



0456 987450 210456

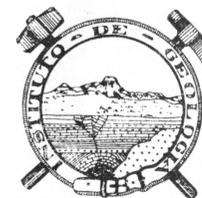
CLASIF. ....  
ADQUIS. *I-7 582* .....  
FECHA .....  
PROCED. ....

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO  
INSTITUTO DE GEOLOGIA  
DIRECTOR: ING. GUILLERMO P. SALAS

BOLETIN 80  
*22 924*

**BIOGEOLOGIA SUBSUPERFICIAL DEL  
ARRECIFE ALACRANES, YUCATAN**

POR  
*FEDERICO BONET*



MEXICO, D. F.  
1967

	Pág.
Métodos de estudio de las muestras del subsuelo .....	69
Selección de muestras .....	69
Sedimentos sueltos .....	69
Sedimentos litificados .....	71
Análisis químico y mineralógico .....	71
Columna litoestratigráfica atravesada .....	73
Características generales y división .....	73
Sedimentos del cayo arenoso .....	73
Arrecife moderno .....	74
Arrecife antiguo .....	83
Depósito de la Sonda .....	87
La composición global del arrecife .....	91
Composición químico-mineralógica .....	91
Composición biótica .....	93
Alteraciones diagenéticas .....	97
Halmirolisis .....	97
Cementación y litificación .....	98
Disolución y porosidad .....	101
Litología de los sedimentos consolidados .....	103
Datos paleoecológicos generales .....	105
Secuencia de eventos y evidencias de emersión .....	105
Velocidad de crecimiento del arrecife .....	106
Bibliografía .....	109
Apéndice I. Descripción de las estaciones donde fueron obtenidas muestras de fondo superficial .....	113
Apéndice II. Descripción de las muestras del subsuelo .....	121

## LÁMINAS

Al final del texto

Lám. 1. Fotografía aérea del arrecife Alacranes
Lám. 2. Registros batimétricos del arrecife Alacranes
Lám. 3. Ceja de tempestad en isla Pérez. Fondos de la laguna mostrando asociación de <i>halimeda</i> y <i>penicillus</i> y la asociación de corales macizos y gorgonias
Lám. 4. Asociación de corales macizos y gorgonias en arrecifes interiores. Asociación de corales macizos y gorgonias en el fondo de la laguna
Lám. 5. Asociación de corales macizos y gorgonias en el fondo de la laguna
Lám. 6. Asociación de corales macizos y gorgonias en el fondo de la laguna
Lám. 7. Pináculos y arrecifes en parche
Lám. 8. Pináculo, arrecife en parche y fondo del foso

Lám. 9. Aparejo de perforación y caja de muestras del pozo de isla Pérez. Núcleo 47.
Lám. 10. Núcleos 18, 34 y 47 del pozo de isla Pérez.
Lám. 11. Núcleo 41 del pozo de isla Pérez
Lám. 12. Fotomicrografías de los núcleos 23, 34 y 35 del pozo de isla Pérez
Lám. 13. Fotomicrografías de los núcleos 23, 33, 38 y 44 del pozo de isla Pérez
Lám. 14. Fotomicrografías de los núcleos 23, 24 y 27 del pozo de isla Pérez
Lám. 15. Fotomicrografías de los núcleos 6, 42, 48 y 49 del pozo de isla Pérez
Lám. 16. Fotomicrografías de los núcleos 24, 36 y 42 del pozo de isla Pérez
Lám. 17. Fotomicrografías de los núcleos 41, 42 y 48 del pozo de isla Pérez y de una muestra de la Caliza Carrillo Puerto, de Yucatán

## FIGURAS

	Pág.
Fig. 1. Situación del arrecife Alacranes .....	10
Fig. 2. Perfil de la Sonda de Campeche .....	11
Fig. 3. Mapa del arrecife Alacranes con la situación de estaciones y perfiles .....	18
Fig. 4. Montículo submarino al E de "Calderas" .....	20
Fig. 5. Perfil del arrecife Alacranes L—C .....	26
Fig. 6. Perfil del arrecife Alacranes M—N .....	26
Fig. 7. Perfil del arrecife Alacranes A—B .....	26
Fig. 8. Perfil del arrecife Alacranes A—E .....	26
Fig. 9. Perfil del arrecife Alacranes I—H .....	26
Fig. 10. Perfil del arrecife Alacranes A—G .....	26
Fig. 11. Perfil del arrecife Alacranes A—J .....	26
Fig. 12. Perfil del arrecife Alacranes A—D .....	26
Fig. 13. Curvas acumulativas de sedimentos de la plataforma arrecifal de barlovento .....	48
Fig. 14. Curvas acumulativas de sedimentos del cebadal de <i>Thalassia</i> y del foso .....	49
Fig. 15. Curvas acumulativas de los sedimentos del fondo de la porción principal de la laguna .....	52
Fig. 16. Curvas acumulativas de los sedimentos del fondo de la porción celular de la laguna .....	53
Fig. 17. Curvas acumulativas de los sedimentos de los arrecifes interiores en barrera y reticulares .....	54
Fig. 18. Curvas acumulativas de los sedimentos de los pináculos y de las arenas de playa .....	55
Fig. 19. Curvas acumulativas de los sedimentos de la plataforma de barlovento y de la Sonda de Campeche .....	56

	Pág.
Fig. 20. Gráfica de los valores de $\sigma_I$ y $M_z$ de los sedimentos del arrecife Alacranes .....	57
Fig. 21. Gráfica de los valores del $Sk_I$ y $K'_G$ de los sedimentos de la plataforma arrecifal de barlovento .....	57
Fig. 22. Gráfica de los valores de $Sk_I$ y $K'_G$ de los sedimentos de los arrecifes internos .....	58
Fig. 23 Gráfica de los valores de $Sk_I$ y $K'_G$ de los sedimentos de la laguna .....	61
Fig. 24. Gráfica de los valores de $Sk_I$ y $K'_G$ de los sedimentos del fondo de la Sonda de Campeche y de las arenas de playa .....	62
Fig. 25. Registro del porcentaje de grava, composición y litificación de las muestras del pozo .....	75
Fig. 26. Curvas acumulativas de la M-1 y núcleos 5, 6, 7 y 8 del pozo .....	80
Fig. 27. Curvas acumulativas de los núcleos 10, 11, 14 y 17 del pozo .....	83
Fig. 28. Curvas acumulativas de los núcleos 23, 27, 29, 31 y 32 del pozo .....	85
Fig. 29. Curvas acumulativas de los núcleos 37, 42, 43, 44 y 46 del pozo .....	87
Fig. 30. Gráficas de los valores de $\sigma_I$ y $M_z$ de las muestras del pozo .....	88
Fig. 31. Gráfica de los valores de $Sk_I$ y $K'_G$ de las muestras del pozo .....	89

## TABLAS

Tabla 1. Distribución granulométrica de las muestras de fondo superficial .....	47
Tabla 2. Parámetros granulométricos de las muestras de fondo superficial .....	50
Tabla 3. Composición de las muestras de fondo superficial .....	59
Tabla 4. Distribución granulométrica de las muestras del pozo ..	76
Tabla 5. Parámetros granulométricos de las muestras del pozo ...	77
Tabla 6. Composición de la fracción menor de 4 mm, y mayor de 1/8 de mm, de las muestras del pozo .....	79
Tabla 7. Composición de la fracción menor de 4 mm, y mayor de 1/8 de mm, de las muestras del pozo .....	81
Tabla 8. Composición de Ca, Mg. y residuo insoluble de las muestras del pozo .....	91
Tabla 9. Composición aragonita-calcita, de las muestras del pozo .....	92
Tabla 10. Composición de las fracciones mayores de 4 mm, de la muestra 1 del pozo .....	121
Tabla 11. Composición de las fracciones mayores de 1/8 de mm, de la muestra 1 del pozo .....	122
Tabla 12. Materia orgánica y nutrientes de las muestras 1 a 3 del pozo .....	122
Tabla 13. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 5-1 del pozo .....	125

	Pág.
Tabla 14. Composición de las fracciones mayores de 1/8 de mm, Núcleo 5-1, del pozo .....	125
Tabla 15. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 6-1 del pozo .....	126
Tabla 16. Composición de las fracciones mayores de 1/8 de mm. Núcleo 6-1 del pozo .....	127
Tabla 17. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 6-2 del pozo .....	127
Tabla 18. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 6-3 del pozo .....	128
Tabla 19. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 6-4 del pozo .....	128
Tabla 20. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 6-5 del pozo .....	129
Tabla 21. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 6-6 del pozo .....	129
Tabla 22. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 6-7 del pozo .....	130
Tabla 23. Composición de la fracción mayor de 4 mm. Núcleo 6 del pozo .....	130
Tabla 24. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 7-1 del pozo .....	132
Tabla 25. Composición de las fracciones mayores de 1/8 de mm. Núcleo 7-1 del pozo .....	132
Tabla 26. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 8-1 del pozo .....	133
Tabla 27. Composición de las fracciones mayores de 1/8 de mm. Núcleo 8-1 del pozo .....	134
Tabla 28. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 9-1 del pozo .....	135
Tabla 29. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 10-1 del pozo .....	136
Tabla 30. Composición de las fracciones mayores de 1/8 de mm. Núcleo 10-1 del pozo .....	136
Tabla 31. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 10-2 del pozo .....	137
Tabla 32. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 10-3 del pozo .....	137
Tabla 33. Composición de la fracción mayor de 4 mm. Núcleo 10 del pozo .....	138
Tabla 34. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 11-1 del pozo .....	139
Tabla 35. Composición de las fracciones mayores de 1/8 de mm. Núcleo 11-1 del pozo .....	139
Tabla 36. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 11-2 del pozo .....	140

	Pág.
Tabla 37. Composición de las fracciones mayores de 1/8 de mm. Núcleo 11-2 del pozo .....	140
Tabla 38. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 11-3 del pozo .....	141
Tabla 39. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 11-4 del pozo .....	141
Tabla 40. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 11-5 del pozo .....	142
Tabla 41. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 11 del pozo .....	142
Tabla 42. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 12-1 del pozo .....	143
Tabla 43. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 12-2 del pozo .....	144
Tabla 44. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 12-3 del pozo .....	144
Tabla 45. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 12 del pozo .....	145
Tabla 46. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 13-1 del pozo .....	146
Tabla 47. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 13-2 del pozo .....	146
Tabla 48. Composición de la fracción mayor de 4 mm. Núcleo 13 del pozo .....	147
Tabla 49. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 14-1 del pozo .....	148
Tabla 50. Composición de las fracciones mayores de 1/8 de mm. Núcleo 14-1 del pozo .....	148
Tabla 51. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 17-1 del pozo .....	150
Tabla 52. Composición de las fracciones mayores de 1/8 de mm. Núcleo 17-1 del pozo .....	150
Tabla 53. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 17-2 del pozo .....	151
Tabla 54. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 17 del pozo .....	151
Tabla 55. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 23-1 del pozo .....	153
Tabla 56. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 23-2 del pozo .....	154
Tabla 57. Composición de las fracciones mayores de 1/8 de mm. Núcleo 23 2 del pozo .....	154
Tabla 58. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 23-3 del pozo .....	155
Tabla 59. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 23-4 del pozo .....	156

	Pág.
Tabla 60. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 23 del pozo .....	156
Tabla 61. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 24-1 del pozo .....	158
Tabla 62. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 24 2 del pozo .....	159
Tabla 63. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 24 del pozo .....	159
Tabla 64. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 25-1 del pozo .....	160
Tabla 65. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 27-1 del pozo .....	161
Tabla 66. Composición de las fracciones mayores de 1/8 de mm. Núcleo 27-1 del pozo .....	162
Tabla 67. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 27-2 del pozo .....	162
Tabla 68. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 27 del pozo .....	163
Tabla 69. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 28-1 del pozo .....	164
Tabla 70. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 28-2 del pozo .....	164
Tabla 71. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 28 del pozo .....	165
Tabla 72. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 29-1 del pozo .....	166
Tabla 73. Composición de las fracciones mayores de 1/8 de mm. Núcleo 29-1 del pozo .....	166
Tabla 74. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 29-2 del pozo .....	167
Tabla 75. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 29-3 del pozo .....	167
Tabla 76. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 29 del pozo .....	168
Tabla 77. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 31-1 del pozo .....	169
Tabla 78. Composición de las fracciones mayores de 1/8 de mm. Núcleo 31-1 del pozo .....	169
Tabla 79. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 32-1 del pozo .....	170
Tabla 80. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 32-2 del pozo .....	171
Tabla 81. Composición de las fracciones mayores de 1/8 de mm. Núcleo 32-2 del pozo .....	171
Tabla 82. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 32-3 del pozo .....	172

	Pág.
Tabla 83. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 32 del pozo .....	172
Tabla 84. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 37-1 del pozo .....	176
Tabla 85. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 37-2 del pozo .....	176
Tabla 86. Composición de las fracciones mayores de 1/8 de mm. Núcleo 37-2 del pozo .....	177
Tabla 87. Composición de la fracción mayor de 4 mm. Núcleo 37 del pozo .....	177
Tabla 88. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 42-1 del pozo .....	181
Tabla 89. Composición de las fracciones mayores de 1/8 de mm. Núcleo 42-1 del pozo .....	181
Tabla 90. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 43-4 del pozo .....	183
Tabla 91. Composición de las fracciones mayores de 1/8 de mm. Núcleo 43-4 del pozo .....	183
Tabla 92. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 43-5 del pozo .....	184
Tabla 93. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 43 del pozo .....	184
Tabla 94. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 44-1 del pozo .....	185
Tabla 95. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 44-2 del pozo .....	185
Tabla 96. Composición de las fracciones mayores de 1/8 de mm. Núcleo 44-2 del pozo .....	186
Tabla 97. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 44-3 del pozo .....	186
Tabla 98. Composición de la fracción mayor de 4 mm. Núcleo 44 del pozo .....	187
Tabla 99. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 45-2 del pozo .....	187
Tabla 100. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 45-4 del pozo .....	188
Tabla 101. Composición de la fracción mayor de 4 mm. Núcleo 45 del pozo .....	188
Tabla 102. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 46-1 del pozo .....	189
Tabla 103. Composición de las fracciones mayores de 1/8 de mm. Núcleo 46 1 del pozo .....	189
Tabla 104. Composición de las fracciones mayores de 4 mm. Núcleo 46-7 del pozo .....	190
Tabla 105. Composición de la fracción mayor de 4 mm. Núcleo 46 del pozo .....	190

## RESUMEN

Se ha efectuado un análisis complementario de los efectuados anteriormente en el complejo arrecifal de Alacranes con objeto de determinar los ambientes de sedimentación en términos de elementos fisiográficos y las comunidades bióticas que los ocupan.

Establecidas las probables secuencias sucesionales en los distintos elementos fisiográficos, se ha llegado a la conclusión provisional de que las sucesiones parciales convergen a cuatro comunidades climax del modo siguiente:

Frente arrecifal y aguas someras del talud de barlovento: asociación de *Acropora palmata*. Frente y aguas someras de los flancos en los arrecifes protegidos del talud superior de sotavento: asociación de *Acropora cervicornis*. Fondos lagunares y talud inferior de barlovento y sotavento: asociación de corales macizos y gorgonias. Estas tres comunidades climax ocupan biotopos que se caracterizan por niveles de energía cinética decreciente en el orden en que han sido enumerados. Otra comunidad climax, el cebadal de *Thalassia* ocupa las aguas protegidas extremadamente someras.

Los sedimentos del fondo superficial representados por las muestras recogidas al efecto, se han estudiado granulométricamente y mediante análisis de constitución; los resultados obtenidos, junto con los publicados anteriormente por Hoskin, Cann y Folk y Robles, se han puesto a contribución para obtener criterios que permitieran reconstrucciones paleoecológicas a base de los materiales obtenidos de un pozo exploratorio en isla Pérez.

A grandes rasgos, puede decirse que los datos granulométricos permiten distinguir los fondos muy someros constituidos por las cimbras de los arrecifes por una parte, de los fondos lagunares y fondos de la Sonda por otro. Por su parte los análisis de constitución permiten separar los fondos lagunares de los fondos de la Sonda.

El estudio granulométrico y de constitución de las muestras de subsuelo obtenidas en la perforación, revelaron que en las muestras obtenidas del fondo actual no está adecuadamente representada la fracción de gravas, lo cual comporta un error sistemático en la composición de las muestras, puesto que en las gravas gruesas dominan otros organismos que en las fracciones arenosas. Por otra parte, es precisamente la composición taxonómica de los organismos que contribuyen a formar las gravas gruesas, lo que permite la diferenciación entre las comunidades que forman los arrecifes protegidos y los arrecifes expuestos, dato que se ha utilizado para la reconstrucción paleoecológica. En futuros trabajos conviene elaborar métodos de campo más efectivos para el muestreo de las gravas.

Un resultado inesperado al comparar la granulometría de los fondos actuales con los materiales del subsuelo es la acentuada polimodalidad de estos últimos, lo que ha impedido una interpretación comparativa adecuada de los parámetros de unos y otros, pues es muy dudosa la significación geológica de los parámetros de distribuciones que se apartan mucho de la curva normal de probabilidad.

La perforación exploratoria atravesó una columna sedimentaria que puede dividirse en las porciones que se describen a continuación:

Desde el nivel del mar hasta los 33.5 m de profundidad se obtuvieron sedimentos sueltos, no litificados y esencialmente idénticos a los sedimentos actuales del arrecife; están constituidos por limo, arenas y gravas calcáreas sueltas y cabezas de coral. En conjunto están formados por cerca del 80% de fragmentos de corales; el resto lo constituyen restos de

*Halimeda*, moluscos y otros organismos. Se interpretan como depósitos del arrecife actual y concretamente, en el sitio de la perforación, como depósitos en un arrecife marginal o protegido.

La segunda porción, desde los 33.5 m y los 60.4 m de profundidad comprende sedimentos de la misma composición que los anteriores, por lo que se interpretan también como formados en un arrecife protegido o sus inmediaciones. Difieren no obstante por presentarse en capas de calizas bien litificadas con indicios de redisolución, interestratificadas con sedimentos sueltos, lo que indica una etapa de exposición subaérea.

La tercera porción, está formada por sedimentos calcáreos con restos de moluscos y otros organismos, pero virtualmente faltan los corales; también aquí hay capas de caliza bien litificada con indicios de redisolución, alternando con sedimentos sueltos; se interpreta esta porción como la cima de los sedimentos que constituyen la Sonda de Campeche.

La morfología comparada del arrecife Alacranes con los otros complejos arrecifales de la Sonda de Campeche y de la costa veracruzana del Golfo, sugiere que Alacranes se ha formado por el crecimiento en extensión de un arrecife que se ha llegado a fusionar con otros del mismo complejo, encerrando una porción del interarrecife para construir la actual laguna; esta tiende a desaparecer por un proceso de relleno ocasionado por la proliferación de arrecifes elementales protegidos, que tienden a convertir el conjunto en un arrecife en mesa.

Análisis químicos y de difracción de rayos X, han demostrado que tanto en el arrecife actual como en los materiales de subsuelo faltan por completo las dolomitas y calizas dolomíticas, y que la proporción aragonita-calcita varía con la naturaleza de los organismos constituyentes, pero no con la antigüedad de los sedimentos; en otras palabras, que no ha habido inversión aragonita-calcita en cantidades apreciables.

Las estimaciones sobre composición global de los arrecifes coralinos actuales, basadas en los porcentajes en que los restos de cada grupo de organismos están representados en las fracciones arenosas, conducen a cifras muy alejadas de la realidad, pues en la composición global predominan las gravas y bloques formados casi exclusivamente por corales. La estimación efectuada en el arrecife Alacranes tomando en cuenta las gravas arroja un porcentaje total de corales superior a los que corresponden a los otros constituyentes, en tanto que en las fracciones arenosas sola domina *Halimeda* sobre los demás.

En las calizas litificadas del arrecife antiguo y de los depósitos de la sonda no se han encontrado oolitas ni calizas oolíticas. Tampoco están representadas las calizas con mosaicos de calcita espática (esparitas). Estos elementos líticos tampoco existen en el arrecife actual ni en el moderno, pero sí en los fondos de la Sonda actuales como elementos relictos.

En la sección perforada del arrecife antiguo y de los depósitos de la Sonda, entre capas de caliza bien litificada se conservan sedimentos sueltos entre los cuales aparecen nódulos calcáreos que se consideran resultado de una litificación incipiente. Estos sedimentos sueltos y sus nódulos son muy similares a los depósitos cretosos que localmente llaman "sashcab" y son tan comunes en las Formaciones Carrillo Puerto y Bacalar que afloran en el norte y oriente de la península de Yucatán. Posiblemente algunos de los litoclastos estudiados por Harding son en realidad nódulos como los mencionados, en cuyo caso serían intraclastos más bien que litoclastos.

El arrecife Alacranes, como los demás de la Sonda, asienta en una terraza situada entre las isobatas de las 28 y las 35 brazas, que se supone tallada durante un descenso eustático del nivel del mar al final del Tazewell (Wisconsin) o al comienzo de la transgresión holocénica (11 000 años a.p.); la porción llamada "arrecife antiguo" habría crecido a medida del progreso de esta transgresión hasta llegar al nivel de otra terraza situada en la

actual isobata de las 18 brazas; ésta a su vez se habría formado por una estabilización temporal de la línea de costa e incluso de una regresión que dejase en seco momentáneamente el arrecife (8 000 años a.p.). Al reanudarse la transgresión, sobre el "arrecife antiguo" se proseguiría la edificación del arrecife moderno, representado en la primera porción del espesor perforado, hasta llevar al nivel actual (5 000 años a.p.).

Sobre la base de ciertas suposiciones, se estima que el "arrecife antiguo" habría crecido en un lapso de 3 000 años y aproximadamente otro tanto habría tardado en alcanzar su dimensión actual el arrecife reciente. Estas cifras presuponen una velocidad de crecimiento vertical que concuerda con las obtenidas por Hoffmeister y Multer en Florida.

