



**CARACTERIZACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LAS SECUENCIAS  
CALCÁREO-SILICICLÁSTICAS PLIO-PLEISTOCENAS EN EL SECTOR DE  
MANZANILLO Y ARROYO DE PIEDRA, BOLIVAR.**

**LADYS MARCELA REYES DE LA ROCA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA  
2008**

**CARACTERIZACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LAS SECUENCIAS  
CALCÁREO-SILICICLÁSTICAS PLIO-PLEISTOCENAS EN EL SECTOR DE  
MANZANILLO Y ARROYO DE PIEDRA, BOLIVAR**

**LADYS MARCELA REYES DE LA ROCA**

**Proyecto de grado para optar el título de: geóloga**

**Director:**

**M.sc. Alberto Ortiz Fernández**

**Co-Director:**

**Ph. D. Georgina Guzmán Ospitia**

**Asesora:**

**Geóloga. Helga Niño**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS  
ESCUELA DE GEOLOGÍA  
BUCARAMANGA**

**2008**

*Dedicatoria*

*A Dios por ser mi guía y el verdadero camino a seguir.*

*A mi madre, Ladys De La Roca por su apoyo,*

*amor y por creer siempre en mí.*

*Marcela*

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por brindarme la oportunidad de hacer realidad este sueño...

Al geólogo Alberto Ortiz, Director de este proyecto por su tiempo, paciencia, apoyo constante, sus valiosas enseñanzas y especialmente por su amistad.

A la geóloga Georgina Guzmán, Codirectora de este proyecto por sus aportes y por compartir un poco de sus conocimientos conmigo.

A la geóloga Helga Niño, Por su orientación permanente, ayuda incondicional, su apoyo y sobre todo por su amistad y confianza.

A todos los profesores de la ESCUELA DE GEOLOGÍA y a la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER por formarme como profesional y de alguna manera hacerme crecer como persona.

Al Grupo de Investigación en Estratigrafía (GIE), por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto de grado y por facilitar todo lo necesario para que este se desarrollara de la mejor manera. Y a todos los compañeros en especial al comité de logística

Al INSTITUTO COLOMBIANO DEL PETRÓLEO (ICP) ECOPETROL, por proporcionarme todas las herramientas necesarias para la ejecución de este trabajo, por mostrar interés en trabajos de investigación y brindar oportunidad a los estudiantes.

A mi MAMI Ladys De La Roca, la persona más especial en mi vida; por su gran amor, ejemplo, constancia y por que gracias a su esfuerzo he logrado esta meta de convertirme en profesional.

A Francisco Patiño, por permitirme ser su hija, por apoyarme incondicionalmente y ser el buen padre que es. Y a mis hermanas Arsuly, Angie y Marly por su compañía, cariño y por que son y seguirán siendo parte importante en mi vida.

A todos mis amigos de siempre por todos los momentos especiales que compartimos durante el transcurso de la Universidad; en especial a Natalia, Yudy, Cristhian el "Boca", Marcela, Mario, Gigiola, yohana y diana.

## CONTENIDO

	<b>Pag.</b>
1. INTRODUCCIÓN	
2. OBJETIVOS	2
2.1. Objetivos Generales	2
2.2. Objetivos Específicos	2
3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL	3
3.1. RECOPIACION BIBLIOGRAFICA	3
3.2. FASE DE LABORATORIO	3
3.3. FASE DE CAMPO	4
3.4. FASE DE OFICINA	5
3.5 DESCRIPCION MACROSCÓPICA DE NUCLEOS Y MUESTRAS DE MANO	6
3.6 CLASIFICACIÓN DE ROCAS CALCÁREAS	7
3.7 CLASIFICACIÓN DE ROCAS SILICICLÁSTICAS	9
4. DESCRIPCION GENERAL DE LA ZONA	11
4.1 LOCALIZACION DEL AREA DE ESTUDIO	11
4.2 CLIMA Y VEGETACIÓN	12
4.3 HIDROGRAFÍA	12
4.4 VÍAS DE ACCESO	13
4.5 LOCALIZACION POZOS BOCACANOA Y COLUMNAS LEVANTADAS EN CAMPO	13
5. MARCO GEOLOGICO	15
5.1 ESTRATIGRAFÍA	15
5.1.1 ESTUDIOS PREVIOS DE LA FORMACION LA POPA	15
5.1.1.1 Consideraciones Acerca De La Edad De La Formación La Popa	21
5.1.2 FORMACION LA POPA	28
5.1.2.1 UNIDAD DETRITICA O SILICICLÁSTICA DEL POPA (T1)	28
5.1.2.2 UNIDAD CALIZAS ARRECIFALES DEL POPA (T2)	29

5.2 MARCO TECTÓNICO REGIONAL	30
5.2.1 Falla de Romeral	32
5.2.2 Lineamiento de Sinú	32
5.2.3 Falla Bucaramanga- Santa Marta:	33
5.2.4 Falla de Oca	33
6. LEVANTAMIENTO DE COLUMNAS EN CAMPO	36
6.1 COLUMNA LEVANTADA EN LA LOCALIDAD DE MANZANILLO	37
6.1.1 Unidad Siliciclástica (Unidad Detrítica del Popa (T2))	37
6.1.2 Unidad calcárea (Unidad Calizas arrecifales del Popa (T1))	42
6.2 COLUMNA LEVANTADA EN LA LOCALIDAD DE ARROYO DE PIEDRA	44
6.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL DE LA ZONA DE ESTUDIO	49
7. DESCRIPCION DE NUCLEOS	51
7.1 Pozo Bocacanoa Estratigráfico-1	51
7.2 Pozo Bocacanoa Estratigráfico-2	51
7.4 Pozo Bocacanoa Estratigráfico-4:	52
8. DETERMINACION DE FACIES CORRESPONDIENTE A LOS NUCLEOS Y COLUMNAS LEVANTADAS EN CAMPO	53
8.1 DESCRIPCIÓN DE FACIES	54
8.1.1 Descripción De Facies Unidad Calcárea (Unidad Calizas Arrecifales Del Popa (T1))	54
8.1.1.1 Facies FLw	54
8.1.1.2 Facies FLg:	56
8.1.1.3 Facies RUp:	58
8.1.1.4 Facies RUg:	61
8.1.1.5 Facies FRb	62
8.1.1.6 Facies Wb:	63
8.1.2 Facies Siliciclasticas (Unidad Detrítica Del Popa (T1))	65
8.1.2.1 Facies Fabb	65
8.1.2.2 Facies FAIb	66
8.1.2.3 Facies FAIbb	67

8.1.2.4 Facies FLalb	69
8.1.2.5 FLabb	70
8.1.2.6 Facies Ab:	71
8.1.2.7 Facies Alb	72
8.1.2.9 Facies Albb	75
8.1.2.10 Facies FAo	76
8.1.2.11 Facies FAbo	77
8.1.2.12 Facies Ac:	78
8.1.2.13 Facies FAc	80
9. ASOCIACION DE FACIES	83
9.1 Asociación de facies 1	83
9.2 Asociación de facies 2	84
9.3 Asociación de facies 3	84
9.4 Asociación de facies 4	85
9.5 Asociación de facies 5	86
9.6 Asociación de facies 6	87
9.7 Asociación de facies 7	89
9.8 Asociación de facies 8	90
9.9 Asociación de facies 9	92
9.10 Asociación de facies 10	93
9.11 Asociación de facies 11	94
9.12 Asociación de facies 12	94
9.13 Asociación de facies 13	95
10. AMBIENTE DE DEPÓSITO DE LA UNIDAD CALIZAS ARRECIFALES DEL POPA.	98
10.1 INTERPRETACION AMBIENTAL	106
10.1.2 Asociación de facies 2 (RU <sub>p</sub> -FL <sub>g</sub> ), Planicie Arrecifal:	108
10.1.3 Asociación de facies 3 (RU <sub>g</sub> -FL <sub>g</sub> -FR <sub>b</sub> ), Cresta Arrecifal:	109
10.1.4 Asociación de facies 4 (FL <sub>w</sub> -Abb) Arrecife Posterior:	110
10.1.5 Asociación de facies 5 (FR <sub>b</sub> -RU <sub>p</sub> ) Cresta arrecifal:	110

10.1.6 Asociación de facies 6 (Ac-RUp-Wb) Planicie Arrecifal:	111
10.1.7 Asociación de facies 7 (FLalb-Falb) Laguna costera:	112
10.1.8 Asociación de facies 8 (Ab-FLalb-FAb) Laguna costera:	112
10.1.9 Asociación de facies 9 (Albb-Abb-Falbb) y 10 (FAbb-Ab), Laguna costera:	113
10.1.10 Asociación de facies 11 (Alb-FAbb-FLabb-FAlb) y 12 (FAlb-Ab), Laguna costera:	113
10.1.11 Asociación de facies 13 (FAlbb-FAob-FAo-Ac-FLabb) Laguna costera.	114
11. PROCESOS DIAGÉNETICOS Y PETROGRAFÍA MICROSCÓPICA DE LA ZONA DE ESTUDIO	115
11.1 DESCRIPCION DE MICROFACIES	118
11.1.1 MICROFACIES CALCAREAS:	119
11.2 PROCESOS DIAGÉNETICOS	126
11.2.1 Micritización	127
11.2.3 Cementación:	130
11.2.4 Disolución	131
11.3 TIPOS DE POROSIDADES	132
11.3.1 porosidad primaria	133
11.3.1 porosidad secundaria	136
12. ESTRATIGRAFIA DE SECUENCIAS	140
13. CORRELACION ESTRATIGRAFICA	145
14. INTEGRACION DE RESULTADOS	148
15. CONCLUSIONES	150
RECOMENDACIONES	152
BIBLIOGRAFIA	153
ANEXOS	159

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pag.</b>
Figura 1. Esquema de la metodología utilizada en la realización del proyecto.	6
Figura 2. Clasificación textural de los carbonatos según Dunham (1962).	8
Figura 3. Clasificación textural de las calizas arrecifales de Embry & Klovan (1971).	8
Figura 4. Clasificación textural del Folk (1954) para rocas sedimentarias Siliciclásticas.	10
Figura 5. Mapa localización área de estudio, mapa geológico Sinú-San Jacinto, INGEOMINAS .2003.	11
Figura 6. Localización columnas levantadas en campo, Zona Manzanillo y Arroyo de Piedra (Nasa World Wind 1.4).	13
Figura 7. Localización pozos Bocacanoa Estratigráfico 1-2-3 y 4, afloramiento Arroyo de piedra (Cantera) y Manzanillo.	14
Figura 8. Columna generalizada de la Formación La Popa. (Jiménez & Prince 1999)	29
Figura 9. Mapa de Localización Cinturón San Jacinto (Duque-Caro, 1979, en Guzmán et. Al. 2004)	31
Figura 10. Marco Estructural Generalizado. Principales lineamientos del Noroccidente de Colombia; límites del Cinturón Plegado de San Jacinto (Caro, 2003, en Villafrade 2006)	33
Figura 11. Principales elementos estructurales del noroeste de Colombia, Modificado de Vernet et al, 1992 en Ruiz, 2000.	35
Figura 12. Etapa de recolección de muestras utilizando el taladro de muestreo, foto tomada en la localidad de Manzanillo.	36
Figura 13. Foto panorámica de la columna levantada en la localidad de Manzanillo donde se evidencia claramente la unidad calcárea y la unidad siliciclástica.	37

Figura 14. Unidad Siliciclástica de la columna levantada en Manzanillo donde se muestran las 5 capas que la componen.	38
Figura 15. Contacto ondulado entre la capa 1 (Arcillolitas con nódulos calcáreos) y la capa 2 (Arcillolitas con laminación ondulosa paralela de arenas muy finas); estas capas presentaban fragmentos de conchas (Fc) y madrigueras (Mr).	39
Figura 16. Contacto ondulado entre las 3 primeras capas, donde se observan diaclasas rellenas de yeso, también se pueden ver las intercalaciones ondulosas de arena muy fina pertenecientes a la segunda capa.	40
Figura 17. Concreciones calcáreas erosionadas por aguas meteóricas encontradas en la unidad siliciclásticas en la capa 4.	41
Figura 18. Limolita Arcillosa, altamente bioturbada en contacto irregular con la Unidad Calcárea.	42
Figura 19. (Izq.) Ejemplo de Rudstone (Ru) en matriz de Packestone bioclastico seguido por Framestone (Fr) de corales dómicos globulares	43
Figura 20. (Der) Raíces de Mangle (Rm) dentro de la capa de Wackestone bioclastico.	43
Figura 21. (Der) Floatstone en matriz de packestone (Flp) intercalado con Wackestone bioclastico (Wb).	43
Figura 22. Areniscas muy finas con presencia de fragmentos de corales (Cr) y madrigueras (Mr).	44
Figura 23. Equinodermo dólar de plata (Eq) encontrado en la capa de areniscas junto a una raíz de mangle (Rm)	44
Figura 24. Foto panorámica de la columna levantada en la localidad de Arroyo de piedra.	45
Figura 25. Arcillolita calcárea con presencia de caracoles pala ( <i>Strombus gigas</i> ) de aproximadamente 13 cm.	46
Figura 26. Floatstone en una matriz de Wackestone bioclastica con presencia de corales ramificados <i>Acropora cervicornis</i> (Cr).	46
Figura 27. Intercalaciones de Wackestone bioclástico (Wb) con Floatstone bioclástico en matriz de Wackestone (Flg) y presencia de equinodermos (Eq).	47

Figura 28. Esponja bien conservada, encontrada hacia el tope de la capa de Floatstone en matriz de Grainstone.	48
Figura 29. Alternancia de Rudstone bioclástico (Ru) con Wackestone (Wb) de corales Porites porites y fragmentos de conchas. Bajo esta intercalación se puede ver el paquete de arenisca calcárea (Ac).	48
Figura 30. (Izq.) Corales (Porites porites) (Cr), fragmentos de algas (Alg) y fragmentos de bioclóstos soportados por una matriz de Wackestone bioclastica; Pertenece al Pozo Bocacanoa Estratigráfico 3.	55
Figura 31. (Der) Fragmentos de conchas (Fc) soportados por una matriz de Wackestone bioclastica.	55
Figura 32. (Izq) Corales ramificados (Acropora cervicornis) (Cr), Equinodermo (Eq), Bivalvo (Bv), En una Matriz de Wackestone Bioclástica (Wb); Muestra LMR-AP-09A perteneciente a la localidad de Arroyo de piedra.	55
Figura 33. (Dar) Corales ramificados (Acropora cervicornis) (Cr), En una Matriz de Wackestone Bioclástica (Wb); Muestra LMR-MZ-18 perteneciente a la localidad de Manzanillo.	55
Figura 34. (Izq.) Corales ramificados (Acropora cervicornis) (Cr) en una Matriz de Wackestone bioclástica (Wb); Pertenece a la localidad de Arroyo de Piedra.	56
Figura 35. (Dar) Coral globular (Montastraea sp ?) (Cg) en una Matriz de Wackestone Bioclástica (Wb); pertenece a la localidad de Manzanillo.	56
Figura 36. (Izq) Corales ramificados (Porites porites) (Cr), fragmentos de conchas (Fc), gasterópodos (Gp) soportados en una Matriz de Grainstone Bioclástica (Gb); Pertenece al pozo Bocacanoa Estratigráfico 1.	57
Figura 37. (Der) Corales ramificados (Porites porites) (Cr), fragmentos de conchas (Fc), gasterópodos (Gp) soportados en una Matriz de Grainstone Bioclástica (Gb); pertenece al pozo Estratigráfico 2.	57
Figura 38. (Izq) Corales ramificados (Acropora cervicornis) (Cr), Gasteropodo (Gp), soportado en una Matriz de Grainstone Bioclástica (Wb); Muestra LMR-AP-12 perteneciente a la localidad de Arroyo de piedra.	57

- Figura 39. (Der) Corales ramificados (*Acropora cervicornis*) (Cr), Fragmentos de conchas (Fc), en una Matriz de Grainstone Bioclástica (Wb); Muestra LMR-MZ-18 perteneciente a la localidad de Manzanillo. 57
- Figura 40. (Izq) Corales globulares soportados en una Matriz de Grainstone bioclástica (Gb); Perteneciente a la localidad de Arroyo de Piedra. 58
- Figura 41. (Der) Ejemplo de un Floatstone en Matriz de Grainstone Bioclástica (Gb); perteneciente a la localidad de Manzanillo. 58
- Figura 42. (Izq) Corales ramificados (*Porites porites*) y fragmentos de conchas (Fc) soportados en una Matriz de Packestone Bioclástica (Pb); Perteneciente al pozo Bocacanoa Estratigráfico 2. 59
- Figura 43. (Der) Corales ramificados (*Porites porites*) (Cr), fragmentos de conchas (Fc), gasterópodos (Gp) soportados en una Matriz de Packestone Bioclástica (Pb); perteneciente al pozo Estratigráfico 4. 59
- Figura 44. (Izq) Corales ramificados (*Acropora cervicornis*) (Cr) y fragmentos de conchas soportado en una Matriz de Packestone Bioclástica (pb); Muestra LMR-AP-19 perteneciente a la localidad de Arroyo de piedra. 60
- Figura 45. (Der) Corales ramificados (*Acropora cervicornis*) (Cr), Fragmentos de conchas (Fc), en una Matriz de Packestone Bioclástica (Pb); Muestra LMR-MZ-08 perteneciente a la localidad de Manzanillo. 60
- Figura 46. (Izq) Corales globulares soportados en una Matriz de Packestone Bioclástica (Pb); Perteneciente a la localidad de Arroyo de Piedra 60
- Figura 47. (Der) Coral globular (*Stephanocoenia* ?) (Cg) en una Matriz de Packestone Bioclástica (Pb); perteneciente a la localidad de Manzanillo. 60
- Figura 48. (Izq) Coral (Co) y fragmentos de conchas (Fc) soportados en una Matriz de Grainstone Bioclástica (Gb); Perteneciente al pozo Bocacanoa estratigráfico 1. 61
- Figura 49. (Der) Corales ramificados (*Porites porites*) (Cr), fragmentos de conchas (Fc) y gasterópodos (Gp) en una Matriz de Packestone Bioclástica (Pb); perteneciente al pozo Estratigráfico 2. 61

Figura 50. (Izq) Coral de tipo <i>Diploria strigosa</i> , perteneciente al pozo Bocacanoa Estratigráfico 1.	62
Figura 51. (Der) Coral de tipo <i>Diploria strigosa</i> perteneciente al pozo Estratigráfico 2.	62
Figura 52. (Izq) Coral de tipo <i>Montastraea amularis</i> (?), Muestra LMR-MZ-09A perteneciente a la localidad de Manzanillo.	63
Figura 53. (Der) Coral globular <i>Montastraea amularis</i> (?) perteneciente a la localidad de Manzanillo.	63
Figura 54. (A-B-C) Fragmentos de conchas (Fc), dentro de la facies Wackestone de bioclásticos, perteneciente al pozo Bocacanoa Estratigráfico 1,2 y 3 respectivamente.	64
Figura 55. (Izq) Coral de tipo <i>Montastraea amularis</i> ?(Co), dentro de la facies Wackestone perteneciente a la localidad de Arroyo de Piedra.	64
Figura 56. (Der) Corales ramificados ( <i>Porites porites</i> ) (Cr), fragmentos de conchas (Fc); Muestra LMR-AP-11 tomada en la localidad de Arroyo de Piedra.	64
Figura 57. (Izq) Ejemplo de la facies Wackestone de bioclásticos, fotografía tomada en la localidad de Manzanillo.	65
Figura 58. (Der) Corales ramificados ( <i>Porites porites</i> ) (Cr), fragmentos de conchas (Fc); Muestra LMR-MZ-10 tomada en la localidad de Manzanillo.	65
Figura 59. (A-B-C) Fragmentos de conchas (Fc), Gasterópodos (Gp), Bivalvos (Bv), perteneciente a los pozos Bocacanoa Estratigráfico 1,2 y 4 respectivamente.	66
Figura 60. Fragmentos de conchas (Fc), Laminación (Lm), correspondiente al pozo Bocacanoa Estratigráfico 1.	67
Figura 61. (A-B-C) Fragmentos de conchas (Fc), Laminación (Lm), bioturbación (Bi), perteneciente a los pozos Bocacanoa Estratigráfico 2,3 y 4 respectivamente.	68
Figura 62. Laminación (Lm) e intraclastos (Int), correspondiente al pozo Bocacanoa Estratigráfico-1.	69

Figura 63. Fragmentos de conchas (Fc) y laminación (Lm), Pertenece al pozo Bocacanoa Estratigráfico-4.	69
Figura 64. Ejemplo de la facies FLabb con presencia de Fragmentos de conchas (Fc) y bioturbación (Bi), pertenece al pozo Estratigráfico-1.	70
Figura 65. Ejemplo de la facies FLabb; Limolitas arcillosas con alta bioturbación pertenece a la localidad de Manzanillo.	71
Figura 66. (Izq) Areniscas con fragmentos de conchas (Fc), correspondiente al pozo Bocacanoa Estratigráfico 2.	72
Figura 67. (Der) Areniscas con fragmentos de conchas (Fc), correspondiente al pozo Bocacanoa Estratigráfico-4.	72
Figura 68. (Izq) Areniscas con fragmentos de conchas (Fc), correspondiente al pozo Bocacanoa Estratigráfico 3.	73
Figura 69. (Der) Areniscas con fragmentos de conchas (Fc) y laminación (Lm), correspondiente al pozo Bocacanoa Estratigráfico-4.	73
Figura 70. Areniscas con bioturbación, Pertenece al pozo Bocacanoa Estratigráfico 1.	74
Figura 71. Areniscas con fragmentos de conchas (Fc) y bioturbación, correspondiente al pozo Bocacanoa Estratigráfico-3.	74
Figura 72. Areniscas con fragmentos de conchas (Fc), laminación (Lm) y bioturbación (Bi) correspondiente al pozo Bocacanoa Estratigráfico-3.	75
Figura 73. Areniscas con laminación (Lm) y bioturbación (Bi) correspondiente al pozo Bocacanoa Estratigráfico-3	75
Figura 74. Ejemplo de la facies FAo, intercalaciones onduladas de Arcillas con areniscas, correspondiente a la columna levantada en Manzanillo.	76
Figura 75. Ejemplo de la facies FAbo, intercalaciones onduladas de Arcillas con areniscas altamente bioturbado, presencia de diaclasas rellenas de yeso (Di), correspondiente a la columna levantada en Manzanillo.	77
Figura 76. Concreciones calcáreas de material calcáreo; encontrado en la facies Areniscas calcáreas correspondientes a localidad de Manzanillo.	78

Figura 77-78 (Izq) Arenisca calcárea con manchas causadas por oxidación, perteneciente al pozo estratigráfico-3; (der) Arenisca calcarea la cual corresponde al pozo Estratigráfico 4.	79
Figura 79-80 (Izq) Cabeza coralina dentro de la facies Arenisca calcáreas encontrada en la localidad de Arroyo de piedra; (der) Cabeza coralina muestra LMR-AP-20 tomada en Arroyo de piedra.	79
Figura 81. (Izq) Arcillolita calcárea con presencia de fragmentos de conchas (Fc), encontrado hacia la base de la columna levantada en Arroyo de Piedra.	80
Figura 82. (Der) Caracol pala; encontrado hacia la base de la columna levantada en Arroyo de Piedra.	80
Figura 83. Asociación 1, se muestra la facies Floatstone en matriz de Grainstone (FLg) y la cual se encuentra intercalada con la facies Wackestone en Matriz de Wackestone (Wb). Perteneciente a la localidad de Arroyo de Piedra	83
Figura 84. Asociación 1, se muestra la facies Floatstone en matriz de Grainstone (FLg) y la cual se encuentra intercalada con la facies Wackestone en Matriz de Wackestone (Wb). Perteneciente a la localidad de Manzanillo.	84
Figura 85. Asociación 3, se muestra la facies Floatstone en matriz de Grainstone (FLg) la cual se encuentra en contacto con la facies Rudstone en Matriz de Grainstone (RUg);correspondiente al pozo Bocacanoa Estratigráfico 1.	85
Figura 86. Asociación 4, se muestra la facies Floatstone en matriz de Wackestone (FLw) la cual se encuentra en contacto con la facies Areniscas con bioclastos altamente bioturbada (Abb); encontrada hacia el tope de la columna levantada en Manzanillo.	86
Figura 87. Asociación 4, se observa la facies Rudstone en matriz de Packestone (RUp) seguida por la facies de Framestone de corales dómicos globulares; perteneciente a la localidad de Manzanillo.	87
Figura 88. Asociación 6, se observan la facies areniscas calcáreas (Ac) seguida por la facies Rudstone en matriz de Packestone (RUp), y en medio de esta se encuentra la facies Wackestone de bioclastos (Wb); en la parte superior de la columna levantada en Arroyo de piedra.	88

Figura 89. Asociación 7, se presenta la facies Limolita arcillosa con laminación y bioclastos (FLalb) y la facies Arcillolitas con laminación y bioclastos (FAlb), dicha asociación se observó en el pozo Bocacanoa Estratigráfico 1.	90
Figura 90. Asociación 8, se presenta la facies Limolita arcillosa con laminación, bioclastos moderadamente bioturbada (FLabb) y la facies Arcillolitas con bioclastos (Falb), fotografía correspondiente al pozo Bocacanoa Estratigráfico 1.	91
Figura 91. Asociación 9, se presenta la facies Arcillolitas con laminación, bioclastos y bioturbación (Falbb) las cuales se intercalan con Areniscas laminadas con bioturbación y bioclastos (Albb).	92
Figura 92. Asociación 10, se presenta la facies Arcillolitas con bioclastos seguida por la facies Areniscas con bioclastos, correspondiente al pozo Bocacanoa Estratigráfico 3.	93
Figura 93. Asociación 12, se presenta la facies Arcillolitas con bioclastos seguida por la facies Areniscas con bioclastos, correspondiente al pozo Bocacanoa Estratigráfico 3.	95
Figura 94. Asociación 13, se presenta las facies FAlbb, FAo, FAob, Ac y FLabb, fotografía tomada en la localidad de Manzanillo.	96
Figura 95. Ambientes y formas de crecimiento de organismos constructores de arrecifes. Tomado y modificado de James (1984).	106
Figura 96. Esquema de la zonación de arrecife marginal. Tomado y modificado de Schoolle et. Al. (1986).	107
Figura 97. Comparación visual de estimación de porcentajes propuesto por Terry and Chilingar, 1955)	116
Figura 98. Ejemplo de la microfacies MFC1 (Escala 1mm-NX), correspondiente a la sección delgada (Bocacanoa-1_4.35 mt); con abundancia de Bivalvos (Bv), algas rojas (Alg) y otros aloquímicos como foraminíferos bentónicos (Miliolidos) (Fo).	119
Figura 99. Ejemplo de la microfacies MFC2 (Escala 0.5mm-NX), correspondiente a la sección delgada (LMR-MZ-16); con abundancia de algas rojas (Alg) y Bivalvos (Bv); con presencia de terrígenos tales como Plagioclasa (Plg) y Cuarzo (Qz).	120

- Figura 100. Ejemplo de la microfacies MFC3 (Escala 1mm-NP), correspondiente a la sección delgada (LMR-AP-13); con abundancia de Corales Porites porites (Co) y algas rojas (Alg); con presencia de terrígenos tales como Feldespatos (Fel), Cuarzo (Qz) y plagioclasa. 121
- Figura 101. Ejemplo de la microfacies MFC3 (Escala 1mm-NP), correspondiente a la sección delgada (Bocacanoa-1\_4mt); con predominancia de Corales Porites porites (Co) y algas rojas (Alg) y algas incrustantes que bordean los corales 121
- Figura 102. Ejemplo de la microfacies MFC4 (Escala 0.5mm-NX), referente a la sección delgada (LMR-AP-14); con predominancia de algas rojas (Alg) y Bivalvos (Bv); se observan terrígenos tales como Cuarzo (Qz) y plagioclasa (Plg). 122
- Figura 103. Ejemplo de la microfacies MFC5 (Escala 1mm-NX), referente a la sección delgada (Bocacanoa-1\_9.06mt); Boundstone de coral Porites porites. 123
- Figura 104. Ejemplo de la microfacies MFC6 (Escala 1mm-NX), referente a la sección delgada (Bocacanoa, 1\_10.45mt); con abundancia de corales (Co) y algas rojas (Alg). 123
- Figura 105. Ejemplo de la microfacies MFS7 (Escala 0.5mm-NX), referente a la sección delgada (LMR-MZ-04); Arenisca calcárea con presencia de Cuarzo (Qz), plagioclasa (Plg) y foraminíferos (Fo) (Globorotalia 124
- Figura 106. Ejemplo de la microfacies MFS8 (Escala 0.5mm-NX), referente a la sección delgada (LMR-MZ-04); Limolita arcillosa con presencia de Cuarzo (Qz), plagioclasa (Plg) y foraminíferos (Fo) (Globorotalia). 125
- Figura 107. Ejemplo de la microfacies MFS9 (Escala 0.5mm-NX), referente a la sección delgada (LMR-MZ-04); Limolita arcillosa con presencia de foraminíferos (Fo) (miliólidos), fragmentos de cochas de bivalvos (Bv), Cuarzo (Qz) y otros terrígenos 125
- Figura 108. Ejemplo de micritización (Mic) (Escala 0.5mm-NP), referente a la sección delgada (LMR-MZ-16); se evidencia micritización en las algas rojas (Alg) en donde su estructura esquelética muchas veces es difícil de reconocer. 128

- Figura 109. Ejemplo de micritización (Escala 0.5mm-NP), referente a la sección delgada (Bocacanoa-1\_7.43mt); se observa la micritización (Mic) en las algas rojas (Alg). 128
- Figura 110. Ejemplo de recristalización (Escala 1mm-NP), referente a la sección delgada (Bocacanoa-1\_7.35mt); se observa la recristalización (Req) de la matriz que pasa de micrita a microesparita; también se puede apreciar este mismo proceso en un equinodermo (Eq). 129
- Figura 111. Ejemplo de cementación (cem) (Escala 0.5mm-NP), referente a la sección delgada (LMR-AP-14); se puede evidenciar cementación interbioclástica en mosaico equidimensional (Cem). 130
- Figura 112. Ejemplo de disolución selectiva provocando porosidad móldica (Mo) (Escala 1mm-NP), perteneciente a la sección delgada (Bocacanoa est-1\_5.60mt); en este caso se observa un foraminífero (Fo) y algas rojas (Alg) mostrando dicho proceso. 131
- Figura 113. Clasificación de porosidades de Choquette & Pray, 1970. 133
- Figura 114. Ejemplo de la porosidad intrapartícula (Wp); perteneciente a la sección delgada (Bocacanoa est-1\_10.40 mt); en este caso se observan algas rojas las cuales muestran poros intergranulares. 134
- Figura 115. Ejemplo de la porosidad interpartícula (Bp); perteneciente a la sección delgada (Bocacanoa est-1\_5.60 mt); se observa esta porosidad entre los intersticios de algas rojas (Alg) y otros organismos bioclásticos. 135
- Figura 116. Ejemplo de la porosidad móldica (Mo); perteneciente a la sección delgada (Bocacanoa est-1\_7.43 mt); se observa el molde de un equinodermo (Eq) y de algunos fragmentos de algas (Alg). 136
- Figura 117. Ejemplo de la porosidad Vugular o de Cavidad (Vug); perteneciente a la sección delgada (LMR-MZ-06); se observan poros de gran tamaño y de forma irregular. 137
- Figura 118. Ejemplo de la porosidad móldica (Mo); perteneciente a la sección delgada (Bocacanoa est-1\_4 mt). 138
- Figura 119- Esquema de los ciclos de subida y caída del nivel base. 144

Figura 120. Correlación estratigráfica entre los pozos Bocacanoa. Del sector de Arroyo de Piedra.

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pag.</b>
Tabla 1. Resumen de los diferentes términos utilizados para la Formación La Popa de acuerdo a diversos autores. (Castro, 2006).	23
Tabla 2. Resumen de las diferentes edades propuestas para la Formación La Popa de acuerdo a diversos autores. (Castro, 2006)	24
Tabla 3. Resumen de las diferentes edades propuestas para la Formación La Popa de acuerdo a diversos autores, Miembro Inferior y Miembro Superior (Castro, 2006)	25
Tabla 4. Tabla porcentaje de facies calcáreas en los pozos descritos y columnas levantadas.	81
Tabla 5. Tabla porcentaje facies siliciclásticas en los pozos descritos y columnas levantadas.	82
Tabla 6. Asociaciones faciales de la unidad calizas arrecifales del Popa.	89
Tabla 7. Asociaciones faciales de la unidad siliciclástica del Popa.	97
Tabla 8. Microfacies con su respectiva descripción y número de muestra o pozo al cual pertenece.	126
Tabla 9. Resumen de los procesos diagenéticos y tipos de porosidades presentes en las laminas delgadas analizadas.	139

**TÍTULO:** CARACTERIZACIÓN LITOESTRATIGRÁFICA DE LAS SECUENCIAS CALCÁREO-SILICICLÁSTICAS PLIO-PLEISTOCENAS EN EL SECTOR DE MANZANILLO Y ARROYO DE PIEDRA, BOLIVAR\*

**Autor:** LADYS MARCELA REYES DE LA ROCA\*\*

**Palabras claves:** Formación la Popa del Plio-Pleistoceno, Calizas del Popa, Unidad Siliciclástica del Popa, Sector Manzanillo y calizas de Arroyo de Piedra.

## RESUMEN

Se describieron 4 Pozos perforados en el sector de Arroyo de Piedra, Bolívar correspondientes a 445 metros de corazón y se levantaron dos columnas en campo, una en el sector de Manzanillo (27m) y otra en la parte norte del sector de Arroyo de Piedra (13m), en donde se interpretaron 19 litofacies en total, 6 pertenecientes a la unidad Calcárea del Popa y 13 a la unidad Siliciclástica. La descripción de corazones se apoyó en la descripción de secciones delgadas (22), tomadas de las columnas de pozo (15) y afloramiento (7) que permitieron un mayor detalle en el tipo y frecuencia de distribución de las principales partículas aloquímicas, cementos y en los cambios diagenéticos desde la depositación hasta el presente, marcando especialmente la influencia de ambientes diagenéticos marino y meteórico, lo que a la fecha causa procesos de disolución importantes.

Las facies de la unidad calcárea se encuentran distribuidas en un ambiente de plataforma calcárea adosada al continente y en subambientes asociados que van desde frente arrecifal hasta el interior de una zona de laguna costera en la que posiblemente hay influencia de ambientes de borde de costa siliciclásticos.

Las facies siliciclásticas sugieren de base a tope un proceso de somerización de sedimentos depositados en un plataforma marina lodosa que está por debajo del nivel de acción del oleaje que pasa a sedimentos más próximos a lagunas costeras con alta bioturbación en zonas de desarrollos de manglares y sedimentos finos en los que se encuentran numerosos tipos de moluscos.

La estratigrafía de secuencias muestra como la sedimentación responde en esta área a una disminución progresiva en el espacio de acomodación que sugiere que el fondo marino está levantándose y que ha continuado haciéndolo hasta la fecha al nivel en el que se encuentra aflorando la secuencia estudiada.

---

\*Trabajo de Grado. Modalidad Investigación

\*\*Facultad de Ingenierías Físico-Químicas, Escuela de Geología. Director: Alberto Ortiz Fernández  
Codirector: Georgina Guzmán Ospitia.

**TITLE:** LITHOSTRATIGRAPHIC CHARACTERIZATION OF THE PLIO-PLEISTOCENE CARBONATES-SILICICLASTICS AT MANZANILLO AND ARROYO DE PIEDRA, BOLIVAR

**Author:** LADYS MARCELA REYES DE LA ROCA\*\*

**Key words:** Plio-Pleistocene Popa Formation, Manzanillo outcrop, Arroyo de Piedra Limestones, Popa Limestones, Popa Siliciclastic Unit.

## **ABSTRACT**

From the sedimentological description of four wells drilled in the area of Arroyo de Piedra, Bolívar (445 m) and two outcrops in the vicinity of Manzanillo and Arroyo de Piedra (40m), nineteen facies were interpreted, six belonging to Popa Limestone unit and thirteen belonging to Popa Siliciclastic unit. Core description is supported by the description of thin sections (22), taken from wells (15) and outcrops (7) which allowed a greater detail on the type and frequency distribution of the main allochems, cements and diagenetic changes from deposition to present, showing the influence of marine and almost current meteoric diagenetic environments that are responsible for important dissolution processes acting today.

Popa Limestone facies are distributed in a calcareous platform attached to the continent ranging from reef front to the interior of a coastal lagoon in which there are siliciclastic influence.

Popa Siliciclastics facies suggest from base to top a shallowing upward tendency in a muddy marine platform below the wave energy influence evolving to coastal mangrove lagoons characterized by high bioturbation and productivity of several mollusk species.

The sequence stratigraphy shows a progressive decrease in accommodation space which suggests that the seabed is rising and has continued to do so until the date at the level that is emerging sequence studied.

---

\*Undergraduate thesis. Research work.

\*\*Facultad de Físico-Químicas, Departamento of Geología. Thesis Director: Alberto Ortiz Fernández, Thesis Codirector: Georgina Guzmán Ospitia.

## 1. INTRODUCCIÓN

La descripción de unidades del Plio-Pleistoceno en la costa norte colombiana se ha llevado a cabo generalmente a partir de información de afloramientos. En este estudio además de columnas de campo se describen rocas calcáreas a partir de perforaciones que recuperaron roca en mejores condiciones de preservación que permitió una mejor caracterización sedimentológica y estratigráfica.

En total se levantaron dos columnas de campo una en Arroyo de piedra y la otra en Manzanillo y se describieron cuatro núcleos de pozos estratigráficos: Estratigráfico-1, Estratigráfico-2, Estratigráfico-3, Estratigráfico-4 donde se observó la unidad Calizas Arrecifales del Popa depositada sobre una unidad siliciclástica denominada Unidad Detrítica del Popa.

Este trabajo pretende conocer los principales factores geológicos que controlan la depositación y preservación de estas dos unidades, a partir de la descripción macroscópica de la textura y estructuras de las rocas, determinación de facies, análisis y asociaciones faciales, e interpretación de ambientes de depósitos. La descripción de secciones delgadas como complemento a la clasificación macroscópica de los núcleos y de las muestras de afloramiento.

Por medio de la correlación de los pozos estratigráficos es posible determinar hacia qué sectores del área aumentan o disminuyen los espesores calcáreos y siliciclásticos y de esta manera situar las variaciones en el ambiente de depósito.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivos Generales**

Conocer los principales factores geológicos que controlan la depositación y preservación de las secuencias calcáreo-siliciclásticas Plio-Pleistocenas en un sector del Valle Inferior del Magdalena.

### **2.2. Objetivos Específicos**

Realizar la descripción de 445 metros corazonados en la Formación La Popa en el Valle Inferior del Magdalena, determinando facies sedimentarias y arquitectura estratigráfica para las secuencias calcáreas y siliciclásticas Plio-pleistocenas.

Levantar una columna estratigráfica en el sector de Manzanillo de aproximadamente 25 metros y otra en el sector de Arroyo de Piedra de aproximadamente 15 metros.

Realizar un análisis petrográfico en secciones delgadas para complementar y calibrar las facies observadas macroscópicamente.

Amarrar las columnas litológicas a una correlación estratigráfica en el sector de Arroyo de piedra.

### **3. METODOLOGIA EXPERIMENTAL**

En la realización de este proyecto se hizo necesario seguir una metodología específica para desarrollar y alcanzar todos los objetivos propuestos, la metodología planteada contempla las siguientes etapas (Figura, 1).

#### **3.1. RECOPIACION BIBLIOGRAFICA**

Esta etapa comprende la recopilación y análisis de la información geológica disponible del área, que comprende mapas geológicos, cartografía, informes y publicaciones de estudios anteriores, selección de núcleos e información relativa al tema; dicho proceso se llevo a cabo en la biblioteca de la UIS, en la Base de Datos GEOREF y en el Centro de Información Técnica (CIT) del ICP (Instituto Colombiano del Petróleo).

#### **3.2. FASE DE LABORATORIO**

Inicialmente se organizaron los pozos o núcleos a describir, después se dio paso a la descripción sedimentológica, en formatos borrador a escala 1:10 y posteriormente se digitalizaron a escala 1:100, utilizando el software Corel Draw X3; Seguido a esto se determinaron facies sedimentarias y arquitecturas estratigráficas para las secuencias calcáreas y siliciclásticas Plio-pleistocenas.

Luego de hacer la descripción de núcleos se realizó una selección de muestras para datación y otras para descripción petrográfica; con el fin de complementar las facies observadas en la descripción del corazón; los resultados de las dataciones no se incluyen en este trabajo ya que dichos análisis se realizarán posteriormente

por el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP) y el Grupo de investigación en estratigrafía (GIE).

La elaboración de las secciones delgadas se llevo a cabo por parte del Instituto colombiano del petróleo (ICP); cada una fue teñida con Epóxico Alizarine Red-S para la diferenciación de calcita-dolomita y Azul para el análisis de las porosidades.

Posteriormente se efectuó la descripción de secciones delgadas para complementar y calibrar las facies observadas macroscópicamente, para su respectivo análisis se utilizó la guía a color de la petrografía de rocas de carbonatos de la AAPG memoria 77 (Scholle P.,Ulmer D. 2003), y otros libros que fueron de aporte y que tuvieron relación con el tema.

La clasificación rocas calcáreas se hizo siguiendo los criterios de Embry & Klovan (1971) y Dunham (1962)

### **3.3. FASE DE CAMPO**

La fase de campo se realizó en una etapa de 10 días, y se llevó a cabo con el fin de levantar dos columnas estratigráficas; una en el sector de Manzanillo de aproximadamente 27 metros y otra en el sector de Arroyo de piedra de aproximadamente 11 metros. Con su respectiva recolección de muestras la cuales fueron ordenadas posteriormente en un catalogo de muestras.

Para la identificación de las rocas en la fase de campo se utilizó la clasificación propuesta por Embry & Klovan (1971), y Dunham (1962); después se identificaron facies y arquitecturas estratigráficas teniendo en cuenta e integrando esta información con las obtenida en la descripción de núcleos.

De las muestras recolectadas en campo se seleccionaron algunas para datación y otras para secciones delgadas.

### **3.4. FASE DE OFICINA**

En esta etapa se llevó acabo la descripción de muestras de mano recolectadas en campo, las cuales se organizaron en un catalogo de muestras (Anexo 7), posterior a ello estas se archivaron en la litoteca de la Universidad Industrial de Santander (UIS).

Teniendo en cuenta la determinación y asociación de facies se dio paso a la interpretación de ambientes sedimentarios, también se identificaron ciclos estratigráficos de baja frecuencia.

Seguido a esto se amarraron las columnas litológicas de los pozos descritos en una correlación estratigráfica con el fin de mostrar las relaciones faciales que existen en los diferentes puntos del área estudiada.

Finalmente se discutieron los resultados obtenidos, se determinaron conclusiones y recomendaciones y se elaboro un informe final el cual fue entregado al Instituto Colombiano del Petróleo (ICP).

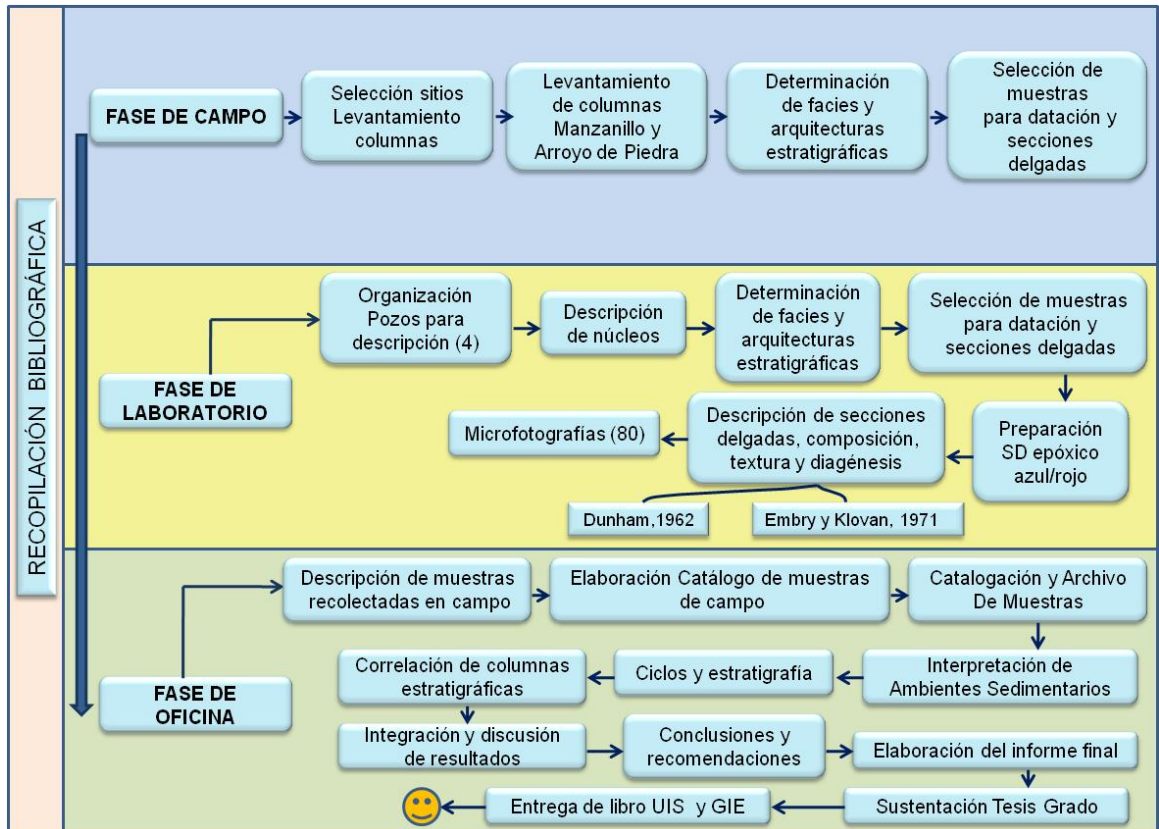


Figura 1. Esquema de la metodología utilizada en la realización del proyecto.

