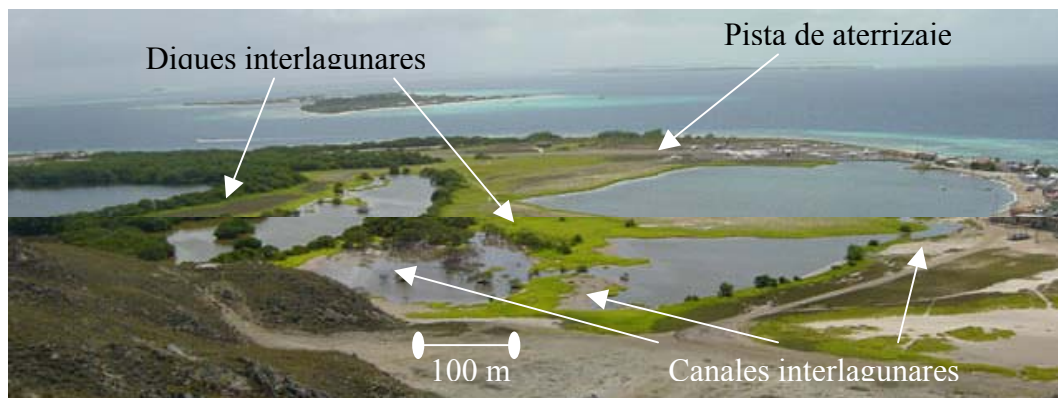


Figura 4.38. Área de lagunas internas en la isla Gran Roque. (Rumbo foto S35E)

Rodeando a estos canales existen prolongaciones de los diques, las cuales se encuentran constantemente bajo la influencia de las mareas y cambios de corriente. Estas acumulaciones tienden a retener sedimentos y materia orgánica, generando intercalaciones de arenas calcáreas (**F3**) y limos calcáreos con materia orgánica (**F4**).

Es frecuente ver a estos diques colonizados por manglares y horadados por cangrejos violinistas (*Uca sp.*) y otros crustáceos. Por lo general están cubiertos por sedimentos finos mezclados con algas, que al secarse produce una superficie con textura “esponjosa” y olor característico a materia orgánica en descomposición.

4.3.2.5.- Manglares:

La definición de manglar como ambiente, puede ser compleja dado que pueden abarcar tanto la zona submareal como la supramareal.

Desde el punto de vista biológico, los manglares son comunidades de árboles o arbustos principalmente tropicales que viven en costas más o menos estables. Estas plantas muestran adaptaciones que las ayudan a desarrollarse en zonas de transición tierra – mar, que incluyen raíces respiratorias, que permiten el anclaje a sedimentos suaves, mecanismos de dispersión de concentraciones salinas excesivas y una reproducción “vivípara” donde las semillas se mantienen fijadas a la planta madre y germinan formando un embrión, antes de caer del árbol (REY & RUTLEDGE, 2002).

Los manglares, en especial los costeros marginales e insulares, son bien conocidos por su capacidad de atrapar sedimentos, tanto terrígenos como marinos.

Las condiciones de salinidad, constituyen un aspecto importante en la zonación o distribución de especies dentro de la comunidad de manglares (BUNT, *et. al.* 1982), además de otros factores abióticos como la geomorfología e hidrología del sector (DAVIS, 2003).

Aunque REY & RUTLEDGE (*op. cit.*) reconocen que los patrones de zonificación puede ser complejos, es posible delimitar ciertas zonas, especialmente dentro de manglares bien desarrollados (ver Figura 4.39).

Así se tiene que los mangle rojo (*Rizophora mangle*) dominan en las áreas costeras y bajas entre submareal superior a intermareal bajo y los mangle negro (*Avicennia germinans*, *A. nitida*) se desarrollan costa adentro, detrás de los mangle rojos, en zonas anegadizas durante marea alta (CARLTON, 1975), lo que correspondería a la zona intermareal definida por REECKMAN & FRIEDMAN (1982).

En cuanto al mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) son más frecuentes en áreas más elevadas, con menor influencia mareal, salvo en épocas de tormenta. (ODUM & MCIVOR, 1990).

Los manglares son un ambiente característico dentro del Gran Roque, dominando la parte oriental de la isla, entre las lagunas permanentes y la costa separadas por una franja de 50 m de ancho, debido a la presencia de la pista de

aterrizaje. Las especies más abundantes son el mangle rojo (*Rhizophora mangle*) y el negro (*Avicennia nitida*), mientras que el mangle blanco (*Laguncularia racemosa*) es mucho más escaso.

El mangle rojo se distribuye hacia la costa oriental de la isla, en los bordes de las lagunas internas y ocasionalmente en el interior de la laguna de los Troncos y la laguna Occidental. y se caracterizan por sus raíces aéreas, las cuales quedan expuestas o sumergidas dependiendo de la marea y son parte esencial en la estabilización de sedimentos como las arenas calcáreas de **F3** y los limos calcáreos – orgánicos de **F4**.

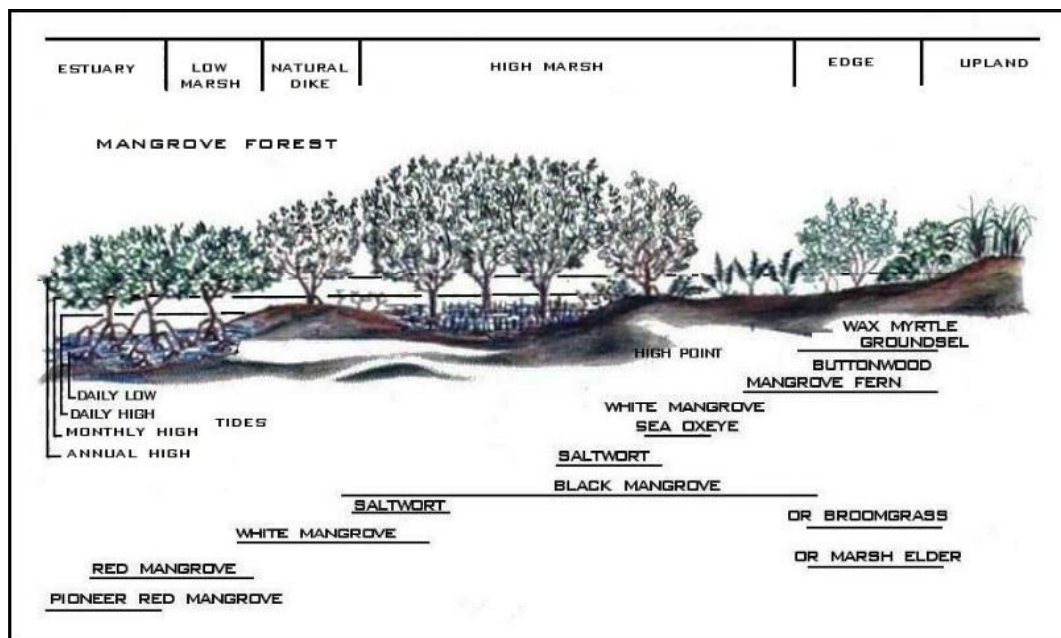


Figura 4.39. Distribución de las distintas especies de mangle y los distintos ambientes mareales donde habitan. Tomado de REY & RUTLEDGE (2002)

Entre la línea de costa y las lagunas internas, los mangles negros son más abundantes, y a diferencia de los rojos poseen raíces “subterráneas” someras, cubiertas de limos perteneciente a **F4** y abundante materia orgánica en descomposición de **F6**. Del sedimento parecen brotar a la superficie prolongaciones de las raíces, denominadas “pneumatóforos” los que sirven de elemento de regulación salina por parte de la planta (ver Figura 4.40).

En general, el aspecto del terreno donde habita esta especie es similar a los diques cercanos a los canales interlagunares, con tendencia a anegarse en períodos de marea alta y retener gran cantidad de detritos orgánicos, lo que incide en la acumulación de espesores superiores a los 50 cm de turba dentro del área.

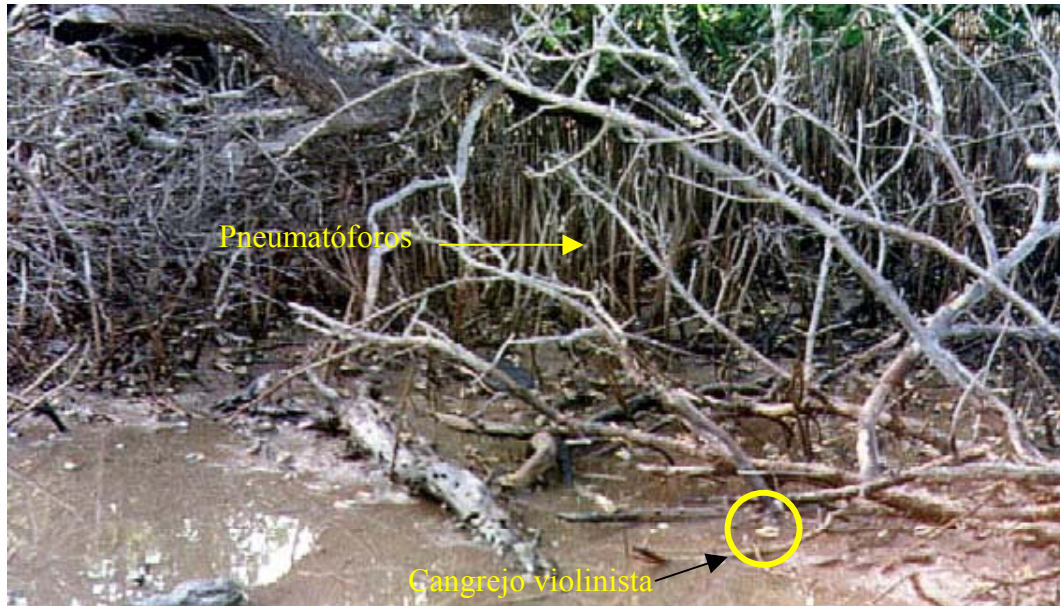


Figura 4.40. Zona anegadiza donde prospera el mangle negro (*Avicennia nitida*) en las adyacencias a la laguna de Los Troncos.

Los sedimentos retenidos por los manglares frecuentemente se hallan perturbados, tanto por sus propias raíces, como por las horadaciones de crustáceos como el cangrejo violinista (*Uca sp.*) y el cangrejo ermitaño (*Coenobita clypeatus*).

Por otro lado, el mangle blanco se encuentra en la zona supramareal, desarrollándose sobre los sedimentos arenosos de **F3** presentes en los diques interlagunares y la costa sur de la isla, al oeste del pueblo y son más escasos que las especies antes mencionadas.

4.3.3.- Zona Submareal:

Generalmente esta es una zona de baja energía, aunque en áreas con fuertes corrientes y oleaje, la energía se mantiene alta y los sedimentos se asemejan a los

encontrados dentro de la zona intermareal. En esta zona se pueden encontrar desarrollos de corales, ooides, así como canales, deltas y bajíos bioclásticos.

Los depósitos submareales no varían mucho respecto a los intermareales, sin embargo constituyen un importante ambiente carbonático. La microfauna es diversa y las variaciones de salinidad (dependiente de la profundidad) produce una variedad de condiciones sedimentarias (REECKMANN & FRIEDMAN, 1982). La zona submareal es equivalente a la “Sublitoral” de FLÜGEL (1982).

En el área del Gran Roque se pueden establecer dos ambientes submareales:

- Zona de Arrecife.
- Lagunas Permanentes.

4.3.3.1.- Zona de Arrecife:

TUCKER & WRIGHT (1990), describen a los arrecifes como sistemas sedimentarios caracterizados por estar lateralmente restringidos, a pesar de que pueden cubrir grandes extensiones y presentar formas de relieve importantes, además de presentar evidencias de influencia biológica durante su crecimiento.

A pesar de que el concepto de arrecife ha sido utilizado en el pasado por diversos autores, como cualquier cuerpo calcáreo aislado, DUNHAM (1970) introduce una distinción entre arrecifes estratigráficos y ecológicos. Los primeros comprenden los cuerpos calcáreos lateralmente restringidos, posiblemente compuesto de pequeños arrecifes menores sobreimpuestos. En cambio se consideran arrecifes ecológicos, aquellos cuerpos calcáreos rígidos, resistentes al oleaje, topográficamente diferenciables y creados biogénicamente.

Dentro de los ambientes modernos, los arrecifes son considerados como acumulaciones de carbonato de calcio esqueletal que se elevan desde el fondo marino. Esta definición incluye a los arrecifes coralinos y algales someros, bancos de limo y corales, además de las acumulaciones de restos esqueletales en aguas profundas (JAMES, 1983).

De todos éstos, los arrecifes coral – algal, son los más difundidos e importantes, en cuanto a su volumen se refiere, dentro de los océanos modernos.

Constituidos por corales hermatípicos y algas calcáreas, estos arrecifes se desarrollan mejor hacia barlovento de las plataformas, islas o bajíos, donde los vientos y el oleaje son constantes, sirviendo como control en la sedimentación. (JAMES, 1983).

Los arrecifes modernos han sido clasificados según su morfología general, tamaño y relación con las costas cercanas (TUCKER & WRIGHT, 1990). Entre éstos destacan:

- Arrecifes Frangeantes o “Fringing Reefs”.
- Arrecifes de Barrera.
- Parches Arrecifales o “Patch Reefs” .

Los arrecifes frangeantes se sitúan cercanos a la costa, desarrollándose en plataformas estrechas. Por su parte los arrecifes de barrera crecen en formas lineales, separadas de la costa, absorbiendo gran parte de la energía del oleaje y corrientes de mar abierto, lo que protege a los ambientes más tranquilos como lagunas internas. Los parches o manchones arrecifales, prosperan dentro de las lagunas internas, relativamente protegidas por los arrecifes de barrera, formando cuerpos aislados de geometría variable (TUCKER & WRIGHT, *op. cit.*; JAMES, *op. cit.*).

En el Archipiélago Los Roques, se reconocen los tres tipos principales de arrecife. Así se tiene que los arrecifes de barrera se desarrollan en los bordes oriental y sur de la plataforma, protegiendo una laguna denominada “Bajo de los Corrales”, donde se encuentran numerosos parches arrecifales. Hacia el sector noreste del archipiélago, se presentan crecimientos de arrecifes frangeantes alrededor de los cayos y la isla Gran Roque (MÉNDEZ, 1984).

Alrededor del Gran Roque se forma un plano arrecifal de características variables, tanto morfológicas como biológicas. Aunque el estudio de esta zona no está contemplado dentro de esta investigación, su referencia se hace pertinente como complemento de los ambientes que se desarrollan sobre la isla.

La parte más somera plano arrecifal es observable desde el aire, rodeando a la isla desde la parte nororiental hasta la costa sur del cerro Occidental. Así mismo se extiende hasta 300 m mar adentro a sotavento de la isla, mientras que hacia

barlovento se estrecha, salvo en el extremo este, donde alcanza hasta 150 m de ancho. (ver Figura 4.42).

El plano arrecifal muestra profundidades inferiores a los 15 m y se encuentra bordeado por una cresta de arrecife que pueden alcanzar la superficie, especialmente hacia la zona nororiental, frente a la terraza de tormenta.

Hacia sotavento y el extremo este de la isla se forman grandes acumulaciones de sedimentos similares a las arenas calcáreas de **F3**, las cuales forman diferentes patrones de rizaduras, dependiendo de su profundidad y posición frente a la costa. Igualmente estos sedimentos funcionan como sustrato blando en donde proliferan pepinos de mar (*Holothuria sp.*), botutos (*Strombus gigas*), crustáceos (*Callianassa sp.*) y anélidos entre otros organismos. Ocasionalmente se forman pequeñas praderas de fanerógamas, donde crecen algas como *Thalassia testudinum*, tanto en el extremo occidental del plano arrecifal como en los sectores protegidos de la costa este.

Dentro de esta zona, también son observables restos de corales como *Acropora cervicornis*, *Porites sp.* y *Diploria sp.* Según las autoridades de INPARQUES, así como pescadores locales, la mayoría de fragmentos corresponden a organismos muertos debido a la intensa acción pesquera, desarrollada con trenes de arrastre, durante épocas anteriores a la creación del plan de ordenamiento del parque nacional.

En cambio en la zona de barlovento, frente a la terraza de tormenta nororiental, la proporción de sedimentos finos disminuye, encontrándose restringida a pequeños parches entre los corales, al mismo tiempo que la cresta arrecifal se muestra mucho más desarrollada, llegando a asomarse entre las olas. Esta cresta está dominada por especies más resistentes como *Acropora palmata*, los cuales actúan a modo de rompeolas natural (MÉNDEZ, 1977, 1984; HUNG 1985), atenuando la energía del oleaje sobre la costa, que además protegen a organismos más delicados, como los corales *Acropora cervicornis*, *Colpophylia natans*, *Porites sp.* y *Diploria sp.*, así como gorgónidos, mileporinos, zoántidos, algas calcáreas y equinodermos.



Figura 4.41. Fotomosaico de la costa de sotavento del Gran Roque, destacando los ambientes de sedimentación internos, así como los sedimentos depositados dentro de la plano arrecifal sur. (Rumbo fotomosaico S15W)

4.3.3.2.- Lagunas Internas:

Las lagunas internas o carbonáticas están protegidas del oleaje y las tormentas, dado a que se sitúan detrás de barreras playeras. Por lo general sitios de acumulación de sedimentos areno - limosos que varían de packstone a mudstone y en algunos casos presentan faunas restringidas (TUCKER & WRIGHT, 1990).

La sedimentación depende de la circulación interna de la laguna, la cual está controlada en gran medida por los canales de marea y el clima, jugando un papel fundamental en la regulación de la salinidad dentro de estos cuerpos de agua. Dicha circulación, puede verse restringida por la presencia de barras someras y bancos de arenas esqueléticas y limo, interrumpidos por los canales mareales.

Ambientalmente, las lagunas internas y los canales de marea representan extensiones de la zona submareal dentro de un área intermareal (TUCKER & WRIGHT, *op. cit.*).

Las lagunas internas presentes en la isla Gran Roque, se encuentran en el sector oriental limitadas por la terraza de tormenta y manglares del noreste; el cerro oriental, llanuras de marea y el pueblo al oeste; la loma playera al sur y la zona de playa alta y manglares al sureste (ver Figura 4.43).

En total, forman un sistema de cuatro lagunas todas comunicadas entre sí por cuatro canales interlagunares, además de dos canales de marea que permiten el intercambio de agua proveniente de las lagunas con el mar. MÉNDEZ (1984) reconoce también, la posibilidad del paso de agua proveniente del exterior de la isla, gracias a la porosidad existente entre los sedimentos no consolidados que las rodean así como el carácter hipersalino en la laguna Sur.

Estas lagunas presentan ciertas características morfológicas y de sedimentación que las diferencian entre sí.

Así se tiene que la laguna Norte es la mayor de las cuatro, aparentemente no excede los 2,5 m de profundidad, presenta una forma irregular, aunque con una orientación preferencial de N14W y dimensiones de 510 m longitud por 300 m de ancho. Esta laguna se comunica con al agua de mar a través del canal de marea, situado hacia el oeste de la terraza de tormenta.



Figura 4.42. Fotomosaico del sector oriental del Gran Roque, tomado desde el cerro Oriental. En esta zona se muestran las distintas lagunas y ambientes asociados. Al fondo se observa el cayo Madrizquí. (Rumbo fotomosaico S45E).

La distribución areal de los sedimentos, indica que las arenas (**F3**) abundan hacia la zona noroeste, asociados al canal de marea, mientras que los limos orgánicos y calcáreos (**F4**) dominan el resto de la laguna, especialmente hacia el suroeste, donde hacen contacto lateral con las arenas gruesas del dique que la separa con la laguna de los Troncos.

Dentro de la laguna Norte, hacia al este se desarrolla una comunidad de mangles rojo y negro, así como pequeñas praderas de fanerógamas. Entre los sedimentos se observan pequeños montículos de gusanos, crustáceos (posiblemente *Callianassa sp*) y ocasionalmente gasterópodos como *Melongena sp*.

La laguna de los Troncos, está situada al oeste de la laguna Norte, separado por un dique de arenas gruesas, presentando una geometría alargada, orientada en dirección N18W aproximadamente. La profundidad promedio alcanza 1,2 m y sus dimensiones son 420 m de largo por 90 m de ancho.

Esta laguna tiene comunicación con las otras tres, por medio de tres canales interlagunares, aunque uno de ellos está prácticamente obstruido por sedimentos. En los canales se encuentran superficialmente los sedimentos arenosos de **F3**, sin embargo estos permanecen prácticamente “sepultados” en la laguna, por debajo de una capa de 10 a 40 cm de correspondiente a la facies **F4**.

Hacia al noroeste de la laguna de los Troncos, se encuentran dos pequeñas lagunas apenas separadas por un pequeño dique inundable durante épocas de marea alta, Este pequeño sistema, denominado laguna Occidental, es el más somero con profundidades inferiores a 1 m; además tiene una geometría en forma de “embudo” orientado N35E, una longitud de 180 m y un ancho aproximado de 90 m. Este cuerpo de agua, se comunica además con la laguna Sur por un canal en forma de “S” de 50 cm de profundidad promedio, y al igual que la laguna de los Troncos, la facies dominante es **F4** alcanzando espesores de 40 cm por encima de **F3**, la cual solo es observable en las zonas de canal, junto a restos de basura, debido a la cercanía con el pueblo.

Tanto en la laguna Occidental como en la de los Troncos, se nota una temperatura ligeramente mayor a la Norte, especialmente en las orillas donde se

concentran los limos de aspecto gelatinoso y fétido de **F4**, lo que es atribuible a la descomposición de materia orgánica, dentro de un ambiente poco oxigenado (MÉNDEZ, 1984).

Ubicada entre el pueblo del Gran Roque y la pista de aterrizaje, se encuentra la laguna Sur, de geometría irregular, con una longitud y una anchura aproximadas de 330 y 240 m respectivamente, así como una orientación de N15W. Además presenta comunicación con el agua de mar por medio de un estrecho canal de marea actualmente “embaulado” en una estructura de concreto.

Igualmente, la comunicación con las lagunas Occidental y de los Troncos se hace efectiva a través de canales interlagunares y gracias a la porosidad existente entre los sedimentos que forman los diques que la separan de otras lagunas. Esto se evidencia por la escasa profundidad del nivel de mesa de agua encontrado en las calicatas excavadas en el sector, apenas de 15 a 30 cm.

Hoy en día, las orillas oeste y sur de la laguna se encuentran reforzadas por un dique de concreto de 50 cm de alto, construido con la finalidad de “proteger” al pueblo de inundaciones en épocas de marejada.

La profundidad de esta laguna alcanza los 6 m en su lado sur (MÉNDEZ, *op. cit.*), si bien hacia el noreste es bastante más somera. La sedimentación hacia la mitad norte y el borde de la laguna corresponde a la facies **F3**. Aunque no se recolectaron muestras de fondo, es posible que también existan porciones de la laguna en donde se depositen limos de **F4**, especialmente hacia la parte más profunda. Esta laguna, a diferencia del resto, no está rodeada por manglares y superficialmente, las aguas se encuentran constantemente agitadas por el viento, por lo que es frecuente encontrar acumulaciones de espuma blanca de origen orgánico hacia la orilla oeste.

4.4.- Biofacies:

4.4.1.- Generalidades:

A partir del análisis de contenido fósil en los sedimentos, provenientes tanto de las calicatas como de muestras de superficie, se identificaron y clasificaron los organismos presentes, dependiendo de su grado de preservación.

Debido al transporte y retrabajo de los sedimentos, resulta difícil establecer biocenosis claras entre las comunidades fósiles identificadas. Por tal razón las biofacies reportadas son consideradas como tanatocenosis.

El criterio para establecer las biofacies, se basó en la identificación de asociaciones fósiles, diferenciables entre sí y capaces de ser cartografiadas. La nomenclatura utilizada para cada una se estableció de la siguiente forma:

BF1: Biofacies (BF)- numeración (1,2.....5).

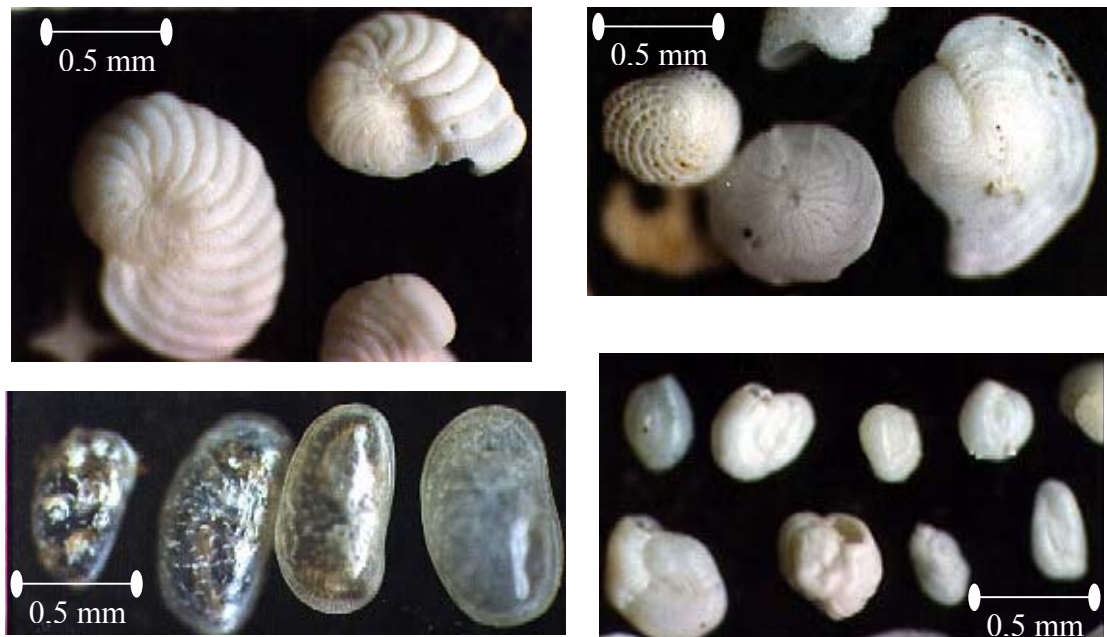


Figura 4.43. Algunos de los microfósiles reportados entre los sedimentos del Gran Roque, empleados para determinar las biofacies: *Peneroplis sp.* Muestra: CAL50-C2 (a); *Amphistegina sp.* rodeada de *Archaias sp.* Muestra: LR-AR-9 (b); ostrácodos. Muestra: BC-4-C1 (c); miliólidos varios. Muestra: BC-5-C1 (d).

4.4.2.- Relación biofacies - ambientes sedimentarios:

BIOFACIES	FACIES ASOCIADAS	CARACTERÍSTICAS y AMBIENTE SEDIMENTARIO ASOCIADO:
BF1	F1 F2 F4	Caracterizada por fragmentos de ostrácodos (<i>Cyprideis sp.</i> , <i>Loxoconcha sp.</i> , <i>Eucythere sp.</i>), moderado a bien preservados, ocasionalmente se aprecian restos retrabajados de miliólidos y bien preservados de <i>Ammonia becarii</i> . La distribución de esta biofacies abarca la llanura de marea y parte de la playa alta o backshore, al norte y oeste del pueblo. Igualmente se extiende hacia las lagunas occidental y de los troncos donde se mezclan con restos bien preservados de miliólidos (ver Figura 4.43 c).
BF2	F3	Representada por la asociación entre <i>Amphistegina lessonni</i> y <i>Archaias sp.</i> moderadamente retrabajados, además de restos de halimedas muy retrabajados. Rara vez se encuentran restos mal preservados de <i>Quinqueloculina sp.</i> Esta biofacie está restringida a la franja costera, desde la terraza de tormenta noreste (intercalada con BF4) hasta el la loma playera y la playa baja o foreshore al suroeste. En el extremo sureste se mezcla con BF5. (ver Figura 4.43 b)
BF3	F3	Establecida en base a la asociación entre <i>Archaias sp.</i> y <i>Quinqueloculina sp.</i> bien a moderadamente preservados. Frecuentemente mezclada con restos de halimedas y ocasionalmente con otros foraminíferos como <i>Peneroplis pertusus</i> , <i>Milliolinela sp.</i> ó <i>Praseorites orbilitoides</i> entre otros. Esta biofacies se encuentra en los diques interlagunares, la zona de playa alta oriental y detrás de loma playera. También es posible encontrarla entre los sedimentos de las laguna norte y parte de la sur, así como en los canales interlagunares. (ver Figura 4.43 d)
BF4	F5	Dominada por restos de moderada a mal preservados de <i>Acropora palmata</i> , y en menor proporción otros corales como <i>A. cervicornis</i> , <i>Colpophylia natans</i> , <i>Diploria sp.</i> y <i>Montastrea sp.</i> La distribución de BF5, se restringe a las terrazas de tormenta nororiental y de la Boca del Mal Viento, aunque se intercala progresivamente con BF3, hacia el área de la laguna norte y ocasionalmente con BF2 (ver Figura 4.47).
BF5	F3	Caracterizada por restos mal a moderadamente preservados de <i>Acropora cervicornis</i> , mezclados con <i>Porites sp.</i> , <i>Montastrea anularis</i> , <i>Siiderastrea sp.</i> y <i>Diploria sp.</i> , además de gasterópodos como <i>Strombus gigas</i> y fragmentos de halimedas. Esta biofacies se encuentra en el extremo sureste del Gran Roque intercalada con BF3. (ver Figura 4.34 b)

Tabla 4.1. Correspondencia entre las biofacies identificadas, con las facies y ambientes sedimentarios presentes en el Gran Roque

4.5.-DIAGÉNESIS:

4.5.1.-Definición:

La diagénesis en sedimentos carbonáticos, abarcan todos los procesos que afectan a los granos después de su depositación hasta el metamorfismo incipiente debido a aumento de presiones y temperatura (TUCKER & WRIGHT, 1990).

Por su parte FOLK (1974), en ZAPATA (1983), postula que la diagénesis en rocas carbonáticas resulta de la transformación de los sedimentos calcáreos en calizas y comienza con los procesos que transforman ese sedimento, que pueden ser continuos y constante que trabajan el sedimento, o cambios en las rocas como respuesta a modificaciones ambientales.

4.5.2.-Procesos químicos:

La diagénesis de carbonatos involucran a dos procesos principales: químicos y biológicos.

Los procesos químicos, están presentes en la roca calcárea durante su historia diagenética, pudiendo ocurrir desde las etapas tempranas, como en las tardías. Estos procesos pueden ser:

- Cementación.
- Neomorfismo.
- Reemplazo.
- Disolución.
- Compactación.

4.5.2.1.- Cementación:

La cementación en sedimentos carbonáticos, es uno de los principales procesos diagenéticos y ocurre cuando los fluidos internos se sobresaturan y precipitan, sobre todo si no ocurren otros procesos que lo inhiban, como movimiento de fluidos, removilización de los sedimentos u otro proceso cinético.

La cementación en las calizas requiere de grandes aportes de CaCO_3 y un eficiente mecanismo de circulación de fluido para una completa litificación. La fuente de CaCO_3 varía dependiendo de los diferentes ambientes diagenéticos. Así se tiene que en la zona marina, la fuente es el agua de mar, mientras que en los ambientes someros y de soterramiento, proviene del propio sedimento (TUCKER & WRIGHT, 1990).

El aragonito, la calcita alta y baja en Mg, son los principales minerales en estar presentes dentro de la cementación, abarcando diferentes morfologías. Menos comunes son la ankerita, siderita, caolinita, cuarzo, anhidrita, yeso y halita.

Texturalmente, los cementos pueden clasificarse de varias formas. FLÜGEL (1982) compila la información referente a cada tipo de cemento, para lo cual propone 9 tipos principales (ver Tabla 4.2).

En la isla Gran Roque, se reportan dos facies de sedimentos consolidados (**FRP1** y **FRP2**) los cuales se presentan como rocas de playa desarrolladas hacia las zona nororiental y sur de la isla respectivamente.

Estos cuerpos rocosos presentan partículas de granulometría variable, entre arenas finas y peñones grandes, cohesionados por cemento aragonítico y micrita.

El cemento aragonítico es del tipo fibroso y radiaxial y normalmente se encuentra en la porosidad intrapartícula de corales y algas calcáreas (*Halimeda* sp.) en forma de agujas concéntricas que pueden llegar a rellenar parcial o totalmente la cavidad. De la misma forma puede presentarse rodeando porosidades interpartícula, sirviendo de material cohesionante entre los clastos (ver Figura 4.44).

A diferencia del cemento desarrollado en porosidades intrapartícula, las agujas de aragonito que crecen entre los clastos, presentan un desarrollo comparativamente menor, donde los cristales son apenas distinguibles, tendiendo a formas equigranulares.

Igualmente se aprecia al cemento aragonítico intergranular, con formas de menisco y rara vez pendular.