Posiblemente algunas de las suposiciones enunciadas en los últimos párrafos podrán confirmarse o desecharse cuando se terminen las determinaciones petrográficas de aragonita-calcita y edad absoluta por el método del carbono catorce.

## INTRODUCCION

### DATOS HISTÓRICOS

El arrecife Alacranes fue conocido por los marinos españoles cuando menos desde el último tercio del siglo XVII a juzgar por los relatos sobre utilización de las focas de Alacranes para obtener carne, cuero y grasa (Gunter 1954 y Gilmore 1959, según Hoskin, 1963). En el mismo siglo aparece el arrecife en varias cartas marinas, pero hasta el siglo XIX no se publicó la primera carta detallada, basada en un levantamiento hidrográfico llevado a cabo por el Capitán Barnett al servicio del Almirantazgo Británico; la carta No. 373, cuya primera edición fue publicada por el Almirantazgo en 1838, ha constituido durante más de un siglo la única fuente de información disponible. En efecto, con ligerísimas modificaciones fue reproducida en la carta No. 1240 de la Oficina Hidrográfica de los Estados Unidos, publicada por primera vez en 1890 y que en 1922 alcanzó su edición 22 sin mayores modificaciones. Posteriormente fue incorporada a la carta 1233 de la misma oficina, cuya edición de 1958 (edis. 14) es virtualmente idéntica a la edición británica de 1838.

En 1865 Marion efectuó una visita accidental al arrecife Alacranes de la que da cuenta diecinueve años más tarde (Marion, 1884); transcribe en su trabajo una descripción del arrecife escrita por Kerhallet en 1853 que a su vez parece estar basada en el informe de Barnett (Hoskin, 1963).

Los estudios de Agassiz (Alexander) sobre arrecifes coralinos comprendieron una visita a Alacranes en el invierno de 1878-79; su descripción del arrecife aparece en términos casi idénticos en dos trabajos publicados respectivamente en 1878 y 1888.

A fines de siglo (1899) Millspaugh realizó una exploración botánica de las islas del arrecife; aparte de algunos datos florísticos publicados al año siguiente, su estudio de la vegetación no fue publicado sino hasta 1916.

Independientemente de algunos datos faunísticos o florísticos que puedan existir en trabajos taxonómicos, no parecen haberse publicado más trabajos que los anteriores mencionados sobre el arrecife Alacranes hasta estos últimos años.

En mayo de 1955, F. Bonet bajo los auspicios de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas de México, realizó un reconocimiento preliminar de los arrecifes de la Sonda de Campeche, exploración que en años posteriores se amplió a los arrecifes de los grupos de Veracruz y Anton Lizardo. Como resultado de estos estudios se puso de manifiesto que el arrecife Alacranes, por su tamaño, configuración y características generales resulta el más adecuado para obtener datos que pudieran servir de base a una comparación con los obtenidos recientemente de los arrecifes del Pacífico.

Por su parte, un grupo de científicos del Instituto de Ciencia Marina y del Departamento de Geología, ambos pertenecientes a la Universidad de Tejas, sometieron a la aprobación de la National Science Foundation un programa de investigación sobre el arrecife Alacranes, cuyos trabajos de campo comprenderían tres campañas de verano para ser desarrolladas en los años de 1959, 1960 y 1961.

Según acuerdo concertado entre el grupo de la Universidad de Tejas y la Universidad Nacional Autónoma, en los trabajos realizados en los años mencionados participaron conjuntamente dos equipos patrocinados respectivamente por ambas Instituciones.

A la cabeza del grupo de Tejas figuró el Dr. L. S. Kornicker que actuó de director en las dos primeras campañas y el Dr. Ch. M. Hoskin de la tercera; el primero se encargó principalmente de la geología superficial y aspectos ecológicos generales en tanto que el último estudió específicamente la sedimentología del arrecife. El Dr. R. L. Folk, A. S. Cotera, R. Robles y M. Hayes, estudiaron la sedimentología de las islas y barras arenosas. R. S. Cann efectuó sondeos sedimentológicos entre el arrecife y el puerto de Progreso. Algunos especialistas tuvieron a su cargo el estudio de ciertos grupos taxonómicos: Dr. T. Conover y W. Perkins (algas); Dr. H. Hildebrand (peces); W. Wright (moluscos). G. Cosh actuó como ayudante de campo y fotógrafo. En diversos aspectos del trabajo de campo intervinieron así mismo los señores D. W. Boyd, J. E. Klover y J. D. Powell.

El equipo del Instituto de Geología estuvo a cargo de F. Bonet, quien con la valiosa cooperación del Ing. A. Yáñez, se ocupó de diversos aspectos de ecología marina, vegetación y fauna de las islas, batimetría del interior del arrecife y geología del subsuelo. Ocasionalmente participaron en los trabajos de exploración el señor H. Chávez (peces) y la señora L. Huerta (algas). La fotografía submarina estuvo a cargo del Sr. R. Bravo (vistas fijas) y de A. Díaz (cinematografía) asistidos por los señores A. Arias y C. Durán.

Parte de los materiales colectados ha sido enviado a los especialistas respectivos para su estudio taxonómico; entre ellos puede citarse al Dr. F. Bayer (octocorales) del U. S. National Museum. A. Cheetham (briozoarios) así como T. E. Pulley y W. Rice (moluscos). El Dr. A. Ayala, del Instituto de Geología (UNAM) tiene a su cargo el estudio de los foraminíferos. Del Instituto de Biología (UNAM) deben citarse al Dr. E. Rioja † (anélidos), la Dra. M. Caso (equinodermos) y la Dra. L. Velázquez (lepidópteros). Deben añadirse también las determinaciones taxonómicas de E. Hidalgo (moluscos), el Dr. J. Rzedowski (fanerógamas terrestres); la Dra. A. Hoffmann (ácaros) y el Sr. D. Peláez (reptiles), todos ellos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (I.P.N.). Para terminar cabe mencionar que el Dr. L. S. Kornicker estudió taxonómicamente algunos moluscos y F. Bonet los exacorales y ciertos grupos de artrópodos terrestres.

Una parte de los resultados obtenidos en las tres expediciones permanecen aun inéditos; no obstante ha salido a la luz un trabajo de carácter general (Kornicker, Bonet, Cann y Hoskin, 1959) y otro sobre geología superficial y ecología (Kornicker y Boyd 1961, 1962). La vegetación de las islas, incluyendo datos sobre la fauna terrestre, aparece en Bonet y Rzedowski (1963);

L. Huerta (1961) escribió sobre las algas de los alrededores de Isla Pérez. Trabajos preliminares sobre foraminíferos han publicado Davis (1964) y González Arreola (1965). El Dr. Ch. M. Hoskin publicó en 1963 su tesis doctoral sobre la sedimentología del arrecife y hay un trabajo de Folk y Robles (1964) sobre las arenas de Isla Pérez. También puede mencionarse entre los resultados de los trabajos de campo una película en color, de fines didácticos, en la que se reseñan algunos métodos de trabajo utilizados y escenas de los principales ambientes de sedimentación del arrecife.

Por su parte, el Departamento de Oceanografía de la Texas A. and M. University, mediante su barco oceanográfico "Hidalgo", realizó los años de 1959 a 1962 una serie de campañas en la Sonda de Campeche, de la cual han resultado trabajos importantes por parte de J. L. Harding, R. S. Cann y S. W. Logan, cuyos resultados principales se mencionarán oportunamente.

#### AGRADECIMIENTOS

A todas las personas que de un modo u otro participaron en los dos equipos de exploración y en los trabajos de laboratorio debe reconocerse su efectiva colaboración en el trabajo de conjunto y sería inútil repetir aquí sus nombres. No obstante debe hacerse mención especial de los doctores S. L. Kornicker y Ch. M. Hoskin a quienes el equipo del Instituto de Geología es deudor de múltiples atenciones, particularmente por lo que se refiere a utilización de sus medios de transporte en el arrecife; en especial resultaron muy fructíferas las discusiones mantenidas con ellos sobre muchos de los problemas planteados.

Por lo que se refiere concretamente al desarrollo del presente trabajo, hay que mencionar, en primer lugar, a las autoridades del Instituto de Geología, particularmente a su director el Ing. Guillermo P. Salas, quien con su actividad incansable, no solo hizo posible la realización del proyecto aportando los no escasos medios materiales necesarios, sino aportando también su consejo y estímulo, llegando a participar en algunos trabajos de campo. En el Laboratorio de Sedimentología de la propia Institución a cargo sucesivamente de los señores R. Pérez Trejo, D. Renan Pérez Priego y Sra. Ing. C. Schlaepfer se efectuaron parte de los análisis granulométricos. El Ingeniero Químico A. Obregón efectuó la cuantificación de Ca y Mg así como del residuo insoluble de varias muestras. La determinación de aragonita-calcita por rayos X fue hecha por el Sr. D. Renan P. en el Laboratorio de Mineralogía y Petrografía bajo la dirección del Ing. E. Schmitter.

El Instituto de Recursos Naturales no Renovables, por intermedio de su señor Gerente Ing. Salvador Cortés Obregón, facilitó el equipo de perforación utilizado, así como el personal encargado de su manejo, dirigido por el perforador Sr. M. Pérez.

La Secretaría de la Marina Nacional, por órdenes del Sr. Subsecretario Contraalmirante Oliverio R. Orozco Vela, mantuvo comunicación por radiotelegrafía y especialmente hizo posible el transporte del equipo de perforación a bordo de la fragata "David Porter"; el concurso de su tripulación al man-

do del Capitán Amado Avila, posibilitó las tareas de desembarco y emplazamiento del equipo.

En los trabajos de gabinete, tales como análisis de las muestras, dibujo y otras tareas, intervinieron activamente primero el Sr. M. Trejo y posteriormente la señorita Guadalupe Blanco.

#### OBJETIVOS

En este trabajo se pretende fundamentalmente dar cuenta de los resultados obtenidos con el pozo perforado en Isla Pérez. Esta perforación fue proyectada con objeto de conseguir información sobre la estructura y composición del arrecife, historia sedimentológica del mismo, así como del zócalo submarino sobre el que se eleva. Dentro de lo posible se pretende obtener datos comparables con los obtenidos en las perforaciones de los atolones del Pacífico.

La interpretación correcta de las muestras de perforación requiere un estudio comparativo con los sedimentos que se depositan actualmente en el arrecife y sus alrededores; por esto, en las dos primeras campañas se obtuvieron datos batimétricos y ecológicos, así como muestras sedimentológicas de las cuales conviene dar cuenta también en este trabajo, pues aun cuando estos aspectos han sido tratados en detalle en otras publicaciones, algunos representan aportaciones complementarias de cierto valor.

Fue preocupación principal el obtener muestras que reunieran las mejores garantías de comparabilidad, es decir, que tanto las de sedimentos actuales como las obtenidas en la perforación, fueron sometidas dentro de lo posible a los mismos tratamientos y métodos, puesto que se consideró de primera importancia obtener datos sobre las primeras etapas de la litogénesis. Por esto, el lote de muestras estudiado en este trabajo es distinto al de las utilizadas por Hoskin. No obstante, se ha procurado, uniformar tanto los métodos de laboratorio, como la exposición de los resultados, con los utilizados por los demás autores que participaron en el proyecto.

Por consiguiente, el plan de este trabajo, consiste en exponer en una primera parte los datos complementarios sobre fisiografía, ecología y sedimentología del arrecife actual. En la segunda parte, se estudian los métodos utilizados y resultados obtenidos en la perforación. Como apéndices se dan las descripciones detalladas tanto de las muestras de fondo superficial como de las obtenidas en la perforación.

## EL ARRECIFE ALACRANES

### LA SONDA DE CAMPECHE

Se designa con este nombre el zócalo o plataforma submarina que prolonga la losa calcárea que forma la península de Yucatán hacia el N y W; también se usan intercambiamente las denominaciones Plataforma de Campeche, Plataforma de Yucatán, o Banco de Campeche. Parece conveniente tomar como límite de la Sonda la ruptura de pendiente que inicia el talud continental, que en la zona que nos interesa concuerda con la isobata de las 100 brazas. En estas condiciones la Sonda es coextensiva con la plataforma continental; hacia el N del puerto de Progreso presenta una anchura aproximada de 100-120 millas, ampliándose más hacia el NE (fig. 1).

El arrecife Alacranes es uno de los complejos arrecifales situados en la Sonda y por esto conviene indicar algunas de las características esenciales de esta última. Varios trabajos muy recientes han aumentado considerablemente la información correspondiente que con anterioridad se limitaba a los rasgos más importantes de la batimetría. Estos son la tesis de R. Cann (1962), en la que se estudia los sedimentos de la porción noroccidental de la Sonda, el de Williams (1963) sobre los sedimentos que cubren su porción externa, los de Logan (1961-1963) que versan sobre la secuencia de eventos que modelaron la morfología actual del banco, basándose entre otras cosas en determinaciones de edad por radiocarbono y el de Harding (1964) sobre la petrografía de los fragmentos líticos de la roca que forma el fondo de la Sonda por debajo de los sedimentos sueltos. Se recomienda la lectura de ellos para más amplia información aunque desgraciadamente a excepción del último, la mayoría son tesis aparecidas en publicaciones de circulación restringida y de algunos solo se ha podido tener conocimiento a través del trabajo de Harding. No obstante se cree indispensable resumir las conclusiones de Logan y Harding por ser de fundamental importancia para interpretar los resultados expuestos en este trabajo.

Paralelamente a la costa y al borde externo de la plataforma corren tres terrazas sumergidas situadas respectivamente una, entre las isobatas de las 60 y 50 brazas, otra entre las isobatas de las 35 y 28 y la tercera entre las de 20 y 16 brazas (fig. 2, b, c y d); cada una de ellas se interpreta como una antigua línea de costa que marca detenciones correspondientes durante los cambios eustáticos del nivel del mar (Logan). Así la terraza más antigua (60-50 brazas) tendría una edad de 14 000 a 18 000 años según determinaciones de  $C_{14}$ , es decir podría ser correlacionada con niveles semejantes (300 a 350 pies) de las plataformas de diversas partes del mundo, que atestiguarían el bajo nivel correspondiente al Tazewell (Wisconsin), según la interpretación de Fairbridge (1961). Otra "terrace" parece existir hacia los 450 pies de

profundidad pero su significación no está clara, pues pudiera ser anterior al Tazewell o incluso ser pre-Wisconsin (fig. 2, a).

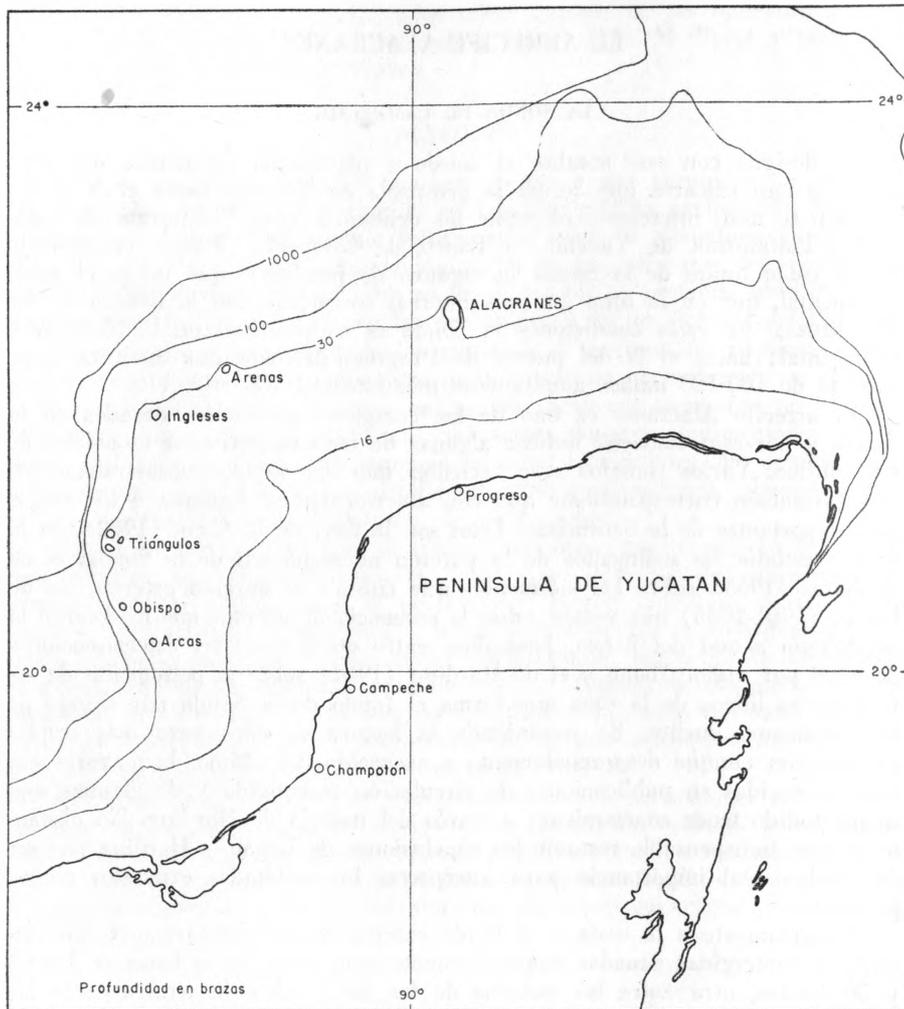


Fig. 1. Esquema de situación del arrecife Alacranes en la Sonda de Campeche.

Análogamente las terrazas más modernas como la de 35-28 brazas y la de 20-16 brazas representarían detenciones e incluso pequeñas reversiones de la transgresión Flandriense, o post-Wisconsin (Holoceno). Logan, de acuerdo con las interpretaciones de Curray, asigna como fechas aproximadas las de 11 000 años para un nivel del mar a 28-35 brazas y 8 000 años para el nivel a 16-20.

La terraza de las 28-35 brazas es especialmente interesante porque en ella asientan una serie de montículos submarinos de los cuales algunos soportan arrecifes vivientes como son, enumerados de sur a norte, los siguientes: Arcas, Obispo, Triángulos del E., Triángulos del W, Ingleses, Nuevo, Arenas y Alacranes. Es de notarse que todos los desarrollos arrecifales se encuentran en la porción de la Sonda, situada al oeste del meridiano de los 89°40' de longitud E. La porción oriental de la Sonda muestra características generales algo diferentes que no interesan directamente en conexión con el presente trabajo.

La isobata de las 30 brazas, que sigue aproximadamente la alineación de los montículos, ha servido a Harding (1964) para delimitar una "plataforma interna", entre la costa y dicha isobata de la "plataforma externa", que se extiende desde ésta hasta la ruptura de pendiente que inicia el talud continental (fig. 2). Ambas porciones de la Sonda presentan características peculiares, especialmente por lo que respecta a condiciones de sedimentación presentes y pasadas.

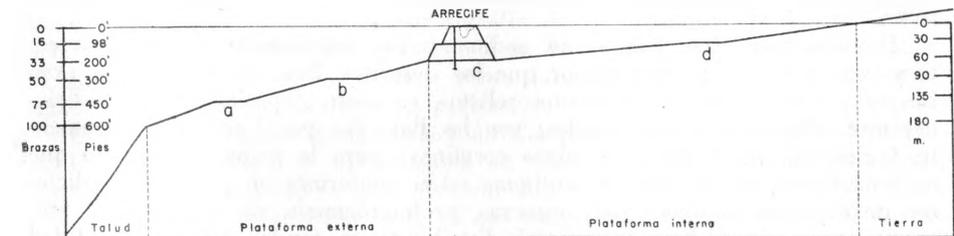


Fig. 2. Perfil esquemático de la Sonda de Campeche siguiendo una recta que pase por el arrecife Alacranes en dirección N-S. Las letras a, b, c y d marcan la posición de las terrazas. Escala vertical muy exagerada; sin escala horizontal.

El fondo de la Sonda está constituido por una delgada capa de sedimentos sueltos del Holoceno y Reciente, que reposan sobre calizas duras, bien litificadas, que en algunos lugares parecen estar al descubierto.

Los sedimentos sueltos, han sido estudiados principalmente por Cann (1963), Williams (1963) y Ahr (1963). De acuerdo con el primero de los autores pueden distinguirse tres facies sedimentarias principales que se disponen formando fajas concéntricas y paralelas a la línea de costa. La más interna, está caracterizada por un contenido relativamente alto de fragmentos de pelecípodos, corales y briozoarios en las fracciones mayores de 88 mm. así como un predominio de fragmentos de moluscos en la fracción arenosa; además es muy notable por la escasez de finos, consecuencia de su activa eliminación por las corrientes; esta facies sedimentaria predomina desde la costa hasta la isobata de las 10 brazas.

Otra faja, también paralela a las isobatas, se localiza a mayor profundidad que la de las 40 brazas, con excepción de una lengüeta situada inmediatamente al W del arrecife Alacranes; estos sedimentos se caracterizan como

cabría esperar por la abundancia de finos, y la presencia de foraminíferos arenáceos y planctónicos. El predominio de las fracciones menores de 1/16 de mm. refleja fielmente la acumulación resultante del aumento de profundidad con la correspondiente disminución de las corrientes; la lengüeta de sedimentos finos al poniente del arrecife a profundidades menores refleja la acción protectora de la masa arrecifal frente a las corrientes que predominantemente provienen del este.

Entre las dos fajas anteriores queda la comprendida entre las isobatas de las 10 y las 40 brazas que no solo es intermedia en posición sino también en la naturaleza de los sedimentos; éstos muestran características intermedias entre las que se encuentran en las fajas interna y externa. A estas tres facies sedimentarias, las designa Cann como facies de banco interna, media y externa; resultan del aumento gradual de profundidad y disminución progresiva de la velocidad de corrientes de fondo, de tal manera que los materiales de la facies interna ha sido virtualmente formado "in situ" mientras que los finos originados por la fragmentación de los restos esqueléticos han sido eliminados por las corrientes para ser redepositados en las fajas media y externa.