### 3.5 DESCRIPCION MACROSCÓPICA DE NUCLEOS Y MUESTRAS DE MANO.

El objetivo principal de la descripción de núcleos es observar las características mas relevantes de la roca, tales como Textura, estructuras y composición con el fin de determinar facies sedimentarias y asociaciones de facies las cuales mas tarde servirán para interpretar el ambiente o subambientes que se puedan presentar en la zona o intervalo corazonado.

En este caso en particular se describieron 4 pozos, el Bocacanoa Estratigráfico-1, Bocacanoa Estratigráfico-2, Bocacanoa Estratigráfico-3 y el Bocacanoa Estratigráfico-4; en total se describieron 445 metros de roca; es importante mencionar que dichos pozos se encuentran bien preservados.

Para la descripción macroscópica de las muestras de mano y núcleos se utilizó el estereomicroscopio.

### **3.6 CLASIFICACIÓN DE ROCAS CALCÁREAS**

Los núcleos y las muestras de mano descritas fueron analizados de acuerdo a la clasificación textural según Dunham (1962) y Embry y Klovan (1971)

La clasificación de Dunham (Figura 2) se basa en la “Fabrica” de la roca (Textura + estructura) y no en la clase de partícula, haciendo distinción entre rocas granosoportadas (granos en contacto uno con otro) y lodosoportadas (granos flotando en lodo calcáreo); Mudstone, Wackestone, packestone, Grainstone y boundstone (figura 3) que son tipos genéticos al estar formados en medios con diferentes condiciones energéticas.

El caso concreto de las calizas arrecifales se establece una clasificación bastante simple que puede ser aplicada directamente en campo, se trata de la clasificación de Embry y Klovan (1971) (Figura 3); en la cual se evidencian dos grupos de calizas; (Alóctonos y Autóctonos); el primer grupo se refiere a componentes originales que no se formaron durante el depósito; entonces si la roca presenta un mayor del 10% de granos los cuales son mayores de 2 mm, y su armazón es de lodo se denomina Floatstone, pero si su armazón es de granos se llama Rudstone.

Las rocas calcáreas Autóctonas son aquellas cuyos componentes originales fueron formados por crecimiento orgánico durante el depósito; así si esta presenta organismos que actúan de pantalla que atenúan los efectos de las corrientes y favorecen la decantación de fango Carbonático se denomina Bafflestone; Si es un cuerpo tabular, laminar constituido por restos de organismos que han sido unidos por la acción de incrustantes se llama Bindstone; Pero si dichos organismos constituyen un armazón rígido por crecimiento colonial y en simbiosis se denomina Framestone.

TEXTURA DEPOSICIONAL RECONOCIBLE					Componentes Originales No Reconocibles  Carbonato Cristalino  (Subdivisiones basadas en textura o diagénesis)
Componentes Originales No Cementados Durante Deposición			Sin Lodo Y Granoso-portada	Componentes Originales Cementados Durante Deposición	
Contenido De Lodo		Granoso-portada			
Lodo Soportada					
<10% Granos Mudstone	>10% Granos Wackestone	Packstone	Grainstone		Boundstone

Figura 2. Clasificación textural de los carbonatos según Dunham (1962).

CLASIFICACIÓN DE ARRECIFES DE EMBRY & KLOVAN				
Componentes Originales No Cementados Organicos Durante la Deposición		Componentes Originales Cementados		
>10% Granos >2mm				
Matriz - Soportado	Soportado por componentes mayores de 2mm	Organismos controlan flujo de energía/sedimentos	Organismos incrustan y cementan	Organismos constuyen una estructura rígida
Floatstone	Rudstone	Bafflestone	Bindstone	Framestone

Figura 3. Clasificación textural de las calizas arrecifales de Embry & Klován (1971).

### 3.7 CLASIFICACIÓN DE ROCAS SILICICLÁSTICAS

El elemento textural más importante de las rocas detríticas es el tamaño de grano, en el campo la estimación del tamaño medio de grano se hace por medición directa o por comparación visual (o con lupa) con tablas de tamaños conocidos en las areniscas y Limolitas.

Otro aspecto textural de interés en las rocas detríticas es la forma del grano (esfericidad y redondeamiento) que igualmente se estima por comparación visual con tablas patrón (Tucker, 1988). La selección en las areniscas y Limolitas se estima por comparación con una tabla de referencia en la que se ilustran materiales con una selección desde excelente (con tamaños muy semejantes) a pésima (con gran variedad de tamaño de grano). La fabrica en rocas detríticas de grano grueso y medio tiene, igualmente trama/matriz. Se diferencias dos tipos texturales: los granosoportados en los que los granos están en contactos unos con otros formando el armazón de las rocas y los que tienen soporte de matriz, en los cuales los cantos están incluidos en el seno de una matriz lutítica.

Para la descripción de los núcleos y muestras de mano siliciclásticas utilizó la clasificación textural de las rocas terrígenas según (Figura 4) (Folk, 1954).

Teniendo en cuenta la homogeneidad de la roca: laminación, bioturbación, orientación de granos (micas, granos de cuarzo, imbricación, etc) y porosidad.

-*Tamaño de grano*: el tamaño promedio de la muestra, el rango de tamaños (extremos) y selección (calibrado) con la clasificación de Pettijhon et. al. 1973. el tamaño de granos se de en milímetros y en unidades Phi ( $\Phi$ ) con su correspondiente terminología utilizando la escala de Wentworth (1922).

Si la muestra presenta varios tamaños, se determina la proporción de grava, arena y lodo, para grava y arena se da el tamaño promedio, selección y porcentajes; para el lodo se determina la proporción relativa de arcilla y limo y el tamaño promedio de la fracción de limo.

-*Forma de los granos*: se determina la esfericidad (elongación) promedio, rango de esfericidad y variación de la esfericidad con el tamaño de grano y composición.

Se determina la redondez promedio, rango y variación con el tamaño de grano y composición, se utiliza el diagrama de Powers (1953) para definir estos parámetros.

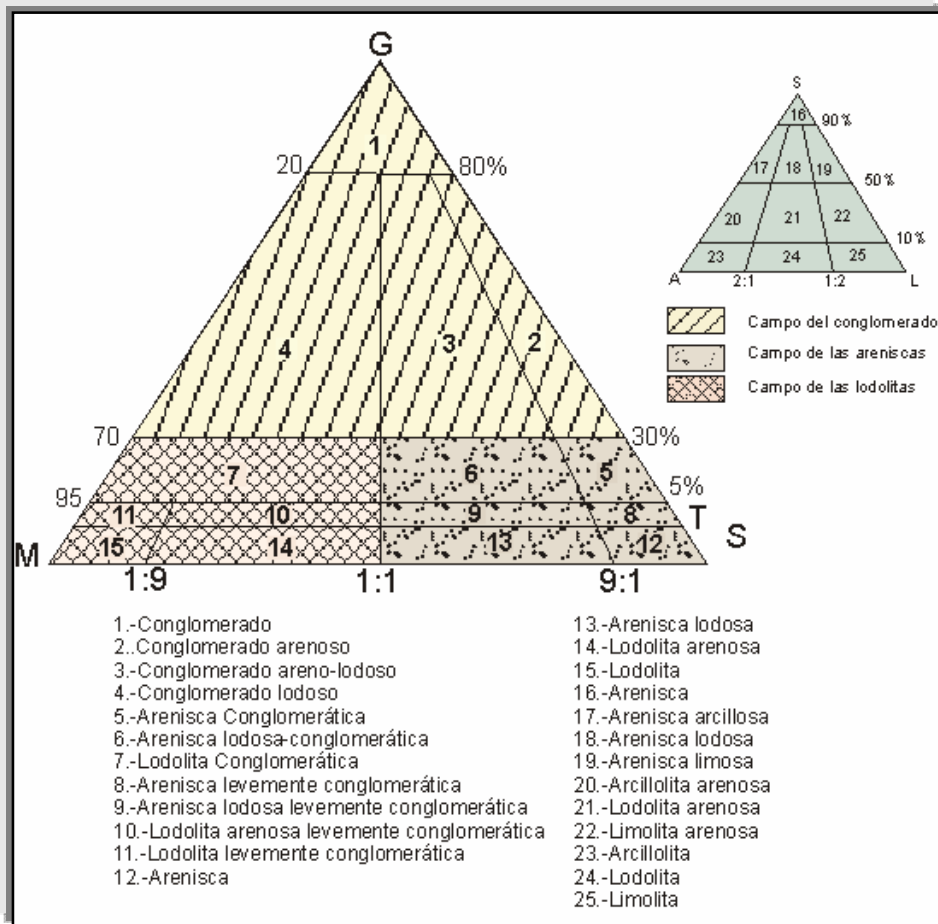


Figura 4. Clasificación textural del Folk (1954) para rocas sedimentarias Siliciclásticas.

## 4. DESCRIPCION GENERAL DE LA ZONA

### 4.1 LOCALIZACIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

El área a trabajar se encuentra ubicada hacia la parte noroccidental de Colombia, En el departamento de Bolívar, Valle Inferior del Magdalena (Figura 5), más específicamente en los sectores de manzanillo y arroyo de piedra; aproximadamente a unos 25 Km de Cartagena.

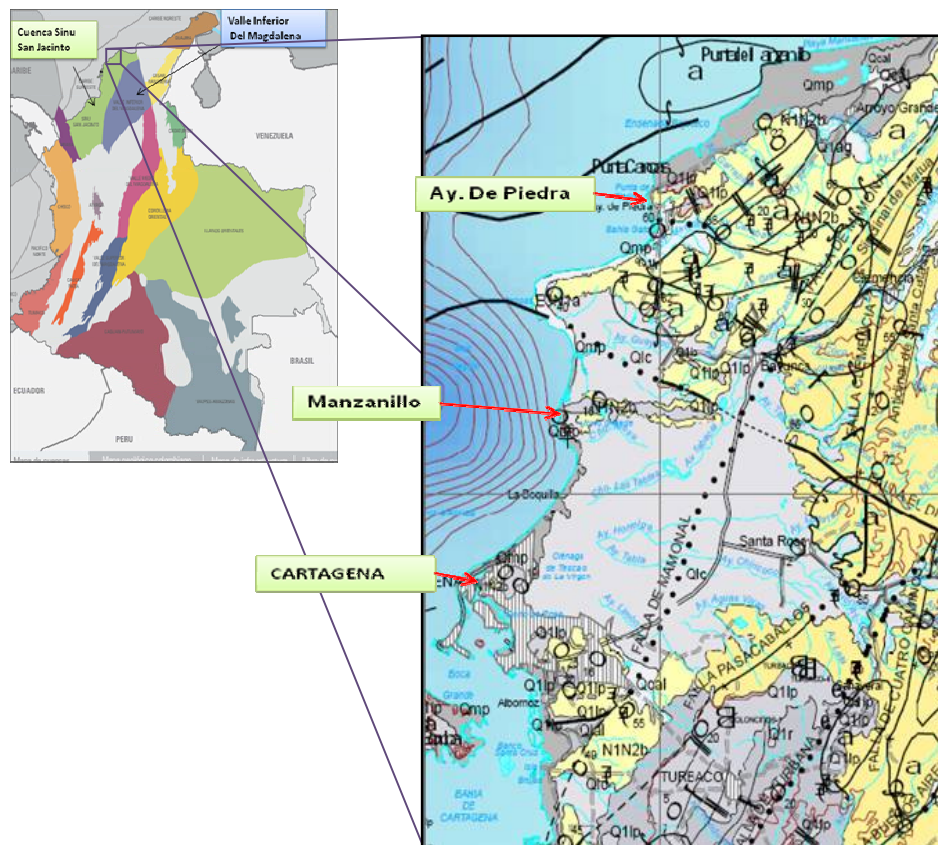


Figura 5. Mapa localización área de estudio, mapa geológico Sinú-San Jacinto, INGEOMINAS.2003.

## **4.2 CLIMA Y VEGETACIÓN**

El clima de la zona de estudio es de tipo tropical seco o xeromegaterno tropical, es decir, correspondiente a una vegetación propia de la sequedad y bajo altas temperaturas.

La temperatura promedio es de 27,4 °C. De noviembre hasta principios de abril, coincidiendo con el invierno boreal, soplan los vientos alisios del noreste que suavizan las altas temperaturas en las épocas de sequia.

El régimen de precipitación de la zona se rige por dos periodos: uno seco, de diciembre a abril, y otro lluvioso que abarca de abril a principios de diciembre. La precipitación anual promedio es de 821 mm.

La vegetación es diversa en toda el área y depende de las condiciones del viento; se presentan bosques tropicales, húmedos, secos y en algunas zonas se encuentran arbustos y matorrales los cuales se adaptan a condiciones climatológicas especialmente duras, que se caracteriza por altas temperaturas y escasas precipitaciones.

## **4.3 HIDROGRAFÍA**

El rio mas importante el cual tiene gran influencia en el área de estudio es el Magdalena, también hay presencia de un gran numero de arroyos y quebradas, como por ejemplo Arroyo de Piedra, Arroyo Manzanillo grande, Arroyo Carvajal, Arroyo tabacal, Arroyo chiquito, también aguas lacustres como la ciénaga de la virgen.

#### 4.4 VÍAS DE ACCESO

Para llegar a la Zona de estudio se toma la carretera principal que conduce de Cartagena a Barranquilla; la cual se encuentra bordeando toda la costa, también se utilizaron vías secundarias como caminos destapados de fácil acceso y muy transitables.

#### 4.5 LOCALIZACIÓN POZOS BOCACANOA Y COLUMNAS LEVANTADAS EN CAMPO



Figura 6. Localización columnas levantadas en campo, Zona Manzanillo y Arroyo de Piedra (Nasa World Wind 1.4).



**Figura 7. Localización pozos Bocacanoa Estratigráfico 1-2-3 y 4, afloramiento Arroyo de piedra (Cantera) y Manzanillo.**

## **5. MARCO GEOLOGICO**

En este capítulo se mencionaran los principales rasgos tectónicos y estratigráficos del área de estudio, la cual se encuentra ubicada dentro del Valle Inferior del Magdalena mas específicamente dentro de los cinturones Sinú-San Jacinto .

### **5.1 ESTRATIGRAFÍA**

En general la región noroccidental de Colombia está caracterizada por variaciones laterales de las secuencias sedimentarias depositadas, hecho que se debe principalmente a la paleogeografía presente en el momento de la depositación y a las condiciones tectónicas dominadas por la convergencia de placas desde el Cretáceo tardío al Terciario temprano (Duque-Caro, 1978 en Castro, 2006).

La secuencia estratigráfica en el Cinturón Plegado de San Jacinto es de edad cretácico Superior a Mioceno Tardío con una delgada cubierta de depósitos Plio- Pleistoceno. Las unidades Litoestratigráficas evaluadas en este trabajo, que hacen parte del Cinturón Plegado de San Jacinto, comprenden el Plio- Pleistoceno. La Formación de interés en este estudio es la Formación La Popa, por lo tanto se describirán sus características más importantes y finalmente se muestran los estudios hechos anteriormente en dicha Formación.

#### **5.1.1 ESTUDIOS PREVIOS DE LA FORMACIÓN LA POPA**

La zona de estudio se encuentra ubicada en la costa norte colombiana; en la cuenca del Valle inferior del Magdalena mas específicamente dentro de los cinturones Sinú-San Jacinto; dentro del área de estudio aflora la Formación la

Popa es por ello que en este capítulo se mencionaran los aspectos más importantes de esta Formación y a su vez se mencionara los aspectos tectónicos más importantes de los cinturones Sinú-San Jacinto.

La Formación la Popa pertenece al grupo de rocas terciarias que afloran en la costa norte Colombiana al norte de los Departamentos de Atlántico y Bolívar, entre las ciudades de Cartagena y Barranquilla.

Anderson (1926) denomina grupo la Popa, a un conjunto de shale arenoso, arenisca con corales y arrecifes coralinos que se encuentran elevados y están expuestos en los alrededores de Cartagena. El nombre de esta unidad resulta más específicamente del Cerro La Popa en la Ciudad de Cartagena. Mas adelante Anderson (1929) redefine esta unidad y señala que en el Cerro La Popa, esta consta de Shales arenosos poco consolidados bien estratificados y horizontes de margas calcáreas. Finalmente separó del grupo la Popa a las calizas coralígenas que se muestran en el tope del cerro de La Popa.

Link, T. (1927), define “La Popa Limestone” conformada por calizas que afloran en la parte alta del Cerro La Popa y las describe como “una caliza coralígena con cantos y con fuerte estratificación cruzada”.

Royo y Gómez (1942), elabora la recolección de material fosilífero y describe algunos yacimientos del Atlántico que abarcan desde el mioceno Superior al Plioceno Inferior; describiendo el yacimiento de la cantera de Villa Santos, cerca de Barranquilla en donde “ la roca muestra tránsitos desde una verdadera molas con granos de cuarzo y alguna laminilla oscura de mica , hasta una caliza basta “ que contiene algas coralíneas y presenta similitud litoestratigráfica con las rocas de la Formación la Popa. También describe otros yacimientos en la carretera Puerto Colombia – Barranquilla y en cercanía al municipio de Baranoa que también contiene algas coralíneas y son contemporáneas con el de cantera de Villa Santos, Royo y Gómez (1950) lleva a cabo un estudio geológico en la isla de Tierrabomba y Cartagena y describe detalladamente las rocas del Mioceno

superior que afloran en la Loma la vigía de Tierrabomba y las correlaciona con las del Cerro de La Popa de Cartagena. Menciona además una terraza situada a 20 metros sobre el nivel del mar de edad Pleistoceno inferior, la cual se depositó sobre las calizas del Mioceno superior. Esta terraza está conformada por “calizas terrosas blanquecinas con algas calcáreas (Lithothamnion) y Púas y otros restos de equínidos”, las cuales se podrían confundir con las calizas del Mioceno Superior de la loma La vigía en Tierrabomba, Tomado de (Castro R, 2006).

Royo y Gómez (1950) describe el Mioceno conformado por capas arcillosas de colores gris azulados y verdosos a pardo amarillentos con presencia de yeso y niveles fosilíferos. Intercalaciones de areniscas y calizas. Las areniscas son calcáreas de color gris oscuro a pardo y con frecuencia contienen abundantes fósiles.

Posteriormente Bürgl (1957), complementó y aclaró con más detalle la estratigrafía del Cerro La Popa y al mismo tiempo menciona los depósitos del Plioceno en los alrededores de Cartagena (Calizas de La Popa) y describe la localidad tipo para la Formación la Popa en el Cerro de La Popa en esta ciudad. También menciona el Terciario Marino de Bolívar y Atlántico y define propiamente la formación La Popa, empiezan con Arcillas micáceas de color gris oscuro (Arcillas de La Popa) y hacia la parte de arriba pasa a calizas arrecifales que las llama Calizas de La Popa. Designa una edad Plioceno para esta Formación.

Bürgl (1957) describe en este sitio de abajo hacia arriba los siguientes niveles: nivel a) arcillas micáceas gris oscuras, con yeso; nivel b) Arcillolitas arenosas con bloques y grumos de calizas arrecifales; nivel c) caliche amarillo con bloques de arrecifes coralinos; nivel d) Caliza porosa arrecifal; nivel e) caliza maciza de arrecifes coralinos.

De Porta y Solé de Porta (1960) menciona que la terraza ubicada a 20 metros sobre el nivel de mar señalada inicialmente por Royo y Gómez (1950) se formó sobre una superficie de abrasión Pleistocena sobre las calizas arrecifales del

Plioceno, posiblemente del Plioceno Superior. Estas calizas arrecifales pliocénicas son particularmente del miembro superior de la Formación La Popa.

Solé de Porta en 1960, con base a un análisis polínico en el “Cerro de La Popa” una edad Plioceno, posiblemente Plioceno Superior, sin descartar la posibilidad de que pertenezca al Pleistoceno inferior.

Describe la serie estratigráfica estudiada como constituida por dos niveles. El inferior formado por margas azuladas con capas muy delgadas de yeso que pasan gradualmente a una zona mas arenosa de color amarillento para terminar con un nivel de grano fino y medio muy poco cementadas. El nivel superior consta de calizas coralígenas.

Morer y Nichols (1960) mencionan “el lente calcáreo de Tubarco” comprendido dentro de las arcillas Mio-Pliocénicas, el cual cubre varios kilómetros cuadrados y señalan su similitud con las calizas que afloraran en el cerro de Albornoz, con el mismo origen arrecifal.

Ordoñez (1960) realiza un estudio de los yacimientos de calizas en los departamentos de Bolívar y Atlántico, mencionando los yacimientos de Arroyo de Piedra y Canalete al sureste del municipio de Bayunca.

Burlg (1961) menciona a la formación La Popa como del Plioceno y discordante sobre le Mioceno. Agrega que las calizas de esta formación presentan bioturbaciones muy altas casi siempre inclinadas y fracturadas.

De porta (1962) menciona la necesidad de una revisión a fondo sobre la estratigrafía de Colombia y manifiesta la falta de correlación de la estratigrafía del Terciario Marino y Continental de Colombia con los datos estratigráficos publicados en los últimos años en el Caribe y en Europa.

Camacho & Valdiri (1968) estudian la geología de los cuadrángulos D8 y E8 y trabajan la formación La Popa estableciendo una sección tipo, dividen la

Formación en dos miembros; al inferior la denominan Unidad Detrítica del Popa (T2) y al superior Unidad Calizas Arrecifales del Popa (T1).

Duque –Caro (1973) menciona la Formación La Popa de edad Plio-Pleistoceno, sustentada por la asociación de *Globorotalia crassaformis* (Galloway & Wissler) – *Globorotalia truncatulinoides* D'Orbigny).

Duque-Caro (1978) menciona el cinturón de Sinú como un elemento tectónico mayor del norte de Colombia y de este anota que las rocas que afloran en dicha área, son en su mayoría de edad Mioceno Tardío a Plioceno, las cuales consisten de una secuencia turbidítica con un ambiente de depósito estimado entre los 1000 y los 2000 metros de profundidad de agua y suprayaciendo esta secuencia, se encuentra una facies de carbonatos de ambiente poco profundo con una edad de Pleistoceno-Holoceno, de hasta 1000 m de espesor (incluso 4000 m ). Es probable que la Formación La Popa haga parte de esta última secuencia dada la similitud con las características paleoambientales descritas por este autor.

Según Angel et. al. (1985) realizan un estudio en el Departamento de Bolívar al norte del Canal del Dique y describen detalladamente la Formación La Popa, asimismo afirman que la Unidad detrítica del Popa (T2) en Cartagena y sus alrededores esta compuesta por tres conjuntos: uno inferior que se distingue por la alternancia de Arcillolitas y Limolitas gris oscuras, con algunas intercalaciones de areniscas de grano fino. El conjunto intermedio es arenoso y posee intercalaciones de Limolitas y areniscas de grano muy fino. Se trata de una secuencia rítmica donde los paquetes de arenisca de grano fino a ligeramente conglomerática, se intercalan con capas delgadas y láminas de arenisca de grano muy fino Limolitas y Arcillolitas, predominando los primeros. El conjunto superior es Limo-arcilloso y se caracteriza por delgadas intercalaciones de Limolitas, Arcillolitas y areniscas de grano fino y muy fino con estructuras sedimentarias similares a las del conjunto intermedio. De la Unidad Calizas Arrecifales del Popa (T1) no hacen una descripción a detalle.

Colins (1999) señaló que con posterioridad a la Formación del istmo de Panamá se produjo un aumento de las facies carbonatadas en el área del Caribe en la cual se produjo la depositación de la Formación La Popa.

Jiménez & Prince (1999) realizan un estudio sobre las Calizas aflorantes en el Cerro de Púa, en los alrededores de Arroyo de Piedra, los cuales siguen la misma metodología propuesta por Camacho & Valdiri (1968) quien hacen una cartografía geológica donde diferencian 5 unidades litológicas, La Unidad Detrítica del Popa (T2), la Unidad Calizas Arrecifales del Popa (T1), la Unidad Detrítica Superior (Q3), Los Depósitos Recientes Aluviales (Q2) y de Playa (Q1). Donde La Unidad Calizas Arrecifales del Popa fue depositada sobre una plataforma siliciclástica representada por la Unidad Detrítica del Popa, en un ambiente marino somero como un cuerpo arrecifal aislado de margen de plataforma; se propone en este trabajo una paleozonación arrecifal dentro de este cuerpo con base en la distribución de las asociaciones faciales.

Barrera et. al (2000) levanta en la vía Puerto Colombia – Barranquilla una sección estratigráfica de la Formación La Popa. Donde la dividen en dos conjuntos, hacia la base, un conjunto inferior el cual se compone de calizas terrígenas de color gris amarillo, bioturbada y areniscas calcáreas y moluscos; el conjunto superior esta conformado por calizas terrígena arenosa con niveles de hasta 1 m de espesor de calizas arrecifales mas competentes con abundancia de bioclóstos y areniscas deleznales de grano grueso.

Barbosa et. al (2001) mencionan la Formación La Popa donde introducen nuevos nombres para los dos miembros que la conforman; para el inferior detrítico utilizan el termino “Arroyo Grande” y para el miembro superior calcáreo utilizan el termino “La Popa”; Levantando una serie de secciones: (Traversa Tubarco-Polvo Azul), la sección (Cantera Albornoz) y la sección de referencia (Casco Urbano).

Barrera (2001) hace una pequeña descripción de la Formación La Popa que aflora en las regiones de Galerazamba y Barranquilla. De Porta (2003) menciona las

formaciones de tipo arrecifal de Colombia; a partir de dos secciones levantadas: (Sección Vía Puerto Colombia-Barranquilla) donde su porción inferior esta representada por calizas muy terrígenas de color gris amarillento y arenisca muy calcares de grano fino y moluscos ocasionales; hacia la parte superior dominan las calizas arrecifales terrígenas, con abundantes bioclásticos de corales, algas y moluscos, en capas gruesas; la otra sección corresponde al Pozo 17 I D-26 El Morro don de la Formación La Popa se encuentra en contacto con la Formación Hibaranchó; representados intercalaciones de calizas fosilíferas y areniscas.

De Porta (2003) menciona las formaciones de tipo arrecifal de Colombia que se extienden desde el sur de Cartagena hasta Barranquilla en una distancia Superior a los 100 km.

Castro (2006) realiza un análisis documental acerca del estado de la estratigrafía de la Formación La Popa en los departamentos de Bolívar y Atlántico, de la costa Caribe colombiana; donde examino a detalle la estratigrafía de dicha Formación con una Exhaustiva recopilación bibliográfica, todo con el fin de organizar y unificar la información existente acerca de la misma.

Los estudios anteriormente mencionados se encuentran resumidos en la (tabla 1).

La información bibliográfica acerca de la formación la Popa expuesta en este capítulo en gran parte fue basada de Castro (2006).

#### **5.1.1.1 Consideraciones Acerca De La Edad De La Formación La Popa**

A continuación se muestran las diferentes consideraciones de edad para la formación la Popa se tomaron en base a la recopilación bibliográfica realizada por (Castro, 2006), en la tabla 2 se resume brevemente dichas apreciaciones.

Anderson (1926) señala originalmente para las rocas que afloran en el Cerro de La Popa una edad Plioceno con base a su posición estratigráfica, mas tarde (1927) considera solo una parte de esta unidad como Plioceno.

Link (1927) le asigna a la unidad compuesta por las calizas arrecifales (La Popa Limestone) una edad Pleistoceno Inferior.

Royo y Gómez (1942) recolecta de la cantera Villa Santos (cerca de Barranquilla) diversos ejemplares de algas coralígenas, foraminíferos, briozoos y otros invertebrados de los cuales identifica formas propias del Mioceno Superior (*Pecten (Plagiotecnum) deserti* Conrad), del Plioceno (*Clypeaster rosaceus*) y de ambos periodos (*Amussium* cfr. *Cristatus* Bronn) por lo que no le es posible deducir de su conjunto una conclusión definitiva.

**Tabla 1. Resumen de los diferentes términos utilizados para la Formación La Popa de acuerdo a diversos autores. (Castro, 2006).**

AUTOR	USOS DEL TERMINO LA POPA
ANDERSON 1926 1927 1929	GRUPO LA POPA
LINK 1927	LA POPA LIMESTONE
ROYO Y GOMEZ 1950	CALIZA DE LA POPA
BÜRGL 1957	ARCILLAS DE LA POPA CALIZAS DE LA POPA
BÜRGL 1959	<b>FORMACION LA POPA</b>
SOLÉ DE PORTA 1960	FORMACIONES DEL "CERRO DE LA POPA"
BÜRGL 1961	FORMACION LA POPA
CAMACHO & VALDIRI 1968	UNIDAD DETRITICA DEL POPA UNIDAD CALIZAS ARRECIFALES DEL POPA
DUQUE-CARO 1973	FORMACION LA POPA
ANGEL et. al. 1985	UNIDAD DETRITICA DEL POPA UNIDAD CALIZAS ARRECIFALES DEL POPA
HUGUETT 1988	UNIDAD DETRITICA DEL POPA UNIDAD CALIZAS ARRECIFALES DEL POPA
JIMENEZ & PRINCE 1999	UNIDAD DETRITICA DEL POPA UNIDAD CALIZAS ARRECIFALES DEL POPA
BARRERA et. al. 2000	FORMACION LA POPA
BARBOSA et. al. 2001	FORMACION LA POPA MIEMBRO LA POPA
BARRERA 2001	FORMACION LA POPA
Usos del termino "La Popa" por los diferentes autores	Estratigrafía de la Formación La Popa Catalina Castro 2006

**Tabla 2. Resumen de las diferentes edades propuestas para la Formación La Popa de acuerdo a diversos autores. (Castro, 2006)**

AUTOR	EIDADES											
	MIOCENO			PLIOCENO			PLEISTOCENO			HOLOCENO		
	I	M	S	I	M	S	I	M	S	I	M	S
ANDERSON 1926				—————								
ANDERSON 1929	—————											
LINK 1927							—————					
ROYO Y GOMEZ 1942			—————	—————								
ROYO Y GOMEZ 1950			—————									
BÜRGL 1957				—————								
BÜRGL 1959				—————								
SOLE DE PORTA 1960							—————					
DUQUE-CARO 1967				—————								
DUQUE-CARO 1973				—————			—————					
DUQUE-CARO 1978							—————			—————		
DUQUE-CARO 1984							—————					
ANGEL et. al. 1985							—————					
BARRERA et. al. 2000							—————					
BARBOSA et. al. 2001							—————					
DE PORTA 2003							—————					
EIDADES DE LA FORMACION LA POPA SEGUN DIFERENTES AUTORES							Estratigrafía de la Formación La Popa Catalina Castro R. 2006					



polínico, Descarta la edad Mioceno y señala la similitud de la flora recolectada con la Pleistocénica, aunque no igual como tampoco lo es la fauna. Por esa razón y por la presencia de *Alnus* considera la edad Plioceno, posiblemente Plioceno Superior sin dejar de considerar la posibilidad de que corresponda al Pleistoceno Inferior. La recolección de los ejemplares solo se hace de la parte detrítica o inferior de la Formación La Popa compuesta por arcillolitas micáceas.

Duque-Caro (1967) menciona algo de la fauna encontrada en el área de Turbaco, cerca de Cartagena, sin mencionar el tipo de roca en la cual se encontraron los ejemplares: *Globorotalia truncatulinoides* (D'Orbigny) , *Globorotalia crassaformis* (Galloway & Wisler), *Pulleniatina obliquiloculata* (Parker y Jones), *Sphaeroidinella seminulina* (Schwager), entre otras, que representan un Plioceno marino de condiciones de mar abierto.

Duque-Caro (1973) menciona la Formación La Popa de edad Plio-Pleistoceno, edad sustentada por la asociación de *Globorotalia crassaformis* – *Globorotalia truncatulinoides* la cual reconoció en unas arcillolitas grises de la parte inferior de dicha formación en la carretera Mamonal – Loma de Piedra.

Duque-Caro (1978) menciona la facies de carbonatos de ambiente poco profundo con una edad de Pleistoceno-Holoceno depositada en el denominado cinturón de Sinú.

Barrera *et. al.* (2000) asignan a la Formación La Popa una edad Pleistoceno con base en muestras micropaleontológicas recolectadas. Descartan la edad Plioceno para esta formación. No se mencionan cuales fueron los ejemplares recolectados.

Barbosa *et. al.* (2001) recolectan muestras de la parte superior de la Formación Bayunca, revelando el Plioceno superior, lo que confirma que la Formación La Popa es del Pleistoceno inferior. En este trabajo no se mencionan los ejemplares recolectados para hacer dicha datación.

Duque-Caro (1984) asigna a los depósitos pertenecientes a la segunda etapa sedimentaria (marino somero), expuestos en las áreas costa adentro de Cartagena-Barranquilla, compuestos de sedimentos terrígenos clásticos y hemipelágicos, una edad Plioceno Tardío – Pleistoceno, e incluyen las calizas arrecifales expuestas en el área de Cartagena – Barranquilla.

Angel *et. al.* (1985) asignan a lo que llaman Unidad Detrítica del Popa (T2) una edad de Plioceno Superior – Pleistoceno Inferior, según dataciones realizadas por Duque-Caro (1984) con foraminíferos, por lo tanto la edad de Unidad Calizas Arrecifales (T1) sería Post-Plioceno Superior – Pleistoceno Inferior o cuando menos contemporánea con la Unidad Detrítica en algunas zonas, como al este de Turbaco. Sin embargo estos paleoarrecifes no llegan a ser más modernos que el Pleistoceno Superior, por lo menos desde Pasacaballos hacia el este, ya que el análisis de los microfósiles de una intercalación arcillosa dentro de las calizas en esta localidad, dio Pleistoceno Superior (Duque-Caro, op. cit.). Es en este trabajo donde por primera vez se tiene en cuenta todo el conjunto litológico correspondiente a la Formación La Popa, mencionando límites cronoestratigráficos concretos.

Barrera (2001) con base a los resultados de muestras micropaleontológicas recolectadas asigna el Pleistoceno para la Formación La Popa, pero como en el trabajo anterior no mencionan ninguno de los ejemplares recolectados.

De Porta (2003) menciona nuevamente que entre Cartagena y Punta Piedras, en la zona de los Morritos, las lutitas arenosas sobre las que se apoyan las calizas arrecifales contienen *Alnus* lo que indicaría una edad Pleistoceno para estas rocas y que la presencia de *Globorotalia truncatulinoides* en las lutitas arenosas sobre las que se apoyan las calizas coralinas en Turbaco, señalada por Duque-Caro (1967 y 1973) confirmaría esta edad, teniendo en cuenta la edad de la primera aparición de este taxón (1.9 Ma) en el Caribe (Cotton, 1999 en De Porta 2003). Menciona la existencia de datos preliminares de U/Th, sobre colonias coralinas

recogidas en diversas localidades, que indican que las edades varían entre los 300.000 y los 124.000 años.

Para el autor es posible que no todos los afloramientos de calizas arrecifales que se han atribuido a la Formación La Popa sean exactamente sincrónicos si bien se localizarían todos ellos en el Pleistoceno. En este trabajo se hace por primera vez mención a una datación absoluta de la Formación La Popa, pero solo de la parte superior. Por lo tanto según, este autor, las arcillas que conforman la parte inferior de la Formación tendrían la misma edad que las calizas arrecifales en algunos sectores.

### **5.1.2 FORMACION LA POPA**

Para este estudio se tubo encuentra la metodología aplicada en la tesis de Jiménez & Prince (1999), el cual divide la formación La Popa en dos unidades; la unidad detrítica del Popa (T2) y la unidad calizas arrecifales del Popa (T1) (figura 8).

#### **5.1.2.1 UNIDAD DETRITICA O SILICICLÁSTICA DEL POPA (T1)**

Está constituida por tres conjuntos diferenciables: uno inferior arcilloso, el intermedio arenoso y el superior arcilloso. El conjunto intermedio está formado esencialmente por areniscas de grano muy fino a ligeramente conglomeráticas, friables y poco fracturadas. El espesor de ésta unidad alcanza un máximo de 1200 m. en el pozo Barú-11 y se depositó en un ambiente marino somero - transicional cercano al nivel de mareas durante el *Plioceno Inferior* - *Pleistoceno*. (Jiménez & Prince 1999)

### 5.1.2.2 UNIDAD CALIZAS ARRECIFALES DEL POPA (T2)

Aflora en los alrededores de Barranquilla, al noreste de los municipios de Tubará y Baranoa (Atlántico) y al Oeste de las poblaciones de Arroyo Grande, Villanueva y Arjona en Bolívar. Se compone de calizas arrecifales, arenisca calcárea fosilífera y Arcillolita. Su espesor máximo es de 100 m. y se depositó en un ambiente marino somero en el *post-Plioceno Superior – Pleistoceno* (Jiménez & Prince, 1999).

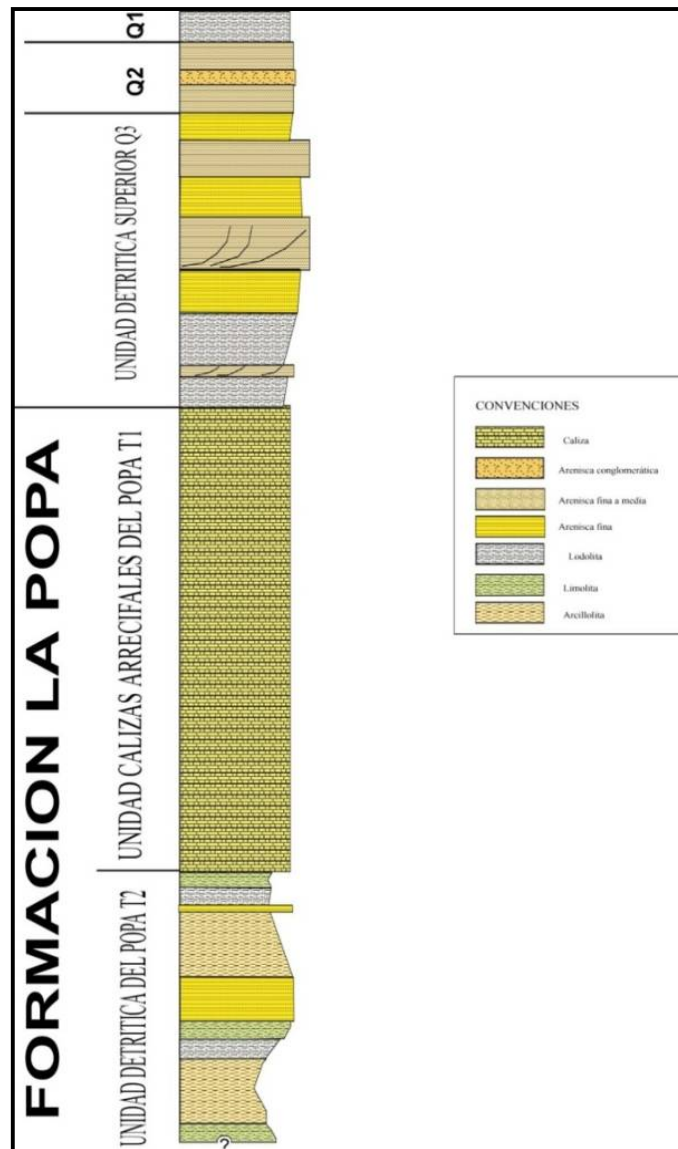


Figura 8. Columna generalizada de la Formación La Popa. (Jiménez & Prince 1999)

## 5.2 MARCO TECTÓNICO REGIONAL

Estructuralmente la zona está dividida en tres dominios principales: el cinturón de Sinú, el cinturón de San Jacinto y el borde occidental del valle inferior del Magdalena, el cual a su vez se divide en las subcuencas de Plato y San Jorge. (Guzmán et. al. 2004)

El cinturón de San Jacinto, se encuentra fragmentado en varios bloques que corresponden topográficamente con las serranías de Luruaco, San Jacinto, San Jerónimo y con gran parte de las cuchillas de Cispata al sur del golfo de Morrosquillo (Figura 9). Estas serranías constituyen los bloques con mayor deformación tectónica y se encuentran “rodeadas” por zonas o depresiones con menor deformación. Estas “depresiones” corresponden a las siguientes zonas:

Cuenca hidrográfica baja del Río Magdalena. Zona del canal del Dique Depresión del área de San Onofre y llanura costera aledaña al golfo de Morrosquillo Zona Carmen – Zambrano al occidente del Río Magdalena. (Guzmán et. al. 2004)

Es en estas depresiones en donde se acumuló y se sigue acumulando la mayor parte de los sedimentos. En las serranías en cambio, afloran básicamente rocas del Paleoceno–Eoceno superior y eventualmente algunas rocas Cretácicas de la Formación Cansona. Estas rocas suelen estar afectadas por fallas de cabalgamiento con rumbo aproximado N45°E con pliegues estrechos entre ellas.

Al occidente del cinturón de San Jacinto, se encuentra el cinturón del Sinú. Este cinturón conforma una franja con una dirección preferencial N20°–30°E y comprende una zona al norte en el área de Turbaco, una zona al sur al occidente del río Sinú que abarca la serranía de Abibe–Las Palomas y la zona de plataforma continental. En su porción sur, su borde oriental está separado del cinturón de San Jacinto por el lineamiento del Sinú, junto con su terminación norte que corresponde con el trazo de la falla de San Jacinto en el sector de San Antero



El Cinturón de San Jacinto esta conformado por una serie de pliegues con dirección noreste, fallas inversas y normales, las principales estructuras que limitan el cinturón plegado de San Jacinto son: al Norte la falla de Oca, al este la falla de Romeral, la cual tectónicamente separa el cinturón plegado de San Jacinto de las cuencas de Plato y San Jorge; al Oeste esta limitado por lineamiento del Sinú, el cual separa este del cinturón de I Sinú. Y al sur oeste por la terminación de la cordillera occidental (Caro M, 2003, en Villafrade 2006) como se muestra en la (Figura 10).

A continuación se describen las características de los principales rasgos tectónicos que limita el cinturón plegado de San Jacinto.

**5.2.1 Falla de Romeral:** Barrero et al. (1969) usaron el nombre de falla Romeral para designar una zona de falla con una longitud de más de 800 Km a partir del sur de Colombia hacia el norte, esta forma el borde del cinturón plegado de San Jacinto. Una de las características más importante que tiene esta zona de falla es que también separa dos ambientes o provincias geológicas: continental al oriente y oceánica al occidente, la Sutura de Romeral fue prolongada y trazada en el área Caribe Colombiana por Duque–Caro, 1979. Esta sutura ha representado la margen de la esquina norte Suramericana desde el cretácico. La provincia continental se extiende al oriente de la Sutura de Romeral y esta formada por la cuenca del Valle Inferior del Magdalena (Duque-Caro., 1979 en Guzmán, 2004).

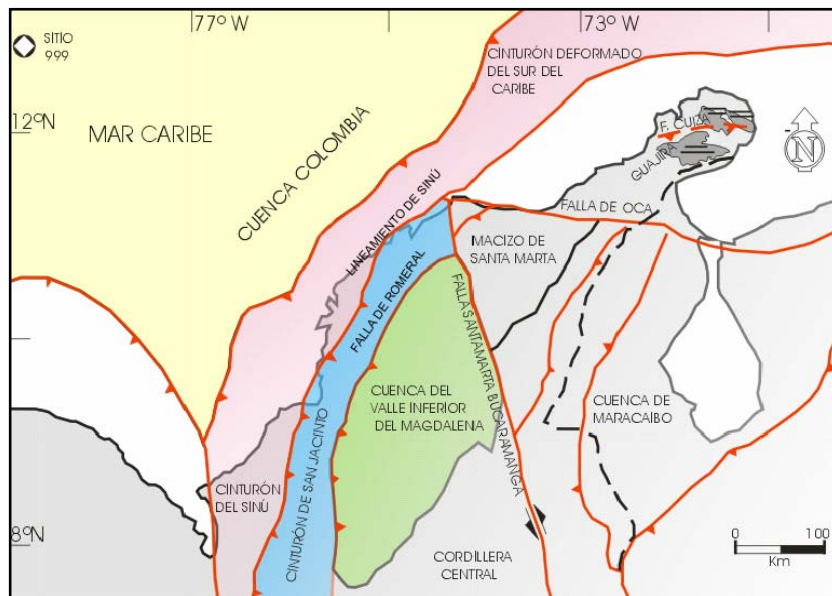
**5.2.2 Lineamiento de Sinú:** este rasgo estructural fue propuesto por Duque-Caro (1979, 1980), para separar los Cinturones de Sinú y San Jacinto en la parte Sur del cinturón de Sinú (Barrera., 2001, en Guzmán., 2004), la cual sirve de límite entre ambos cinturones a la altura de San Antero.