Tabla 4.2. Principales tipos de cemento en carbonatos. Modificado de FLÜGEL (1982)

TIPO DE CEMENTO:	DEFINICIÓN:	TÉRMINOS EQUIVALENTES:
Fibroso	Cristales orientados con sus ejes largos perpendiculares a las paredes de los poros; cristales con bordes aserrados, perpendiculares al eje largo. Usualmente de color marrón.	Acicular; espatita fibrosa; cemento fibroso radial; cemento fibroso marginal.
Granular	Cristales anhedrales a subhedrales entre 10 y 60 μm . Generalmente sin orientación preferencial.	“Drusy”(ocasionalmente); Calcita equidimensional; “Blocky”.
Cristalino	Cristales anhedrales a subhedrales $> 10 \mu\text{m}$. El tamaño del cristal se incrementa hacia el centro de la cavidad o poro. Uniforme en nícoles cruzados, extinción recta, bordes planares; más del 50% de los cristales forman 180° (intersección “enfacial”) con otros cristales. Calcita – Fe frecuente.	Mosaico “Drusy”.
Radiaxial	Cristales con doble lámina curvada, eje óptico convergente y eje largo divergente en subcristales; sobrecrecimiento perpendicular a las paredes de la cavidad. Extinción ondulatoria, bordes intercristalinos planares; inclusiones.	-----
Micrítico	Cristales menores a 4 ó $30\mu\text{m}$.	Cemento sub microcristalino; cemento criptocristalino.
Sintaxial	Crecimiento sintaxial de aragonito y calcita sobre un núcleo preexistente. Bien documentado para cristales individuales de fragmentos de equinodermos, así como foraminíferos, moluscos y corales inclusive.	Cemento anular; sobrecrecimiento sintaxial; cemento sintaxial calcítico.
Menisco	Se desarrolla en porosidades interpartícula, entre los granos, especialmente debajo de ellos.	-----
Pendular	Costras gruesas de cemento en los “techos” de las cavidades o debajo de partículas, generalmente en forma colgante.	Drusa microestalagmítica; cemento gravitacional; “Sinter” o “microsinter”.
“Diente de Perro”	Cemento tipo “drusy” con esquinas aserradas en forma de “dientes de perro”.	Cemento dentado; cemento calcítico escalenohédrico.



Figura 4.44. Fotomicrografía (nícoles cruzados) de la sección LR-RP-3A. Se observa cemento aragonítico fibroso relleno parcialmente la porosidad fenestral entre dos fragmentos de *Halimeda sp* micritizados.

La micrita se presenta como un material de grano muy fino, color pardo rojizo a pardo oscuro, relleno parcialmente cavidades intrapartículas de corales, gasterópodos y foraminíferos, así como material de soporte de clastos.

Ocasionalmente se observa, dentro de los restos de corales, micrita depositándose preferencialmente dentro de la porosidad intrapartícula, generando estructuras tipo “geopétalo”.

4.5.2.2.- Neomorfismo:

Dado que la recristalización se refiere estrictamente, a los cambios en el tamaño de los cristales sin alterar su mineralogía, FOLK (1965) introdujo el término neomorfismo, con la finalidad de incluir los cambios mineralógicos, ya sea manteniendo la estructura cristalina intacta o convirtiéndola en un polimorfo (FLÜGEL, 1982; TUCKER & WRIGHT, 1990)

El neomorfismo ocurre en presencia de agua a través de un ciclo de disolución – reprecipitación, por lo que podría llamarse un proceso “húmedo”. La inversión de aragonito en calcita o la recristalización *sensu stricto* de calcita a calcita, pueden ser poco probables debido a que ocurren en estado sólido, sin ninguna

influencia del agua, lo que es raro dentro de la diagénesis. FLÜGEL (1982) incluye a la inversión y la recristalización dentro de los procesos de neomorfismo (ver Tabla 4.3).

Tabla 4.3. Principales tipos de neomorfismo. Modificado de FLÜGEL (1982)

PROCESOS	TIPOS	DEFINICIÓN
Neomorfismo	Agradante	Cristales grandes, crecen a expensas de los más pequeños. Ocurre principalmente en calizas microcristalinas formando microesparita.
	Degradante	Pequeños cristales crecen dentro de los grandes. No es muy común.
Inversión	Homoaxial	Transformación de aragonito en calcita conservando la forma original del cristal.
	Heteroaxial	No existe correspondencia óptica o estructural entre los cristales de aragonito o calcita.
Recristalización	-----	Crecimiento de cristales a expensas de cristales deformados del mismo mineral y el incremento de las condiciones de presión y temperatura (Metamorfismo).

Además, el neomorfismo puede afectar tanto a los granos carbonáticos como a la micrita, lo que da como resultado incrementos en el tamaño de grano, así como la destrucción de texturas y arreglos previos. Si el proceso se profundiza, la roca puede convertirse en cristalina de grano grueso. (BOGGS, 1995).

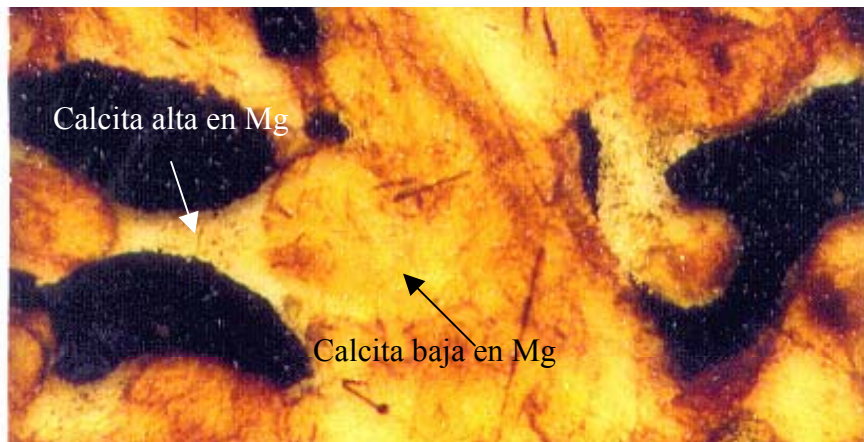


Figura 4.45. Fotomicrografía (nícoles cruzados) parcialmente teñida con alizarina roja, correspondiente a la sección fina LR-RP-6B. Nótese la diferencia de color entre la calcita alta en Mg y baja en Mg.

El neomorfismo presente en las rocas de playa del Gran Roque, pertenece a la inversión homoaxial. Esto se evidencia por el reemplazo paulatino de aragonito o calcita alta en Mg por calcita baja en Mg en restos bioclásticos, especialmente corales, conservando la forma original del grano (ver Figura 4.45).

En algunos restos retrabajados de corales, el reemplazo es total, mostrando cristales de calcita con maclado lamelar o polisintético (NESSE, 1991). Posiblemente estos restos correspondan a fragmentos de corales previamente alterados, que luego pasaron a formar parte de los componentes de la roca de playa.

4.5.2.3.- Reemplazo:

ZAPATA (1983) lo define como el reemplazamiento de los constituyentes originales por un mineral de composición diferente, sin que se desarrollen cavidades importantes. El mineral reemplazado y el reemplazante permanecen en contacto, aunque separados por una delgada capa de líquidos que permite el paso de iones (metasomatismo de Lindgren). Generalmente este proceso se efectúa volumen por volumen, existiendo alguna substracción o adición de iones al sistema.

TUCKER & WRIGHT (1990) consideran al reemplazo como parte de un proceso neomórfico definido como “calcitización”, el cual involucra la disolución parcial de un mineral y la precipitación de calcita, por lo que algunas reliquias de la concha o cementos originales son preservados dentro de la calcita neomórfica.

Aparentemente este proceso no se reporta dentro de las muestras estudiadas de roca de playa, sino como parte de la inversión homoaxial.

4.5.2.4.- Disolución:

Es un proceso donde el carbonato se disuelve selectivamente, por ejemplo en la formación de estilolitas (FLÜGEL, 1982). Este proceso es favorecido por la presencia de mineralogía inestable como el aragonito o calcita alta en magnesio, bajas temperaturas y aguas ácidas subsaturadas de carbonato cálcico (BOGGS, 1995)

La disolución es un proceso menor a nivel de piso oceánico, pero muy importante dentro del dominio meteórico, donde las aguas cargadas de CO₂ u otros ácidos orgánicos, percolan o fluyen hacia la mesa de agua.

La disolución extensiva del aragonito y la calcita alta en Mg tienen lugar dentro de este ambiente, donde aún la calcita puede ser alterada, si las condiciones de acidez del agua lo permiten (BOGGS, 1995).

Este proceso también puede ocurrir en otros minerales por efecto de presión – disolución. Aunque puede incluir la formación de porosidad secundaria, normalmente la disminuye al igual que a la permeabilidad (ZAPATA, 1983).

En la isla Gran Roque, los efectos de la disolución se aprecian especialmente en las crestas rocosas, ubicadas al noreste, en donde se observa el desarrollo de “cavidades” de formas circulares a irregulares, con dimensiones que oscilan desde unos 3 centímetros hasta 10 metros, convirtiéndose en las denominadas charcas mareales o “supratidal pools”.

Inicialmente estos cuerpos se pudieron formar a partir de horadaciones hechas por equinodermos como el erizo de mar (*Diadema antillarum*) y moluscos tales como chitones (*Acantopleura granulata*) y gasterópodos (*Nerita sp.*) los cuales al alimentarse de las algas adheridas a la roca, la van desgastando progresivamente (PICCOLI & STOCKHAUSSEN, 1991). Estas cavidades, al quedar expuestas sobre el nivel de mareas, son aprovechadas por aguas meteóricas ligeramente ácidas favoreciendo la disolución, lo que conlleva a su agrandamiento y al desgaste de la roca de playa.

Los procesos de disolución también se observan en los sedimentos no consolidados. Así se tiene que en los fragmentos de corales depositados en las terrazas de tormenta, es notorio el efecto del agua meteórica alterando su coloración blanquecina original por tonalidades grisáceas oscuras. Además las porosidades intrapartícula y horadaciones, originadas previa a la depositación de los sedimentos, se ven aumentadas por la acción corrosiva del agua de lluvia que percola dentro de los clastos (ver Figura 4.46).

En la zonas internas de la isla, como las planicies de marea, los sedimentos quedan expuestos al agua ácida meteórica, disolviendo el aragonito presente en los sedimentos, provocando su transformación neomórfica en calcita baja en Mg (MÉNDEZ, 1984) (ver Figura 4.45).



Figura 4.46. Restos de coral afectados por procesos de disolución en los depósitos de tormenta. Obsérvese la porosidad y coloración en los clastos.

Por otra parte, la disolución en los sedimentos internos puede verse favorecida por la vegetación superficial, cuyos productos orgánicos pudieran incrementar el nivel de acidez a niveles superficiales. Esto es particularmente observable en las acumulaciones de arenas de **F3**, hacia el este del Gran Roque, las cuales se encuentran tapizadas por gramíneas.

En las calicatas excavadas, se apreció la progresiva alteración de los sedimentos hacia los niveles superiores, los cuales mostraban poca cohesión y más desgaste, además de coloraciones blanquecinas a grisáceas. Los sedimentos más expuestos estaban frecuentemente mezclados con materia orgánica, proveniente de la vegetación que las cubre parcialmente (ver Figura 4.9).

4.5.2.5.- Compactación:

La compactación ocurre cuando los granos no se encuentran totalmente cementados y son sometidos a grandes presiones por soterramiento, produciendo fracturas intragranulares y disminución de la porosidad. Este último efecto se debe al aumento en el empaquetamiento de los clastos (TUCKER & WRIGHT, 1990).

Tabla 4.4. Principales tipos de compactación. Modificado de TUCKER & WRIGHT (1990).

TIPO:	EFECTOS:
Mecánica	Disminuye la porosidad debido al empaquetamiento; los granos comienzan a disolverse en los puntos de contacto produciendo “contactos” cóncavo-convexos y suturados.
Química	Genera estilolitas y suturas por disolución en calizas previamente depositadas. La suturas puede estar asociadas con estructuras tipo “flaser”.

Este efecto diagenético no se presenta de manera apreciable en los sedimentos superficiales estudiados, obviamente por la escasa carga litoestática a la que están sometidos. Posiblemente a niveles más profundos pueda darse este fenómeno, especialmente hacia la plataforma arrecifal sur de la isla Gran Roque, donde la acumulación de sedimentos y su relativa protección contra las corrientes NE pudieran favorecer la compactación mecánica en los depósitos infrayacentes.

4.5.3.-Procesos biológicos:

Los procesos biológicos (u orgánicos) son más frecuentes en las etapas tempranas de diagénesis, al perder movilidad los sedimentos y actuar las distintas condiciones de oxigenación en el medio (ZAPATA, 1983). Dichos procesos pueden ser:

- Agregación.
- Micritización microbiana.
- Bioturbación.

4.5.3.1.- Agregación:

ZAPATA (1983) define agregación como mecanismo de formación de pellets, bajo condiciones de poca compactación y depositación lenta. Sin embargo este proceso puede incorporar a otras partículas, como peloides, ooides o bioclastos, usualmente de 0,5 a 3 mm, con formas irregulares y frecuentemente micritizadas. (ILLING, 1954)

Estas partículas están rodeadas por microorganismos filamentosos (algas y cianobacterias) o por foraminíferos incrustantes, los cuales los cementan creando una estructura sólida, de composición micrítica, la cual puede recrystalizar posteriormente.

Dentro de los agregados existen microorganismos, denominados “casmolíticos” que viven en los intersticios intergranulares, quienes son capaces de horadar y micritizar los granos. Cuando el proceso afecta el interior del grano se llaman “endolíticos”. (TUCKER & WRIGHT, 1990)

Los agregados en ambientes modernos son reconocidos por su aspecto botroidal y carencia de estructura interna, sin embargo pueden confundirse con intraclastos. En ambientes antiguos son raramente reportados, debido a la deformación por compactación durante la diagénesis (BOGGS, 1995) (ver Tabla 4.5).

Tabla 4.5. Clasificación de agregados. Modificado de TUCKER & WRIGHT (1990)

TIPO:	DESCRIPCIÓN:
“Grapestones”	Son agregados de granos esféricos (comunmente ooides micritizados) en formas parecidas a “racimos de uvas”
“Lumps”	Son agregados de siluetas suavizadas, frecuentemente con hoyuelos en su interior. Si presentan delgados recubrimientos oolíticos se les denomina “Lumps Botroidales”

No se reportan agregados en las muestras de roca de playa estudiadas, aunque existe cierta proporción de pellets en los sedimentos no consolidados que muestran micritización.

Estos pellets son particularmente abundantes entre los sedimentos de la laguna Norte, asociados a montículos o madrigueras de gusanos y crustáceos. Ahora bien, si las condiciones de micritización y cementación resultaran favorables, entonces este tipo de sedimentos pudieran convertirse en agregados.

4.5.3.2.- Micritización microbiana:

La micritización es el proceso donde los bioclastos son alterados, ya sea en el fondo marino o por debajo de algas endolíticas, hongos y bacterias, desarrollando envoltorios micríticos alrededor de los granos e incluso atacándolos completamente.

Después de estos procesos, la naturaleza de los granos es difícil de determinar. Por lo general, la forma irregular de estos sedimentos los hacen distinguibles entre los pellets fecales de formas más redondeadas u ovoidales (TUCKER & WRIGHT, 1990).

La micritización es uno de los procesos más encontrados dentro de las rocas de playa estudiadas y posiblemente actúe de modo similar en muchos de los sedimentos no consolidados.

Frecuentemente se observan envoltorios micríticos alrededor de las Halimedas, algas rojas, foraminíferos, equinodermos, bioclastos y ocasionalmente corales. Las algas calcáreas y foraminíferos llegan a micritizarse completamente, mostrando coloraciones pardo rojizas a pardo oscuras (ver Figura 4.44).

En el caso de los corales, este proceso es más común dentro de la porosidad intrapartícula, en donde se aprecia el envoltorio micrítico bordeando las paredes de las cavidades. Los equinodermos, aunque se muestran bien preservados, ocasionalmente exhiben indicios de micritización dentro de su estructura interna. Estas alteraciones se muestran en los cortes basales de las espículas, como intercalaciones radiales de calcita y micrita.

4.5.3.3.- Bioturbación:

Se le considera bioturbación a la mezcla y modificación de sedimentos por parte de organismos excavadores o que se alimentan de partículas calcáreas, tales como crustáceos, moluscos y equinodermos, dentro de ambientes de baja energía

situadas dentro de las zonas sub y supramareales (perimareales) tales como lagunas submareales, llanuras y canales de marea (ver Figura 4.47 a). Este proceso puede ser considerado, junto a las grandes tormentas y huracanes, como un proceso destructivo dentro de los ambientes arrecifales (TUCKER & WRIGHT, 1990).

Los animales no son los únicos organismos capaces de producir bioturbaciones; también las raíces de plantas como fanerógamas o manglares, en las zonas sub e intermareal, y plantas halófitas dentro del dominio supramareal. (TUCKER & WRIGHT, *op. cit.*) (ver Figura 4.47 b).

Las bioturbaciones, posiblemente sea el proceso más encontrado dentro de todos los sedimentos presentes en el Gran Roque (ver Tabla 4.6 a, b).

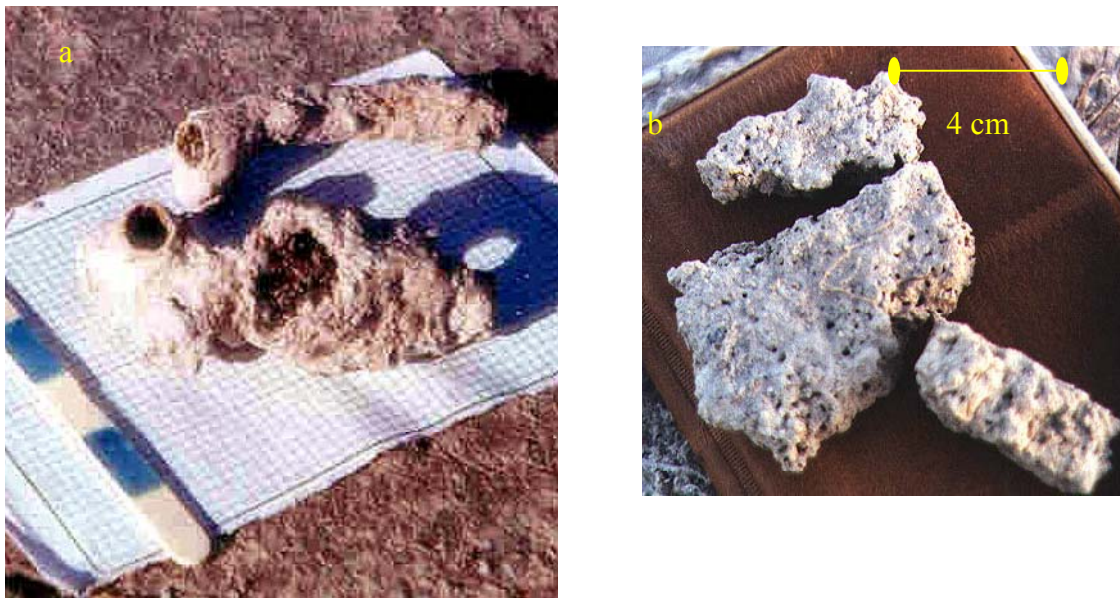


Figura 4.47. Aspecto de las bioturbaciones más comunes entre los sedimentos recientes del Gran Roque. Restos de horadaciones preservadas producidas por crustáceos, recolectadas entre sedimentos de la calicata CAL-36, pertenecientes a la facies F3. Escala gráfica: 2,5 cm (a); Marcas de raíces (rizocreaciones) en capas consolidadas de arenas calcáreas en la calicata CAL-42.

Tabla 4.6 a. Organismos asociados a procesos de bioturbación y su relación con las distintas facies v ambientes sedimentarios en la isla Gran Roque

ORGANISMO	FACIES ASOCIADA	AMBIENTE	CARACTERISTICAS
Cangrejo violinista (<i>Uca sp.</i>)	F1 F2 F6	Llanuras de marea, Backshore, Manglares.	Madrigueras (burrows) intercomunicadas de formas cilíndricas a ovoidales de 1 a 2 cm de diámetro, revestidas internamente; subverticales a irregulares, con abertura protegida por vegetación. Profundidades observadas hasta 30 cm. Susceptible a inundación durante marea alta
Cangrejo ermitaño (<i>Coenobita clypeatus</i>)	F1 F2 F3 F6	Llanuras de marea, Backshore, Loma playera Manglares	Madrigueras (burrows) individuales de formas cilíndricas a irregulares de diámetros variables entre 1 a 10 cm, poco profundas, protegidas por vegetación hacia el tope, o desarrolladas al pié de los manglares, uveros de playa e incluso alrededor de las casas del pueblo. Frecuentemente aprovechan madrigueras excavadas por otros organismos.
Cangrejo fantasma (<i>Ocypode quadratus</i> , <i>Ocypode sp.</i>)	F3	Lomas playeras, Foreshore	Madrigueras (burrows) individuales de formas cilíndricas a irregulares de diámetros variables entre 2 a 6 cm, con profundidades variables entre 10 cm hasta 1 m, aberturas ocasionalmente protegidas por vegetación o totalmente descubiertas. Pueden encontrarse cercanas a las casas e incluso debajo de embarcaciones varadas por mucho tiempo. Frecuentemente inundables por oleaje, especialmente hacia la playa baja o foreshore.
Erizo de mar, (<i>Diadema antillarum</i>) Chitones, (<i>Acantopleura sp.</i>) Gasterópodos (<i>Neritta sp.</i> , <i>Cittarium pica</i>)	FRP1 FRP2	Costa rocosa, Roca de playa del foreshore	“Hoyuelos” o concavidades generadas por la acción erosiva de organismos que raspan la roca de playa para alimentarse de las algas que sobre ésta crecen. Estas bioturbaciones presentan tamaños variables entre 1,5 a 30 cm ó más; se desarrollan sobre las crestas rocosas semisumergidas y pueden ser agrandadas debido a procesos de disolución.

Tabla 4.6 b. (Continuación tabla 4.5 a). Organismos asociados a procesos de bioturbación y su relación con las distintas facies y ambientes sedimentarios en la isla Gran Roque.

ORGANISMO	FACIES ASOCIADA	AMBIENTE	CARACTERISTICAS
Bivalvos (<i>Lithophaga</i> <i>sp.</i>) Anélidos	FRP1 FRP2 F5	Costa rocosa, Roca de playa del foreshore Gravas de coral asociadas a dep. de tormenta	Perforaciones (borings) hechas sobre la roca de playa o en los corales (especialmente en <i>Acropora palmata</i>) de formas cilíndricas y mas o menos rectilíneas, en el caso de los bivalvos, e irregulares para los anélidos, con diámetros variables entre 3 mm y 15mm. Esta porosidad puede ser aprovechada por los efectos de la disolución, cuando la roca o los restos de corales quedan expuestos.
Anélidos, Crustáceos (<i>Callianassa</i> <i>sp.</i>)	F3	Lagunas internas, Plano arrecifal sur	Montículos en forma cónica, de 5 a 25 cm de altura que se desarrollan alrededor de la entrada de la madriguera. Las <i>Callianasa</i> desarrollan madrigueras (burrows) o refugios imbricados en formas arborescentes (TUCKER & WRIGHT, 1990)
Mangle (<i>Rizophora</i> <i>mangle</i> , <i>Avicennia</i> <i>nítida</i> , <i>Laguncularia</i> <i>racemosa</i>)	F3 F4 F6	Lomas playeras, Manglares.	Marcas de raíces en el sedimento arenolimoso. En el mangle negro además se observan neumatóforos entre los sedimentos. Se observan profundidades hasta de 1 m. Las raíces de estas plantas ayudan a estabilizar los sedimentos (DAVIS, 2003).
Hierba de vidrio (<i>Sessuvium</i> <i>purtulacastru</i> <i>m</i>) cadillo, saladillo.	F1 F2 F3	Llanura de marea, backshore, diques interlagunares.	Marcas de raíces (rizocreaciones) en capas de sedimentos poco a moderadamente consolidados, hasta 20 cm de profundidad. En capas consolidadas las marcas son perpendiculares a la estratificación con diámetro promedio de 2 a 3mm.

CAPÍTULO V

5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS:

5.1. -AMBIENTES DIAGENÉTICOS:

Si bien los ambientes sedimentarios marino someros recientes presentes en el Gran Roque, se encuentran dentro de una etapa de diagénesis temprana, éstos se desarrollan dentro ambientes o zonas diagenéticas principales, definidas por FLÜGEL (1982) como:

- Zona marina freática.
- Zona vadosa de agua dulce.
- Zona freática de agua dulce.
- Zona de ambiente de mezcla.

5.1.1.- Zona marina freática:

Definida para mares de aguas cálidas y someras ($100\text{ m} <$), con sedimentos o rocas donde los espacios porosos están inundados por agua marina normal. Se divide en dos zonas: marina freática activa y marina freática estancada. (FLÜGEL, *op. cit.*) (ver Tabla 5.1)

Los sedimentos costeros de la isla Gran Roque se encuentran dentro de la zona marina freática activa, debido a la elevada influencia del oleaje, con una porosidad inundada constantemente inundada por agua marina alta y abundante precipitación de aragonito acicular entre los sedimentos. Los ambientes de sedimentación involucrados dentro de esta zona diagenética son: las arenas del foreshore, la parte basal de los depósitos de tormenta, las rocas de playa sumergidas.

La zona marino freática estancada, podría restringirse a la parte basal de las arenas situadas en los diques interlagunares, loma playera y el backshore oriental, dado que se encuentran bajo el nivel de freático proveniente de la comunicación con el agua de mar a través de alta porosidad entre los sedimentos. Así mismo, la zona de canales interlagunares y la laguna Norte, se adecuan a este ambiente diagenético

Tabla 5.1. Características de las zonas freáticas, definidas por (FLÜGEL, 1982).

ZONA:	PROCESOS:	PRODUCTOS:
Marina freática activa	El agua pasa a través de los sedimentos forzada por oleaje, corrientes o mareas. Porosidad inundada por agua.	Agujas de aragonito (aleatorias) Aragonito fibroso isópaco. Micrita de calcita alta en Mg. Pseudo pellets de micrita. Bordes poligonales entre cementos isópacos. Horadaciones en el cemento. Intercalación entre cemento y sedimentos. La mayoría de la cementación ocurre en la zona de “surf”. No ocurre lixiviación en ambientes someros.
Marina freática estancada	Poca o ninguna circulación de agua entre los sedimentos. Control bacteriano en la cementación. Agua saturada en CaCO ₃ .	Poca cementación excepto en microporos esqueléticos. No ocurre lixiviación No ocurre alteración en los granos. Micritización.

5.1.2.- Zona vadosa de agua dulce:

Este ambiente diagenético, está en la zona subaérea delimitada entre la superficie del terreno y la mesa de agua, por lo que el agua y el aire pueden presentarse entre los poros.

Debido a que no es una zona saturada en agua, ésta se mantiene entre los granos gracias a fuerzas capilares, o por debajo a modo de gotas pendulares. El agua, generalmente es de origen meteórico, junto a la acción de bacterias pueden causar disolución. (FLÜGEL, *op. cit.*)

LONGMAN (1980) divide a este ambiente en dos zonas: de disolución y de precipitación (ver Tabla 5.2).

La zona de disolución, dentro de un ambiente diagenético vadoso de agua dulce, es posible encontrarlo en las crestas expuestas de roca de playa, los depósitos de tormenta, la zona de “backshore” y llanuras de marea.

Tanto en la roca de playa expuesta como en los cantos de corales depositados en las terrazas de tormenta, se aprecia el papel del agua meteórica en la disolución del

carbonato de calcio, el cual aprovecha las porosidades interpartícula, intrapartícula, así como bioturbaciones, para infiltrarse, provocar neomorfismo de inversión homoaxial, disolver el aragonito y reprecipitarlo por evaporación en forma de cemento menisco y pendular. Este tipo de cemento, también es posible desarrollarse al percolar agua salina rica en CaCO_3 a través de la porosidad. Una vez que el agua queda retenida por acción capilar, entonces sobreviene la precipitación de aragonito al evaporarse el fluido.

Tabla 5.2. División de la zona vadosa de agua dulce según LONGMAN (1980).

ZONA:	PROCESOS:	PRODUCTOS:
Zona de disolución	Disolución por agua meteórica subsaturada. Producción de CO_2 en el suelo, ayudando a la disolución.	Disolución extensiva. Remoción selectiva de aragonito (si lo hay). Formación de cavidades dentro de la caliza.
Zona de precipitación.	Distribución de agua en forma de menisco o pendular. Pérdida de CO_2 por evaporación.	Cementación menor. Cementación menisco. Cementación pendular. Calcita equigranular Preservación de la porosidad.

En los depósitos de backshore y llanura de marea, los sedimentos expuestos son atacados por el agua meteórica disolviendo el aragonito, ocasionando la transformación neomórfica del aragonito en calcita baja en Mg (MÉNDEZ, 1984). A su vez, dichos depósitos se encuentran dentro de la zona de precipitación, dado que al evaporarse el agua, la relación Mg/Ca aumenta, precipitando calcita magnésiana, yeso y dolomita. (MÉNDEZ, *op. cit.*).

5.1.3.- Zona freática de agua dulce:

Esta zona yace entre las zonas vadosa y de mezcla marino freático – agua dulce. La parte superior está marcada por la mesa de agua, mientras que el límite inferior es gradacional con las aguas marinas en las áreas próximas al mar. En zonas continentales, el contacto inferior grada hacia fluidos subterráneos que pueden

contener sales provenientes de la compactación, deshidratación de arcillas y otros procesos. (FLÜGEL, 1982)

La geometría de esta zona, está controlada por la topografía, el régimen de lluvias y la distribución de la porosidad y permeabilidad en las rocas. Además, la saturación de CaCO₃ puede incrementarse a medida de que el agua se profundiza, por lo que pueden estudiarse tres zonas: subsaturadas, saturadas activas y freática estancada de agua dulce (ver Tabla 5.3).

Tabla 5.3. Características de las zonas freáticas. definidas por (FLÜGEL. 1982).

ZONA:	PROCESOS:	PRODUCTOS:
Subsaturada.	Disolución por agua meteórica subsaturada.	Desarrollo de porosidad móldica y/o cavidades. Posible neomorfismo en granos inestables.
Saturada activa	Circulación activa de agua. Poca lixiviación de aragonito, acompañada de reemplazo calcítico. Cementación rápida.	Abundante cemento de calcita equigranular. Cemento calcítico isópaco “diente de perro”. Entrecruzamiento de cristales. Reemplazo completo de aragonito por calcita equigranular. Sobrecrecimiento sintaxial en restos de equinodermos. Relativamente baja porosidad.
Freática estancada de agua dulce	Poco o ningún movimiento de agua. Agua subsaturada de CaCO ₃ .	Poca cementación. Estabilización de calcita alta en Mg y aragonito. Poco o ninguna lixiviación. Preservación de la porosidad. Neomorfismo en granos de aragonito con alguna preservación de texturas.

No se reportan efectos de esta zona dentro de los sedimentos someros estudiados. Esto es atribuible a que la influencia del agua meteórica a niveles profundos sea mínima, debido a la escasa tasa anual de precipitaciones, inadecuada para desarrollar un nivel freático de agua dulce de importancia en el Gran Roque.

De igual manera, el nivel freático salobre reportado durante las excavaciones de las calicatas, indican profundidades entre 15 y 120 cm, lo que muestra la notable influencia del agua marina entre los sedimentos del subsuelo presentes en la isla

5.1.4.- Zona de ambiente de mezcla:

Los límites entre los ambientes freático de agua dulce y marino freático, están marcados por agua salina (FLÜGEL, 1982). La mezcla entre ambos fluidos, da como resultado una solución ligeramente subsaturada de calcita y sobresaturada con dolomita. Además, la dolomitización puede ocurrir en ambientes de mezcla con buena circulación de agua (BADIOZAMANI, 1973 en FLÜGEL, *op. cit.*).

Esta zona, posiblemente esté asociada a la laguna Sur al presentarse altas salinidades en el fondo (200 partes por mil), precipitando yeso e incrementando la relación Mg/Ca. El fluido hipersalino rico en Mg proveniente de la laguna, se mezcla con el agua fresca marina por medio del canal de marea y la porosidad de los sedimentos que la encierran, produciendo dolomitización por refluo (MÉNDEZ, 1984).

De este modo se reportan mineralizaciones de dolomita y yeso en el fondo de la laguna, al igual que aragonito hacia la parte norte, cercanas a la laguna de los Troncos y Occidental. Esta diferencia de precipitados obedece a la menor salinidad de las aguas someras en la laguna sur (40 – 60 partes por mil) y a la mayor influencia marina proveniente de la laguna Norte (MÉNDEZ, *op. cit.*).

5.2.- PROCEDENCIA DE LOS CLASTOS:

Con la finalidad de establecer una correspondencia entre los ambientes sedimentarios y las fuentes de aporte de los sedimentos, se plantean la posible procedencia para cada uno de los constituyentes principales. En tal sentido se consideran tres factores esenciales: proximidad a unidades litoestratigráficas conocidas, ecosistemas característicos y posición relativa frente al oleaje (ver Figura 5.1).

5.2.1.- Corales:

En el Gran Roque se desarrolla un sistema de arrecifes frangeante (MÉNDEZ, 1984) que rodea la isla desde la parte nororiental hasta la costa sur del Cerro Occidental. Dentro de este arrecife existe una clara zonación de especies de corales y otros organismos.

Entre los corales mas frecuentes, pertenecientes al arrecife frangeante del Gran Roque, pueden mencionarse *Acropora palmata*, *A. cervicornis*, *Porites sp.*, *Diploria sp.*, *Colpophylia natans*, *Montastrea sp.*, *Siderastrea sp.* además de falsos corales como *Millepora esquarrosa*, *M. alcicornis* .