Hay además otras dos facies sedimentarias distribuidas discontinuamente y con extensión mucho menor que las descritas. Son no obstante de gran interés por ser tipos de sedimentos relictos, es decir, depositados en condiciones muy diferentes a las actuales; son las llamadas por Cann respectivamente, facies oolítica y facies de algas coralinas; para la primera, es claro que las investigaciones recientes y antiguas están conformes en postular condiciones de depósito en aguas muy someras, preferentemente de menos de 1 braza de profundidad. Esta facies está distribuida en fondos cuya profundidad actual oscila entre las 25 y las 40 brazas, coincidiendo aproximadamente con la segunda terraza mencionada anteriormente. Como por otra parte, toda la evidencia disponible sugiere que estos fondos oolíticos no han sufrido transporte apreciable, son testigos de un nivel del mar más bajo que el actual, concretamente, de la línea de costa que ocupaba la posición de la segunda terraza.

Otra contribución importante a la sedimentología de la Sonda es la de Harding (1964), quien utilizó métodos diferentes; de las muestras de sedimentos obtenidas por métodos convencionales extrajo los fragmentos líticos, es decir, partículas de caliza que se suponen arrancadas del fondo litificado de la Sonda. Así como los sedimentos sueltos, excepto en el caso de los sedimentos relictos, informan sobre las condiciones actuales de depósito, los litoclastos proporcionarían datos sobre las condiciones de depósito anteriores a la emersión de la plataforma por cambios eustáticos del nivel del mar, puesto que se considera condición indispensable para la litificación, la exposición del aire de los sedimentos calcáreos sueltos. Harding concluye que con anterioridad a la transgresión holocénica, durante el Wisconsin, o antes fue depositado fango calcáreo en la superficie limitada por las actuales isobatas de las 25 y 28 brazas, en aguas relativamente tranquilas por estar protegidas por la línea de montículos anteriormente mencionados; por lo menos algunos de ellos habrían sido originados según Harding por eolianitas o por dunas submarinas, simi-

lares a las que actualmente forman isla Mujeres. Es muy discutible la efectividad de la barrera formada por los montículos y desde luego, los resultados de este trabajo indican claramente que, al menos el montículo de Alacranes no está formado por arenas sino por un arrecife preexistente; lo que sí es evidente y confirma el presente trabajo, es que el depósito de fangos calcáreos ocurrió en la zona mencionada por Harding y con toda probabilidad el ambiente de baja energía necesario para el depósito de fangos, fue consecuencia de haberse efectuado a una profundidad suficiente sin necesidad de suponer barrera alguna.

Otra conclusión de dicho trabajo es que el máximo descenso del nivel del mar, después del depósito de los fangos y más próximo a los tiempos actuales ocurrió algo en exceso de las 55 brazas (330 pies); durante la transgresión holocénica ocurrieron detenciones más o menos largas alrededor de la posición de las actuales isobatas de las 50 y 30 brazas, a juzgar por el grado de recristalización de la matriz de los litoclastos que originalmente fue depositada como fango criptocristalino.

En una serie de trabajos publicados desde 1958 a la fecha, Butterlin y Bonet han puesto en claro la estratigrafía de la península de Yucatán. Por otra parte las perforaciones que Petróleos Mexicanos está efectuando en la Península, arrojaron datos valiosos sobre la geología del subsuelo. A continuación se resume la información pertinente.

Desde las cercanías de la ciudad de Campeche hacia el norte, a lo largo de la costa occidental y septentrional, en una ancha faja, afloran las calizas Carrillo Puerto, de edad no bien determinada, pero comprendida entre el Mioceno Medio y el Pleistoceno; son calizas compactas, de colores claros, de estructura micrítica, con abundantes moluscos fósiles, conservados la mayor parte de las veces como moldes huecos, por disolución de las conchas originales. De los microfósiles cabe mencionar entre otros foraminíferos, escasos miliólidos, anfistegínidos y peneróplidos más abundantes, *Gypsina* etc. (Lám. 17, fig. 2). Intercalados entre estas calizas hay unos depósitos calcáreos, friables, de aspecto cretoso que en la región llaman "shascab"; con este nombre se designan indudablemente materiales de orígenes diversos por lo que respecta a edad y proceso de formación; en parte, el shascab es un producto de descomposición edáfica de las calizas, pero hay también cretas blancas, muy friables que probablemente representan el mismo sedimento original de las calizas compactas que por algunas circunstancia ha permanecido sin litificar.

Sobre las calizas Carrillo Puerto, a lo largo de la costa, hay arenas calcáreas y otros sedimentos coquinoides poco o nada consolidados, de escaso espesor, muy ricos en moluscos, de edad holocénica o incluso actual. Por otra parte en el centro de la península dichas calizas sobreyacen discordantemente a la caliza y dolomita de la Formación Chichén Itzá, del Eoceno Medio y Superior. Esto supone probablemente una emersión desde fines del Eoceno hasta mediados del Mioceno. No obstante, los pozos de Chixulub y Zacapuc mostraron que a nivel de la costa norte, la secuencia de sedimentos marinos no presenta discontinuidad apreciable cuando menos desde el Cretácico Medio hasta el Plioceno.

Las calizas Carrillo Puerto se continúan hacia la Sonda de Campeche por debajo del delgado depósito de sedimentos sueltos. Es pues muy probable que el fondo litificado de la Sonda, que en algunas partes parece estar completamente al descubierto, no sea otra cosa que la cima de la caliza Carrillo Puerto. En la perforación efectuada en Isla Pérez, que se describe en el presente trabajo, se han encontrado por debajo del arrecife calizas idénticas macroscópica y microscópicamente a las calizas Carrillo Puerto a un nivel que corresponde precisamente al de la plataforma de las 35-28 brazas en que asienta el "montículo" que sirve de base al arrecife actual. Como se verá más adelante, dicho "montículo" no es otra cosa que otro arrecife más antiguo cuya cima quedó truncada a las 18 brazas por debajo del nivel del mar actual, es decir, precisamente al mismo nivel que la plataforma de las 16-20 brazas. Las terrazas de este nivel fueron talladas según Curray hace unos 8 000 años.

La secuencia de eventos que pueden inferirse de los datos expuestos anteriormente puede sumarse así:

1o.) El lugar ocupado por la actual costa septentrional de Yucatán ha estado continuamente sumergido cuando menos desde el Cretácico Superior, pero más al sur la península emergió en el Eoceno Medio y Superior.

2o.) En alguna época, entre el Mioceno Medio y el Plioceno, el mar avanzó transgresivamente hacia el sur cubriendo discordantemente terrenos emergidos desde el Eoceno Medio o Superior. El actual contacto entre las formaciones Carrillo Puerto y Chichén Itzá marcaría aproximadamente el límite meridional de la transgresión (Bonet y Butterlin).

3o.) No se conoce con exactitud la edad de la cima de la Formación Carrillo Puerto en la parte ahora emergida de la península; parece plausible suponer que es esta formación la que se continúa más allá de la costa actual para constituir el fondo firme y litificado de la Sonda. La cima de la porción actualmente litificada es anterior a la transgresión post-Wisconsin; y como la litificación es solo parcial por debajo de la cubierta dura superficial, parece lógico suponer que estos materiales fueron depositados en época no muy anterior al Tazewell, en otras palabras, que son del Wisconsin propiamente dicho o anteriores.

4o.) Es de suponer que durante el Pleistoceno ocurrieran regresiones durante las cuales quedase al descubierto casi toda la anchura de la Sonda; por otra parte, parece ser que alguna o algunas de las transgresiones correspondientes a los intervalos interestadiales penetraron más tierra adentro que la costa actual.

5o.) Durante la regresión correspondiente al Wisconsin, la emersión comprendió cuando menos hasta la posición actual de la isobata de las 60-50 brazas, (Harding 1964), es decir, que comprendió toda la plataforma interna y buena parte de la externa; es dudoso si el descenso máximo más reciente alcanzó las 75 brazas como pretende Logan (1963, según Harding 1964).

6o.) La transgresión Flandriense (Holoceno), que sigue al Wisconsin, progresó paulatinamente sufriendo detenciones temporales, materializadas por otras tantas terrazas de planación. Dos de ellas, muy bien marcadas en toda la periferia de la Sonda, representan dos líneas de costa sucesivas, una en la

posición de la actual isobata de las 60-50 brazas y otra en la de las 35-28 brazas. (Logan, Harding).

7o.) En la plataforma de las 35-28 brazas se alinean una serie de montículos, la mayor parte de los cuales están coronados por arrecifes coralinos actuales. A juzgar por los datos de la perforación, el montículo sobre el que se erige el arrecife Alacranes es a su vez otro arrecife más antiguo, cuya cima está arrasada al nivel de las 18 brazas.

8o.) El "montículo" o "arrecife antiguo" presenta el mismo grado de litificación que la terraza sobre la que descansa y por tanto habría estado sometido a una exposición subaérea. Esto pudiera implicar una edad preholocénica para dicho "arrecife antiguo".

9o.) Alternativamente, podría suponerse que el "arrecife antiguo" se iniciase al reanudarse la transgresión después de la detención que originó la plataforma, de las 35-28 brazas, (hace unos 11 000 años, según Curray) pero entonces habría de admitirse que al llegar la transgresión a la actual isobata de las 18 brazas, no solo hubiera habido una detención temporal en esa línea, sino una regresión durante la cual quedara expuesto el "arrecife antiguo".

10o.) Al rebasar de nuevo el nivel del mar la línea de las 18 brazas (8 000 años a.p. según Curray) se iniciaría el crecimiento del arrecife actual, llegando prácticamente tanto el arrecife como el nivel del mar a sus valores actuales hace unos 5 000 años (cronología de Curray, 1956).

#### SITUACIÓN Y CONFORMACIÓN GENERAL

El arrecife Alacranes, como los demás de la Sonda de Campeche, está implantado en la terraza de las 35-28 brazas, lo que implica estar situado como al comienzo del tercio exterior de la Sonda, unos 130 Km al norte de Progreso (fig. 1). Tiene una forma aproximadamente elíptica cuyo eje mayor estaría orientado en dirección NNW-SSE (Lám. 1 y fig. 3).

En varios trabajos se han descrito con cierta amplitud las condiciones generales de situación, forma, climatología, hidrografía, etc., así que se remite a estos trabajos para más amplia información; así en Bonet y Rzedowski (1962) puede verse la descripción de las islas, vegetación, y climatología. Folk y Robles (1964) describen detalladamente los sedimentos que forman las islas; Kornicker, Bonet, Cann y Hoskin (1960) así como Kornicker y Boyd (1962) y Hoskin (1963) describen ampliamente la morfología, fisiografía, hidrografía, ambientes de depósito, sedimentología, condiciones de desarrollo, etc. No obstante, aquí volverán a tratarse aquellos aspectos que se consideran indispensables para la interpretación de los resultados obtenidos en la perforación, de modo que permitan ligar los fenómenos actuales con los que ocurrieron durante el desarrollo del arrecife, así como aportar algunos datos no relacionados directamente con la perforación, pero que no han sido tratados en los trabajos anteriores.

#### CUESTIONES TERMINOLÓGICAS

Como en tantos otros campos científicos la terminología usada en el estudio de los arrecifes dista mucho de ser satisfactoria y es quizá esta una de

las causas de interminables discusiones al respecto basadas muchas veces más en diferencias semánticas que en divergencia de los puntos de vista propiamente dichos. Estas líneas no pretenden establecer y delimitar de una vez por todas el sentido y alcance que fuera deseable tuvieran los términos utilizados, sino simplemente aclarar en qué sentido o sentidos se usan en este trabajo.

Un caso típico es la cuestión de si el arrecife Alacranes es o no es un atolón. Está claro que la solución del pseudo-problema depende de la definición que se acepte del término atolón. Si como tal se consideran simplemente los agregados arrecifales más o menos cerrados alrededor de una laguna, prescindiendo de toda otra consideración con respecto al origen y características de los fondos circundantes, claro es que Alacranes satisface a esa definición. Pero esto no implica que este arrecife sea homólogo de los grandes atolones del Pacífico. De hecho, si como Wiens, se considera que un verdadero atolón no solo debe contener una laguna central, sino elevarse desde los grandes fondos oceánicos como ocurre con los atolones del Pacífico, entonces Alacranes no es un atolón.

Quizá es más importante aclarar que por su constitución, estructura, morfología y origen, Alacranes, a pesar de poseer una laguna, es mucho más similar a los demás arrecifes en mesa de la Sonda que a cualquier verdadero atolón. Por otra parte el origen de la laguna de Alacranes parece ser muy diferente de la de los verdaderos atolones.

Otro problema terminológico que plaga la literatura sobre arrecifes orgánicos no reside tanto en determinar que es arrecife o qué cosa deja de serlo, sino la extensión con que se emplea esta palabra; decimos que Alacranes es un arrecife y lo mismo puede decirse de Eniwetok, de Okinawa o de la Gran Barrera de Australia; pero también se habla de el *arrecife* de barlovento, o del *arrecife* exterior de Alacranes; aún más, cualquier extensión en que crezcan los corales dentro de una zona arrecifal se llama también "arrecife", por ejemplo los arrecifes en parche, los micro-atolones, los pináculos, etc., son también "arrecifes". No pretendo aquí resolver el problema sino dejarlo apuntado, e indicar que cuando interese señalar que un "arrecife" forma parte de otro arrecife de orden superior, se le designará en este trabajo como arrecife elemental.

Puede ser útil en este contexto el término "complejo arrecifal" utilizado de manera análoga a la de Kornicker y Boyd (1962), para el conjunto de materiales sedimentarios derivados de un arrecife o conjunto de arrecifes suficientemente próximos para interactuar significativamente desde los puntos de vista fisiográfico, sedimentológico y biológico. Así, constituirían complejos tanto arrecifes aislados, como el de isla Lobos o grupos de arrecifes próximos como los del grupo Arcas o incluso arrecifes múltiples con estrechas relaciones de continuidad como en el caso de Alacranes.

## MORFOLOGIA

### CARACTERES GENERALES

Considerando en conjunto, el complejo de Alacranes, tiene en el plano una forma aproximadamente elíptica (Lám. 1 y fig. 3) con su eje mayor orientado de NNW a SSE. Su longitud máxima es unos 25 Km por una anchura de 14. Su borde nordoriental, que es el de barlovento, es regularmente convexo en comparación con el borde que mira al SW, (sotavento) que en conjunto es casi rectilíneo con dos sinuaciones poco marcadas.

En el sentido de la profundidad el complejo se eleva abruptamente sobre la terraza de las 35-28 brazas indicada al tratar de la Sonda de Campeche; su cima está ligeramente inclinada pues mientras el borde de barlovento alcanza virtualmente el nivel del mar, el de sotavento queda en general a unos 7 a 12 m de profundidad. En realidad el complejo no se implanta directamente sobre la terraza, sino sobre un pedestal o montículo cuya base, hacia el sur está aproximadamente a los 52 m (28 brazas) y hacia el norte a los 55 m (30 brazas); la cima del pedestal está hacia los 33-34 m (18 brazas) y se marca, no solo por un cambio acentuado de la pendiente, sino por otras peculiaridades que se describirán más adelante.

El complejo está enmarcado por un amplio "arrecife marginal" que delimita una depresión o "laguna"; ésta a su vez incluye un complicado sistema de "arrecifes interiores". Atendiendo a la distribución de estos arrecifes interiores la laguna puede dividirse en tres partes. Una porción central subdividida en pequeñas lagunetas por una densa red de arrecifes lineales (arrecifes reticulares); otras dos porciones situadas respectivamente, una al S, y otra al NW y W, presentan escasos arrecifes interiores, son esencialmente de aguas libres que alcanzan hasta 25 m de profundidad y en conjunto constituyen la laguna propiamente dicha.

Todo el complejo arrecifal está sumergido; solo emergen de la superficie del mar seis o siete islas o cayos arenosos de muy escasa extensión, conocidos con los nombres de islas Pérez, Pájaros, Chica, Desertora, Desaparecida y Desterrada; de estas las penúltima desaparece bajo las aguas ocasionalmente y vuelve a formarse bajo determinadas condiciones de las corrientes marinas; Desterrada está formada en realidad por dos cayos. Todas ellas están formadas exclusivamente por arenas y gravas biógenas, cuya descripción detallada puede verse en Folk y Robles (1964); aquí se indicará que falta todo indicio de rocas consolidadas tales como la roca de playa (beach rock) que existe por ejemplo en otros arrecifes de la Sonda (Cayo Arenas). Una descripción detallada de las islas, su vegetación, fauna y cambios de forma así como mapas de todas ellas, puede verse en Bonet y Rzedowski (1962). En isla Pérez, la más extensa de las islas y la única habitada permanentemente, es donde se efectuó la perforación de que se da cuenta más adelante.

## DATOS COMPARATIVOS

Puede ser de algún interés comparar la conformación general de Alacranes con otros complejos arrecifales de la propia Sonda de Campeche. Ya se ha dicho que cada uno de ellos se alza sobre el correspondiente pedestal erigido sobre la terraza de las 35-28 brazas.

Por ejemplo, el complejo de Arcas está elevado sobre un montículo cuya cima, delimitada por la isobata de las 10 brazas (18 m), sirve de pedestal común a ocho arrecifes independientes, cuatro de ellos de gran tamaño, que se elevan hasta el nivel del mar; uno de ellos, sobre el que se levanta Cayo Centro, es mucho más grande que los demás, tiene forma de media luna, fuertemente convexa hacia barlovento (NE) con dos largos brazos o cuernos que apuntan hacia el W. Esta forma sugiere que el crecimiento en superficie más rápido no solo es precisamente en el centro del frente arrecifal de barlovento sino prolongándolos de tal manera que tiendan a circunscribir un espacio central. El Cayo Oeste, soportado por un arrecife de la misma forma y orientación pero mucho más pequeño, no está lejos del extremo del brazo meridional de Cayo Centro con el cual terminará fusionándose a poco que éste crezca.

El complejo de Arenas también está implantado sobre un pedestal semejante, con la diferencia de que la cima del mismo, circunscrita por la isobata de las 10 brazas, da asiento en su periferia a los cuatro arrecifes, quedando en el centro una poza que alcanza una profundidad máxima de 15 brazas. También aquí los arrecifes individuales tienen forma de media luna con su convexidad hacia el NE. El más extenso es el situado al oriente y sus dos brazos apuntan y quedan próximos a los otros arrecifes.

Cada uno de los arrecifes elementales de los complejos de Arcas y Arenas son del tipo de los arrecifes en mesa, también llamados en plataforma; es decir, su superficie está al nivel del mar y no poseen laguna central; el estudio detenido de la Carta Hidrográfica respectiva sugiere que un pequeño crecimiento de los brazos del mayor de los respectivos arrecifes, provocaría la coalescencia de los arrecifes elementales de cada complejo, quedando en el centro una "laguna" más o menos abierta hacia occidente. La inferencia de que el complejo Alacranes haya podido resultar de un mecanismo semejante resulta obvia. También en Alacranes es clara la forma de media luna con la convexidad al NE; el crecimiento de los dos brazos englobado o no a otros arrecifes elementales en sus extremos, explicaría los rasgos fundamentales de su morfología. La parte central sería la más antigua y por tanto ha tenido ocasión de desarrollar el complicado sistema de arrecifes reticulares. Sus dos extremos, de crecimiento más rápido, han englobado porciones de sotavento que hoy constituyen las porciones más profundas, y más jóvenes de la laguna.

Sobre la posibilidad de que sobre el pedestal de Alacranes hayan surgido, no uno sino varios arrecifes elementales que hayan quedado englobados en el proceso de crecimiento, debe observarse la presencia de dos montículos uno al E y otro al W del arrecife principal en el paralelo que pasa por isla Pérez (figs. 4 y 5) y que representan muy probablemente arrecifes implantados en el mismo pedestal y cuya cima no llega al nivel del mar.

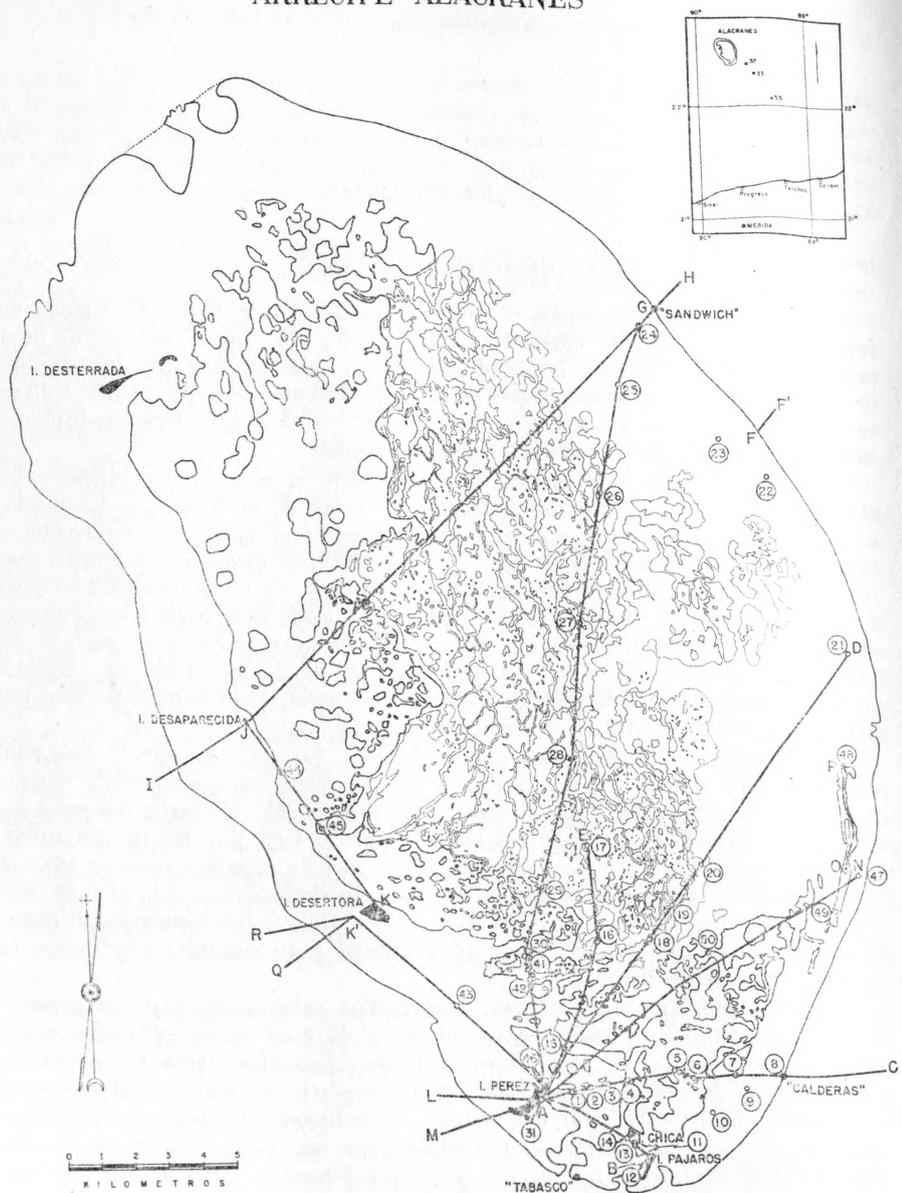


Fig. 3. Mapa del Arrecife Alacranes basado en un mosaico aerofotográfico y el mapa provisional publicado en el trabajo de Kornicker, Bonet, Cann y Hoskin, 1959, con modificaciones. Las islas en negro; porción principal de la laguna limitada con trazo más grueso; el trazo delgado corresponde a la porción celular. Los números incluidos en círculos indican la situación de las estaciones. También se señalan los perfiles de las figuras 5 a 12 y los de la lámina 2. Nótese que el número de estación no siempre coincide con el número de las muestras de fondo.