De la misma manera que el lineamiento de Romeral, el de Sinú también se interpreta como un antiguo surco marginal del Cinturón de San Jacinto durante las etapas iniciales de la evolución. Esta interpretación está basada en la ocurrencia

de sedimentos pelágicos y turbiditas abisales de Oligoceno tardío a Mioceno tardío-Plioceno hacia el occidente, y facies de carbonatos de poca profundidad con la misma edad al oriente (Duque-Caro., 1980).

**5.2.3 Falla Bucaramanga- Santa Marta:** Falla de deslizamiento lateral sinistral con componente inversa activa desde el Terciario temprano (?) con una máxima rata de desplazamiento durante el Mioceno (Gulf., 1983, en Caro., 2003), con una longitud aproximada de 220 km con azimut de 160° y buzamiento Este a vertical. Esta falla separa a las dos provincias, la cuenca del Valle Inferior del Magdalena (VIM) la Oeste y las rocas cristalinas del Macizo de Santander al Este.

**5.2.4 Falla de Oca:** esta falla define la margen norte de la Sierra Nevada de Santa Marta, el tipo de movimiento es dextral, la longitud total es de 137 Kilómetros con una azimut de 90° a 105 °. Tiene un trazo muy recto con rumbo preferencial este-oeste, ha llegado a un trazo mas sinuoso en la parte W, esta falla penetra a Venezuela pasando por la boca del Golfo de Maracaibo (Duque G., 1998).



**Figura 10. Marco Estructural Generalizado. Principales lineamientos del Noroccidente de Colombia; límites del Cinturón Plegado de San Jacinto (Caro, 2003, en Villafrade 2006)**

Entre los trabajos que compilan bibliografía previa y proponen hipótesis nuevas está el artículo publicado por (Ruiz, 2000) donde describe la evolución tectónica del noroeste del offshore en el Caribe Colombiano desde Santa Marta hasta el Golfo de Uraba, sísmica 2d; plantea que el offshore noroeste de Colombia se puede dividir en dos zonas distintas una "zona de Acreción" (al sur) y una zona de "Transpresión- Transtension" (al norte). La zona de Acreción está formada por un prisma Acrecionario del Neógeno situado en el talud y antearco de cuenca en la plataforma moderna continental. Esta zona muestra compresión de estructuras de capas delgadas que han sido modificadas a nivel local por diapirismo de lodo; Las estructuras presentes en la zona de Transpresión- Transtension, están dominadas por un Fallamiento de alto ángulo. Que causa variación en la estructura de la corteza alrededor del margen continental. Esto produce cambios de convergencia ortogonal en la parte sur y de convergencia oblicua en la parte norte (Ruiz, 2000).

La área de estudio según lo propuesto por (Ruiz, 2000) se encuentra ubicada en la zona de Transpresión- Transtension (Figura 11), la cual se extiende desde la zona de Falla Canoas hasta el sistema de Fallas Oca-Santa Marta, e incluye el abanico del Magdalena y un área fuertemente deformada que se localiza en el offshore entre la Sierra Nevada de Santa Marta y la ciudad de Barranquilla (Figura 11). Las estructuras presentes en dicha zona, están dominadas por un Fallamiento de alto ángulo. Que causa variación en la estructura de la corteza alrededor del margen continental. Produciendo cambios de convergencia ortogonal en la parte sur y de convergencia oblicua en la parte norte (Ruiz, 2000).

La Falla de Canoas muestra una deformación compleja (Figura 11). Se interpreta como una importante falla con desplazamiento lateral-derecho; en la zona de offshore esta parece ser Transtensional con inmersión al norte. Esta falla parece continuar en el Onshore como se indica en los lineamientos magnéticos y mapas

gravitacionales. Inmediatamente al sur de la zona de falla de Canoas del onshore se presentan baja gravedades orientadas hacia al noreste-oeste que modifican la tendencia del cinturón plegado de San Jacinto (Ruiz, 2000).

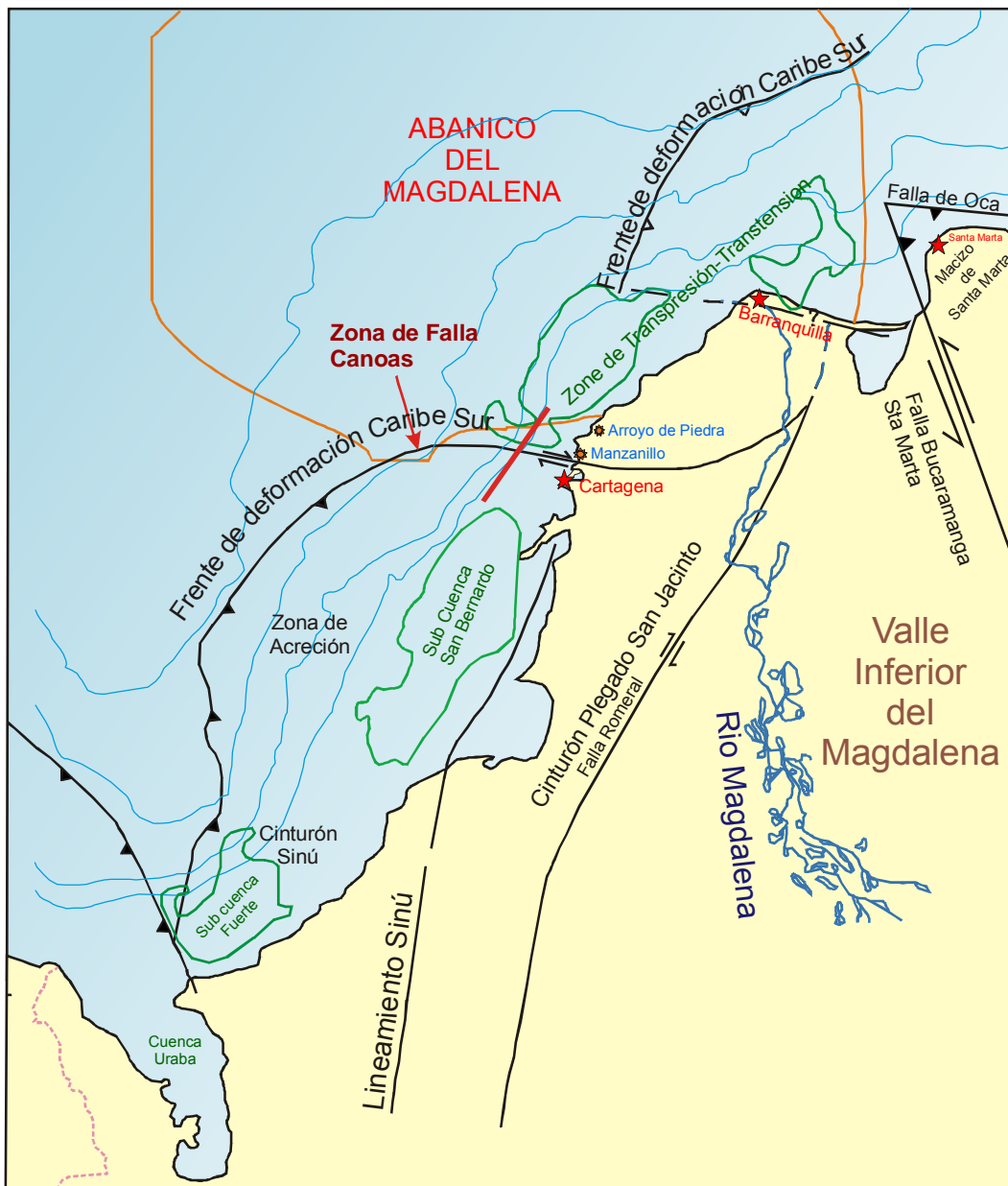


Figura 11. Principales elementos estructurales del noroeste de Colombia, Modificado de Vernet et al, 1992 en Ruiz, 2000.

## 6. LEVANTAMIENTO DE COLUMNAS EN CAMPO

Se levantaron dos columnas en campo utilizando cinta métrica para medir los espesores de cada capa; en la etapa de muestreo se utilizó específicamente el Brújula, Libreta de campo, formato de columnas en campo escala (1:10) otorgados por el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), Lupa, Martillo geológico, bolsas y taladro de muestreo.

Es importante mencionar que se tomaron muestras para análisis de isótopos estables, utilizando un taladro de muestreo con motor (Figura 12); estas muestras y las que se recolectaron con el martillo se orientaron cada una con respecto a su norte, se guardaron cuidadosamente en bolsas plásticas y se marcaron de la siguiente manera; (LMR) indicando el nombre del recolector, (MZ) ó (AP) haciendo referencia a la localidad o sector al cual pertenece la muestra ya sea Manzanillo o Arroyo de piedra y finalmente el número de muestra, un ejemplo sería (LMR-MZ-01) que indicaría la primera muestra tomada en Manzanillo.



Figura 12. Etapa de recolección de muestras utilizando el taladro de muestreo, foto tomada en la localidad de Manzanillo.

## 6.1 COLUMNA LEVANTADA EN LA LOCALIDAD DE MANZANILLO

Este columna se encuentra ubicada en las coordenadas Gauss origen Bogotá 10°30'38.66" N, 75°30'6.33" O.

Presenta un espesor de 26.75 metros en total (Anexo 5) y en ella se observan claramente la unidad calcárea (Unidad calizas arrecifales del Popa, T2) la cual aflora en la parte mas alta de esta localidad formando terrazas y escarpes abruptos; esta unidad esta infrayacida por la unidad siliciclástica (Unidad detrítica del Popa, T1) y en ella se puede evidenciar un contacto generalmente onduloso e irregular (Figura 13).

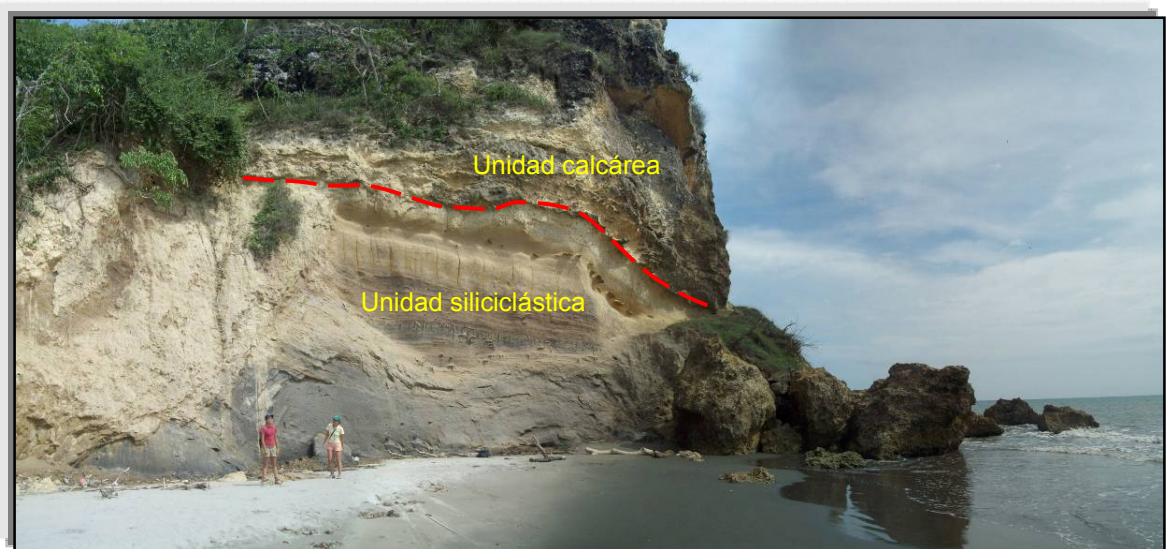


Figura 13. Foto panorámica de la columna levantada en la localidad de Manzanillo donde se evidencia claramente la unidad calcárea y la unidad siliciclástica.

### 6.1.1 Unidad Siliciclástica (Unidad Detrítica del Popa (T2))

Esta unidad presenta un espesor de 9.9 metros (Anexo 5) y en ella se observan 5 capas diferentes (figura 14); que comienzan de base a techo de la siguiente manera:

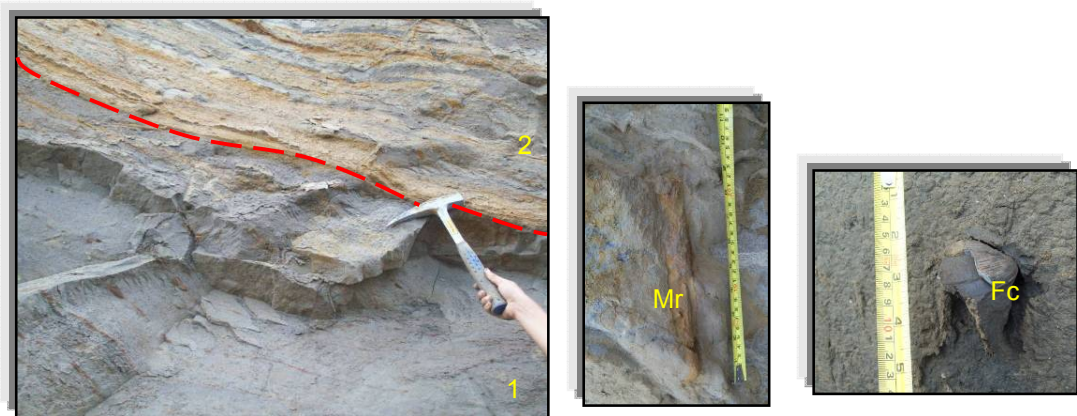
La primera capa que empieza a partir del punto cero, tiene un espesor de 2.80 mts y esta compuesta por Arcillolitas de color oscuro con laminación ondulosa continua, moderadamente bioturbada, presenta nódulos calcáreos de aproximadamente 1 a 2 cm de espesor de color amarillo, fragmentos de conchas, gasterópodos entre otros organismos bioclásticos y algunas madrigueras no diferenciadas.

También contiene algunas diaclasas rellenas de yeso, trazas de mica moscovita y material carbonoso.



**Figura 14. Unidad Siliciclástica de la columna levantada en Manzanillo donde se muestran las 5 capas que la componen.**

La segunda capa tiene un espesor de 3 mt, se compone de arcillas de color gris oscuro, moderadamente bioturbada con intercalaciones ondulosas paralela de arena muy fina de color ocre las cuales aparecen cada 10 cm aproximadamente y disminuyen de espesor hacia el tope de la secuencia (Figura 16), también se observan bioclastos, madrigueras (Figura 15), diaclasas rellenas de yeso y otras características de gran importancia las cuales aparecen en el (Anexo 5).



**Figura 15. Contacto ondulado entre la capa 1 (Arcillolitas con nódulos calcáreos) y la capa 2 (Arcillolitas con laminación ondulosa paralela de arenas muy finas); estas capas presentaban fragmentos de conchas (Fc) y madrigueras (Mr).**

La tercera capa tiene un espesor de 1.75 mt, y a modo general presenta Arcillolitas de color gris oscuros altamente bioturbadas, con intercalaciones ondulosas de arena muy, en ella se encuentran fragmentos de conchas, gasterópodos, madrigueras no diferenciadas y manchas de oxidación por disolución (Anexo 5).



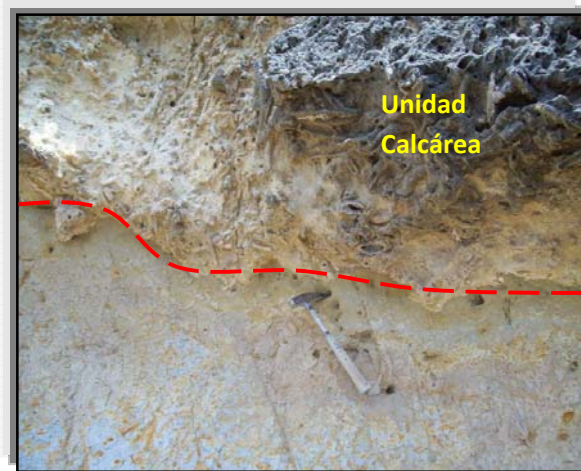
**Figura 16. Contacto ondulado entre las 3 primeras capas, donde se observan diaclasas rellenas de yeso, también se pueden ver las intercalaciones ondulosas de arena muy fina pertenecientes a la segunda capa.**

La cuarta capa mide 50 cm y consta de Areniscas muy finas calcáreas de color amarillo, bien calibrada de granos subredondeados, con presencia de concreciones calcáreas de aproximadamente 20 cm de ancho erosionadas por capas meteóricas (Figura 17), también contiene madrigueras y fragmentos de conchas (Anexo 5).



**Figura 17. Concreciones calcáreas erosionadas por aguas meteóricas encontradas en la unidad siliciclásticas en la capa 4.**

La última capa con espesor de 1.85 mt se encuentra en contacto ondulado irregular con la unidad calcárea, en ella se observan Limolitas arcillosas, altamente bioturbadas de color amarillo y manchas de oxidación por disolución (Figura 18), presenta alto grado de meteorización, contiene madrigueras al parecer skolithos, con predominancia de fragmentos de conchas, fragmentos de corales, entre otros bioclastos, de la misma forma contiene diaclasas rellenas de yeso las cuales cortan verticalmente dicha capa (Anexo 5).



**Figura 18. Limolita Arcillosa, altamente bioturbada en contacto irregular con la Unidad Calcárea.**

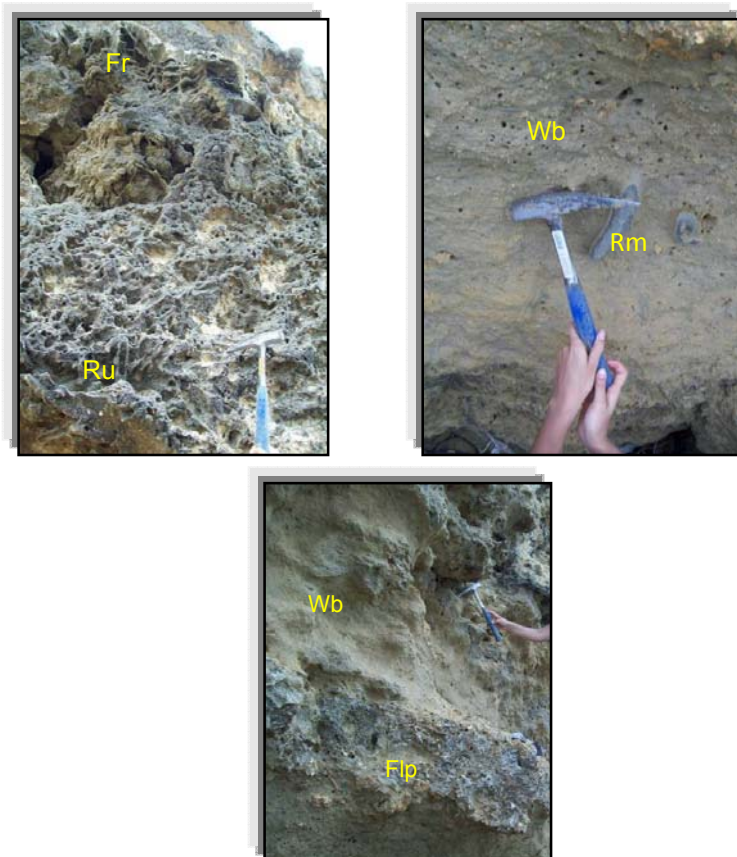
### **6.1.2 Unidad calcárea (Unidad Calizas arrecifales del Popa (T1))**

Esta unidad presenta un espesor de 16.85 metros en total, en ella se evidencian 8 capas las cuales de base a techo presentan las siguientes características (Anexo 5).

En contacto irregular con la unidad siliciclástica se encuentra una capa de 35 cm de *Rudstone* muy cementado en una matriz de *Packestone* bioclástica de color ocre, con detritos coralinos predominantemente corales ramificados dendroides *Acropora cervicornis*, corales de tipo *Porites porites* y dómicos globulares (*Montastraea sp.(?)* y *Diploria sp*), algunas cabezas coralinas completas, algas rojas, fragmentos de conchas y gasterópodos; la suprayace una capa de *Framestone* bioclástico que tiene 52 cm de espesor y contiene corales dómicos globulares tipo *Diploria strigosa* con relleno intercoralino de *Packestone* bioclástico (Figura 19).

En contacto irregular con el *Framestone* anterior se observa una capa de *Wackestone* bioclástico con presencia de fragmentos de conchas, gasterópodos, algas rojas, corales ramificados de tipo *Porites porites* y *Acropora cervicornis*,

también contiene raíces de mangle dispuestas verticalmente (Figura 20); esta se encuentra intercalada con *Floatstone* de corales dómicos globulares *Montastraea sp (?)* y corales ramificados dendroides muy fragmentados tipo *Porites porites* y *Acropora Cervicornis*, dentro una matriz que de base a techo varía de *Wackestone* bioclástico con fragmentos de conchas en la parte inferior, *packestone* bioclástico en la parte media y *Grainstone* en la parte superior con predominio de algas calcáreas (Figura 21).



**Figura 19. (Izq.) Ejemplo de Rudstone (Ru) en matriz de Packestone bioclástico seguido por Framestone (Fr) de corales dómicos globulares.**

**Figura 20. (Der) Raíces de Mangle (Rm) dentro de la capa de Wackestone bioclástico.**

**Figura 21. (Der) Floatstone en matriz de packestone (Flp) intercalado con Wackestone bioclástico (Wb).**

Finalmente se observa una capa de 1.60 mt de espesor de areniscas muy finas de color amarillo (Figura 22), altamente bioturbadas, con presencia de madrigueras las cuales están dispuestas tanto verticalmente como horizontalmente, fragmentos de conchas, cabezas de corales dómicos globulares, raíces de mangle y equinodermos tipo *dólar de plata* (Figura 23), hacia la parte superior de estas arenas se observan *Floatstone* en matriz de *Wackestone* bioclástica con presencia de corales ramificados de tipo *Acropora cervicornis* (Anexo 5);



**Figura 22.** Areniscas muy finas con presencia de fragmentos de corales (Cr) y madrigueras (Mr).

**Figura 23.** Equinodermo dólar de plata (Eq) encontrado en la capa de areniscas junto a una raíz de mangle (Rm)

Las muestras recolectadas en campo LMR-MZ-14 Y LMR-MZ-15 pertenecientes a la localidad de Manzanillo, fueron sometidas a análisis de nanofósiles con el fin de tener una idea de la edad de la Formación la Popa en este punto (Anexo 10). Dichos análisis fueron realizados por el profesor José Abel Flores, de la Universidad de Salamanca (España) y se anexan a esta tesis a manera de comunicación.

## **6.2 COLUMNA LEVANTADA EN LA LOCALIDAD DE ARROYO DE PIEDRA**

Este columna se encuentra ubicada en las coordenadas Gauss origen Bogotá 10°37'39" N, 75°25'25.98" O.

Esta columna tiene un espesor de 11.45 metros en total (Anexo 6) y en esta aflora básicamente la Unidad Calcárea (Unidad calizas arrecifales del Popa (T1)), presenta las siguientes características de base a techo (Figura 24).

En la base de la columna antes del punto cero ( $\Delta$ ) se encuentran Arcillolitas calcáreas de color gris oscuro, con predominancia de fragmentos de conchas y fragmentos de corales de tipo *Porites porites*, también se observan caracoles pala de aproximadamente 13 cm de largo (Figura 25), esta se encuentra en contacto difuso con una capa cuyo espesor es de aproximadamente 3.5 mt constituidas por *Floatstone* dentro una matriz que de base a techo varía de *Wackestone* bioclástico en la parte inferior y *packestone* bioclástico en la parte media y superior, con fragmentos de conchas, gasterópodos, corales dómicos globulares de tipo *Diploria strigosa* y ramificados tipo *Porites porites* (Figura 26) .



**Figura 24. Foto panorámica de la columna levantada en la localidad de Arroyo de piedra.**

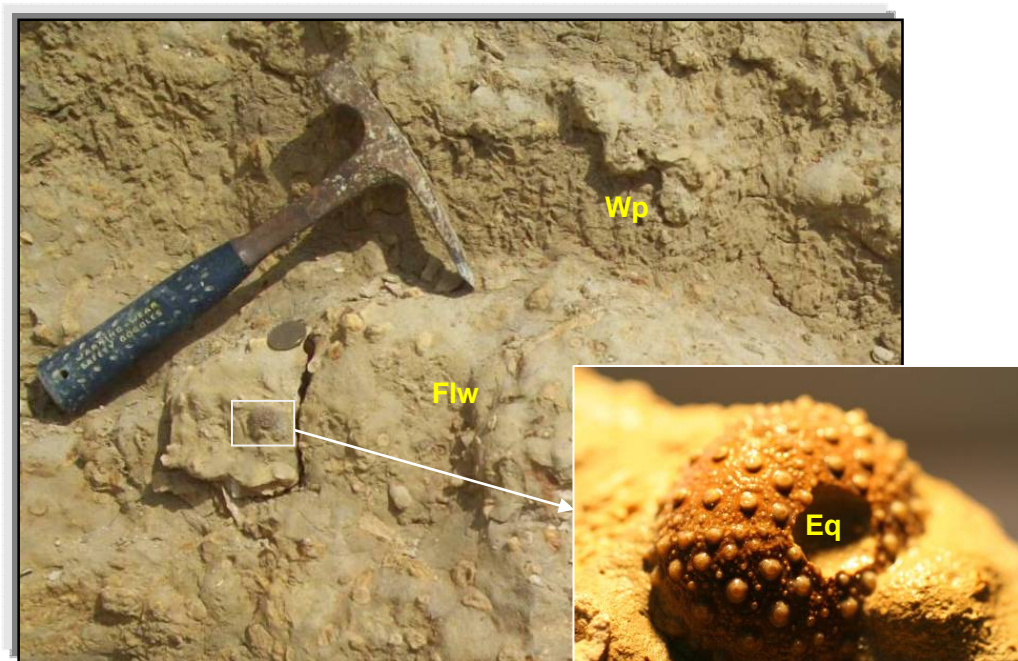


**Figura 25. Arcillolita calcárea con presencia de caracoles pala (*Strombus gigas*) de aproximadamente 13 cm.**



**Figura 26. Floatstone en una matriz de Wackestone bioclastica con presencia de corales ramificados *Acropora cervicornis* (Cr).**

Seguido a esto se observan intercalaciones de *Wackestone* bioclástico en una matriz lodosa con *Floatstone* bioclástico muy cementado en matriz que varia de *Packestone* a *Grainstone* bioclástica, dentro de estas capas se evidencia fragmentos de conchas, equinodermos (Figura 27), gasterópodos, material carbonoso, algas rojas, corales tipo *Porites porites* y *Diploria strigosa* entre otras características que se muestran en el (Anexo 6).



**Figura 27. Intercalaciones de Wackestone bioclástico (Wb) con Floatstone bioclástico en matriz de Wackestone (Fig) y presencia de equinodermos (Eq).**

Sobre esta alternancia se encuentra un paquete masivo de *Floatstone* en matriz de *Grainstone* muy cementada con presencia de foraminíferos bentónicos, gasterópodos, fragmentos de conchas, predominan corales ramificados tipo *Acropora cervicornis*, al tope de esta capa se evidencia una esponja de aproximadamente 30 cm la cual se encuentra muy bien conservada (Figura 28).

Luego en contacto difuso se observa un paquete de arena calcárea muy fina de color amarillo de 45 cm. con fragmentos de cochas, fragmentos de corales y gasterópodos. Le suprayace una intercalación de *Rudstone* con relleno intercoralino de *packestone* bioclástico con una capa delgada de *Wackestone* bioclástico de 20 cm (Figura 29), en esta secuencia es común encontrar fragmentos de conchas de bivalvos, gasterópodos, fragmentos de corales y algunos equinodermos (anexo 7).



Figura 28. Esponja bien conservada, encontrada hacia el tope de la capa de Floatstone en matriz de Grainstone.



Figura 29. Alternancia de Rudstone bioclástico (Ru) con Wackestone (Wb) de corales Porites porites y fragmentos de conchas. Bajo esta intercalación se puede ver el paquete de arenisca calcárea (Ac).

Sobre esta alternancia se observa un paquete 1.35 mt. de areniscas calcáreas lodosa de color amarillo en la cual es común encontrar cabezas de corales de aproximadamente 20 cm tipo *Diploria strigosa*, de igual modo hay fragmentos de conchas, algas calcáreas, bivalvos y gasterópodos.

### **6.3 GEOLOGIA ESTRUCTURAL DE LA ZONA DE ESTUDIO**

La geología estructural en la zona de estudio muestra las siguientes características mencionadas a continuación.

El rumbo estructural medido en las dos columnas levantadas en campo a modo general para las dos unidades es noreste hacia la localidad de Manzanillo y en Arroyo de piedra varia de noreste a noroeste; con buzamientos que frecuentemente no sobrepasan los 30°.

La estructura más sobresaliente en el área es un sinclinal amplio y suave que pliega las unidades de la Formación La Popa (T1 y T2) en el sector de Arroyo de piedra; esta estructura presenta un cabeceo tanto hacia el suroeste como hacia el noreste, enterrándose en ambas direcciones. Este sinclinal se encuentra parcialmente erodado en su núcleo por los valles de los arroyos y quebradas que la cruzan (Arroyo de Piedra, Quebrada Pocitos), dejando aflorar la parte superior de la Unidad Detrítica del Popa (T2) (Jiménez, P. & Prince, M., 1999).

La Unidad Siliciclástica o Detrítica del Popa (T2), Observada en la localidad de Manzanillo tiene buzamientos bajos, que por lo general no sobrepasan los 15 grados y presenta un rumbo en dirección norte-noreste con suaves pliegues; en este sector esta unidad presento mayor deformación que la calcárea debido a que esta compuesta por materiales mas blandos y suaves.

La Unidad Calcárea o Calizas del Popa (T1), se observa deformada en el sector de Arroyo de Piedra (Cantera) con rumbos en dirección noreste-noroeste con

suaves pliegues (anticlinales y sinclinales); y buzamientos que llegan asta los 40 grados.

Esta zona según (Ruiz, 2000) puede estar afectada por la Falla Canoas lo que puede causar la deformación estructural de estas unidades, aunque (Jiménez, P. & Prince, M., 1999) mencionan que la deformación se debe posiblemente a la influencia del diapirismo de lodo que se evidencia en sectores muy cercanos al área donde se encuentra el volcán de lodo activo (Volcán el Totumo).

EL diapirismo de lodo ha sido mencionado por (Duque Caro, 1983) donde propone que este fenómeno es el factor deformante más importante en el terreno de Sinú-San Jacinto.

## 7. DESCRIPCION DE NUCLEOS

Para el análisis de los núcleos de perforación de los pozos estudiados, se utilizó el formato de descripción macropetrográfica de corazones, escala 1:10 del INSTITUTO COLOMBIANO DEL PETROLEO (ICP), donde se tiene en cuenta parámetros tales como estructuras sedimentarias físicas y orgánicas, tamaño de grano, selección, calibrado y demás rasgos que caracterizan la roca (Anexos 1,2,3 y 4), con el objeto de determinar las facies y asociaciones faciales que conduzcan a la interpretación del ambiente de depósito.

**7.1 Pozo Bocacanoa Estratigráfico-1:** Este pozo se encuentra ubicado en las coordenadas Gauss origen Bogotá 10°37'09.60" N, 75°26'38.48"O.

Presenta un espesor total de 131.25mt, de los cuales 19 mt pertenecen a la Unidad calcárea O Calizas arrecifales del Popa (T1) y 112.25 mt a la unidad Siliciclástica o Unidad Detrítica del Popa (T2) (Anexo 1).

El tipo de roca es sedimentaria, en donde su segmento calcáreo está básicamente constituido por Rudstone en matriz de *Grainstone* bioclástica, *Framestone* de corales dómicos globulares y *Floatstone* con matriz de *Grainstone* bioclástica.

El segmento Siliciclástico presenta básicamente Arcillolitas con bioclastos levemente bioturbadas, Limolitas arcillosas con bioclastos laminadas y en muy baja proporción Areniscas.

**7.2 Pozo Bocacanoa Estratigráfico-2:** Este pozo se encuentra ubicado en las coordenadas Gauss origen Bogotá 10°37'19.54" N, 75°26'30.86"O.

Su espesor total es de 109.9 mt, la unidad Calcárea o Calizas arrecifales de Popa (T1) contiene 20.9 mts y está compuesta por *Floatstone* en matriz de *Grainstone*

bioclástica, *Rudstone* e matriz de *Grainstone* que localmente varia a *Packestone* bioclástica y *Wackestone* de bioclastos.

La unidad Siliciclástica o Detrítica del Popa (T2) tiene un espesor de 89 mts (Anexo 2); y presenta Arcillolitas bioturbadas con bioclastos las cuales están laminadas hacia la base, en muy baja proporción se evidencia Limolitas arcillosas y areniscas.

**7.3 Pozo Bocacanoa Estratigráfico-3:** Se encuentra ubicado en las coordenadas Gauss origen Bogotá 10°37'1.76" N, 75°25'48.69"O (Anexo 3).

Este pozo tiene un espesor de 110.4 mts en total, con 8.25 mt de Unidad Calcárea (T1) constituida por *Wackestone* de bioclastos y *Floatstone* en matriz de *Wackestone* bioclastico.

La unidad Siliciclástica (T2) contiene 102.15 mts de roca, conformada por Areniscas bioturbadas con bioclastos las cuales están localmente laminadas, también es común observar Limolitas arcillosas y Arcillolitas con laminación.

**7.4 Pozo Bocacanoa Estratigráfico-4:** Este pozo se encuentra ubicado en las coordenadas Gauss origen Bogotá 10°36'29.89" N, 75°26'17.89"O (Anexo 4).

Su espesor total es de 93.82 mt, la unidad Calcárea o Calizas arrecifales de Popa (T1) contiene 15.92 mts y esta compuesta por *Rudstone* en matriz de *Packestone* y *Floatstone* en matriz de *Wackestone*.

La unidad Siliciclástica o Detrítica del Popa (T2) tiene un espesor de 77.9 mts, presenta hacia el tope Arcillolitas y Limolitas arcillosas bioturbadas con bioclastos y hacia la base se encuentra un predominio de areniscas laminadas intercaladas con Arcillolitas bioturbadas, el contenido de bioclastos también es considerable.

## **8. DETERMINACION DE FACIES CORRESPONDIENTE A LOS NUCLEOS Y COLUMNAS LEVANTADAS EN CAMPO**

El concepto de facies ha sido utilizado de diversas maneras desde su introducción, la cual fue hecha por Gressly (1838) en Serra (1985). Entre las definiciones se encuentran las publicadas por Moore (1949), Weller (1958), Teichert (1958), Krumbein y Sloss (1963), posteriormente por Selley (1970), Reading (1978), Middleton (1978) y Walter 1984., en Serra (1985).

Una facies (la palabra “facies” puede usarse en singular y en plural) se define como una unidad litológica que posee un conjunto distintivo de características y/o atributos sedimentarios: una litología característica, textura, estructuras sedimentarias, contenido fósil, color, y esquema de paleocorrientes, los cuales la hacen distinguible de otras partes de la misma unidad (Walter, 1984, en Villafrade, 2007).

Las facies pueden llamarse litofacies, biofacies o ichnofacies, dependiendo de los parámetros usados para su determinación y clasificación. La litofacies se define con base en las características sedimentarias, las cuales pueden estar conformadas por una sola litología o por intercalaciones de varias litologías (Walter, 1984, en Villafrade, 2007).

La biofacies se refiere a los elementos paleontológicos presentes en la roca (Selley, 1970). La ichnofacies hace referencia a las clases de fósiles traza presentes en la roca (Bromley, 1996).

En general una facies está rodeada por otras facies, que a su vez están relacionadas con ella. Esto significa que en un ambiente determinado las facies no están distribuidas al azar, sino que constituyen una asociación secuencial previsible, como resultado de ambientes de depósito contiguos (O. Serra.1985, Villafrade, 2007)

## 8.1 DESCRIPCIÓN DE FACIES

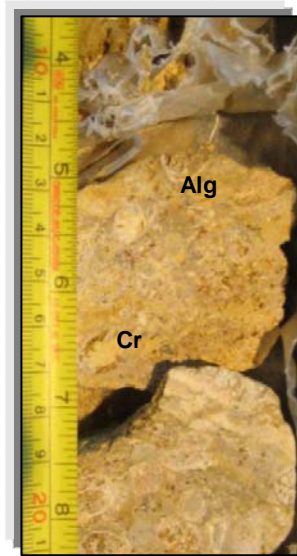
En la secuencia estratigráfica estudiada se reconocieron ocho facies diferentes, que fueron nombradas según sus características sedimentológicas: textura depositacional (Dunham, 1962; Embry & Klovan 1971), tipo de componente principal (p.e. asociaciones de fragmentos bioclásticos), tipo de matriz, así como también la geometría, la textura y las estructuras sedimentarias presentes.

Las Facies se determinaron uniendo toda la información recolectada tanto en campo (Columna Manzanillo y Arroyo de piedra) y los cuatro pozos descritos Bocacanoa estratigráfico 1-2-3 y 4; todas se encuentran resumidas en las tabla 4 y 5.

### 8.1.1 Descripción De Facies Unidad Calcárea (Unidad Calizas Arrecifales Del Popa (T1))

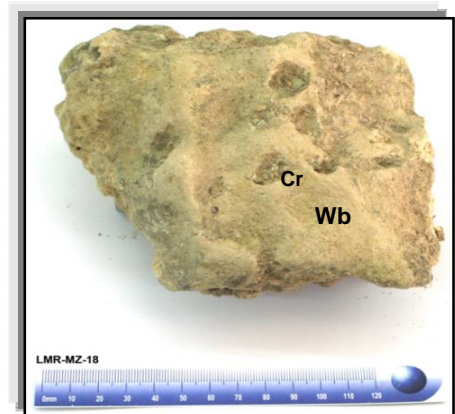
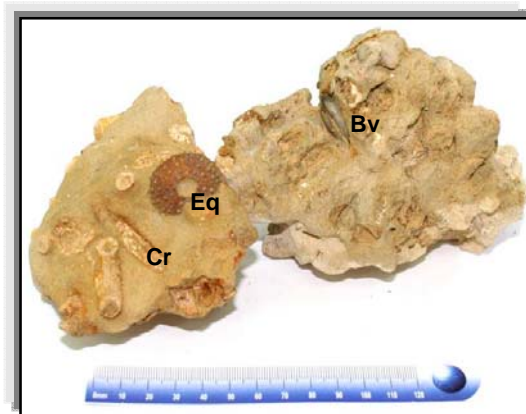
**8.1.1.1 Facies FLw:** La facies *Floatstone* en matriz de *Wackestone* (FLw), ocurre en los intervalos corazonados de los pozos Bocacanoa Estratigráfico 3 y 4 (Figura 30 y 31), y en las columnas levantadas en las localidades de Manzanillo y Arroyo de piedra. (Figura 32, 33, 34 y 35)

Facies constituida por *Floatstone* de color gris amarillento 5Y 7/2, en matriz de *Wackestone* bioclástica con presencia de bivalvos, gasterópodos, algas calcáreas, microfósiles, equinodermos, espículas, foraminíferos (bentónicos) y fragmentos de conchas, fragmentos de corales ramificados dendroides (*Acropora cervicornis*), (*Porites porites*), muy localmente corales laminares y dómicos globulares (*Diploria strigosa*) e irregulares masivos; En los sectores de Manzanillo y Arroyo de piedra se presentan en capas muy gruesas a gruesas masivas onduladas e intercalaciones de laminas delgadas de *Wackestone* bioclástico, también se observan algunas trazas de mica moscovita y líticos de color oscuro.



**Figura 30. (Izq.) Corales (*Porites porites*) (Cr), fragmentos de algas (Alg) y fragmentos de bioclásticos soportados por una matriz de Wackestone bioclástica; Perteneciente al Pozo Bocacanoa Estratigráfico 3.**

**Figura 31. (Der) Fragmentos de conchas (Fc) soportados por una matriz de Wackestone bioclástica.**



**Figura 32. (Izq) Corales ramificados (*Acropora cervicornis*) (Cr), Equinodermo (Eq), Bivalvo (Bv), En una Matriz de Wackestone Bioclástica (Wb); Muestra LMR-AP-09A perteneciente a la localidad de Arroyo de piedra.**

**Figura 33. (Der) Corales ramificados (*Acropora cervicornis*) (Cr), En una Matriz de Wackestone Bioclástica (Wb); Muestra LMR-MZ-18 perteneciente a la localidad de Manzanillo.**



**Figura 34. (Izq.) Corales ramificados (*Acropora cervicornis*) (Cr) en una Matriz de Wackestone bioclástica (Wb); Perteneciente a la localidad de Arroyo de Piedra.**

**Figura 35. (Dar) Coral globular (*Montastraea* sp ?) (Cg) en una Matriz de Wackestone Bioclástica (Wb); perteneciente a la localidad de Manzanillo.**

**8.1.1.2 Facies FLg:** La facies *Floatstone* en matriz de *Grainstone* (FLg), ocurre en los intervalos corazonados de los pozos Bocacanoa Estratigráfico 1 y 2 (Figura 36 y 37); Y en las columnas levantadas en las localidades de Manzanillo y Arroyo de piedra (Figura 38, 39, 40 y 41).

Facies constituida por *Floatstone* amarillo terroso 5Y 6/4, en algunas zonas gris amarillento 5Y 7/2 en matriz *Grainstone* bioclástica que puede variar a *Packstone* bioclástica (bivalvos, gasterópodos, algas calcáreas, equinodermos, espículas, foraminíferos bentónicos, fragmentos de conchas y una esponja encontrada en la localidad de Arroyo de piedra), fragmentos de corales ramificados dendroides (*Acropora cervicornis*), (*Porites porites*), *Diploria strigosa*, esporádicamente algunos corales dómicos masivos, se presenta en capas masivas onduladas, también se observan algunas trazas de mica moscovita y líticos de color oscuro.

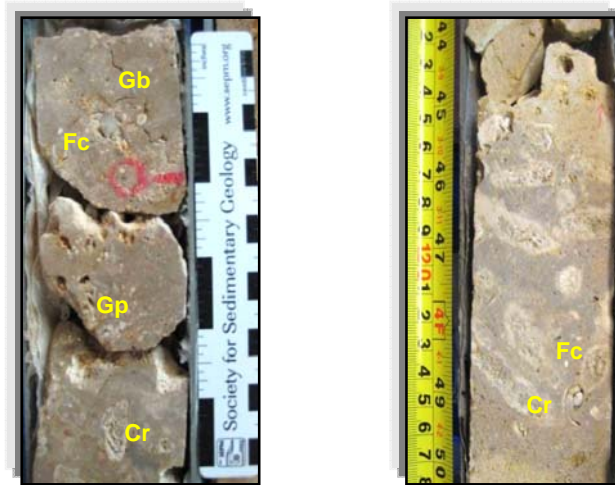


Figura 36. (Izq) Corales ramificados (*Porites porites*) (Cr), fragmentos de conchas (Fc), gasterópodos (Gp) soportados en una Matriz de Grainstone Bioclástica (Gb); Perteneciente al pozo Bocacanoa Estratigráfico 1.

Figura 37. (Der) Corales ramificados (*Porites porites*) (Cr), fragmentos de conchas (Fc), gasterópodos (Gp) soportados en una Matriz de Grainstone Bioclástica (Gb); perteneciente al pozo Estratigráfico 2.

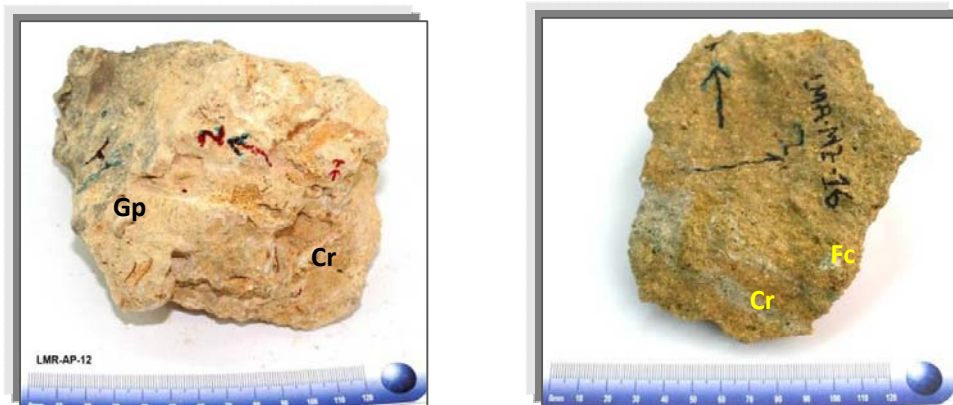


Figura 38. (Izq) Corales ramificados (*Acropora cervicornis*) (Cr), Gasteropodo (Gp), soportado en una Matriz de Grainstone Bioclástica (Wb); Muestra LMR-AP-12 perteneciente a la localidad de Arroyo de piedra.