MÉNDEZ (*op. cit.*) reconoce dentro del archipiélago, cuatro grandes comunidades de corales:

- Comunidad de *Acropora palmata*.
- Comunidad de *Acropora cervicornis*.
- Comunidad de *Porites sp.*
- Comunidad de *Montastrea sp.*

5.2.1.1- Comunidad de *Acropora palmata*:

Esta comunidad es la de mayor importancia dentro del archipiélago, desarrollándose en las partes someras (0 – 6 m) de los arrecife de barrera, así como en los arrecifes frangeantes, donde crece especialmente hacia los lados de barlovento de los cayos dentro de la zona de oleaje fuerte, sirviendo de rompeolas natural que protege al plano arrecifal situado entre la cresta y la línea de costa. Hacia la base de estos corales, pueden prosperar colonias de *A. cervicornis*, *Porites sp.*, *Halimeda sp.* y *Millepora sp.* (MÉNDEZ, *op. cit.*).

Este tipo de coral, es el más frecuente entre las especies encontradas en los depósitos de tormenta, situados tanto en la Boca del Mal Viento como en la terraza de tormenta nororiental. Ambos sectores se encuentran a barlovento del cayo, detrás de la cresta del arrecife frangeante, donde es frecuente observar la parte superior de *Acropora palmata*, parcialmente expuesta entre el tren de olas generalmente proveniente del NE.

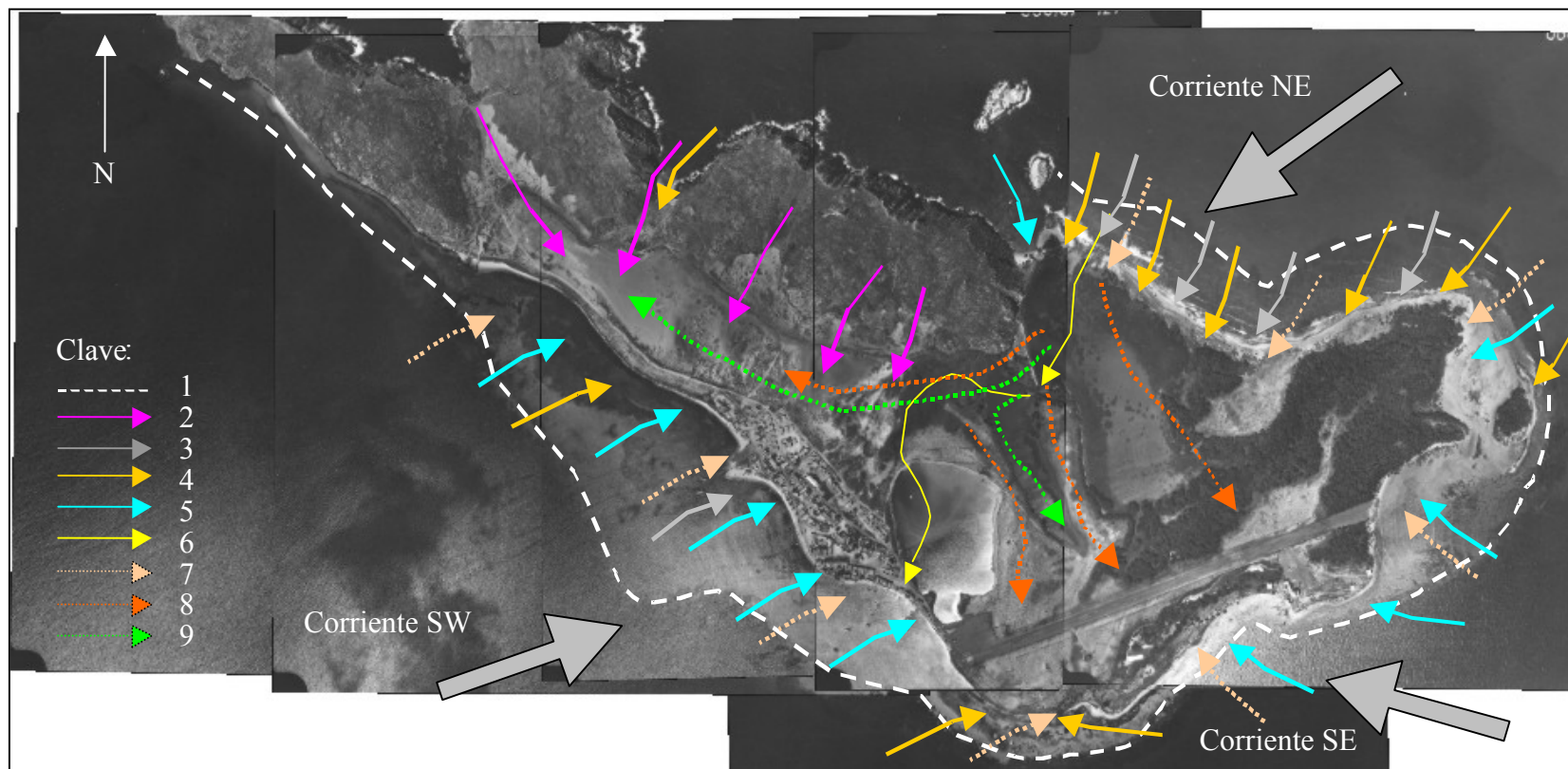


Figura 5.1. Fotomosaico (misión 060107) con la interpretación de procedencia de los sedimentos. Escala gráfica: pista de aterrizaje (900 m aproximadamente). Clave: límite del plano arrecifal (1); fragmentos de rocas meta-ígneas (2); fragmentos de rocas sedimentarias (3); corales (4); algas calcáreas y bioclastos (5); recorrido de las aguas en las lagunas internas (6); *Amphistegina sp.* y *Archaias sp.* (7); *Quinqueloculina sp.* y *Peneroplis sp.* (8); Ostrácodos y *Ammonia sp.* (9).

De igual forma los restos de otros corales más delicados, como *A. cervicornis*, *Porites sp.*, o *Diploria sp.* depositados en las terrazas de tormenta, podrían corresponder a fragmentos removilizados por el oleaje al desprenderse fragmentos de *A. palmata*, que previamente sirvieron de rompeolas. Los fragmentos de estos corales constituyen a la bifacies BF1

5.2.1.2- Comunidad de *Acropora cervicornis*:

La comunidad de *Acropora cervicornis* se desarrolla dentro de profundidades situadas entre 0,5 y 10 m, tanto en ambientes internos protegidos por los arrecifes de barrera, como en la zona de barlovento de los arrecifes frangeantes (en la base de los *Acropora palmata*). Hacia la parte de sotavento de estos arrecifes, forma colonias más abundantes, al igual que en los manchones o parches arrecifales dentro del archipiélago. Protegidas por estos corales, crecen de manera abundante algas calcáreas como las Halimedas (MÉNDEZ, 1984).

Además de las depósitos de tormenta, los restos de *Acropora cervicornis* son frecuentes entre los sedimentos playeros de sotavento del Gran Roque. De hecho existen acumulaciones importantes de estos corales junto a *Porites sp*, *Montastrea sp* y restos de gasterópodos hacia el extremo sur de la isla, conformando la biofacies BF1.

Sin embargo, el arrecife frangeante situado a sotavento, está mucho mas deteriorado que su contraparte de barlovento. Al parecer tal deterioro es atribuible, al uso de artes de pesca inadecuados para este tipo de ambiente, como lo son el sistema de trenes de redes, las cuales frecuentemente se atascaban entre estos corales particularmente delicados.

Los fragmentos desprendidos pudieron ser desplazados hacia la costa suroeste del Gran Roque, gracias a eventos de “mar de leva” o “rebozos” provocados por cambios repentinos de la corriente, en dirección SW.

En cuanto a la acumulación en el extremo sur, estos restos pudieran provenir de algunos arrecifes situados al este de la isla, que luego fueron arrastrados por las corrientes dominantes en sentido NE.

5.2.1.3- Comunidad de *Porites sp.*

Estos corales se encuentran asociados a *Acropora cervicornis* y *Acropora palmata*, resultando particularmente importantes en el interior del archipiélago, en aguas de profundidades variables entre 0,5 y 20 m. Los *Porites sp.* contribuyen con la formación de sedimentos. De esta forma, en el plano situado entre la línea de costa y el arrecife frangeante de barlovento, constituyen una buena fuente de aporte de sedimentos junto a las *Halimeda sp.* En cambio, hacia las zonas internas y lagunas abiertas, estos corales están asociados además con las praderas de *Thalassia testudinum* (MÉNDEZ, 1984)

Si bien los restos de *Porites sp.* se reportan, tanto en las terrazas de tormenta como en los sedimentos de sotavento, parecen ser más frecuentes hacia el sur de la isla donde pudieron ser transportados por los mismos mecanismos que *Acropora cervicornis*, formando parte de BF1.

5.2.1.4- Comunidad de *Montastrea sp.*

Las *Montastrea sp.* son comunes en muchos de los ambientes del archipiélago, aunque se desarrollan en un rango de 5 a 70 m de profundidad, adquiriendo formas variables según su emplazamiento: domales o globulares a niveles someros y plataformas a mayores profundidades. Estos corales junto a las *Diploria sp.* forman la mayor parte de la masa coralina de la zona intermedia en los arrecifes de barrera y frangeantes. (MÉNDEZ, *op. cit.*).

Los restos de *Montastrea sp.* son relativamente escasos y presentan cierta abundancia hacia los depósitos de tormenta nororientales asociados a BF1, por lo que los mecanismos de depositación de estos fragmentos debe ser similar a los de *Diploria sp.* Aunque debe tratarse en todo caso, de ejemplares lo suficientemente someros para que pudieran estar bajo la influencia del oleaje y ser removidos.

5.2.2.- Halimeda:

Este tipo de algas calcáreas, perteneciente a la familia de las codiáceas (HAQ & BOERSMA, 1978) se encuentran prácticamente en casi todos los ambientes

arrecifales dentro de profundidades variables entre los 0 y 80 m. Dentro del archipiélago Los Roques, abundan sobre todo en la laguna de los Corales, representando un 80 a 90% del sedimento existente, hacia el frente arrecifal sur y en la parte interna de los arrecifes de barrera. (MÉNDEZ, 1984).

En los arrecifes frangeantes que bordean a los cayos, las halimedas (*Halimeda opuntia*) junto a los corales y moluscos, son las principales fuentes de sedimentos (MÉNDEZ, *op. cit.*).

De este modo, las halimedas se distribuyen preferiblemente en áreas protegidas del fuerte oleaje, tales como los planos arrecifales. Por esta razón sus restos son abundantes, distribuyéndose a lo largo de la costa de sotavento del Gran Roque, así como en la parte interna oriental asociada a los diques interlagunares y el backshore. Además forma parte de las diferentes biofacies reportadas, especialmente BF1, BF3 y BF5.

La sedimentación de restos de halimedas en los sectores de barlovento, están mucho más restringidas a zonas especialmente protegidas, como el extremo occidental de la terraza de tormenta nororiental y detrás de la cresta de los depósitos de tormenta.

El mecanismo de transporte de estos sedimentos hacia la costa lo conforma el oleaje, movilizándolo los sedimentos del fondo desde los planos arrecifales hasta la playa. Eventualmente en épocas de “mar de leva”, este mecanismo es particularmente eficaz transportando grandes cantidades de restos de halimedas hacia la costa en dirección SW, por lo que la línea de playa tiende a desplazarse hacia el sur después de estos fenómenos climáticos.

Esta modificación en la línea de costa de sotavento, resulta temporal debido al reacomodo de los sedimentos playeros, al reestablecerse el régimen de corrientes NE y gracias a la acción de vaivén del oleaje en el sector sur este de la isla.

5.2.3.- Foraminíferos:

Los foraminíferos reportados dentro de los sedimentos presentes en la isla Gran Roque, pertenecen a los ambientes de plataforma carbonática, arrecifes y zonas

detrás de arrecifes (BOERSMA, 1978) (ver Figura 5.2). Entre las especies reportadas, dentro de este estudio, se encuentran: *Triloculina sp.*, *Quinqueloculina sp.*, *Quinqueloculina auberiana*, *Ammonia sp.*, *Archaias angulatus*, *Amphistegina lessoni*, *Praesorites orbitolitoides*, *Peneroplis pertusus*, *Milliolinela subrotunda*, *Neopateoris cumanensis* y *Homotrema rubrum*.

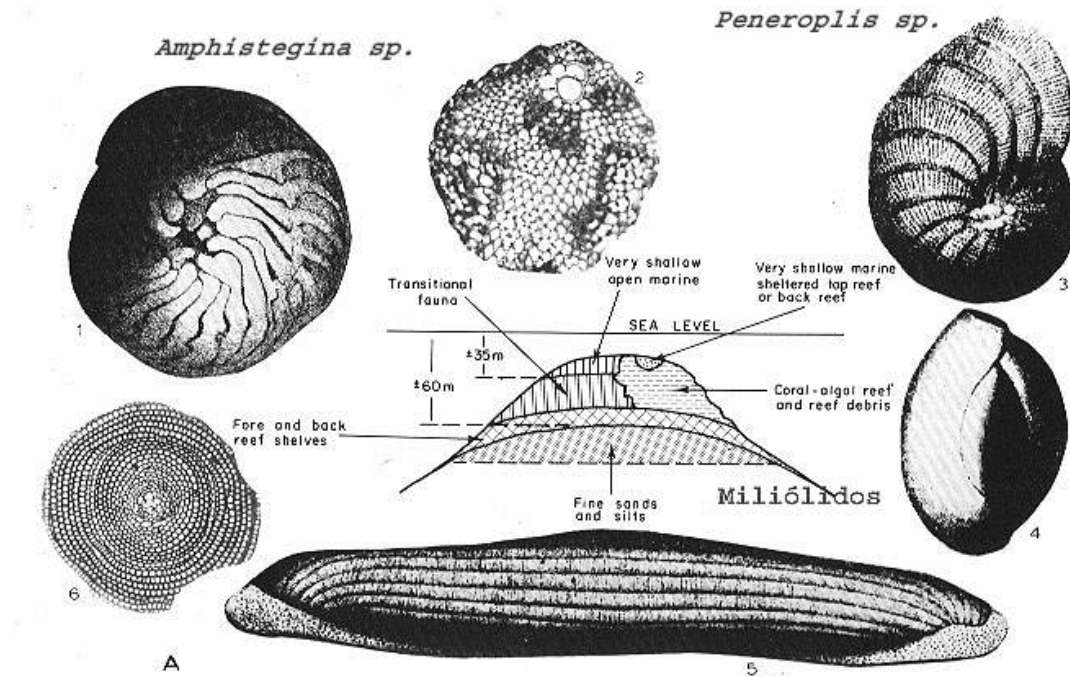


Figura 5.2. Distribución de algunos foraminíferos típicos de plataformas carbonáticas, destacando: *Amphistegina sp.*, *Peneroplis sp.* y miliólidos. Modificado de BOERSMA (1978).

Así mismo BOERSMA (*op. cit.*) establece una zonación dentro de las plataformas carbonáticas, en donde destacan las *Amphistegina sp.* perteneciente a una fauna béntica transicional (35 – 60 m de profundidad), Miliólidos como parte de los restos de arrecifes coralales y *Peneroplis sp.* dentro de ambientes muy someros y protegidos en el tope o detrás del arrecife.

De la misma forma, LIDZ (1989) en LYNN, *et al* (1995) postula la asociación *Milliolinela* - *Archaias* - *Peneroplis* como indicadores de condiciones marinas

normales, cálidas, subtropical a tropical en depósitos de plataforma carbonáticas. Otros foraminíferos como *Ammonia sp.* puede tolerar cambios en las condiciones de salinidad y temperatura, típicas de ambientes estuarinos (POAG, 1981; en LYNN, *et al.*, 1995) (BRADSHAW, 1950; en BOERSMA, 1978).

Aplicando estos criterios, se puede explicar la distribución de las diferentes asociaciones de foraminíferos en el Gran Roque, sobre todo en los géneros *Amphistegina*, *Peneroplis*, *Archaias* y *Ammonia* (ver Figura 5.1).

5.2.3.1- Asociación de *Amphistegina*- *Archaias*:

La asociación entre estos dos foraminíferos, es frecuente entre las arenas de la costa sur y este del Gran Roque, siendo los géneros más representativos de BF1. De igual manera se reportan de manera aislada *Amphistegina lessoni* en los sedimentos arenosos presentes en la terraza de tormenta nororiental.

Al estudiar los restos de ambos géneros, se observa un grado de preservación moderado e incluso alto si se toma en cuenta el retrabajo producido por la acción constante del oleaje en estas zonas. En tal sentido, la proveniencia tanto de la *Amphistegina sp.* como de *Archaias sp.*, podría atribuirse al plano arrecifal, en vez de zonas más profundas.

Si bien BOERSMA (*op. cit.*) ubica a las Amphisteginas como parte de la fauna transicional entre 30 y 60 m, DOREMUS (1999) reporta la relación entre este género y *Archaias*, con un ambiente de pradera de thallasias, típico de las zonas tranquilas de los planos arrecifales, como los observados hacia sotavento del Gran Roque.

Por tal razón, es más probable que estos foraminíferos hayan prosperado dentro de las zonas protegidas, detrás de los arrecifes frangeantes y posteriormente removilizados por acción de las corrientes NE, así como por efectos de eventos tipo “rebozos” o “mar de leva” en sentido SW.

5.2.3.2- Asociación de *Peneroplis* - *Archaias*:

Esta asociación típica en BF3, se encuentra restringida hacia el interior de la isla y frecuentemente aparecen en combinación con otros miliólidos como *Triloculina*

sp. y/o *Quinqueloculina sp.*, mostrando diferentes grados de preservación, aunque los que presentan poco o ningún retrabajo se sitúan en la zona cercana a las lagunas.

Este aspecto es particularmente significativo, debido a la presencia de *Peneroplis pertusus* muy bien preservados, lo que sugiere un ambiente de formación bastante cercano, como la laguna Norte, coincidiendo con las condiciones de aguas muy someras y protegidas detrás de arrecife, planteadas por BOERSMA (1978).

La removilización de estos miliólidos en el interior del Gran Roque, posiblemente se deba a eventos de marea alta, que llegasen a desbordar las lagunas e inundar los terrenos bajos circundantes, en especial a la llanura de marea occidental.

5.2.3.3- Asociación de *Ammonia*- Miliólidos:

La presencia de *Ammonia beccarii* está circunscrita a la zona de llanura de marea occidental y el canal interlagunar entre la laguna norte y la laguna los troncos. Normalmente está asociada con restos mal preservados de *Triloculina sp.*, *Quinqueloculina sp.* así como ostrácodos, presentes en BF1.

Los restos de *Ammonia beccarii*, son relativamente escasos, están moderada a bien preservados y posiblemente sean los foraminíferos de menor talla reportados (0,2 a 0,3 mm). Esta particularidad, junto a su ubicación en zonas de alta influencia mareal, coincide con las características de tolerancia a los cambios de salinidad por parte de este foraminífero. Además muestra la alta influencia del agua dulce meteórica en estos ambientes, debido a la relación proporcional entre el aumento de tamaño respecto al incremento de salinidad en el medio (BRADSHAW, 1950; en Boersma, *op. cit.*).

Por tal razón, el factor predominante en el transporte de estos foraminíferos, pueda ser atribuido a inundaciones temporales de las llanuras de marea, durante períodos de marea alta o incluso por parte del agua meteórica proveniente de los esporádicos aguaceros que caen sobre la isla.

5.2.4.- Ostrácodos:

Los ostrácodos son crustáceos, cuyos cuerpos están cubiertos por una concha bivalvada y por lo general miden entre 0,15 y 2 mm, aunque algunas formas nadadoras recientes alcanzan los 25 mm. Estos organismos, pueden vivir dentro de aguas salobres, salinas e hipersalinas, incluso en ambientes terrestres. (POKORNÝ, 1978), (CRONIN *et al*, 2002).

Dentro de la isla Gran Roque, se reportan restos de ostrácodos, moderada a muy bien preservados, hacia la zona de llanuras de mareas occidentales y los sedimentos someros de las lagunas Norte, Occidental y de los Troncos. Entre los posibles géneros identificados destacan *Cyprideis*, *Loxoconcha*, y *Eucythere*.

Asociados a estos organismos, se encuentran *Ammonia becarrii* bien preservados junto a algunos miliólidos moderada a mal preservados, relacionados a BF1.

El buen grado de preservación en las conchas de ostrácodos, la capacidad de estos organismos en resistir importantes cambios de salinidad en el medio y la asociación con *Ammonia becarrii*, sugiere que estos crustáceos se desarrollen dentro de las zonas internas del Gran Roque y que el transporte de sus restos se haga efectiva a través de desbordes de las lagunas internas, durante períodos de marea alta o por la acción del agua meteórica proveniente de precipitaciones ocasionales, los cuales inundan las llanuras de marea occidentales e incluso las comunican provisionalmente con la laguna Occidental.

5.2.5.- Bioclastos:

Los bioclastos se definen, dentro de esta investigación, como fragmentos de material calcáreo, posiblemente orgánico, cuyo origen es difícil determinar debido al alto retrabajo de las partículas o pérdida de características originarias. Aparentemente muchas de estas partículas, corresponden a restos de corales, algas calcáreas y moluscos, sumamente fragmentados.

Hacia las zonas costeras de sotavento y oriental, lagunas internas y en algunas áreas de la terraza de tormenta nororiental, la proporción de bioclastos es

particularmente alta, sugiriendo como mecanismo de transporte principal al oleaje, tanto en dirección NE, como el proveniente de SW.

Obviamente, la fuente de aporte de este tipo de material es diverso, encontrándose relacionado con la presencia de *Halimeda sp.* y corales en diversas partes del plano arrecifal que circunda al Gran Roque. Sin embargo, aunque estos clastos muestren granulometrías entre arenas finas a medias y presenten alto retrabajo, no se deben interpretar estas características texturales, como originadas por el transporte desde fuentes lejanas a la isla, sino inducidas por la acción erosiva del oleaje constante sobre los sedimentos costeros.

Otra fuente de transporte de partículas bioclásticas es el viento, quien es capaz de removilizar las partículas de tamaño fino, depositadas en las lomas playeras, las cuales suelen estar desprovistas de vegetación importante que retenga el sedimento.

5.2.6.- Fragmentos de Rocas Meta-Ígneas:

Debido a que el Gran Roque constituye la única isla en donde aflora el basamento meta-ígneo, la influencia de este tipo de material es apreciable dentro de los sedimentos pertenecientes a la Formación Los Roques y así como en los ambientes recientes.

Los fragmentos de rocas meta-ígneas se distribuyen a sotavento de los Cerros Occidental, Central y Oriental, además de la zona correspondiente a la Boca del Mal Viento y sector oeste de la terraza de tormenta nororiental. Hacia el este de la isla, la presencia de rocas meta-ígneas disminuye hasta hacerse inapreciable.

La zona situada a sotavento de los cerros, muestra los remanentes de las antiguas terrazas de la Formación Los Roques (SCHUBERT & MOTICKA, 1973). (MÉNDEZ, 1977, 1984). Dentro de estos cuerpos calcáreos, son notorios fragmentos de meta-dibasas y meta-gabros tamaño guijarro a gránulo, soportados por una matriz arenosa de composición bioclástica.

Posiblemente al erosionarse parcialmente las calizas de la Formación Los Roques, los restos de rocas meta-ígneas más resistentes pasaron a ser parte de los sedimentos recientes, debido a su mayor resistencia a la abrasión. Posteriormente, la

acción erosiva del oleaje en las costas de sotavento, retrabajaron estos fragmentos que luego serían redepositados dentro de los ambientes playeros y de llanuras de marea, durante episodios de “mar de leva” o rebozos.

Las acumulaciones de gravas meta-ígneas en los sectores de la Boca del Mal Viento y la terraza de tormenta nororiental, obedecen a la cercanía de estos ambientes con los Cerros Central y Oriental, además de dos pequeños cuerpos aislados al noreste, quienes al estar expuestos a las corrientes NE, se encuentran sometidos a la acción erosiva del fuerte oleaje predominante en esos sectores.

En estos macizos de roca meta-ígneas, se desarrollan importantes sistemas de diaclasas verticales con dirección N18E y N62W por las cuales puede percolar agua meteórica. Al mezclarse el agua con los excrementos de aves, se forma una solución ácida capaz de alterar a las meta-diabasas y los meta-gabros (SCHUBERT & MOTICKA, 1973) que eventualmente son disgregados y erosionados por eventuales aguaceros o tormentas.

Este material es depositado en pequeños conos de deyección al sur del Cerro Oriental o en forma de coluviones hacia el este de los cerros Occidental, Central y Oriental.

Algunos fragmentos de rocas meta-ígneas han sido removidos de estos depósitos con fines de construcción en el pueblo en forma agregado para concreto, así como material de refuerzo del malecón sur. De igual forma, se empleó este material para el pavimentado de la pista de aterrizaje y relleno de la cabecera norte. Por lo que no debe confundirse la presencia de rocas meta-ígneas en estos sectores, con depósitos naturales.

5.2.7.- Fragmentos de Rocas Sedimentarias:

Los restos de rocas sedimentarias se restringen a las proximidades a formaciones de rocas de playa, apreciables en la costa nororiental y al sur del pueblo del Gran Roque, que han sido erosionadas por procesos de disolución gracias a la acción del agua meteórica, bioerosión y a través del oleaje.

Hacia el sector de la terraza de tormenta nororiental, estos fragmentos de tamaño variable (de peñones a guijarros) se encuentran intercalados ocasionalmente entre los restos de corales, transportados por el oleaje proveniente del NE.

Por su parte, los restos de rocas de playa en la costa sur de la isla, son mucho más reducidos, mezclándose con los sedimentos bioclásticos dominantes en este ambiente e influenciados por oleaje proveniente del SW, que puede incrementarse durante períodos de tormenta.

5.3.- RELACIÓN ENERGÍA DE TRANSPORTE – AMBIENTES SEDIMENTARIOS:

En la isla Gran Roque, existe una estrecha correspondencia entre los distintos tipos de ambientes sedimentarios y las condiciones energéticas de transporte que influyeron dentro de lo procesos de depositación y posterior modificación de los sedimentos. De esta manera se definen tres zonas principales:

- Zona de alta energía.
- Zona de moderada energía.
- Zona de baja energía.

5.3.1.-Zona de alta energía:

Esta zona está representada por las facies F3, F5 y FC1, donde abundan las arenas bioclásticas y gravas de corales, caracterizadas por una granulometría de arenas media a peñones grandes (0,5 a 1280 mm), escogimiento moderado a malo ($0,66 < \sigma_1 < 1,71$) y una clara tendencia a los gruesos ($0,77 < SK_1 < -1,54$) típicos en los depósitos de tormenta de la Boca del Mal Viento y sector nororiental de la isla. De la misma manera, se reportan valores similares dentro de los sedimentos ubicados en el extremo sur del Gran Roque.

En los depósitos de tormenta, estos parámetros texturales son provocados por la exposición de los sedimentos ante el fuerte oleaje proveniente del NE. En cambio, la zona sur de la isla se encuentra sometida, tanto a la acción del oleaje SW, SE (que suele incrementarse durante eventos de “mar de leva”), como a las corrientes

remanentes originarias del NE, quienes previamente disminuyen su intensidad al hacer contacto con el extremo oriental del Gran Roque.

Si bien es notoria la intensidad del oleaje hacia la zona de barlovento del Gran Roque, no es sino durante períodos de tormenta cuando la zona de alta energía muestra su máximo potencial de arrastre. Las evidencias de estos episodios se observan en fragmentos de coral de 80 cm, depositados hasta 100 m costa adentro en la terraza de tormenta nororiental.

Por otra parte, la energía de transporte originada por el oleaje es parcialmente amortiguada por los cayos Madrizquí, Cayo Pirata y los Francisquices, situados al noreste del archipiélago, quienes posiblemente actúen como “deflectores” de las corrientes principales NE protegiendo la costa oriental de la isla Gran Roque.

5.3.2.- Zona de moderada energía:

Esta zona se encuentra dominada por las facies F3 y FC2, de arenas finas a gruesas (1/16 – 1 mm), con escogimiento de bueno a moderado ($0,39 < \sigma_1 < 0,7$) y ligera tendencia a finos, característicos en los ambientes de foreshore y loma playera presentes en las costas suroeste y sureste del Gran Roque.

Protegida de las fuertes corrientes provenientes del NE, la zona de moderada energía corresponde al área de sotavento de la isla, donde el oleaje es de menor intensidad permitiendo la depositación de sedimentos medios a finos a lo largo de la costa.

Ocasionalmente esta zona ve incrementado su nivel de energía durante períodos de “mar de leva” o “rebozos”, debido al cambio de corriente principal de NE por SW ó SE. Esto genera la depositación de sedimentos arenosos costa adentro, conformando los ambientes de backshore, detrás de las lomas playeras.

5.3.3.-Zona de baja energía:

La zona de baja energía, está representada por las facies F1, F2, F3, F4 y F6, compuestas por sedimentos limosos, materia orgánica y arenas bioclásticas finas a

gruesas (1/16 – 2 mm) bien a mal escogidas ($0,35 < \sigma_1 < 1,5$) con clara tendencia a finos.

Dichas facies conforman los ambientes de llanuras de marea, “backshore”, lagunas internas, canales y manglares, presentes en el interior del Gran Roque, los cuales se encuentran protegidos del oleaje gracias a los ambientes costeros. Esta peculiaridad permite la sedimentación en medios confinados y relativamente tranquilos, ocasionalmente afectados durante períodos de tormenta o inundaciones por agua de lluvia ó mareales.

Este tipo de depositación dentro de ambientes restringidos y escasamente agitados juega un papel importante en las condiciones de oxigenación y/o reducción en los cuerpos de agua, así como en la formación de precipitados evaporíticos.

Eventualmente, cuando las condiciones de sequía lo permiten, el factor más importante en la removilización de sedimentos lo constituye el viento, capaz de transportar sedimentos tamaño arena fina a limo en el interior de la isla. Estas acumulaciones, aunque modestas, se aprecian en forma de “rizaduras” de crestas irregulares, orientadas con una dirección N15W (perpendiculares a los vientos alisios NE) y parcialmente cubiertas por vegetación.

5.4.- MODELO SEDIMENTOLÓGICO CONCEPTUAL:

Estableciendo una correspondencia entre los ambientes sedimentarios marino someros que se desarrollan en la actualidad, con los distintos procesos climáticos y de cambios glacio-eustáticos ocurridos durante los últimos 128 ka, se propone a continuación un modelo sedimentológico conceptual que muestra la evolución de los ambientes carbonáticos en la isla Gran Roque, desde el Pleistoceno Tardío hasta nuestros días.

5.4.1.- Etapa 1: Pleistoceno Tardío 128 ka.

(Máximo nivel de la Transgresión Sangamon.)

Durante este período el nivel del mar se ubicó a 5 m sobre el actual, lo que permitió el desarrollo de calizas, conglomerados y calcarenitas pertenecientes a la Formación Los Roques. (MÉNDEZ, 1984). Sus remanentes erosivos, muestran facies playeras de baja y alta energía a sotavento de los cerros del Gran Roque, aunque la presencia de fragmentos de *Acropora palmata* y *A. cervicornis*, indican la presencia de un arrecife frangeante al sur de estos depósitos. Posiblemente se desarrollaron ambientes someros al este de la isla, pero no se observaron remanentes de la Formación Los Roques en esas localidades, que puedan aportar dicha información (ver Figura 5.3).

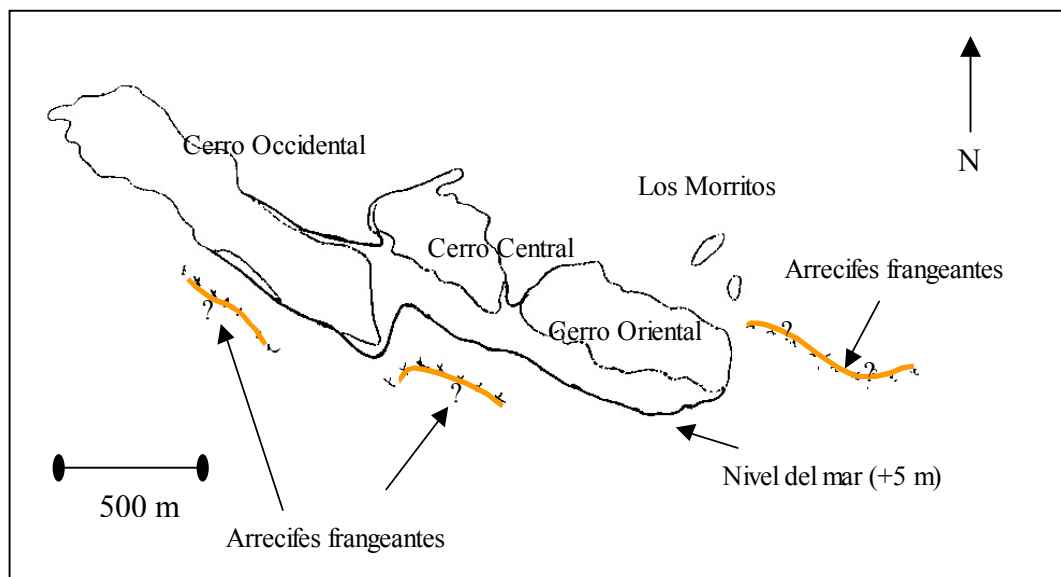


Figura 5.3. Etapa 1. Reconstrucción paleogeográfica para el Pleistoceno Tardío (128 ka) correspondiente al Interglacial Sangamon.

5.4.2.- Etapa 2: Pleistoceno Tardío 105 – 18 ka.

(Transgresiones menores, Glaciación Wisconsin.)

Con el paulatino descenso global de la temperatura, el nivel del mar inicia su retroceso, interrumpido por varias transgresiones menores (105 ka, 84 ka, 60 ka, 40

ka), hasta llegar a un mínimo nivel, durante el apogeo de la Glaciación Wisconsin (MÉNDEZ, 1997-b).