La extrapolación del proceso sugerido lleva a suponer que a medida que la porción celular de la laguna vaya quedando colmada por los sedimentos, las partes principales de la laguna desarrollarán arrecifes reticulares que en definitiva quedarán colmados a su vez resultando al final un arrecife en mesa de cuyo complejo origen no quedarán muchos rastros.

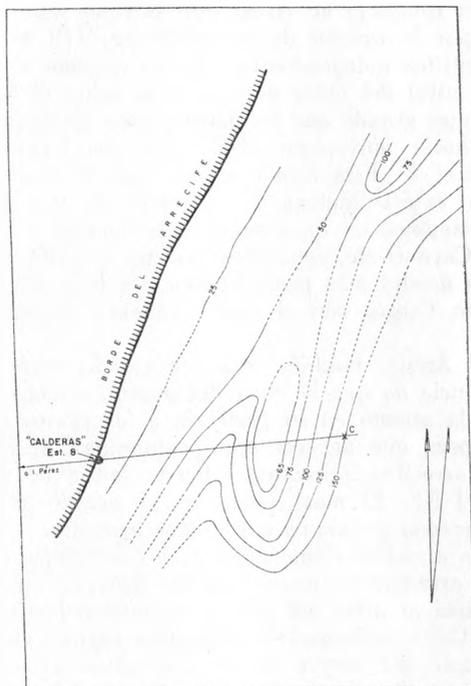


Fig. 4. Configuración aproximada, no a escala, del montículo submarino situado al E de "Calderas". Véase la porción Est. 8-C del perfil L-C, figura 5. Isobatas en pies.

#### MÉTODOS

Como mapa de base se utilizó el elaborado por Kornicker, Hoskin, Compton y Cann a base de un mosaico aéreo fotográfico. Este mapa y el mosaico correspondiente, han aparecido en las publicaciones de Kornicker, Bonet, Cann y Hoskin (1959), y Kornicker y Boyd (1962). Aquí se incluye una composición fotográfica retocada, a base del mosaico (Lám. 1) y un mapa corregido por las observaciones de campo con la situación de las estaciones donde se obtuvieron muestras y de las transecciones efectuadas. En estas últimas se obtuvieron perfiles batimétricos continuos mediante un eco sonda portátil y que, después de ajustados a una escala horizontal aproximada, son los incluidos en las figuras 5 a 8 y 9 a 12; otros perfiles sin ajustar se incluyen en la Lá-

mina 2. A lo largo de cada transección se tomaron muestras biológicas y muestras de fondo, bien en buceo libre o con escafandra autónoma o usando una pequeña draga de tipo Petterson. Las observaciones ecológicas detalladas se hicieron en zonas elegidas dentro o fuera de las transecciones. La situación de las estaciones se hizo por intersección inversa tomando rumbos con una brújula marina al faro de isla Pérez, el de isla Desterrada y a los pecios que previamente fueron situados en el mapa de base; las situaciones obtenidas por este procedimiento son de una exactitud muy relativa, pero suficiente para los fines perseguidos.

## AMBIENTES SEDIMENTARIOS

### GENERALIDADES

Los factores que influyen en la formación, transporte, depósito y consolidación de los sedimentos son muy numerosos y no se pretende aquí hacer ni el más somero análisis de ellos. La intensidad y modalidades de acción de cada factor no varía al azar en la extensión del complejo arrecifal sino que en gran escala vienen determinadas por las condiciones fisiográficas de cada lugar y éstas a su vez dictan las condiciones de desarrollo de los organismos capaces de vivir en él.

En principio, los factores de orden mecánico y físico-químico quedan integrados en lo que pudieran denominarse características fisiográficas mientras que las características bióticas engloban los factores determinados por los seres vivientes. A continuación se van a describir los elementos fisiográficos del complejo Alacranes y en cada uno de ellos se mencionarán las comunidades bióticas más notables, sin entrar en su descripción.

### LOS ELEMENTOS FISIOGRAFICOS

Como ya se ha indicado el complejo de Alacranes puede dividirse en arrecifes marginales y laguna; conviene describir independientemente los arrecifes marginales de barlovento y sotavento pues muestran marcadas diferencias. Por otra parte, la laguna se considerará dividida en porción celular y laguna propiamente dicha.

### ARRECIFE MARGINAL DE BARLOVENTO

Sus características fisiográficas muestran un alto grado de zonación de tal manera que también las biocenosis se disponen en zonas o fajas paralelas. Una línea continua de rompientes marca la posición del frente arrecifal; entre él y los fondos de la Sonda se extiende el talud arrecifal de barlovento que a su vez puede dividirse en tres zonas. Detrás del frente, en dirección a la laguna se extiende la plataforma arrecifal.

El talud arrecifal puede dividirse en una porción inferior y otra superior. La primera comprende desde el fondo de la Sonda, que en los alrededores de Alacranes va desde las 28 brazas (51.5 m) en el sur a las 30 brazas (55 m) en el N, hasta un quiebre de pendiente, con frecuencia bien marcado y situado cerca de las cinco brazas (ca. 10 m). Es esta una de las porciones menos conocidas del arrecife, por las dificultades de exploración; hacia los 33 m (18 brazas o 108 pies) de profundidad, hay una marcada inflexión del perfil (fig. 9) que permite subdividir la porción inferior del talud en una parte externa, que

corresponde al "montículo" o "arrecife antiguo" cuya cima está a los 33 metros y una parte interna, entre los 33 y los 10 m, que corresponde al arrecife actual.

Sobre los biotas que se encuentran en la parte externa del talud inferior solo se sabe que hay briozoarios y algunos corales implantados sobre nódulos de algas calcáreas muertas, que según Logan, serían reliquias pleistocénicas; en efecto, en la parte correspondiente de la perforación se han encontrado nódulos de algas calcáreas (Lám. 15, figs. 1 y 2).

La parte interna del talud inferior presenta la asociación de corales macizos y gorgonias, representada aquí por escasas y muy esparcidas colonias de *Montastrrea annularis* de gran tamaño, colonias hemisféricas de *Diploria labyrinthiformis*, y corales córneos, de los géneros *Gorgonia*, *Plexaura* y *Plexaurella* también escasos y distanciados; vista esta parte del arrecife mediante inmersión con escafandra autónoma (SCUBA), presenta el aspecto de un desierto de bloques formados por fragmentos de coral muerto, de tamaño muy variable entre unos decímetros y varios metros, aparentemente desprendidos desde niveles más altos durante las tempestades; abundan las paredes verticales y cavernas. Los fragmentos de coral muerto están soldados unos a otros por algas coralináceas de manera que la superficie de esta parte del talud es firme y los sedimentos sueltos son muy escasos y formados por arenas y gravas acumuladas en los intersticios y depresiones; es en esta parte del talud donde se esperaría encontrar los sedimentos que los geólogos llaman del "pre-arrecife"; de hecho, la pared constituida por una trama rígida de esqueletos coralinos soldados, más bien corresponde al concepto un poco abstracto de "núcleo arrecifal" de la literatura geológica.

Es muy posible, que los derrubios con fuertes buzamientos primarios que se encuentran en algunos arrecifes fósiles sean más bien, cuando menos en parte, el resultado de la erosión del talud arrecifal, no precisamente durante el período de crecimiento del arrecife, sino más bien a medida que se van acumulando los sedimentos encajantes, cronológicamente posteriores al arrecife; en otras palabras el "pre-arrecife" comprendería ciertamente elementos arrancados del "núcleo" arrecifal pero esencialmente resultaría de un proceso "post-mortem".

La porción superior del talud de barlovento entre 10 m de profundidad y el nivel del mar, también está constituida esencialmente por una pared de roca arrecifal, menos escarpada que la porción inferior, pero también constituida por esqueletos de coral soldados por algas coralináceas. Aquí es el dominio de la biocenosis de *Acropora palmata*, formada por densos bosques de esta madrepora fuertemente ramificada, que absorbe en gran parte la energía cinética del oleaje, dividiendo el agua aportada en multitud de chorros de escasa efectividad. La densidad de *A. palmata* varía mucho de unos lugares a otros; donde es menos densa puede estar mezclada con *A. cervicornis* que incluso puede dominar localmente. Otro elemento muy conspicuo de esta asociación es el coral de fuego, *Millepora alcicornis* que también se encuentra en otras biocenosis. Otras colonias de madreporas de menor tamaño corresponden a *Porites astreoides*, *Siderastrea siderea* y otros. Las superficies libres están cubiertas y protegidas en gran parte de la acción del oleaje por las densas colonias de consistencia correosa formadas por la actinia colonial

*Palythoa mammillosa*. En la parte más alta, a una profundidad de 1/2 m, falta *Acropora palmata*, ya en el borde del frente arrecifal.

Es precisamente en el talud superior donde se desarrolla el sistema de surcos y arbotantes tan característico en los arrecifes expuestos. En este caso está bien desarrollado en buena parte el arrecife de barlovento aunque también excepcionalmente al sur de isla Pérez, situada casi a sotavento, pero donde azotan fuertes temporales en la temporada invernal. Hay detalladas descripciones y excelentes fotografías de los surcos y arbotantes de Alacranes en Kornicker y Boyd (1962) y Hoskin (1963).

El frente arrecifal queda señalado por la línea continua de rompientes, a lo largo de la cual se encuentran amontonamientos irregulares de fragmentos de coral que pueden elevarse hasta medio metro por encima del fondo, pero que solo quedan al descubierto durante las bajas mareas; al conjunto de estos montones se ha denominado "parapeto de bloques" pero entiéndase que no se trata de una estructura continua y que su desarrollo es muy variable faltando por completo en muchos lugares. Los fragmentos coralinos están cubiertos y protegidos por capas continuas de *Palythoa mammillosa*; abundan las algas calcáreas incrustantes y numerosos equinodermos, especialmente la especie de largas y ponzoñosas espinas *Diadema antillarum*. El parapeto de bloques, por su posición, es en cierta manera homólogo de la llamada "ceja de coralinas" de los arrecifes del Pacífico. Cabe apuntar, así mismo, la ausencia de grandes bloques de varios metros cúbicos de roca coralina (nigger heads) que en otros arrecifes sobresalen tan conspicuamente de la superficie del mar tal como ocurre por ejemplo en Arrecife de Enmedio, cerca de Anton Lizardo.

En esta parte del arrecife algunos de los surcos de la porción superior del talud, cortan a través del frente y comunican directamente el mar abierto con las aguas interiores; son los canales de surgencia de los cuales en Alacranes solo hay dos, situados en el lugar denominado Los Anegados y que han sido descritos por Kornicker, Bonet, Cann y Hoskin (1959).

Entre el parapeto de bloques y los bordes de la laguna, se extiende la explanada arrecifal; como su nombre lo indica es una superficie esencialmente plana con muy ligera inclinación general, de modo que en las inmediaciones del parapeto de bloques tiene una profundidad de cerca de 50 cm en marea baja, alcanzando hasta cerca de tres metros en lugares próximos a la laguna. Puede dividirse en dos porciones: explanada externa cubierta por un pavimento de fragmentos de coral muerto y una explanada interna de fondo arenoso; en el límite entre ambas existen algunas depresiones largas y estrechas a las que se han denominado fosos (figs. 5, 6, 9, 10 y 12).

La explanada externa tiene el fondo cubierto por fragmentos madreporicos muertos que frecuentemente alcanzan diámetros de 20 a 30 cm, si bien en conjunto disminuyen de tamaño a medida que aumenta su distancia al parapeto de bloques; todos estos fragmentos proceden de la parte alta del talud, pues predominan los de *A. palmata*. Las coralináceas incrustantes cubren y sueldan entre sí los fragmentos muertos, de modo que aunque estos no estén adheridos al substrato, sí pueden estarlo a los fragmentos circundantes, de tal manera que al coger uno de ellos se levanta al mismo tiempo un enrejado de bloques. La arena se deposita en pequeñas cantidades entre los bloques de coral, es-

pecialmente en las grietas y depresiones. Los elementos de la fauna y flora no son muy conspicuos; aquí y allá hay pequeñas colonias de *Porites astreoides* relativamente frecuentes y en menor número las de *Favia*, *Diploria*, *Porites porites*, etc., pero todas ellas de pequeño tamaño y en conjunto, solo cubren una pequeña porción del fondo. La escasez de corales se acentúa mucho al aumentar la distancia al parapeto de bloques, al mismo tiempo que disminuye el tamaño de los clásticos dominantes que pasan sucesivamente de bloques a gravas y de gravas finas a arena gruesa. Hay manojos de *Halimeda* y otras algas numerosas pero poco visibles. Abundan gasterópodos tales como *Astrea* y varias especies de *Strombus*, entre ellas *S. gigas*; también abunda *Holothuria nigra* y otras especies de menor tamaño. Entre bloques y gravas se alberga una rica y variada fauna de elementos poco visibles y de menor importancia desde el punto de vista sedimentológico.

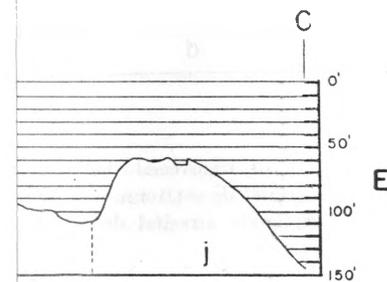
En los límites más o menos convencionales entre explanada externa e interna existen unas depresiones largas y estrechas, de profundidad que oscila entre los 7 y los 14 metros cuyo eje es paralelo al borde del arrecife; son los "fosos" (Lám. 8, fig. 1) de los cuales hay uno de gran tamaño (fig. 6) que se muestra claramente en todos los mapas y fotografías aéreas. (Lám. 1). Estas estructuras, cuya significación no está clara, son de carácter local y distan mucho de construir un foso continuo a lo largo del arrecife de barlovento como se describió en otra ocasión.

La explanada interna presenta un fondo arenoso-fangoso; típicamente está cubierta por densas praderas de hierba de la tortuga (*Thalassia testudinum*); esta planta es una monocotiledónea cuyas raíces y rizomas forman un denso fieltro cuyas mallas funcionan como trampas de sedimentos. Localmente estas praderas submarinas se conocen con el nombre de cebadales; varias especies de hidrozoarios, briozoarios, serpúlidos e incluso algas calcáreas viven epifíticamente sobre las hojas de *Thalassia*; otras dos especies de monocotiledóneas *Cymodocea manatorum* y *Diplanthera wrightii* pueden mezclarse en mayor o menor cantidad con los ejemplares de *Thalassia* llegando incluso a dominar localmente.

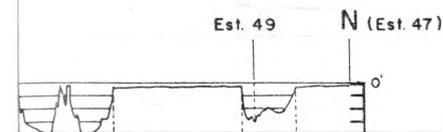
Una peculiaridad notable de los cebadales es la presencia de calveros, o sea depresiones de forma semicircular, desprovistas de vegetación y mostrando al descubierto el substrato arenoso; en el borde las raíces y rizomas de *Thalassia* están cortados verticalmente, por lo que se supone que están producidos por las olas durante las tempestades (Hoskin, 1963).

En la explanada interna, además de los cebadales existen fondos arenosos similares a los de la plataforma externa y a los de otras porciones del complejo arrecifal. Como su nombre lo indica son extensiones cubiertas con arena y aspecto desértico por no haber elementos del bentos fijo suficientemente conspicuos; en principio, la biocenosis correspondiente se la designa aquí provisionalmente como asociación de *Halimeda-Penicillus*, si bien ambos elementos pueden ser muy raros e incluso faltar por completo; al lado de considerables extensiones abióticas en apariencia, hay porciones con abundantes montículos arenosos de unos 30 cm de diámetro por unos 10 m de altura, producidos por organismos cavadores probablemente pertenecientes a diversos grupos taxonómicos. A veces los únicos seres vivos discernibles a simple

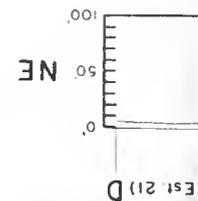
OCO PRECISA, DEL ORDEN DE 1:25.000.



d) talud de sotavento, parte explanada arrecifal de bar-



porción celular, con arrecifes reticulares;



FIGS. 9 a 12. PERFILES DEL ARRECIFE TOMADOS CON ECO-SONDA. DIMENSIONES VERTICALES MUY EXAGERADAS; ESCALA HORIZONTAL MUY POCO PRECISA, DEL ORDEN DE 1:25.000.

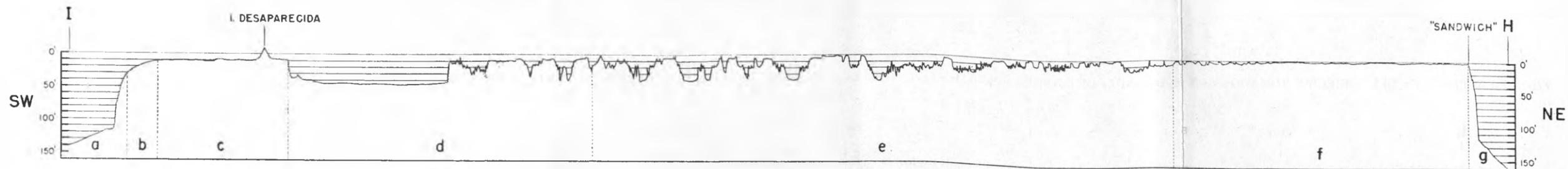


Fig. 9

Perfil transversal del arrecife (I-H) entre isla Desaparecida y el "Sandwich", a) talud de sotavento, parte inferior; b) talud de sotavento, parte superior; c) explanada arrecifal de sotavento con isla Desaparecida; d) laguna, parte principal, mostrando algunos arrecifes en parche y pináculos; e) laguna, porción celular, con arrecifes reticulares; f) explanada arrecifal de barlovento; g) talud de barlovento.

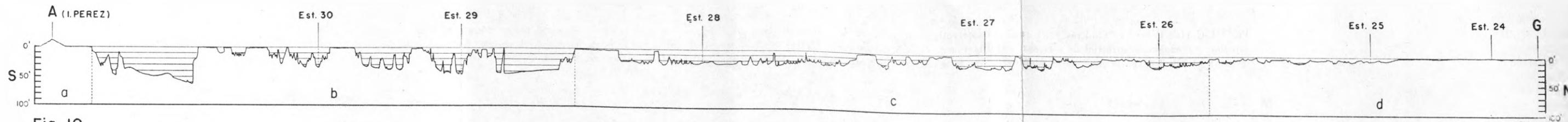


Fig. 10

Perfil A-G, entre isla Pérez y el "Sandwich"; a) explanada arrecifal de sotavento, con isla Pérez; b) laguna, porción principal con arrecifes internos en parche, barrera y pináculos; c) laguna, porción celular con arrecifes reticulares; d) explanada arrecifal de barlovento.

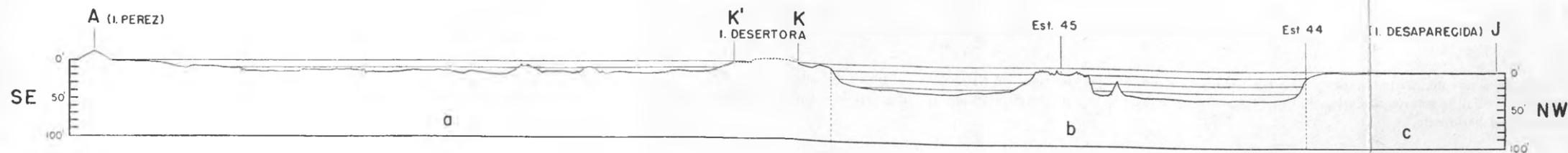


Fig. 11

Perfil A-J, entre isla Pérez, isla Desertora e isla Desaparecida; este perfil es casi paralelo al borde de sotavento del arrecife; a) explanada arrecifal de sotavento con isla Desertora; b) laguna, porción principal con un arrecife en parche y un pináculo; c) explanada arrecifal de sotavento con el banco arenoso de isla Desaparecida.