Figura 39. (Der) Corales ramificados (*Acropora cervicornis*) (Cr), Fragmentos de conchas (Fc), en una Matriz de Grainstone Bioclástica (Wb); Muestra LMR-MZ-18 perteneciente a la localidad de Manzanillo.



**Figura 40. (Izq) Corales globulares soportados en una Matriz de Grainstone bioclástica (Gb); Perteneciente a la localidad de Arroyo de Piedra.**

**Figura 41. (Der) Ejemplo de un Floatstone en Matriz de Grainstone Bioclástica (Gb); perteneciente a la localidad de Manzanillo.**

**8.1.1.3 Facies RUp:** La facies Rudstone en matriz de *Packestone* (FLp), ocurre en los intervalos corazonados de los pozos Bocacanoa Estratigráfico 2, 4 (Figura 42 y 43); Y en las columnas levantadas en las localidades de Manzanillo y Arroyo de piedra (Figura 44, 45, 46 y 47).

Facies formada por *Rudstone* muy cementado de color gris amarillento 5Y 7/2 y en algunas partes amarillo terroso 5Y 6/4, en una matriz de *Packestone* bioclástica con presencia de detritos coralinos predominantemente corales ramificados dendroides (*Acropora cervicornis*), (*Porites porites*), y corales dómicos globulares (*Diploria strigosa*), Foraminíferos, algas calcáreas (algas rojas), fragmentos calcáreos, gasterópodos, se presenta en capas gruesas masivas, también se observan algunas trazas de mica moscovita y líticos de color oscuro.

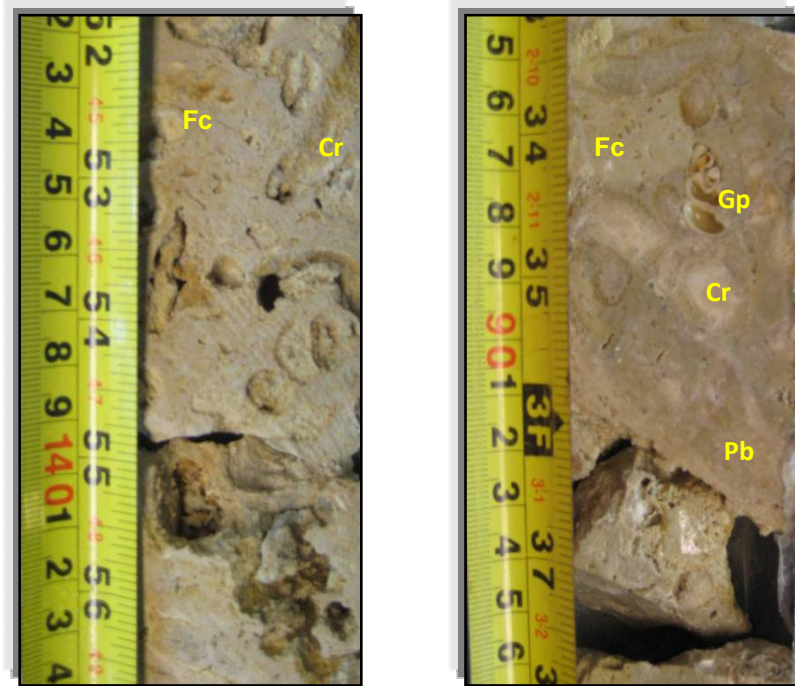


Figura 42. (Izq) Corales ramificados (*Porites porites*) y fragmentos de conchas (Fc) soportados en una Matriz de Packstone Bioclástica (Pb); Perteneciente al pozo Bocacanoa Estratigráfico 2.

Figura 43. (Der) Corales ramificados (*Porites porites*) (Cr), fragmentos de conchas (Fc), gasterópodos (Gp) soportados en una Matriz de Packstone Bioclástica (Pb); perteneciente al pozo Estratigráfico 4.

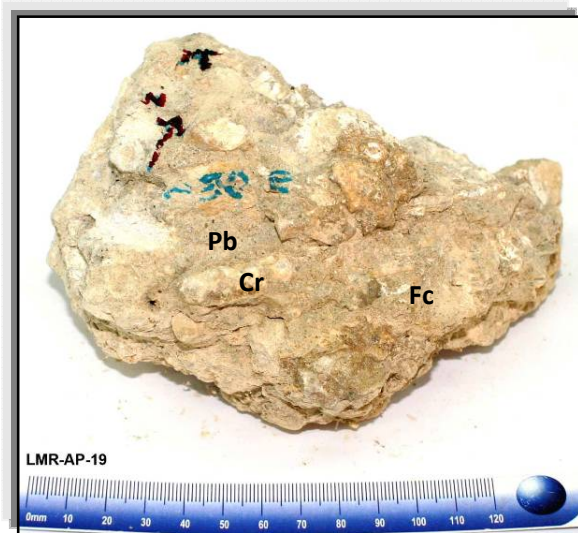


Figura 44. (Izq) Corales ramificados (*Acropora cervicornis*) (Cr) y fragmentos de conchas soportado en una Matriz de Packestone Bioclástica (pb); Muestra LMR-AP-19 perteneciente a la localidad de Arroyo de piedra.

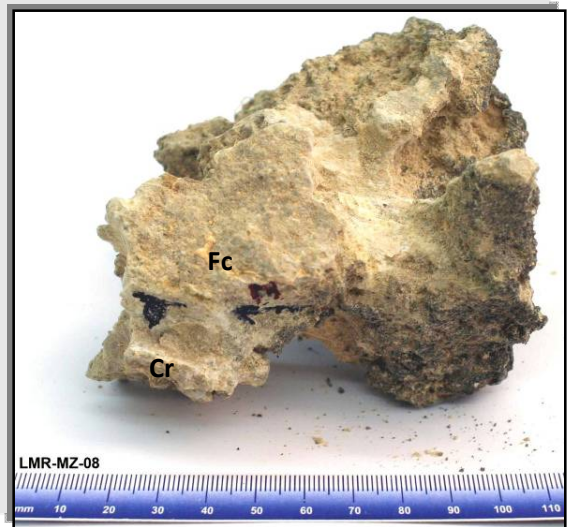


Figura 45. (Der) Corales ramificados (*Acropora cervicornis*) (Cr), Fragmentos de conchas (Fc), en una Matriz de Packestone Bioclástica (Pb); Muestra LMR-MZ-08 perteneciente a la localidad de Manzanillo.

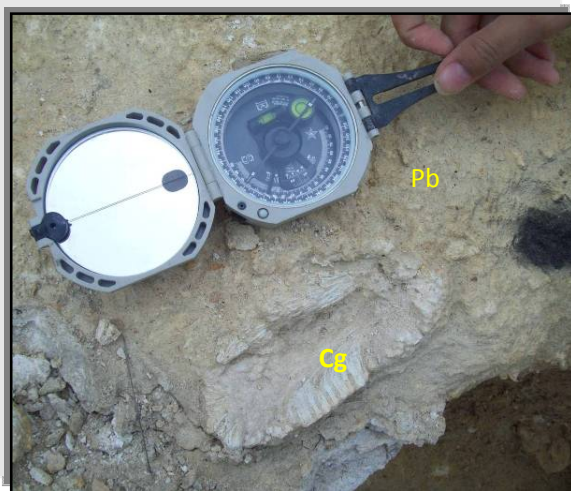


Figura 46. (Izq) Corales globulares soportados en una Matriz de Packestone Bioclástica (Pb); Perteneciente a la localidad de Arroyo de Piedra.



Figura 47. (Der) Coral globular (*Stephanocoenia* ?) (Cg) en una Matriz de Packestone Bioclástica (Pb); perteneciente a la localidad de Manzanillo.

**8.1.1.4 Facies RUg:** La facies *Rudstone* en matriz de *Grainstone* (RUg), ocurre en los intervalos corazonados de los pozos Bocacanoa Estratigráfico 1 y 2 (Figura 48 y 49).

Esta facies consta de *Rudstone* muy cementado de color gris amarillento 5Y 7/2 y en algunas partes amarillo terroso 5Y 6/4, en una matriz de *Grainstone* bioclástica con presencia de (bivalvos, gasterópodos, algas calcáreas, equinodermos, espículas, foraminíferos bentónicos y fragmentos de conchas), presencia de detritos coralinos predominantemente corales ramificados dendroides (*Cervicornis*), (*Porites porites*) y (*Diploria strigosa*).

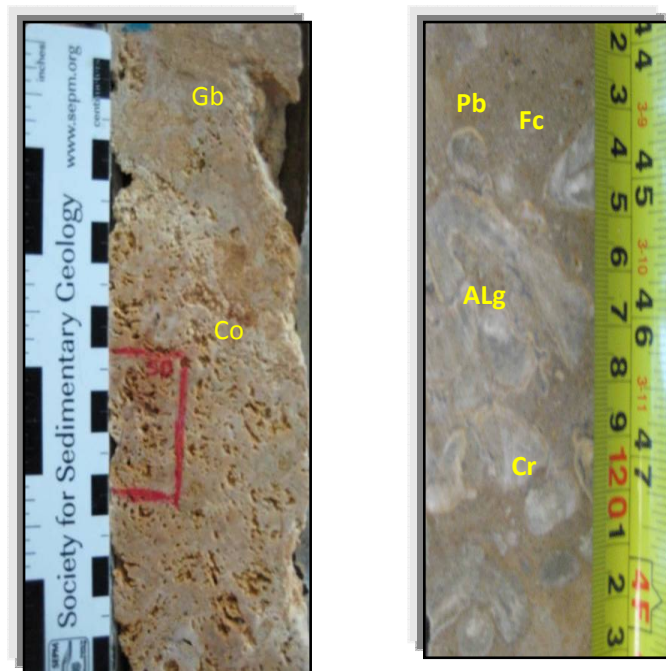


Figura 48. (Izq) Coral (Co) y fragmentos de conchas (Fc) soportados en una Matriz de Grainstone Bioclástica (Gb); Perteneciente al pozo Bocacanoa estratigráfico 1.

Figura 49. (Der) Corales ramificados (*Porites porites*) (Cr), fragmentos de conchas (Fc) y gasterópodos (Gp) en una Matriz de Packestone Bioclástica (Pb); perteneciente al pozo Estratigráfico 2.

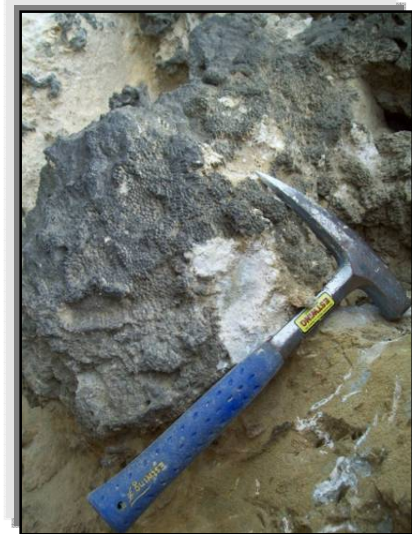
**8.1.1.5 Facies FRb:** La facies *Framestone* con bioclastos (FRb), ocurre en los intervalos corazonados de los pozos Bocacanoa Estratigráfico 1 y 2 (Figura 50 y 51); y en la columna levanta en el sector de Manzanillo (Figura 52 y 53).

Facies constituida por *Framestone* de color gris amarillento 5Y 7/2 y en algunas zonas amarillo verdoso pálido 10Y 8/2 de corales ramificados dendroides (*Acropora cervicornis*), globulares y dómicos (p.e *Diploria* sp.), (*Siderastrea siderea*) y con relleno o matriz intercoralino *Wackestone* a *Packstone* bioclástica, en capas subtabulares gruesas a muy gruesas y masivas.



**Figura 50. (Izq)** Coral de tipo *Diploria strigosa*, perteneciente al pozo Bocacanoa Estratigráfico 1.

**Figura 51. (Der)** Coral de tipo *Diploria strigosa* perteneciente al pozo Estratigráfico 2.



**Figura 52. (Izq) Coral de tipo *Montastraea amularis* (?), Muestra LMR-MZ-09A perteneciente a la localidad de Manzanillo.**

**Figura 53. (Der) Coral globular *Montastraea amularis* (?) perteneciente a la localidad de Manzanillo.**

**8.1.1.6 Facies Wb:** La facies *Wackestone* con bioclásticos (Wb), ocurre en los intervalos corazonados de los pozos Bocacanoa Estratigráfico 2,3 y 4 (Figura 54 A-B-C); Y en las columnas levantadas en las localidades de Manzanillo y Arroyo de piedra (Figura 55, 56, 57 y 58).

Facies compuesta por *Wackestone* bioclástico de color gris amarillento 5y 7/2 y amarillo moderado 5Y 7/6 en una matriz lodosa con presencia de fragmentos de conchas, foraminíferos, gasterópodos, equinodermos, algas calcáreas, se observan corales ramificados dendroides (*Cervicornis*), (*Porites porites*) y dómicos globulares (*Diploria Strigosa*), algunos fragmentos líticos oscuros tamaño arena media.

En el sector de Manzanillo se presenta raíces de mangle de color gris oscuro las cuales tiene aproximadamente 15 cm de largo.

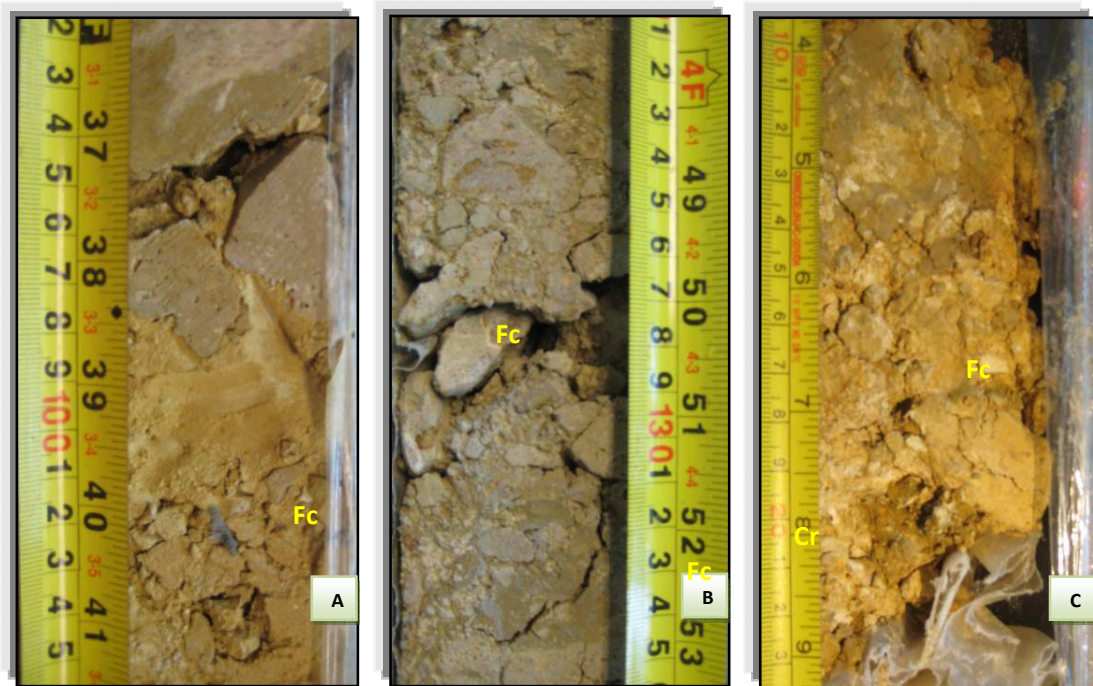


Figura 54. (A-B-C) Fragmentos de conchas (Fc), dentro de la facies Wackestone de bioclásticos, perteneciente al pozo Bocacanoa Estratigráfico 1,2 y 3 respectivamente.



Figura 55. (Izq) Coral de tipo *Montastraea amularis* (?) (Co), dentro de la facies Wackestone perteneciente a la localidad de Arroyo de Piedra.

Figura 56. (Der) Corales ramificados (*Porites porites*) (Cr), fragmentos de conchas (Fc); Muestra LMR-AP-11 tomada en la localidad de Arroyo de Piedra.

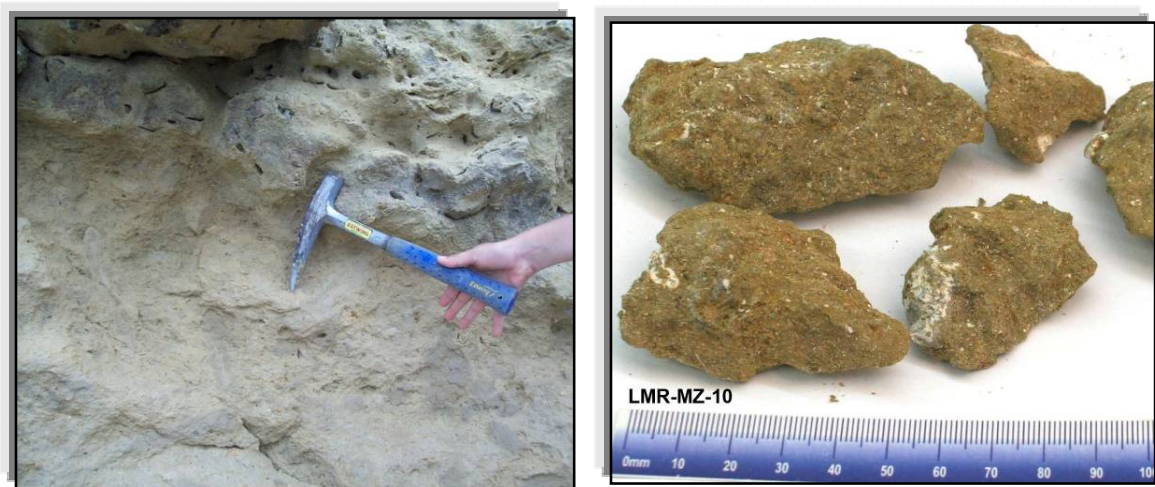


Figura 57. (Izq) Ejemplo de la facies Wackestone de bioclásticos, fotografía tomada en la localidad de Manzanillo.

Figura 58. (Der) Corales ramificados (*Porites porites*) (Cr), fragmentos de conchas (Fc); Muestra LMR-MZ-10 tomada en la localidad de Manzanillo.

### 8.1.2 Facies Siliciclasticas (Unidad Detrítica Del Popa (T1))

**8.1.2.1 Facies Fabb:** La facies Arcillolita con bioclastos y bioturbación (FAb) ocurre en el intervalo corazonado de los pozos Bocacanoa Estratigráfico 1, 2 y 4 (Figura 59 A-B-C).

Esta facies esta compuesta por Arcillolitas de color gris oliva 5Y 4/1, gris verdoso oscuro 5Y 4/1, negro verdoso 5GY 2/1, negro oliva 5Y 2/1 y gris oliva claro 5Y 6/1. Localmente se observa oxidación por disolución, óxidos, trazas de mica moscovita, minerales opacos e intraclastos carbonosos; secuencias uniformes, localmente granodecipientes y granocrecientes, Como estructuras se observa bioturbación no diferenciada con índice que varia de ligeramente bioturbado a altamente bioturbado en algunas zonas.

Dentro de las estructuras sedimentarias biogénicas observadas hay gasterópodos, fragmentos de conchas, foraminíferos (bentónicos), fragmentos de corales y espículas de equinodermos. Como accesorios se puede observar material carbonoso, La resistencia de la roca en esta facies varía de consolidada a friable, con nula impregnación de hidrocarburos.

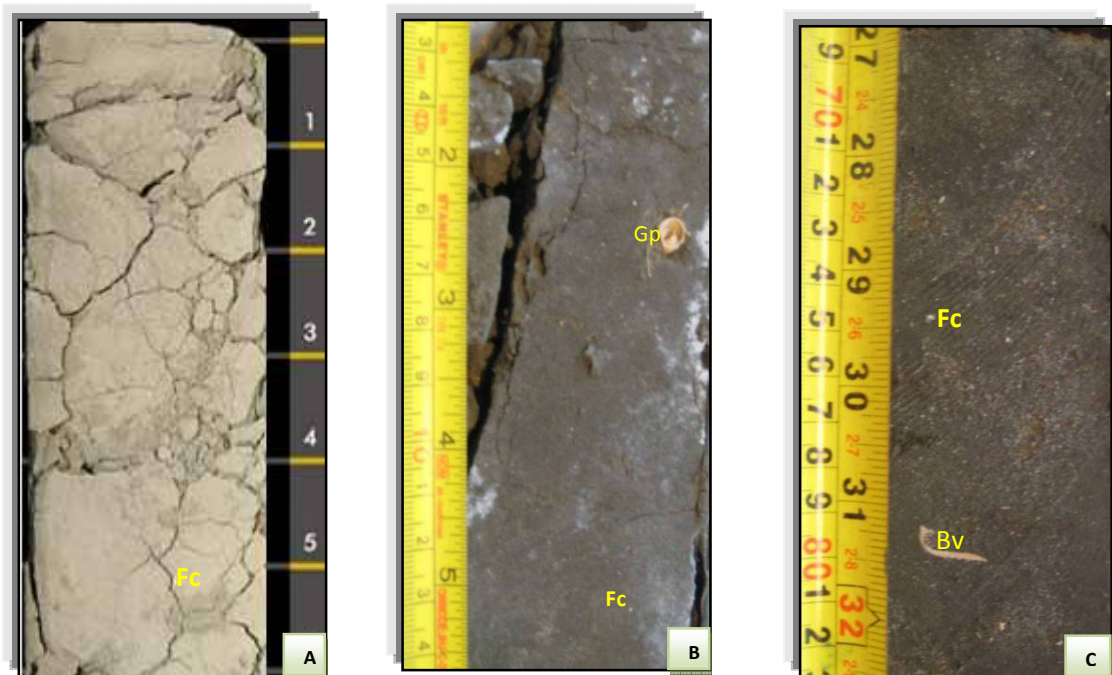


Figura 59. (A-B-C) Fragmentos de conchas (Fc), Gasterópodos (Gp), Bivalvos (Bv), perteneciente a los pozos Bocacanoa Estratigráfico 1,2 y 4 respectivamente.

**8.1.2.2 Facies FAIb:** La facies Arcillolita con laminación y bioclásticos (FAIb) ocurre en el intervalo corazonado de los pozos Bocacanoa Estratigráfico 1, 2, 3 y 4; y hacia la base de la columna levantada en Manzanillo (figura 60).

Facies constituida por Arcillolitas de color gris oliva 5Y 6/1, gris mediano N5 y marrón grisáceo 5YR 3/2, con manchas de oxidación por disolución la cual se encuentra alterando a azufre localmente, la roca presenta minerales opacos, intraclastos carbonosos, feldespato potásico, localmente se observan óxidos y trazas de mica moscovita; también presenta intercalaciones de láminas arenosas

de forma plano paralela continua, plano paralela discontinua asimismo se observa laminación ondulosa continua y laminación ondulosa discontinua.

Dentro de las estructuras sedimentarias biogénicas observadas hay gasterópodos, fragmentos de conchas de diversos tamaños, foraminíferos (bentónicos), Como accesorios se puede observar material carbonoso que en algunas zonas se presenta a manera de láminas. La resistencia de la roca en esta facies varía de consolidada a friable sin impregnación de hidrocarburos.



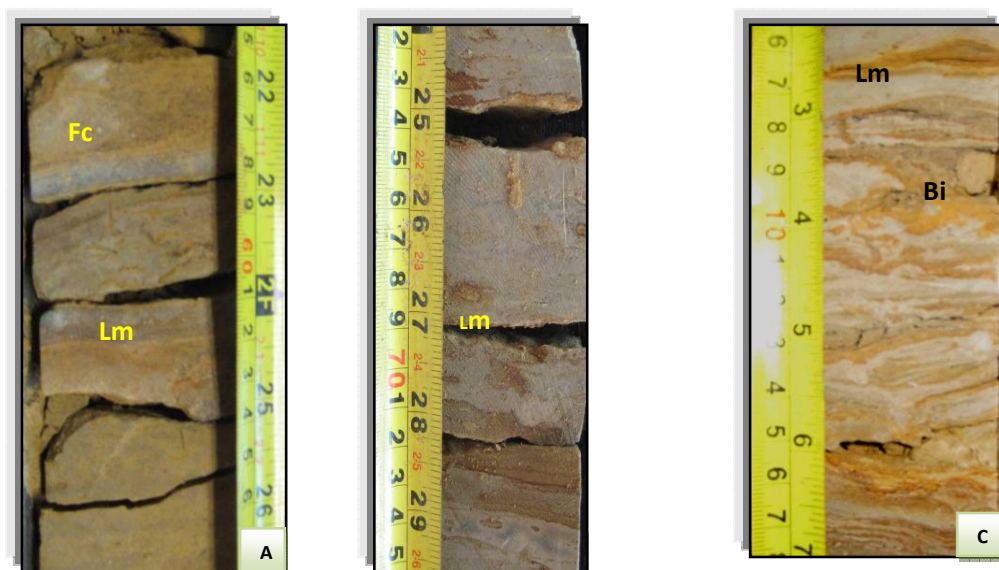
**Figura 60.** Fragmentos de conchas (Fc), Laminación (Lm), correspondiente al pozo Bocacanoa Estratigráfico 1.

**8.1.2.3 Facies FAIbb:** La facies Arcillolita con laminación, bioclástos y bioturbación (FAIbb) ocurre en el intervalo corazonado de los pozos Bocacanoa Estratigráfico 2, 3 y 4; y hacia la base de la columna de Manzanillo (Figura 61 A-B-C).

Facies constituida por Arcillolitas de color gris oliva 5Y 6/1, gris amarillento 5Y 8/1, amarillo terroso 5Y 6/4, marrón amarillento pálido 10YR 6/2, gris oliva claro 5Y 5/2 y gris oscuro N7, localmente se observa oxidación por disolución la cual se encuentra alterando a azufre en algunas ocasiones, óxidos, trazas de mica moscovita, minerales opacos e intraclastos carbonosos; secuencias uniformes,

localmente granodecrecientes y granocrecientes. Presenta laminación plano paralela continua, laminación plano paralela discontinua, laminación ondulosa continua y laminación ondulosa discontinua de arena muy fina; Como estructuras se observa bioturbación no diferenciada con índice que varía de ligeramente bioturbado a altamente bioturbado en algunas zonas.

Dentro de las estructuras sedimentarias biogénicas observadas hay gasterópodos, fragmentos de conchas de diversos tamaños, foraminíferos (bentónicos), bivalvos, madrigueras no diferenciadas y espículas de equinodermos. Como accesorios se puede observar material carbonoso que en algunas zonas se presenta a manera de láminas, grietas de desecación y nódulos calcáreos de color amarillo los cuales fueron observados en la localidad de Manzanillo hacia la base del afloramiento, La resistencia de la roca en esta facies varía de consolidada a friable, con nula impregnación de hidrocarburos.



**Figura 61. (A-B-C) Fragmentos de conchas (Fc), Laminación (Lm), bioturbación (Bi), perteneciente a los pozos Bocacanoa Estratigráfico 2,3 y 4 respectivamente.**

**8.1.2.4 Facies FLalb:** La facies Limolita arcillosa con laminación y bioclastos (FLalb) ocurre en el intervalo corazonado en los pozos Bocacanoa Estratigráfico 1 y 4 (Figura 62 y 63).

Facies conformada por Limolitas de color gris oliva 5y 3/2, gris oliva claro 5y 5/2 y gris verdoso oscuro 5G 4/1, se observa en algunas partes manchas de oxidación por disolución la cual se encuentra alterando a azufre en algunas ocasiones, presenta trazas de mica moscovita y óxidos muy locales, minerales opacos e intraclastos carbonosos; secuencias uniformes y localmente granodecipientes. Presenta laminación plano paralela continua, laminación plano paralela discontinua, laminación ondulosa discontinua de arena muy fina.

Además se observaron estructuras sedimentarias biogénicas como fragmentos de conchas, foraminíferos (bentónicos), gasterópodos y espículas de equinodermos. Como accesorios se puede observar material carbonoso. La resistencia de la roca en esta facies es friable, con nula impregnación de hidrocarburos.

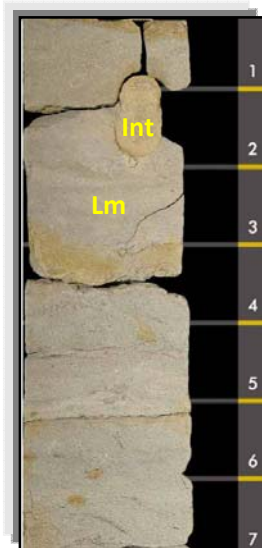


Figura 62. Laminación (Lm) e intraclastos (Int), correspondiente al pozo Bocacanoa Estratigráfico-1.



Figura 63. Fragmentos de conchas (Fc) y laminación (Lm), Pertenece al pozo Bocacanoa Estratigráfico-4.

**8.1.2.5 FLabb:** La facies Limolita Arcillosa con bioclásticos y bioturbación (FLabb) ocurre en el intervalo corazonado de los pozos Bocacanoa Estratigráfico 1 y 3; y en la localidad de Manzanillo (Figura 64 y 65).

Facies constituida por Limolitas de color gris oliva claro 5Y 5/2 y gris verdoso oscuro 5G 4/1, localmente manchas de oxidación por disolución, la roca presenta trazas de mica moscovita, fragmentos líticos (biotita), feldespatos, cuarzo, óxidos, minerales opacos e intraclastos carbonosos muy locales; secuencias uniformes, localmente granodecipientes y granocrecientes. Como estructuras se observa bioturbación no diferenciada con índice que varía de ligeramente bioturbado a moderadamente bioturbado en algunas zonas.

Dentro de las estructuras sedimentarias biogénicas observadas hay Fragmentos de conchas, foraminíferos (bentónicos), fragmentos de corales, gasterópodos, espículas de equinodermos y madrigueras no diferenciadas, Como accesorios se puede observar material carbonoso. La resistencia de la roca en esta facies es friable, con nula impregnación de hidrocarburos.



**Figura 64.** Ejemplo de la facies FLabb con presencia de Fragmentos de conchas (Fc) y bioturbación (Bi), perteneciente al pozo Estratigráfico-1.



**Figura 65. Ejemplo de la facies FLabb; Limolitas arcillosas con alta bioturbación perteneciente a la localidad de Manzanillo.**

**8.1.2.6 Facies Ab:** La facies Areniscas con bioclásticos (Ab), ocurre en los intervalos corazonados de los pozos Bocacanoa Estratigráfico 2, 3 y 4 (Figura 66 y 67).

Facies compuesta por Areniscas de color marrón amarillento oscuro 10YR 4/2, amarillo moderado 5Y 7/6, gris oliva claro 5Y 5/2 y gris oliva 5Y 3/2. De grano muy fino a fino, localmente medio, subangular a subredondeado, moderada a buena calibración, localmente mal calibrada. Composicionalmente está formada por cuarzo, feldspatos, y una matriz arcillosa, también se observó moscovita, biotita, clorita, óxidos, minerales opacos e intraclastos carbonosos. Localmente presenta manchas de oxidación por disolución.

Se observan fragmentos de conchas, foraminíferos (bentónicos), fragmentos de corales, gasterópodos, bivalvos, espículas de equinodermos. Como accesorios se puede observar material carbonoso. La resistencia de la roca en esta facies es friable, con nula impregnación de hidrocarburos.



Figura 66. (Izq) Areniscas con fragmentos de conchas (Fc), correspondiente al pozo Bocacanoa Estratigráfico 2.

Figura 67. (Der) Areniscas con fragmentos de conchas (Fc), correspondiente al pozo Bocacanoa Estratigráfico-4.

**8.1.2.7 Facies Alb:** La facies Areniscas con laminación y bioclóstos (Alb), ocurre en los intervalos corazonados de los pozos Bocacanoa Estratigráfico 3 y 4 (Figura 68 y 69).

Esta facies consta de Areniscas de color amarillo terroso 5Y 6/4, gris oliva 5Y 3/2 y gris oliva claro 5Y 5/2; de grano muy fino a fino manchas, localmente medio, subangular a subredondeado, de moderada a ligeramente calibrada, localmente mal calibrada. Composicionalmente está formada por cuarzo, feldespatos,

moscovita, biotita, clorita, y una matriz arcillosa, también se observó óxidos, minerales opacos e intraclastos carbonosos los cuales están muy localmente. Como estructuras se observa, laminación plano paralela discontinua, laminación ondulosa continua y laminación ondulosa discontinua de arcilla cuyos espesores no superan los 2 cm.

Asimismo se encontraron estructuras sedimentarias biogénicas como, Fragmentos de conchas, foraminíferos (bentónicos) y gasterópodos. Como accesorios se puede observar material carbonoso. La resistencia de la roca en esta facies es consolidada y en algunas partes friable, con nula impregnación de hidrocarburos.

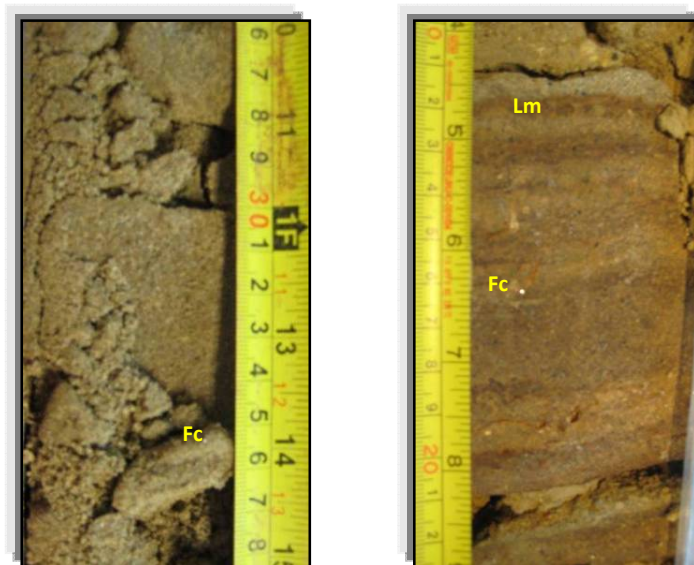


Figura 68. (Izq) Areniscas con fragmentos de conchas (Fc), correspondiente al pozo Bocacanoa Estratigráfico 3.

Figura 69. (Der) Areniscas con fragmentos de conchas (Fc) y laminación (Lm), correspondiente al pozo Bocacanoa Estratigráfico-4.

**8.1.2.8 Facies Abb:** La facies Areniscas con bioclásticos Y bioturbación (Abb), ocurre en los intervalos corazonados de los pozos Bocacanoa Estratigráfico 1, 3 y hacia el tope de la columna levantada en Manzanillo (Figura 70 y 71).

Esta facies esta compuesta por Areniscas de color marrón rojizo pálido 10R 5/4, rojo pálido 5R 6/2, amarillo verdoso pálido 10Y 8/2 y gris oliva claro 5Y 6/2; de grano muy fino a fino, subredondeado a subangular, de moderada a mal calibrada. Composicionalmente está formada por cuarzo, feldspatos, trazas de moscovita, biotita, y una matriz arcillosa, también se observó minerales opacos, intraclastos carbonosos y óxidos, Presenta manchas locales de oxidación por disolución.

Dentro de las estructuras sedimentarias biogénicas observadas hay gasterópodos, foraminíferos (bentónicos), Fragmentos de conchas, madrigueras no diferenciadas, bivalvos, y en la localidad de Manzanillo se observaron equinodermos (dólar de plata), serpúlidos y raíces de mangle; La resistencia de la roca en esta facies es consolidada y en algunas partes friable, con nula impregnación de hidrocarburos.



**Figura 70. Areniscas con bioturbación, Pertenece al pozo Bocacanoa Estratigráfico 1.**

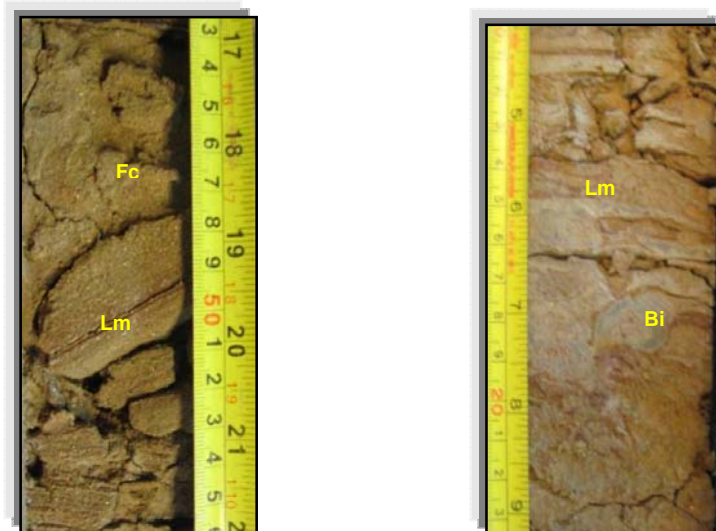
**Figura 71. Areniscas con fragmentos de conchas (Fc) y bioturbación, correspondiente al pozo Bocacanoa Estratigráfico-3.**

**8.1.2.9 Facies Albb:** La facies Areniscas con laminación bioclásticos Y bioturbación (Albb), ocurre en los intervalos corazonados del pozo Bocacanoa Estratigráfico-3 (Figura 72 y 73).

Facies compuesta por Areniscas de color rojizo pálido 5R 6/2, de grano muy fino a fino, localmente medio, subredondeado a subangular, moderadamente calibrada. Composicionalmente está formada por cuarzo, feldespato potásico, trazas de mica moscovita, fragmentos líticos, glauconita, minerales opacos, óxido e intraclastos carbonosos en una matriz arcillosa.

Como estructuras se observa bioturbación no diferenciada con índice moderado, localmente se evidencia láminas de arcilla de forma ondulosa discontinua y ondulosa continua.

Asimismo se encontraron estructuras sedimentarias biogénicas como, Fragmentos de conchas, La resistencia de la roca en esta facies es friable, con nula impregnación de hidrocarburos.



**Figura 72.** Areniscas con fragmentos de conchas (Fc), laminación (Lm) y bioturbación (Bi) correspondiente al pozo Bocacanoa Estratigráfico-3.

**Figura 73.** Areniscas con laminación (Lm) y bioturbación (Bi) correspondiente al pozo Bocacanoa Estratigráfico-3

**8.1.2.10 Facies FAo:** La facies Intercalaciones onduladas de arcilla con areniscas (FAo), ocurre en la localidad de Manzanillo (Figura 74).

Facies constituida por Arcillolita de color gris oliva claro 5Y 5/2, con manchas de oxidación por disolución las cuales se presentan muy localmente, con intercalaciones onduladas paralelas de arena muy fina de color ocre las cuales aparecen cada 10 cm aproximadamente y disminuyen de espesor hacia el tope de la secuencia, presenta diaclasas rellenas de yeso que cortan los estratos de forma horizontal y vertical, localmente se observan óxidos, minerales opacos y trazas de mica moscovita; se encuentra moderadamente bioturbado.

De igual forma se presentan estructuras biogénicas como gasterópodos, fragmentos de conchas de diversos tamaños, madrigueras no diferenciadas, Como accesorios se puede observar material carbonoso y nódulos calcáreos. La resistencia de la roca en esta facies es friable.



**Figura 74. Ejemplo de la facies FAo, intercalaciones onduladas de Arcillas con areniscas, correspondiente a la columna levantada en Manzanillo.**

**8.1.2.11 Facies FAbo:** La facies Intercalaciones onduladas de arcilla con areniscas altamente bioturbada (FAbo), ocurre en la localidad de Manzanillo (Figura 75).

Facies compuesta por Arcillolita de color gris oliva 5y 3/2, con manchas de oxidación por disolución las cuales se presentan muy localmente, con intercalaciones onduladas discontinuas de arena muy fina de color ocre las cuales aparecen cada 30 cm aproximadamente, presenta diaclasas rellenas de yeso que cortan los estratos de forma horizontal y vertical, compuesto por trazas de mica moscovita, fragmentos líticos oscuros, algunos óxidos; se encuentra altamente bioturbado.

De igual forma se presentan estructuras biogénicas como fragmentos de conchas, madrigueras no diferenciadas, La resistencia de la roca en esta facies es friable.



**Figura 75.** Ejemplo de la facies FAbo, intercalaciones onduladas de Arcillas con areniscas altamente bioturbado, presencia de diaclasas rellenas de yeso (Di), correspondiente a la columna levantada en Manzanillo.

**8.1.2.12 Facies Ac:** La facies Arenas calcáreas (Ac) ocurre en el intervalo corazonado de los pozos Bocacanoa Estratigráfico 3 y 4 (Figura 76 y 77); y en las columnas levantadas en las localidades de Manzanillo y Arroyo de piedra (Figura 78, 79 y 80).

Esta facies consta de Areniscas calcáreas de color gris amarillento 5Y 7/2 y amarillo moderado 5Y 7/6, marrón amarillento moderado 10YR 5/4, de grano fino a medio subredondeados a subangulares, de moderada a mal calibrada. Compuesta por cuarzo, minerales opacos y algunos fragmentos líticos.

Se observan fragmentos de conchas, foraminíferos (bentónicos), fragmentos de corales, fragmentos de algas, cabezas coralinas en el sector de Arroyo de piedra y hacia la localidad de Manzanillo se encuentran madrigueras no diferenciadas, también se observan unas superficies endurecidas (Concreciones calcáreas) de material calcáreo las cuales son así porque aun existe agitación en el fondo pero como son zonas intermareales los organismos bioturban los fondos de sedimentación y lo que queda es la parte mas resistente de esta superficie que esta endurecida por desechos biogénicos y mucus de organismos cavadores; la resistencia de la roca en esta facies se presenta de forma consolidada en los pozos y friable en campo en la columna levantada en Manzanillo.



**Figura 76. Concreciones calcáreas de material calcáreo; encontrado en la facies Areniscas calcáreas correspondientes a localidad de Manzanillo.**



Figura 77-78 (Izq) Arenisca calcárea con manchas causadas por oxidación, perteneciente al pozo estratigráfico-3; (der) Arenisca calcarea la cual corresponde al pozo Estratigráfico 4.

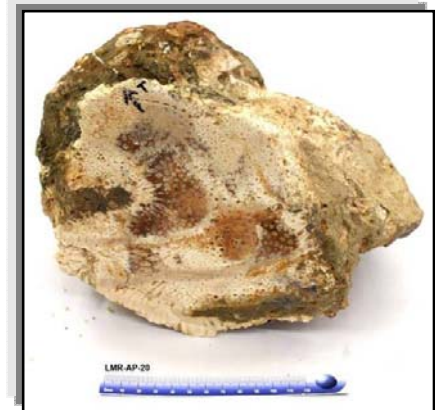


Figura 79-80 (Izq) Cabeza coralina dentro de la facies Arenisca calcáreas encontrada en la localidad de Arroyo de piedra; (der) Cabeza coralina muestra LMR-AP-20 tomada en Arroyo de piedra.

**8.1.2.13 Facies FAc:** La facies Arcillolitas calcáreas (FAc) se encuentra localizada hacia la base de la columna levantada en Arroyo de piedra (Figura 81 y 82).

Facies constituidas por Arcillolita calcárea de color gris oliva claro 5Y 5/2, con manchas de oxidación por disolución de color amarillo terroso localmente, compuesta por trazas de mica moscovita, fragmentos líticos oscuros, algunos óxidos; se encuentra moderadamente bioturbado.

De igual forma se presentan estructuras biogénicas como fragmentos de conchas, foraminíferos, ostrácodos y caracoles pala, la resistencia de la roca en esta facies es friable.