Las transgresiones menores, dieron como resultado el crecimiento de terrazas carbonáticas, situadas a profundidades de 12-14 m (105 ka), 22-24 m (84 ka), 40 m (60 ka) y 55 m (40 ka), hoy en día localizadas en el talud sur del Archipiélago los Roques, así como en las Aves de Barlovento y Aves de Sotavento. (MÉNDEZ, 1985 a, b, c). Es factible que las terrazas más antiguas pudieran haberse desarrollado en la zona adyacente al Gran Roque

Durante el máximo estado de la Glaciación Wisconsin (18-15 ka), el nivel del mar retrocedió hasta los 100 –120 m debajo del actual, probablemente desarrollando procesos erosivos que modificaron el relieve, previamente originado por la Formación Los Roques durante el Sangamon y las sucesivas transgresiones menores.

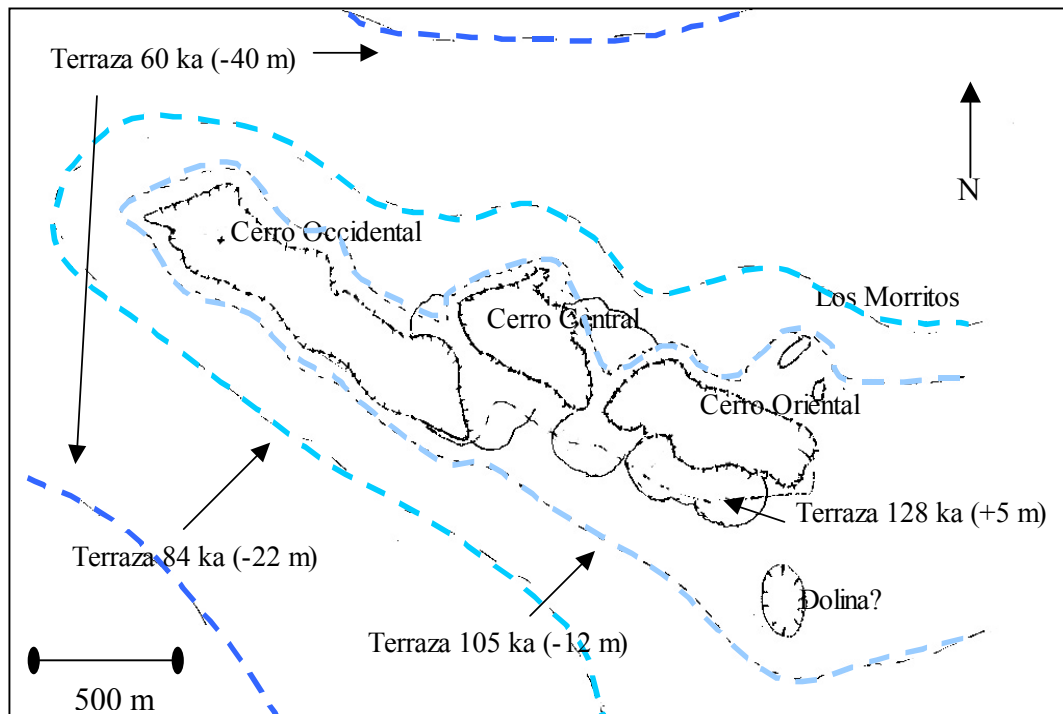


Figura 5.4. Etapa 2. Reconstrucción paleogeográfica para el área del Gran Roque durante el apogeo de la Glaciación Wisconsin (18ka) (128 ka). El nivel del mar alcanzó más de 100 por debajo del actual, quedando expuestos los carbonatos previamente depositados

Actualmente, tanto al sur como al este del Gran Roque, existen evidencias que indican estos procesos, siendo la más llamativa la laguna Sur con una geometría cuasi circular en el fondo y profundidades mayores que sus vecinas, lo que sugiere la presencia de una antigua dolina o depresión erosiva, posteriormente rodeada por algún crecimiento coralino (ver Figura 5.4).

5.4.3.- Etapa 3: Holoceno 15 – 7 ka

(Primer evento transgresivo post Wisconsin)

Posterior a la Glaciación Wisconsin se inicia la Transgresión holocena (Flandriense) con un rápido ascenso del nivel del mar de 8 mm anuales, hasta llegar a 10 m por debajo del nivel actual (MÉNDEZ, 1997-b).

Sobre el paleorelieve generado durante la Glaciación Wisconsin, se desarrollan paulatinamente nuevos depósitos carbonáticos, los cuales al llegar a las profundidades someras para la época (8-7 ka) formaron ambientes similares a los actuales, iniciando el crecimiento del arrecife frangeante moderno alrededor del Gran Roque.

Si se extrapolan las condiciones ambientales de hoy en día, con las que existieron hace 7 ka, probablemente se formó un arrecife frangeante de alta energía, dominado por corales tipo *Acropora palmata*, al NE de la isla y otro de moderada a baja energía al SW, caracterizado por la presencia de *A. cervicornis* como coral dominante.

El arrecife nororiental pudo servir de base para el establecimiento de una terraza de tormenta, a modo de rompeolas natural que disminuyera la energía del oleaje, permitiendo la depositación de sedimentos más finos hacia sotavento y generando las condiciones ideales para el establecimiento de ambientes más tranquilos como las lagunas internas.

Es probable que las lagunas internas se establecieran inicialmente sobre el paleorelieve remanente de la Formación Los Roques, siendo paulatinamente rellenado dentro de un ambiente de baja energía protegido por el arrecife frangeante o la terraza de tormenta nororientales.

Por su parte, el arrecife suroeste sirvió de protección al plano arrecifal, de donde provino la mayor parte de los sedimentos bioclásticos que se depositarían en las playas del Gran Roque durante ese período.

Estas playas posiblemente se encontraban en una posición más al norte de la actual, por lo que se infiere una mayor influencia clástica proveniente, tanto de los macizos meta-ígneos, como de los remanentes erosivos de la Formación Los Roques.

Así mismo, el desarrollo de llanuras de mareas pudo ser restringido o inexistente, debido al escaso desarrollo que pudo haber presentado el plano de marea, durante las primeras etapas de depositación de los sedimentos en el Gran Roque (ver Figura 5.5).

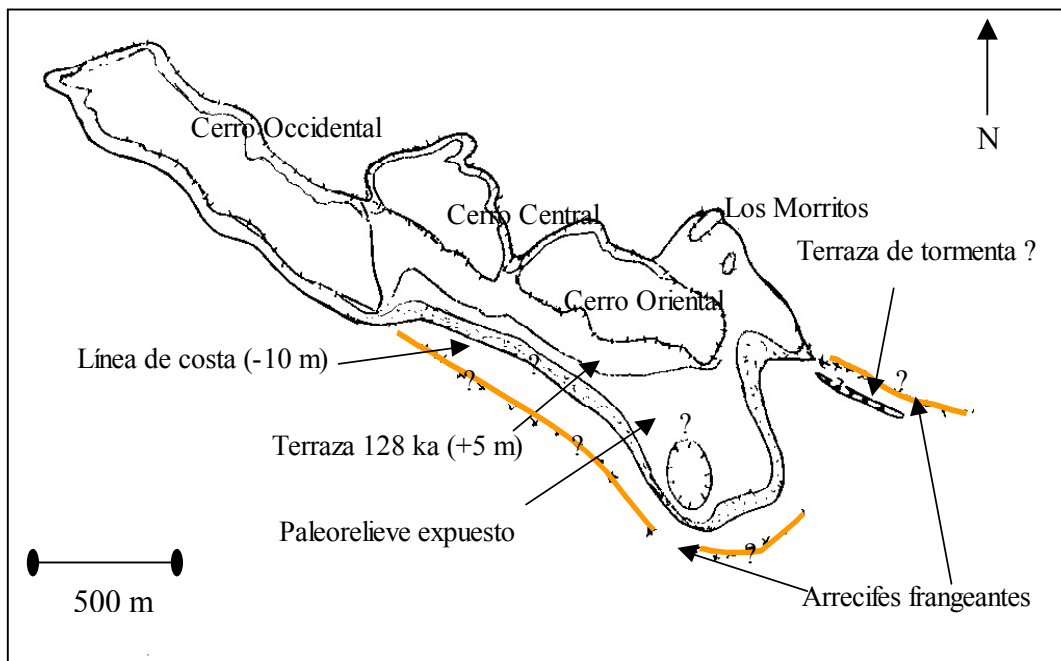


Figura 5.5. Etapa 3. Reconstrucción paleogeográfica para el Holoceno, durante la primera etapa de la Transgresión Flandriense (15-7ka)

5.4.4.- Etapa 4: Holoceno 7-2 ka.

(Segundo evento transgresivo post Wisconsin.)

El segundo evento transgresivo prosigue a un ritmo más lento (1,4 mm anuales) alcanzando el nivel actual hace 4 a 2 ka (MÉNDEZ, 1997-b).

Durante esta etapa, los arrecifes continuaron su desarrollo influenciados por la disminución en la tasa de ascenso del nivel del mar, por lo que se especula que los corales trataron de competir creciendo, no solo verticalmente, sino también lateralmente.

De este modo las plataformas arrecifales se ensancharon, logrando su máxima expresión hacia el suroeste del Gran Roque, mientras que los arrecifes de barlovento mantuvieron un crecimiento más modesto en dirección norte.

El desarrollo de los planos arrecifales, trajo consigo la posibilidad de expansión de la línea playera hacia el suroeste, debido a la mayor acumulación de sedimentos bioclásticos sobre los ambientes generados durante la Transgresión Flandriense. Este ensanchamiento de la zona costera, pudo incrementar el área detrás de playa permitiendo la formación de llanuras de mareas.

Por su parte, el área encerrada por la terraza de tormenta nororiental, fue progresivamente rellenada por sedimentos arenosos, estabilizada por el establecimiento de manglares y encerrada por ambientes playeros situados al este del Gran Roque lo que restringió la circulación de las lagunas con el agua de mar (ver Figura 5.6).

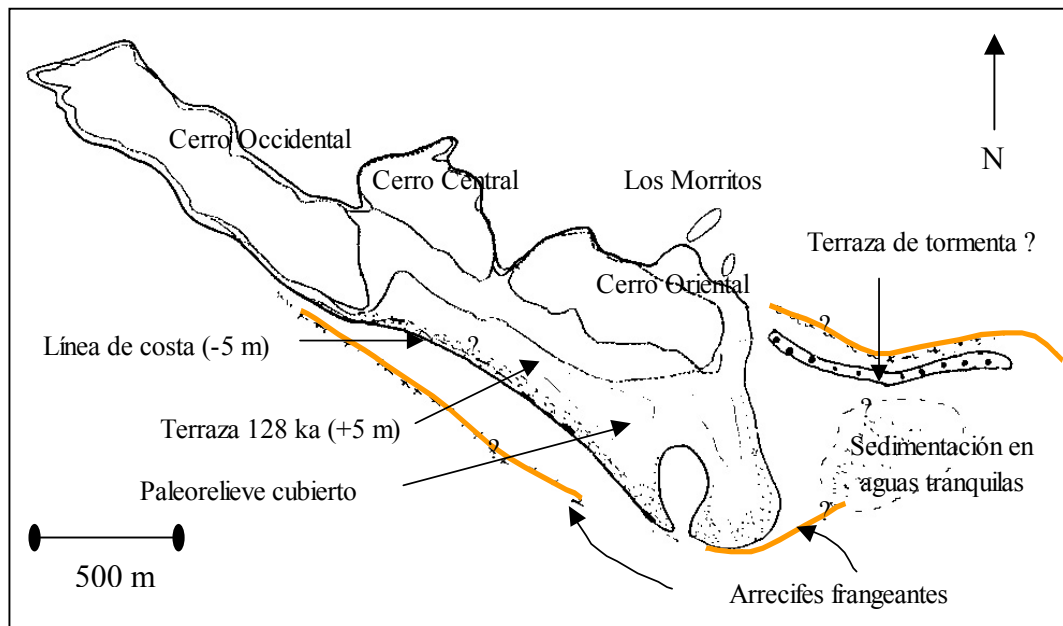


Figura 5.6. Etapa 4. Reconstrucción paleogeográfica para la segunda etapa de la Transgresión holocena (7-2 ka)

5.4.5.- Etapa 5: Holoceno 2 ka – presente

(Estabilización del nivel del mar)

Durante esta etapa, el crecimiento de los arrecifes frangeantes tiende a hacerse de manera lateral, prosiguiendo el ensanchamiento del plano arrecifal. De igual forma, los ambientes sedimentarios someros depositados en el Gran Roque se encuentran relativamente estabilizados, aunque la influencia de mareas, tormentas u otros eventos meteorológicos se hacen sentir, especialmente en las zonas costeras.

La producción de sedimentos bioclásticos continúa, rellenando los ambientes más antiguos, modificando la batimetría preexistente desarrollando grandes bancos de sedimentos someros, en muchos casos estabilizados por manglares, quienes además contribuyen con sus restos a la producción de importantes acumulaciones de limos orgánicos.

Igualmente, los sedimentos expuestos en las llanuras de marea, experimentan condiciones de evaporación y precipitación de minerales promoviendo procesos diagenéticos como la dolomitización.

Además, los factores antropogénicos, como la explotación de moluscos, deterioro de corales, tala de manglares, entre otras, afectan las condiciones de sedimentación naturales, incrementando la tasa de aporte de sedimentos gruesos a las costas y promoviendo la removilización de limos y arcillas al perder el soporte brindado por la vegetación

Otros factores a considerar, en los procesos de sedimentación futuros en el Gran Roque, radican en la canalización parcial del canal de marea de la laguna Sur y la construcción del dique alrededor de este cuerpo de agua, lo que podría afectar a las condiciones de drenaje y relleno hacia el sector sureste de la isla (ver Figura 5.7).

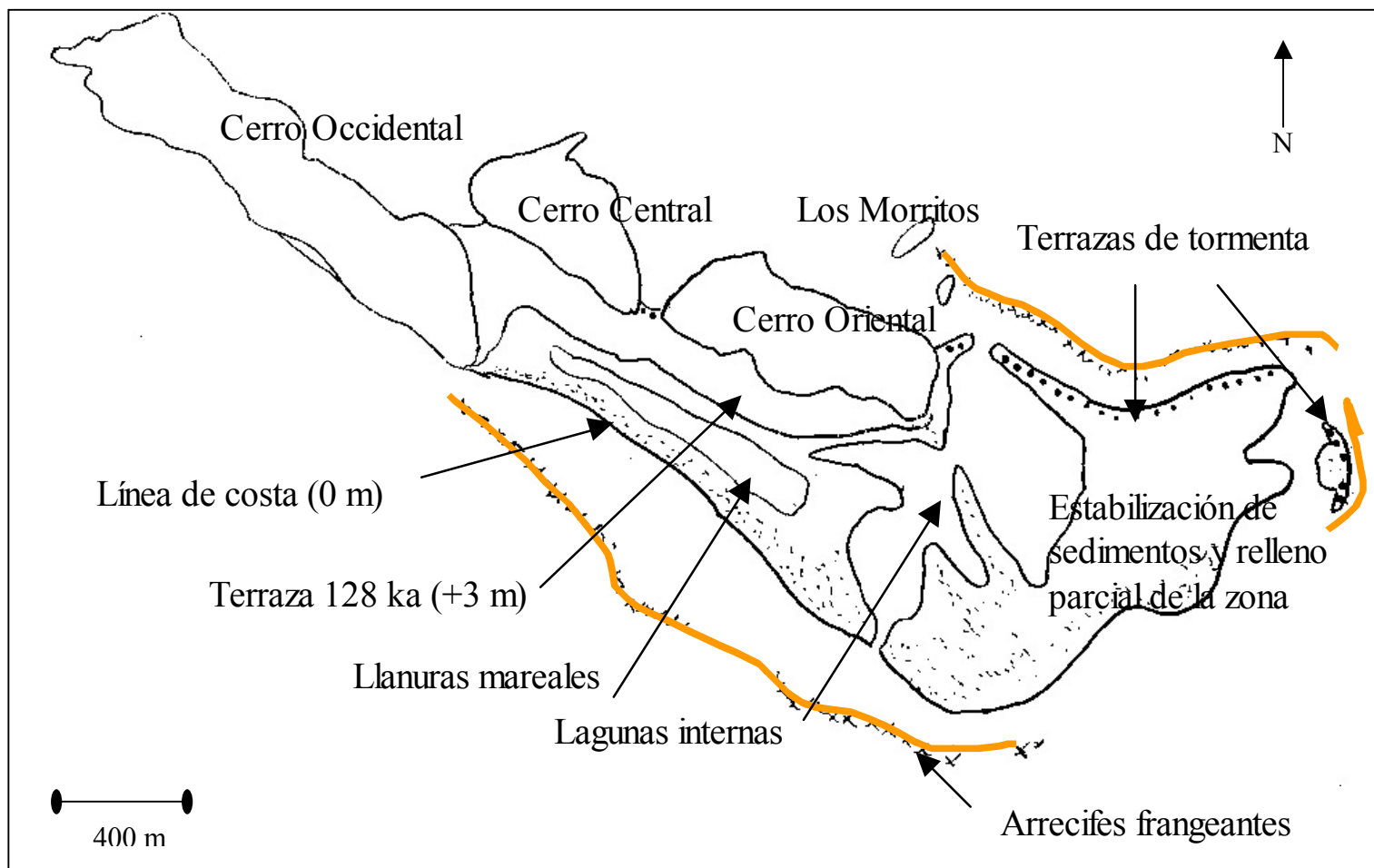


Figura 5.7. Etapa 5. Reconstrucción paleogeográfica para el final de la Transgresión holocena (2 ka hasta el presente). Note la progresiva migración de los planos arrecifales y líneas de costa hacia la periferia de la isla Gran Roque

CAPÍTULO VI

6.- CONCLUSIONES:

- El Gran Roque representa un ejemplo de sedimentación carbonática reciente de gran interés, donde se reconocen seis facies de sedimentos someros no consolidados y dos de rocas de playa, conformando diez ambientes sedimentarios bien diferenciados que se desarrollan en un área menor a 2 km² hacia la mitad oriental de la isla.
- Estos ambientes son el resultado de una compleja relación entre diferentes niveles de energía de transporte y fuentes de aporte de sedimentos, inducido por la posición relativa de la isla Gran Roque, su plano arrecifal y los cayos vecinos, frente a las corrientes NE dominantes en el área, las cuales pueden sufrir importantes cambios de dirección durante eventos de tormentas, mar de leva o rebozos.
- Los sedimentos estudiados en el Gran Roque, se encuentran dentro de una fase de diagénesis temprana somera, cuyas etapas iniciales de consolidación se muestran en las rocas de playa desarrolladas al noreste y sur de la isla.
- Los depósitos de gravas de corales en la Boca del Mal Viento, terraza de tormenta nororiental y extremo sur del Gran Roque, indican la acción del oleaje de alta energía a la que están sometidos estos sectores de la isla. Las terrazas de tormenta al norte y noreste se encuentran bajo la influencia constante de las corrientes principales NE, mientras que el extremo sur parece responder solamente a eventos esporádicos de cambio de corriente SW o SE provocados por tormentas severas, mar de leva o rebozos.

- Los ambientes costeros oriental y suroccidental, caracterizados por acumulaciones de arenas finas a gruesas, están sometidos a condiciones de energía moderada, debido a su posición relativamente protegida del fuerte oleaje del noreste. Además, la presencia de otros cayos situados al noreste y este del Gran Roque, podría actuar como agentes deflectores de las corrientes principales ENE, amortiguando la energía inicial del oleaje especialmente hacia el sector oriental de la isla.
- Los ambientes internos están poco influenciados por el oleaje, encontrándose protegidos tanto por los macizos meta-ígneos como por los ambientes costeros. Por esta razón la movilización de sedimentos es principalmente originada debido a la acción mareal, en el área de las lagunas internas, precipitaciones de agua de lluvia, en las llanuras de marea, y ocasionalmente por efectos de tormentas o mar de leva severas, donde los sedimentos de las áreas costeras invaden las zonas internas de la isla.
- La distribución en los patrones de procedencia para los distintos componentes que conforman a los sedimentos recientes, presenta una clara correspondencia con la distribución de los ambientes costeros e internos, así como de las condiciones energéticas que intervinieron (y aún intervienen) en su depositación.
- De esta forma los fragmentos de corales, las algas calcáreas, bioclastos y algunos foraminíferos, son removilizados desde la cresta y el plano arrecifal hacia la costa, por acción del oleaje a diferentes niveles de energía, al mismo tiempo que los restos de ostrácodos y foraminíferos (especialmente miliólidos), parecen provenir de las lagunas internas que luego son transportados hacia las llanuras de inundación por efectos mareales y precipitaciones esporádicas.

- Los fragmentos de rocas meta-ígneas presentes en los sedimentos recientes, provienen de la meteorización y erosión de los macizos intensamente fracturados que conforman el Complejo Meta-ígneo de Gran Roque, cuyas acumulaciones se observan en formas de coluviones en las faldas sur y este de los cerros. De igual forma la Formación Los Roques aporta material meta-ígneo a los sedimentos recientes, al quedar expuestos fragmentos de roca debido a la erosión de la matriz carbonática mucho menos resistente.
- Se propone un modelo de sedimentación conceptual de cinco etapas principales, basándose en la dinámica depositacional reciente, donde se expone una posible evolución de los ambientes sedimentarios desde 128 ka hasta el presente, tomando en cuenta los sucesivos cambios en el nivel del mar, provocados principalmente por eventos climáticos globales como el Interglacial Sangamon, interestadiales menores post Sangamon, la Glaciación Wisconsin y la transgresión holocena.
- Los procesos sedimentarios modelados para la isla Gran Roque, podrían considerarse como una interpretación local, enmarcada dentro de la evolución regional de los ambientes recientes que se desarrollan en el Archipiélago Los Roques, estudiada por MÉNDEZ (1977, 1984, 1997 a, b).
- Las evidencias de ambientes playeros, conglomerados y terrazas coralinas, dentro de la Formación Los Roques, sugiere un papel importante de los macizos meta-ígneos del Gran Roque durante la sedimentación pleistocena, funcionando al igual en la actualidad, como “barrera protectora” de las corrientes principales NE, favoreciendo la sedimentación de ambientes más tranquilos a sotavento.
- Al quedar expuesta la Formación Los Roques, durante la Glaciación Wisconsin, es muy probable que haya formado un paleorelieve, producto de la

disolución y erosión de la caliza pleistocena, que serviría de base los arrecifes modernos desarrollados durante el Holoceno.

- El sistema arrecifal, formado como respuesta a la transgresión holocena, no solo creció verticalmente, sino también de manera lateral debido a que la tasa de desarrollo de corales como *Acropora palmata* y *A. cervicornis* es superior a la tasa de ascenso del nivel del mar. Esto permitió el ensanchamiento del arrecife frangeante al rededor del Gran Roque, ocasionando el desplazamiento de los ambientes sedimentarios hacia el sur y el relleno progresivo de las lagunas internas orientales posiblemente asentadas sobre una depresión creada durante la Glaciación Wisconsin.

CAPÍTULO VII

7.- RECOMENDACIONES:

- Se recomienda un análisis de facies sedimentarias a mayores profundidades que las alcanzadas en este estudio, por medio de la extracción de material a través de barrenos o núcleos que permita una cartografía detallada de las facies, ambientes de depositación y sus respectivos espesores.
- Es recomendable la realización de estudios geoquímicos y geocronológicos en los sedimentos presentes en las facies mas profundas, para establecer las condiciones paleoambientales que dominaron los procesos de sedimentación en los ambientes generados durante la transgresión holocena.
- El Gran Roque, así como otros cayos del archipiélago, podrían ser objeto de estudios gravimétricos y/o sísmico de refracción, comparativamente económicos y de fácil aplicación, con los que se podrían determinar la geometría y profundidad de la Formación Los Roques y del basamento meta-ígneo.

CAPÍTULO VIII

8.- BIBLIOGRAFÍA:

- AGUERREVERE, S.E. & LÓPEZ, V. (1938) "The Geology of the Gran Roque Island and its phosphate deposits" Bol. Geol. y Min. 2: N 2, 3, 4. p 155-181.
- AUDEMARD, F. & AUDEMARD, F. (2002) "Structure of the Mérida Andes, Venezuela: relations with the South America-Caribbean geodynamic interaction" Tectonophysics, N° 345 p 299-327.
- BADIOZAMANI, K. (1973) "The Dorag dolomitization model-application to the Middle Ordovician of Wisconsin" Jour. Sed. Petrology, V.43, p 965-984.
- BERMÚDEZ, P. J. (1960) "Foraminíferos recientes de Los Roques, Venezuela, Archipiélago Los Roques y La Orchila". Soc. Cien. Nat. La Salle. Caracas p 174-183.
- BERMÚDEZ, P. J & FUENMAYOR, A. N. (1962) "Notas sobre los foraminíferos del Grupo Cabo Blanco, Venezuela. Asoc. Ven. Geol., Min y Petr., Bol. Inform., 5 (1) p 3-16.
- BOERSMA, A. (1978) "Foraminifera" in "Introduction to marine micropaleontology" Haq, B & Boersma, A Eds Elsevier North Holland, 2 th edition, New York, p 19 -77.
- BOGGS, S. (1995) "Principles of sedimentology and stratigraphy" 2^d edition. Prentice-Hall. Inc. New Jersey, 774 p.
- BOWEN, J. M. (1964) " Marine erosional features on Gran Roque". Bol. Inf. Asoc. Venezolana Geol. Min. Petr., (7). p 242 – 252.
- CARLTON, J..M. (1975) "A Guide to Common Salt Marsh and Mangrove Vegetation". Florida Marine Research N° 30.
- CASTILLO, A. & SUÁREZ, J. C. (2001) "Reconocimiento geológico de la región Anare-Osma. Vertiente Norte del Macizo del Ávila. Estado Vargas" Trabajo Especial de Grado (inédito) Escuela de Geología, Minas y Geofísica, U.C.V. Caracas 144 p.
- CHOQUETTE, P. & PRAY, L. (1970) "Geological Nomenclature and Classification of Porosity in Sedimentary Carbonates". A.A.P.G. Bulletin V-54, N° 2, p 207 – 250.

- CRONIN, T. M. *et. al.* (2002) “ Ostracodes” Neogene Marine biota of Tropical America, (NMITA), Disponible: <http://porites.geology.uiowa.edu/database/>
Consulta: Abril 30, 2003 .
- DAVIS, S. (2003) “Geomorphological and hidrological controls on mangrove-derived organic carbon cycling” Southeast Environmental Reserch Center, Florida International University. Disponible <http://www.fiu.edu/~serp/fsgs/sdavis04/>
Consulta Abril 12, 2003.
- DELGADO, M. (1988) “Análisis de facies y estratigrafía del sistema deltaico del Río Unare y complejo de la laguna de barrera litoral de Píritu, Estado Anzoátegui. Trabajo Especial de Grado (inédito) Escuela de Geología, Minas y Geofísica, U.C.V. Caracas. 289 p.
- DOREMUS, M. (1999) “Final Foraminifera” 1999 Tropical Marine Ecology Discusión, Miami University Disponible: <http://jrscience.wcp.muohio.edu/FieldCourses99/>
Consulta Abril 30, 2003.
- DUNHAM, R. J. (1962) “Classification of carbonate rocks according to depositional textures” in HAM, W.E., ed., Classification of carbonate rocks: Am Assoc. Petroleum Geologist Mem. 1. p 108 - 121.
- DUNHAM, R. J. (1970) “Stratigraphic reefs versus ecologic reefs” Bull. Am. Ass. Petrol. Geol. 54, p 1931 – 1932.
- EDGAR, N. T., EWING, J. & HENNION, J. (1971) “ Seismic Refraction and Reflection in Caribbean Sea” Bull. Am. Ass. Petrol. Geol. 56 (6) p 833 – 870.
- EDGAR, N. T. & SAUNDERS, J. B. (1975) “Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, 15” U.S. Gov. Printing Office, Washington. 1137 p.
- EMBRY, E. F. & KLOVAN, J. E. (1972) “Absolute water depth limits of late Devonian paleoecological zones” Geol. Rundschau, v.61 p 672-686.
- ESPINAL, H. (1964) “Algo más sobre la isla Gran Roque: sus recursos y posibilidades” Bol. Inf. Asoc. Venezolana Geol. Min. Petr., (7). p 234– 241.
- FLÜGEL, E. (1982) “Microfacies Analysis of Limestones”. Springer–Verlag, Berlin. 633 p.
- FOLK, R. L. (1962) “Spectral subdivision of limestones types” in HAM, W.E., ed., Classification of carbonate rocks: Am Assoc. Petroleum Geologist Mem. 1. p 62 - 84.

- FOLK, R. L. (1965) "Some aspects of recrystallization in ancient limestones". In: Dolomitization and Limestone Diagenesis (Ed. by L.C. Pray and R.C. Murray) Spec. Publ. Soc. econ. Paleont. Miner. 13, p 14 – 48.
- FOLK, R. L. & WARD, W. C. (1957) "Brazos River bar: A study in the significance of grain size parameters" Jour. Sed. Petrology, v.27, p 3-26.
- GADEA, O. (1996) "Promedio climatológico de las estaciones pertenecientes a la Dirección de Hidrografía y Navegación, período 1891-1995, Observatorio Cagigal, Dirección de Hidrografía y Navegación, Comandancia General de la Armada. Min. Defensa. 148 p.
- GADEA, O. (2001) "Datos de la Orchila 1969-1999. Revisión General". Informe interno. Dirección de Hidrografía y Navegación, Comando Naval de Operaciones, Comandancia General de la Armada. 13 p.
- GONZÁLEZ DE JUANA, C., ITURRALDE, J. & PICARD, X. (1980) "Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas" Tomos I y II, Ediciones FONINVES, 1021p.
- GUTIC, J. *et al.* (1996) "Manual de interpretación ambiental para guías turísticos del Parque Nacional Archipiélago Los Roques" PDVSA, Caracas. 104 p.
- HAQ, B. & BOERSMA, A. (1978) "Introduction to marine micropaleontology" Elsevier North Holland, 2th edition, New York. 376 p.
- HARMS, J. C. (1979) "Primary sedimentary structures". Ann. Review Earth and Planetary Sci., v.7, p. 227 – 248.
- HARRELL, J. (1984) "A visual comparator for degree of sorting in thin and plane sections". Jour. Sed. Petrology (54) p. 629 – 650.
- HUMANN, P. (1996 a) "Reef Creatures Identification, Florida, Caribbean, Bahamas". 4th ed. New World Publications, Jacksonville, Fl. 320 p.
- HUMANN, P. (1996 b) "Reef Coral Identification, Florida, Caribbean, Bahamas". 4th ed. New World Publications, Jacksonville, Fl. 239 p.
- ILLING, L. V. (1954) "Bahamian calcareous sand" Bull. Am. Ass. petrol. Geol. 38, p 193 – 204.
- INDEN, R. & MOORE, C. (1983) "Beach Environment" in "Carbonate Depositional Environments". AAPG Memoir 33, Tulsa, Oklahoma. p 210 – 265.

- INPARQUES (1986) “Mapa topográfico Isla Gran Roque, Escala 1: 6000” (mapa) Dirección Nacional Sectorial de Parques Nacionales, Parque Nacional Archipiélago Los Roques.
- JAMES, N. (1983) “Reef Environments” in “Carbonate Depositional Environments”. AAPG Memoir 33, Tulsa, Oklahoma. p 346 – 462.
- KOEPPE, C. & DE LONG, G. (1958) “Weather and Climate” Mc Graw-Hill Book Company, New York. 341p.
- KÖPPEN– GEIGER (1954) “Klima der Erde” (map), Justus Perthes, Darmstadt, Germany.
- KRUMBEIN, W. C. (1934) “Size frequency distribution of sediments” Jour. Sed. Petrology, v.4, p 65-77.
- KRUMBEIN, W. C. & SLOSS L. L. (1969) “Estratigrafía y Sedimentología” 2ª ed, UTEHA. México D.F. 479 p.
- KUMMEROV, E. & ODEHNAL, M. (1990) “Curso de Facies Carbonáticas” LAGOVEN, Departamento de Geología, Gerencia de Estudios regionales. 73 p.
- LE ROY, L. W. DO & REASE, J. W. (1977) “Subsurface Geology” Colorado School of Mines. 4th Edition, Golden, Colorado. 215 p.
- LIDZ, B. H. (1989) “Diagnostic foraminiferal assemblages of Florida Bay and adjacent shallow water: a comparission” Bull. of Marine Sci. V 44, n-1, p 399 – 418.
- LOEBLICH, A. & TAPPAN, H. (1988) “Foraminiferal General and Their Classification” Van Nostrand Reinhold Vol 1, 2; 869p.
- LONGMAN, M. N. (1980) “Carbonate diagenesis as a control on stratigraphic traps” Am. Assoc. Petroleum Geologist Education Course Notes Ser. 21, 159 p.
- LYNN, G. *et al* (1995) “Preelimir Análisis of Down-Core Biotic Assemblages: Bob Allen Keys, Everglades National Park, Florida Bay” U.S.G.S. Disponible: <http://sofia.usgs.gov/publications/ofr/95-628> . Consulta Abril 30, 2003.
- MULTER, G. H. (1977) “Field guide to some Carbonate Rock Environments. Florida Keys and Western Bahamas” Kendall/Hunt Publishing Company. 415 p.
- M. E. M. (1997) “Léxico Estratigráfico de Venezuela” Boletín de Geología, Publicación Especial N° 12. Dirección General Sectorial de SERVIGEOMIN. Dirección de Geología. Tomos I y II. 828 p.