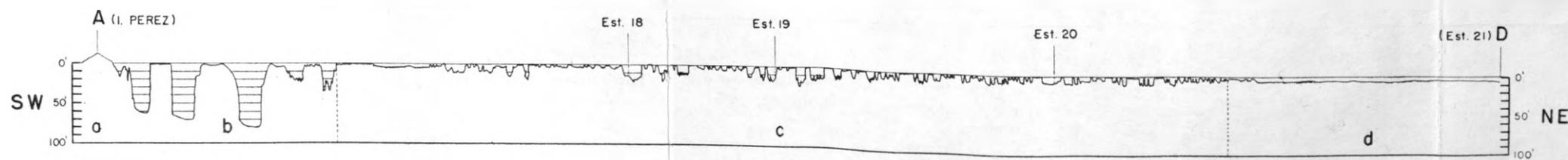
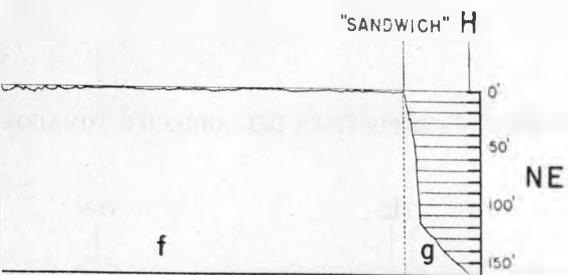
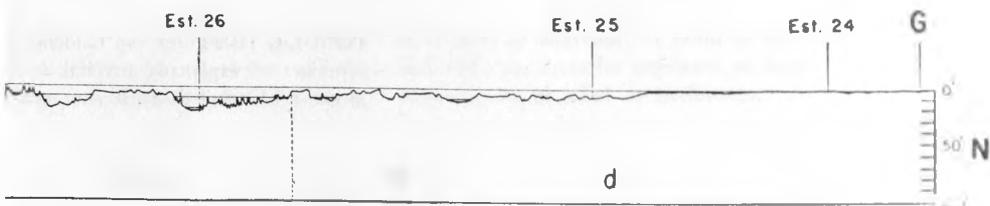


Fig. 12

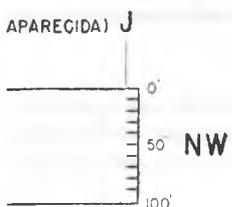
Perfil A-D; a) explanada arrecifal de sotavento con isla Pérez; b) laguna, porción principal, con arrecife en parche; c) laguna, porción celular, con arrecifes reticulares; d) explanada arrecifal de barlovento.



vento, parte superior; c) explanada celular, con arrecifes reticulares; f)



cifos internos en parche, barrera y



arrecifal de sotavento con isla Deser-  
isla Desaparecida.

vista son grupos de estrellas de mar de pequeño tamaño. Con más frecuencia se ven grandes ejemplares de *Holothuria nigra* o grupos de algas calcáreas semejantes a pinceles (*Penicillus* y *Rhipocephalus*); entre los numerosos organismos cavadores son frecuentes los moluscos pelecípodos (*Codakia orbicularis*).

De preferencia en los extremos septentrional y meridional de la explanada interna, se encuentran microatolones y arrecifes en parche que se describirán al tratar de otras porciones del complejo arrecifal donde son más característicos.

La distribución de elementos fisiográficos y comunidades, en el arrecife de barlovento puede resumirse así:

ELEMENTOS FISIOGRAFICOS	COMUNIDADES
Talud	
Porción inferior	
Parte externa	(?)
Parte interna	Asoc. de corales macizos y gorgonias Asoc. de coralináceas incrustantes
Porción superior	
Surcos y espolones	Asoc. de <i>Acropora palmata</i> .
Frente	
Parapeto de bloques	Asoc. de coralináceas incrustantes
Canales de surgencia	Asoc. de coralináceas incrustantes
Explanada	
Externa	Asoc. de <i>Porites astreoides</i> Asoc. de <i>Halimeda-Penicillus</i>
Fosos	Asoc. corales macizos y gorgonias Asoc. <i>Halimeda-Penicillus</i>
Interna	Cebadal de <i>Thalassia</i> Asoc. <i>Halimeda-Penicillus</i>

#### ARRECIFE MARGINAL DE SOTAVENTO

Este arrecife, que constituye el borde sudoccidental del complejo Alacranes, presenta similitudes fundamentales con el margen de barlovento pero al mismo tiempo, difiere suficientemente para hacer aconsejable una descripción independiente.

La mayor parte del arrecife marginal está a unos 10 m de profundidad, de tal manera que aquí falta la línea continua de rompientes, falta el parapeto de bloques y por consiguiente el frente arrecifal. Falta asimismo el sistema de surcos y arbotantes y, virtualmente, la porción superior del talud. Por otra parte, es precisamente aquí donde están los cayos arenosos mencionados en las primeras páginas y donde se efectuó la perforación; en principio cabe suponer que ella informe en primera instancia sobre la estructura e historia del arrecife de barlovento.

Posiblemente por la ausencia de un frente arrecifal los elementos fisiográficos y por ende, las biocenosis, no presentan una zonación definida, esto es, no se disponen en franjas concéntricas como en el arrecife de barlovento; aquí solo se distinguen dos elementos principales, el talud y la explanada.

En las figuras 5, 6 y 9 puede verse la configuración del talud de sotavento y la porción correspondiente de la explanada en el caso de existir islas o barras arenosas someras. En ellas puede verse una abrupta ruptura de pendiente alrededor de las 5 brazas (ca. 10 m) que marca el límite entre las porciones superior e inferior del talud, exactamente como en el arrecife de barlovento; pero esto solo ocurre donde hay islas o barras arenosas someras pues en la mayor parte del margen de sotavento, la explanada está precisamente a 5 brazas de profundidad lo cual implica una ausencia de la porción superior del talud, o si se quiere, que esta porción superior se confunde con la explanada.

En la figura 9, y en los perfiles R-K' y K'-Q de la Lámina 2, se observa a las 18 brazas (ca. 110 pies o 33 m) un marcado cambio de pendiente; parece como si por debajo de esta isobata hubiese un depósito de talud. En realidad la parte inferior corresponde como se mostrará en su lugar correspondiente al "arrecife antiguo". Es decir, que exactamente como en el caso de barlovento, puede distinguirse un talud inferior, subdividido en parte externa (arrecife antiguo) con cima a los 33 m y parte interna entre los 33 m y los 10 m. Arriba de los 10 m, está la explanada arrecifal o bien un talud superior que solo existe cerca de las islas y barras.

En la figura 5, puede verse como al W de isla Pérez, sobre la cima del "arrecife antiguo", se eleva bruscamente, hasta los 14 m un montículo independiente del arrecife principal que es en cierto modo simétrico de otra elevación menos brusca situada al E de "Calderas", y de la que puede verse una configuración aproximada en el esquema de la figura 4. Estos montículos son probablemente arrecifes que se erigieron al mismo tiempo que el arrecife principal tomando como base la cima del "arrecife antiguo".

La fauna y flora del talud de sotavento se conoce aun menos que la de barlovento, pues en esta parte no se hicieron observaciones con escafandra autónoma, y solo se sabe lo que pudo observarse desde la superficie, es decir cuando más, hasta unos 17 m de profundidad; así, de la porción inferior del talud solo es visible el límite superior de su parte interna que parece estar provista de la asociación de corales macizos y gorgonias, pero no ocupa toda la superficie, sino que hay extensas superficies cubiertas por arena desnuda o grava.

La porción superior del talud no existe en la mayor parte del arrecife de sotavento; cerca de las islas y barras, no obstante, presenta la asociación de corales macizos y gorgonias una modalidad algo peculiar pues contiene *Acropora cervicornis* de los 10 a los 5 m de profundidad (Kornicker y Boyd, 1962, 1962). Más arriba, hacia los 3 m de profundidad existe como en barlovento una asociación de *A. palmata* con coral de fuego y *Palythoa*, pero difiere por la presencia de abundantes corales macizos (*Montastrea*, *Diploria*, *Porites astreoides*) y gorgonias (*Gorgia*, *Plexaura*, etc.)

En otras palabras, tanto la asociación de *A. cervicornis* como la de *A. palmata* presentan una considerable intrusión de elementos que típicamente corresponden a la asociación de corales macizos y gorgonias.

La explanada de sotavento es de superficie muy uniforme (fig. 11 y Lám. 2, secciones R-K' y K'-Q) y parece ligeramente inclinada; es algo más somera cerca de la laguna y alcanza unos 10 m de profundidad al iniciarse el talud. En ella falta por completo la zonación de comunidades tan patente en la explanada de barlovento. Grandes extensiones están cubiertas por arena desnuda, en otras domina la grava de *A. cervicornis*; el cebadal de *Thalassia* ocupa asimismo manchones importantes, no solo en las partes más someras sino incluso al comienzo del talud donde presenta características especiales (Hoskin, 1963). Aquí y allá hay manchones de la asociación de corales macizos y gorgonias con exuberantes crecimientos de esponjas, *Antilloorgia*, *Gorgia* y *Pseudopterogorgia*, grandes cabezas de *Montastrea annularis*, y *Diploria strigosa*, etc. En ocasiones los espacios ocupados por corales y gorgonias se elevan sobre los fondos circundantes originando arrecifes en parche, microatolones, pináculos y pequeños arrecifes franjeantes en los alrededores de las islas; todas estas peculiaridades serán descritas más adelante al tratar de los arrecifes protegidos; aquí debe insistirse en la distribución parcheada y no zonal de las comunidades así como en la identidad de rasgos morfológicos y bióticos entre la explanada de barlovento y las porciones del fondo lagunar de profundidad equivalente.

La distribución de elementos fisiográficos y comunidades en el arrecife de sotavento puede resumirse así:

ELEMENTOS FISIOGRAFICOS	COMUNIDADES
Talud	
Porción inferior	
Parte externa	(?)
Parte interna	Asoc. de corales macizos y gorgonias
Porción superior	
Fondo firme	Asoc. de <i>A. palmata</i> modificada Asoc. de <i>A. cervicornis</i> modificada
Fondo arenoso	Asoc. de <i>Halimeda-Penicillus</i>
Explanada	
(Islas, barras)	
Fondo de grava	Asoc. de <i>Halimeda-Penicillus</i> (?) Asoc. de <i>Halimeda-Penicillus</i>
Fondo arenoso	Cebadal de <i>Thalassia</i>
Fondo firme	Asoc. de corales macizos y gorgonias
Arrecifes protegidos	(Véase más adelante).

## LAGUNA

Una inspección de la fotografía aérea de la lámina 1 muestra que los arrecifes marginales circunscriben una amplia laguna dentro de la cual existen arrecifes elementales de muy diversas formas y tamaños; en conjunto se distingue fácilmente una porción central ocupada por una densa red de arrecifes reticulares, que es la denominada porción celular de la laguna (Hoskin 1963) y la laguna propiamente dicha, mucho más despejada pero prácticamente dividida en dos porciones, una en el extremo meridional y otra más grande, que ocupa el norte y oeste.

El fondo, tanto en la porción celular como en la principal, es prácticamente plano (figs. 6, 8, 9, 10 y 12) pero con abundantes arrecifes interiores de distintas formas y tamaños; en la mitad sur de la porción principal alcanza el máximo de profundidad (24 m); en la porción celular la profundidad es tanto menor cuanto que las celdas consideradas están más próximas del arrecife de barlovento, como puede apreciarse en cualquiera de los perfiles. Es lógico que si la fuente de sedimentos es el frente arrecifal de barlovento, las celdas actúan como trampas de sedimentos, llenándose antes las situadas más cerca del origen; este proceso tiende a rellenar la laguna aumentando paulatinamente la anchura de la explanada de barlovento a expensas de la porción celular primero, y después, de la porción principal.

El fondo lagunar está en gran parte constituido por arenas de aspecto desértico con los elementos de la asociación de *Halimeda-Penicillus* (Lám. 3, fig. 2). Grandes extensiones están cubiertas por grava de *Acropora cervicornis*; como han demostrado Folk y Robles (1964) las colonias de esta especie tienden a romperse en fragmentos cilíndricos de 6-8 cm de largo. Estos fondos de grava de *A. cervicornis* ocupan extensiones considerables, en muchos casos sin que sea patente cual pueda ser la fuente actual de los fragmentos.

En profundidades próximas a los 10 m alcanza su máximo de desarrollo la asociación de corales macizos y gorgonias (Lám. 3, figs. 3-4; Lám. 4, fig. 3; Lám. 5, figs. 1 y 2); densos bosquetes de *Briareum asbestinum*, *Pseudopterogorgia americana*, *Plexaura homomalla*, *Plexaurella dichotoma* junto con abanicos de mar (*Gorgonia ventalina*) y *Millepora* (coral de fuego) entre los que crecen enormes cabezas semiesféricas de *Diploria strigosa*, *Montastrea annularis* y *M. cavernosa* junto con otras especies de corales de menor volumen, esponjas variadas y multitud de peces: lanceros (*Acanthurus* sp.) negrillos (*Garrupa* sp.) meros, (*Epinephelus* sp.), las indispensables barracudas (*Sphyraena* sp.) y muchos otros. Esta asociación se presenta a veces con escasa densidad de los elementos dominantes de modo que hay todas las transiciones entre los bosquetes densos y parajes de fondo casi desértico, de arena o grava con algunas cabezas de coral o escasos arbolillos de gorgonias, hasta terminar en la asociación de *Halimeda-Penicillus*.

Cuando la porción ocupada por corales y gorgonias se eleva definitivamente de los fondos circundantes, se tienen los arrecifes elementales interiores: en franja, barrera, reticulares, parche, pináculo y microatolones que se estu-

dian a continuación. A sí mismo el talud lagunar se describirá junto con esos arrecifes elementales.

## LOS ARRECIFES PROTEGIDOS

Usamos esta denominación genérica para comprender aquellos arrecifes elementales que crecen en el talud lagunar o que se erigen sobre el fondo de la laguna (arrecifes interiores), pero conviene así mismo a otros arrecifes elementales que crecen sobre la explanada de sotavento e incluso en los extremos septentrional y meridional de la de barlovento. Aunque difieran por su posición en el complejo arrecifal, su composición biótica y rasgos generales son suficientemente característicos a pesar de las diferencias de forma. En todos los casos sus paredes se levantan abruptamente desde el fondo, casi verticales, hasta cerca de la superficie; la cima es más o menos plana o cóncava y presenta arenas sueltas. De acuerdo con su forma y tamaño se utilizan diversos términos de connotación estrictamente geométrica; por lo demás muchas de estas categorías son relativas e incluso en ocasiones arbitrarias.

Se designan como arrecifes franjeantes, por analogía con los grandes complejos así denominados, a los que se presentan sobre las costas de algunas de las islas; este es el caso del arrecife de la costa NE de isla Pérez estudiado con detalle por Kornicker y Boyd (1962: 654) quienes describen una compleja zonación que comprende, desde al laguna a la isla, las siguientes zonas: 1a. Asociación de *Acropora cervicornis* dominante con algunos corales macizos; 2a. Asociación de corales macizos aquí representados por *Montastrea annularis* mezclada con cabezas pequeñas de *Porites astreoides*, *Diploria* (tres especies), *Siderastrea* y *Favia*, con escasas *Plexaura*. 3a. Zona constituida casi exclusivamente por *Porites porites*, que confina directamente o por intermedio de una estrecha zona de *Lithothamnion* con 4a., Cebadal de *Thalassia* que llega hasta las arenas de la playa.

Otros, que pueden denominarse arrecifes en barrera forman particiones que separan dos porciones de la parte principal de la laguna. Tal es, por ejemplo, el descrito en el apéndice 1 de este trabajo (Estación 4); véase que la zonación es exactamente la misma que en el caso anterior. Estas barreras arrecifales son de suficiente anchura para soportar en su cima una extensión arenosa con cebadal de *Thalassia*. Sus paredes son prácticamente verticales y están constituidas por corales macizos.

Los arrecifes reticulares solo difieren de los anteriores por ser mucho más estrechos, de manera que, como regla, la parte arenosa de su cima no lleva *Thalassia* sino la asociación de *Halimeda-Penicillus*. Se anastomosan unos con otros y forman las paredes verticales que separan las celdas de la porción celular de la laguna. Las paredes están casi exclusivamente constituidas por *Montastrea annularis* y algún otro coral macizo; frecuentemente falta la zona de *A. cervicornis*. (Lám. 4, figs. 1 y 2).

Cuando los arrecifes elementales en lugar de ser alargados tienen un contorno más o menos regular e isodiamétrico, con la suficiente extensión para albergar en su cima cebadal de *Thalassia*, reciben el nombre de arrecifes en

parche; estos son más frecuentes en la porción principal de la laguna pero también se encuentran en la explanada de sotavento e incluso más rara vez en la de barlovento. Aquí también las paredes son prácticamente verticales y están constituídas por corales macizos, principalmente *M. annularis* (Lám. 4, fig. 4).

Si los arrecifes elementales son de tamaño mucho menor (unas pocas decenas de metros) y de contorno circular con paredes casi verticales, se denominan pináculos. Son abundantísimos en todas las porciones de la laguna y explanada de sotavento. Su cima por regla general no es suficientemente extensa para albergar el cebadal; puede haber en su lugar algas como *Sargassum* o *Pockokiella* (Lám. 7, fig. 1 y 2). Otras veces hay arena con *Penicillus*, y otros organismos, como en el pináculo que se describe en el apéndice 1 de este trabajo (Estación 4).

La distinción entre microatolón y pináculo es en muchos casos subjetiva; en general, se llaman microatolones a arrecifes elementales de contorno circular, menos altos que los pináculos y con una depresión bien marcada en el centro de su cima. Puede servir de ejemplo el descrito en detalle por Kornicker y Boyd (1962: 659). También se designan con el mismo nombre estructuras de mucho menor tamaño, a veces una simple cabeza de coral con depresión central bien marcada.

En todos los casos, los arrecifes protegidos difieren claramente de los arrecifes que forman el frente arrecifal y talud de barlovento y al mismo tiempo su zonación es tan característica que puede usarse con fines paleoecológicos como se verá más adelante. Una característica común a todos los arrecifes protegidos es la aparente ausencia de organismos cementantes, tales como las algas incrustantes que tan importante papel juegan en el frente arrecifal (Kornicker y Boyd, 1962).

## COMUNIDADES BIOTICAS

### GENERALIDADES

En el curso de las descripciones que anteceden se han utilizado más bien de una manera informal los nombres de numerosas comunidades al mismo tiempo que se indicaban algunas de sus características más notables. No es este el lugar de entrar en una descripción sistemática y completa de las comunidades que se encuentran en el complejo arrecifal. Si bien esta tarea descriptiva es uno de los requerimientos indispensables para comprender adecuadamente la dinámica ecológica y sedimentológica de los arrecifes coralinos, posiblemente no se han reunido suficientes datos para abordarla de una manera adecuada; son deseables especialmente estimaciones cuantitativas y semicuantitativas que permitan una apreciación de la importancia relativa de los principales factores en juego; hay que hacer todavía mucho trabajo de campo, pues incluso faltan exploraciones preliminares en algunas partes del complejo arrecifal.

No obstante, la necesidad de comparar los restos orgánicos encontrados en la perforación, con los conjuntos faunísticos actuales ha planteado la conveniencia de establecer siquiera sea de manera provisional un cierto número de entidades bióticas, aún a riesgo de que ulteriores trabajos puedan mostrar que no todas son de rango comparable.

Aun cuando todo el complejo arrecifal en conjunto puede considerarse como una unidad (ecosistema) para ciertos fines, conviene distinguir ciertas agrupaciones particulares de biotas, con características fácilmente reconocibles. No todas ellas tienen la misma significación desde el punto de vista de la productividad general (primaria o secundaria) ni alcanzan todas los mismos niveles de integración; además pueden ocupar etapas diferentes en el proceso sucesional. Un aspecto que conviene estudiar es la participación de cada una de ellas en la producción y transformación de sedimentos.

### • ASOCIACIÓN DE CORALES MACIZOS Y GORGONIAS

Esta comunidad parece jugar un papel predominante desde distintos puntos de vista en el ecosistema arrecifal. Su presencia viene determinada esencialmente, dentro de las condiciones batimétricas del complejo arrecifal, por una profundidad suficiente para no ser afectada por un movimiento excesivo del agua, es decir que presenta su máximo de desarrollo por debajo del nivel de base del oleaje normal, aun cuando pueda ser afectada ocasionalmente en los grandes temporales; garantizadas estas condiciones esta comunidad se presenta en casi todos los elementos fisiográficos del complejo: talud de barlovento, talud de sotavento, explanada de sotavento y fondo lagunar, tanto de la porción principal como de la porción celular; variantes más o menos

acentuadas de la misma comunidad se encuentran en el talud lagunar, y en las diversas clases de arrecifes protegidos.

Los biotas más característicos son las grandes colonias de madreporas macizas: *Montastrea annularis* y *Diploria clivosa* con otras especies menos frecuentes: *M. cavernosa*, *D. strigosa*, *D. labyrinthiformis* junto con otros corales menos voluminosos. Típicamente faltan los corales ramosos y en especial las especies de *Acropora*. Entre las gorgonias son prominentes los grandes matorrales de *Pseudopterogorgia acerosa*, *P. americana*, *Briareum asbestinum*, *Plexaura homomalla*, *Plexaurella dichotoma*, *Gorgonia ventalina*, etc. Abundan también localmente las grandes esponjas (Lám. 3, figs. 3-4; Lám. 4, figs. 2-3; Lám. 5 figs. 1-2; Lám. 6, figs. 1-2).

Con toda probabilidad es esta la comunidad de mayor biomasa, no solo considerando su extensión en el complejo, sino el volumen de sus biotas más prominentes, especialmente si se hace intervenir el peso del material esquelético. En cambio posiblemente no sea la de mayor productividad orgánica pues la velocidad de recambio es relativamente lenta y por tanto resulta baja la producción anual.

Desde el punto de vista sedimentológico es esta comunidad la que proporciona los grandes bloques constitutivos del arrecife. Aunque estemos actualmente alejados del concepto de que el arrecife en su conjunto debe su existencia a un armazón rígido, son las cabezas íntegras de los corales macizos y especialmente, las de *Montastrea annularis*, los elementos que incorporándose íntegramente a los sedimentos arrecifales sin sufrir mayores alteraciones, proporcionan las "piezas de resistencia" alrededor de las cuales se alojan los sedimentos de elementos menos voluminosos. Otras especies de corales se incorporan a los sedimentos previa una reducción al tamaño de arenas; las espículas de las gorgonias juegan un papel muy secundario en los elementos más finos, posiblemente por la gran longevidad y lenta reproducción de estos animales.