**Figura 81. (Izq) Arcillolita calcárea con presencia de fragmentos de conchas (Fc), encontrado hacia la base de la columna levantada en Arroyo de Piedra.**

**Figura 82. (Der) Caracol pala; encontrado hacia la base de la columna levantada en Arroyo de Piedra.**

**Tabla 4. Tabla porcentaje de facies calcáreas en los pozos descritos y columnas levantadas.**

FACIES CALCAREAS	BOCACANOA EST-1	BOCACANOA EST-2	BOCACANOA EST-3	BOCACANOA EST-4	COLUMNA MANZANILLO	COLUMNA ARROYO DE PIEDRA	PORCENTAJE TOTAL
Flw	NO SE PRESENTA	NO SE PRESENTA	0.45 mt	0.4 mt	0.55 mt	3.5 mt	4.9 mt
			0.86%	0.77%	1.05%	6.70%	9.38%
Flg	1.85 mt	4.65 mt	NO SE PRESENTA	NO SE PRESENTA	10.40 mt	3.85 mt	20.75 mt
	3.54%	8.90%			19.9%	7.37%	39.7%
Rup	NO SE PRESENTA	0.5 mt	NO SE PRESENTA	3.55 mt	1.78 mt	0.35 mt	6.18 mt
		0.95%		6.79%	3.40%	0.67%	11.8%
Rug	7.60 mt	3.20 mt	NO SE PRESENTA	NO SE PRESENTA	NO SE PRESENTA	NO SE PRESENTA	10.80 mt
	14.55%	6.12%					20.68%
Frb	0.60 mt	0.20 mt	NO SE PRESENTA	NO SE PRESENTA	0.52 mts	NO SE PRESENTA	1.32 mt
	1.14%	0.38%			0.99%		2.5%
Wb	NO SE PRESENTA	2.40 mt	1.1 mt	0.82 mt	2 mt	1.95 mt	8.27 mt
		4.59%	2.10%	1.57%	3.82%	3.73%	15.83%
<b>TOTAL</b>	10.05 mt	10.95 mt	1.55 mt	4.77 mt	15.25 mt	9.65 mt	<b>52.22 mt</b>

**Tabla 5. Tabla porcentaje facies siliciclásticas en los pozos descritos y columnas levantadas.**

FAIES SILICLÁSTICAS	BOCACANO A EST-1	BOCACANO A EST-2	BOCACANO A EST-3	BOCACANO A EST-4	COLUMNA MANZANILLO	COLUMNA ARROYO DE PIEDRA	PORCENTAJE TOTAL
<b>Fabb</b>	38.7 mt	56.85 mt	4.9 mt	11.40 mt	NO SE PRESENTA	NO SE PRESENTA	111.85 mt
	13.16%	19.34%	1.66%	3.87%			38.05%
<b>Falb</b>	34.35 mt	12.15 mt	3.5 mt	2.90 mt	NO SE PRESENTA	NO SE PRESENTA	52.9 mt
	11.6%	4.13%	1.19%	0.98%			18%
<b>Falbb</b>	NO SE PRESENTA	NO SE PRESENTA	25.3 mt	4.48 mt	2.80 mt	NO SE PRESENTA	32.58 mt
			8.6%	1.52%	0.95%		11.08%
<b>Flalb</b>	12.7 mt	NO SE PRESENTA	NO SE PRESENTA	NO SE PRESENTA	NO SE PRESENTA	NO SE PRESENTA	12.7 mt
	4.32%						4.32%
<b>Flabb</b>	12.3 mt	0.75 mt	3.4 mt	2.90 mt	1.85 mt	NO SE PRESENTA	21.2
	4.18%	0.25%	1.15%	0.98%	0.62%		7.21%
<b>Ab</b>	NO SE PRESENTA	0.65 mt	8.42 mt	2.10 mt	NO SE PRESENTA	NO SE PRESENTA	11.17
		0.22%	2.86%	0.71%			3.8%
<b>Alb</b>	NO SE PRESENTA	NO SE PRESENTA	1 mt	20.68 mt	NO SE PRESENTA	NO SE PRESENTA	21.68
			0.34%	7.03%			7.37%
<b>Abb</b>	3.8 mt	NO SE PRESENTA	10.15 mt	NO SE PRESENTA	1.60 mt	NO SE PRESENTA	15.55 mt
	1.29%		3.45%		0.54%		5.29%
<b>Albb</b>	NO SE PRESENTA	NO SE PRESENTA	5.15 mt	NO SE PRESENTA	NO SE PRESENTA	NO SE PRESENTA	5.15 mt
			1.75%				1.75%
<b>Fao</b>	NO SE PRESENTA	NO SE PRESENTA	NO SE PRESENTA	NO SE PRESENTA	3 mt	NO SE PRESENTA	3 mt
					1.02%		1.02%
<b>Faob</b>	NO SE PRESENTA	NO SE PRESENTA	NO SE PRESENTA	NO SE PRESENTA	1.75 mt	NO SE PRESENTA	1.75 mt
					0.59%		0.59%
<b>Fac</b>	NO SE PRESENTA	NO SE PRESENTA	NO SE PRESENTA	NO SE PRESENTA	NO SE PRESENTA	0.5 mt	0.5mt
							0.17%
<b>Ac</b>	NO SE PRESENTA	NO SE PRESENTA	1.35 mt	0.20 mt	0.50 mt	1.8 mt	3.85 mt
			0.45%	0.06%	0.17%	0.61%	1.31%
<b>TOTAL</b>	101.85 mt	70.4 mt	63.17 mt	44.66 mt	11.50 mt	2.30 mt	<b>293.88 mt</b>

## 9. ASOCIACION DE FACIES

Para el análisis facial se agruparon las facies individuales descritas anteriormente (sección 6.0) en diferentes asociaciones faciales, ya que la asociación da un aporte significativo a la hora de interpretar el ambiente de depósito.

En la Tabla 6 y 7 se esquematiza a manera de resumen dichas asociaciones, con sus respectivas características, localización y el ambiente de depósito asociado.

### 9.1 Asociación de facies 1

Esta asociación consta de la facies FLg y Wb, esta se presenta en su gran mayoría como capa de *Floatstone* en matriz de *Grainstone* la cual puede variar a *packestone* bioclástico; también esta conformada por *Wackestone* de bioclastos estas se intercalan secuencialmente; el espesor de dichas capas es diverso.

Esta asociación se presenta preferencialmente hacia la base de la secuencia calcárea limitando con la unidad siliciclástica; y se encuentra en los pozos Bocacanoa estratigráfico 2 ,3 y 4; en la columna levantada en Manzanillo (Figura 83) se observa en el segmento medio y en Arroyo de piedra (figura 84) en el segmento inferior o hacia la base del afloramiento.

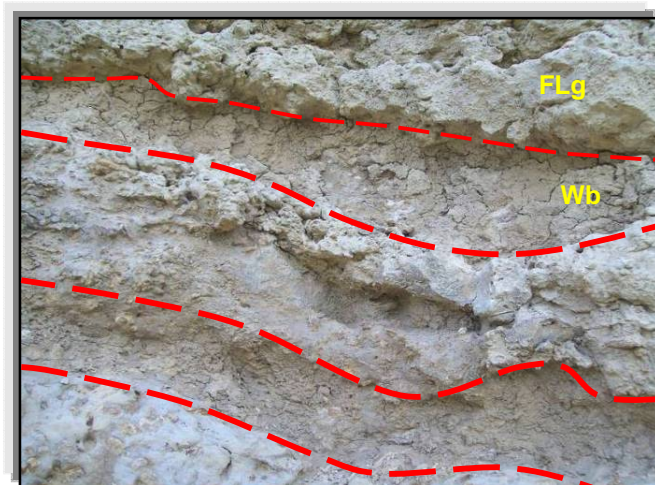


Figura 83. Asociación 1, se muestra la facies Floatstone en matriz de Grainstone (FLg) y la cual se encuentra intercalada con la facies Wackestone en Matriz de Wackestone (Wb). Perteneciente a la localidad de Arroyo de Piedra.

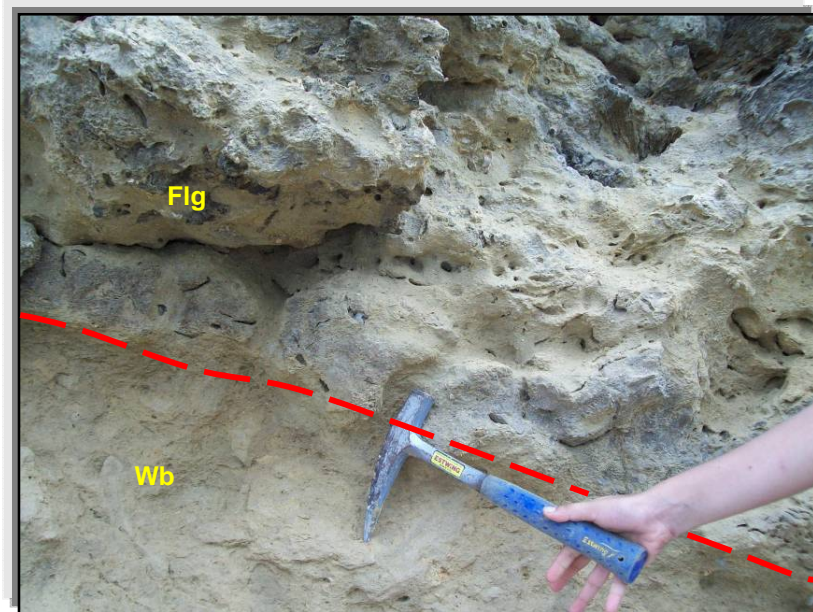


Figura 84. Asociación 1, se muestra la facies Floatstone en matriz de Grainstone (FLg) y la cual se encuentra intercalada con la facies Wackestone en Matriz de Wackestone (Wb). Perteneciente a la localidad de Manzanillo.

## 9.2 Asociación de facies 2

La asociación de facies 2 esta constituida únicamente por la facies Rup; se presenta como espesores gruesos de *Rudstone* en Matriz de *Packestone* bioclastico el cual domina en la secuencia; localmente se encuentra con *Floatstone* en matriz *Wackestone* la cual tiene un espesor de aproximadamente 20 cm.

Esta asociación se presenta preferencialmente hacia el tope de la secuencia calcárea del pozo Bocacanoa Estratigráfico-4.

## 9.3 Asociación de facies 3

Esta asociación esta constituida por las facies RUg, FLg y Frb; la cual esta constituida por *Floatstone* en matriz de *Grainstone* con bioclastos, corales

ramificados de tipo *Porites porites* y *Acropora cervicornis*, seguido por *Rudstone* en matriz de *Grainstone* bioclástica; localmente se observa *Framestone* de corales *Diploria strigosa* y *Acropora cervicornis* (Figura 85).

Esta asociación ocurre hacia el tope o parte superior de los pozos Bocacanoa estratigráfico 1 y 2.

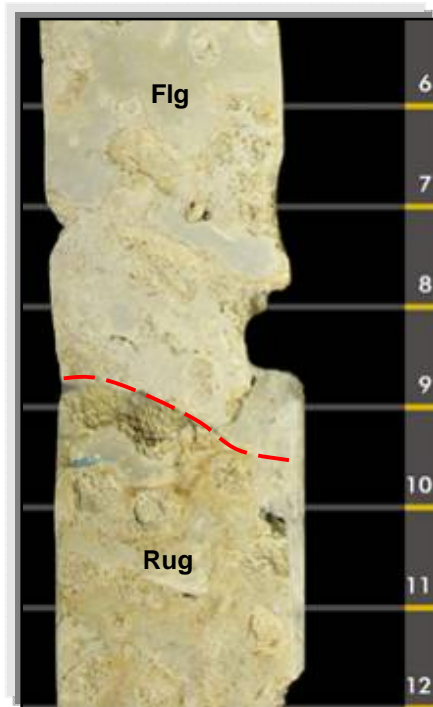


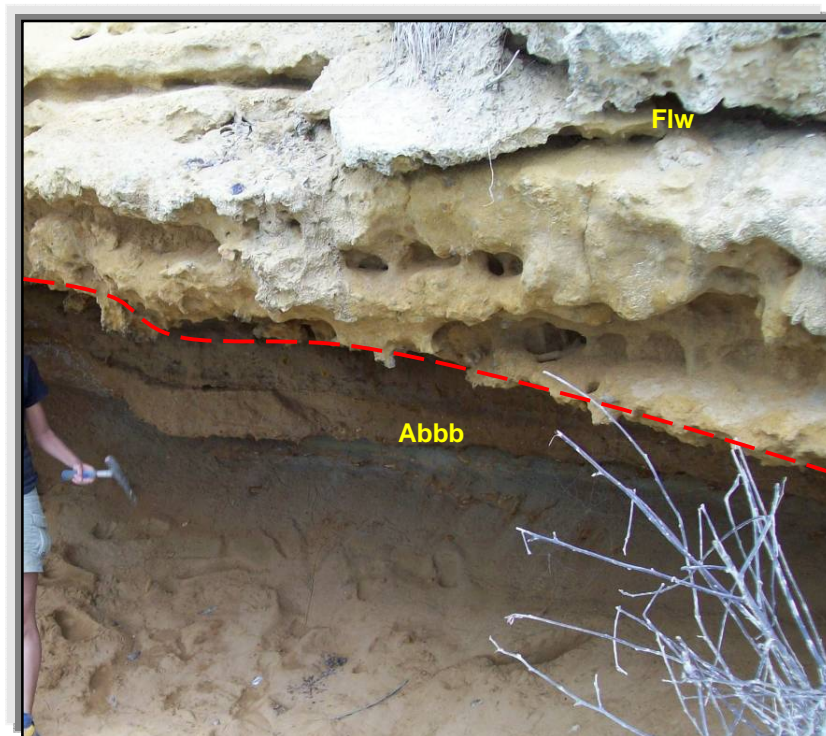
Figura 85. Asociación 3, se muestra la facies Floatstone en matriz de Grainstone (FLg) la cual se encuentra en contacto con la facies Rudstone en Matriz de Grainstone (RUG); correspondiente al pozo Bocacanoa Estratigráfico 1.

#### 9.4 Asociación de facies 4

En este conjunto encontramos las facies FLw y Abb; la cual esta constituida por capas gruesas masivas locamente onduladas de *Floatstone* en matriz de *Wackestone* con bioclastos en su gran mayoría corales ramificados de tipo *Acropora cervicornis* seguida por una capa de areniscas con bioclastos altamente

bioturbada con presencia de raíces de mangle, gasterópodos y equinodermos (Dólar de plata).

Esta asociación se encuentra únicamente hacia el tope de la columna levantada en la localidad de Manzanillo (Figura 86).



**Figura 86. Asociación 4, se muestra la facies Floatstone en matriz de Wackestone (FLw) la cual se encuentra en contacto con la facies Areniscas con bioclastos altamente bioturbada (Abb); encontrada hacia el tope de la columna levantada en Manzanillo.**

### **9.5 Asociación de facies 5**

Dentro de este grupo encontramos las facies FRb y RU<sub>p</sub>; se observan capas masivas onduladas de *Rudstone* en matriz de *Packestone* bioclastico el cual varia a *Grainstone* bioclastico, conformado por corales de tipo *Acropora Cervicornis* y

corales de tipo *Porites porites*; seguido por una capa masiva de Framestone bioclástico de corales dómicos globulares de tipo *Diploria Strigosa* con relleno intercoralino de *Packestone* bioclástico el cual se encuentra localmente.

Dicha asociación ocurre únicamente en el segmento medio de la columna levantada en Manzanillo; el *Rudstone* se encuentra limitando la secuencias calcáreas de la siliciclástica mostrando un contacto ondulado (Figura 87).

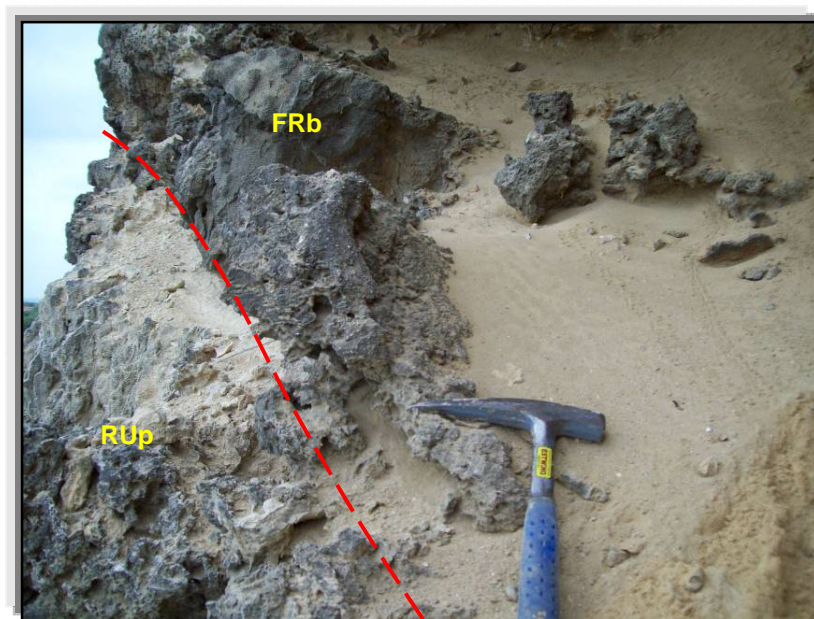
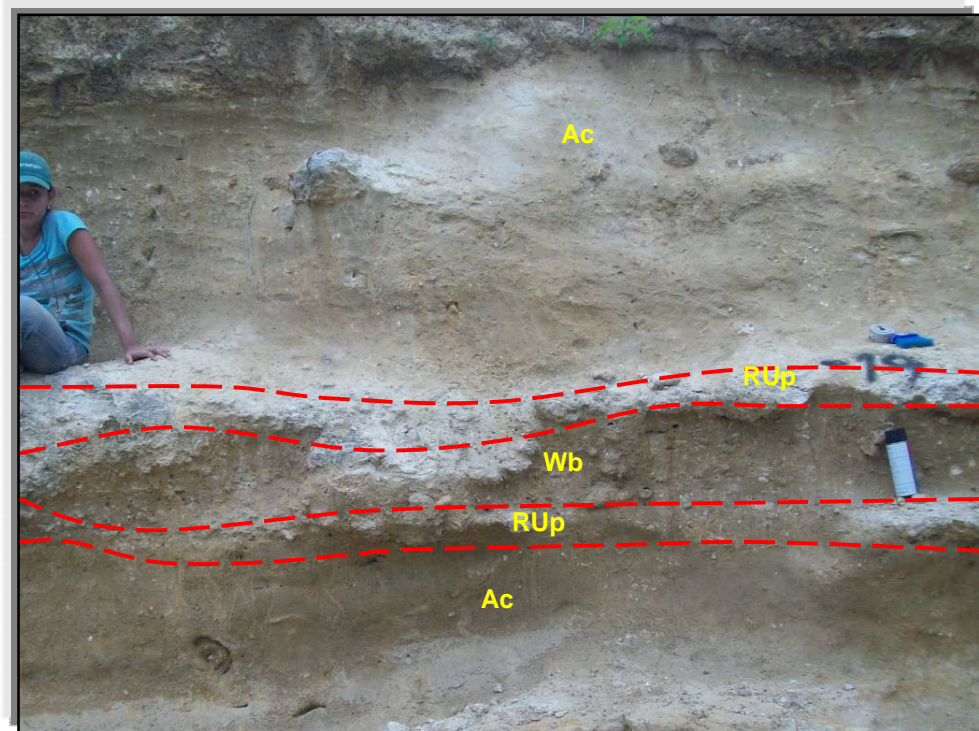


Figura 87. Asociación 4, se observa la facies Rudstone en matriz de Packestone (RUUp) seguida por la facies de Framestone de corales dómicos globulares; perteneciente a la localidad de Manzanillo.

## 9.6 Asociación de facies 6

En este grupo encontramos las facies Ac, RUUp, Wb; consta específicamente de Areniscas calcáreas lodosas dentro de las cuales se observan cabezas coralinas de gran tamaño; también esta compuesta por *Rudstone* en matriz de *Packestone* bioclástico y *Wackestone* bioclástico los cuales presentan fragmentos de conchas, corales ramificados de tipo *Acropora Cervicornis* y *Porites porites* (Figura 88).

Esta secuencia se observa únicamente hacia el tope de la columna levantada en Manzanillo.



**Figura 88. Asociación 6, se observan la facies areniscas calcáreas (Ac) seguida por la facies Rudstone en matriz de Packestone (RUp), y en medio de esta se encuentra la facies Wackestone de bioclastos (Wb); en la parte superior de la columna levantada en Arroyo de piedra.**

En la tabla 5. Se observa a manera de resumen las diferentes asociaciones de facies encontradas en la unidad calizas arrecifales del Popa; se muestra las facies con un color diferente el cual es el que se le asigno a las columnas de los anexos (1 al 6)

**Tabla 6. Asociaciones faciales de la unidad calizas arrecifales del Popa.**

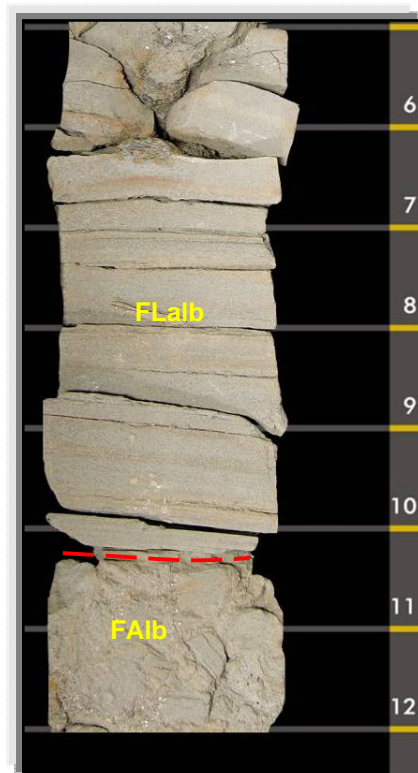
FORMACIÓN UNIDAD	ASOCIACIÓN FACIAL	FACIES	CARACTERISTICAS	LOCALIZACIÓN	AMBIENTE
LA POPA UNIDAD CALIZAS ARRECIFALES	1	Flg	Floatstone en matriz de Grainstone	B_Est-2 B_Est-3 B_Est-4 Arroyo de Piedra Manzanillo	Arrecife posterior
		Wb	Wackestone con bioclastos		
	2	Flw	Floatstone en matriz de Wackestone	B_Est-4	Planicie Arrecifal
		Rup	Rudstone en matriz de Packestone		
	3	Rug	Rudstone en matriz de Grainstone	B_Est-1 B_Est-2	Cresta Arrecifal
		Flg	Floatstone en matriz de Grainstone		
		Frb	Framestone con bioclastos		
	4	Flw	Floatstone en matriz de Wackestone	Manzanillo	Arrecife posterior
		Abb	Areniscas con bioclastos y bioturbación		
	5	Frb	Framestone con bioclastos	Manzanillo	Cresta Arrecifal
		Rup	Rudstone en matriz de Packestone		
	6	Ac	Arenisca calcárea	Arroyo de Piedra	Planicie Arrecifal
		Rup	Rudstone en matriz de Packestone		
		Wb	Wackestone con bioclastos		

### 9.7 Asociación de facies 7

Esta asociación esta conformada por las facies FLalb y FAIb, conformada por Arcillolitas con laminación y bioclastos como fragmentos de conchas y foraminíferos bentónicos, sus espesores son gruesos y de tamaño considerable; se encuentra intercalado con Limolitas arcillosas con laminación plano paralela,

bioclastos y material carbonoso; cabe anotar que dentro de esta asociación se encuentra dominando la facies FLalb.

Esta secuencia ocurre solamente hacia la parte inferior del pozo Bocacanoa estratigráfico-1 (Figura 89).



**Figura 89. Asociación 7, se presenta la facies Limolita arcillosa con laminación y bioclastos (FLalb) y la facies Arcillolitas con laminación y bioclastos (FAlb), dicha asociación se observó en el pozo Bocacanoa Estratigráfico 1.**

### **9.8 Asociación de facies 8**

Esta asociación está constituida por las facies Ab, FLabb y FAb; y consta de Limolitas arcillosas moderadamente bioturbadas con presencia de bioclastos en su gran mayoría fragmentos de cochas y gasterópodos; generalmente están

intercaladas con Arcillolitas de bioclastos y localmente se observan areniscas muy finas con fragmentos de conchas; el espesor de dichas facies es variado.

Esta asociación se evidencia preferencialmente en la parte media de los pozos Bocacanoa estratigráfico 1, 2,3 y 4 (Figura 90).



**Figura 90. Asociación 8, se presenta la facies Limolita arcillosa con laminación, bioclastos moderadamente bioturbada (FLabb) y la facies Arcillolitas con bioclastos (FAb), fotografía correspondiente al pozo Bocacanoa Estratigráfico 1.**

### 9.9 Asociación de facies 9

En este grupo encontramos las facies Albb, Abb y Falbb; ocurre básicamente como areniscas muy finas moderadamente bioturbadas con fragmentos de conchas las cuales varían a Areniscas laminadas con bioclastos y bioturbación; estas se muestran intercaladas con Arcillolitas ligeramente bioturbadas y laminación ondulosa y plano paralela continua, se observan fragmentos de conchas gasterópodos y foraminíferos de tipo bentónico; localmente hay presencia de Areniscas calcáreas pero de espesores que no superan los 10 cm.

La asociación 9 se observa principalmente en la parte media de los pozos Bocacanoa estratigráfico 3 y 4 (Figura 91).

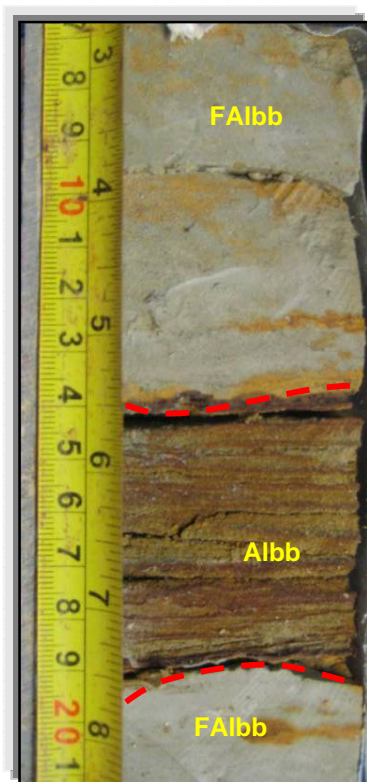


Figura 91. Asociación 9, se presenta la facies Arcillolitas con laminación, bioclastos y bioturbación (Falbb) las cuales se intercalan con Areniscas laminadas con bioturbación y bioclastos (Albb).

### 9.10 Asociación de facies 10

Este grupo esta conformado por las facies FAb y Ab; se presenta como Arcillolitas con bioclastos preferencialmente fragmento de conchas y gasterópodos; intercaladas con Areniscas muy fina a finas de bioclastos como fragmentos de conchas, espículas de equinodermos y ocasionalmente material carbonoso; hay que notar que los espesores de dichas facies son diversos.

La asociación 10 ocurre básicamente en la parte inferior de los pozos Bocacanoa estratigráfico 2 y 3 (Figura 92).

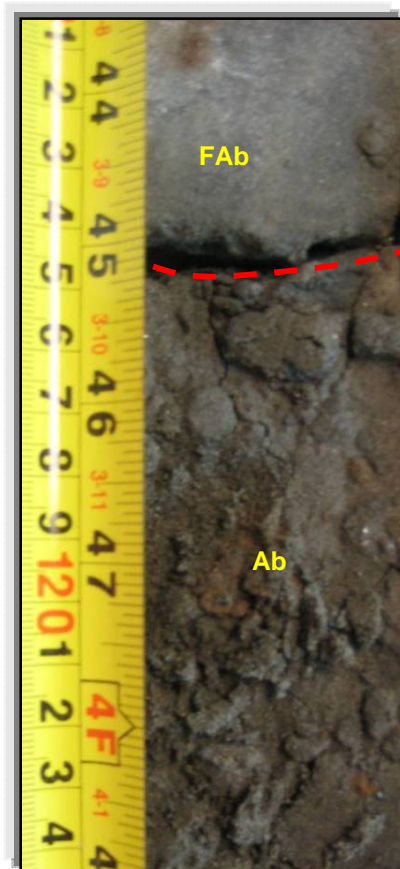


Figura 92. Asociación 10, se presenta la facies Arcillolitas con bioclastos seguida por la facies Areniscas con bioclastos, correspondiente al pozo Bocacanoa Estratigráfico 3.

### **9.11 Asociación de facies 11**

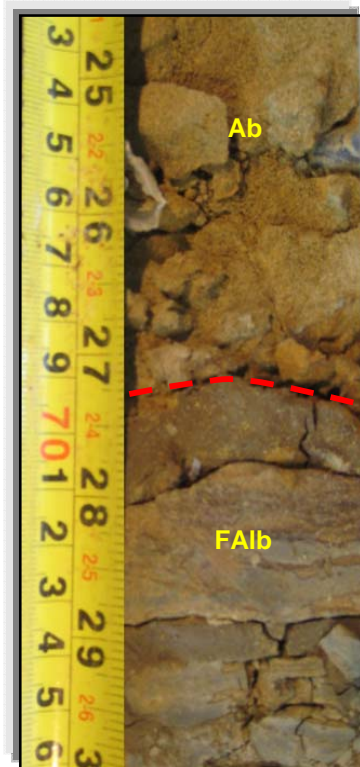
En este grupo encontramos las facies Alb, FAb, FLabb y Falb; se observan Areniscas muy finas laminadas de bioclastos principalmente fragmentos de conchas y gasterópodos; intercaladas con Arcillolitas laminadas con estructuras biogénicas tales como conchas, foraminíferos bentónicos entre otros, localmente se pueden presentar hacia la base Arcillolitas y Limolitas bioturbadas también con bioclastos cuyos espesores son muy pequeños.

Este tipo de asociación ocurre hacia la base o parte inferior del pozo Bocacanoa estratigráfico 3, y hacia la parte media e inferior del pozo Bocacanoa estratigráfico 4 (Figura 93).

### **9.12 Asociación de facies 12**

En este conjunto hallamos las facies FAlb y Ab; compuesta particularmente por Arcillolitas laminadas con presencia de estructuras biogénicas tales como fragmentos de conchas, foraminíferos; intercalada con areniscas muy finas de bioclastos cuyos espesores varían y de menor tamaño que el de las arcillas.

Esta asociación se observa en la parte superior e inferior del pozo Bocacanoa estratigráfico 2 y en la parte media del pozo Bocacanoa estratigráfico-3 (Figura 89).

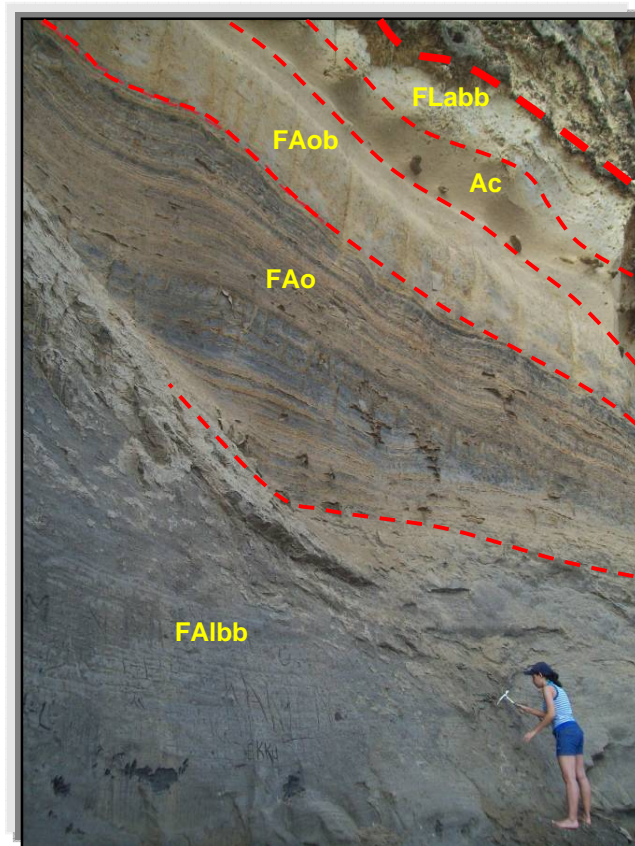


**Figura 93. Asociación 12, se presenta la facies Arcillolitas con bioclastos seguida por la facies Areniscas con bioclastos, correspondiente al pozo Bocacanoa Estratigráfico 3.**

### **9.13 Asociación de facies 13**

Esta asociación esta conformada por las facies FLabb, Ac, FAo, FAob y FAIbb; se presenta como Limolitas arcillosas altamente bioturbada con abundantes bioclastos tales como conchas, madrigueras, gasterópodos entre otros; Areniscas calcáreas, seguida por una capa de Arcillolitas con intercalaciones onduladas altamente bioturbadas y Arcillolitas con laminación ondulosa con muchas estructuras biogénicas tales como gasterópodos, madrigueras, material carbonoso y bivalvos.

Esta asociación ocurre únicamente en la localidad de Manzanillo y constituye todo el segmento de la secuencia siliciclástica (Figura 94).



**Figura 94. Asociación 13, se presenta las facies FAIbb, FAo, FAob, Ac y FLabb, fotografía tomada en la localidad de Manzanillo.**

En la tabla 7. Se resumen las diferentes asociaciones faciales para la unidad siliciclástica del Popa, con sus respectivas características y localización.

**Tabla 7. Asociaciones faciales de la unidad siliciclástica del Popa.**

FORMACIÓN UNIDAD	ASOCIACIÓN FACIAL	FACIES	CARACTERÍSTICAS	LOCALIZACIÓN	AMBIENTE
LA POPA UNIDAD SILICICLASTICA	7	Flab	Limolita arcillosa con laminación y bioclastos	B_Est-1	Laguna costera
		Falb	Arcillolita con laminación y bioclastos.		
	8	Ab	Arena con bioclastos	B_Est-1 B_Est-2 B_Est-3 B_Est-4	Laguna costera
		Flabb	Limolita arcillosa con laminación, bioclastos y bioturbación		
		Fab	Arcillolita con bioclastos		
	9	Albb	Arena con laminación, bioclastos y bioturbación	B_Est-3 B_Est-4	Laguna costera
		Abb	Arena con bioclastos y bioturbación		
		Falbb	Arcillolita con laminación, bioclastos y bioturbación		
	10	Fab	Arcillolita con bioclastos	B_Est-2 B_Est-3	Laguna costera
		Ab	Arena con bioclastos		
	11	Alb	Arena con laminación y bioclastos	B_Est-3 B_Est-4	Laguna costera
		Fab	Arcillolita con bioclastos		
		Flabb	Limolita arcillosa con laminación, bioclastos y bioturbación		
		Falb	Arcillolita con laminación y bioclastos.		
	12	Falb	Arcillolita con laminación y bioclastos.	B_Est-2 B_Est-3	Laguna costera
		Ab	Arena con bioclastos		
	13	Flabb	Limolita arcillosa con laminación, bioclastos y bioturbación	Manzanillo	Laguna costera
		Ac	Arena calcárea		
		Fao	Intercalaciones onduladas de Arcilla con Arena muy fina		
		Faob	Intercalaciones onduladas de Arcilla con Arena muy fina altamente bioturbada		
Falbb		Arcillolita con laminación, bioclastos y bioturbación			

## **10. AMBIENTE DE DEPÓSITO DE LA UNIDAD CALIZAS ARRECIFALES DEL POPA.**

Según estudios anteriores para la formación la popa, indican a modo general que esta se deposita en un ambiente somero transicional (Angel, et al., 1985).

Según Jiménez & Prince (1999) mencionan que el posible cuerpo arrecifal es un arrecife de margen de plataforma y que pudo ser un arrecife tipo parche o “patch reef” de gran tamaño o un arrecife de barrera pequeño que se levantó sobre una plataforma siliciclástica lodosa representada por la Unidad Detrítica del Popa; esta plataforma varía de facies más arenosas hacia el noreste a más arcillosas hacia el suroeste.

Barbosa *et. al.* (2001) y Barrera *et. al.* (2000) enuncian que las características sedimentológicas de la Formación La Popa deducen un ambiente marino somero, con influencia continental (aporte de terrígenos).

En base a dichos estudios en esta sección se mostrara la interpretación ambiental de la unida calizas arrecifales del Popa siguiendo aspectos tales como descripción de facies, asociaciones faciales, características de los corales y contenido fósil, petrografía y comparaciones hechas con estudios de arrecifes actuales tales como el de las Bermudas y la Bahamas.

Antes de empezar a hablar del tipo de ambiente que se encuentra en la unidad calizas arrecifales del Popa; es preciso mencionar las características más relevantes e importantes de los arrecifes tales como:

*¿Qué es un arrecife?*

*Arrecife* es un término generalizado que describe una cresta, camellón o bloque de sustrato duro que se levanta hacia la superficie del mar (Hughes, 1991; Hallock, 1997, en Chiappone, et. al 2001). Su soporte puede ser de origen abiótico, de

lecho rocoso, piedras, guijarros y arena, o en el caso de arrecifes artificiales creados por el hombre, de bloques de concreto, neumáticos u otros materiales desechables. Los arrecifes pueden también estar contruidos biológicamente por el material esquelético de diversos organismos, fundamentalmente corales pétreos.

Los *arrecifes coralinos* se definen como estructuras carbonatadas cercanas, o al nivel de la superficie del mar, caracterizadas por poseer una gran diversidad de plantas y animales asociados, así como una alta tasa de producción primaria en aguas relativamente pobres en nutrientes (Lewis, 1981; Hatcher et al., 1989, en Chiappone, et. al 2001). Existen en la literatura numerosas definiciones (en ocasiones problemáticas) de los arrecifes, que se basan casi siempre en factores como la rigidez, el basamento o la estructura, los sedimentos y la diversidad biológica (Stoddart, 1978 en Chiappone, et. al 2001). Entre las numerosas características de los arrecifes (Fagerstrom, 1987 en Chiappone, et. al 2001). Podemos citar las siguientes:

- Presencia de una estructura rígida,
- Abundancia de microestructuras esqueléticas y de otro tipo,
- un relieve topográfico positivo,
- Organismos estructurales con crecimiento rápido, y diversidad taxonómica alta, con varios grupos ecológicos funcionales presentes.

A medida que el arrecife crece, va modificando continuamente el ambiente; este fenómeno se puede observar en el amontonamiento relativamente denso y en la rápida tasa de crecimiento de los organismos sésiles, coloniales, o altamente gregarios. Los corales pétreos son considerados comúnmente como los constructores primarios de la formación arrecifal ya que sus esqueletos constituyen la base de dicha estructura. Otros organismos calcáreos, como es el

caso de las algas coralinas, contribuyen a unir los sedimentos y a cementar la estructura del arrecife. En áreas donde la acción de las olas es muy fuerte, las algas coralinas son tan importantes como (sino más) que los corales en el proceso de construcción del arrecife por lo que algunos científicos se refieren a esos arrecifes como “arrecifes bióticos” (Littler y Littler, 1985). Los sedimentos en el arrecife provienen principalmente de procesos físicos (por ejemplo, energía de las olas) y la degradación orgánica (por ejemplo, bioerosionadores como algunas esponjas y moluscos bivalvos) de los organismos constructores del arrecife. Por eso los arrecifes están compuestos de organismos que producen y unen el sustrato duro, así como de organismos que contribuyen a su erosión y destrucción.

Los constructores arrecifales actuales más importantes son especies de corales de muchos géneros diferentes algas marinas costosas (Rhodophyta), foraminíferos, hidrocorales y numerosos moluscos que aportan materia calcárea a la construcción del arrecife. Este mosaico biológico crece y extiende continuamente la masa calcárea derivada del conjunto de sus materiales esqueléticos. El número de especies y géneros involucrados en la formación del arrecife es considerable, y es un ejemplo clásico de la gran diversidad de nichos ecológicos tropicales existentes, comparable con los bosques tropicales lluviosos (Connell, 1978 en Chiappone, et. al 2001). Algunas especies, como el coral ganchito (*Acropora cervicornis*), son capaces de crecer con gran rapidez (hasta 26 cm/año) contribuyendo de manera notable a la construcción de la estructura arrecifal.

Cada arrecife contiene, como observara Charles Darwin hace 150 años, un registro de la evolución geológica de su ubicación. Los factores que han controlado la formación biogénica de los arrecifes a través del tiempo comprenden el clima, la circulación oceánica, la disponibilidad de hábitat y la existencia de organismos constructores de arrecifes (Hallock, 1997). El crecimiento vertical de la comunidad arrecifal y la acreción del carbonato de calcio pueden ser lo

suficientemente rápidas como para contrarrestar el aumento interglacial del nivel del mar o el hundimiento de bloques continentales.

Tres factores principales controlan la respuesta de los arrecifes a los cambios en el nivel de mar: 1) la magnitud y el patrón de aumento y disminución del nivel del mar; 2) los antecedentes topográfico; y 3) la respuesta retroactiva del incremento topográfico al ascenso del nivel del mar (Steers y Stoddart, 1977; Neumann y Macintyre, 1985; reseñado en Hubbard, 1997). Las fluctuaciones del nivel de mar influyen considerablemente en la morfología del arrecife. Si ocurre un incremento brusco en el nivel del mar, el crecimiento ascendente del arrecife se verá afectado, pudiendo ocurrir que: algunos arrecifes logren mantener una tasa de crecimiento proporcional al aumento del nivel del mar si existe un sustrato más alto sobre el cual sustentarse; otros arrecifes coralinos no puedan mantener su tasa de crecimiento cuando ocurre un aumento brusco, pero se recuperen cuando los incrementos en el nivel del mar se hacen más lentos, y otros simplemente no logren recuperarse y se conviertan en bancos sumergidos.

Los arrecifes coralinos necesitan condiciones especiales para su crecimiento y se consideran generalmente sensibles a las perturbaciones los disturbios ambientales (Achituv y Dubinsky, 1990 en Chiappone, et. al 2001). Los factores principales que controlan la distribución y el desarrollo de los corales son la temperatura, la sedimentación, la luz, el suministro de nutrientes, la salinidad, los gases disueltos (por ejemplo, el oxígeno), la turbulencia y una plataforma de sostén para su crecimiento (Grigg, 1981; Fagerstrom, 1987 en Chiappone, et. al 2001). Además de los procesos a micro y mesoescala que se analizarán posteriormente, los cambios a macroescala (nivel de mar, movimientos tectónicos) afectan la distribución del arrecife. La formación del arrecife es modificada a lo largo de una escala geológica de tiempo por los cambios en el nivel de mar. A veces el nivel relativo del mar cae, debido a la extracción de agua por los hielos glaciales, o por elevaciones de la línea costera. Los arrecifes viejos aparecen entonces expuestos por encima del nivel del mar donde permanecen como acantilados calizos,

mientras que el crecimiento del lado del mar del arrecife continúa a un nivel inferior nuevo. Si el nivel relativo del mar comienza a subir rápidamente debido a un derretimiento de los hielos o al hundimiento de la costa, los arrecifes de borde comienzan a crecer cada vez más separados de la costa, evolucionando gradualmente a arrecifes de barrera.

Cuando esto ocurre alrededor de las costas de una isla volcánica, la tierra puede finalmente erosionarse y hundirse bajo del mar, y se crea un arrecife de barrera circular o atolón (Chiappone, et. al 2001).

Existen varias teorías acerca de cómo las estructuras de coral están formadas; Darwin originalmente describió tres tipos principales de arrecife la cual ha pasado la prueba del tiempo y se elige todavía como la clasificación moderna de formas principales de arrecifes.

El primero de estos tipos son los arrecifes de borde los cuales se forman en áreas someras cercanas a la costa y tienen un área lagunar de poca extensión.

El segundo tipo mencionado por este autor son los arrecifes de barrera que se encuentran en bancos oceánicos a cierta distancia de la tierra, y se caracterizan por tener, a veces, una laguna arrecifal trasera profunda.

El tercer tipo los arrecifes de atolón, son más comunes en el Indo-Pacífico, se forman por la sumersión de picos volcánicos oceánicos, aunque pueden también formarse en los bancos carbonatados sumergidos, como en el sudeste de las Bahamas (Chiappone, et. al 2001).

Los arrecifes de atolón presentan cuatro zonas fisiográficas: arrecife frontal, fondo rocoso de barlovento, laguna arrecifal (con arrecifes de parche) y fondo rocoso de sotavento.

Partiendo de la forma, tamaño y ubicación paleogeográfica idealizada de las zona de estudio y siguiendo lo propuesto por Jiménez & Prince (1999). Se puede

deducir que el tipo de arrecife presente es de margen de plataforma en el sentido de James, 1984 y que pudo ser un arrecife de tipo parche o "patch reef" de gran tamaño, arrecife de barrera pequeño dentro de lo que se conoce como una laguna arrecifal costera, típica de esta zona las cuales corresponden a sectores de tránsito y de mezcla de energía, agua sedimento procedentes tanto del continente como del mar. Ubicadas en sectores con fuerte dinámica marina, son ambientes sujetos a cambios rápidos en sus características tanto morfo-sedimentológicas como ambientales; el ejemplo mas cercano y similar es el de la laguna costera de la virgen o de tesca la cual se encuentra ubicada hacia el norte de Cartagena Tiene una superficie de unos 30 km<sup>2</sup> aproximadamente y sus orillas están cubiertas en forma discontinua por manglares (*R. mangle*, *A. germinans*, *L. racemosa*). Su profundidad promedio es inferior a 2 m y los fondos están cubiertos principalmente por lodo terrígeno fino.

De acuerdo con esto se puede decir que el ambiente general de la zona de estudio consiste en un arrecife de barrera pequeño o laguna arrecifal que se levantó sobre una plataforma siliciclástica lodosa correspondiente a los depósitos de la Unidad siliciclástica del Popa.

Es por esto que a continuación se enuncian las principales características de los arrecifes de barrera o lo que se denomina como una laguna arrecifal.

**-Arrecife de barrera y laguna arrecifal:**

Estos tipos de lagunas resultan del crecimiento de los arrecifes de corales que construyen la barrera. La morfología de estas lagunas es muy variable, desde forma redonda (atolón) hasta formas alargadas y abrigadas detrás de los arrecifes frangeantes paralelos a la costa. Resultando de la construcción arrecifal, las lagunas tienen también profundidades variables, pero raramente sobrepasan 20 m y no son uniformes puesto que existen con frecuencia parches de corales u otras construcciones coralinas que dan una topografía muy compleja en el fondo de la laguna.