- MÉNDEZ, J. (1977) "Aspectos de la geología marina en el Archipiélago Los Roques" V Congreso Geológico Venezolano. Memorias Tomo I, Caracas. p 195-225.
- MÉNDEZ, J. (1984) "Los Roques: Un ejemplo de sedimentación de carbonatos, morfología, sedimentología, organismos, mineralogía y geoquímica. Relación con Las Aves y La Blanquilla" Tesis Doctoral (inédito) Tomos I y II. Escuela de Geología, Minas y Geofísica, U.C.V. 590 p.
- MÉNDEZ, J. (1985 a) "Terrazas submarinas del frente arrecifal en el Archipiélago Los Roques, Aves de Barlovento, Aves de Sotavento y La Blanquilla. VI Cong. Geol. Venez., 8: 5549 – 5569.
- MÉNDEZ, J. (1985 b) "Transgresiones y regresiones marinas en el Pleistoceno tardío. Subsistencia y levantamiento en Los Roques, Las Aves y La Blanquilla. VI Cong. Geol. Venez., 8: 5570 – 5597.
- MÉNDEZ, J. (1985 c) "Morfología submarina del frente arrecifal en el Archipiélago Los Roques, Isla de Aves y La Blanquilla. VI Cong. Geol. Venez. 1: 529 – 545.
- MÉNDEZ, J. (1997 a) "Caliza de Las Aves", en Léxico Estratigráfico de Venezuela (L.E.V.) PDVSA- Intevp. Disponible: <http://www.pdv.com/lexico>. Consulta: Febrero 15, 2003.
- MÉNDEZ, J. (1997 b) "El Cuaternario en Venezuela", en Léxico Estratigráfico de Venezuela (L.E.V.) PDVSA- Intevp. Disponible: <http://www.pdv.com/lexico>. Consulta: Marzo 22, 2003.
- MÉNDEZ, J. (1996 a) "Formación La Orchila", en Léxico Estratigráfico de Venezuela (L.E.V.) PDVSA- Intevp. Disponible: <http://www.pdv.com/lexico>. Consulta: Febrero 15, 2003.
- MÉNDEZ, J. (1996 b) "Formación Los Roques" en Léxico Estratigráfico de Venezuela (L.E.V.) PDVSA- Intevp. Disponible: <http://www.pdv.com/lexico>. Consulta: Febrero 15, 2003.
- MOTICKA, P. (1997) "Complejo Ígneo Metamórfico de La Orchila" en Léxico Estratigráfico de Venezuela (L.E.V.) PDVSA- Intevp. Disponible: <http://www.pdv.com/lexico>. Consulta: Febrero 15, 2003.
- NESSE, W. (1991) "Introduction to Optical Mineralogy" 2^d edition, Oxford University Press, New York. 335 p.
- NOGUERA, M. & YÉPEZ, S. (2002) "Caracterización química de secciones estratigráficas: Formaciones Naricual y Querecual, Estados Anzoátegui y Monagas" Trabajo Especial de Grado (inédito) Escuela de Geología, Minas y Geofísica, U.C.V. Caracas. 282p.

- ODUM, W. E. & MCIVOR C. C. (1990) "Mangroves. In: Ecosystems of Florida" R.L. Myers & J.J. Ewel. eds. University of Central Florida Press. Orlando Fl. pp. 517 – 548.
- OSTOS, M. (1990) " Evolución tectónica del margen sur central del Caribe basado en datos geoquímicos", GEOS 30, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, U.C.V.,Caracas. p 1-294.
- PETTIJOHN, F. J. (1970) "Rocas Sedimentarias" 2ªed. EUDEBA, Buenos Aires. 731 p.
- PETTIJOHN, F. J.; POTTER, P. E. & SIEVER, R. (1987) "Sand and Sandstone" 2d edition, Springer-Verlag, New York. 553 p.
- PICCOLI, L & STOCKHAUSSEN, H. (1991) "Ambientes carbonáticos modernos en las áreas de Cayo Sombrero - Punta Tucacas y Chichiriviche, Edo Falcón. Estudio en detalle de Cayo Sombrero, Cayo Pelón y ambientes hipersalinos de Cayo Sal". Trabajo Especial de Grado (inédito). Escuela de Geología, Minas y Geofísica, U.C.V. Caracas. 275 p.
- POAG, C. W. (1981) "Ecological atlas of the benthic foraminifera of the Gulf of México" Woods Hole, MA, Marine Science International, 174 p.
- POKORNÝ, V. (1958) "Grundzüge der Zoologischen Mikropaläontologie" Band II, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin. 453 p.
- POKORNÝ, V. (1978) "Ostracodes" in "Introduction to marine micropaleontology" Haq, B & Boersma, A Eds Elsevier North Holland, 2 th edition, New York. p 91-120.
- REECKMANN, A. & FRIEDMAN, G. (1982) "Exploration for Carbonate Petroleum Reservoirs". Wiley-Interscience Publications, New York. 213 p.
- REIGERS, T. S. A & HSU, K. L. (1986) "Manual of Carbonate Sedimentology: A Lexicographical Approach" Academic Press, London. 302 p.
- REY, J. & RUTLEDGE, C. (2002) "Los Mangles" Dpto. de Entomología y Neumatología del Servicio de Extensión Cooperativa de la Florida. IFAS. Universidad de Florida. Disponible: <http://edis.ifas.ufl.edu>. Consulta: Abril 12, 2003.
- ROJAS, O. (1985) "Ambientes carbonáticos modernos de aguas someras en el Gran Roque, Archipiélago Los Roques" Trabajo inédito. Escuela de Geología, Minas y Geofísica, U.C.V. Caracas. 35 p
- ROST, M. (1938) "Die venezolanischn Inseln Aves, Los Roques, Las Orchilas un die phosphoritlagerstatte von Gran Roque". Zeit. Deut. Geol. Ges, 90: 577–596.

- RUTTEN, L. M. (1931) "On rocks from the Caribbean Coast Range (northern Venezuela), between Puerto Cabello-La Cumbre and between La Guaira-Caracas". Konin. Akad. Weten. Amsterdam Proc., 34 (7): 828-841
- SCHUBERT, C. & MOTICKA, P. (1973) "Reconocimiento geológico de las islas venezolanas en el Mar Caribe, entre Los Roques y Los Testigos (Dep. Federales)". Boletín de la Sociedad Venezolana de Geología V-8 (1-2) p 1-48.
- SANTAMARÍA, F. & SCHUBERT, C. (1974) "Geochemistry and Geochronology of the Sourthern Caribbean-Northern Venezuelan Plate Boundary." Geol. Soc. Am. Bull. 85 (7) p 1085-1098.
- SHINN, E. (1983) " Tidal Flats" en "Carbonate Depositional Environments" AAPG Memoir 33, Tulsa, Oklahoma. p 171 – 210.
- SILVER, E., CASE, J. & MACGILLAVRY, H. J. (1975) "Geophysical Study of the Venezuelan Borderland". Geol. Soc. of Am. Bull., V. 86, p 213 – 226.
- SOC. CIEN. NAT. LA SALLE. (1960) "El Archipiélago Los Roques y La Orchila". Caracas, 257 p.
- TALUKDAR, S. & LOUREIRO, D. (1982) "Geología de una zona ubicada en el segmento norcentral de la Cordillera de la Costa, Venezuela. Metamorfismo y Deformación. Evolución del margen septentrional de Suramérica en el marco de la tectónica de placas" GEOS 27, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, U.C.V., Caracas. p 15-76.
- TUCKER, M & WRIGHT P. (1990) "Carbonate Sedimentology". Blackwell Scientific Publications, London. 482 p.
- URBANI, F. (1997) "Complejo Ávila" en Léxico Estratigráfico de Venezuela (L.E.V.) PDVSA- Intevp. Disponible: <http://www.pdv.com/lexico>. Consulta: Febrero 15, 2003.
- URBANI, F. (2000) "Revisión de las unidades de rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de la Costa, Venezuela" GEOS 33, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, U.C.V.,Caracas. p 1-170.
- U.S.G.S (1998) "Classification of Wetland and Deepwater Habitats of United States". Northern Prairie Wildlife Research Center. Disponible: <http://www.npwrc.usgs.gov/resource/1998/classwet/rocky.html> Consulta: Abril 13, 2003.
- WENTWORTH, C. K. (1922) "A scale of grade and class terms for clastic sediments", Jour. Geology, v.27. p 377-392

WRIGHT, R. (1960) "Taxonomic Notes on the Species Figured by H. B. Brady in his Report on the Foraminífera Dredged by H.M.S. Challenger During the Years 1873 – 1876" Society of Economic Paleontologist and Mineralogist, Special Publication N° 9, Tulsa Oklahoma, U.S.A. 238 p.

ZAPATA, E. (1983) "Manual de petrografía y Diagénesis de rocas carbonáticas", GEOS 28, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, U.C.V.,Caracas. p 3-139.

ANEXO 1

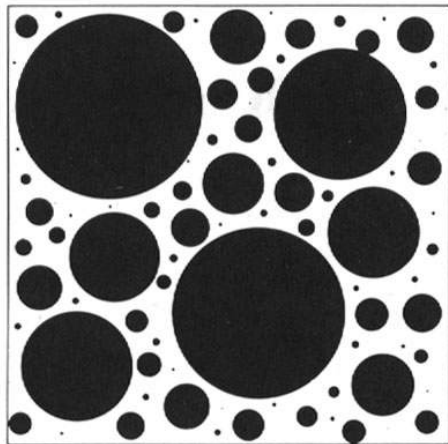
- **Mapa geológico isla Gran Roque. Escala 1:5000**

ANEXO 2

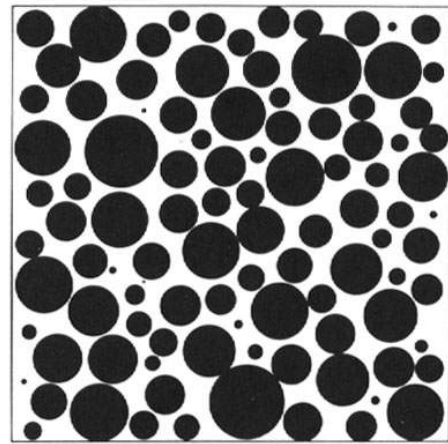
- **Diagrama de Harrell (1984) para estimación visual de escogimiento.**
- **Resultados de los análisis microscópico realizados a las calicatas N° 1, 3, 7, 9, 10, 12, 14, 30, 34, 35, 37, 40, 41, 44, 46, 47, 50 y los “box-cores” N° 3, 4, 5.**

Nota:

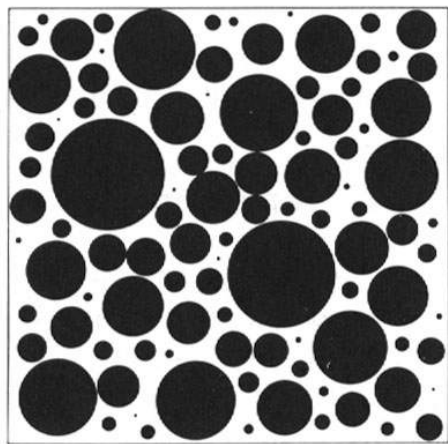
- **Valores de escogimiento visual similares a los de Folk (1974).**
- **Redondez cualitativa: (BR) bien redondeado; (R) redondeado; (SR) subredondeado; (SA) subanguloso; (A) anguloso; (MA) muy anguloso.**
- **Granulometría en micras**



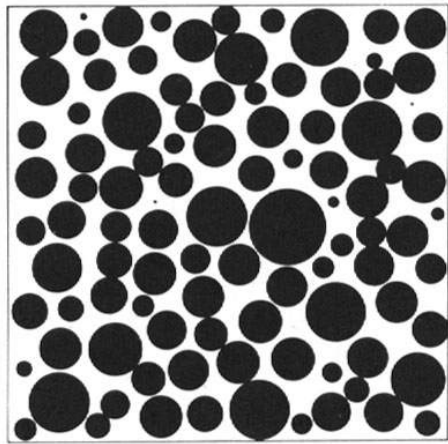
0.35



1.00



0.50



2.00

DIAMETER RATIO (MILLIMETERS)	PHI STANDARD DEVIATION	VERBAL SCALE	
1.0	0.00	very well sorted	MATURE
1.6	0.35	well sorted	
2.0	0.50	moderately sorted	SUBMATURE
4.0	1.00	poorly sorted	
16.0	2.00	very poorly sorted	

(After Folk, 1965, p. 104-105)

Diagrama de estimación visual de HARRELL (1984), tomado de PETTIJOHN *et al.* (1987).

CALICATA#	1	CALICATA#	1
CAPA#	1	CAPA#	2
ESCOGIMIENTO	0,5	ESCOGIMIENTO	0,8
GRANULOMETRIA	177-250	GRANULOMETRIA	250-350
REDONDEZ	SR	REDONDEZ	SR
BIOCLASTOS%	56	BIOCLASTOS%	47
HALIMEDAS%	29	HALIMEDAS%	37
GASTERÓPODOS%	3	BIVALVOS%	1
BIVALVOS%	2	GASTERÓPODOS%	3
FORAMINÍFEROS%	2	FORAMINÍFEROS%	5
EQUINODERMOS%	1	EQUINODERMOS%	1
PELLETS / OOIDES %	2	RESTOS DE VEG.%	0
FRAG. ROCAS MI.%	5	FRAG. DE CORAL%	1
		FRAG DE ROCAS MI%	5

CALICATA#	1	CALICATA#	3
CAPA#	3	CAPA#	1
ESCOGIMIENTO	0,6	ESCOGIMIENTO	0,6
GRANULOMETRIA	350-500	GRANULOMETRIA	177-250
REDONDEZ	SA	REDONDEZ	SR
BIOCLASTOS%	40	BIOCLASTOS%	45,6
HALIMEDAS%	43	HALIMEDAS%	34
BIVALVOS%	1	BIVALVOS%	2
GASTERÓPODOS%	4	GASTERÓPODOS%	6
FORAMINÍFEROS%	5	FORAMINÍFEROS%	1
EQUINODERMOS%	1	EQUINODERMOS%	3
FRAG DE ROCAS MI%	4	RESTOS DE PECES%	0,4
FRAG. DE CORAL%	2	PELLETS / OOIDES %	8

CALICATA#	3	CALICATA#	3
CAPA#	2	CAPA#	3
ESCOGIMIENTO	0.75	ESCOGIMIENTO	0,6
GRANULOMETRIA	250-350	GRANULOMETRIA	250-350
REDONDEZ	SR	REDONDEZ	SR
BIOCLASTOS%	38	BIOCLASTOS%	38
HALIMEDAS%	31	HALIMEDAS%	31
BIVALVOS%	4	BIVALVOS%	4
GASTERÓPODOS%	10	GASTERÓPODOS%	10
FORAMINÍFEROS%	2	FORAMINÍFEROS%	2
EQUINODERMOS%	2	EQUINODERMOS%	2
RESTOS DE PECES%	0,4	RESTOS DE PECES%	0,4
RESTOS DE CORALES%	5	RESTOS DE CORALES%	5
PELLETS / OOIDES %	7,6	PELLETS / OOIDES %	7,6

CALICATA#	7	CALICATA#	7
CAPA#	1	CAPA#	2
ESCOGIMIENTO	0,8	ESCOGIMIENTO	0,9
GRANULOMETRIA	350-500	GRANULOMETRIA	350-500
REDONDEZ	SA	REDONDEZ	SR
BIOCLASTOS%	40	BIOCLASTOS%	31
HALIMEDAS%	31	HALIMEDAS%	50
GASTERÓPODOS%	8	BIVALVOS%	2
FORAMINÍFEROS%	1	GASTERÓPODOS%	6
EQUINODERMOS%	1	FORAMINÍFEROS%	0,3
RESTOS DE VEG.%	1	EQUINODERMOS%	0,7
PELLETS / OOIDES %	5	RESTOS DE VEG.%	1
FRAG. ROCAS SED.%	10	PELLETS / OOIDES %	7
LIMO / ARCILLA%	3	LIMO / ARCILLA%	2

CALICATA#	7	CALICATA#	9
CAPA#	3	CAPA#	1
ESCOGIMIENTO	0,9	ESCOGIMIENTO	0,6
GRANULOMETRIA	350-500	GRANULOMETRIA	177-250
REDONDEZ	SR	REDONDEZ	SR
BIOCLASTOS%	50	BIOCLASTOS%	25
HALIMEDAS%	35	HALIMEDAS%	45
BIVALVOS%	0,5	BIVALVOS%	2
GASTERÓPODOS%	5	GASTERÓPODOS%	9
FORAMINÍFEROS%	0,5	FORAMINÍFEROS%	3
EQUINODERMOS%	1	EQUINODERMOS%	2
RESTOS DE CRUSTAC.%	1	RESTOS DE CRUSTAC.%	1
RESTOS DE VEG.%	1	RESTOS DE PECES%	0,5
PELLETS / OOIDES %	5	RESTOS DE VEG.%	1
LIMO / ARCILLA%	1	PELLETS / OOIDES %	10
		LIMO / ARCILLA%	1,5

CALICATA#	9	CALICATA#	10
CAPA#	2	CAPA#	1
ESCOGIMIENTO	0,9	ESCOGIMIENTO	0,8
GRANULOMETRIA	350-500	GRANULOMETRIA	177-250
REDONDEZ	SR	REDONDEZ	SR
BIOCLASTOS%	27	BIOCLASTOS%	35
HALIMEDAS%	45	HALIMEDAS%	30
BIVALVOS%	0,3	BIVALVOS%	5
GASTERÓPODOS%	10	GASTERÓPODOS%	10
FORAMINÍFEROS%	4	FORAMINÍFEROS%	1
EQUINODERMOS%	1	EQUINODERMOS%	1
RESTOS DE CRUSTAC.%	1	RESTOS DE CRUSTAC.%	1
PELLETS / OOIDES %	10	RESTOS DE PECES%	1
LIMO / ARCILLA%	1,7	RESTOS DE VEG.%	1
		PELLETS / OOIDES %	11
		FRAG. DE ROCAS SED %	1
		LIMO / ARCILLA%	3

CALICATA#	10	CALICATA#	12
CAPA#	2	CAPA#	1
ESCOGIMIENTO	0,75	ESCOGIMIENTO	0,8
GRANULOMETRIA	250-350	GRANULOMETRIA	250-350
REDONDEZ	SR	REDONDEZ	SA
BIOCLASTOS%	41	BIOCLASTOS%	55
HALIMEDAS%	25	HALIMEDAS%	29
BIVALVOS%	5	BIVALVOS%	0,7
GASTERÓPODOS%	10	GASTERÓPODOS%	5
FORAMINÍFEROS%	0,5	EQUINODERMOS%	1
RESTOS DE CRUSTAC.%	2	RESTOS DE PECES%	0,6
PELLETS / OOIDES %	10	RESTOS DE VEG.%	0,7
LIMO / ARCILLA%	5	PELLETS / OOIDES %	5
FRAG. DE ROCAS SED %	1,5	LIMO / ARCILLA%	3

CALICATA#	12	CALICATA#	14
CAPA#	2	CAPA#	1
ESCOGIMIENTO	0,9	ESCOGIMIENTO	0,75
GRANULOMETRIA	350-500	GRANULOMETRIA	177-250
REDONDEZ	SR	REDONDEZ	SR
BIOCLASTOS%	50	BIOCLASTOS%	29
HALIMEDAS%	35	HALIMEDAS%	40
BIVALVOS%	1	BIVALVOS%	5
GASTERÓPODOS%	5	GASTERÓPODOS%	7
EQUINODERMOS%	1	FORAMINÍFEROS%	5
PELLETS / OOIDES %	6	RESTOS DE VEG%	0,6
LIMO / ARCILLA%	2	RESTOS DE CRUST%	0,4
		PELLETS / OOIDES %	2
		FRAG. DE CORALES%	10
		LIMO / ARCILLA%	1

CALICATA#	14	CALICATA#	14
CAPA#	2	CAPA#	3
ESCOGIMIENTO	0,75	ESCOGIMIENTO	0,95
GRANULOMETRIA	177-250	GRANULOMETRIA	250-350
REDONDEZ	SR	REDONDEZ	SR
BIOCLASTOS%	31	BIOCLASTOS%	29
HALIMEDAS%	43	HALIMEDAS%	50
BIVALVOS%	3	BIVALVOS%	3
GASTERÓPODOS%	8	GASTERÓPODOS%	6
FORAMINÍFEROS%	5	FORAMINÍFEROS%	5
EQUINODERMOS%	1	EQUINODERMOS%	1
RESTOS DE CRUST%	3	PELLETS / OOIDES %	6
PELLETS / OOIDES %	5		
LIMO / ARCILLA%	1		

CALICATA#	30	CALICATA#	30
CAPA#	1	CAPA#	2
ESCOGIMIENTO	0,75	ESCOGIMIENTO	0,71
GRANULOMETRIA	177-250	GRANULOMETRIA	177-250
REDONDEZ	SR	REDONDEZ	SR
BIOCLASTOS%	40	BIOCLASTOS%	35
HALIMEDAS%	25	HALIMEDAS%	25
BIVALVOS%	5	BIVALVOS%	10
GASTERÓPODOS%	8	GASTERÓPODOS%	10
FORAMINÍFEROS%	1	FORAMINÍFEROS%	1
EQUINODERMOS%	1	EQUINODERMOS%	1
PELLETS / OOIDES %	10	PELLETS / OOIDES %	15
LIMO / ARCILLA%	5	LIMO / ARCILLA%	2
FRAG. ROCAS SED%	5	FRAG. ROCAS SED%	1

CALICATA#	34	CALICATA#	34
CAPA#	1	CAPA#	2
ESCOGIMIENTO	0,5	ESCOGIMIENTO	0,5
GRANULOMETRIA	125-177	GRANULOMETRIA	125-177
REDONDEZ	SA	REDONDEZ	SA
BIOCLASTOS%	31	BIOCLASTOS%	25
BIVALVOS%	6	BIVALVOS%	8
OSTRÁCODOS%	9	EQUINODERMOS%	1
RESTOS DE PECES%	0,5	OSTRÁCODOS%	10
PELLETS / OOIDES %	1	RESTOS DE PECES%	0,5
LIMO / ARCILLA%	21	RESTOS DE VEGET%	1
FRAG. ROCAS MI%	1,5	LIMO / ARCILLA%	20
YESO%	30	FRAG. ROCAS MI%	1,5
		YESO%	33

CALICATA#	34	CALICATA#	35
CAPA#	3	CAPA#	1
ESCOGIMIENTO	0,4	ESCOGIMIENTO	0,5
GRANULOMETRIA	125-177	GRANULOMETRIA	177-250
REDONDEZ	SA	REDONDEZ	SA
BIOCLASTOS%	25	BIOCLASTOS%	35
BIVALVOS%	8	HALIMEDAS%	1
EQUINODERMOS%	0,5	BIVALVOS%	5
OSTRÁCODOS	10	OSTRÁCODOS%	10
RESTOS DE VEGET%	1	EQUINODERMOS%	1
LIMO / ARCILLA%	21	FORAMINÍFEROS	0,5
FRAG. ROCAS MI%	0,5	LIMO / ARCILLA%	18
YESO%	34	FRAG. ROCAS MI%	1
		FRAG. DE CORAL%	1,5
		YESO%	27

CALICATA#	35	CALICATA#	35
CAPA#	2	CAPA#	3
ESCOGIMIENTO	0,5	ESCOGIMIENTO	0,4
GRANULOMETRIA	177-250	GRANULOMETRIA	177-250
REDONDEZ	SA	REDONDEZ	SA
BIOCLASTOS%	35	BIOCLASTOS%	37
HALIMEDAS%	1	BIVALVOS%	6
BIVALVOS%	7	OSTRÁCODOS	6
GASTERÓPODOS%	1	FORAMINÍFEROS	0,7
EQUINODERMOS%	1	LIMO / ARCILLA%	20
OSTRÁCODOS%	8	FRAG. ROCAS MI%	0,5
FORAMINÍFEROS	1	FRAG. DE CORAL%	0,5
LIMO / ARCILLA%	17	YESO%	29,3
FRAG. ROCAS MI%	1		
FRAG. DE CORAL%	1		
YESO%	27		
CALICATA#	35	CALICATA#	35
CAPA#	4	CAPA#	5
ESCOGIMIENTO	1,5	ESCOGIMIENTO	2,2
GRANULOMETRIA	250-350	GRANULOMETRIA	350-500
REDONDEZ	SA	REDONDEZ	SA
BIOCLASTOS%	35	BIOCLASTOS%	65
HALIMEDAS%	1	HALIMEDAS%	2
BIVALVOS%	10	BIVALVOS%	7
GASTERÓPODOS%	10	GASTERÓPODOS%	4
EQUINODERMOS%	1	EQUINODERMOS%	2
OSTRÁCODOS	15	OSTRÁCODOS	1
FORAMINÍFEROS	1	FORAMINÍFEROS	1
LIMO / ARCILLA%	15	LIMO / ARCILLA%	15
FRAG. ROCAS MI%	1	FRAG. ROCAS MI%	1
FRAG. DE CORAL%	1	FRAG. DE CORAL%	2
YESO%	10	YESO%	0
CALICATA#	35	CALICATA#	37
CAPA#	6	CAPA#	1
ESCOGIMIENTO	2,5	ESCOGIMIENTO	0,8
GRANULOMETRIA	350-500	GRANULOMETRIA	177-250
REDONDEZ	SA	REDONDEZ	SA
BIOCLASTOS%	62	BIOCLASTOS%	25
HALIMEDAS%	7	BIVALVOS%	5
BIVALVOS%	0,6	GASTERÓPODOS%	3
GASTERÓPODOS%	3	OSTRÁCODOS%	10
EQUINODERMOS%	1	LIMO / ARCILLA%	10
FORAMINÍFEROS	1,4	FRAG. ROCAS MI%	7
LIMO / ARCILLA%	17	YESO%	40
FRAG. ROCAS MI%	1		
FRAG. DE CORAL%	7		

CALICATA#	37	CALICATA#	37
CAPA#	2	CAPA#	3
ESCOGIMIENTO	0,75	ESCOGIMIENTO	1,5
GRANULOMETRIA	177-250	GRANULOMETRIA	250-350
REDONDEZ	SA	REDONDEZ	SA
BIOCLASTOS%	14	BIOCLASTOS%	35
BIVALVOS%	5	HALIMEDAS%	22
GASTERÓPODOS%	2	BIVALVOS%	5
OSTRÁCODOS%	10	GASTERÓPODOS%	1
RESTOS DE PECES%	1	OSTRÁCODOS	5
LIMO / ARCILLA%	10	LIMO / ARCILLA%	5
FRAG. ROCAS MI%	3	FRAG. ROCAS MI%	2
FRAG. ROCAS SED%	25	FRAG. ROCAS SED%	25
YESO%	30		

CALICATA#	37	CALICATA#	37
CAPA#	4	CAPA#	5
ESCOGIMIENTO	0,8	ESCOGIMIENTO	3
GRANULOMETRIA	250-350	GRANULOMETRIA	1000-2000
REDONDEZ	SA	REDONDEZ	SA
BIOCLASTOS%	23	BIOCLASTOS%	20
HALIMEDAS%	20	HALIMEDAS%	20
BIVALVOS%	10	BIVALVOS%	10
GASTERÓPODOS%	3	GASTERÓPODOS%	2
EQUINODERMOS%	1,5	EQUINODERMOS%	1
OSTRÁCODOS	20	OSTRÁCODOS	5
FORAMINÍFEROS	0,5	RESTOS DE PECES%	1
RESTOS DE PECES%	1	FRAG. ROCAS MI%	5
RESTOS DE VERT%	1	FRAG. ROCAS SED%	36
LIMO / ARCILLA%	9		
FRAG. ROCAS MI%	1		
FRAG. ROCAS SED%	10		

CALICATA#	40	CALICATA#	40
CAPA#	1	CAPA#	2
ESCOGIMIENTO	0,8	ESCOGIMIENTO	0,6
GRANULOMETRIA	62	GRANULOMETRIA	177-250
REDONDEZ	SA	REDONDEZ	SR
BIOCLASTOS%	1	BIOCLASTOS%	20
BIVALVOS%	0,5	BIVALVOS%	18
LIMO / ARCILLA%	63,5	GASTERÓPODOS%	1
YESO%	35	RESTOS DE PECES%	1
		LIMO / ARCILLA%	25
		YESO%	35

CALICATA#	40	CALICATA#	41
CAPA#	3	CAPA#	1
ESCOGIMIENTO	0,6	ESCOGIMIENTO	0,6
GRANULOMETRIA	250-350	GRANULOMETRIA	62
REDONDEZ	SA	REDONDEZ	SA
BIOCLASTOS%	34	BIOCLASTOS%	1
BIVALVOS%	15	BIVALVOS%	0,5
GASTERÓPODOS%	5	GASTERÓPODOS%	1
OSTRÁCODOS	15	OSTRÁCODOS%	1,5
LIMO / ARCILLA%	20	LIMO / ARCILLA%	65
FRAG. ROCAS MI%	1	FRAG. ROCAS MI%	1
YESO%	10	YESO%	30
CALICATA#	41	CALICATA#	41
CAPA#	2	CAPA#	3
ESCOGIMIENTO	0,6	ESCOGIMIENTO	0,8
GRANULOMETRIA	62	GRANULOMETRIA	250-350
REDONDEZ	SR	REDONDEZ	SA
BIOCLASTOS%	10	BIOCLASTOS%	0
BIVALVOS%	3	BIVALVOS%	5
GASTERÓPODOS%	1	GASTERÓPODOS%	3
OSTRÁCODOS%	4	OSTRÁCODOS	10
RESTOS DE PECES%	2	RESTOS DE PECES%	1
LIMO / ARCILLA%	75	LIMO / ARCILLA%	42
YESO%	5	FRAG. ROCAS MI%	2
		FRAG. ROCAS SED%	2
		YESO%	35
CALICATA#	44	CALICATA#	44
CAPA#	1	CAPA#	2
ESCOGIMIENTO	0,8	ESCOGIMIENTO	0,8
GRANULOMETRIA	177-250	GRANULOMETRIA	177-250
REDONDEZ	SA	REDONDEZ	SR
BIOCLASTOS%	10	BIOCLASTOS%	30
BIVALVOS%	3	HALIMEDAS%	20
GASTERÓPODOS%	0	BIVALVOS%	15
OSTRÁCODOS%	2	GASTERÓPODOS%	1
LIMO / ARCILLA%	10	OSTRÁCODOS%	2
RESTOS DE VEGET%	1	EQUINODERMOS%	2
FRAG. ROCAS MI%	2	RESTOS DE VEGET%	2
YESO%	72	LIMO / ARCILLA%	5
		FRAG. DE ROCAS MI%	3
		YESO%	20

CALICATA#	44	CALICATA#	44
CAPA#	3	CAPA#	4
ENDURECIDA SIMILAR A C4		ESCOGIMIENTO	0,8
		GRANULOMETRIA	177-250
		REDONDEZ	R
CALICATA#	46	BIOCLASTOS%	34
CAPA#	1	BIVALVOS%	24
ESCOGIMIENTO	3	GASTERÓPODOS%	2
GRANULOMETRIA	350-500	OSTRÁCODOS%	30
REDONDEZ	SR	FORAMINÍFEROS%	0,5
BIOCLASTOS%	17	EQUINODERMOS%	1
HALIMEDAS%	20	RESTOS DE VEGET%	2
BIVALVOS%	5	RESTOS DE VERTB%	0,5
EQUINODERMOS%	2	LIMO / ARCILLA%	5
OSTRÁCODOS%	1,5	YESO%	1
RESTOS DE PECES%	0,5		
LIMO / ARCILLA%	8	CALICATA#	46
FRAG. ROCAS MI%	7	CAPA#	3
FRAG. ROCAS SED%	3	ESCOGIMIENTO	3
YESO%	36	GRANULOMETRIA	250-350
		REDONDEZ	SR
CALICATA#	46	BIOCLASTOS%	20,4
CAPA#	2	HALIMEDAS%	25
ESCOGIMIENTO	1,5	BIVALVOS%	15
GRANULOMETRIA	250-350	GASTERÓPODOS%	8
REDONDEZ	SA	OSTRÁCODOS	0,6
BIOCLASTOS%	25	LIMO / ARCILLA%	12
HALIMEDAS%	30	RESTOS DE VERT%	1
BIVALVOS%	9	RESTOS DE PECES%	1
GASTERÓPODOS%	3	FRAG. ROCAS MI%	2
EQUINODERMOS%	1	FRAG. ROCAS SED%	15
OSTRÁCODOS%	0,5		
RESTOS DE PECES%	1,5	CALICATA#	47
LIMO / ARCILLA%	5	CAPA#	1
FRAG. ROCAS MI%	5	ESCOGIMIENTO	0,8
FRAG. ROCAS SED%	10	GRANULOMETRIA	64
YESO%	10	REDONDEZ	SR
		BIOCLASTOS%	15
CALICATA#	47	HALIMEDAS%	10
CAPA#	2	BIVALVOS%	4
ESCOGIMIENTO	0,8	OSTRÁCODOS%	2
GRANULOMETRIA	177-250	FORAMINIFEROS%	1
REDONDEZ	SA	RESTOS DE VEGET%	5
BIOCLASTOS%	1	LIMO / ARCILLA%	10
LIMO / ARCILLA%	10	FRAG. ROCAS MI%	3
FRAG. ROCAS MI%	4	FRAG. ROCAS SED%	5
YESO%	85	YESO%	45