La composición de esta comunidad sufre cambios perceptibles de unos lugares a otros; hay también variaciones muy notables por lo que respecta a su densidad y grado de cobertura del fondo. En realidad estas variaciones no han sido estudiadas ni siquiera someramente, y este es uno de los puntos que requiere ulteriores elucidaciones. Desde luego, la llamada asociación de *Montastrea annularis* de los arrecifes protegidos, es probablemente una modalidad extrema de la misma comunidad (Lám. 8, fig. 3).

Desde el punto de esta sucesional, comparando esta comunidad con las demás que constituyen el ecosistema del complejo arrecifal, presenta las características comunmente asociadas con las comunidades climax; el número elevado de especies características y secundarias, la complejidad de las interacciones entre pares de las especies constituyentes, la diversidad de organismos que forman parte de cada uno de los niveles tróficos, productores primarios, fitófagos zofagos de varias órdenes, y reductores así como la relación biomasa en pie/productividad, son caracteres propios de una comunidad madura hacia la que tienden a evolucionar las demás (comunidad climax) en condiciones energéticas (batimétricas) adecuadas. El elevado grado de integración de este climax está en relación con la continuidad de condiciones eco-

lógicas del biotopo y especialmente al equilibrio entre los factores mesológicos significativos, principalmente nivel energético, luminosidad y falta de materiales en suspensión, característicos de las profundidades en que se desarrolla.

#### ASOCIACIÓN DE ACROPORA CERVICORNIS

Esta comunidad se presenta bien desarrollada en la cresta de los arrecifes protegidos, en aguas someras, pudiendo llegar hasta pocos centímetros del nivel del mar en la marea baja. El ambiente es de energía más elevada que el de la asociación de corales macizos y gorgonias, pero debe observarse que el oleaje en aguas protegidas es de menor intensidad que en mar abierto.

Esta asociación forma una zona, no siempre continua, en la periferia de la cima de arrecifes en franja, barrera, parche, pináculo y microatolones, pero debe observarse que frecuentemente falta en lugares en que cabría esperar encontrarla; en otros lugares su desaparición es de fecha relativamente reciente, a juzgar por sus restos abundantes.

En esta comunidad domina de manera absoluta *Acropora cervicornis* entendiéndose esta especie en su más amplio sentido, es decir incluyendo formas que para ciertos autores son especies distintas. (*A. prolifera* por ejemplo) y que probablemente son ecomorfosis relacionadas con la profundidad. Este coral ramoso es de crecimiento lineal mucho más rápido que los corales macizos y forma comunidades casi monotípicas, en las que otros corales tales como *Porites astreoides*, *Favia fragum*, *Siderastrea* y otros, desempeñan un papel muy subordinado. Hay frecuentemente *Millepora alcicornis*, pero típicamente faltan las gorgonias.

No es muy grande la biomasa total de esta comunidad pero su productividad parece muy alta; no solo se sabe que comparadas con otros corales las madreporas porosas y ramificadas como las especies de *Acropora* crecen bastante más rápidamente, sino que son de extrema fragilidad, fracturándose las ramas de preferencia por los nodos, de modo que resultan fragmentos cilíndricos de tamaño uniforme. Aun el oleaje relativamente moderado de la laguna es capaz de desarraigar y fracturar colonias enteras, pero la restitución es muy rápida. Los fragmentos sueltos constituyen una grava que solo en parte permanece en las acentuadas pendientes de su lugar de origen, pues en su mayoría es transportada a fondos más profundos, donde por cierto no crece *A. cervicornis*. Esto explica algunas particularidades que a primera vista resultan paradójicas; una de ellas es la gran extensión del fondo lagunar ocupado por grava de *A. cervicornis*, fuera de toda proporción con la extensión ocupada actualmente por los ejemplares vivos de esta especie. Este hecho es simplemente una indicación de la elevada tasa de recambio, o sea de la gran productividad, de esta comunidad, que por otra parte arroja luz sobre los peligros de la inducción paleocológica al tratar de determinar los ambientes energéticos pasados. La grava de *A. cervicornis* se acumula preferentemente en un ambiente de energía mucho más baja que el ocupado por la comunidad viviente.

Sedimentológicamente esta comunidad proporciona preferentemente elementos de tamaño mediano (gravas de tamaño medio); la grava de *A. cervicornis*

se presenta con frecuencia en los sedimentos antiguos. Por lo demás, la atrición continuada de los fragmentos acaba por convertirlos en arena y limo calcáreos.

Esta comunidad es la climax de la parte alta del talud de los arrecifes protegidos, es decir, del ambiente de aguas agitadas dentro de la laguna o en sus bordes, incluyendo la explanada de sotavento. Comparada con la asociación de corales macizos y gorgonias, presenta un grado menor de integración, como lo demuestra el predominio absoluto de una sola especie de corales. Esta es una propiedad característica de las comunidades que viven en biotopos extremos por el predominio de un factor y este con variaciones en su intensidad; en este caso tal factor es el elevado nivel de energía propio de las aguas someras. La relación biomasa en pie/productividad es con toda probabilidad muy inferior a la de la asociación de corales macizos y gorgonias.

#### ASOCIACIÓN DE ACROPORA PALMATA

Esta comunidad se desarrolla preferentemente y casi con exclusividad en la porción superior del talud arrecifal de barlovento, inmediatamente por debajo del frente arrecifal; por excepción se presenta también en el arrecife situado al sur de isla Pérez, casi a sotavento, pero donde los temporales del sur azotan fuertemente en invierno y casi en toda época hay una línea continua de rompientes. Ocupa por consiguiente el biotopo de más alta energía de los que constituye el ecosistema arrecifal.

Típicamente está constituida por un denso y complicado "bosque" monotípico de *Acropora palmata* en el que las colonias ramificadas, de más de 2 m de cobertura, forman con sus ramas un laberinto denso en el que difícilmente pueden prosperar otras especies de corales. Sus ramas aplanadas se disponen paralelamente a la superficie del mar en las mejores condiciones para captar la mayor cantidad posible de luz. Quizá por esto los demás corales e incluso los corales córneos (gorgonias) son muy escasos; típicamente falta *Acropora cervicornis*. Otros elementos importantes de la comunidad son los mantos coriáceos de *Palythoa* que protegen las ramas muertas, y abundantes *Millepora* o coral de fuego. Entre las ramas de *A. palmata* habitan numerosas especies de peces, y por encima patrullan casi constantemente los tiburones.

La biomasa es considerable teniendo en cuenta la relativamente pequeña superficie que ocupa en el complejo arrecifal y así mismo debe ser grande la productividad, es decir, se trata de una comunidad de recambio rápido. La especie dominante y casi exclusiva, se sabe crece con gran rapidez y los destrozados producidos por los temporales desaparecen con prontitud.

Es curiosa la aparente contradicción entre la gran fragilidad de *A. palmata* y las condiciones energéticas del biotopo que ocupa; en tiempo y oleaje normales no hay evidencias de fragmentación y desarraigo de colonias vivas; por el contrario el flujo del oleaje parece ser dividido disipándose parte de la energía cinética por frotamiento en el laberinto de ramas. No obstante, la cosa cambia con los temporales; son testigo de ello los montones de ramas muertas

y colonias enteras volteadas más o menos cubiertas con coralinas incrustantes; muchos de estos derrubios presumiblemente caen a niveles más bajos del talud; pero con certeza, el pavimento de bloques de la explanada externa está constituido preferentemente por ramas muertas de *A. palmata*; como esta especie prácticamente no existe en ese biotopo, la inferencia bien clara es que han sido arrojados por los temporales por encima del frente arrecifal. En ambos casos, se trata de sedimentos producidos en un ambiente de alta energía y transportados a otros biotopos de nivel energético mucho menor; aquí, como en el caso de la asociación de *A. cervicornis*, resultan evidentes los peligros de reconstrucciones paleoecológicas basadas en conceptos demasiado esquemáticos.

Su grado de integración biocenótica es aparentemente menor aunque el de la asociación de *A. cervicornis*, pues es más acentuado su carácter monotípico; el biotopo presenta un factor mesológico extremo y sometido a grandes variaciones a lo largo del año.

Desde el punto de vista sedimentológico, no está claro su papel; por el contrario que su análoga, la comunidad de *A. cervicornis*, sus restos determinables quedan localizados a inmediaciones del emplazamiento de la comunidad viva, y desde luego sus restos faltan virtualmente en los sedimentos antiguos atravesados por la perforación. Esto último quizá pueda explicarse por el hecho de que el pozo fue perforado en zona de arrecifes protegidos, si bien en la actualidad el arrecife de *A. palmata* situado al sur de isla Pérez dista menos de 500 m de la perforación. Posiblemente con esta especie la degradación de tamaño es mucho más rápida, y su contribución a los materiales del complejo arrecifal es principalmente en forma de arenas. Aun así la contribución debe ser cuantitativamente importante dada la gran productividad de la biocenosis.

Indudablemente, esta comunidad representa la etapa climax en la porción superior del talud arrecifal de barlovento, donde por cierto, muestra notable capacidad de regeneración.

#### CEBADAL DE THALASSIA

En casi toda la explanada interna de barlovento, en grandes extensiones de la explanada de sotavento así como en la cima de los arrecifes protegidos en franja, en barrera, en parche y en los microatolones grandes, se extienden las praderas de hierba de la tortuga. Se trata siempre de biotopos de aguas muy protegidas, por consiguiente de muy bajo nivel energético. Típicamente son aguas someras, frecuentemente menos de tres metros, sobre su substrato suelto y sometidas a una iluminación potentísima; la temperatura del agua en el centro del día puede ser notablemente más elevada que en aguas más agitadas, pero la activa biosíntesis mantienen alta la concentración de oxígeno.

Hoskin (1963 : 26) describe una interesante pradera de *Thalassia* en la cresta del talud de sotavento, a un poco más de 10 m de profundidad, con las plantas colocadas en franjas paralelas, dispuestas perpendicularmente al borde

del arrecife. Poco o nada se sabe sobre las condiciones ecológicas de estos cebadales profundos.

Ya en otro lugar se ha descrito brevemente la composición de esta comunidad. Margalef (1962: 400-401) hace un estudio breve pero pleno de sugerencias especialmente sobre la productividad y características sucesionales de la pradera de *Thalassia* en Puerto Rico. Probablemente se trata de una comunidad de gran productividad; al menos, su análoga de los mares fríos (pradera de *Zostera*) cuenta entre las de mayor productividad conocidas. Pero esa productividad se canaliza en la formación de sustancias vegetales correosas, poco utilizables por los demás miembros de la comunidad y menos aún por las demás biocenosis del ecosistema. Originalmente, estas praderas mantenían y aún mantienen vertebrados de estirpe terrestre: el manatí y las tortugas herbívoras (*Chelone*), pero la interferencia del hombre tiende a dejar inaprovechado este recurso (Margalef).

Indudablemente esta comunidad es la etapa climax de las aguas someras protegidas y sobre substrato suelto. En biotopo presenta caracteres extremos por lo que respecta al exceso de luz, variación diurna de temperatura, e incluso exposición al aire, como ocurre en las mareas vivas de los sizigios con el cebadal del este de isla Pérez. No sería extraño encontrar un grado pequeño de integración pero el asunto no ha sido estudiado.

Esta comunidad difiere de las anteriores por tener un organismo dominante que no es un coral; así pues, aunque es uno de los constituyentes esenciales del ecosistema arrecifal, no es exclusiva, pues se encuentra también en aguas protegidas no arrecifales.

El cebadal no es un productor significativo de sedimentos, pero en cambio es un potente acumulador y transformador de los mismos. Los rizomas y raíces de *Thalassia* forman una capa en los primeros centímetros del fondo suelto en el que arraigan constituyendo una red tridimensional de mallas apretadas que forman una excelente trampa para sedimentos. El grado de apelmazamiento puede ser suficiente para impedir libre circulación del agua por debajo de la capa de raíces limitando de este modo las posibilidades para los organismos cavadores. La cantidad de materia orgánica incorporada a los sedimentos puede ser grande, lo que unido al ambiente reductor producido por la falta de circulación puede originar emisión de sulfhídrico. En la costa SE de isla Pérez hay una verdadera "turbera" de *Thalassia* que constituye un biotopo muy peculiar; Kornicker y Boyd (1963) la designan como "*Battillaria minima* zone" en atención a un diminuto gasterópodo muy abundante y presumible productor de muy abundantes grumos fecales.

El cebadal de *Thalassia*, cuando menos en principio, forma el tránsito entre las comunidades marinas (halosere) y las terrestres (geosere); la acumulación de sedimentos tiende a formar terrenos emergidos que pronto o tarde son colonizados por elementos terrestres. Un estudio de las comunidades terrestres de Alacranes, principalmente de su componente vegetal, se puede encontrar en Bonet y Rzedowski (1962).

## COMUNIDADES ABIERTAS

Agrupamos bajo este rubro un conjunto de comunidades, todas ellas muy mal conocidas, y que probablemente solo representan etapas iniciales o intermedias en la sucesión pero que no obstante ocupan en conjunto extensiones considerables en el arrecife actual y sus sedimentos forman probablemente una buena parte de su columna estratigráfica.

Todas ellas tienen de común el ser "abiertas", es decir que sus biotas están en tan escaso número, que la mayor parte del substrato está al descubierto; como además los elementos dominantes son generalmente de escaso volumen, y muchos permanecen enterrados, es general el aspecto desértico de estas comunidades.

Es muy probable que todas ellas representen únicamente etapas transitorias en las diversas sucesiones parciales que se desarrollan en el ecosistema arrecifal; esto se deduce en primer lugar por su bajo grado de integración y principalmente por no ser autosustentantes, es decir, que los elementos productores son insuficientes de modo que de una manera u otra, dependen para su origen y mantenimiento de las cuatro asociaciones climax que se describieron anteriormente.

Sobre fondo firme se ha mencionado anteriormente la asociación de coralináceas incrustantes propias del talud y frente arrecifales de barlovento; probablemente se trata de una etapa inicial o muy temprana de las sucesiones parciales en el talud inferior que conducen al climax de corales macizos y gorgonias, mientras que en el talud superior terminan en la asociación de *A. palmata*. En el frente arrecifal la asociación de coralináceas incrustantes probablemente tiene un carácter reincipiente, esto es, se conserva permanentemente sin alcanzar etapas más maduras. En otro lugar se discutirá el importante papel sedimentológico de esta comunidad.

También sobre fondo relativamente firme se desarrolla lo que se ha llamado aquí asociación de *Porites astreoides*, la única especie maciza del género en los arrecifes del Atlántico; se desarrolla en la explanada externa de barlovento y pudiera constituir una facies muy degradada de la asociación de corales macizos y gorgonias. Dada su situación, parece ser una de las etapas tempranas de una de las series parciales que conducen, por intermedio de la asociación de *Halimeda-Penicillus*, al cebadal de *Thalassia*. Su productividad total, así como su capacidad para proporcionar sedimentos es muy limitada por su escasa biomasa.

En fondos sueltos se encuentra, entre otras, la asociación de *Porites* ramosos (Margalef); es una comunidad que ocupa en general extensiones reducidas al borde de fondos arenosos y alrededor de otras comunidades propias de fondos sueltos. Está constituida esencialmente por colonias de *Porites porites* y sus variedades que forman capas continuas de ramas verticales entre las que viven ofiuridos, anélidos, holoturias pequeñas, y grandes anémonas (*Condylactis*) etc. Otras veces ocupando también una posición marginal con respecto a otras comunidades de fondos sueltos, se encuentra la asociación de coralináceas ramosas cuyas ramificaciones están parcial o totalmente enterra-

das entre la arena. En ambos casos se trata de etapas en la sucesión parcial que conduce de la asociación de *Halimeda-Penicillus* al climax de *Thalassia*. Su contribución a los sedimentos del arrecife es poco significativa.

Quizás entre las comunidades abiertas la más extensa si bien la peor caracterizada es la asociación de *Halimeda-Penicillus*; localmente tiene el aspecto de fondos arenosos o arenoso-fangosos con algunos manojos de *Halimeda* y conos de arena producidos por anélidos y otros organismos cavadores; abunda la *Ludwigothuria mexicana* de gran tamaño y color negro (Lám. 3, fig. 2). Otras veces se ven grupos de algas calcáreas *Penicillus* y frecuentemente solo puede verse el fondo arenoso aparentemente abiótico. Es posible se comprenda aquí esta comunidad en sentido demasiado amplio; de hecho Margalef distingue en Puerto Rico una asociación de *Halimeda* y coralináceas y otra de *Penicillus-Dictyota*.

Grandes extensiones del complejo arrecifal pueden considerarse ocupadas por esta comunidad, tanto en los arrecifes marginales de barlovento y sotavento, como en la cima de arrecifes protegidos y principalmente en el fondo y talud lagunares; su amplia distribución pudiera reflejar asimismo su heterogeneidad. Es una etapa transitoria en varias de las series parciales, tanto en las que culminan en el climax de *Thalassia* como las que acaban en la asociación de corales macizos y gorgonias. No obstante, es posible que en determinadas condiciones de sedimentación y luminosidad la comunidad sea comparativamente estable.

Aunque a primera vista los organismos que contribuyen a la formación de sedimentos no son muy patentes en esta comunidad, de hecho es habitada por varias especies de moluscos que contribuyen con los fragmentos de sus conchas a la fracción arenosa; más adelante se verá la importante proporción con que los esqueletos de moluscos participan en la composición del arrecife y muchos de ellos viven precisamente en esta comunidad. No obstante, el principal papel sedimentológico de la asociación es la elaboración y transformación de sedimentos originados en otras comunidades; revisten gran amplitud los fenómenos de transporte, trituración y selección por tamaños de los elementos arenosos. Casi todos los elementos bióticos de la comunidad son cavadores y detritívoros; las alteraciones que los sedimentos sufren al pasar por el tubo digestivo son muy profundas, y no siempre consisten en reducir el tamaño de los granos sino que, al contrario, la aglutinación de partículas por elementos orgánicos da origen a los grumos fecales de tamaños diversos.

Un caso extremo de desertización lo constituyen las grandes extensiones arenosas desprovistas prácticamente de seres vivientes perceptibles a simple vista. En realidad, en la capa superficial hay multitud de organismos microscópicos y submicroscópicos cuyo conjunto constituye la asociación de cianofitas y diatomeas. Esta comunidad, estudiada por Margalef en Puerto Rico, constituye el proteretum, es decir, la etapa inicial de la sucesión sobre fondos sueltos; en Alacranes no ha sido estudiada sistemáticamente. Está constituida por cianofitas (algas azules) tales como *Oscillatoria*, *Merismopedia*, *Lyngbya* y *Phormidium* junto con diatomeas diversas (*Nitzschia*), algunas algas superiores (*Enteromorpha*) y numerosas especies de ciliados y foraminíferos; entre estos son muy prominentes los miliólidos y peneróplidos.

Quizá la única comunidad que en el arrecife muestra algas macroscópicas de manera conspicua es el sargazal, formado como su nombre lo indica por sargazos (*Sargassum* sp.) junto con otras algas vistosas como *Turbinaria*, *Valonia*, *Caulerpa Pockokiella*, *Dictyota*, etc. (Lám. 7, figs. 1-2). Esta comunidad se encuentra más o menos bien caracterizada en los fondos lagunares sueltos o relativamente firmes, así como en la cima de algunos arrecifes protegidos. Como sus elementos se encuentran también tanto en la asociación de *Halimeda-Penicillus* como en la de corales macizos y gorgonias, pueden considerarse como una etapa intermedia en esta sucesión.

#### BIOCENÓTICA COMPARATIVA

Dentro de las condiciones ecológicas generales que determinan la posibilidad de existencia de arrecifes coralinos, la distribución de las comunidades que constituyen el ecosistema viene determinada casi exclusivamente por un factor: la energía cinética de las aguas. Como a su vez esta, viene condicionada principalmente por la profundidad, resulta clara la relación entre batimetría y las comunidades. Así, entre los 10 y los 20 m. por ejemplo, parece que hay una sucesión que en los fondos sueltos se inicia con la asociación de cianofitas-diatomeas, prosigue con la de *Halimeda-Penicillus* y ésta a su vez, directamente o por intermedio del sargazal, desemboca en la asociación climax de corales macizos y gorgonias. En el caso de fondos firmes la serie es más corta pues probablemente se inicia en la asociación de coralinas incrustantes, para desembocar con o sin intermedio del sargazal, en la misma asociación climax. Es este un claro ejemplo de convergencia entre dos sucesiones y al mismo tiempo se constata la existencia de una sola asociación climax en el ambiente de menor nivel energético, independientemente de la situación fisiográfica dentro del complejo.

A profundidades menores de 10 m, la energía cinética de las aguas es mayor en general, pero hay una gradación que depende de las relaciones entre la situación fisiográfica y la dirección prevaleciente del oleaje y corrientes que en definitiva vienen determinadas por los vientos dominantes. Así, en el talud superior de barlovento, donde la agitación de las aguas y efectos mecánicos del oleaje son máximos, solo se presenta la sucesión de coralináceas incrustantes—*Acropora palmata*. En los arrecifes protegidos (interiores o de sotavento), en condiciones batimétricas idénticas, pero con un nivel energético inferior, se presenta la sucesión de coralinas incrustantes—*Acropora cervicornis*.

En aguas muy someras pero aún más protegidas, por ejemplo, detrás del parapeto de bloques en la explanada externa de barlovento, la serie se inicia en substrato firme, con las asociaciones de coralináceas incrustantes y de *Porites astreoides*; al proseguir la trituración de bloques y acumulación de finos, el substrato se torna más arenoso y prosigue la sucesión con la asociación de *Halimeda-Penicillus*, continuando eventualmente por la de *Porites* ramosos a la de coralináceas ramosas para culminar en el cebadal de *Thalassia*. Sobre fondos sueltos la sucesión se inicia en la asociación de cianofitas-diatomeas, y entronca en la de *Halimeda Penicillus* con la serie anterior, para culminar en el mismo cebadal de *Thalassia*; este es otro ejemplo de convergencia de sucesiones.