Las condiciones hidrosedimentarias de estos sistemas lagunares tienen influencias marinas. Las propiedades de las aguas de las lagunas son muy parecidas a las del medio marino, especialmente en lo concerniente a la salinidad. La sedimentación es de tipo carbonatado (residuos coralinos, restos de organismos calcáreos y lodo aragonítico).

La influencia del continente se manifiesta en la baja de salinidad por aporte de agua dulce o la turbidez por aportes clásticos sólidos (arcilla) del continente, que impiden el desarrollo de los arrecifes de coral (Alvarez, 2003).

Como en las lagunas resultando de los aportes arenosos continentales hay con frecuencia comunicación mar-laguna, pero en estos sistemas arrecifales los canales de acceso a la laguna son más profundos, más estables y no están sometidos a los cambios climáticos anuales y a la dinámica marina. Estos tipos de lagunas son más antiguos que los anteriormente descritos (especialmente las de delta) y su elaboración, además del desarrollo arrecifal tiene que ver con los cambios de nivel del mar.

Conociendo de antemano el tipo de arrecife y con base en comparaciones hechas con estudios y datos de arrecifes modernos se han determinado características que pudieron mantenerse o prevalecer en el registro fósil, como textura de la roca producida, morfología de los corales fósiles, su forma de crecimiento etc. Aunque los organismos han variado a través del tiempo, de tal forma que los constructores de arrecifes de un momento son diferentes a aquellos en otro periodo de tiempo, sin embargo, esto no incide demasiado en la analogía entre los corales fósiles encontrados y los actuales. En efecto la edad de las Calizas Arrecifales del Popa comprende del *Post-Plioceno superior* al *Pleistoceno inferior* (Huguett, A. 1988) y los arrecifes del Cenozoico son esencialmente semejantes a los arrecifes actuales (James, 1983), dominados por corales hermatípicos del orden *Scleractinia* (Clarkson, 1986) con hábitos de crecimiento que incluye ramificados dendroides, dómicos, globulares, tabulares, laminares e incrustantes. En las formaciones

arrecifales estos tipos de corales han construido estructuras masivas, resistentes al oleaje, casi siempre de gran espesor, donde tanto los corales como las algas calcáreas contribuyen al aumento de la masa de carbonato cálcico. Jiménez & Prince (1999).

Dentro de los complejos arrecifales se presenta una zonación ecológica en la cual los corales y organismos bioconstructores ocupan un habitat particular. Así, por ejemplo aquellos con formas redondeadas y masivas tienden a establecerse generalmente en las zonas de rompientes o de mayor energía, mientras que las formas ramificadas se sitúan a profundidades mayores. En otras zonas, en áreas de aguas tranquilas las ocupan las formas masivas y ramificadas más delicadas (Figura 95). Cada una de estas zonas es respuesta a las condiciones ambientales de la energía del viento y de las olas, con tipos de organismos morfológicamente distintos produciendo de este modo diferentes litologías. Jiménez & Prince (1999).

Partiendo de lo anterior y teniendo en cuenta las características faciales y su asociación se han encontrado diversas zonas de deposito dentro de la unidad calizas arrecifales del Popa según el cuadro de ambientes y formas de crecimiento de los organismos constructores de arrecifes y la sección transversal idealizada a través de un arrecife de margen de plataforma utilizado por James (1984).

<b>AMBIENTES Y FORMAS DE CRECIMIENTO DE ORGANISMOS CONSTRUCTORES DE ARRECIFES</b>			
<b>FORMAS DE CRECIMIENTO</b>		<b>AMBIENTE</b>	
		<b>ENERGIA DE LAS OLAS</b>	<b>SEDIMENTACIÓN</b>
	Ramificados delicados	Baja	Alta
	Laminares delicados	Baja	Baja
	Globulares, bulbosos columnares	Moderada	Alta
	Robustos, dendroides ramificados	Mod-Alta	Moderada
	Hemisféricos, domicos irregulares masivos	Mod-Alta	Baja
	Incrustantes	Intensa	Baja
	Tabulares	Moderada	Baja

Figura 95. Ambientes y formas de crecimiento de organismos constructores de arrecifes. Tomado y modificado de James (1984).

### 10.1 INTERPRETACION AMBIENTAL

Los ambientes de depósito se interpretan teniendo en cuenta el esquema de la zonación de arrecife marginal (Figura 96) a partir de las asociaciones faciales descritas en el capítulo anterior.

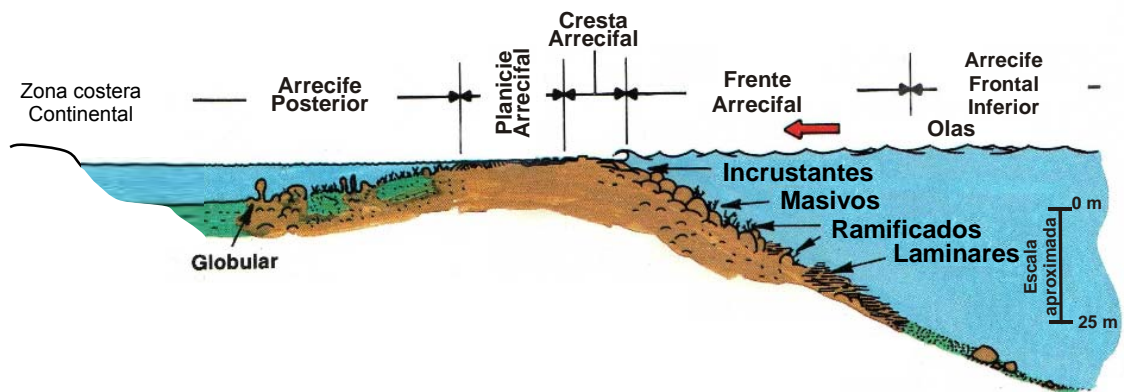


Figura 96. Esquema de la zonación de arrecife marginal. Tomado y modificado de Schoolle et. Al. (1986).

#### 10.1.1 Asociación de facies 1 (FLg-Wb), Arrecife Posterior.

En esta asociación representada por *Floatstone* en matriz de *Grainstone* (Flg) y *Wackestone* de bioclastos (Wb) se observan características litológicas y sedimentológicas las cuales representan en comparación con las zonas dentro de un complejo arrecifal actual, la zona de Arrecife posterior.

Esta asociación se caracteriza por tener corales ramificados delicados de tipo *Porites porites*, algas calcáreas incrustantes, corales ramificados de tipo *Acropora Cervicornis*, y muy localmente corales globulares de tipo *Diploria Strigosa*.

En el arrecife posterior la energía de las olas es de baja a moderada; permitiendo que la depositación sea mayor, es común encontrar facies de *Wackestone* de bioclastos, lodo calcáreo, fragmentos de conchas y corales de tipo *Porites porites*. La facies de *Floatstone* en matriz de *Grainstone* sugiere que la energía de las olas es un poco mayor (moderada), donde la depositación y sedimentación es mas baja, en este tipo de facies predominan los corales dómicos globulares de tipo *Diploria strigosa* y ramificados dendroides como el *Acropora Cervicornis*.

La zona de arrecife posterior se ubica detrás de la planicie arrecifal y de la cresta arrecifal, donde las condiciones son mas tranquilas y la mayoría del lodo formado en el frente arrecifal llega por suspensión, esto junto con el crecimiento prolífico de lodo y fauna productora de arena como los crinoideos algas calcáreas, bivalvos, y fragmentos de conchas, resulta comúnmente en litologías ricas en lodo (James, 1984).

Los hábitos de crecimiento generalmente corresponden con formas dendríticas, arbustos ramificados, tallos, dendroides que pueden encontrarse enmarañados y/o grandes formas globulares tal como se menciono anteriormente (James, 1984). Estos se sostienen sobre el sustrato para resistir fuertes periodos de agitación por corrientes locales, y periodos de quietud donde se deposita abundante lodo. Predominan los *Floatstone* a *Bafflestones*, y en partes un poco más profundas ocasionalmente ocurren *Framestones*; en general se presenta una matriz esquelética que puede variar de *Wackestone* esqueléticas a *Packstone* (James, 1984).

#### **10.1.2 Asociación de facies 2 (RU<sub>p</sub>-FL<sub>g</sub>), Planicie Arrecifal:**

En la Asociación de facies 2 representada por la facies *Rudstone* en matriz de *packstone* (RU<sub>p</sub>) y muy localmente se encuentra la facies *Floatstone* en matriz de *Wackestone* (FL<sub>w</sub>), se observan características litológicas y sedimentologías que de acuerdo esquema de la zonación de arrecife marginal, representa una zona de planicie o llanura arrecifal (James, 1984).

Esta asociación comprende gasterópodos, corales ramificados delicados de tipo *Porites porites*, algas rojas, corales globulares de tipo *Diploria Strigosa* y corales ramificados dendroides de tipo *Acropora cervicornis*, en este ambiente la energía de las olas es de moderada a alta y debido a esto la sedimentación es moderada.

La zona de planicie arrecifal está compuesta por masas aglutinadas de detritos coralinos muy cementados formados por diferentes organismos: algas calcáreas (algas rojas), corales ramificados, gasterópodos y bivalvos etc. hasta arenas

bioclásticas lavadas que forman un “pavimento” que compone litologías como Rudstone y Grainstone (James, 1984).

### **10.1.3 Asociación de facies 3 (RUg-FLg-FRb), Cresta Arrecifal:**

La comparación con el esquema de zonación de un arrecife marginal actual y las características litológicas y sedimentológicas de dichas facies que componen la asociación 3, indican que el ambiente de depósito corresponde a la zona de cresta arrecifal.

Esta asociación está compuesta por las facies *Rudstone* en matriz de *Grainstone* (RUg), la facies *Floatstone* en matriz de *Grainstone* (FLg) y *Framestone* de bioclastos; se caracteriza por organismos fósiles dendroides ramificados (*Acropora Cervicornis*), robustos, dómicos irregulares masivos (*Diploria Strigosa*) y corales de tipo *Porites porites*. Se encuentran otros organismos tales como algas rojas y algas incrustantes; la presencia de estos corales indica una resistencia al fuerte oleaje que impide la sedimentación.

La cresta arrecifal comprende la parte más alta de un arrecife en cualquiera de las etapas de su crecimiento y se encuentra en aguas poco profundas; es la parte del techo del arrecife que recibe la mayoría de la energía del viento y las olas, la composición de las crestas depende del grado de la fuerza del viento y el movimiento de barrido de las olas. En áreas donde el viento y el movimiento del oleaje es intenso solamente aquellos organismos que se pueden incrustar generalmente en forma de láminas son capaces de sobrevivir (James, 1984).

Cuando el viento y las olas son de intensidad moderada a fuerte, las formas incrustantes aún dominan pero son comunes también los hábitos ramificados o con tallos, y las morfologías hojosas. En localidades donde la energía de las olas y el viento es moderada, ocurren las formas hemisféricas a masivas con aisladas formas ramificadas. Las litologías resultantes en estos casos según (James, 1984) varían de *Bindstone* a *Framestone*.

#### **10.1.4 Asociación de facies 4 (FLw-Abb) Arrecife Posterior:**

Esta asociación está compuesta por *Floatstone* en matriz de *Wackestone* (FLw) y Areniscas muy finas altamente bioturbadas con bioclastos; según sus características litológicas esta se ubica en la zona de arrecife posterior.

Esta asociación se caracteriza por tener corales ramificados delicados de tipo *Porites porites*, algas, fragmentos de cochas, bivalvos, gasterópodos y muy localmente corales ramificados dendroides de tipo *Acropora Cervicornis*.

Las areniscas están altamente bioturbadas, y se presentan madrigueras no diferenciadas, equinodermos y raíces de mangles (ver anexo 5).

Estos organismos y las facies indican que la energía de las olas en este tipo de ambientes es baja y las tasas de sedimentación son relativamente altas.

La presencia de terrígenos en estas facies se interpreta como un aporte siliciclástico por corrientes que llegan de la zona costera (Mount, 1984).

La asociación de carbonatos y facies siliciclásticas sugiere un ambiente de laguna arrecifal costera donde el predominio del carbonato cálcico y la asociación fosilífera observada tales como (gasterópodos, raíces de mangle, equinodermos, madrigueras, etc) indican una zona con predominio de aguas tranquilas.

#### **10.1.5 Asociación de facies 5 (Frb-RUp) Cresta arrecifal:**

Esta asociación está compuesta por facies de *Rudstone* en matriz de *Packestone* y *Framestone* de bioclastos; pertenecientes a la zona de cresta Arrecifal según el esquema de zonación para arrecifes.

Esta asociación está compuesta por corales globulares de tipo *Diploria strigosa*, corales dendroides ramificados *Acropora Cervicornis*, algas rojas, conchas de gran tamaño entre otros organismos típicos de un ambiente de alta energía.

Dichas características corresponden a una energía de las olas de alta a moderada y una baja depositación de sedimentos.

z

#### **10.1.6 Asociación de facies 6 (Ac-RUp-Wb) Planicie Arrecifal:**

Esta asociación está compuesta por facies de Rudstone en matriz de *Packestone*, *Wackestone* de bioclastos y areniscas de grano muy fino calcáreas; según sus características litoestratigráficas y siguiendo el esquema propuesto por (James, 1984) esta secuencia se encuentra en la zona de Planicie Arrecifal.

Dentro de las facies que componen la asociación facial 6; se encuentran corales ramificados dendroides de tipo *Acropora Cervicornis*, *Porites porites*, y dentro del espesor de arenas calcáreas se evidencian cabezas coralinas globulares; también es preciso encontrar fragmentos de conchas, bivalvos y algas rojas. La energía en esa zona es moderada y presenta una alta sedimentación responsable de la depositación de la facies de *Wackestone* de bioclastos y de las Areniscas calcáreas.

La presencia de terrígenos en estas facies se interpreta como un aporte siliciclástico por corrientes que llegan de la zona costera (Mount, 1984); o probablemente puede ser material producto de aportes de corrientes fluviales cercanas que para la época se podrían asociar al delta del ancestral Rio Magdalena (Ortiz, comunicación verbal).

#### **10.1.7 Asociación de facies 7 (FLalb-Falb) Laguna costera:**

Esta asociación está compuesta por Facies de Limolitas arcillosas con laminación plano paralela a ondulosa continua y bioclastos (FLalb), y arcillolitas laminadas con bioclastos (FLalb); este tipo de litología se encuentra ubicada en la zona de planicie costera o laguna costera.

El limo y la arcilla tienden a acumularse por suspensión en medios subacuosos, en ambientes de baja energía (Reineck & Singh, 1980), donde la acción de las olas es mínima o nula.

#### **10.1.8 Asociación de facies 8 (Ab-FLalb-FAb) Laguna costera:**

Esta asociación está compuesta por Facies de areniscas con bioclastos (Ab, y arcillolitas laminadas con bioclastos (FLalb) y Arcillolitas con bioclastos (FAb); debido a sus características litológicas estas facies se encuentran igualmente ubicadas en la zona de planicie costera o laguna costera.

En estas áreas predomina el depósito de arenas de texturas fina a muy fina moderadamente seleccionadas y con sesgo hacia los sedimentos finos. Estas características y el cambio gradual de textura indican una zona de moderada energía, cuyas implicaciones ambientales son atribuibles a un factor importante como lo es la cresta arrecifal, la cual resguarda esta porción de la laguna de la acción directa del oleaje, La reducción en la velocidad y capacidad de carga de las corrientes por efecto de la fricción al disminuir la profundidad, van favoreciendo así el depósito de una mayor cantidad de partículas de textura muy fina como (limos y arcillas).

Además la presencia de bioturbación indica que la energía del oleaje no es muy fuerte, favoreciendo que organismos tales como conchas, foraminíferos bentónicos, gasterópodo entre otros, tengan las condiciones ideales para sobrevivir.

#### **10.1.9 Asociación de facies 9 (Albb-Abb-Falbb) y 10 (FAbb-Ab), Laguna costera:**

Estas asociaciones están compuestas por Facies de areniscas laminadas con bioclastos (Albb), areniscas con bioclastos bioturbada (Abb) y arcillas laminadas con bioclastos y bioturbación (FAlbb), Arcillolita con bioclastos y bioturbación (FAbb) y areniscas con bioturbación (AB); según sus características corresponde a una zona de moderada energía.

Los sedimentos en este ambiente muestran una gradación textural que va de arenas muy finas, depositadas cerca a la cresta arrecifal, que al ingresar mas adentro de la laguna, los sedimentos pasan a ser predominantemente arcillas bioturbadas. Además la presencia de conchas evidencian que ha habido muy poco o ningún retrabajamiento por las mareas o las corrientes.

#### **10.1.10 Asociación de facies 11 (Alb-FAbb-FLabb-FAIb) y 12 (FAIb-Ab), Laguna costera:**

Este ambiente de depósito se ubica en el área más somera de la laguna cerca a la planicie arrecifal con una profundidad media de 0.5 m (Lopez, 2006) donde es común encontrar sedimentos arcillosos. También se encuentra protegida por una isla de barrera cuyo desarrollo indica un transporte de sedimentos neto.

Los sedimentos en este ambiente muestran una gradación textural que va de arenas muy finas, depositadas cerca a la isla de barrera, que al pasar a la sección mas interna de la laguna pasan a ser predominantemente facies finas.

Los sedimentos dentro de la laguna costera están relacionados al desarrollo de pantanos de manglar, puesto que su establecimiento requiere de áreas someras asociadas a corrientes de baja energía, las cuales favorecen en principio el

depósito de partículas de textura fina y adicionalmente al efecto que tiene el manglar al reducir aún más la velocidad de la corriente hasta llegar prácticamente al estancamiento y a actuar como trampas de sedimentos propiciando aún más el depósito de limos y arcillas, característicos de ambientes de baja o nula energía (Lopez, 2006).

#### **10.1.11 Asociación de facies 13 (FAIbb-FAob-FAo-Ac-FLabb) Laguna costera.**

Esta asociación de facies pertenece a la columna levantada en la localidad de Manzanillo, la cual muestra preferencialmente de base a tope un proceso de somerización de sedimentos depositados en un plataforma marina lodosa, representada por Arcillolitas laminadas levemente bioturbadas las cuales están debajo del nivel de acción de oleaje en condiciones marinas mas abiertas, luego pasa a una zona transicional representada por intercalaciones ondulosas de arcilla con arena muy fina bioturbadas, que indican condiciones mas someras (Anexo 5); posteriormente pasa a sedimentos mas próximos a lagunas costeras con alta bioturbación en zonas de desarrollos de manglares, donde es común encontrar sedimentos finos como areniscas lodosas calcáreas y Limolitas arcillosas con numerosos fragmentos calcáreos de bivalvos y gasterópodos.

## **11. PROCESOS DIAGÉNETICOS Y PETROGRAFÍA MICROSCÓPICA DE LA ZONA DE ESTUDIO**

En este capítulo se mostrarán las principales características petrográficas encontradas en las secciones delgadas descritas, las cuales permitieron observar un mayor detalle en el tipo y frecuencia de distribución de las principales partículas aloquímicas, cementos, porosidad, abundancia de terrígenos e historia diagenética presente en cada lamina delgada. Microscópica

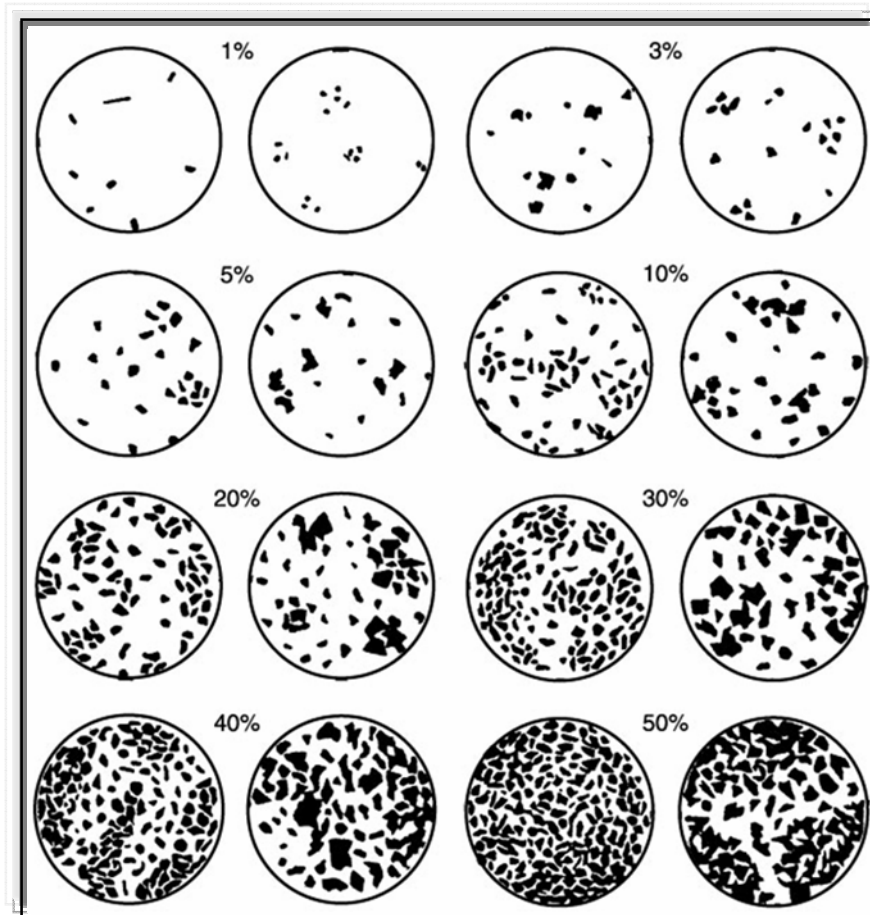
Se seleccionaron 15 puntos del pozo Bocacanoa Estratigráfico 1, basados en las diferencias litológicas y texturales macroscópicas observadas, 13 de ellos pertenecientes a la unidad calcárea y 2 a la unidad siliciclástica del Popa; en cuanto a las muestras tomadas en campo cabe decir que se seleccionaron 6 de la unidad calcárea y 1 muestra de la unidad siliciclástica; todo para un total de 22 secciones analizadas.

Cada una fue teñida con Epóxico Alizarine Red-S para la diferenciación de calcita-dolomita y Azul para el análisis de las porosidades.

Dicho análisis se llevo a cabo con ayuda del microscopio petrográfico Carl Zeiss Axioskop 40 con aumentos entre 4x y 100x.

Para la descripción y análisis petrográfico siguió la siguiente metodología:

En primer lugar se realizo una cuantificación mediante el método de gráficas de comparación (semicuantitativo) propuesto por Terry & Chilingar (1955), con una estimación aproximada de alrededor de 20 campos ópticos con el fin de cubrir la mayor área posible para tener mayor precisión a la hora de identificar los principales aspectos texturales (figura 97).



**Figura 97. Comparación visual de estimación de porcentajes propuesta por Terry and Chilingar, 1955)**

El segundo paso a seguir consistió en identificar los principales constituyentes de la roca tales como:

1. Aloquímicos o granos carbonatados: cualquier tipo de partícula carbonatada de origen bioquímico o químico, que denota un alto grado de organización y complejidad y que normalmente ha sufrido algún grado de transporte.

- Bioclastos: identificar los granos esqueléticos y fósiles, restos completos o fragmentados de los esqueletos construidos por organismos, tales como

moluscos (gasterópodos, cefalópodos), braquiópodos, briozoos, foraminíferos, corales, algas calcáreas, etc (Melo, 1999).

- Peloides: granos no esqueléticos, de forma ovoidal, compuestos por micrita con una estructura interna masiva. Tamaños variables, aunque generalmente entre 0,1 y 0,5 mm de diámetro; son producto de la actividad fecal de organismos (pellets fecales), por destrucción y homogeneización de la estructura interna de partículas previas por abrasión mecánica o erosión biológica, retrabajo y redondeamiento de barros calcáreos (intraclastos finos) (Melo, 1999).
- Ooides: partículas esféricas a elípticas conformadas por un núcleo alrededor del cual hay láminas concéntricas dispuestas radial y/o tangenciales; presenta tamaños menores a 2 mm, frecuentemente entre 0,2-0,5 mm, con buena selección. Si su tamaño supera los 2 mm, reciben el nombre de *pisolitos* o *pisoides* (Melo, 1999).
- Intraclastos: sedimento sinsedimentario retrabajado, frecuentemente con otros aloquímicos incluidos, cuyo tamaño puede ser desde pocos milímetros hasta centímetros, generalmente pobremente seleccionados y redondeados. Hay varios orígenes; por retrabajamiento de lodo calcáreo poco consolidado, debido a olas o corrientes que perturban el fondo; por retrabajamiento de capas de lodo calcáreo debido a tapetes de algas, por movimiento del sedimento debido a diagénesis prematura junto con deshidratación subaérea o submarina del sedimento; por bioturbación de organismos endobióticos (seudointraclasto) o debido a estructuras diagenéticos y/o formación de caliche (Melo, 1999).
- Oncoides: granos no esqueléticos, con laminación micrítica irregular alrededor de un núcleo. La precipitación de las láminas es debido a la actividad de algas (a diferencia de los oolitos). Tamaño muy variable, hasta centímetros y decímetros, con mala selección (a diferencia de los oolitos) (Melo, 1999).
- Terrígenos: minerales no calcáreos o fragmentos de roca transportados al ambiente de sedimentación de los carbonatos. Entre los más importantes se tienen minerales arcillosos, cuarzo, líticos, feldespatos y piroclastos (Melo, 1999).

## 2. Material intergranular, descripción de ortoquímicos microcristalinos.

Micrita: corresponde al material calcáreo microcristalino (“matriz”) formado en la cuenca de sedimentos, que hace parte del soporte de la roca o que esta ocupando espacio entre granos aloquímicos. Se describe su distribución en la muestra ( en parches, moteados, láminas, etc) (Melo, 1999).

El tercer paso fue la identificación y descripción de procesos diagenéticos ya que las rocas carbonatadas presentan alta diagenetibilidad, producto de la rápida inestabilidad de sus componentes con el enterramiento, dichos procesos son (micritización, compactación, cementación, disolución, recristalización y dolomitización-dedolomitización) (Melo, 1999).

El cuarto paso consistió en la identificación y descripción de la porosidad: en este punto se determinó el tipo de porosidad presente en la muestra o lamina, siguiendo la clasificación de porosidades propuesta por Choquette & Pray, 1970.

Por ultimo se dio paso a la clasificación de la roca, en este caso se utilizo la clasificación propuesta por Dunham (1962), la cual se basa en la “fabrica” de la roca (textura + estructura) y no en la clase de partícula y para las rocas siliciclásticas se tubo en cuenta la clasificación de Folk (1974) parte textural, estas se utilizaron igualmente para la descripción macroscópica y fue explicada en el capitulo 3.

### **11.1 DESCRIPCION DE MICROFACIES**

Teniendo en cuenta las características descritas anteriormente y en base a la abundancia en los aloquímicos y terrígenos presentes, se identificaron (6) microfacies para la unidad calcárea y (3) para la unidad siliciclástica; en la (Tabla 8-9) se ilustra un resumen donde se muestra el tipo de microfacies, sus principales características y el pozo o numero de muestra a la cual pertenece.

### 11.1.1 MICROFACIES CALCAREAS:

**-MFC1:** Wackestone bioclástico con predominio de algas rojas y bivalvos (Figura 98), débilmente siliciclástico; esta microfacies fue encontrada en la muestra recolectada en la localidad de Manzanillo a los 14 mt (LMR-MZ-13) (Anexos 5 y 8); en el pozo Bocacanoa estratigráfico 1 se observa a los 4.35 mt (Anexos 1 y 8).

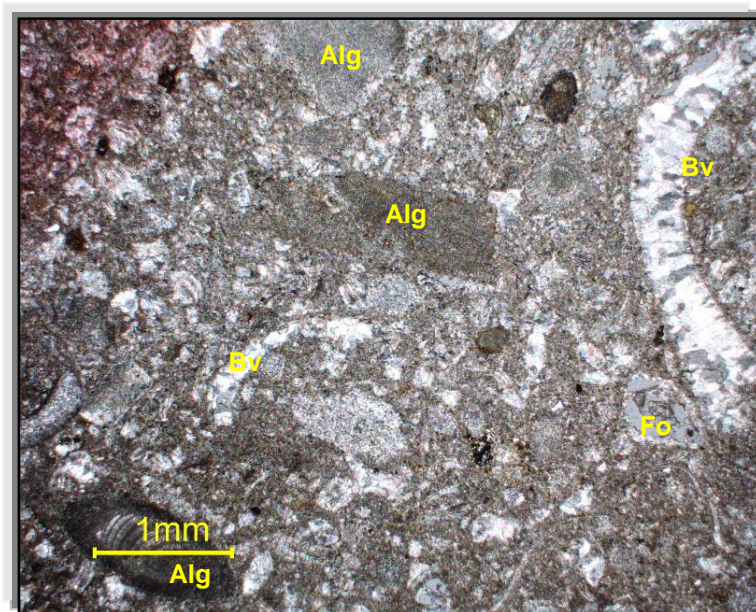


Figura 98. Ejemplo de la microfacies MFC1 (Escala 1mm-NX), correspondiente a la sección delgada (Bocacanoa-1\_4.35 mt); con abundancia de Bivalvos (Bv), algas rojas (Alg) y otros aloquímicos como foraminíferos bentónicos (Miliolidos) (Fo).

**-MFC2:** Packestone bioclastico con predominio de algas rojas y bivalvos (Figura 99), con siliciclásticos; esta microfacies fue encontrada en la muestras recolectadas en la localidad de Manzanillo a los 10 mt (LMR-MZ-06) (Anexos 5 y 8) y a los 20 mt (LMR-MZ-16) (Anexos 5 y 8).

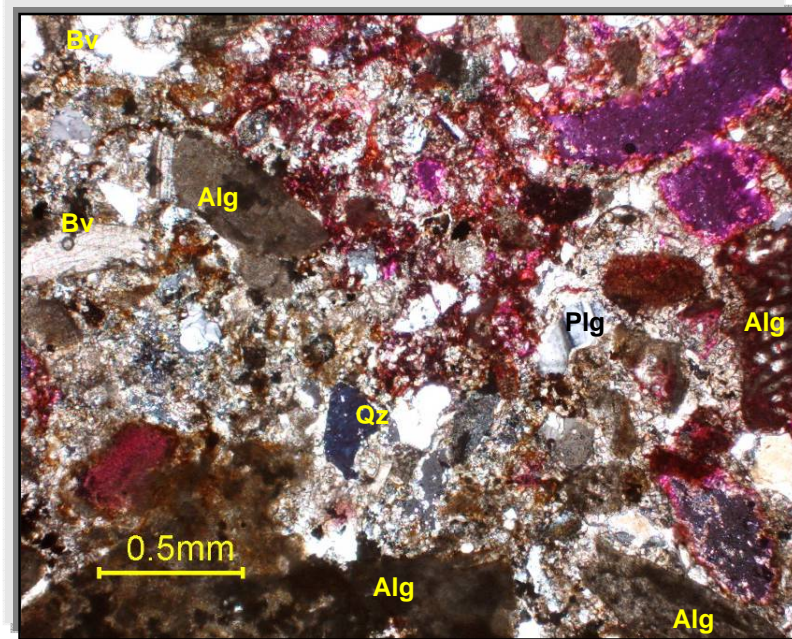


Figura 99. Ejemplo de la microfacies MFC2 (Escala 0.5mm-NX), correspondiente a la sección delgada (LMR-MZ-16); con abundancia de algas rojas (Alg) y Bivalvos (Bv); con presencia de terrígenos tales como Plagioclasa (Plg) y Cuarzo (Qz).

**-MFC3:** Packestone bioclástico con predominio de corales y algas rojas (Figura 100-101), con abundantes siliciclásticos, esta microfacies fue encontrada en la muestra recolectada en la localidad de Arroyo de piedra a los 8.80 mt (LMR-AP-13) (Anexos 6 y 8); en el pozo Bocacanoa estratigráfico 1 se observa a los 4 mt, 5.60 mt, 7.43 mt y 7.55 mt (Anexos 1 y 8).

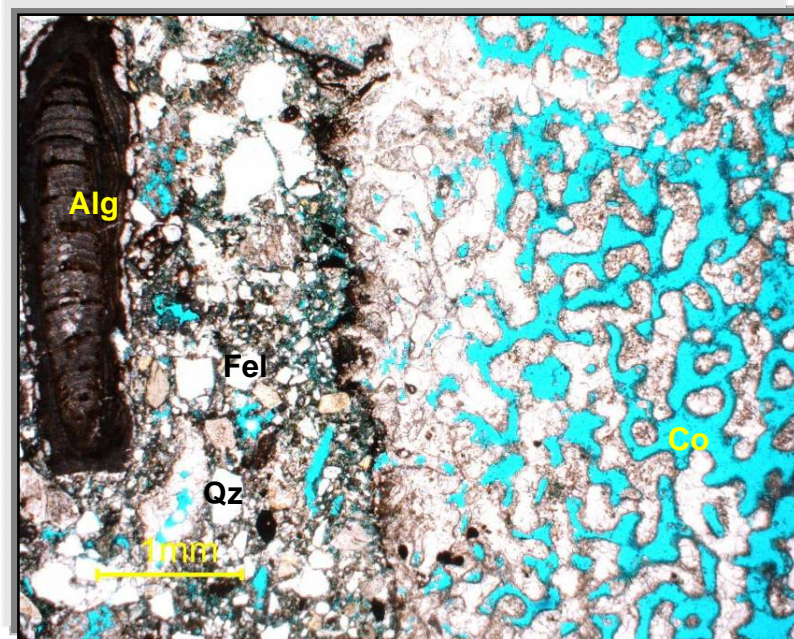


Figura 100. Ejemplo de la microfacies MFC3 (Escala 1mm-NP), correspondiente a la sección delgada (LMR-AP-13); con abundancia de Corales Porites porites (Co) y algas rojas (Alg); con presencia de terrígenos tales como Feldespatos (Fel), Cuarzo (Qz) y plagioclasa.

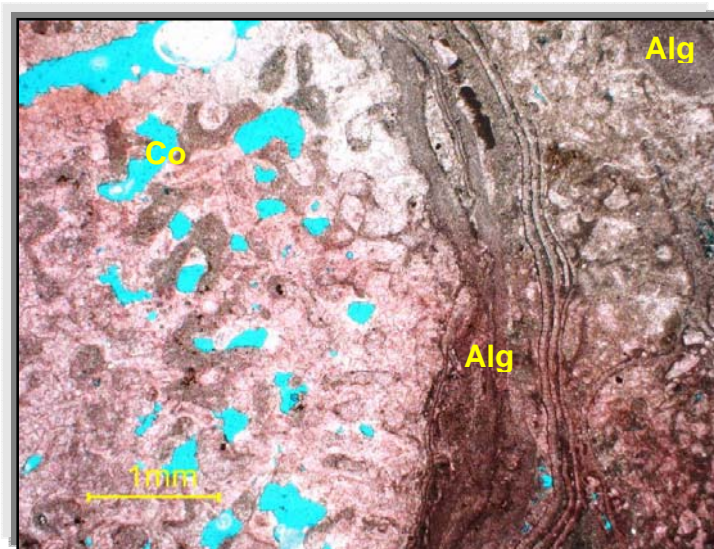


Figura 101. Ejemplo de la microfacies MFC3 (Escala 1mm-NP), correspondiente a la sección delgada (Bocacanoa-1\_4mt); con predominancia de Corales Porites porites (Co) y algas rojas (Alg) y algas incrustantes que bordean los corales.

**-MFC4:** Grainstone bioclastico con predominio de algas rojas y bivalvos (Figura 102), con abundantes siliciclásticos; esta microfases fue encontrada en la muestra recolectada en la localidad de Arroyo de piedra a los 9 mt (LMR-AP-14) (Anexos 6 y 8).

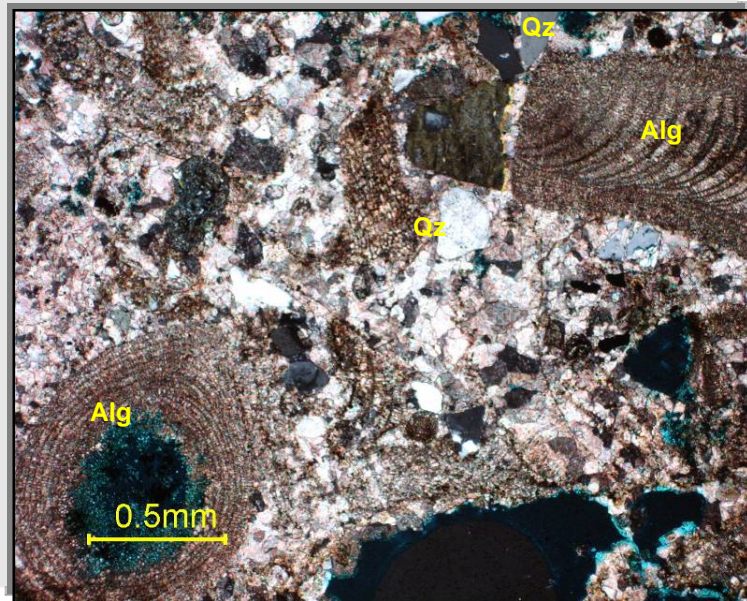


Figura 102. Ejemplo de la microfases MFC4 (Escala 0.5mm-NX), referente a la sección delgada (LMR-AP-14); con predominancia de algas rojas (Alg) y Bivalvos (Bv); se observan terrígenos tales como Cuarzo (Qz) y plagioclasa (Plg).

**-MFC5:** Boundstone de coral de tipo porites porites y Diploria strigosa (Figura 103); esta microfases se observa en el pozo Bocacanoa estratigráfico 1 a los 6.57 mt, 9.06 mt, 14.50 mt (Anexos 1 y 8).

**-MFC6:** Wackestone bioclastico con abundancia de corales y algas rojas (Figura 104), débilmente siliciclástico; esta microfases se observa en el pozo Bocacanoa estratigráfico 1 a los 10.45 mt.

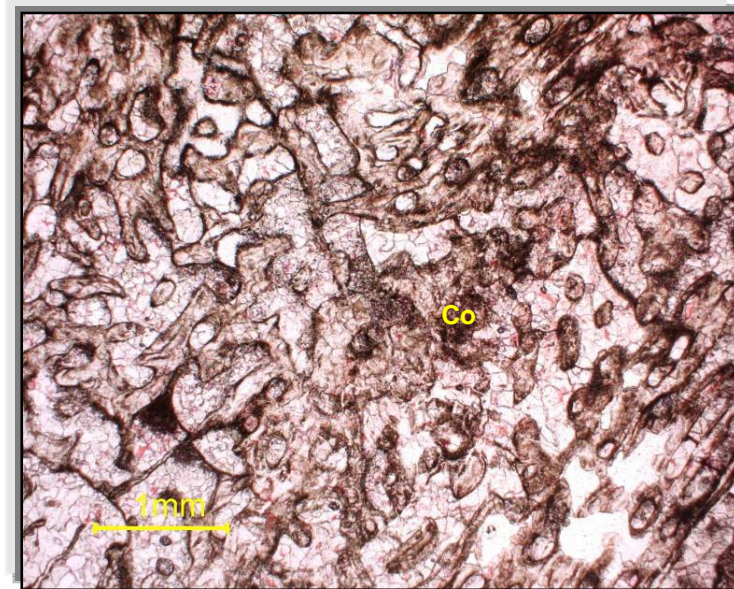


Figura 103. Ejemplo de la microfacies MFC5 (Escala 1mm-NX), referente a la sección delgada (Bocacanoa-1\_9.06mt); Boundstone de coral Porites porites.

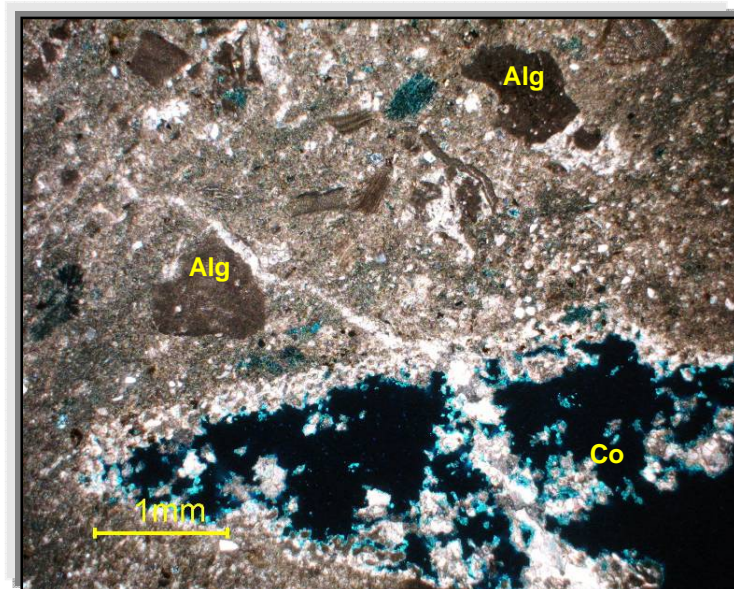


Figura 104. Ejemplo de la microfacies MFC6 (Escala 1mm-NX), referente a la sección delgada (Bocacanoa, 1\_10.45mt); con abundancia de corales (Co) y algas rojas (Alg).

### 11.1.2 MICROFACIES SILICICLÁSTICAS:

**-MFS7:** Arenisca muy fina calcárea con bioclastos de foraminíferos (Figura 105); esta microfacies fue encontrada en la muestra recolectada en la localidad de Manzanillo a los 7.90 mt (LMR-MZ-04) (Anexos 5 y 8).

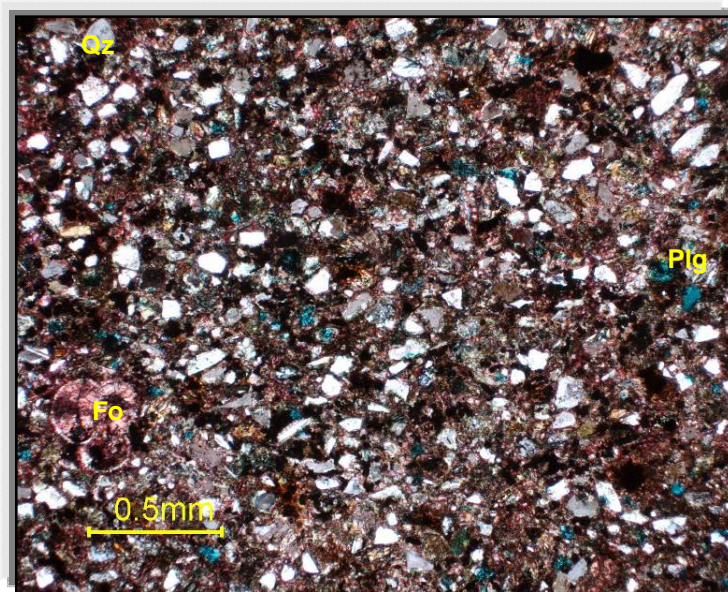


Figura 105. Ejemplo de la microfacies MFS7 (Escala 0.5mm-NX), referente a la sección delgada (LMR-MZ-04); Arenisca calcárea con presencia de Cuarzo (Qz), plagioclasa (Plg) y foraminíferos (Fo) (Globorotalia).

**-MFS8:** Limolita arcillosa con bioclastos de foraminíferos y bivalvos (Figura 106); esta microfacies se observa en el pozo Bocacanoa estratigráfico 1 a los 19.42 mt, (Anexos 1 y 8).

**-MFS9:** Arcillolita limosa con bioclastos de foraminíferos y bivalvos (Figura 107); esta microfacies se observa en el pozo Bocacanoa estratigráfico 1 a los 96.50 mt (Anexos 1 y 8).

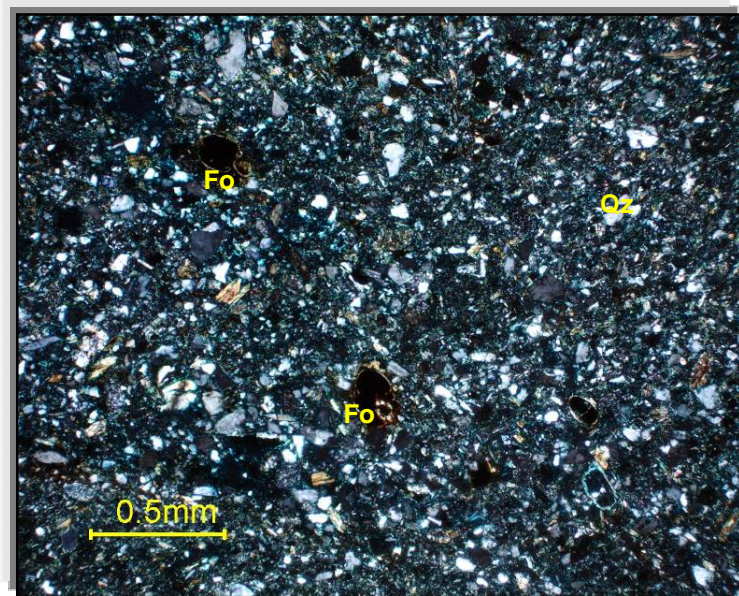


Figura 106. Ejemplo de la microfacies MFS8 (Escala 0.5mm-NX), referente a la sección delgada (LMR-MZ-04); Limolita arcillosa con presencia de Cuarzo (Qz), plagioclasa (Plg) y foraminíferos (Fo) (Globorotalia).