CALICATA#	47	CALICATA#	47
CAPA#	3	CAPA#	4
ESCOGIMIENTO	1,5	ESCOGIMIENTO	0,8
GRANULOMETRIA	250-350	GRANULOMETRIA	250-350
REDONDEZ	SA	REDONDEZ	SA
BIOCLASTOS%	20	BIOCLASTOS%	20
GASTERÓPODOS%	0,2	HALIMEDAS%	5
EQUINODERMOS%	0,5	BIVALVOS%	5
RESTOS DE PECES%	0,3	GASTERÓPODOS%	2
RESTOS DE VERT%	1	EQUINODERMOS%	0,5
LIMO / ARCILLA%	10	OSTRÁCODOS	5
FRAG. ROCAS MI%	3	FORAMINÍFEROS	0,5
FRAG. ROCAS SED%	15	RESTOS DE PECES%	0,4
YESO%	50	RESTOS DE CRUST%	0,6
CALICATA#	47	LIMO / ARCILLA%	10
CAPA#	5	FRAG. ROCAS MI%	2
ESCOGIMIENTO	0,85	FRAG. ROCAS SED%	10
GRANULOMETRIA	177-250	YESO%	39
REDONDEZ	SA	CALICATA#	47
BIOCLASTOS%	24	CAPA#	6
HALIMEDAS%	5	ESCOGIMIENTO	0,8
BIVALVOS%	38	GRANULOMETRIA	177-250
GASTERÓPODOS%	5	REDONDEZ	SA
EQUINODERMOS%	1	BIOCLASTOS%	17
OSTRÁCODOS%	15	HALIMEDAS%	3
FORAMINÍFEROS%	1	BIVALVOS%	19
RESTOS DE PECES%	1	GASTERÓPODOS%	3
RESTOS DE VEGET%	1	EQUINODERMOS%	0,6
RESTOS DE CRUST%	1	OSTRÁCODOS%	23
LIMO / ARCILLA%	5	FORAMINÍFEROS%	0,4
FRAG. ROCAS MI%	3	RESTOS DE PECES%	1
CALICATA#	47	RESTOS DE VEGET%	7
CAPA#	7	RESTOS DE CRUST%	1
ESCOGIMIENTO	0,8	LIMO / ARCILLA%	12
GRANULOMETRIA	177-250	PELLET / OOIDES	5
REDONDEZ	SA	FRAG. ROCAS MI%	3
BIOCLASTOS%	15	YESO%	5
HALIMEDAS%	3		
BIVALVOS%	25		
GASTERÓPODOS%	7		
OSTRÁCODOS%	15		
FORAMINÍFEROS%	1		
RESTOS DE PECES%	1		
RESTOS DE VEGET%	10		
LIMO / ARCILLA%	15		
FRAG. ROCAS MI%	3		
FRAG. ROCAS SED%	5		

CALICATA#	47	CALICATA#	49
CAPA#	8	CAPA#	1
ESCOGIMIENTO	0,8	ESCOGIMIENTO	1,5
GRANULOMETRIA	177-250	GRANULOMETRIA	350-500
REDONDEZ	SA	REDONDEZ	SR
BIOCLASTOS%	19	BIOCLASTOS%	35
HALIMEDAS%	4	HALIMEDAS%	28
BIVALVOS%	15	BIVALVOS%	7
GASTERÓPODOS%	6	GASTERÓPODOS%	7
OSTRÁCODOS%	10	EQUINODERMOS%	2
EQUINODERMOS%	1	OSTRÁCODOS%	0,5
FORAMINÍFEROS%	0,5	RESTOS DE VEGET%	1
RESTOS DE PECES%	1,5	LIMO / ARCILLA%	3
RESTOS DE VEGET%	10	FRAG. ROCAS MI%	1,5
LIMO / ARCILLA%	30	FRAG. ROCAS SED%	15
FRAG. ROCAS MI%	2		
FRAG. ROCAS SED%	1		

CALICATA#	49
CAPA#	3
ESCOGIMIENTO	3
GRANULOMETRIA	250-350
REDONDEZ	SR
BIOCLASTOS%	20,4
HALIMEDAS%	25
BIVALVOS%	15
GASTERÓPODOS%	8
OSTRÁCODOS	0,6
FORAMINÍFEROS	0
LIMO / ARCILLA%	12
RESTOS DE VERT%	1
RESTOS DE PECES%	1
FRAG. ROCAS MI%	2
FRAG. ROCAS SED%	15

CALICATA#	49
CAPA#	2
ESCOGIMIENTO	0,8
GRANULOMETRIA	350-500
REDONDEZ	SA
BIOCLASTOS%	31
HALIMEDAS%	35
BIVALVOS%	5
GASTERÓPODOS%	10
EQUINODERMOS%	2
OSTRÁCODOS%	0,4
FORAMINÍFEROS	0,3
RESTOS DE PECES%	1,3
RESTOS DE CRUST%	1
LIMO / ARCILLA%	3
FRAG. ROCAS MI%	1
FRAG. ROCAS SED%	10

CALICATA#	50
CAPA#	2
ESCOGIMIENTO	3,2
GRANULOMETRIA	250-350
REDONDEZ	SR
BIOCLASTOS%	30
HALIMEDAS%	25
BIVALVOS%	8
GASTERÓPODOS%	1
FORAMINÍFEROS%	20
EQUINODERMOS%	1
OSTRÁCODOS%	5
LIMO / ARCILLA%	10

CALICATA#	50	CALICATA#	50
CAPA#	1	CAPA#	3
ESCOGIMIENTO	1,5	ESCOGIMIENTO	1,5
GRANULOMETRIA	177-250	GRANULOMETRIA	177-250
REDONDEZ	SR	REDONDEZ	SA
BIOCLASTOS%	14	BIOCLASTOS%	20
HALIMEDAS%	5	HALIMEDAS%	6
BIVALVOS%	3	BIVALVOS%	3
GASTERÓPODOS%	0,5	GASTERÓPODOS%	2
EQUINODERMOS%	1	EQUINODERMOS%	1
FORAMINÍFEROS%	25	OSTRÁCODOS	4
OSTRÁCODOS%	5	FORAMINÍFEROS	18
LIMO / ARCILLA%	20	RESTOS DE VEGET%	25
RESTOS DE VEGET%	25	RESTOS DE CRUST%	1
RESTOS DE CRUST%	1	LIMOS / ARCILLA%	20
PELLETS / OOIDES%	0,5		
CALICATA#	50	BOX CORE	3
CAPA#	4	CAPA#	1
ESCOGIMIENTO	0,8	ESCOGIMIENTO	1,5
GRANULOMETRIA	250-350	GRANULOMETRIA	250-350
REDONDEZ	SA	REDONDEZ	SR
BIOCLASTOS%	30	BIOCLASTOS%	25
HALIMEDAS%	37	HALIMEDAS%	20
BIVALVOS%	10	BIVALVOS%	6
GASTERÓPODOS%	8	GASTERÓPODOS%	7
EQUINODERMOS%	1	OSTRÁCODOS%	5
OSTRÁCODOS	5	FORAMINÍFEROS%	3
LIMO / ARCILLA%	9	PELLETS / OOIDES %	5
		FRAG. ROCAS MI%	1
		FRAG. ROCAS SED%	2
		LIMOS / ARCILLA%	26
BOX CORE	3		
CAPA#	2	BOX CORE	4
ESCOGIMIENTO	1,5	CAPA#	1
GRANULOMETRIA	250-350	ESCOGIMIENTO	0,35
REDONDEZ	SA	GRANULOMETRIA	250-350
BIOCLASTOS%	20	REDONDEZ	SR
HALIMEDAS%	40	BIOCLASTOS%	20
BIVALVOS%	8	HALIMEDAS%	15
GASTERÓPODOS%	15	BIVALVOS%	7
PELLETS / OOIDES %	7	GASTERÓPODOS%	3
LIMO / ARCILLA%	10	OSTRÁCODOS%	15
		FORAMINÍFEROS%	10
		RESTOS DE VEGET%	5
		PELLETS / OOIDES %	5
		LIMO / ARCILLA%	20

BOX CORE	4
CAPA#	2
ESCOGIMIENTO	1,5
GRANULOMETRIA	250-350
REDONDEZ	SR
BIOCLASTOS%	25
HALIMEDAS%	45
BIVALVOS%	5
GASTERÓPODOS%	15
OSTRÁCODOS%	1
RESTOS DE CRUSTAC%	1
LIMOS / ARCILLA%	8

BOX CORE	5
CAPA#	1
ESCOGIMIENTO	1,5
GRANULOMETRIA	250-350
REDONDEZ	SA
BIOCLASTOS%	15
HALIMEDAS%	10
BIVALVOS%	10
GASTERÓPODOS%	6
OSTRÁCODOS%	1
FORAMINÍFEROS%	25
RESTOS DE VEGET%	8
LIMO / ARCILLA%	25

BOX CORE	5
CAPA#	2
ESCOGIMIENTO	0,8
GRANULOMETRIA	177-250
REDONDEZ	SR
BIOCLASTOS%	20
HALIMEDAS%	15
BIVALVOS%	7
GASTERÓPODOS%	10
EQUINODERMOS%	1
FORAMINÍFEROS%	30
OSTRÁCODOS%	1
RESTOS DE VEGET%	8
LIMOS / ARCILLA%	8

ANEXO 3

- **Distribución porcentual de la composición en los sedimentos rudáceos presentes en las terrazas de tormenta nororientales (secciones 1, 2 y 3) y la boca del Mal Viento**

seccion # 1
ap= 82.7586207
rp= 7.5862069
sid= 2.75862069
dip= 4.13793103
ac= 2.75862069

mal viento# 1
ap= 60.6451613
md= 28.3870968
dip= 6.4516129
dior= 1.29032258
fr= 0.64516129
mg= 1.93548387
bot= 0.64516129

seccion # 2
ap= 78.1659389
rp= 2.18340611
sid= 13.1004367
CN= 0.43668122
ac= 1.31004367
mont= 1.31004367
dip= 2.62008734
gast= 0.87336245

mal viento# 2
ap= 5.45454545
md= 85.4545455
dip= 0
dior= 5.45454545
fr= 1.81818182
montast= 1.81818182
bot= 0

seccion # 3
ap= 51.8292683
rp= 34.7560976
ac= 11.5853659
mont= 1.2195122
dip= 0.6097561

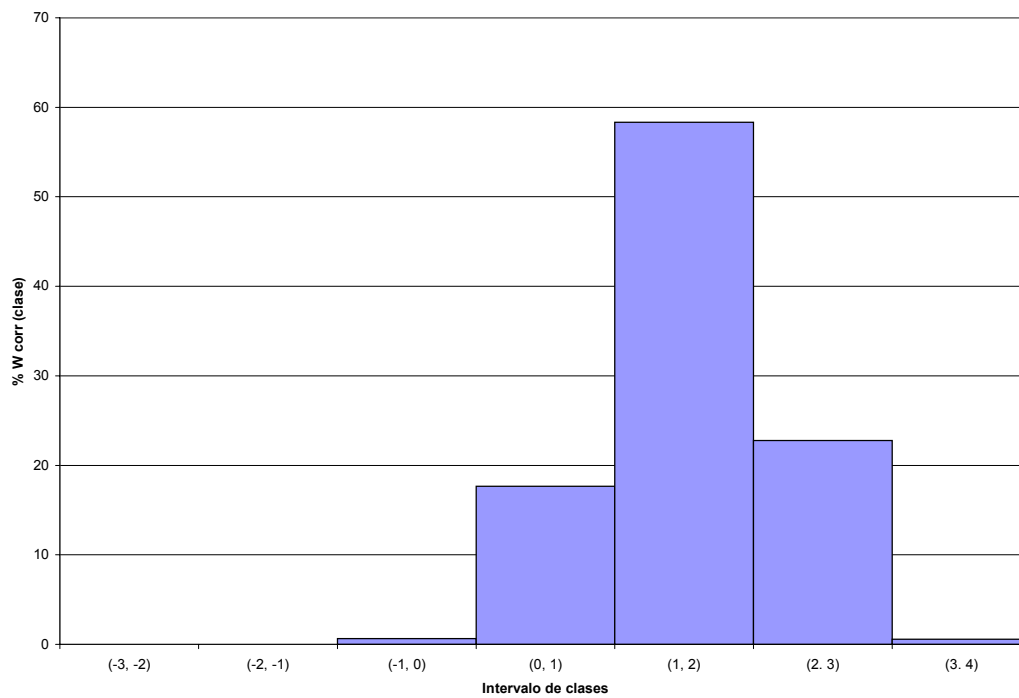
leyenda:

ap= Acropora palmata
rp= Roca de playa
sid= Siderastrea sp.
dip= Diploria sp.
ac= Acropora cervicornis
md= Meta Diabasa
dior= Diorita
mg= Meta gabro
bot= Botutos (Strombus gigas)
CN= Colpophilia natans
mont= Montastrea sp.

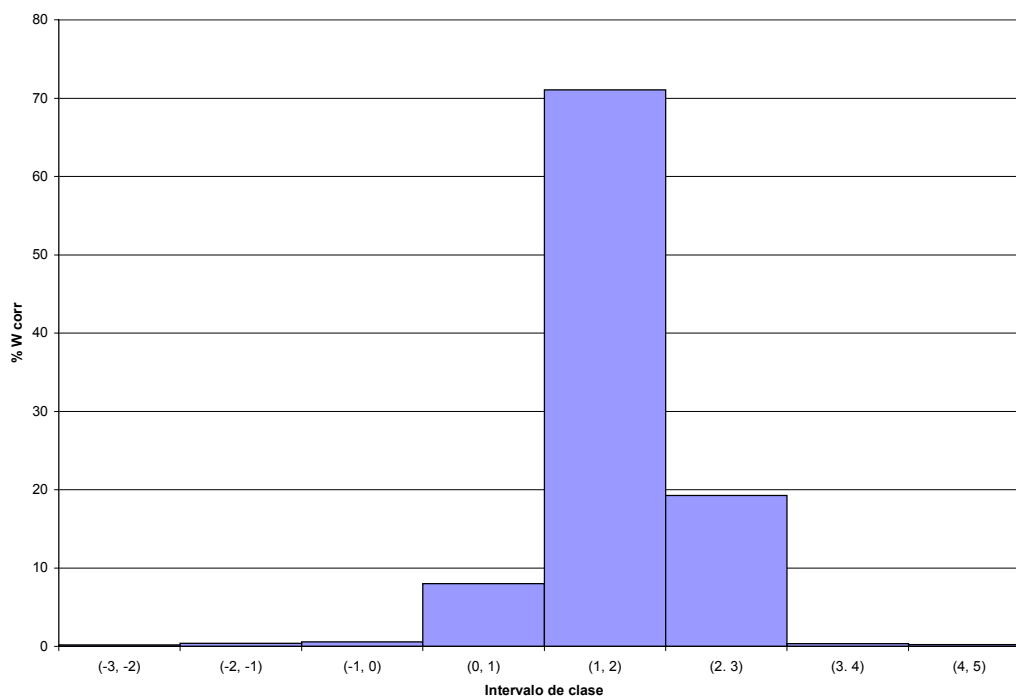
ANEXO 4

- **Histogramas de frecuencia para las arenas LR-AR N°:1, 2, 3, 4, 4-a, 4-b, 5, 5-a, 6, 6-a, 7, 8, 9, 9-a, 10, 10-a, 11, 12, 12-a, 13, 14, 15 y las gravas de las terrazas de tormenta nororientales y la Boca del Mal Viento.**
- **Parámetros estadísticos obtenidos para todos los histogramas: escogimiento de Folk (1974), mediana, kurtosis y asimetría**