En resumen, sean cuales sean las etapas sucesionales, a cada nivel energético corresponde una sola asociación climax que en orden de mayor a menor energía son respectivamente, 1o. la asociación de *A. palmata*, 2o. la de *A. cervicornis*, 3o. el cebadal de *Thalassia* y 4o. la de corales macizos y gorgonias.

Estas cuatro asociaciones climax no presentan el mismo grado de integración; si fuésemos a disponerlas en orden de menor a mayor grado de integración obtendríamos precisamente la misma secuencia, en otras palabras, hay una correlación inversa entre el grado de integración y el nivel energético. En realidad esta correlación inversa es simplemente indicación de que los biotopos respectivos muestran un aumento gradual de condiciones rigurosas y de intensidad cada vez más variable.

No es posible obtener conclusiones comparativas sobre la productividad total de cada una de las comunidades climácicas por faltar datos adecuados, pero sí de un aspecto de esta productividad, que es la fijación de carbonato de calcio. Es sabido que el ecosistema arrecifal debe la mayor parte de sus peculiaridades a que las comunidades que lo constituyen poseen un poder de reacción ante el medio ambiente que no es igualado posiblemente por ninguna otra comunidad biótica. Ese extraordinario poder para modificar decididamente factores ecológicos, reside en la capacidad biocatalítica de los organismos del arrecife para precipitar el carbonato cálcico de las aguas marinas. La elaboración de elementos esqueléticos y su acumulación, originan el arrecife y por ende las condiciones de existencia para las comunidades arrecifales. Conviene pues resumir comparativamente el papel sedimentológico de cada una de las asociaciones. Ya se indicó que el climax de corales macizos y gorgonias es el principal proveedor de los grandes bloques de coral que forman la porción más firme del arrecife, constituidos por cabezas íntegras que alcanzan hasta cerca de dos metros de diámetro. El climax de *A. palmata* proporciona bloques menores, hasta de 30-40 cm de longitud máxima, pero su contribución principal reside en fragmentos del tamaño de gravas finas y arenas. El climax de *A. cervicornis* proporciona principalmente gravas gruesas. El climax de *Thalassia* así como la mayor parte de las comunidades abiertas solo contribuyen con granos del tamaño de arenas, derivados principalmente de la fragmentación de las conchas de moluscos, en cuya contribución concurren, así mismo, las tres asociaciones climax dominadas por corales. El papel fundamental de la asociación de *Thalassia* y asociaciones abiertas es modificar el tamaño de los elementos sueltos, por un lado, reduciéndolo por abrasión y paso por el tubo digestivo de elementos litófagos y limnivoros; por otro, aglutinando elementos pequeños para formar grumos fecales.

## SEDIMENTOS SUPERFICIALES

### ANTECEDENTES Y OBJETO

La sedimentología del arrecife actual de Alacranes ha sido estudiada con todo detalle en la excelente monografía de Hoskin (1963). Por otra parte, Folk y Robles tratan ampliamente en su trabajo de 1964 los aspectos sedimentológicos de las arenas subáreas de isla Pérez. Anteriormente se mencionaron los trabajos de Cann (1963), Harding (1964) y Logan (1961-1963) sobre sedimentología de la Sonda de Campeche en las inmediaciones de Alacranes.

Parecería, pues, fuera de lugar incluir un capítulo sobre estas materias; no obstante se ha tomado la decisión contraria atendiendo a varios motivos; en primer lugar, se trata de poner a disposición general, de la manera más compacta posible, un acervo de información significativa en cuya obtención se ha invertido tiempo y trabajo. Por otra parte merece la pena comprobar la reproductibilidad de los resultados obtenidos, al emplear los mismos métodos, personas, laboratorios e instituciones diferentes; esto es tanto más deseable si se tiene en cuenta las grandes diferencias que pueden obtenerse en los resultados por alteraciones aparentemente insignificantes en los métodos empleados.

La obtención de muestras y proceso de las mismas se hizo en primer lugar para obtener un patrón con el cual comparar las muestras obtenidas en la perforación, utilizando métodos tan semejantes como fuese posible. Por otra parte, la evaluación de las analogías o diferencias encontradas debe reposar en el grado de reproductibilidad de los métodos empleados.

### MÉTODOS

La situación de las estaciones donde fueron obtenidas las muestras puede verse en el mapa de la figura 3; datos descriptivos de cada estación, incluyendo fisiografía y comunidades puede verse en el Apéndice I de este trabajo. En el campo, la situación se fijó por intersección inversa, basada en rumbos tomados con una brújula náutica, sobre los faros de isla Pérez e isla Desterrada y los pecios que previamente habían sido situados en el mapa de base. Normalmente se tomaron cuando menos tres visuales pero a veces hubo que utilizar como tercer rumbo el norte magnético. El grado de exactitud alcanzado es razonablemente bueno dadas las circunstancias, pues no es nada fácil dirigir visuales en aguas agitadas, desde una lancha pequeña, sobre objetos distantes que apenas sobresalen del nivel del mar.

Las muestras fueron recogidas la mayor parte de las veces directamente, buceando con o sin escafandra autónoma; a profundidades mayores se utilizó una draga pequeña de tipo Petterson operada a mano. Se procuró recoger un

volumen no menor de medio litro, cantidad que, como se verá después, es absolutamente insuficiente para ciertos fines de importancia.

Las muestras húmedas fueron colocadas en recipientes metálicos que se cerraron herméticamente después de añadir una gota de formalina.

En el laboratorio, después de desecar al aire, fueron obtenidas las partes alícuotas necesarias para distintos fines: granulometría, análisis de constitución, foraminíferos, etc., desechando previamente las muestras que por alguna circunstancia se consideraron inadecuadas.

En el análisis granulométrico se siguieron rigurosamente los procesos recomendados por Folk (1961) puesto que ésta fue la técnica seguida por Hoskin y se deseaba hacer comparables los resultados. El tamizado se hizo en tamices U. S. Standard de 8 pulgadas con agitación en máquina Ro-Tap durante 15 minutos; no en toda la escala pudieron utilizarse los tamices suficientes para que el intervalo fuese de medio  $\phi$ . Otra ligera desviación de la técnica usada por Hoskin es que al dispersar la fracción fangosa no se pudo usar el Calgon, que fue el detergente utilizado por dicho autor.

El cálculo de los parámetros granulométricos se hizo a base de curvas acumulativas construidas en papel con escala de probabilidades No. 358-23 de Keuffel y Esser; no obstante, para ser representadas en las figuras 13 a 19 del presente trabajo, se han vuelto a dibujar en papel cuadriculado ordinario. Distribuciones y parámetros, han sido expresados en la escala  $\phi$  usando la clasificación de Wentworth; son los mismos y se han calculado con las mismas fórmulas que Hoskin (1963) quien utilizó las publicadas por Folk y Ward (1957); estas también pueden verse en Folk (1961).

Los análisis de constitución se efectuaron por el método de Ginsburg (1956) que consisten en incluir los sedimentos en plástico para obtener secciones delgadas como si se tratase de una roca compacta y después contar los granos correspondientes a cada grupo de organismos por el sistema de puntos. La inclusión en plástico, de la fracción arenosa, se hizo unas veces englobando por separado de las distintas fracciones; otras, incluyendo simultáneamente muestras de toda la fracción arenosa. Se utilizó el termoplástico "Lakeside Brand No. 70C", fabricado por Hugh Courtrigh and Co.

Se usó un microscopio petrográfico Standard Zeiss en cuya platina se dispuso un aparato eléctrico contador de puntos, fabricado por J. Switt and Son, de Londres. Después de algunas tentativas se terminó adoptando el sistema de contar entre 300 y 400 puntos, con una separación de 0.5 mm; se adoptaron algunas convenciones, tales como contar los organismos huecos cuando la cruz del retículo correspondía a una cavidad, etc.

Para el diagnóstico de los fragmentos contenidos en los sedimentos se confeccionó una colección de referencia triturando los esqueletos de los organismos correspondientes y montando la fracción arenosa como si se tratase de muestras, es decir, cortando láminas delgadas previa inclusión en plástico. Características diagnósticas de secciones delgadas de los esqueletos pertenecientes a distintos organismos arrecifales se han publicado en trabajos antiguos y modernos; entre estos últimos pueden mencionarse los de Ginsburg (1956: 2424), Hoskin (1963: 51), Cann (1962: 38), Purdy 1963: 340).

#### GRANULOMETRÍA

Hace pocos años era costumbre expresar los resultados de los análisis granulométricos publicando las curvas de frecuencia o, más comúnmente, atiborrando los trabajos con los correspondientes histogramas. En la actualidad, la moda es publicar relaciones con los parámetros de las curvas, generalmente medidas de los cuatro primeros momentos centrales, y si acaso, las curvas acumulativas. Todo esto está muy bien y nada tiene de objetable en tanto que constituyen descripciones en forma más o menos compacta de los resultados obtenidos; pero entonces como ahora las dificultades comienzan cuando se trata de obtener la significación geológica de las elaboraciones estadísticas. Aunque ya se ha indicado en recientes publicaciones, no está por demás insistir en la enorme desproporción entre el trabajo invertido y las conclusiones obtenidas, hasta el punto que parece que muchos autores consideran cumplida su misión al acumular datos estadísticos sin intentar siquiera determinar su significación.

Este capítulo no podía ser una excepción al panorama general. Se emprendieron los trabajos granulométricos con la esperanza de conseguir afinar analogías y diferencias entre sedimentos actuales y sedimentos del subsuelo pero, especialmente, se intentaba obtener alguna idea sobre la causa de las diferencias si es que se encontraban. Personalmente creo que no se ha obtenido mucho más que si se hubieran determinado simplemente las proporciones de grava, arena, limo y arcilla de cada muestra, pero no obstante, se exponen los resultados completos por si pudieran ser de alguna utilidad en el futuro.

En las tablas 1 y 2, se han reunido los datos pertinentes. La primera consiste en una recopilación de las distribuciones de frecuencias de cada una de las muestras, reducidas a intervalos de 1  $\phi$  para ahorrar espacio; pudieran servir para elaboraciones posteriores, pero fundamentalmente se pretende substituir con esta tabla a los tradicionales histogramas, perdiéndose con ello algo de visibilidad pero aumentando en cambio la información. Su propósito fundamental es juzgar aunque sea burdamente, sobre la unimodalidad o multimodalidad de cada muestra y situación aproximada de cada uno de los modos.

Si se prescinde de las muestras del fondo lagunar, la primera generalización que resulta evidente del examen de la tabla es que casi todas las muestras del arrecife son aparentemente unimodales, y la segunda que las clases modales caen en el rango de arenas finas a arenas gruesas (entre 3 y 0  $\phi$ ).

En el fondo lagunar (porción principal y porción celular), de 13 muestras, tres son claramente bimodales; en dos de ellas un modo cae en la porción arenosa y el otro en la limosa; en otra muestra el modo principal está en la arena muy fina (4  $\phi$ ) y el secundario en la arena muy gruesa (0  $\phi$ ). En todos estos casos la bimodalidad es fácilmente explicable suponiendo que a los sedimentos finos propios del fondo lagunar se han mezclado arenas más gruesas que provienen de la cima de los inmediatos arrecifes interiores. Es desconocida la significación de la bimodalidad aparente en las muestras 14-16 y 41-5.

Las muestras unimodales del fondo lagunar presentan su modo en las are-

nas finas o muy finas o en el limo, mostrando, como cabía esperar, elementos más finos las de mayor profundidad.

La cantidad de grava es insignificante excepto en las muestras de la explanada externa de barlovento y en la cima de los arrecifes protegidos. A este respecto cabe indicar que ciertamente esta conclusión es en parte un artefacto producido por el inadecuado tamaño de las muestras, y este defecto es aún más acentuado que en el caso de las muestras de Hoskin; la inspección visual de los fondos durante buceos subsecuentes y principalmente, el estudio de las muestras de la perforación, han puesto bien en evidencia la relativa importancia de las gravas en la constitución del arrecife. En futuros trabajos, es indispensable aumentar considerablemente el volumen de cada muestra y además, elaborar procedimientos de campo que permitan evaluar las cantidades de grava gruesa y bloques sin necesidad de transportar cantidades exageradas de materiales.

Otra generalización, es la ausencia de fracción arcillosa menor de  $9 \phi$ ; las cantidades de limo fino y arcillas son muy pequeñas incluso en los fondos lagunares. Aunque esta diferencia de finos está de acuerdo también con las observaciones de Hoskin, creo que en nuestro caso, pudiera estar exagerada por algún defecto de la técnica analítica empleada.

En resumen, la tabla No. 1 enseña que casi todos los tipos de sedimentos reseñados tienen su modo en las arenas, que solo algunas muestras del fondo lagunar lo tienen en los limos; que algunas de estas son bimodales, probablemente por aporte de arenas de los arrecifes contiguos, y que en todo el arrecife es muy escasa la fracción arcillosa.

En la tabla No. 2 se incluyen para cada muestra los porcentajes de grava, arena, limo y arcilla, así como los parámetros  $\phi$  de las tendencias centrales (mediana  $\phi M_d$  y media  $\phi M_z$ ); la desviación estandar, ( $\phi \sigma_1$ ) correspondiente al 2o momento, mide la dispersión y por consiguiente el grado de clasificación por tamaños; como medida del tercer momento se utilizó el coeficiente de asimetría  $Sk_1$  ("Skewness"); el equivalente del cuarto momento (curtosis) está expresado por  $K_G$  y su correspondiente parámetro normalizado  $K'_G$ . Todos estos parámetros fueron determinados gráficamente a base de los percentiles medidos en la correspondiente curva acumulativa de acuerdo con las fórmulas de Folk y Ward (1957), o sean

$$\phi M_z = \frac{\phi 16 + \phi 50 + \phi 84}{3} \cdot \phi \sigma_1 = \frac{\phi 84 + \phi 16}{4}$$

$$+ \frac{\phi 95 + \phi 5}{6.6}$$

$$SK_1 = \frac{\phi 16 + \phi 84 - \phi 2.50}{2(\phi 84 - \phi 16)} + \frac{\phi 5 + \phi 95 - \phi 2.50}{2(\phi 95 - \phi 5)}$$

$$K_G = \frac{\phi 95 - \phi 5}{2.44(\phi 75 - \phi 25)}; \quad K'_G = \frac{K_G}{K_G + 1}$$

TABLA 1  
DISTRIBUCION GRANULOMETRICA DE LAS MUESTRAS DE FONDO

Muestras	Profundidad en pies	Grava $\phi$		Arena $\phi$					Limo $\phi$				Arcilla $\phi$	
		-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	<9
<b>Explanada externa de barlovento.</b>														
7-9	6'	6.0	3.0	7.0	17.0	29.0	29.0	9.0	—	—	—	—	—	—
9-11	6'	—	—	2.1	21.9	44.0	26.3	4.3	0.6	0.8	—	—	—	—
10-12	7'	0.9	4.3	11.8	20.0	28.0	17.0	13.0	5.0	—	—	—	—	—
21-21	4'	5.5	8.2	16.7	24.6	27.0	15.2	1.6	0.8	0.4	—	—	—	—
23-23	3'	0.9	4.5	12.8	25.8	32.0	20.0	3.0	0.7	0.3	—	—	—	—
24-24	2'	1.4	9.0	19.6	23.0	27.0	17.0	2.3	0.5	0.2	—	—	—	—
47-25	2'	4.0	19.0	30.0	21.0	17.0	7.0	0.6	1.0	0.4	—	—	—	—
<b>Peso</b>														
49-29	24'	2.0	7.0	10.2	12.8	19.5	20.8	17.7	9.4	0.1	0.1	0.2	0.2	—
<b>Explanada interna de barlovento.</b>														
23-23	3'	0.9	4.5	12.8	25.8	32.0	20.0	3.0	0.7	0.3	—	—	—	—
25-25	7'	—	—	1.8	13.2	34.0	44.5	5.2	0.8	0.5	—	—	—	—
<b>Laguna; fondo porción principal.</b>														
2-3	40'	0.5	4.5	9.5	11.5	17.0	17.0	15.0	9.0	6.0	6.5	2.3	1.2	—
3-4	69'	0.3	0.5	1.4	1.5	3.4	5.1	20.8	7.0	24.0	26.5	5.7	3.8	—
5-7	30'	0.2	0.9	4.1	9.8	14.0	18.0	29.0	5.0	17.0	2.0	—	—	—
6-8	25'	—	—	10.0	7.5	4.5	29.0	33.0	9.5	5.2	1.3	—	—	—
13-15	25'	—	—	5.0	23.0	31.0	21.0	4.3	—	—	—	—	—	—
15-17	70'	—	—	0.1	0.1	0.2	1.3	—	—	—	—	—	—	—
30-30	30'	—	—	0.1	0.4	0.6	2.2	17.2	47.4	19.6	11.8	0.4	0.3	—
<b>Laguna; fondo porción celular.</b>														
18-18	15'	0.2	5.8	6.0	18.0	37.0	13.5	9.5	6.5	3.5	—	—	—	—
19-19	20'	0.1	3.9	9.5	9.5	15.0	17.0	23.3	7.8	10.6	1.7	1.3	0.3	—
20-20	10'	—	0.7	4.1	10.4	22.8	32.0	27.1	1.4	0.6	0.1	0.5	0.3	—
27-27	22'	0.8	1.2	2.5	6.0	11.7	13.8	19.7	38.9	3.2	1.2	0.9	0.1	—
28-28	18'	—	1.6	3.4	3.0	4.0	5.0	11.7	17.5	24.4	8.5	6.7	8.2	6.0
29-29	20'	1.4	4.8	9.8	10.0	15.0	17.0	20.7	8.9	6.6	2.5	1.7	1.2	0.4
<b>Arrecife en bahera; superficie.</b>														
4-5	4'	2.9	10.4	24.7	27.0	21.0	9.1	3.1	0.8	1.0	—	—	—	—
4-6	5'	0.8	8.7	31.5	13.0	18.0	17.4	6.0	2.6	1.0	1.0	1.0	—	—
11-13	2'	—	3.3	27.7	35.0	19.8	6.8	5.4	0.2	0.5	0.9	0.2	0.2	—
<b>Arrecifes reticulares; superficie.</b>														
50-30	6'	0.6	5.4	17.0	22.0	31.0	18.0	3.7	1.3	1.0	—	—	—	—
<b>Pináculos; superficie.</b>														
41-5	3'	0.1	3.3	10.4	13.2	15.0	10.0	10.4	17.9	11.1	2.0	1.2	2.3	3.0
41-6	6'	—	0.5	8.5	22.0	44.0	20.5	2.5	2.0	—	—	—	—	—
<b>Islas; arena de playa.</b>														
12-14	+2'	1.8	3.1	17.1	60.0	17.6	0.2	0.2	—	—	—	—	—	—
14-16	+2'	—	0.4	3.8	11.8	22.0	15.0	35.0	6.0	5.6	0.3	0.1	—	—
31-31	+2'	—	0.6	3.4	16.0	53.0	26.0	0.6	0.2	—	—	—	—	—
<b>Arrecife marginal de sotavento, arena.</b>														
44-16	10'	—	0.1	1.7	4.2	24.0	66.0	3.7	0.3	—	—	—	—	—
<b>Fondo Sonda Campeche.</b>														
32-32	175'	2.8	1.1	1.5	2.5	5.1	12.3	19.2	54.9	0.1	0.3	0.1	0.1	—
33-33	165'	0.1	2.1	7.3	12.5	27.0	31.5	11.5	4.7	1.7	1.6	—	—	—
35-34	140'	0.8	0.8	1.2	4.2	26.0	52.0	12.9	1.4	0.7	—	—	—	—

Estas fórmulas dan una aproximación suficiente y son de uso mucho más sencillo que el cálculo analítico de los momentos centrales, pero no debe olvidarse que ellas, contrariamente a lo supuesto por Folk y Ward, no tienen ninguna virtud especial cuando se trata de distribuciones que se alejan de la normalidad. McCammon (1962: 90) por ejemplo, muestra como puede haber distribuciones francamente asimétricas con un tercer momento central nulo. Asimismo Brezina (1963: 935) indica que los dos primeros momentos (media y desviación standar) "son suficientes, cuando más, para distribuciones

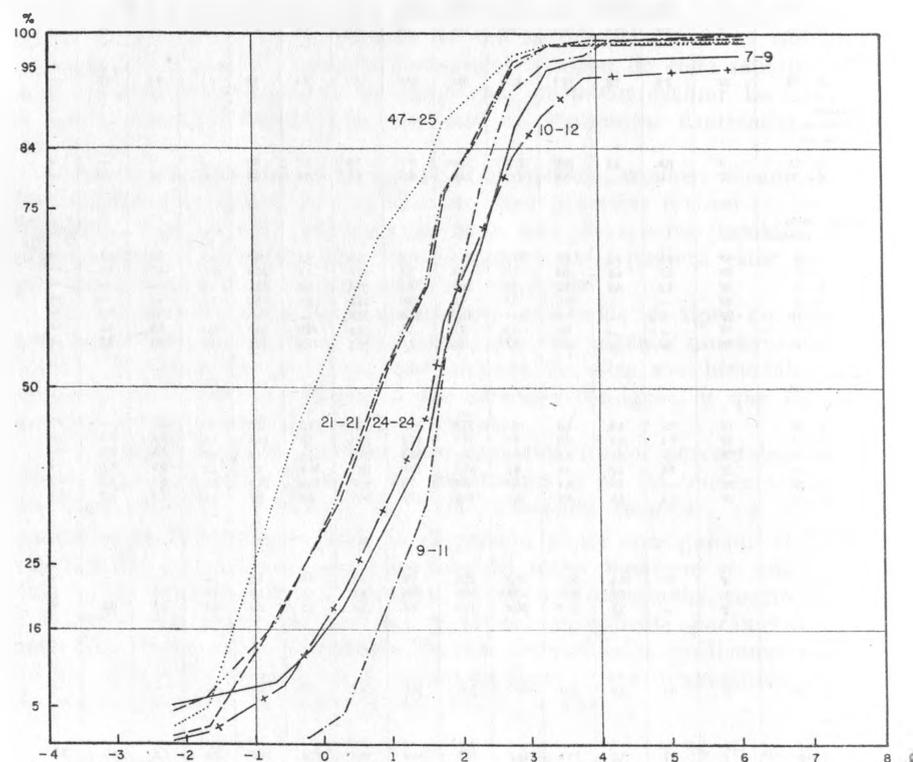


Fig. 13. Curvas acumulativas de sedimentos de la explanada arrecifal de barlovento.

log-normales; pero las medidas de asimetría y curtosis, que son función de las desviaciones de la log-normalidad, no son de confianza;... las distribuciones polimodales caen por completo fuera del poder de los parámetros usados". Desgraciadamente, la idea de obtener medidas de estos parámetros era precisamente para conseguir mejores términos de comparación entre las muestras de fondo superficial con las del subsuelo, pero así como las primeras comprenden pocas muestras polimodales, las del pozo, como se verá oportunamente, son casi todas ellas fuertemente polimodales.