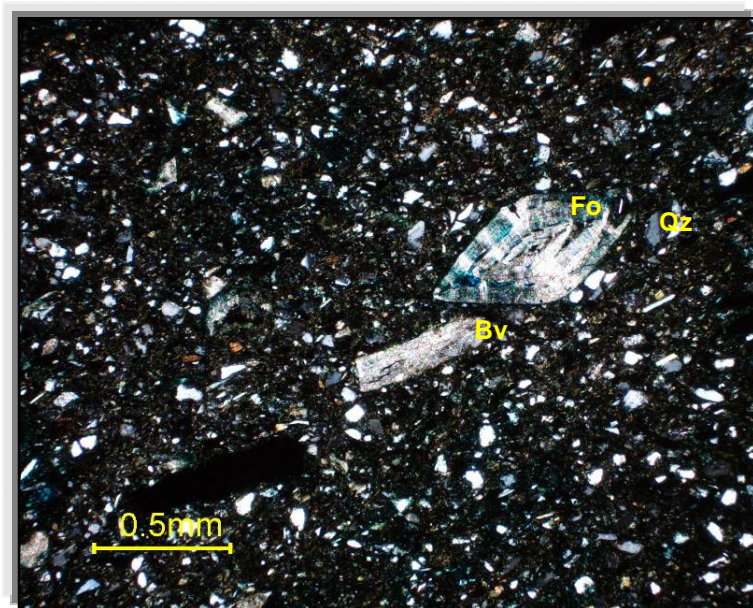


Figura 107. Ejemplo de la microfacies MFS9 (Escala 0.5mm-NX), referente a la sección delgada (LMR-MZ-04); Limolita arcillosa con presencia de foraminíferos (Fo) (miliólidos), fragmentos de cochas de bivalvos (Bv), Cuarzo (Qz) y otros terrígenos.

**Tabla 8. Microfacies con su respectiva descripción y número de muestra o pozo al cual pertenece.**

MICROFACIES	DESCRIPCIÓN DE MICROFACIES	NUMERO DE MUESTRA/ UBICACIÓN POZO
MFC1	Wackestone bioclástico con predominio de algas rojas y bivalvos, débilmente siliciclástico	LMR-MZ-13 Bocacanoa-1_4.35 mt
MFC2	Packestone bioclastico con predominio de algas rojas y bivalvos, con siliciclásticos	LMR-MZ-06 LMR-MZ-16
MFC3	Packestone bioclástico con predominio de corales y algas rojas, con abundantes siliciclásticos	LMR-AP-13 Bocacanoa-1_4 mt Bocacanoa-1_5.60 mt Bocacanoa-1_7.43 mt Bocacanoa-1_7.55 mt
MFC4	Grainstone bioclastico con predominio de algas rojas y bivalvos, con abundantes siliciclásticos	LMR-AP-14
MFC5	Boundstone de coral de tipo porites porites y Diploria strigosa	Bocacanoa-1_6.57 mt, Bocacanoa-1_9.06 mt, Bocacanoa-1_14.50 mt
MFC6	Grainstone bioclastico con predominio de algas rojas y bivalvos, con abundantes siliciclásticos	Bocacanoa-1_10.45 mt,
MICROFACIES	DESCRIPCIÓN DE MICROFACIES	NUMERO DE MUESTRA/ UBICACIÓN POZO
MFS7	Arenisca muy fina calcárea con bioclastos de foraminíferos	LMR-MZ-04
MFS8	Limolita arcillosa con abundantes bioclastos de foraminíferos y bivalvos	Bocacanoa-1_19.42mt,
MFS9	Arcillolita limosa con abundantes bioclastos de foraminíferos y bivalvos	Bocacanoa-1_96.50 mt,

## 11.2 PROCESOS DIAGÉNÉTICOS

Estos son procesos de alteración que ocurren luego de la deposición de los carbonatos; Antes de describir los procesos diagenéticos observados es necesario tener en cuenta que los sedimentos de carbonatos consisten mayormente de (Aragonita, High-Mg calcite (HMC), Low-Mg calcite (LMC)).

El magnesio es uno de los elementos más usuales en las aguas marinas y es una de las sustituciones más frecuentes del Ca +2 en la calcita.

Calcita con más de 5 mol % de MgCO<sub>3</sub>: calcita alta en magnesio (HMC).  
Calcita con menos de 5 mol % de MgCO<sub>3</sub>: calcita baja en magnesio (LMC).

A menos que estén dolomitizados la mayoría de los sedimentos de carbonatos antiguos se componen de low-Mg calcite; en rocas antiguas la mayoría de los cementos presentes han sido precipitados por aguas meteóricas cerca de la superficie o por fluidos basinales en áreas profundas bajo la superficie.

La cantidad de Mg+2 presente en las calcitas magnesianas dependen de la razón Mg+2/Ca+2 en la solución y de la T°. A temperaturas decrecientes el contenido de Mg+2 disminuye (Rodríguez, 2006).

Durante la etapa de sedimentación de la unidad calizas arrecifales se produjeron procesos diagenéticos sinsedimentarios de micritización, recristalización, disolución, relleno de cavidades por solución, inversión y cementación, los cuales ocurren en la porosidad primaria lo que indica que esta no fue en gran medida afectada por dichos procesos; aunque en las diferentes secciones o laminas delgadas descritas este tipo de porosidad presenta pequeñas variaciones en su porcentaje.

A continuación se describirán cada uno de los procesos diagénéticos observados durante la descripción de las secciones delgadas.

**11.2.1 Micritización:** Las envueltas micríticas, producto de la infestación de las partículas carbonáticas en el fondo marino por organismos endolíticos (Tucker y Bathrust, 1990), se han observado alrededor de los fragmentos de equinodermos, algas rojas, serpúlidos, bivalvos y fragmentos de corales, frecuentemente son las únicas estructuras que permiten reconocer la estructura externa de los corales cuyo esqueleto, en la mayor parte de los casos, está disuelto; estas envueltas se observan relleno la textura interna de dichas partículas aloquímicas destruyéndola total o parcialmente.

Este proceso ocurre en todas las láminas delgadas descritas pertenecientes a la unidad calcárea, en su gran mayoría la micritización esta afectando las algas rojas (Figura 108-109).

En la teoría este proceso se conoce como proceso de disolución temprana (*Tucker & Wright, 1991*) y tiene lugar por la acción conjunta de la erosión biológica (factor más importante) y la abrasión mecánica, La erosión biológica la llevan a cabo microorganismos que perforan la estructura de la partícula, rellenándose posteriormente por barro calcáreo.

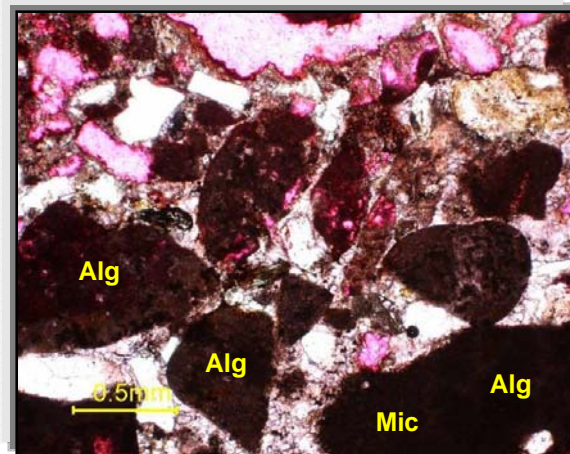


Figura 108. Ejemplo de micritización (Mic) (Escala 0.5mm-NP), referente a la sección delgada (LMR-MZ-16); se evidencia micritización en las algas rojas (Alg) en donde su estructura esquelética muchas veces es difícil de reconocer.

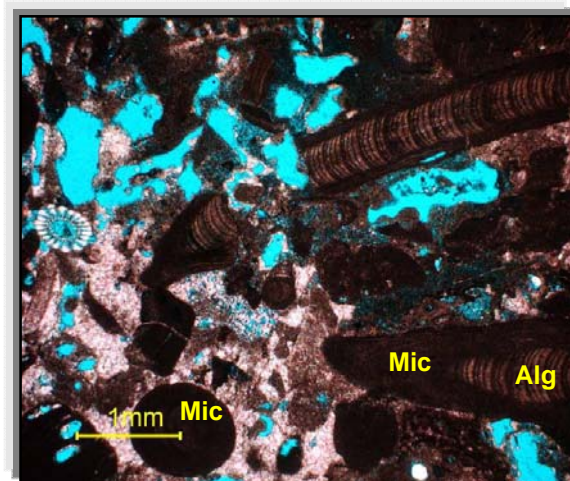


Figura 109. Ejemplo de micritización (Escala 0.5mm-NP), referente a la sección delgada (Bocacanoa-1\_7.43mt); se observa la micritización (Mic) en las algas rojas (Alg).

**11.2.2 Neomorfismo:** en este proceso se describe la distribución y efectos producidos por las transformaciones minerales (Inversión) como p.e. transformación de aragonito a calcita que produce decrecimiento en la porosidad y causa cambios texturales importantes en las rocas; (recristalización) de micrita a microesparita que produce cambios texturales.

**-Recristalización:** Este proceso ocurre cuando hay un paso de micrita a microesparita o esparita ya sea en la matriz de la roca o en las diferentes partículas esqueléticas o bioclastos presentes tales como (algas calcáreas, bivalvos, serpulidos, braquiópodos, equinodermos, moluscos, corales entre otros); los cuales sufren cambios en la textura y en la estructura del sedimento desarrollando caliza de grano mas grueso sin cambio en su composición (Rodríguez, 2006).

Este proceso se presenta generalmente en casi todas las secciones delgadas pertenecientes a la unidad calcárea (Figura 110).

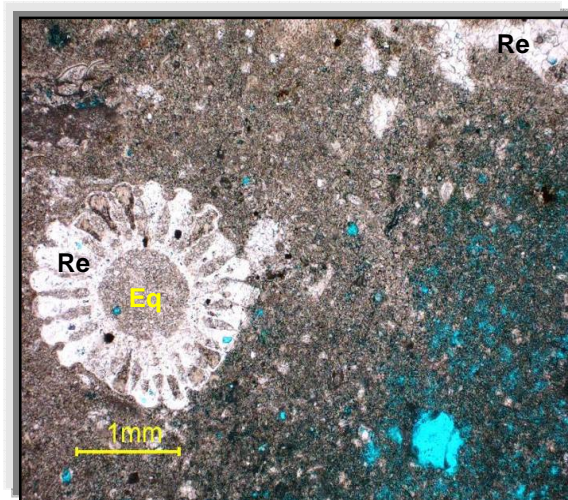


Figura 110. Ejemplo de recristalización (Escala 1mm-NP), referente a la sección delgada (Bocacanoa-1\_7.35mt); se observa la recristalización (Re) de la matriz que pasa de micrita a microesparita; también se puede apreciar este mismo proceso en un equinodermo (Eq).

**-Inversión:** Se evidencia en bioclastos tales como algas calcáreas, bivalvos, gasterópodos, corales y otros granos esqueléticos que originalmente eran

compuestos de aragonito, y que posteriormente fueron reemplazados en estos mismos fragmentos por cristales de calcita.

**11.2.3 Cementación:** Este proceso ocurre cuando hay un crecimiento de cristales en espacios preexistentes a partir de la precipitación desde soluciones saturadas.

Estos espacios pueden ser tanto interpartículas como intrapartícula. Uno de los resultados finales más importantes de la cementación es la pérdida de porosidad y litificación del sedimento.

La Mineralogía y composición de cementos depende del fluido en los poros. Mayormente en razón de Mg/Ca y dependiendo si los fluidos son marinos, meteóricos o basinales (*Tucker & Wright, 1991*).

El proceso de cementación ocurre en las láminas delgadas de referencia (LMR-MZ-06, LMR-MZ-16, LMR-AP-14) que son muestras tomadas en campo en las localidades de Manzanillo y Arroyo de piedra (Figura 111); también se observa cementación en las muestras analizadas para el pozo Bocacanoa estratigráfico 1, identificadas como (*Bocacanoa-1\_4.35mt, Bocacanoa-1\_7.35mt, Bocacanoa-1\_7.43mt, Bocacanoa-1\_7.5mt*).

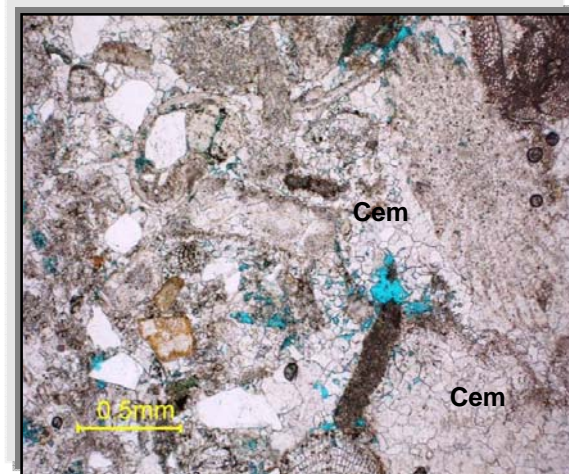
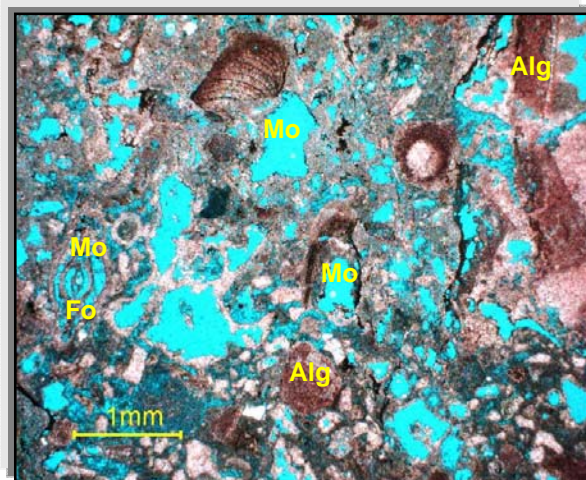


Figura 111. Ejemplo de cementación (cem) (Escala 0.5mm-NP), referente a la sección delgada (LMR-AP-14); se puede evidenciar cementación interbioclástica en mosaico equidimensional (Cem).

**11.2.4 Disolución:** El proceso de disolución selectiva dentro de los sedimentos, cementos y rocas ya litificadas; es el resultado de la interacción de dos agentes importantes: la composición del agua de poros y la mineralogía de las partículas; cuando estos dos factores se encuentran en desequilibrio debido a los cambios que tienen lugar en el enterramiento se produce disolución, dando lugar a la creación de diferentes tipos de porosidades (porosidad secundaria).

Por lo general este proceso se evidencia en diferentes partículas las cuales antes estaban conformadas por aragonito (Constituyente de las partes duras de los organismos); dichas partes se disuelven y son recubiertas por micrita pero al iniciarse la litificación este mineral entra en solución ocasionando porosidad móldica; también puede ocurrir que la matriz calcárea entre en solución (Jimenez & Prince, 1992).

La disolución ocurre generalmente casi en todas las secciones analizadas, las algas rojas, foraminíferos, bivalvos entre otros organismos esqueléticos presentan este fenómeno (Figura 112).



**Figura 112.** Ejemplo de disolución selectiva provocando porosidad móldica (Mo) (Escala 1mm-NP), perteneciente a la sección delgada (Bocacanoa est-1\_5.60mt); en este caso se observa un foraminífero (Fo) y algas rojas (Alg) mostrando dicho proceso.

### 11.3 TIPOS DE POROSIDADES

Se denomina *porosidad* al conjunto de los espacios vacíos que posee una roca y, en su sentido más amplio, la porosidad puede ser contemplada bajo dos puntos de vista que se complementan:

- como un *componente petrográfico o textural*
- como una *propiedad física* de la roca.

Los tipos de porosidades presentes en las secciones o laminas analizadas fueron identificadas con la clasificación de *Choquette & Pray (1970)*; como se menciono anteriormente (Figura 113).

La clasificación de Choquette y Pray (1970) es la clasificación más utilizada, en especial por los tipos básicos de poros que establece. Su éxito puede atribuirse a considerar tipos de poros descriptivos –fáciles de establecer en relación con la textura de la roca que a la vez posee un acusado significado genético. Su aplicación requiere un conocimiento preciso de los componentes petrográficos que forman la parte sólida de la roca y de su disposición textural; a partir de ellos, el espacio poroso queda definido como parte complementaria respecto a dichos componentes sólidos (Rodríguez, 2006).

La clasificación considera 15 tipos básicos de poro, sobre los cuales establece tres géneros de modificadores que permiten una caracterización más completa de los mismos, tanto desde el punto de vista geométrico como genético. Los modificadores matizan y adjetivan el carácter de la porosidad. Los tipos básicos de poro poseen unas características geométricas y normalmente llevan asociados otras genéticas, si bien estas últimas no se consideran en las definiciones. En consecuencia, se trata de 15 tipos descriptivos de poros, 7 de los cuales se consideran más frecuentes y los 8 restantes más esporádicos (Rodríguez, 2006).

Entre sus características se da importancia al hecho de si la porosidad guardar o no relación con la textura de la roca, en este sentido la clasificación introduce la categoría de poros selectivos o no selectivos respecto a la fábrica de la roca. Con

frecuencia la porosidad en las rocas no se presenta al azar, sino que es selectiva (Rodríguez, 2006).

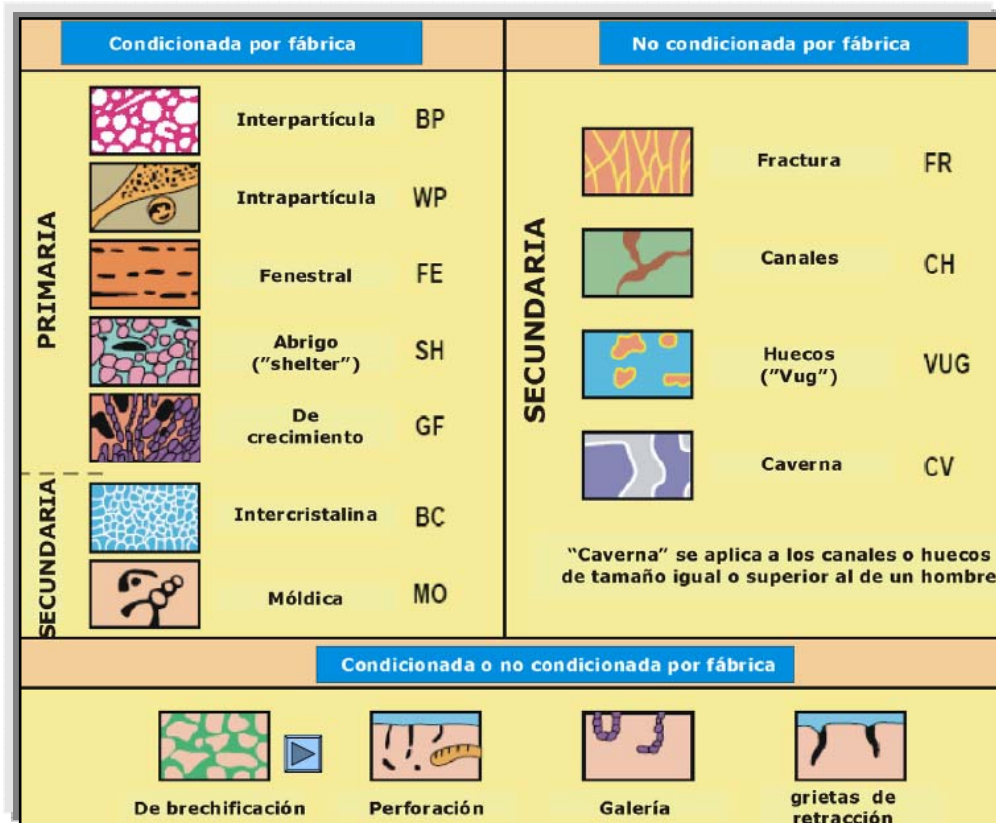


Figura 113. Clasificación de porosidades de Choquette & Pray, 1970.

A continuación se mencionara los tipos de porosidades observados en las muestras analizadas mostrando un ejemplo de cada uno.

**11.3.1 porosidad primaria:** originada antes o durante el depósito.

**-Intrapartícula:** Se presentan en las rocas granulas, dentro de los granos, normalmente en los bioclastos, constituyendo cavidades en relación con la estructura esquelética del organismo que genera los granos.

Los poros guardan relación con la textura de la roca: son poros de fábrica selectiva.

Pueden ser primarios o producidos en la diagénesis temprana: por maceración (descomposición de la materia orgánica del interior), por movilización o disolución de partes internas de los granos débilmente calcificadas.

Los poros normalmente son de tamaño pequeño (0,01 a 1 mm), según el organismo del que proceden, con pocas o moderadas variaciones de tamaño, formas más o menos equidimensionales, y dan lugar normalmente a sistemas porosos isótropos.

Este tipo de porosidad se evidencio en gran parte de las secciones delgadas analizadas y se observo preferencialmente en las algas calcáreas, foraminíferos y fragmentos de corales (Figura 114).

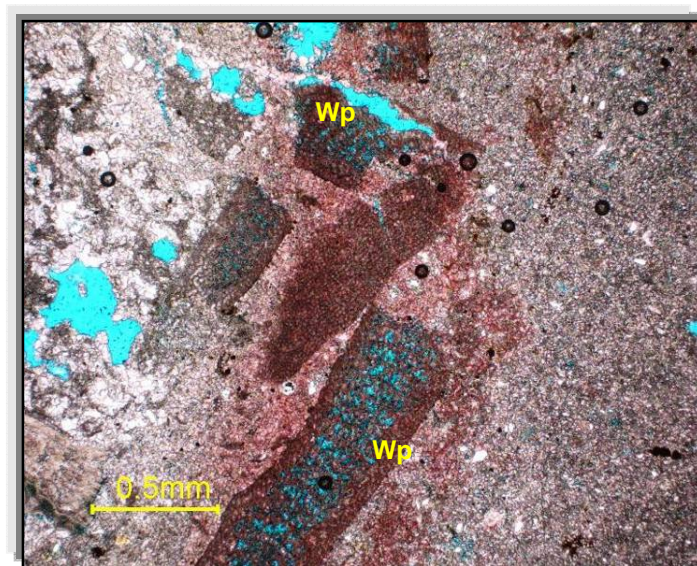


Figura 114. Ejemplo de la porosidad intrapartícula (Wp); perteneciente a la sección delgada (Bocacanoa est-1\_10.40 mt); en este caso se observan algas rojas las cuales muestran poros intergranulares.

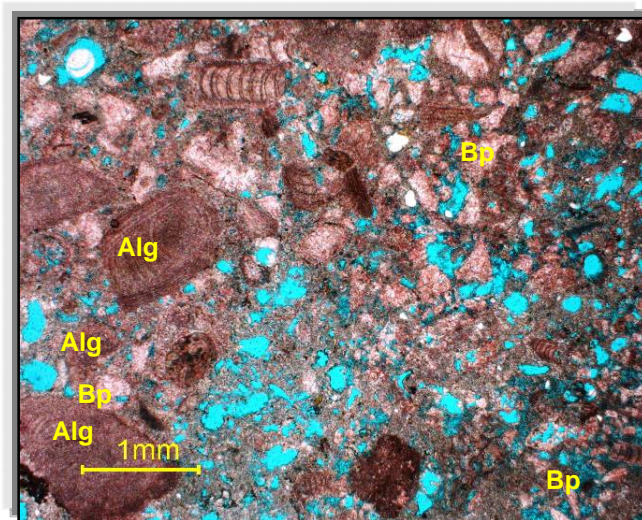
**-Interpartícula:** Se presentan con disposición intersticial respecto a los granos. Esta porosidad es característica de las calizas con textura granuda preferencialmente en los Packestone y Grainstone, en las cuales constituye la

porosidad dominante en el momento del depósito. Son poros que dependen de la textura de la roca, de las características de sus granos y por tanto son de fábrica selectiva.

Se trata normalmente de poros primarios, debidos a la ausencia de matriz entre los granos en el depósito y de cemento durante la diagénesis. Este hecho puede deberse: a falta de flujo de agua, a la presencia de películas de arcilla o de sales alrededor de los granos que inhiban la precipitación, a un rápido enterramiento o al emplazamiento temprano de petróleo. Excepcionalmente pueden ser poros secundarios, por disolución selectiva de la matriz durante la diagénesis temprana (Rodríguez, 2006).

Sus características en cuanto al tamaño de los poros y de su accesos, así como el volumen poroso total que representan, varía con las características de los granos, especialmente con su tamaño, forma, calibre y empaquetamiento.

Este tipo de porosidad se encontró en varias de las secciones estudiadas; y se observó especialmente entre las partículas bioclásticas (Figura 115).



**Figura 115. Ejemplo de la porosidad interpartícula (Bp); perteneciente a la sección delgada (Bocacanoa est-1\_5.60 mt); se observa esta porosidad entre los intersticios de algas rojas (Alg) y otros organismos bioclásticos.**

### 11.3.1 porosidad secundaria: originada tras el depósito.

**-Móldica:** Se trata de poros bastante frecuentes en los distintos tipos de muestras analizadas, que se caracterizan por su correspondencia con los componentes petrográficos de la roca (granos normalmente). Constituyen el molde, vaciado o positivo de los granos; se trata, por tanto, poros de fábrica selectiva. Son característicos de rocas con textura granuda.

Son poros secundarios, generados normalmente por disolución selectiva de los granos en etapas más o menos tempranas de la diagénesis. Las diferencias de solubilidad de algunos granos, respecto al resto de la roca, pueden deberse a varias causas: su composición mineral (aragonito/calcita), el tamaño de los cristales, su estructura interna (presencia de inclusiones, poros primarios) (Rodríguez, 2006).

El tamaño y forma de los poros guarda relación con el de los granos sustituidos. Normalmente el tamaño es elevado y su variación moderada; en la mayoría de las laminas analizadas se muestra este tipo de porosidad (Figura 116).

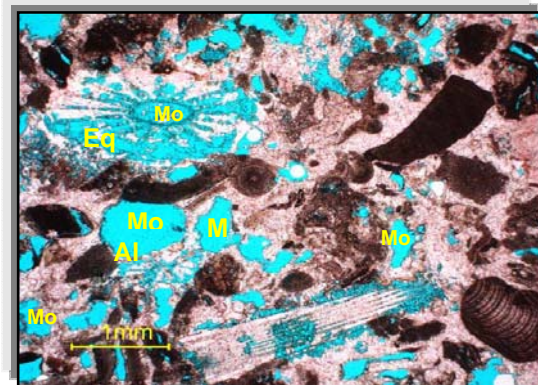
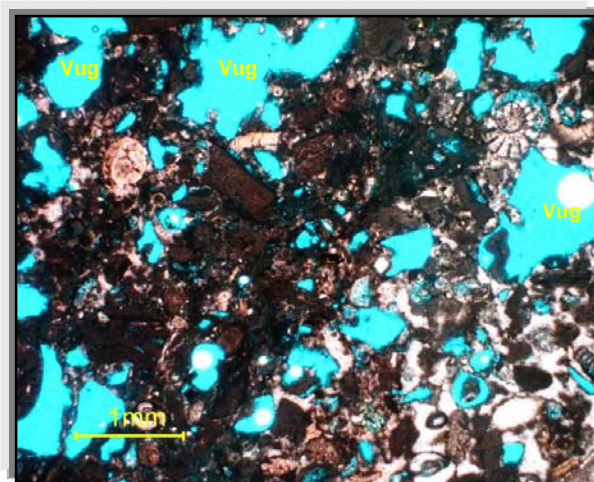


Figura 116. Ejemplo de la porosidad móldica (Mo); perteneciente a la sección delgada (Bocacanoa est-1\_7.43 mt); se observa el molde de un equinodermo (Eq) y de algunos fragmentos de algas (Alg).

**-Cavidad:** Constituyen otro tipo de poros frecuente en los distintos tipos de muestras analizadas, caracterizados por el elevado tamaño que pueden alcanzar (visibles normalmente a simple vista) y por presentarse sin relación con la textura de la roca: la porosidad generada es de fábrica no selectiva. Pueden aparecer en rocas que han sufrido en mayor o menor medida procesos de recristalización y homogeneización.

Son poros secundarios formados fundamentalmente en etapas tardías de la diagénesis por procesos de disolución. Suelen presentarse en relación con procesos de meteorización cárstica (en climas húmedos, con circulación de aguas dulces); normalmente la disolución comienza en otros tipos de poros (móldico, intergranular) y, con frecuencia, la roca muestra poros de tipo intermedio, correspondientes tanto a poros primarios como secundarios realizados por disolución (Rodríguez, 2006).

El tamaño y forma de los poros en estas muestras es muy variable. En general, el tamaño es elevado y la variación de tamaños muy grande. La forma de los poros es muy irregular, con poros equidimensionales a muy alargados (conductos); su grado de comunicación suele ser bajo (Figura 117).

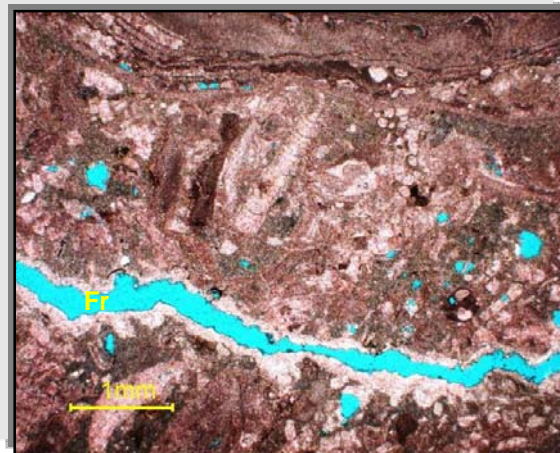


**Figura 117. Ejemplo de la porosidad Vugular o de Cavidad (Vug); perteneciente a la sección delgada (LMR-MZ-06); se observan poros de gran tamaño y de forma irregular.**

**-Fractura:** La porosidad de fractura se presenta formando redes paralelas o conjugadas en las rocas frágiles y homogéneas. Debe tenerse en cuenta que la presencia de fracturas en los materiales rocosos depende de la escala considerada; así, es frecuente que prácticamente no exista en la roca matriz y sea importante a escala de campo. Se trata de una porosidad de fábrica no selectiva.

Las fisuras son secundarias, se generan en etapas más o menos tardías de la diagénesis, después del enterramiento y la litificación. Suelen presentarse asociadas a distintos procesos (pliegues, fallas, domos de sal, disolución de niveles salinos, sobrepresión de fluidos), estando relacionadas con la tectónica local. Pueden contribuir al desarrollo de otros tipos de poros (por ej: vugulares o de cavidad), ya que facilitan la circulación de fluidos (Rodríguez, 2006).

Las fisuras forman en redes paralelas o conjugadas, con formas planares y tamaños muy variables, alrededor de décimas de milímetro. Su contribución al volumen poroso de la roca es muy baja, pero en presencia de otros tipos de vacíos, la comunicación que producen en el sistema poroso es elevada; este tipo de porosidad no fue muy común en las láminas delgadas estudiadas (Figura 118).



**Figura 118.** Ejemplo de la porosidad móldica (Mo); perteneciente a la sección delgada (Bocacanoa est-1\_4 mt).

**Tabla 9. Resumen de los procesos diagenéticos y tipos de porosidades presentes en las laminas delgadas analizadas.**

NUMERO DE MUESTRA (LOCALIDAD)	PROCESOS DIAGENÉTICOS	TIPO DE POROSIDAD	PORCENTAJE POROSIDAD
LMR-MZ-04 7.90 mt Manzanillo	Disolución, recristalización	Mo, Wp, Fr	5%
LMR-MZ-06 10 mt Manzanillo	Disolución, recristalización, micritización, inversión y cementación.	Mo, Wp, Vug y Bp	15%
LMR-MZ-13 14 mt Manzanillo	Disolución, recristalización y micritización	Mo, Wp, Vug y Bp	10%
LMR-MZ-16 20 mt Manzanillo	Disolución, recristalización, micritización, y cementación.	Mo, Wp, Bp y Fr	15%
LMR-AP-09B 3.4 mt Arroyo de piedra	Disolución, recristalización y micritización	Mo, Wp, Bp y Fr	30%
LMR-AP-13 8.80 mt Arroyo de piedra	Disolución, recristalización y micritización	Mo, Wp, Bp y Fr	20%
LMR-AP-14 9 mt Arroyo de piedra	Disolución, recristalización y micritización	Mo, Wp, Vug y Bp	15%
<b>UBICACIÓN POZO BOCACANOA_ESTR 1</b>	<b>PROCESOS DIAGENÉTICOS</b>	<b>TIPO DE POROSIDAD</b>	<b>PORCENTAJE POROSIDAD</b>
Bocacanoa est-1_4 mt	Disolución, recristalización, micritización y relleno de fracturas y cementación.	Mo, Wp, Vug y Fr	10%
Bocacanoa est-1_4.35 mt	Disolución, recristalización, micritización y relleno de fracturas.	Mo, Wp, Bp y Fr	2%
Bocacanoa est-1_5.60 mt	Parcial cementación, recristalización y micritización,	Mo, Wp y Fr	20%
Bocacanoa est-1_6.57mt	Micritización y recristalización	Wp	15%
Bocacanoa est-1_7.25mt	Micritización, recristalización, disolución y relleno de fracturas.	Mo, Vug, Wp	15%
Bocacanoa est-1_7.35mt	Micritización, recristalización, disolución y parcial cementación.	Mo, Wp,Bp, Fr	10%
Bocacanoa est-1_7.43mt	Micritización, recristalización, disolución parcial cementación y relleno de fracturas	Mo, Vug, Wp,Bp, Fr	20%
Bocacanoa est-1_7.55mt	Micritización, recristalización, disolución parcial cementación y relleno de fracturas	Mo, Vug, Wp,Bp, Fr	15%
Bocacanoa est-1_8.85mt	Micritización, recristalización, disolución y Inversión.	Mo, Vug, Wp,Bp, Fr	15%
Bocacanoa est-1_9.06mt	Micritización, recristalización y relleno de fracturas por solución.	Mo, Wp, Fr	25%
Bocacanoa est-1_10.40mt	Micritización, recristalización y relleno de fracturas por solución.	Mo, Wp,Bp	25%
Bocacanoa est-1_10.45mt	Micritización, recristalización y disolución	Mo, Vug, Wp, Fr, Bp	20%
Bocacanoa est-1_14.50mt	Micritización y recristalización	Wp	30%
Bocacanoa est-1_19.42mt	Disolución	Bp	10%
Bocacanoa est-1_96.50mt	Disolución	Bp	3%

## 12. ESTRATIGRAFIA DE SECUENCIAS

En este estudio se identificaron ciclos de baja resolución los cuales se pueden observar en los Anexos (1 al 6). Estos se identificaron teniendo en cuenta el concepto de estratigrafía de secuencias.

La estratigrafía secuencial se entiende como la expresión en el registro estratigráfico de la historia de los cambios del nivel del mar, en especial de aquellos debidos a factores eustáticos, que permiten correlaciones a escala global.

La definición básica de secuencia, fue utilizada para designar unidades litoestratigráfica limitadas por discordancias a la base y al techo, y fue establecida formalmente por Sloss en 1948.

El gran desarrollo de la estratigrafía sísmica y el interés que ella ha tenido en el reconocimiento de unidades genéticas (Entre ellas las secuencias deposicionales, Mitchum, 1977), en el conjunto de los materiales que rellenan una cuenca sedimentaria o un margen continental, ha dado al desarrollo de la estratigrafía secuencial. (Vail et al ,1987 en Vera ,1994).

El estudio de la estratigrafía de secuencias es regido por dos autores, uno de ellos es Vail, en donde se utilizan las discordancias o sus correspondientes concordancias para limitar secuencias; Galloway emplea superficies mayores de inundación marina para limitar “secuencias genéticamente relacionadas”, las cuales a su vez se constituyen por un ciclo regresivo seguido de otro transgresivo (Niño, 1998).

La ultima escuela surgida esta liderada por Cross, y acoge los conceptos fundamentales de Vail para definir el espacio de acomodación.

A continuación se especifican los principales términos utilizados por Robert Mitchum y John Van Wagoner, 1991. Que fueron tomados como base para la realización de este trabajo.

**-Secuencia:** Unidad fundamental de la estratigrafía secuencial y se define como una sucesión relativamente concordante de estratos genéticamente relacionados, limitando en su tope y base por discordancias o sus correlativas concordancias (Mitchum et al., 1977 en Niño, 1998).

**-Discordancia:** superficie de separación de estratos mas jóvenes de otros mas antiguos, a lo largo de la cual hay evidencia de erosión o exposición subaérea (y en algunos caso erosión submarina correlativa) con un hiato significativo indicado (Posamentier et al., 1988 en Niño, 1998).

**-Concordancia:** superficie de separación de estratos jóvenes de otros mas antiguos, a lo largo de la cual no hay evidencia de erosión, subaérea o submarina, o no deposito y que no representa un hiato significativo.

**-Parasecuencia:** Sucesión relativamente concordante de estratos o conjuntos de estratos limitada por superficies de inundación marina. En sedimentos siliciclásticos las parasecuencias son progradacionales y muestran ciclos de somerización, mientras que en carbonatos de plataforma presentan dispositivos agradacionales y secuencias, igualmente de somerización (Vera, 1994).

**-Superficie de inundación marina:** son superficies que separan lotes de estratos entre los que se constata un incremento brusco de la profundidad. Esta profundización brusca queda reflejada, además de por el cambio de facies. Por la presencia de rasgos estratigráficos que indiquen una breve interrupción sedimentaria (hiato) (Vera, 1994).

**-Sección condensada:** es una delgada unidad estratigráfica marina, consistente en sedimentos pelágicos y hemipelágicos caracterizada por ratas muy bajas de sedimentación.

**-Sistemas tracts:** Unión de sistemas depositacionales contemporáneos (Posamentier et al., 1988); o asociación tridimensional de litofacies. Dependiendo de la posición dentro de la secuencia, los patrones de apilamiento de las parasecuencias así como de la geometría y las asociaciones faciales se presentan tres sistemas tracts: Transgressive Systems Tracts (TST), durante un periodo de ascenso progresivo del nivel del mar; Lowstand Systems Tracts (LST), durante una posición de caída del nivel del mar; y Highstand Systems Tracts (HST), durante un periodo de posición alta del nivel del mar y posterior descenso hasta culminar el ciclo e iniciar uno nuevo (Niño, 1998).

Superficie Transgresiva: es la primera superficie de inundación marina significativa a lo largo de la plataforma dentro de la secuencia. Esta superficie marca el inicio de un Transgressive Systems Tracts (TST) dentro de una secuencia.

La estratigrafía de secuencias tiene sus raíces en la estratigrafía siliciclástica. Entonces como se aplican estos conceptos a la estratigrafía de calcáreos? (Kerans, Tinker, 1997). El grado de transferencia de estos conceptos han sido tópicos de debate activo desde que fueron introducidos por (Schlager, 1992). Las diferencias y similitudes entre el modelo siliciclástico y algún modelo ideal de carbonatos están siendo aun evaluadas (Sarg et al, 1996). Una conclusión que se obtiene de acuerdo general es que tratar los siliciclásticos y los carbonatos de 1 a 1 combinando solamente los términos de facies tracts (e.g. Vaill, 1978; Sarg, 1988) no es buena solución. Las dos diferencias fundamentales entre estos dos sistemas sedimentarios son los orígenes autóctonos de los sedimentos calcáreos y su susceptibilidad a sufrir diagénesis temprana incluyendo litificación temprana. Estos dos factores cambian significativamente el modelo calcáreo. (Kerans, Tinker, 1997 en Niño, 1998).

Los 4 Pozos descritos localizados en el Sector de Arroyo de piedra (Anexos del 1 al 4) y las columnas de Manzanillo (Anexo 5) y Arroyo de Piedra (Cantera) (Anexo 6), tienen una estratigrafía semejante, observándose en todas las mismas

tendencias depositacionales. Debido a esto, la estratigrafía de secuencias en este sector es muy similar.

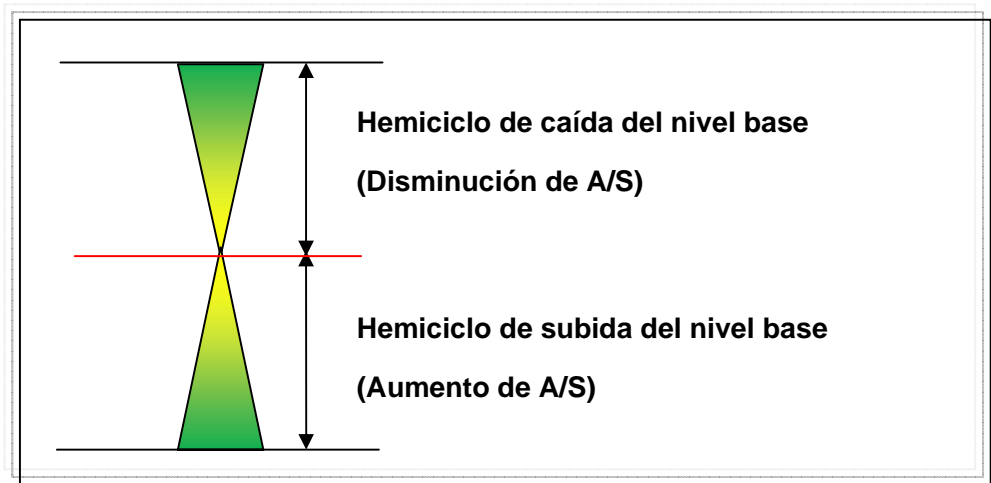
En la parte calcárea se reconoce un sistema tracts correspondiente a un Highstand Systems Tracts (HST) para todas las columnas y pozos descritos, donde la plataforma se encuentra inundada provocando una progradación lateral y alta producción de arrecifes.

El Highstand Systems Tracts (HST) se desarrolla básicamente cuando la tasa de elevación del nivel del mar decrece dando lugar a depósitos agradacionales de borde de plataforma que progradan hacia el mar, donde es típico encontrar facies Arrecifales.

Los HST se caracterizan por presentar parasecuencias agradacionales a progradacionales, es decir, secuencias que somerizan hacia el tope, de modo que equivale a una regresión del mar, corresponde a un hemicycle de caída del nivel base (Disminución de espacio de acomodación (A/S)).

En la parte siliciclástica se observan 1 sistemas tracts. El cual corresponde igualmente a un (HST), el cual refleja una disminución progresiva en el espacio de acomodación que sugiere un conjunto de materiales depositados cuando el nivel relativo del mar esta alto y se caracteriza igualmente por presentar dispositivos progradantes. La secuencia profundiza hacia el tope porque los depósitos de facies siliciclásticas de origen más costero son reemplazados por facies de plataforma somera.

En la (Figura 119) se evidencia la forma como se representan estos ciclos de subida y caída del nivel del mar.



**Figura 119- Esquema de los ciclos de subida y caída del nivel base.**

A modo general la estratigrafía de secuencias en el área de estudio muestra como la sedimentación responde a una disminución progresiva en el espacio de acomodación que sugiere que el fondo marino está levantándose y que ha continuado haciéndolo hasta la fecha al nivel en el que se encuentra aflorando la secuencia estudiada.

### **13. CORRELACION ESTRATIGRAFICA**

La correlación estratigráfica es una de las técnicas de mayor interés en estratigrafía y consiste en comparar dos o más secciones estratigráficas, de un intervalo de tiempo semejante, estableciendo la equivalencia entre los niveles o superficies de estratificación reconocibles en cada una de ellas.

El objetivo fundamental de la correlación estratigráfica es ampliar la validez de los datos estratigráficos locales. Al comparar varias secciones estratigráficas se puede ver la relación entre las diferentes unidades estratigráficas representadas en ellas, los cambios de facies y de potencia, y con ello deducir las características estratigráficas en una región.

La correlación estratigráfica realizada en este trabajo se hizo entre los 4 pozos estratigráficos de Bocacanoa localizados en el sector de Arroyo de Piedra, estas secciones estratigráficas se encuentran relativamente cerca entre si; al correlacionarlas permite reconstruir la geometría de las unidades litoestratigráficas y conocer sus cambios laterales (Anexo 9).

En la correlación estratigráfica se tomo como Datum el cambio de litología entre las Facies calcáreas y las siliciclásticas, teniendo en cuenta una distancia aproximada entre cada uno de ellos; donde se muestra la depositación de la secuencia calcárea sobre la parte detrítica. Observándose hacia el sector de los pozos Bocacanoa Estratigráfico-1 y Bocacanoa Estratigráfico-3 facies de Rudstone y Floatstone que tienen continuidad lateral.

Las Facies de Wackestone y Floatstone de los pozos Bocacanoa estratigráfico-2 Bocacanoa estratigráfico-3 y el Bocacanoa estratigráfico-4 presentes hacia la base de la secuencia calcárea también muestran continuidad exhibiendo una disminución en espesor hacia el estratigráfico-4.

En el pozo Bocacanoa estratigráfico-4 se evidencian facies de Rudstone y Floatstone hacia el tope de la secuencia calcárea las cuales se acuñan y no son correlacionables con el pozo Bocacanoa Estratigráfico-3.