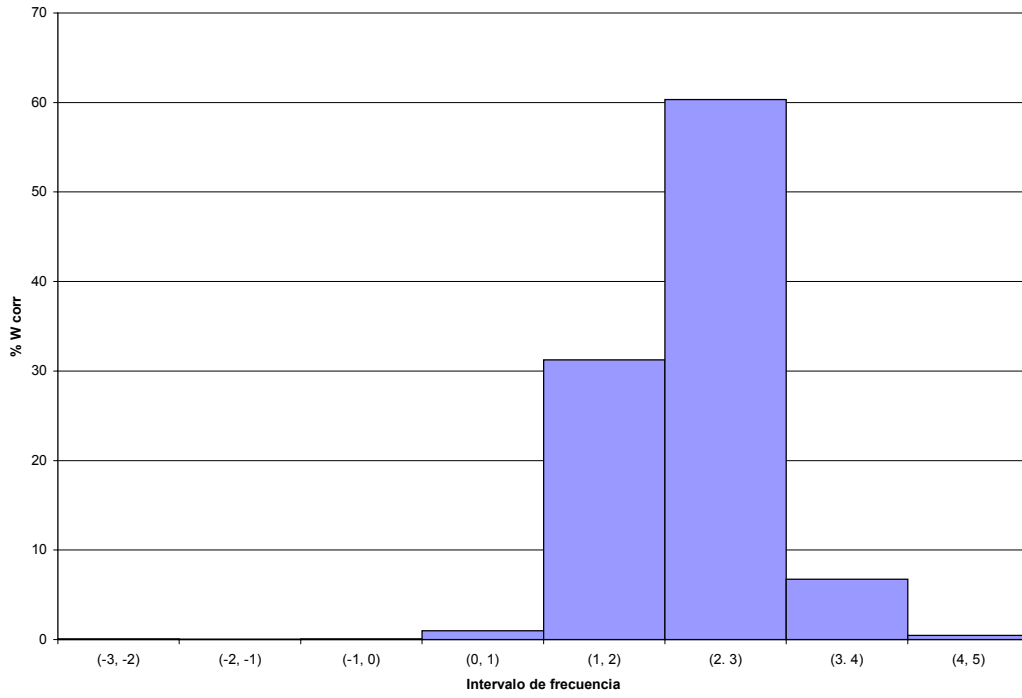
Histograma de frecuencia LR-AR-1



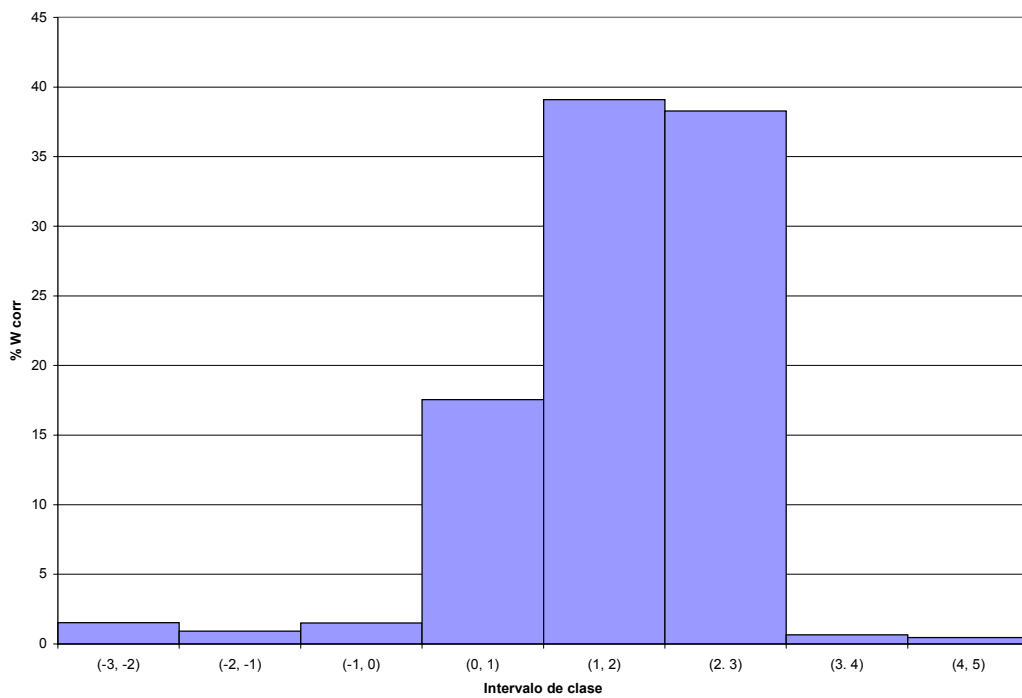
Histograma de frecuencia LR-AR-2



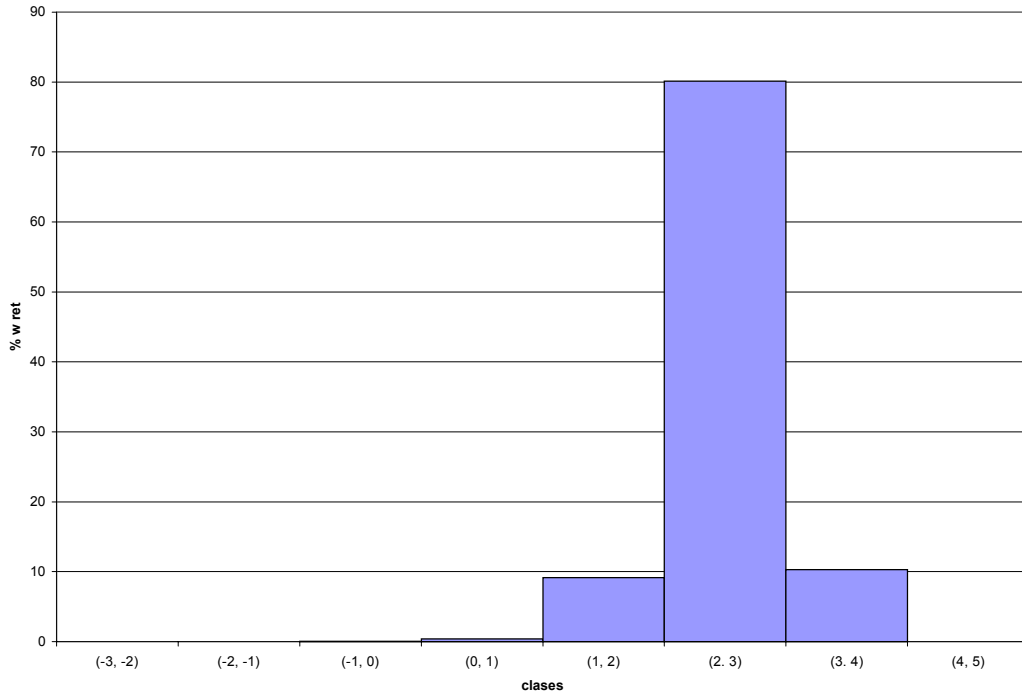
Histograma de frecuencia LR-AR-2A



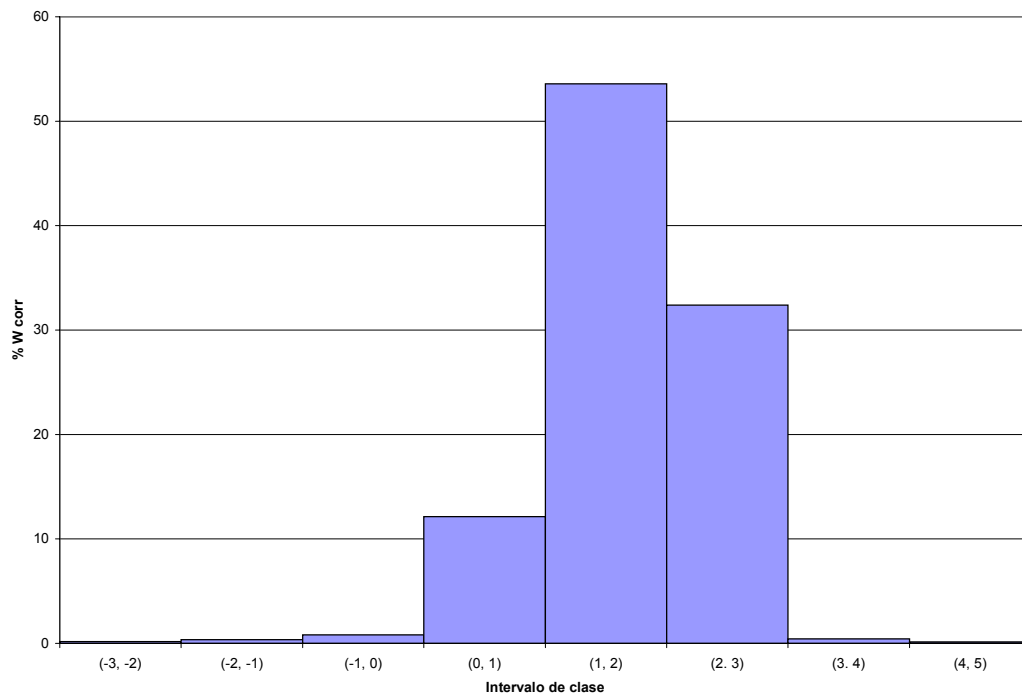
Histograma de frecuencia LR-AR-3



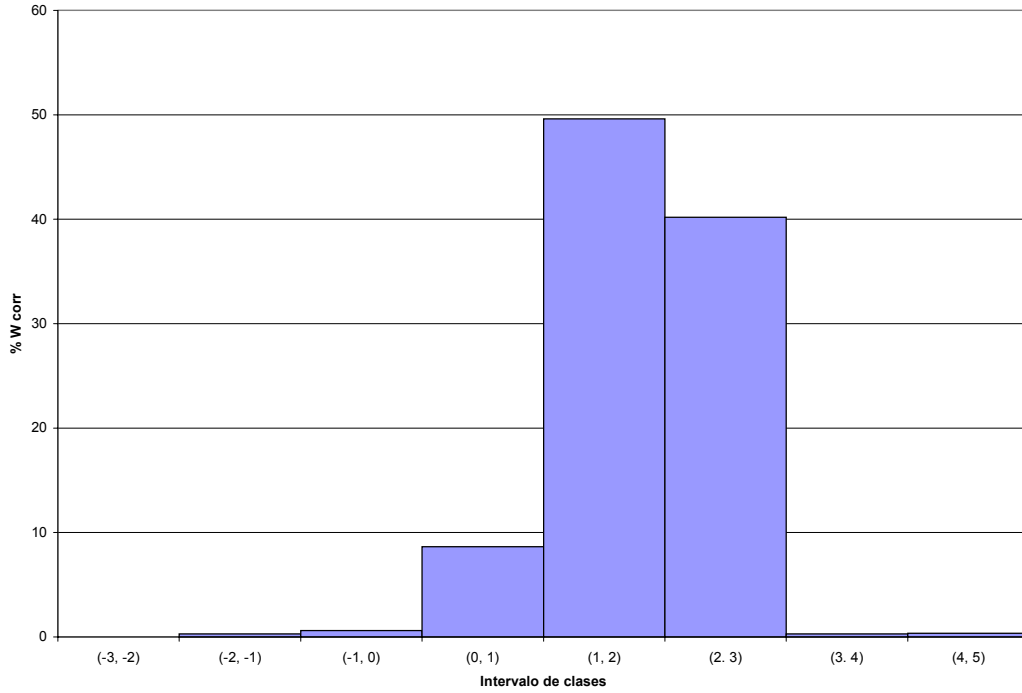
Histograma de frecuencia LR-AR-4



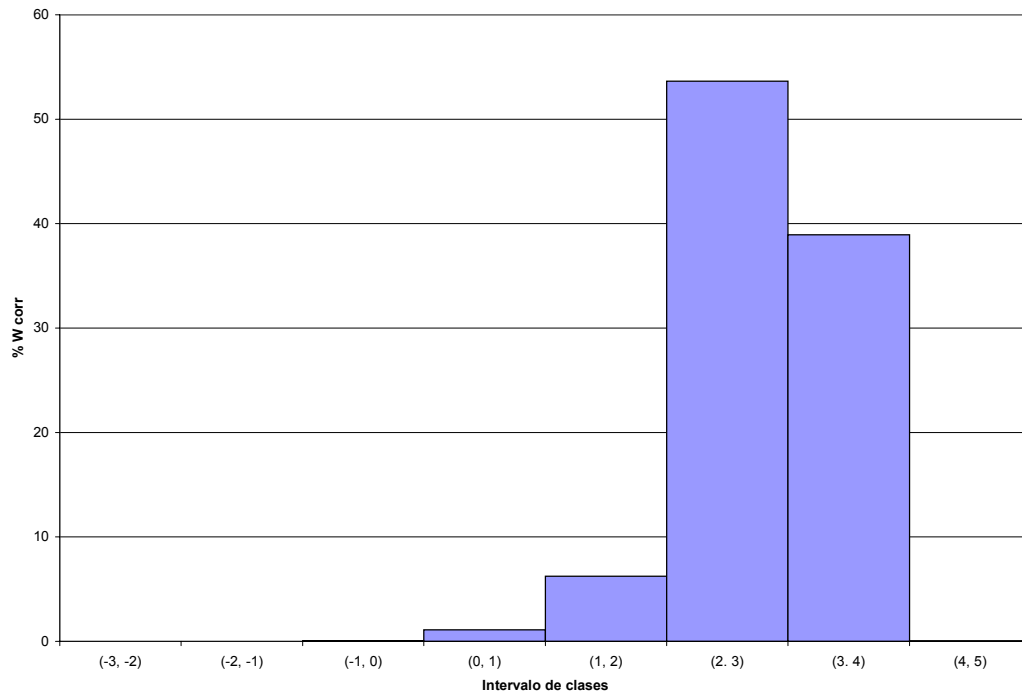
Histograma frecuencia LR-AR-4A



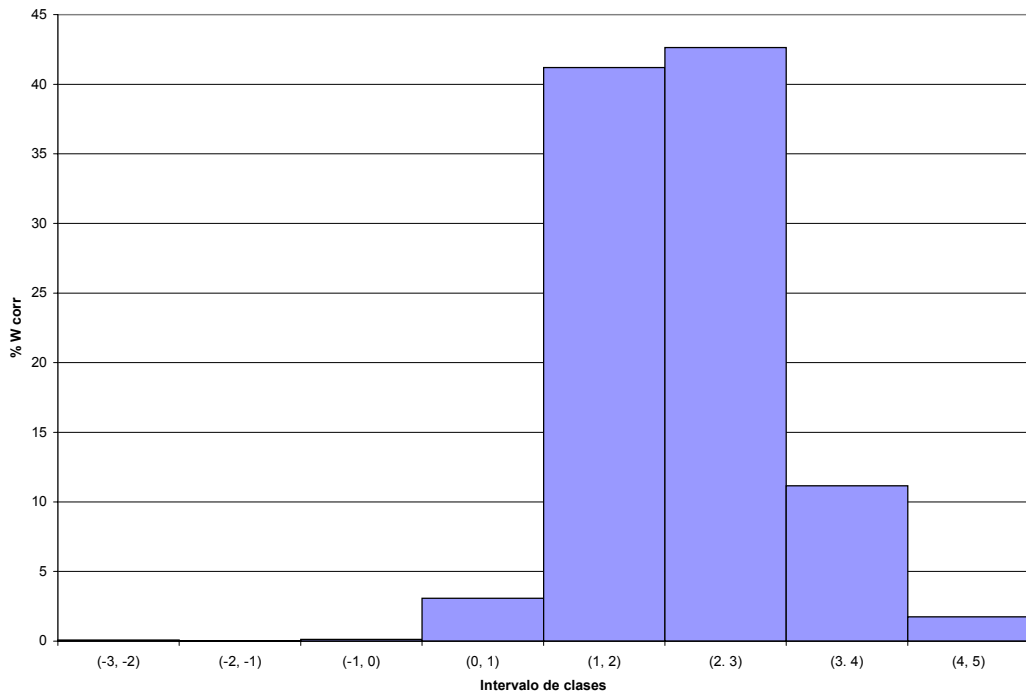
Histograma de frecuencia LR-AR-4B



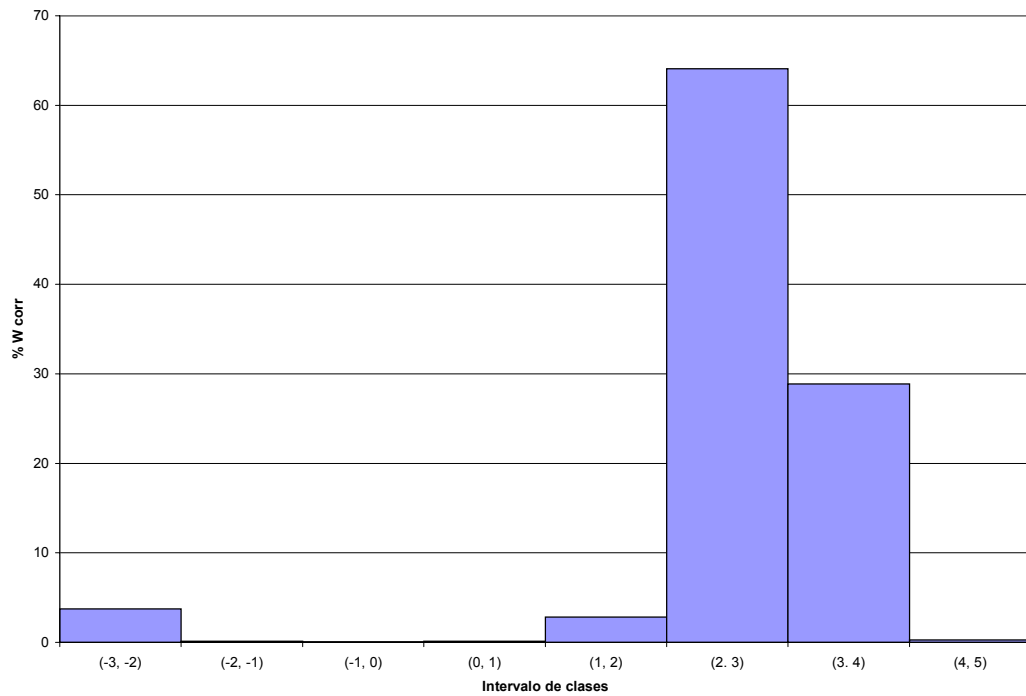
Histograma de frecuencia LR-AR-5



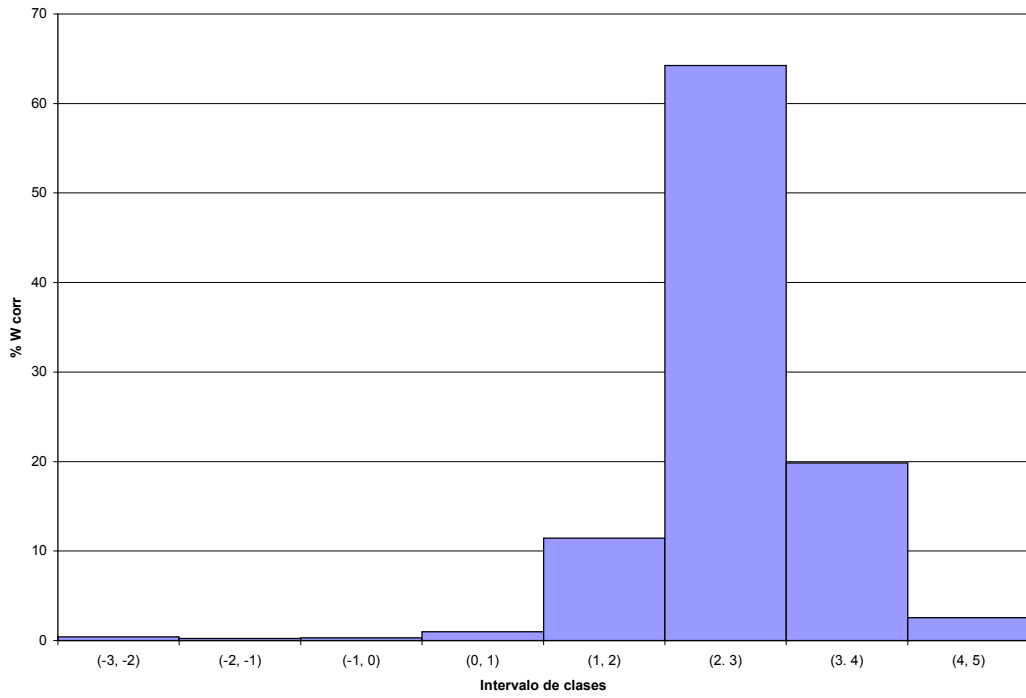
Histograma de frecuencia LR-AR-5A



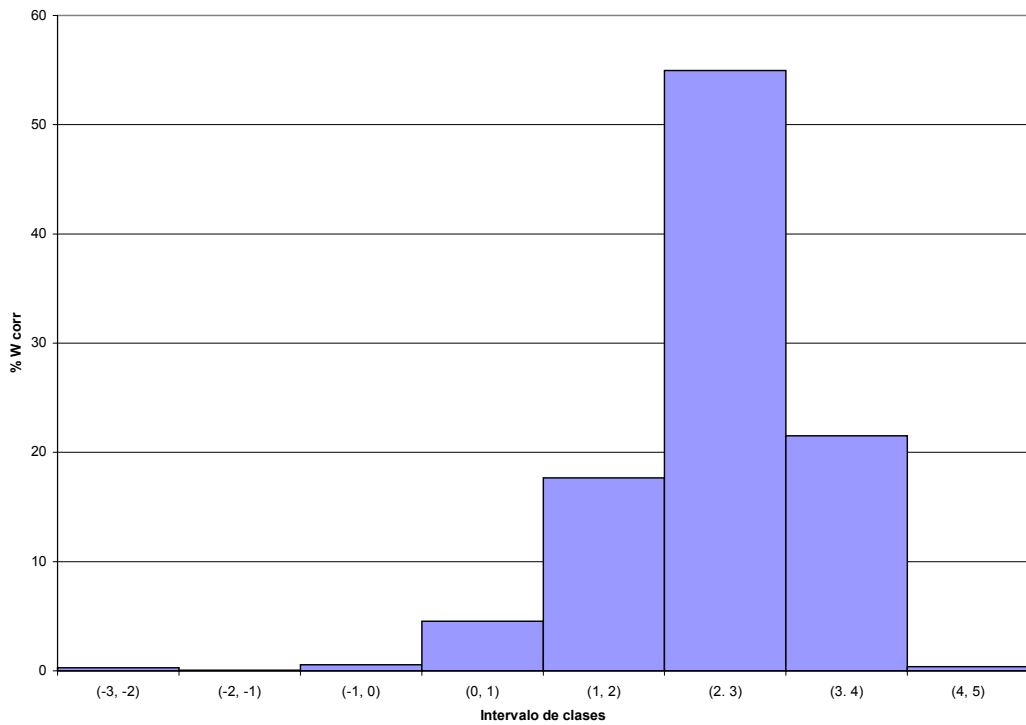
Histograma de frecuencia LR-AR-6



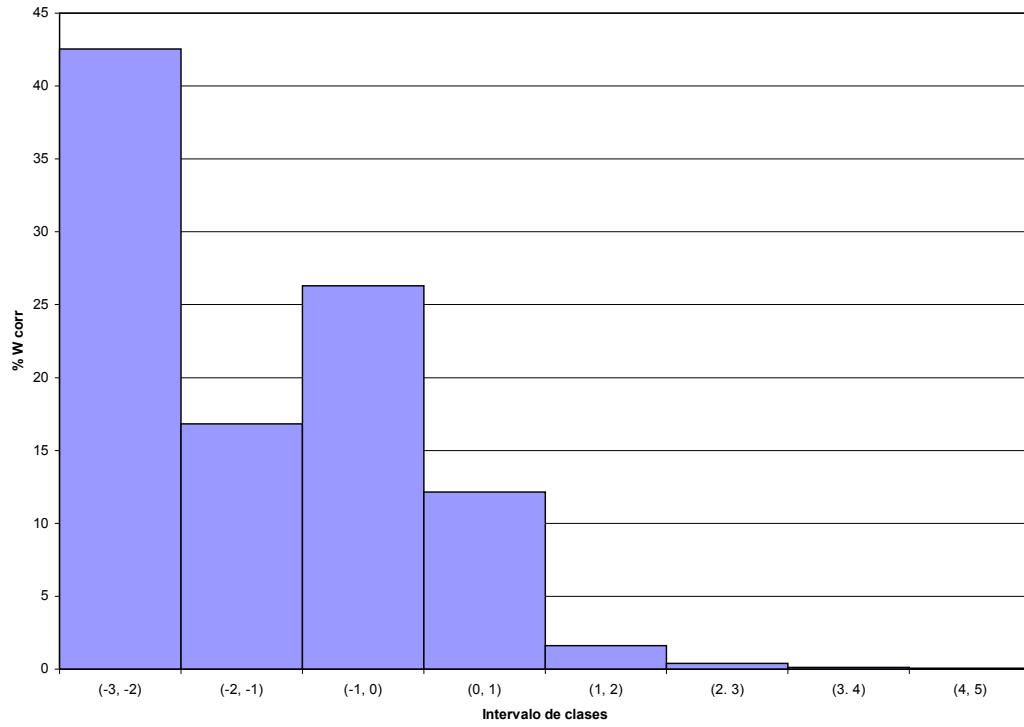
Histograma de frecuencia LR-AR-6A



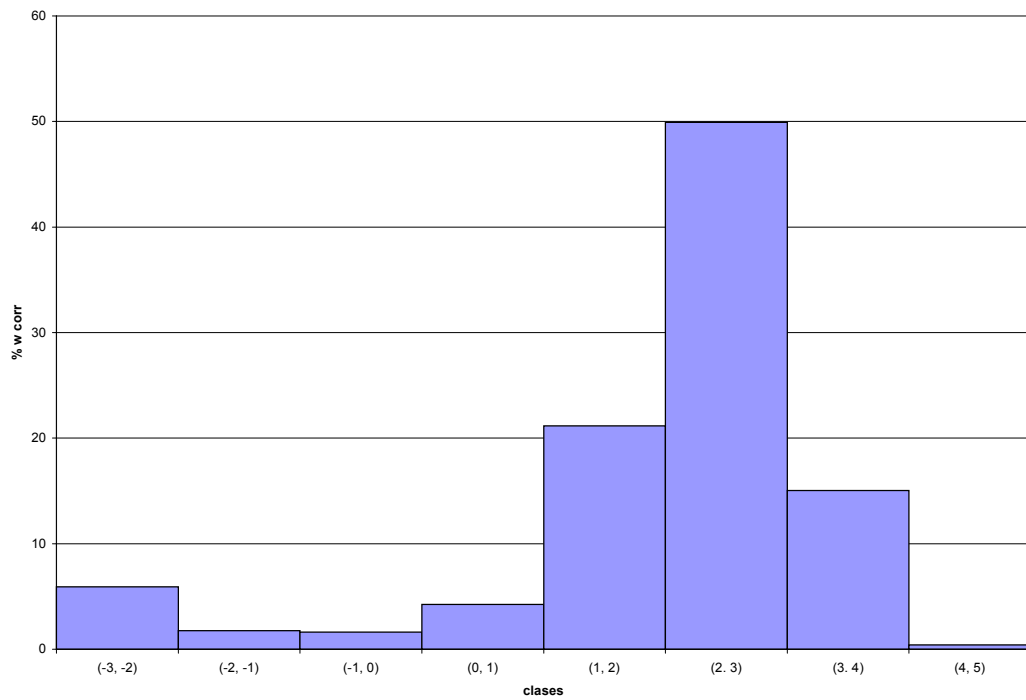
Histograma de frecuencias LR-AR-7



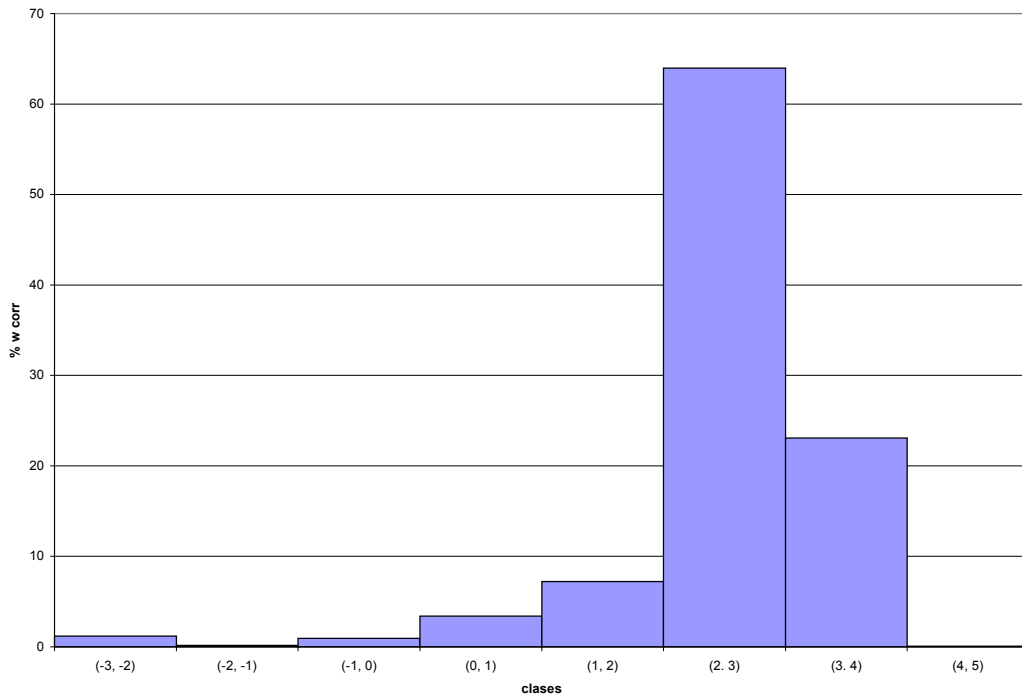
Histograma de frecuencias LR-AR-8



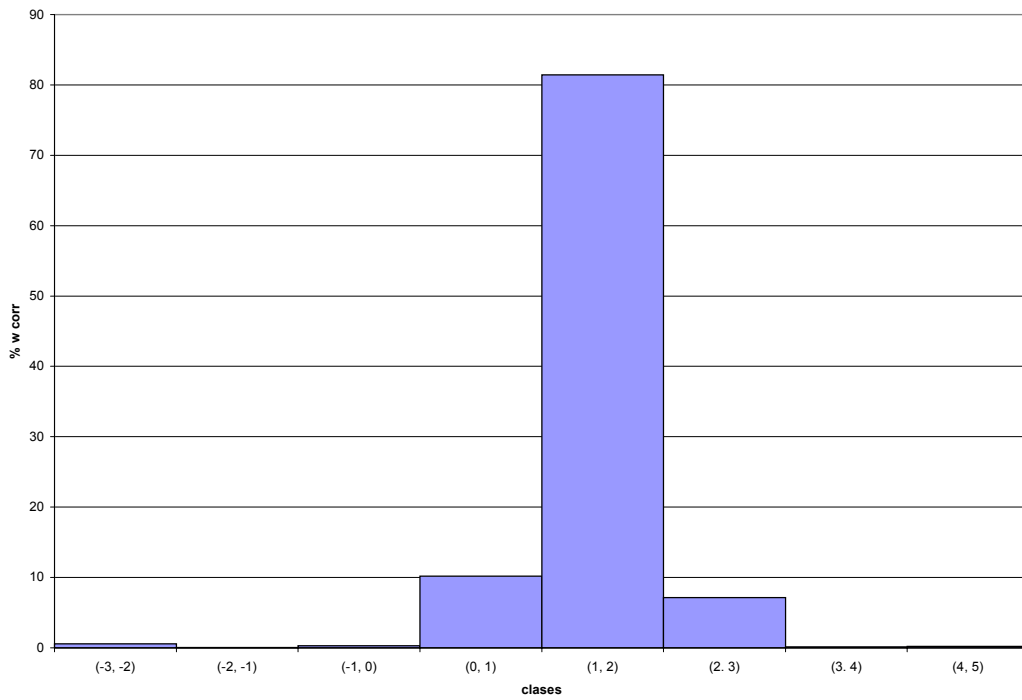
Histograma de frecuencia LR-AR-9



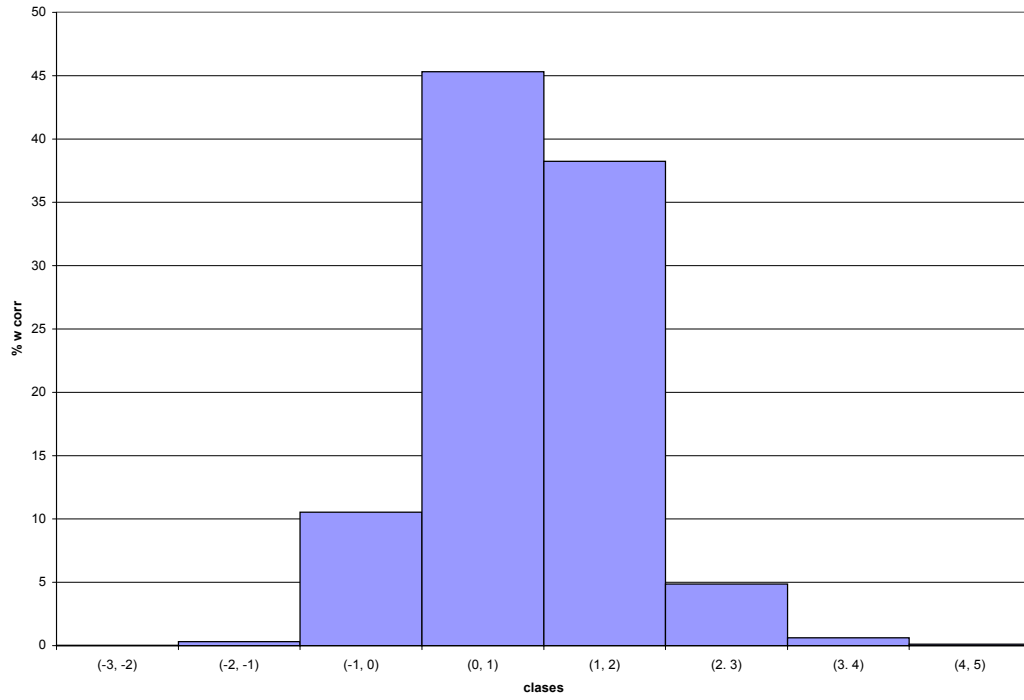
Histograma de frecuencia LR-AR-9A



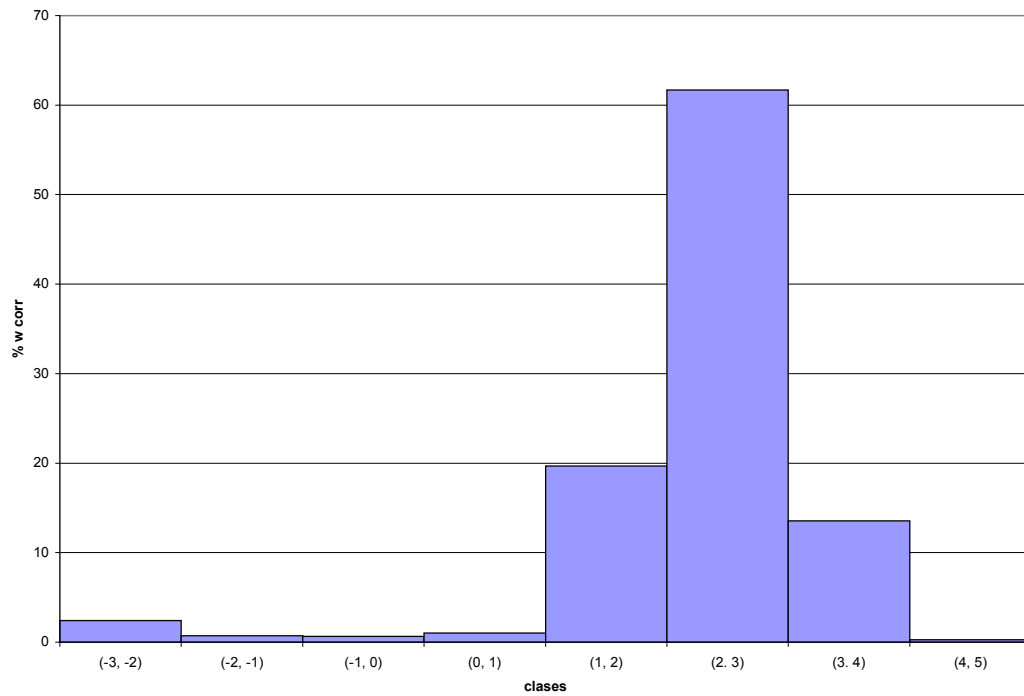
Histograma de frecuencia LR-AR-10



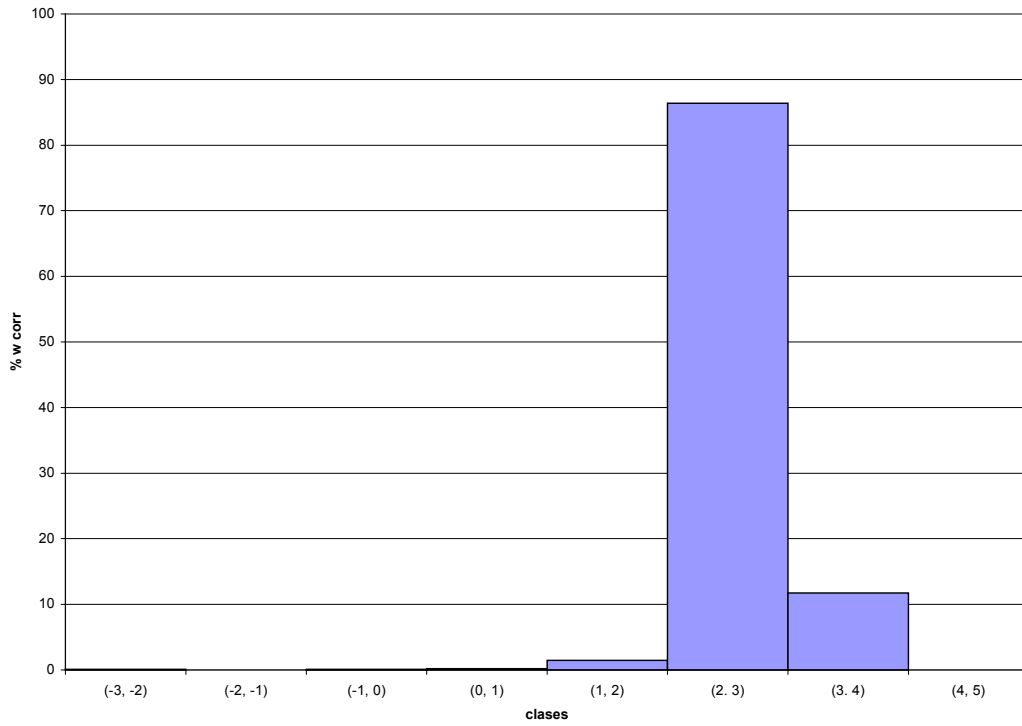
Histograma de frecuencia LR-AR-10A



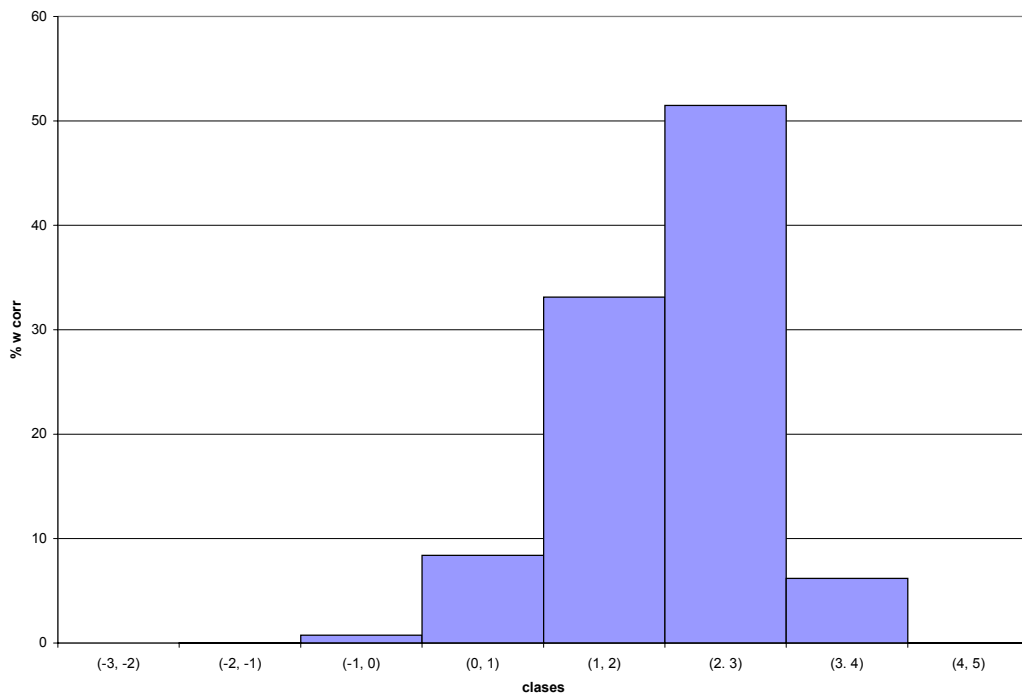
Histograma de frecuencia LR AR-11



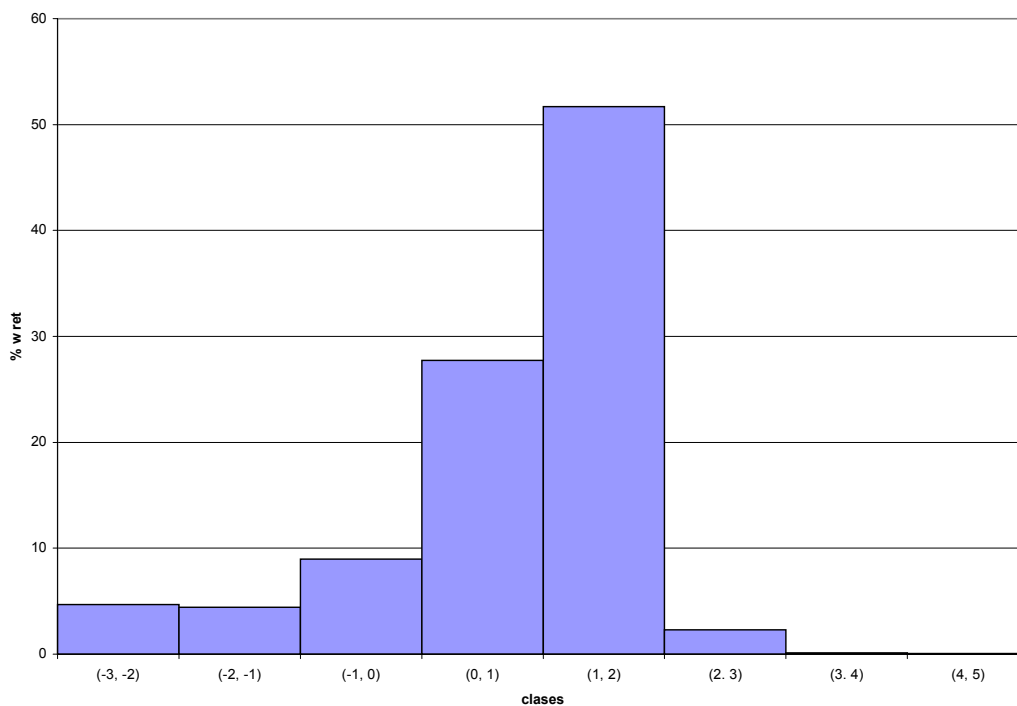
Histograma de frecuencia LR-AR-12



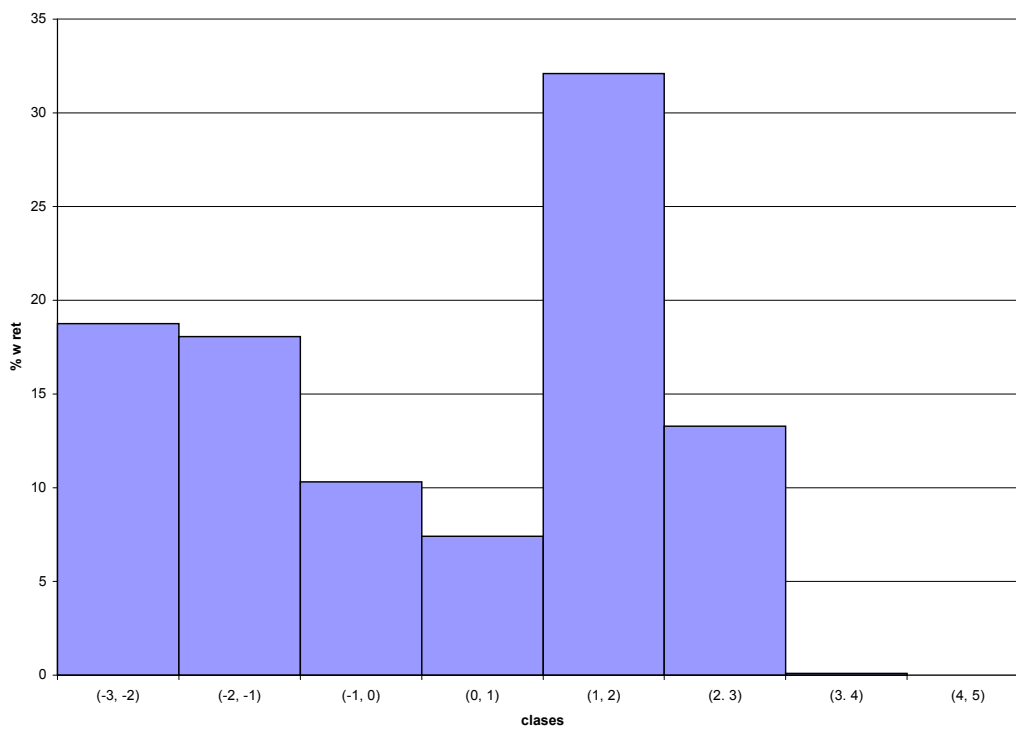
Histograma de frecuencia LR-AR-12A



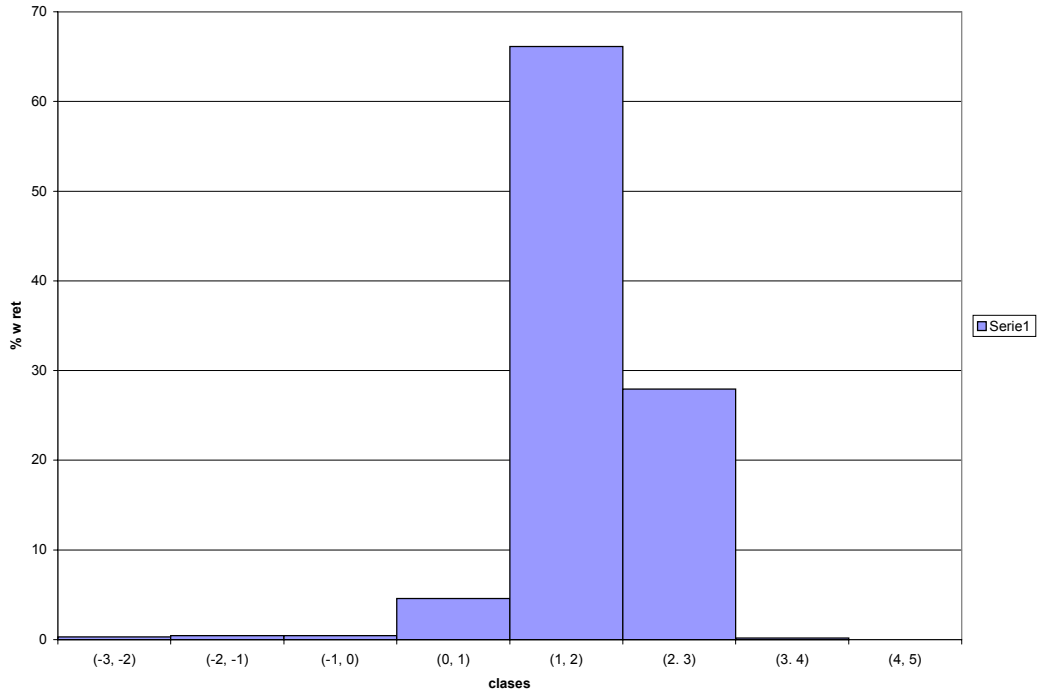
Histortama de frecuencia LR-AR-13



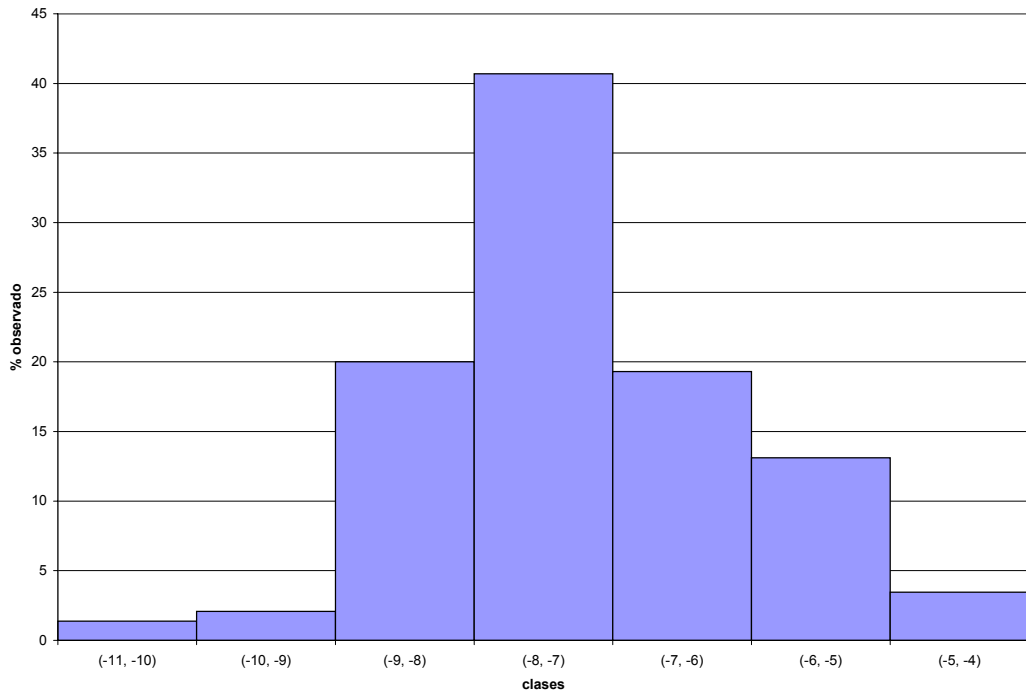
Histograma de frecuencia LR-AR-14



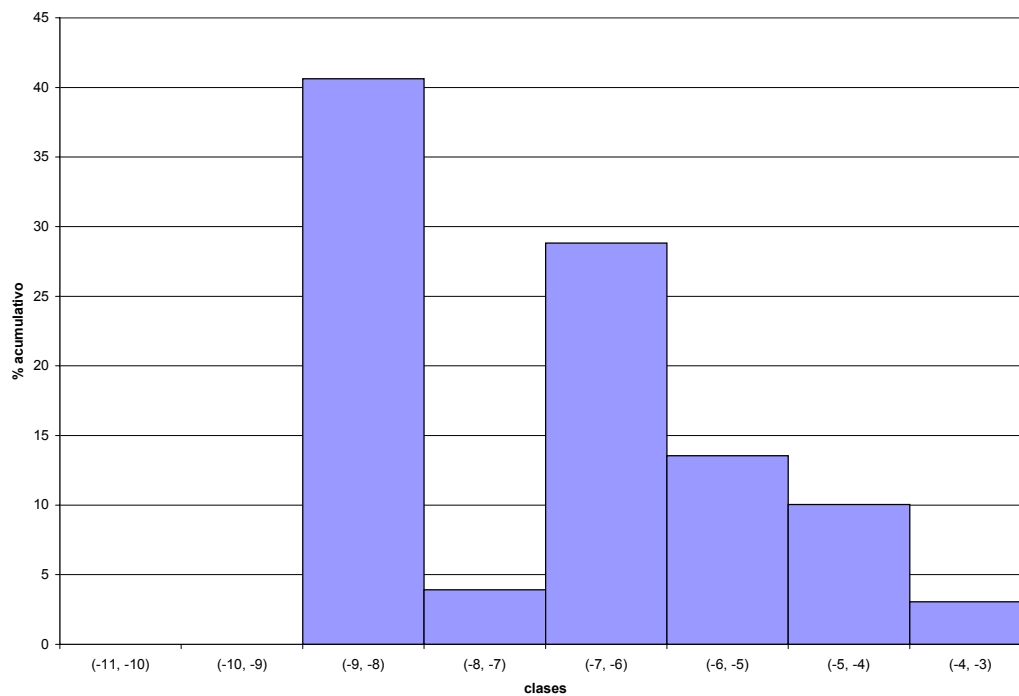
Histograma de frecuencia LR- AR-15



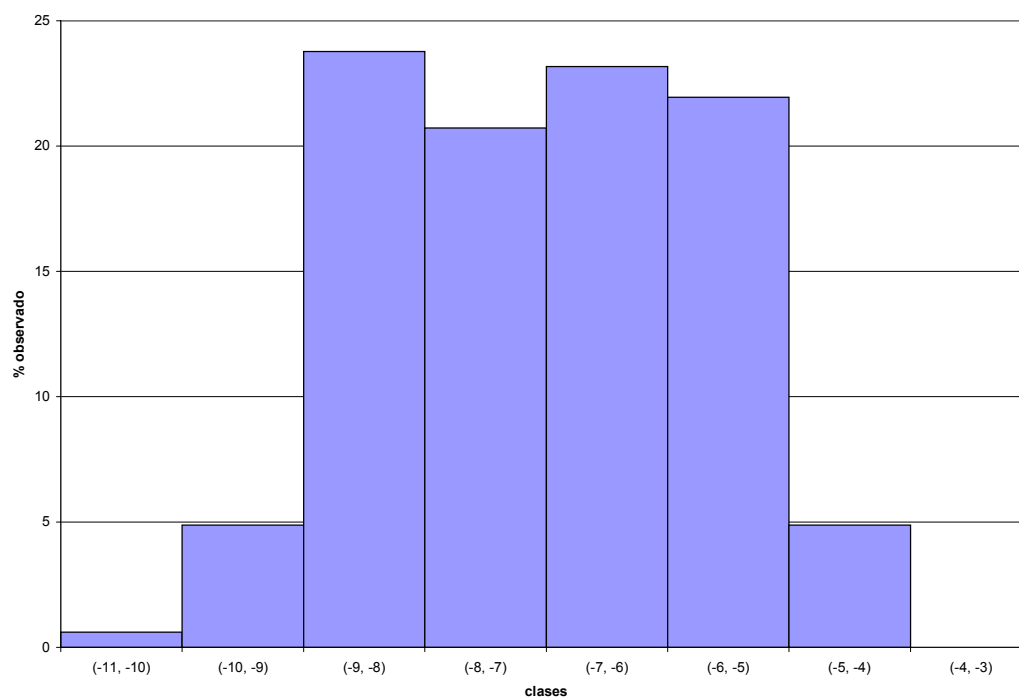
histograma terraza de tormenta (sec. 1)



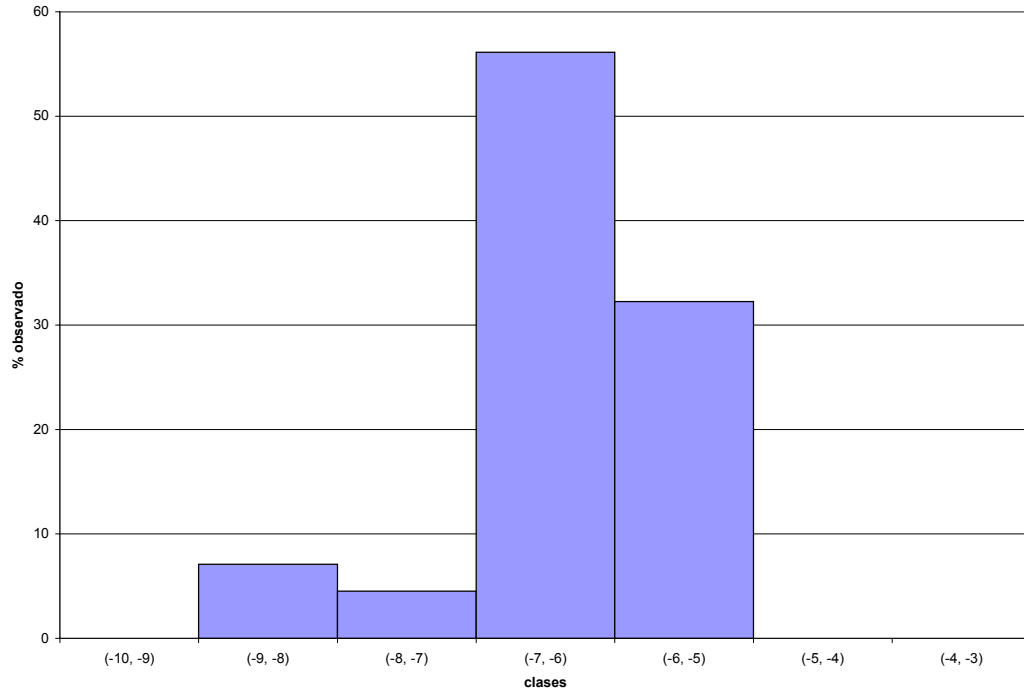
Histograma terraza de tormenta (sec. 2)



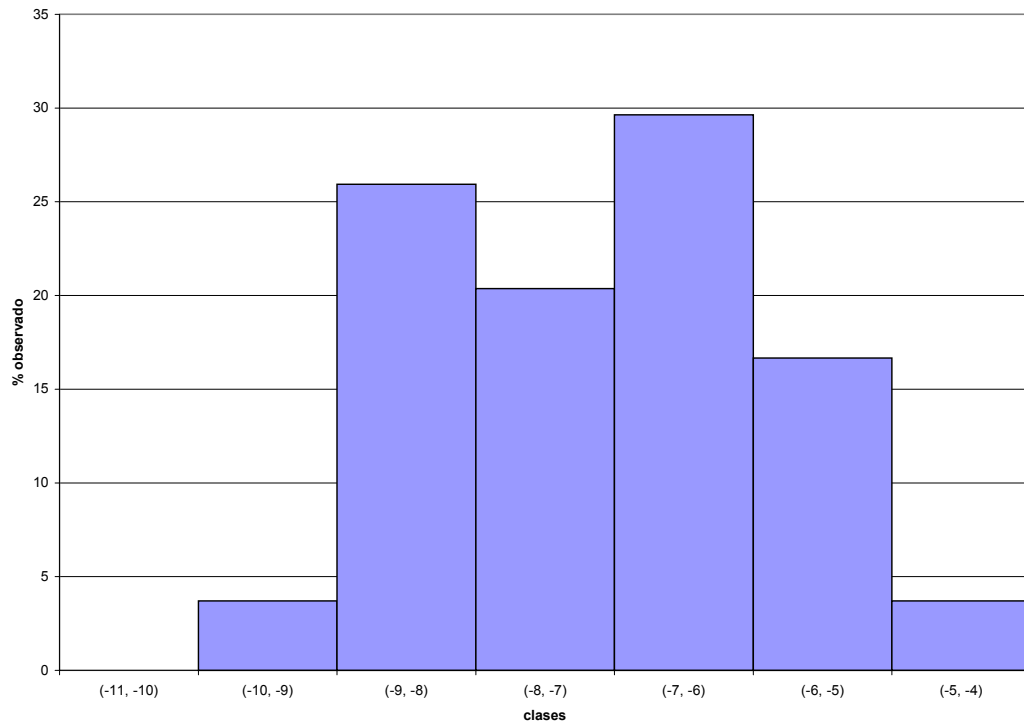
Histograma de frecuencia sección 3



histograma " mal tiempo" (sec. 1)



Histograma de frecuencia Mal Viento (sec 2)



clases	% W corr ar-1	% W corr ar-2	% W corr ar-2ε	% W corr ar-3	% W corr ar-4	% W corr ar-4	% W corr ar-4	% W corr ar-5	% W corr ar-5	% W corr ar-6	% W corr ar-6	% W corr ar-7	% W corr ar-7
(-3, -2)	0	0.18957346	0.08824178	1.5309842	0	0.16863406	0	0	0.07237636	3.7173913	0.42313117	0.28929605	0.16702458
(-2, -1)	0	0.37914692	0.04412089	0.92345079	0	0.36135871	0.27567195	0	0.02412545	0.10869565	0.21156559	0.07232401	0.3101885
(-1, 0)	0.64346997	0.56872038	0.08824178	1.50668287	0.04626417	0.79498916	0.59728923	0.06874427	0.12062726	0.02173913	0.30559473	0.57859209	1.07372942
(0, 1)	17.6596759	7.98578199	0.99272005	17.545565	0.37011335	12.1416526	8.66069377	1.09990834	3.06393245	0.13043478	0.98730606	4.53230473	10.1169172
(1, 2)	58.3412774	71.042654	31.237591	39.1008505	9.13717326	53.5774512	49.6209511	6.23281393	41.2062726	2.80434783	11.4480489	17.6470588	34.0491529
(2, 3)	22.7836034	19.2654028	60.3353188	38.2746051	80.1295397	32.4018309	40.2021594	53.6434464	42.6296743	64.1086957	64.2454161	54.9662488	47.3633978
(3, 4)	0.57197331	0.35545024	6.75049636	0.65613609	10.2937775	0.40953987	0.27567195	38.9321723	11.145959	28.8478261	19.8166432	21.5284474	6.15604868
(4, 5)	0	0.21327014	0.46326936	0.46172539	0.02313208	0.14454348	0.3675626	0.02291476	1.73703257	0.26086957	2.56229431	0.38572806	0.76354092

clases	% acum ar-1	% acum ar-2	% acum ar-2ε	% acum ar-3	% acum ar-4	% acum ar-4ε	% acum ar-4t	% acum ar-5	% acum ar-5ε	% acum ar-6	% acum ar-6ε	% acum ar-7	% acum ar-7ε
(-3, -2)	0	0.18957346	0.08824178	1.5309842	0	0.16863406	0	0	0.07237636	3.7173913	0.42313117	0.28929605	0.16702458
(-2, -1)	0	0.56872038	0.13236267	2.45443499	0	0.52999277	0.27567195	0	0.09650181	3.82608696	0.63469676	0.36162006	0.47721308
(-1, 0)	0.64346997	1.13744076	0.22060446	3.96111786	0.04626417	1.32498193	0.87296118	0.06874427	0.21712907	3.84782609	0.94029149	0.94021215	1.5509425
(0, 1)	18.3031459	9.12322274	1.21332451	21.5066829	0.41637752	13.4666345	9.53365495	1.16865261	3.28106152	3.97826087	1.92759756	5.47251688	11.6678597
(1, 2)	76.6444233	80.1658767	32.4509155	60.6075334	9.55355077	67.0440858	59.154606	7.40146654	44.4873341	6.7826087	13.3756465	23.1195757	45.7170126
(2, 3)	99.4280267	99.4312796	92.7862343	98.8821385	89.6830904	99.4459166	99.3567654	61.0449129	87.1170084	70.8913043	77.6210625	78.0858245	93.0804104
(3, 4)	100	99.7867298	99.5367306	99.5382746	99.9768679	99.8554565	99.6324374	99.9770852	98.2629674	99.7391304	97.4377057	99.6142719	99.2364591
(4, 5)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Φ95	2	1.9	2.75	2.25	2.8	2.1	3	3.15	2.95	3.05	3.05	3.1	2.67
Φ84	1.65	1.55	2.4	2.05	2.45	1.68	2.3	2.77	2.38	2.7	2.64	2.65	2.31
Φ75	1.5	1.4	2.25	1.75	2.35	1.62	1.8	2.65	2.17	2.5	2.45	2.45	2.1
Φ50	1.3	1.15	1.7	1.2	2.17	1.3	1.45	2.36	1.48	2.23	2.05	2.1	1.57
Φ25	0.7	0.73	1.36	0.56	1.85	0.8	1	2.05	1.25	1.93	1.75	1.53	0.9
Φ16	0.45	0.65	1.15	0.3	1.65	0.6	0.75	1.83	1	1.8	1.55	1.23	0.65
Φ05	0.05	0.25	0.75	-0.25	1.21	0.13	0.33	1.3	0.45	0.55	1.1	0.4	0.2

mediana	1.3	1.15	1.7	1.2	2.17	1.3	1.45	2.36	1.48	2.23	2.05	2.1	1.57
escogimiento	0.59545455	0.475	0.6155303	0.81628788	0.44090909	0.56848485	0.79204545	0.51530303	0.72378788	0.60378788	0.56795455	0.76409091	0.78924242
kurtosis	0.99897541	1.00929777	0.92097992	0.86100014	1.30327869	0.98460616	1.36782787	1.2636612	1.11368496	1.7975266	1.14168618	1.20277976	0.84357923
asimetría	-0.01602564	0.24747475	0.51	0.14571429	0.42861635	0.08789246	0.40044702	0.50103508	0.53617391	0.29622222	0.57974594	0.1465832	0.20894103

clase	% obs torm1	% obs torm2	% obs torm3	% obs malt1	% obs malt2
(-11, -10)	1.37931034	0	0.6097561	0	0
(-10, -9)	2.06896552	0	4.87804878	0	3.7037037
(-9, -8)	20	40.6113537	23.7804878	7.09677419	25.9259259
(-8, -7)	40.6896552	3.930131	20.7317073	4.51612903	20.3703704
(-7, -6)	19.3103448	28.8209607	23.1707317	56.1290323	29.6296296
(-6, -5)	13.1034483	13.5371179	21.9512195	32.2580645	16.6666667
(-5, -4)	3.44827586	10.0436681	4.87804878	0	3.7037037
(-4, -3)	0	3.05676856	0	0	0

clase	% acum torm1	% acum torm2	% acum torm3	% acum malt1	% acum malt2
(-11, -10)	1.37931034	0	0.6097561	0	0
(-10, -9)	3.44827586	0	5.48780488	0	3.7037037
(-9, -8)	23.4482759	40.6113537	29.2682927	7.09677419	29.6296296
(-8, -7)	64.137931	44.5414847	50	11.6129032	50
(-7, -6)	83.4482759	73.3624454	73.1707317	67.7419355	79.6296296
(-6, -5)	96.5517241	86.8995633	95.1219512	100	96.2962963
(-5, -4)	100	96.9432314	100	100	100
(-4, -3)	100	100	100	100	100

Φ95	-5.6	-4.68	-5.45	-5.9	-5.85
Φ84	-6.4	-5.85	-5.9	-6.2	-6.3
Φ75	-7.1	-6.45	-6.45	-6.4	-6.55
Φ50	-7.9	-7.1	-7.55	-6.65	-7.55
Φ25	-8.5	-8.75	-8.6	-7	-8.65
Φ16	-8.7	-8.9	-9	-7.25	-8.9
Φ05	-9.45	-9.2	-9.6	-8.55	-9.4

mediana	-7.9	-7.1	-7.55	-6.65	-7.55
escogimiento	1.15833333	1.44734848	1.40378788	0.66401515	1.18787879
kurtosis	1.12704918	0.80541696	0.79107892	1.81010929	0.69281811
asimetría	-0.77639752	-0.84016393	-0.87135639	-1.54312668	-1.10373781

ANEXO 5

- **Diagramas de Zingg (1935) para las gravas de las terrazas de tormenta nororientales y la boca del Mal Viento**

zinng "terrazza de tormenta nororiental"

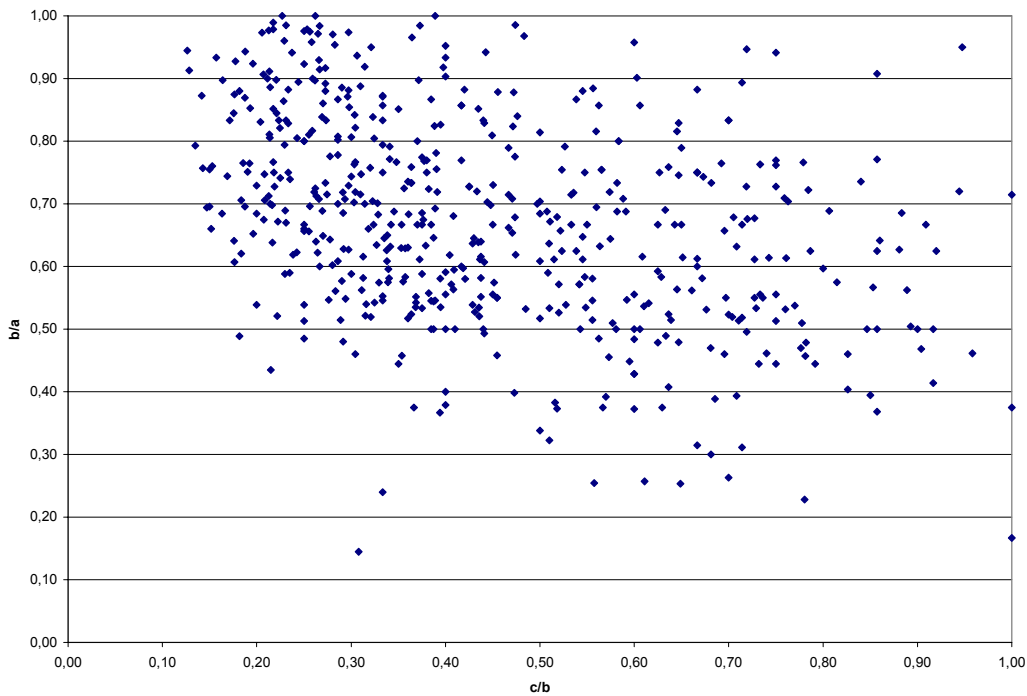
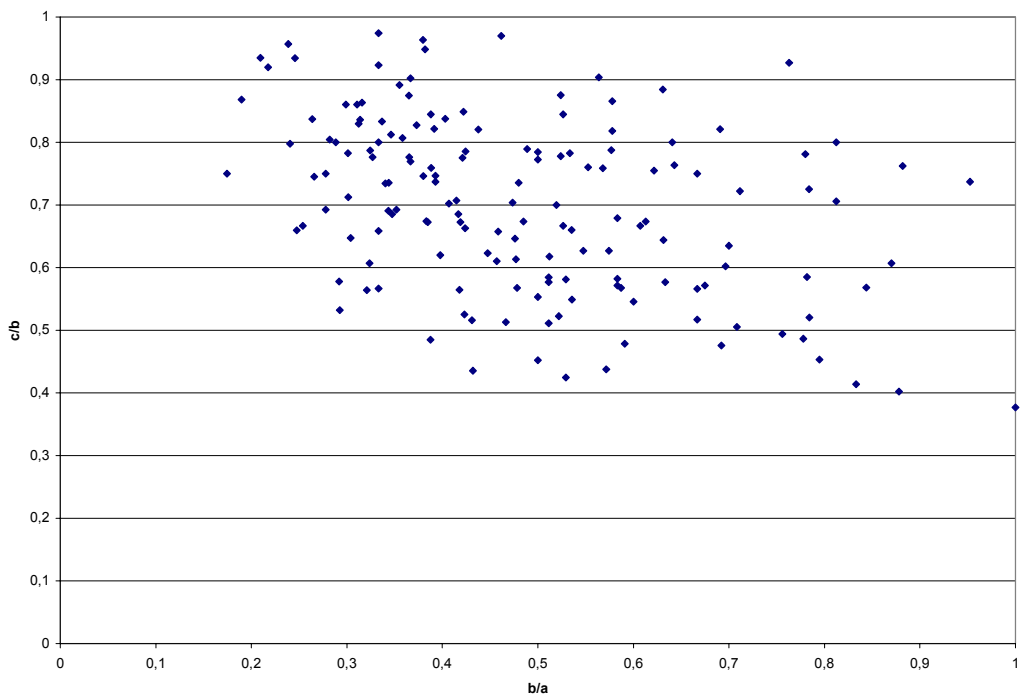


diagrama de zinng (boca mal tiempo)



ANEXO 6

- **Resultados de los análisis composicional microscópico realizados a las secciones finas LR-RP N°: 3a, 3b, 4a, 4b, 5a, 6c, 7c, 8, 9, 10, 11**

composición	BIOCLASTOS	HALIMEDAS %	ALGAS ROJAS	BIVALVOS%	GASTERÓP ODOS%	OSTRACOD OS%	FORAMINIF EROS%	EQUINODE RMOS%
sec 3a	31.14035088	52.1929825	10.5263158	0	0.43859649	0	1.31578947	0
sec 3b	21.49122807	56.5789474	10.9649123	0	0.43859649	0	1.75438596	0
sec 4a	20.468	53.885	10.4427736	0	0.41771094	0	1.67084378	0
sec 4b	27.96352584	52.887538	15.1975684	0.9118541	0.30395137	0	0	0
sec 5a	72.42268041	11.8556701	10.8247423	0.25773196	0.51546392	0	0.25773196	1.03092784
sec 6c	54.54545455	22.7272727	15.2892562	0	0	0	2.0661157	0
sec 7c	35.22012579	10.0628931	19.4968553	0	0.62893082	0	0	1.25786164
sec 8	50.67650677	47.8474785	0.49200492	0	0	0	0.12300123	0
sec 9	45.32019704	53.8587849	0.32840722	0	0	0	0	0
sec 10	53.89221557	43.7125749	0.89820359	0	0	0	0	0
sec 11	40.37735849	51.3207547	0.37735849	0	1.50943396	0	0.75471698	0.37735849

composición	RESTOS DE PECES%	RESTOS DE CORALES%	RESTOS DE CRUST%	RESTOS DE VEGET%	FRAG. ROCAS MI%	FRAG. ROCAS SED%	PELLETS / OOIDES %
sec 3a	0	4.38596491	0	0	0	0	0
sec 3b	0	8.77192982	0	0	0	0.87719298	0
sec 4a	0	8.35421888	0	0	0	0.83542189	0
sec 4b	0	2.73556231	0	0	0	0	0
sec 5a	0	2.83505155	0	0	0	0	0
sec 6c	0	2.47933884	0	0	0	0.82644628	2.0661157
sec 7c	0	31.4465409	0	0	0	1.88679245	0
sec 8	0	0	0	0	0.36900369	0	0.12300123
sec 9	0	0	0	0	0.32840722	0.16420361	0
sec 10	0	0	0	0	0.5988024	0.2994012	0.5988024
sec 11	0	4.90566038	0	0	0.37735849	0	0

tamaño (mm)	MÁXIMO	PROMEDIO	MÍNIMO	%GRANO	%MATRIZ	%CEMENTO	%POROSIDAD
sec 3a	5	0.8	0.1	55	3	12	30
sec 3b	3.5	0.7	0.05	52	3	10	35
sec 4a	8	1	0.3	60	5	5	30
sec 4b	3.5	0.8	0.2	55	5	20	20
sec 5a	3	0.7	0.09	35	40	0	25
sec 6c	3.5	0.4	0.04	55	20	5	20
sec 7c	4.5	0.7	0.045	45	12	3	40
sec 8	1.9	0.5	0.15	75	0	5	20
sec 9	3	0.6	0.15	80	0	5	15
sec 10	4.5	0.7	0.1	65	0	5	30

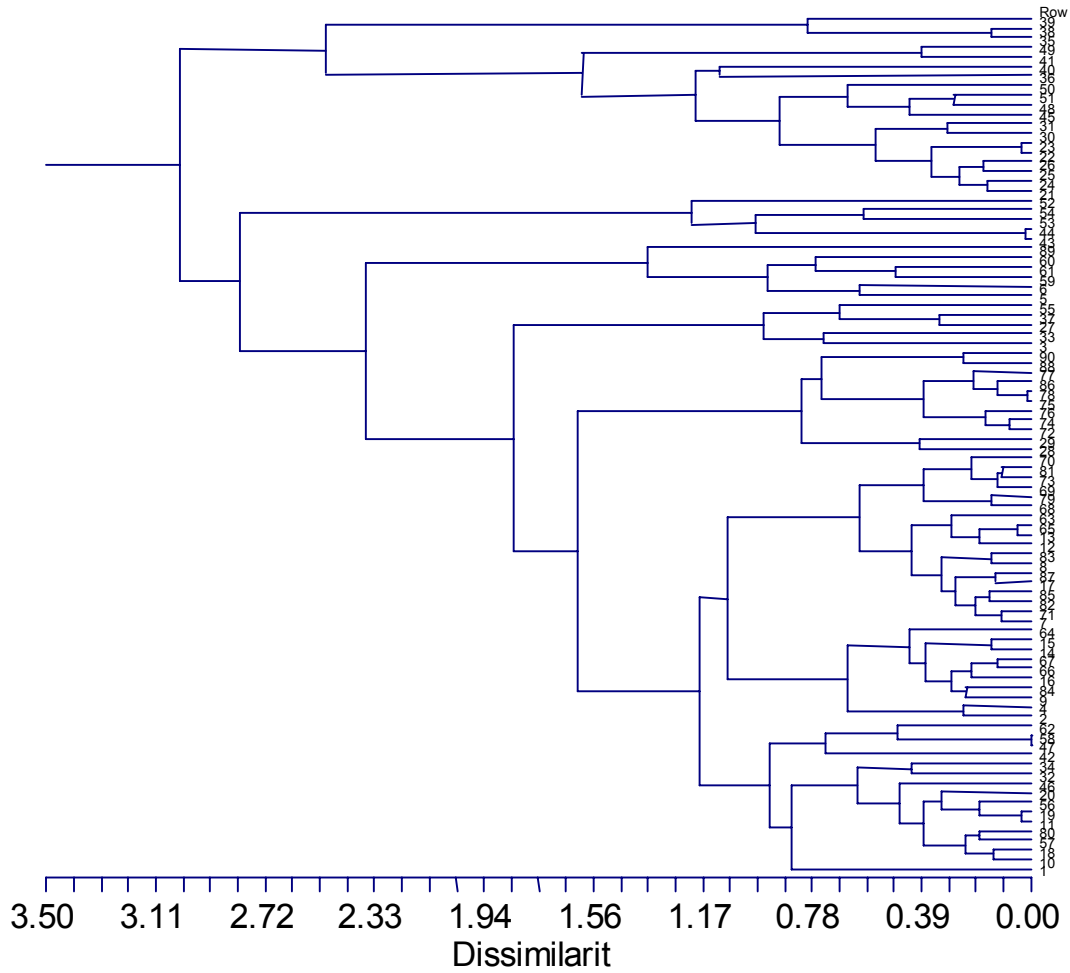
ANEXO 7

- **Dendrograma y lista de variables utilizado para el análisis de agrupaciones**

Hierarchical Clustering Report

Page/Date/Time 1 11/03/03 12:36:42
Database C:\Mis documentos\JESUS PADI ... rchivos ncscs\General PLUS.S0
Variables BIOCLASTOS_ to YESO_
Clustering Method Complete Linkage (Furthest Neighbor)
Distance Type Euclidean
Scale Type Standard Deviation

Dendrogram Section



CAPA	ESCOG	GRAN	RED	BIOC	HALIM	BIV	GAST	OSTR	FORAM	EQUIN	PELLETS	RESVEGE	RESCRUST	RESVERT	RESPEC	LIMOS	CORAL_	ROCAMI_	ROCASED_	YESO_	
BC3-c1	2.35	250-350	SR	25	20	6	7	5	3	0	5	0	0	0	0	0	26	0	1	2	0
BC3-c2	2.35	250-350	SA	20	40	8	15	0	0	0	7	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0
BC4-c1	2	250-350	SR	20	15	7	3	15	10	0	5	5	0	0	0	0	20	0	0	0	0
BC4-c2	2.35	250-350	SR	25	45	5	15	1	0	0	0	0	1	0	0	0	8	0	0	0	0
BC5-c1	2.35	250-350	SA	15	10	10	6	1	25	0	0	0	0	0	0	0	25	0	0	0	0
BC5-c2	1.7	177-250	SR	20	15	7	10	1	30	1	0	8	0	0	0	0	8	0	0	0	0
CAL1-C1	1.2	177-250	SR	53	29	2	3	0	2	1	2	0	0	0	0	0	3	0	5	0	0
CAL1-C2	1.5	250-350	SR	45	37	1	3	0	5	1	0	0	0	0	0	0	2	1	5	0	0
CAL1-C3	1.7	350-500	SA	38	43	1	4	0	5	1	0	0	0	0	0	0	2	2	4	0	0
CAL10-C1	1.7	177-250	SR	35	30	5	10	0	1	1	11	1	1	0	0	1	3	0	0	1	0
CAL10-C2	1.5	250-350	SR	41	25	5	10	0	0.5	0	10	0	2	0	0	0	5	0	0	1.5	0
CAL12-C1	1.7	250-350	SA	55	29	0.7	5	0	0	1	5	0.7	0	0	0	0.6	3	0	0	0	0
CAL12-C2	1.8	350-500	SR	50	35	1	5	0	0	1	6	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
CAL14-C1	1.6	177-250	SR	29	40	5	7	0	5	0	2	0.6	0.4	0	0	0	1	10	0	0	0
CAL14-C2	1.6	177-250	SR	31	43	3	8	0	5	1	5	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0
CAL14-C3	1.9	250-350	SR	29	50	3	6	0	5	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CAL3-C1	1.3	177-250	SR	45.6	34	2	6	0	1	3	8	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0
CAL3-C2	1.5	250-350	SR	38	31	4	10	0	2	2	7.6	0	0	0	0	0.4	0	5	0	0	0
CAL30-C1	1.6	177-250	SR	40	25	5	8	0	1	1	10	0	0	0	0	0	5	0	0	5	0
CAL30-C2	1.4	177-250	SR	35	25	10	10	0	1	1	15	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0
CAL34-C1	1.2	125-177	SA	31	0	6	0	9	0	0	1	0	0	0	0	0.5	21	0	1.5	0	30
CAL34-C2	1.2	125-177	SA	25	0	8	0	10	0	1	0	1	0	0	0	0.5	20	0	1.5	0	33
CAL34-C3	1.15	125-177	SA	25	0	8	0	10	0	0.5	0	1	0	0	0	0	21	0	0.5	0	34
CAL35-C1	1.2	177-250	SA	35	1	5	0	10	0.5	1	0	0	0	0	0	0	18	1.5	1	0	27
CAL35-C2	1.2	177-250	SA	35	1	7	1	8	1	1	0	0	0	0	0	0	17	1	1	0	27
CAL35-C3	1.15	177-250	SA	37	0	6	0	6	0.7	0	0	0	0	0	0	0	20	0.5	0.5	0	29.3
CAL35-C4	2.35	250-350	SA	35	1	10	10	15	1	1	0	0	0	0	0	0	15	1	1	0	10
CAL35-C5	3	350-500	SA	65	2	7	4	1	1	2	0	0	0	0	0	0	15	2	1	0	0
CAL35-C6	3.5	350-500	SA	62	7	0.6	3	0	1.4	1	0	0	0	0	0	0	17	7	1	0	0
CAL37-C1	1.8	177-250	SA	25	0	5	3	10	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	7	0	40
CAL37-C2	1.6	177-250	SA	14	0	5	2	10	0	0	0	0	0	0	1	0	10	0	3	25	30
CAL37-C3	2.35	250-350	SA	35	22	5	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	2	25	0
CAL37-C4	1.7	250-350	SA	23	20	10	3	20	1.5	0.5	0	0	0	1	0	1	9	0	1	10	0
CAL37-C5	4.2	1000-2000	SA	20	20	10	2	5	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	5	36	0
CAL40-C1	1.7	62	SA	1	0	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64	0	0	0	35
CAL40-C2	1.3	177-250	SR	20	0	18	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	25	0	0	0	35
CAL40-C3	1.3	250-350	SA	34	0	15	5	15	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	1	0	10
CAL41-C1	1.3	62	SA	1	0	0.5	1	1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	65	0	1	0	30
CAL41-C2	1.3	62	SR	10	0	3	1	4	0	0	0	0	0	0	0	2	75	0	0	0	5
CAL41-C3	1.7	250-350	SA	0	0	5	3	10	0	0	0	0	0	0	0	1	42	0	2	2	35
CAL44-C1	1.7	177-250	SA	10	0	3	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	10	0	2	0	72
CAL44-C2	1.7	177-250	SR	30	20	15	1	2	0	2	0	2	0	0	0	0	5	0	3	0	20
CAL44-C3	1.7	177-250	R	34	0	24	2	30	0.5	1	0	2	0	0.5	0	0	5	0	0	0	1
CAL44-C4	1.7	177-250	R	34	0	24	2	30	0.5	1	0	2	0	0.5	0	0	5	0	0	0	0
CAL46-C1	4.2	350-500	SR	17	20	5	0	1.5	0	2	0	0	0	0	0	0.5	8	0	7	3	36