A modo general se observa que la secuencia calcárea esta sobreyaciendo las arenas y las arcillas, presentando continuidad en todos los pozos; donde su espesor esta disminuyendo hacia los pozos Estratigráfico-3 y Estratigráfico-4.

En los Pozos Estratigráfico-3 y Estratigráfico-4 se observan unas facies arenosas que no se presentan en los otros dos pozos. Estas arenas por lo general son continuas preferencialmente hacia la base; y van aumentando en espesor hacia el Estratigráfico-4.

Las arenas presentes en el estratigráfico-3 se acuñan hacia el Noroeste debido a la ausencia de estas en los pozos Estratigráfico-1 y Estratigráfico-2.

A modo general, la correlación elaborada en el sector de Arroyo de Piedra, muestra las variaciones laterales de facies desde el frente arrecifal hasta la zona más próxima al continente en donde la presencia de calcáreos es muy poca y las facies arenosas y finas predominan (Figura 120).

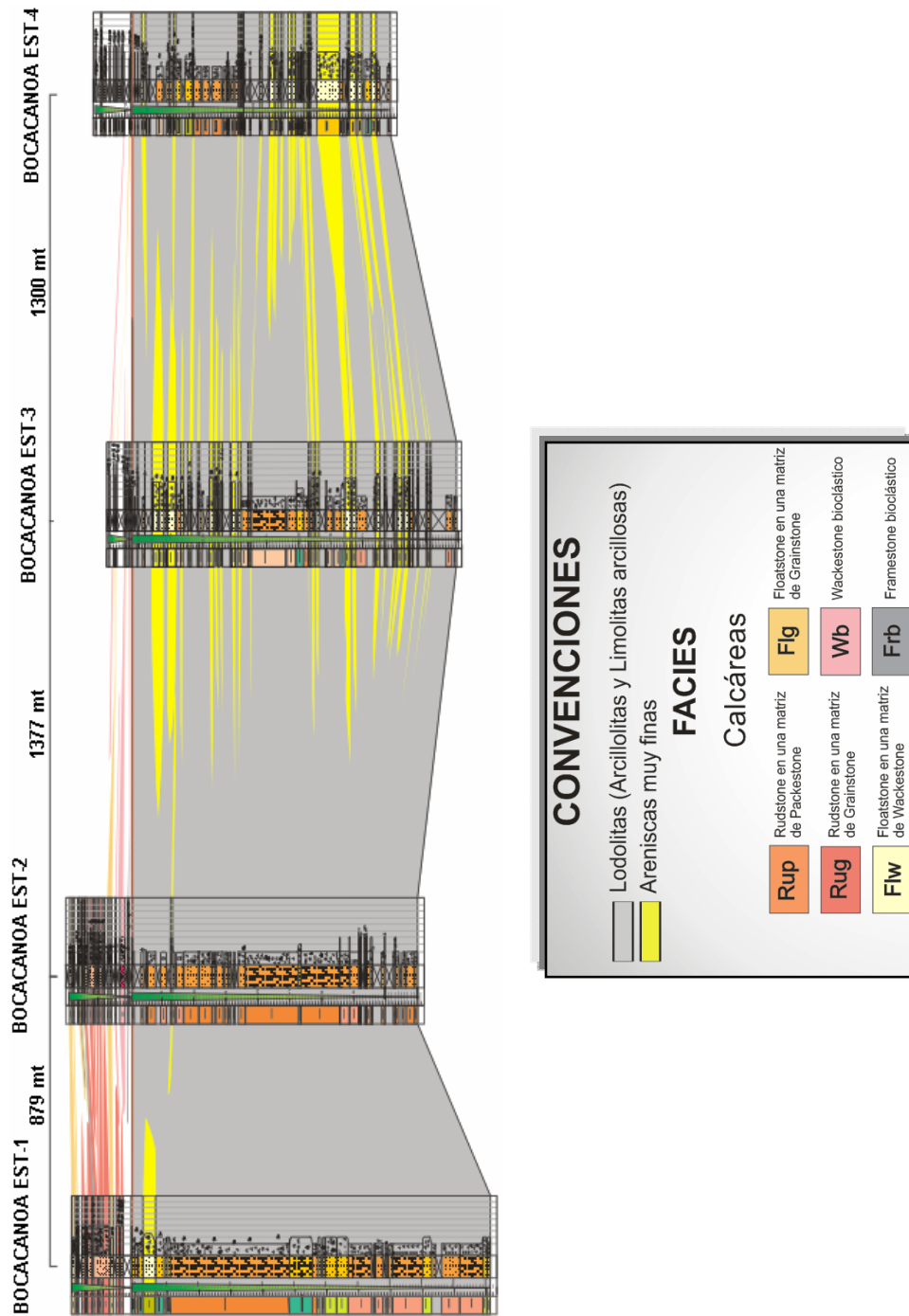


Figura 120. Correlación estratigráfica entre los pozos Bocacanoa. Del sector de Arroyo de Piedra.

## 14. INTEGRACION DE RESULTADOS

De acuerdo a las facies y asociaciones faciales interpretadas en el área de estudio se puede inferir que la unidad calcárea esta dominada por facies que varían de Rudstone en matriz de packstone y Grainstone bioclástica, Framestone de corales dómicos globulares que indican zonas de alta energía resistentes al oleaje hasta Floatstone y Wackestone de bioclastos que pertenecen a zonas mas tranquilas como zonas de Lagoon; esto indica que dicha unidad se encuentra distribuida en un ambiente de plataforma calcárea adosada al continente con subambientes que se localizan desde la cresta arrecifal hasta una zona de laguna costera que tiene influencia de ambientes de borde de costa siliciclástico y también aportes terrígenos provenientes del rio Magdalena.

La Unidad Siliciclástica particularmente esta constituida por material fino como Arcillolitas, Limolitas y Areniscas de tamaño fino a muy fino, se encuentra suprayaciendo la unidad calcárea; dichos sedimentos están depositados en una plataforma marina lodosa que esta por debajo del nivel del oleaje y secuencialmente pasa a una zona transicional hasta llegar a zonas protegidas como lagunas arrecifales costeras donde dominan gran cantidad de organismos bioclásticos como fragmentos de bivalvos, raíces de mangle, equinodermos, gasterópodos entre otras.

Las secciones delgadas descritas ayudaron a corroborar y calibrar las facies encontradas tanto en la fase de campo como en el pozo Bocacanoa estratigráfico-1. Se determinó la composición de la matriz, las partículas aloquímicas, la porosidad, tipo de cemento y los principales procesos diagenéticos presentes.

El porcentaje de las porosidades microscópicas muchas veces supera el 15% lo que indica una buena calidad de reservorio, aunque en algunos casos el porcentaje fue menor y la calidad del reservorio disminuye. Las variaciones en la porosidad se deben principalmente a los procesos diagenéticos que actúan sobre la porosidad original reduciéndola.

Se reconoció en la secuencia analizada un Highstand Systems Tracts (HST); representado por secuencias que somerizan hacia el tope, equivalente a una disminución progresiva en el espacio de acomodación, revelando un levantamiento de la plataforma marina hasta la fecha (Ortiz, comunicación verbal).

En los pozos Bocacanoa estratigráfico-3 y estratigráfico-4 se observan areniscas de grano muy fino en toda la secuencia siliciclástica que no se presentan en los pozos estratigráfico-1 y estratigráfico-2 donde predomina el material lodoso o arcilloso; la correlación estratigráfica muestra que las facies siliciclásticas dominan en toda la secuencia mientras que el espesor de la unidad calcárea es menor y se hace mas pequeño hacia los pozos Bocacanoa estratigráfico-1 y estratigráfico-2.

## 15. CONCLUSIONES

- Este estudio comprende dos unidades litoestratigráficas, la unidad calcárea que esta constituida por (6) facies: 1) Floatstone en matriz de Wackestone bioclástica, 2) Floatstone en matriz de Grainstone bioclástica; 3) Rudstone en matriz de Packestone bioclástica; 4) Rudstone en matriz de Grainstone bioclástica; 5) Framestone de bioclastos y 6) Wackestone de bioclastos; y la unidad siliciclástica constituida por (13) facies compuestas por sedimentos finos que van desde areniscas muy finas hasta Arcillolitas y Limolitas arcillosas.
- Las facies de la secuencia calcárea se encuentran depositadas en un ambiente de plataforma marina de carbonatos adosada al continente, la cual se caracteriza por el desarrollo de arrecifes de borde. Dentro del ambiente arrecifal es posible determinar diferentes subambientes que varían desde zonas resistentes al oleaje como la cresta arrecifal hasta zonas mucho mas tranquilas de lagunas costeras influenciadas por ambientes de costa siliciclásticos.
- La unidad siliciclástica está dominada por facies de Arcillolitas con bioclastos y bioturbación que localmente presenta estructuras como laminación. Estas facies son comunes en los pozos Bocacanoa Estratigráfico-1 y Estratigráfico-2 donde el porcentaje de arenas es mínimo pero aumenta hacia los pozos Bocacanoa Estratigráfico-3 y Estratigráfico-4.
- La presencia de terrígenos en las facies calcáreas puede ser material producto de aportes de corrientes fluviales cercanas que para la época se podrían asociar al delta del ancestral Rio Magdalena.
- Los principales procesos diagenéticos observados fueron: disolución resultado de la exposición subaérea; micritización; rellenos de fracturas por solución;

recristalización e inversión producto de la cementación temprana; no se evidencian procesos de dolomitización.

- La porosidad secundaria de tipo Mórdica y de Cavidad se presentó en gran proporción; causadas por procesos de disolución importantes, así mismo se encontró en algunas láminas porosidad de fractura, adicionalmente porosidad intrapartícula e interpartícula en las partículas aloquímicas en su gran mayoría corales y algas rojas.
- La porosidad presente en toda la secuencia calcárea en general es buena presentando características óptimas para el almacenamiento de crudos e interesantes para futuras investigaciones exploratorias.
- En la parte calcárea se reconoce un sistema tracts correspondiente a un Highstand Systems Tracts (HST) que se desarrolla cuando la tasa de elevación del nivel del mar decrece dando lugar a depósitos agradacionales de borde de plataforma que progradan hacia el mar, donde es típico encontrar facies Arrecifales.

## RECOMENDACIONES

- La edad de la Formación la Popa y las secuencias estudiadas han sido discutidas por diversos autores y se contempla que esta dentro del Plioceno-Pleistoceno, dando un rango de edad muy amplio es por ello que se hace necesario realizar análisis cronoestratigráficos y bioestratigráficos a partir de dataciones de isótopos estables, aprovechando las muestras tomadas en campo y el buen estado de los núcleos descritos.
- Se sugiere realizar mas estudios sedimentológicos y estratigráficos, en zonas aledañas a Cartagena que sean complemento a este trabajo, y que ayuden a reconstruir aun mas la evolución y las características geológicas regionales presentes.
- Se sugiere comparar los espesores y sedimentos de la unidad calcárea presente en Manzanillo y Arroyo de Piedra con los de afloramientos similares en la zona entre Barranquilla y Cartagena para observar evolución y posibles controles estructurales.

## BIBLIOGRAFIA

- ACHITUV, Y. AND DUBINSKY, Z. (1990): Evolution and zoogeography of coral reefs. Pp. 1-9 In: *Ecosystems of the world 25: Coral reefs*. Z. Dubinsky (ed.), Elsevier Press, NY.
- ALVAREZ, L (2003): factores de formación de las lagunas costeras del suroeste del Caribe Colombiano.
- ANDERSON, F. (1926): Original source of oil in Colombia. - Bulletin of American Association of Petroleum Geologist, v.10, n. 4, p. 382-404, Chicago.
- ANDERSON, F. (1927): The Marine Miocene deposits of North Colombia. – Calif. Acad. Sci. Proc., v 16, n. 3, p. 87-95, San Francisco.
- ANDERSON, F. (1929): Marine Miocene and related deposits of north Colombia. Calif. Acad. Sci. Proc., v.18, n. 4, p 73-213, San Francisco.
- ANGEL, C., ESQUIVEL, J. y SARMIENTO, G. (1985): Geología del departamento de Bolívar al norte del Canal del Dique, Informe 1941, 132 p., Ingeominas, Bogotá.
- BARBOSA, G., GUZMÁN, G., REYES, G. y ZAPATA, G. (2001): Geología de las planchas 23 Cartagena y 29-30 Arjona, escala 1:100000; Memoria explicativa, 69 p., Ingeominas, Bogotá.
- BARRERA, R. (2001): Geología de las planchas 16-17, Galerazamba y Barranquilla, escala 1:100000; Memoria explicativa, 55 p., Ingeominas, Bogotá.
- BARRERA, R., REYES, G. y ZAPATA, G. (2000): Mapa Geológico generalizado del departamento del Atlántico, escala 1:100000; Memoria explicativa, 56 p., Ingeominas, Bogotá.
- BARRERO, D., ÁLVAREZ, J. KASSEM, T. (1969): Actividad ígnea y tectónica en la Cordillera Central durante el Meso-Cenozoico. *Boletín Geológico*, 17 (1-3): 145-173.
- BÜRGL, H. (1957): Materia prima para la fabricación de cemento en los alrededores de Cartagena, Informe 1221, 20 p., Ingeominas, Bogotá.
- BÜRGL, H. (1961): Historia geológica de Colombia. - Rev. Acad. Col. Cienc. Ex. Fis. Nat., v.11, n.43, p.137-191, Bogotá.
- CAMACHO, R. Y VALDIRI, J. (1968): Informe geológico preliminar del cuadrángulo D-8. Informe inédito, Ingeominas, 66 p., Bogotá.

CASTRO C. (2006): Análisis documental acerca del estado actual de la estratigrafía de la Formación La Popa en los departamentos de Bolívar y Atlántico, Costa Caribe Colombiana.

CARO, M. (2003): Structural Evolution of the San Jacinto Fol. Belt, NW Colombia Department of Geology and Geophysics Calgary, Alberta.

CHIAPPONE, M. (ed.) (2001): Coral Reef conservation in Marine Protected Areas. A case study of Parque Nacional del Este, Dominican Republic. Publications for Capacity Building, The Nature Conservancy. Part 3 of a series of 3 science tools for marine park management.

CLARKSON E.N. (1986): *Paleontología de invertebrados y su evolución*. Paraninfo S.A Madrid.

CHOQUETTE, P.W. Y PRAY, L.C (1970): Geologic nomenclature and classification of porosity. Bull. AAPG 54: 207-250.

COLLINS, L.S. (1999): The Miocene to Recent diversity of Caribbean benthic foraminífera from the Central American Isthmus. In: Collins, L.S. & Coates, A.G. (eds.). A paleobiotic survey of caribbean faunas from the Neogene of the Isthmus of Panama. - *Bulletins of American Paleontology*, v. 357, p. 91-107.

CONNELL, J.H. (1978): Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science* 199: 1302-1309.

DE PORTA, J. (1962): Consideraciones sobre el estado actual de la estratigrafía del Terciario en Colombia. - *Boletín de Geología*, n.9, p 5-43, Bucaramanga.

DE PORTA, J. (2003): La Formación del Istmo de Panamá. Su incidencia en Colombia. -*Rev. Acad. Colomb. Cienc*, v. 27, No.103, p 191-216, Bogotá.

DE PORTA, J., SOLÉ DE PORTA, N. (1960): El cuaternario marino de la Isla de Tierra Bomba (Bolívar). - *Boletín De Geología*, v. 3, n. 4, p 19-44, Bucaramanga.

DUNHAM, R. J. (1962): Classification of carbonate rocks, according to depositional texture. In Ham. W. E. *Classification of Carbonate Rocks*, American Association of Petroleum Geologist. Mem.1, págs. 108-122.

DUQUE-CARO, H. (1967): Observaciones generales a la bioestratigrafía y geología regional en los departamentos de Bolívar y Córdoba. - *Boletín de Geología*, v. 10, n. 24, p. 71-87.

DUQUE-CARO, H. (1973): los Foraminíferos planctónicos y el Terciario de Colombia, Informe 1651, Ingeominas, Bogotá.

DUQUE, H. (1978): Geotectónica y Evolución de la Región Noroccidental Colombiana.- *Boletín Geológico*, v. 23, n. 3, p. 4-37, Bogotá.

DUQUE-CARO, H. (1984): Estilo estructural, diapirismo y episodios de acrecimiento del terreno Sinú - San Jacinto en el noroccidente de Colombia.- Boletín Geológico, v. 27, n.2, p. 1- 29, Bogotá.

DUQUE-CARO H. (1979): Major structural elements and evolution of northwestern Colombia. In Geological and Geophysical Investigations of Continental Margins (edited by J.S. Watkins, L. Montadert, and P.W. Dickerson). Amer. Ass. Petrol. Geol., Memoir 29, p. 329-351.

EMBRY, A. F., Y KLOVAN, J. E., (1971). A Late Devonian reef track on northeastern Banks Island, Northwest Territories: Canadian Petroleum Geo. Bull., Vol. 19, p. 750-781.

FAGERSTROM, J.A. (1987): The evolution of reef communities. Academic Press, NY. 600 pp.

FOLK, R. 1954. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. J.

Geol., 62(4):344-359. GRIGG, R.W. (1981): Coral reef development at high latitudes in Hawaii. *Proceedings of the Fourth International Coral Reef Symposium* 1: 687-693.

GUZMAN, G., GÓMEZ, E. Y SERRANO, B. (2004): Geología de los cinturones del Sinú, San Jacinto y borde occidental del Valle inferior del Magdalena Caribe Colombiano. Págs 100-107.

HATCHER, R.G., JOHANNES, R.E. AND ROBERTSON, A.I. (1989): Review of research relevant to the conservation of shallow tropical marine ecosystems. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review* 27: 337-414.

HALLOCK, P. (1997): Reefs and limestones in Earth history. Pp. 13-42 In: *Life and death of coral reefs*. C. Birkeland (ed.), Chapman and Hall, NY.

HUBBARD, D.K. (1997): Reefs as dynamic systems. Pp. 43-67 In: *Life and death of coral reefs*. C. Birkeland (ed.), Chapman and Hall, NY.

HUGUETT, A. (1988): Resumen de la hidrogeología de los departamentos de Atlántico y Bolívar al norte del Canal del Dique. –Boletín Geológico, v. 29, n.1, p. 85-172, Bogotá.

IN J. S. WATKINS, L. MONDATER, AND P. W. DICKERSON, EDS, Geological and Geophysical Investigations of Continental Margins: AAPG Memoir 29, 1979, p 329-351.

- INGEOMINAS. (2003): Mapa geológico Sinú-Sanjacinto.
- JAMES, N. P. (1983). Reefs, in Scholle, P.A., Bebout, D. G., and Moore, C. H Ed., Carbonate Depositinal Environments. American Association of Petroleum Geologist, Mem. 33, págs. 234-440.
- JAMES, N.P.(1984): Reefs in Facies Models, Ed. R.G. Walker, Geological Association of Canada, p. 229-244.
- JIMÉNEZ. P., PRINCE M. (1999): Caracterización Estratigráfica y petrográfica de las calizas aflorantes en el cerro Púa en los alrededores de Arroyo de Piedra, Mar Caribe. Departamento de Bolívar (Trabajo de Grado). 106 p., Universidad Nacional de Colombia; Departamento de Geociencias, Bogotá.
- KERANS, CH., TINKER, S., (1997): Sequence Stratigraphy and Characterization of Carbonate reservoirs. Tulsa. SEMP Short Course No 40, p. 130.
- LEWIS, J.B. (1981): Coral reef ecosystems. Pp. 127-158 In: *Analysis of marine ecosystems*. A.R. Longhurst (ed.), Academic Press, NY.
- LINK, T.A. (1927): Post-Tertiary strand lines oscillations in the Caribbean Coastal Area of Colombia, South America. - *Journal of Geology*, v.35, n. 1, p. 58-72, Chicago.
- LITTLER, M.M. AND LITTLER, D.S. (1985): Factors controlling relative dominance of primary producers on biotic reefs. *Proceedings of the Fifth International Coral Reef Congress* 4: 35-39.
- LOPEZ, S (2005) Batimetría, sedimentos y ambientes de depósito en la laguna costera de Guásimas Sonora, México. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM ISSN 0188-4611, Núm. 60, 2006, pp. 7-21.*
- MELO, R. (1999): Metodología para la descripción y análisis de rocas sedimentarias siliciclásticas y calcáreas en sección delgada, p. 9-12.
- MOUNT, J. F., (1984): Mixing of Siliciclastic and Carbonate Sediments, in Shallow Shelf Environments *Geology*,.Vol. 12, p.432-435.
- MORER, NICHOLS. (1960): Calizas de Cartagena, Informe 1343, Ser. Geol. Nal, Bogotá.
- MITCHUM, R, JR., VAIL, P.R. Y THOMSON,S. (1977). Seismic Stratigraphy and global Changes of Sea Level, part 2; The depositional Sequence as a Basic Unit for Stratigraphic Analysisi.In; C.W Payton (Editor). *Seismic Stratigraphic to Hydrocarbon Exploration Am. Assoc. Pet. Geol. Meom.* 26: 53-62.
- MITCHUM, R, VAN WAGONER, J. (1991) High-Frequency Sequences andd their Stacking Patterns; Sequence-Stratigraphic Evidence of High.Frecuency Eustatic Cycles, *Sedymentary Geology*, 70. Elsevier Scince Publisher B.V Amsterdam.

NASA WORLD WIND 1.4. National Aeronautics and Space Administration.

NEUMANN, A.C. AND MACINTYRE, I. (1985): Reef response to sea level rise: Keep-up, catch-up or give-up. *Proceedings of the Fifth International Coral Reef Congress* 3: 105-110.

NIÑO, H. (1998): Modelo estructural y estratigráfico del terciario premioceno de la subcuenca de Plato, Valle Inferior del Magdalena.

ORDOÑEZ, O. (1960): Yacimientos de calizas para la planta de soda de la costa, departamentos de Bolívar y Atlántico, Informe 1361, Servicio Geológico Nacional, Bogotá.

PETTIJOHN, F.J., POTTER, P.E. Y SIEVER, R. (1973): Sand and Sandstone. Springer Verlag, 553 p.

PETER A. SCHOLLE. (2003): AAPG Memoir 77, a color guide to the petrography of carbonate rocks.

POSAMENTLER, H.W. JERVEY, M.T. Y VAIL, P.R. (1988): Eustatic Control on Clastic deposition: I, Conceptual Framework; II, Sequence and Systems Tract Models, In ; C.K. Wilgus, B.J. Hastings, H. Posamentier, J.C, Van Wagoner, C.a. Ross y C.G.St.C. Kendall (Editors), *Sea Level Change: An Integrated Approach*. Soc. econ. Paleontol. Mineral. Spec. Publ., 42: 109-154.

POWERS, M. (1953): "A new roundness scale for sedimentary particles", *Journal of Sedimentary Petrology*, vol. 23, pp. 117-119.

REINECK, H. E. Y I.B. SINGH. (1980): Depositional sedimentary environments. Springer-Verlag, Berlin, 549 pp.

RODRIGUEZ, A. (2006): La porosidad de las rocas carbonatadas, p. 1-21.

ROYO Y GÓMEZ, J. (1942): Fósiles del Terciario Marino del Norte de Colombia. - *Compilación Estudios Geológicos Oficiales de Colombia*, T. 5, p 461-488, Bogotá.

ROYO Y GÓMEZ, J. (1950): Geología de la Isla de Tierrabomba, Cartagena y estudio del abastecimiento de Caño de Loro mediante aguas subterráneas. - *Compilación Estudios Geológicos Oficiales de Colombia*. v 8, p. 33-66, Bogotá.

RUIZ, C. (2000): Structure and tectonic evolution of the south caibbean, southern offshore colombia, a progressive accretionary system.

SOLÉ DE PORTA, N. (1960): Observaciones palinológicas sobre el Plioceno de Cartagena (Colombia). - *Boletín de Geología*, v. 3, n. 4, p. 45-50, Bucaramanga.

SARG, J. F., L. J. WEBER, AND J. R. MARKELLO, (1996): The second-order cycle, paleoclimate, paleoceanography, and carbonate platform growth - clues

from the ancient; keynote address Carbonates and Global Change: An Interdisciplinary Approach, SEPM/IAS Research Conference, Wildhaus, Switzerland.

SCHLAGER, WOLFGANG. (1992): Sedimentology and Sequence Stratigraphy of Reef and Carbonate Platforms. A Short Course. Continuing Education Course Note Series No 34 American Association of Petroleum Geologists. Tulsa. 71p.

STODDART, D.R. (1978): Descriptive reef terminology. Pp. 5-15 In: *Coral reefs: research methods*. D.R. Stoddart and R.E. Johannes (eds.), UNESCO, Page Brothers, England.

STEERS, J.A. AND STODDART, D.R. (1978): The origin of fringing reefs, barrier reefs, and atolls. Pp. 21-57 In: *Coral reefs: research methods*. D.R. Stoddart and R.E. Johannes (eds.), UNESCO, Page Brothers, England.

TERRY, R. D., & CHILINGAR, V. (1955): *Summary of "Concerning some additional aids in studying sedimentary formations"*, Jour. Sed. Petrology. V.25, p 229-234.

TUCKER, M.E. (EDITOR) (1988): Techniques in sedimentology. Blackwell Sci. Publ., Oxford, 498 pages.

TUCKER, M.E., BATHURST, R.G.C. (1990): Marine diagenesis: Modern and ancient. In: M.E. Tucker, R.G.C. Bathurst (eds.) Carbonate diagenesis. Reprint Series of the International Association of Sedimentologists, 1:1-9, Blackwell Scientific Publications, Oxford.

TUCKER, M.E. Y WRIGHT, V.P. (1990): Carbonate Sedimentology, Blackwell Sci. Publ., 482 pp.

VAIL, P.R. (1987): Seismic Stratigraphy Interpretation Procedure; In Atlas of Seismic Stratigraphy (A.W.Bally, Ed.). Amer. Assoc. Petrol. Geol., Stud. Geol., 27; 1-11

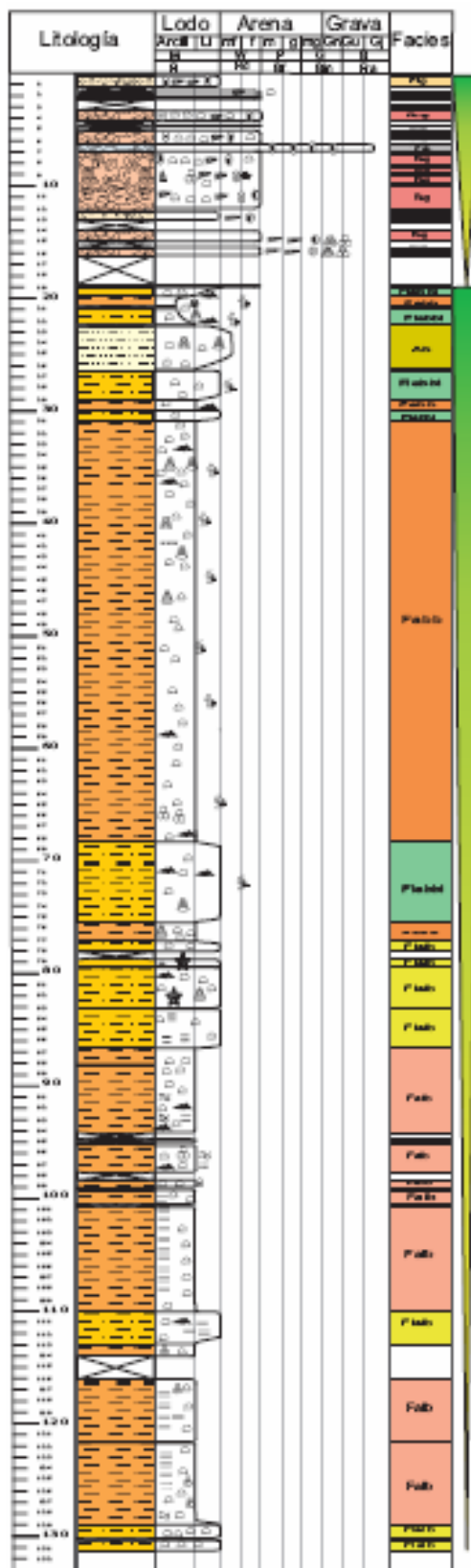
VERA, J.A. (1994): Estratigrafía principios y métodos, p 445-489.

VILLAFRADE, Y. (2006): estratigrafía y sedimentación en el eoceno, para los pozos porvenir-3 y cerro Villanueva 1. en el área del cinturón de San Jacinto, Valle Inferior del Magdalena. nw de Colombia.

WENTWORTH, C.K. (1922): A Scale of grade and Class Terms for Clastic Sediments. Journal of Geology 27: 377-392.

# **ANEXOS**





## POZO BOCACANO A ESTRATIGRÁFICO -1

### LITOLOGÍAS

#### Siliciclásticas

	Arenisca		Arcillolita
	Arenisca lodosa		Limolita arcillosa Arcillolita limosa
	Arenisca calcárea		

#### Calcáreas

Dunham, 1962

	Mudstone		Boundstone
	Wackestone		Dolomita
	Packstone		Roca Calcárea con Terrígenos
	Grainstone		

Embry & Klovan (1971)

	Floatstone		Bindstone
	Rudstone		Framestone
	Bafflestone		

#### Fósiles

	Gasterópodos
	Foraminíferos
	Bivalvos
	Espículas de Equinodermos
	Fragmentos de conchas
	Equinodermos
	Corales
	Algas

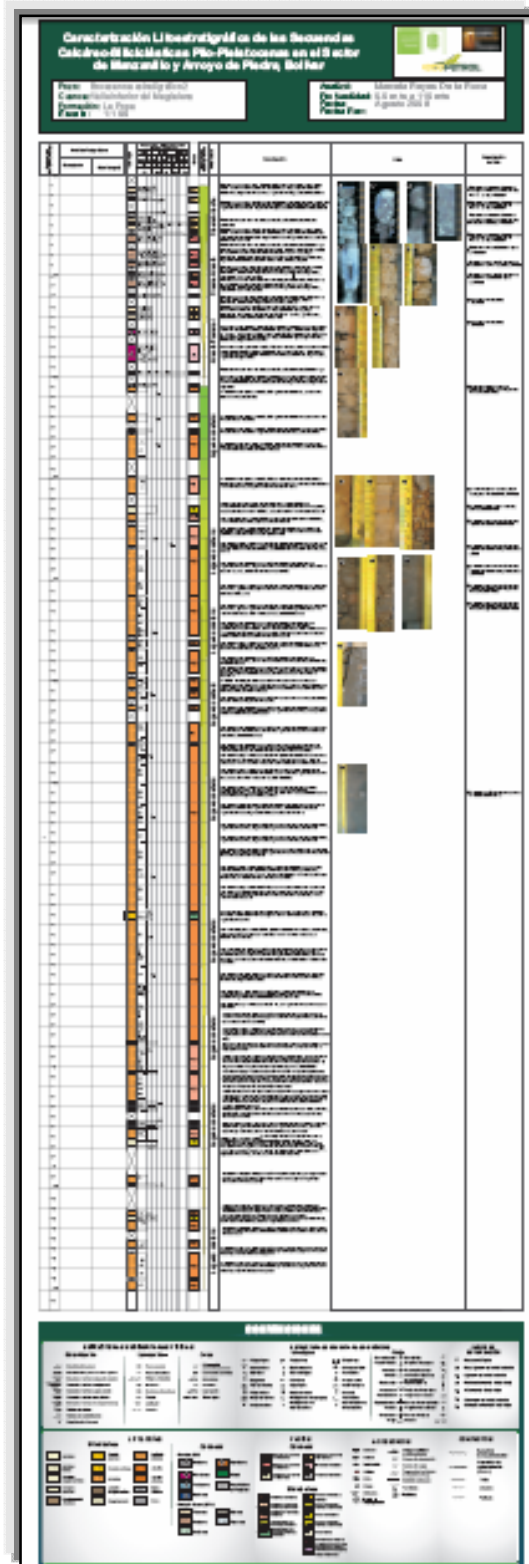
#### INDICE DE BIOTURBACIÓN

	Ligeramente bioturbado
	Moderadamente bioturbado
	Altamente bioturbado

Escala

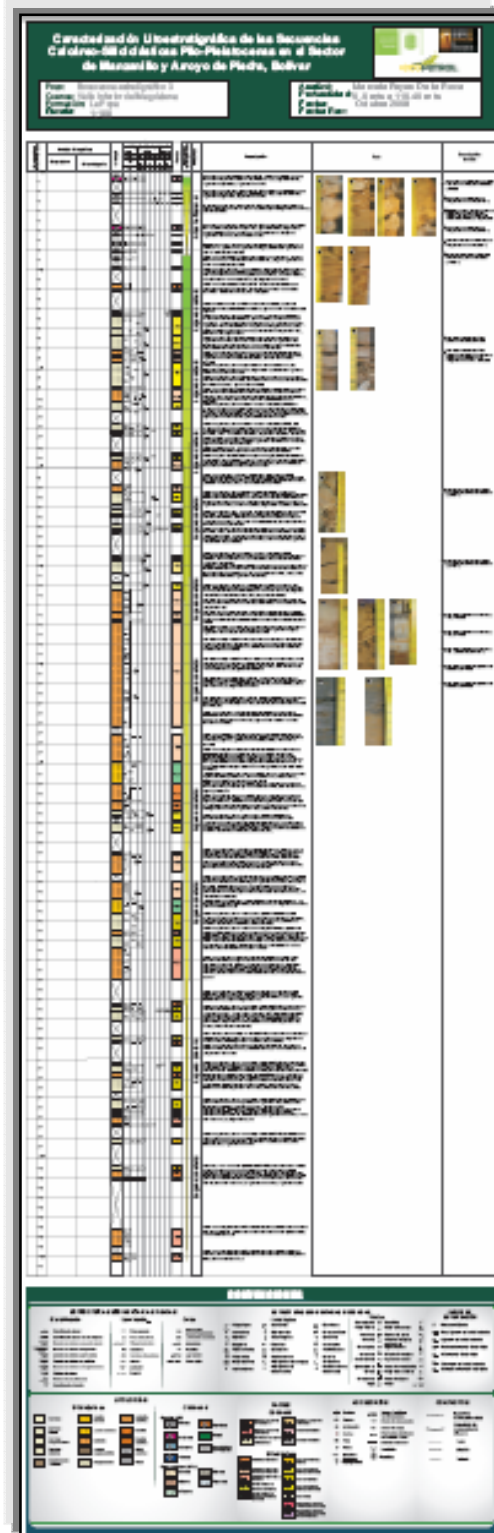
1-500

# ANEXO-2

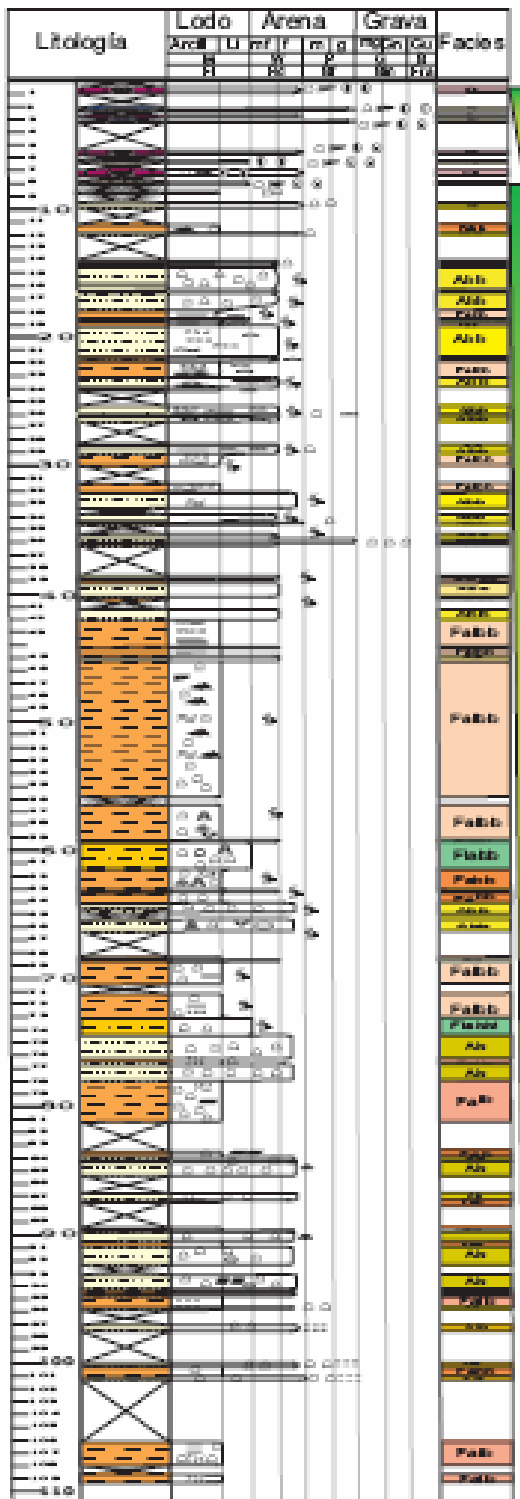




# ANEXO-3



# POZO BOCACANOA ESTRATIGRÁFICO -3



## LITOLOGÍAS

### Siliciclásticas

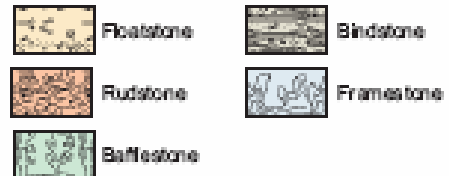


### Calcáreas

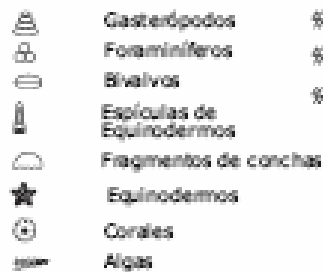
Dunham, 1962



Embry & Klovan (1971)



### Fósiles



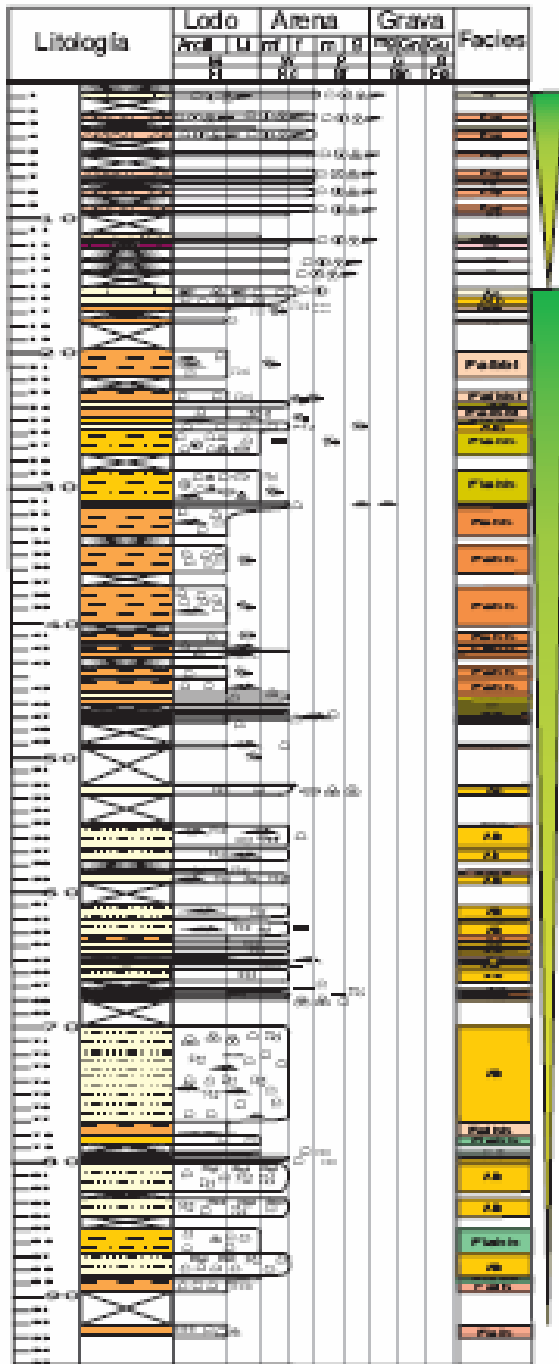
### INDICE DE BIOTURBACIÓN



Escala  
1-500



# POZO BOCACANOA ESTRATIGRÁFICO -4



## LITOLOGÍAS

### Siliciclásticas

- Arenisca
- Arcillolita
- Arenisca lodosa
- Limoilita arcillosa
- Arenisca calcárea
- Arcillolita limosa

### Calcáreas

Dunham, 1962

- Mudstone
- Sandstone
- Wackestone
- Dolomia
- Packstone
- Roca Calcárea con Terrígenos
- Grainstone

Embry & Kloven (1971)

- Floatstone
- Rudstone
- Bafflestone
- Bindstone
- Framestone

### Fósiles

- Gasterópodos
- Foraminíferos
- Bivalvos
- Espículas de Equinodermos
- Fragmentos de conchas
- Equinodermos
- Corales
- Algas

### INDICE DE BIOTURBACIÓN

- Ligeramente bioturbado
- Moderadamente bioturbado
- Altamente bioturbado

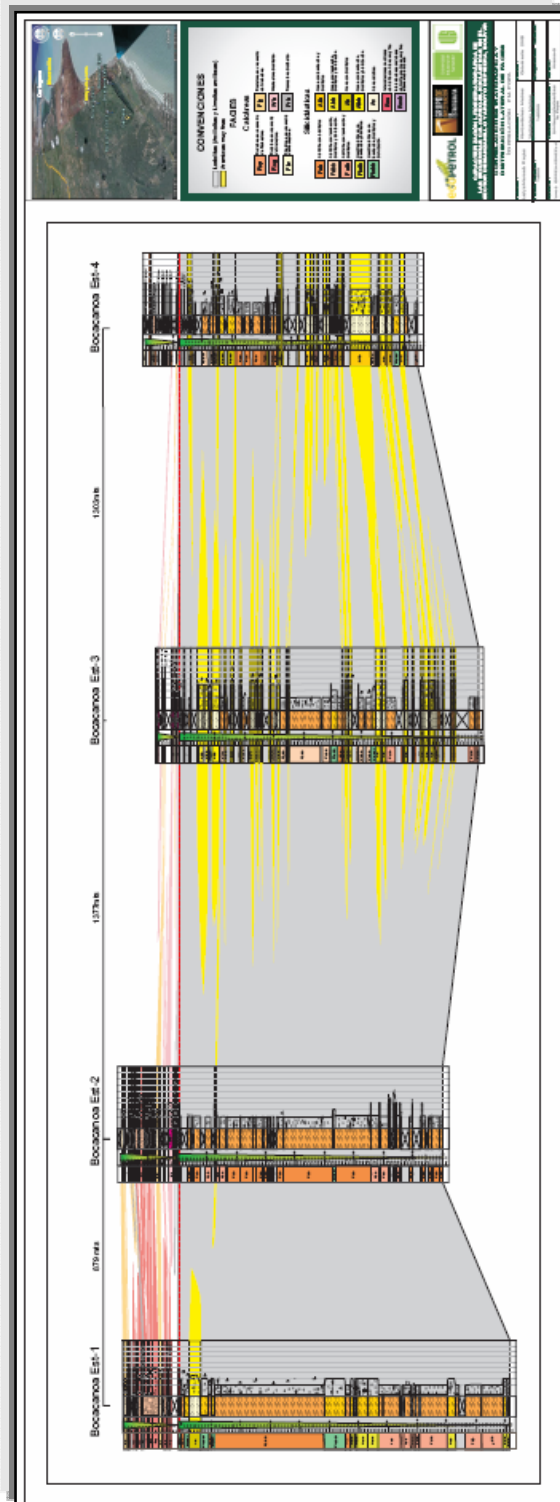
Escala

1-500





# ANEXO-9



## ANEXO 10

### EDAD DE LA FORMACION LA POPA APARTIR DE ANALISIS DE MUESTRAS PERTENECIENTES A LOCALIDAD DE MANZANILLO.

En la localidad de Manzanillo se recolectaron algunas muestras con el fin de realizar algunos análisis de foraminíferos que ayudaran en cierta medida a corroborar un rango de edad para la Formación la Popa.

Dichos análisis fueron realizados por el profesor José Abel Flores, de la Universidad de Salamanca (España) y se anexan a esta tesis a manera de comunicación.

-La muestra con referencia LMR-MZ-14 contiene baja abundancia de cocolitos, con preservación de moderada a mala.

Se observan únicamente ejemplares de *Gephyrocapsa* de talla inferior a 3 micras (*Gephyrocapsa* cf. *ericosonii*).

No se registran (presencia ó ausencia) indicadores precisos; no obstante la edad de los sedimentos es Pleistoceno.

-La muestra con referencia LMR-MZ-15 contiene baja abundancia de Cocolitos, con preservación de moderada a mala.

Aparecen ejemplares de *Pseudoemiliania lacunosa*, así como ejemplares dispersos de *Gephyrocapsa* de talla media (5 micras).

La edad de la muestra es Pleistoceno, más antigua del MIS 12 (460 ka).