El mismo autor, recomienda en lugar de estos parámetros el uso de los máximos y mínimos de las primeras derivadas de la curva de frecuencia. Como esta sugerión todavía no ha sido llevada a la práctica y, en tanto que sedimentólogos y estadísticos se ponen de acuerdo sobre el valor de los parámetros que deban utilizarse, se cree oportuno limitarse aquí a la simple exposición de los resultados obtenidos.

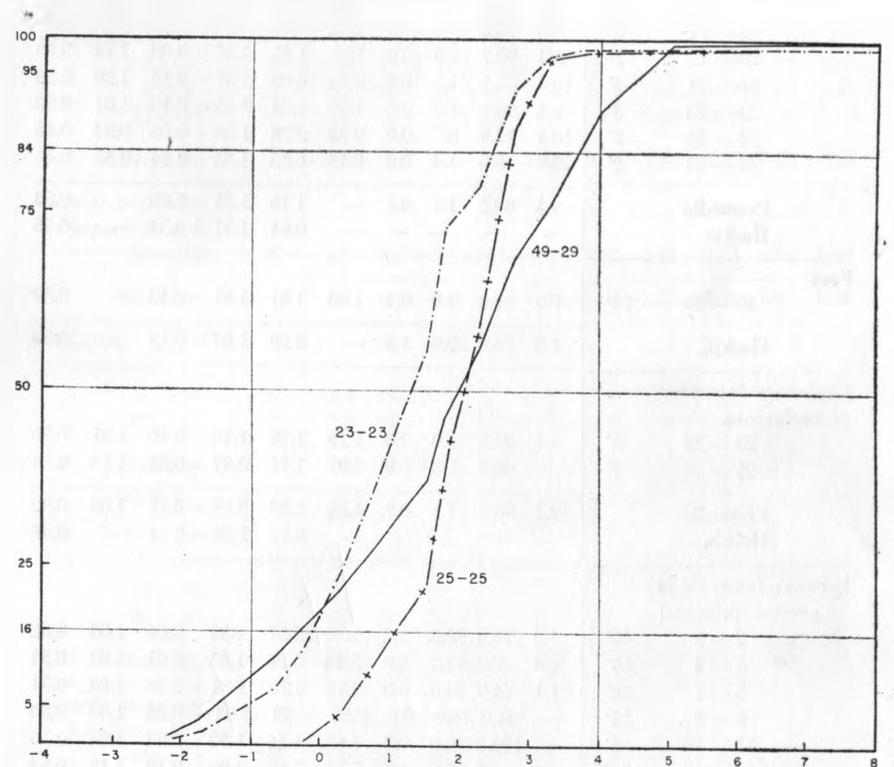


Fig. 14. Curvas acumulativas de sedimentos del cebadal de *Thalassia* (23-23 y 25-25) y del extremo meridional del foso (49-29).

En la tabla No. 2, las muestras, agrupadas por elementos fisiográficos, llevan la indicación de profundidad en pies, y a la relación de porcentajes y parámetros mencionados se adjunta al final de cada grupo la media aritmética de los valores, que no tienen otra finalidad que la de facilitar la comparación con los promedios de los valores encontrados por Hoskin; los datos para calcular los promedios de este autor han sido tomados bien de sus tablas 2 y 6 a 8, o de sus figuras 17 a 24, efectuando los cálculos necesarios en su caso.

Una primera conclusión es que los datos y los promedios de este trabajo

TABLA 2

PARAMETROS GRANULOMETRICOS DE LAS MUESTRAS DE FONDO.

Muestra	Profundidad en pies	Grava %	Arena %	Limo %	Arcilla %	Md $\phi$	Mz $\phi$	$\sigma_1 \phi$	Sk <sub>t</sub>	K <sub>G</sub>	K <sub>U</sub>
<b>Explanada externa, barlovento.</b>											
7—9	6'	9.6	91.0	0.0	0.0	1.66	1.45	1.53	-0.54	1.21	0.54
9—11	6'	0.0	98.6	1.4	0.0	1.62	1.60	0.84	0.01	0.97	0.49
10—12	7'	4.3	90.7	5.0	0.0	1.56	1.45	1.47	-0.08	2.18	0.68
21—21	4'	13.7	85.1	1.2	0.0	0.76	0.69	1.47	-0.13	1.39	0.58
23—23	3'	5.4	93.6	1.0	0.0	1.28	1.25	1.15	-0.10	1.01	0.50
24—24	2'	10.4	88.9	0.7	0.0	0.83	0.78	1.38	-0.06	0.84	0.45
47—25	2'	23.0	75.6	1.4	0.0	0.16	0.83	1.35	0.24	0.85	0.46
Promedio Hoskin		9.4	89.0	1.5	0.0	—	1.18	1.31	-0.09	—	0.53
		—	—	—	—	—	0.64	1.71	+0.34	—	0.45
<b>Foso</b>											
49—29	24'	9.0	81.0	9.8	0.2	1.93	1.81	1.91	-0.13	—	0.59
Hoskin		1.0	76.0	22.0	1.0	—	3.28	1.07	-0.13	—	0.59
<b>Explanada interna barlovento.</b>											
23—23	3'	5.4	93.6	1.0	0.0	1.28	1.25	1.16	-0.10	1.01	0.50
25—25	7'	—	98.7	1.3	0.0	2.02	1.92	0.82	-0.21	1.18	0.54
Promedio Hoskin		2.7	96.6	1.1	0.0	1.56	1.58	0.99	-0.15	1.09	0.52
		—	—	1.0	—	—	0.12	1.56	-0.11	—	0.48
<b>Laguna; fondo de la porción principal</b>											
2—3	40'	5.0	70.0	23.8	1.2	2.50	2.57	2.35	0.06	1.08	0.52
3—4	69'	0.8	32.2	63.2	3.8	5.43	5.28	1.65	0.21	1.03	0.51
5—7	20'	1.1	74.9	24.0	0.0	3.15	3.16	1.81	-0.06	1.04	0.51
6—8	25'	—	84.0	16.0	0.0	2.97	2.58	1.64	-0.28	1.00	0.50
13—15	25'	—	100.0	0.0	0.0	1.62	1.56	1.02	-0.02	1.03	0.50
15—17	70'	—	6.0	92.9	1.1	5.77	5.69	0.90	-0.18	1.13	0.53
30—30	30'	—	20.5	79.2	0.3	4.66	4.80	0.89	0.21	1.01	0.50
Promedio Hoskin		1.0	55.3	42.7	0.9	3.73	3.66	1.46	-0.01	1.04	0.51
		1.0	40.0	47.0	11.0	—	4.39	2.55	0.15	—	0.58
<b>Laguna; fondo de la porción celular</b>											
18—18	15'	6.0	84.0	10.0	0.0	1.64	1.77	1.27	0.41	0.76	0.43
19—19	20'	4.0	74.3	21.4	0.3	2.70	2.54	2.11	-0.09	1.00	0.50
20—20	10'	0.7	96.4	2.6	0.3	2.41	2.36	1.22	-0.14	1.00	0.50
27—27	22'	2.0	53.7	44.2	0.1	3.88	3.36	1.51	-0.50	0.97	0.49
28—28	18'	1.6	27.1	57.1	14.2	5.12	5.13	2.53	-0.05	1.45	0.59
29—29	20'	6.2	72.5	19.7	1.6	2.54	2.37	2.28	-0.05	0.70	0.41
Promedio Hoskin		3.4	68.0	25.8	2.7	3.05	2.92	1.82	-0.07	0.98	0.49
		2.0	52.0	41.0	6.0	—	3.64	1.89	-0.09	—	0.62

TABLA 2 (Continuación)

Muestra	Profundidad en pies	Grava %	Arena %	Limo %	Arcilla %	Md $\phi$	Mz $\phi$	$\sigma_1 \phi$	Sk <sub>t</sub>	K <sub>G</sub>	K <sub>U</sub>
<b>Arrecife en barrera, Superficie</b>											
4—5	4'	10.4	87.8	1.8	0.0	0.40	0.45	1.33	0.07	0.88	0.47
4—6	5'	9.5	85.9	4.6	0.0	0.50	0.74	1.60	0.27	0.87	0.46
11—13	2'	3.3	94.7	2.0	0.2	0.41	0.62	1.22	0.36	1.08	0.52
Promedio		7.7	89.5	2.8	0.1	0.44	0.60	1.38	0.23	0.94	0.48
<b>Arrecife reticular, Superficie</b>											
50—30	6'	6.0	91.7	2.3	0.0	1.22	1.07	1.33	-0.13	0.93	0.48
Hoskin		—	—	3.0	—	—	1.33	1.31	-0.01	—	0.48
<b>Pináculos, Superficie</b>											
41—5	3'	3.4	59.0	32.3	5.3	2.75	2.68	2.58	0.08	0.98	0.50
41—6	6'	0.5	97.5	2.0	0.0	1.58	1.40	0.95	-0.33	1.05	0.51
Promedio Hoskin		1.9	78.2	17.1	2.6	2.16	2.04	1.76	-0.17	0.01	0.50
		—	—	0.0	—	—	0.20	1.00	0.00	—	0.59
<b>Islas, Arenas de playa</b>											
12—14	+2'	4.9	95.1	0.0	0.0	0.49	0.46	0.70	-0.12	1.30	0.56
14—16	+2'	0.4	87.6	12.0	0.0	2.83	2.59	1.49	-0.17	0.91	0.47
31—31	+3'	0.6	99.2	0.2	0.0	1.65	1.57	0.69	-0.23	1.16	0.54
Promedio		1.9	93.9	4.0	0.0	1.65	1.54	0.96	-0.17	1.12	0.52
<b>Arrecife marginal de sotavento, Arenas</b>											
44—17	10'	0.1	99.6	0.3	0.0	2.39	2.23	0.58	-0.35	1.20	0.54
Hoskin		—	—	—	—	—	2.23	0.80	-0.41	—	0.58
<b>Fondo de la Sonda de Campeche</b>											
32—32	175'	3.9	40.6	55.4	0.1	4.05	3.59	1.27	0.69	1.55	0.61
33—33	165'	2.2	89.8	8.0	0.0	2.03	1.91	1.31	-0.29	1.16	0.54
35—34	140'	1.6	96.3	2.1	0.0	2.35	2.30	0.76	-0.14	1.20	0.54
Promedio Hoskin		2.6	75.6	21.8	0.0	2.81	2.60	1.11	0.09	1.30	0.56
Cann		—	—	20.0	—	—	2.84	1.97	0.08	—	0.64
		2.2	90.9	10.1	—	—	2.14	1.26	—	—	—

## 52 BIOGEOLOGÍA SUBSUPERFICIAL DEL ARRECIFE ALACRANES, YUCATÁN

concuerdan bastante bien con los de Hoskin, habida cuenta del escaso número de muestras y de la naturaleza de estos números.

Prescindiendo de los sedimentos del fondo lagunar, en esta tabla se ve mejor aún que en la anterior, que en casi todos los casos la proporción de arena es superior al 85%; el segundo lugar corresponde a la grava cuyos valores oscilan en general entre el 2 y el 10%, en tanto que las proporciones de limo y arcilla son insignificantes; el nombre de estos sedimentos correspondería pues a arenas o arenas gravosas según los casos. Recuérdese al respecto que en realidad las gravas no están adecuadamente representadas a causa del reducido tamaño de las muestras.

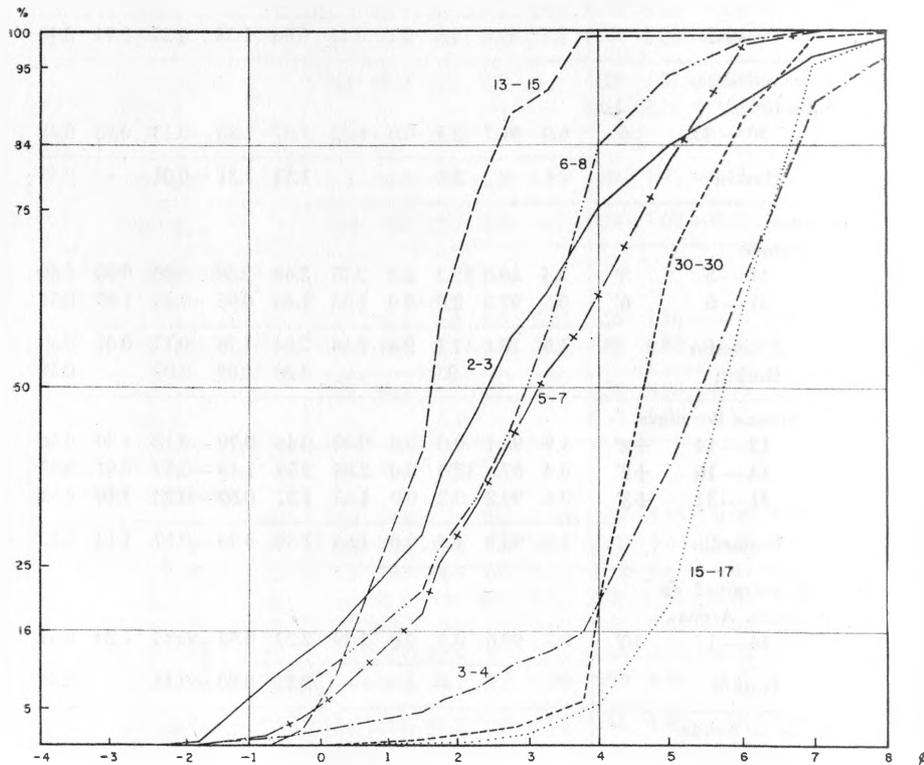


Fig. 15. Curvas acumulativas de los sedimentos del fondo de la porción principal de la laguna.

En cambio, en los sedimentos del fondo lagunar, aunque en general siguen predominando las arenas, en algunos casos predomina el limo, y en promedio las cantidades de ambos están más o menos equilibradas. Como por otra parte, las cantidades de grava y arcilla son pequeñas, estos sedimentos pueden designarse como arenas limosas o limos arenosos según los casos.

Si se examinan las columnas dedicadas a las medidas de las tendencias centrales (mediana y media aritmética) se llega a parecidas conclusiones; por ejemplo, puede verse que, con dos excepciones, las muestras del fondo lagunar tienen una media comprendida entre  $\phi$  2.3 y  $\phi$  5.7 mientras que en todas las demás muestras dicho parámetro va desde  $\phi$  0.4 a  $\phi$  2.6.

La desviación estandar ( $\sigma_1$ ) como medida de la dispersión o clasificación por tamaños quizás puede apreciarse mejor en la gráfica de puntos de la figura 20; véase como todas las muestras de la explanada de barlovento

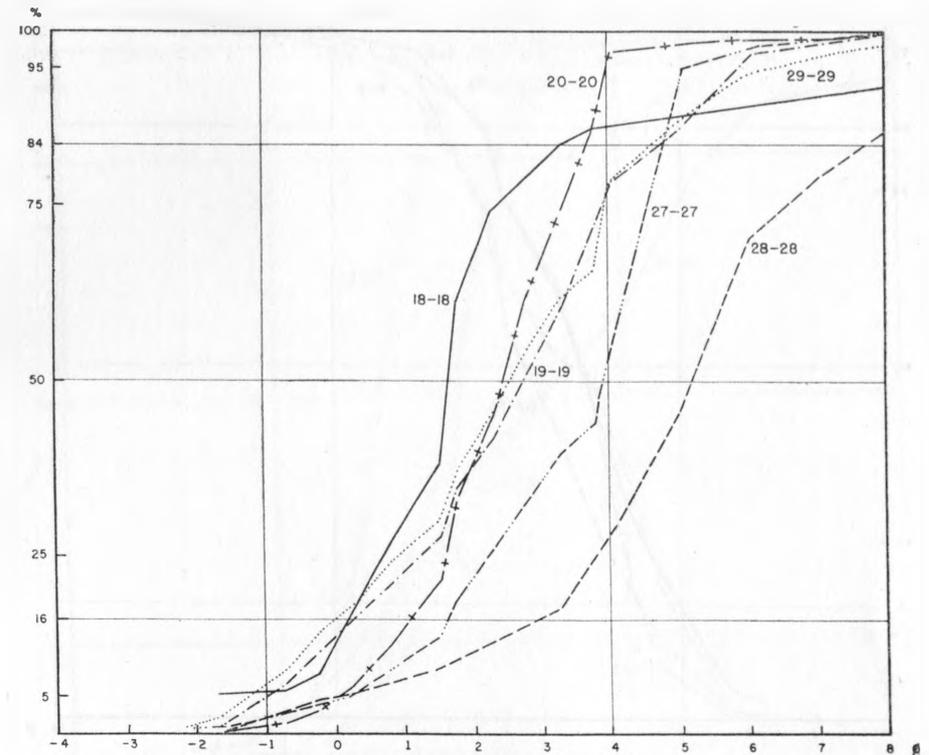


Fig. 16. Curvas acumulativas de los sedimentos del fondo de la porción celular de la laguna.

y arrecifes interiores menos una, tiene una media entre  $\phi$  0 y  $\phi$  1.7 y una desviación estandar entre  $\phi$  0.75 y  $\phi$  1.6, es decir en el rango de la arena gruesa a media y una clasificación por tamaños entre moderada y escasa. En cambio las muestras del fondo lagunar todas tienen una media entre  $\phi$  1.8 y  $\phi$  5.6 y la mayor parte caen en la categoría de escasa o muy escasa clasificación por tamaños ( $\phi \sigma_1$  entre 1.6 y 2.6). Posiblemente por el número de muestras comparativamente escaso, no se hace patente en este diagrama ninguna

tendencia definida del tipo de la indicada por Folk y Ward; es más, las muestras con  $\sigma_1$  superior a 2, es decir, las peor clasificadas, no presentan indicios de que el defecto de clasificación resida en la posible mezcla de dos poblaciones modales.

Por lo que respecta a los parámetros que miden la asimetría ( $Sk_1$ ) y curtosis ( $K_G$ ) pueden consultarse las últimas columnas de la tabla No. 2 o las gráficas de puntos de las figuras 21 a 24. Por lo que respecta a la asime-

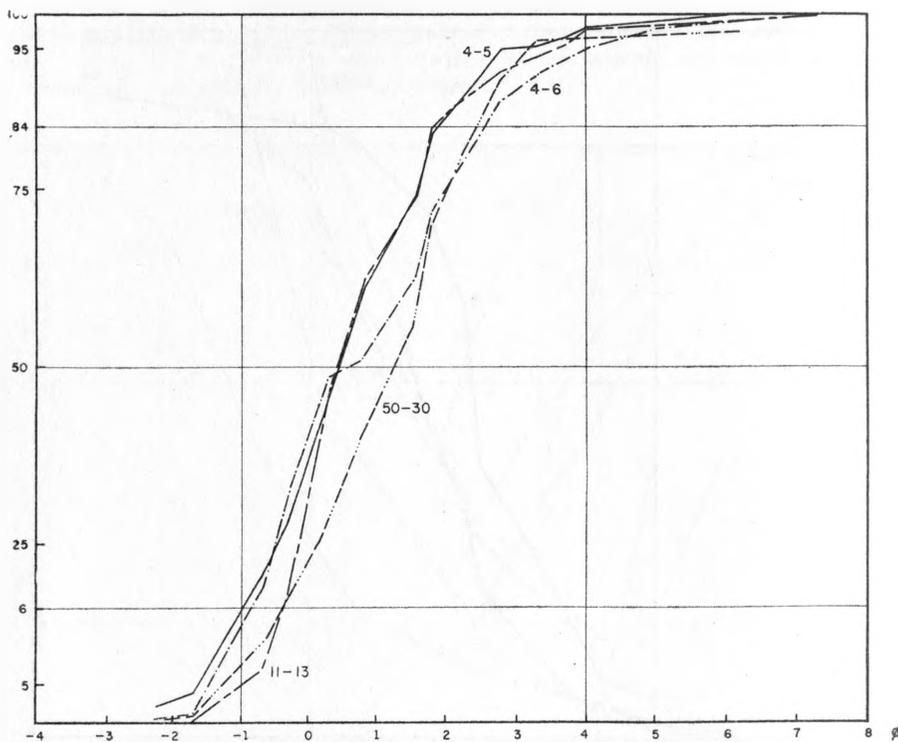


Fig. 17. Curvas acumulativas de los sedimentos de la superficie de arrecifes interiores en barrera (4-5, 4-6, 11-13) y reticulares (50-30).

tría, puede generalizarse que predominan las muestras negativas, pero ligeramente asimétricas, esto es, con ligera sobrecarga de gruesos en comparación con la distribución normal, si bien es posible que refleje más bien un déficit de finos.

La mayor parte de las muestras pueden calificarse como mesocúrticas, es decir, muy próximas a la curva normal. ( $K_G$  entre 0.9 y 1.1). Por lo demás, no se aprecia ninguna regularidad en los distintos grupos de muestras

por lo que respecta a estos parámetros cuya significación geológica, por otra parte, es más que dudosa.

Las curvas acumulativas de las muestras indicadas se incluyen en las figuras 13 a 19.

#### COMPOSICIÓN DE LOS SEDIMENTOS

Desde el punto de vista de la composición química, todos los sedimentos del arrecife están constituidos por carbonato cálcico con trazas de sílice, que provie-

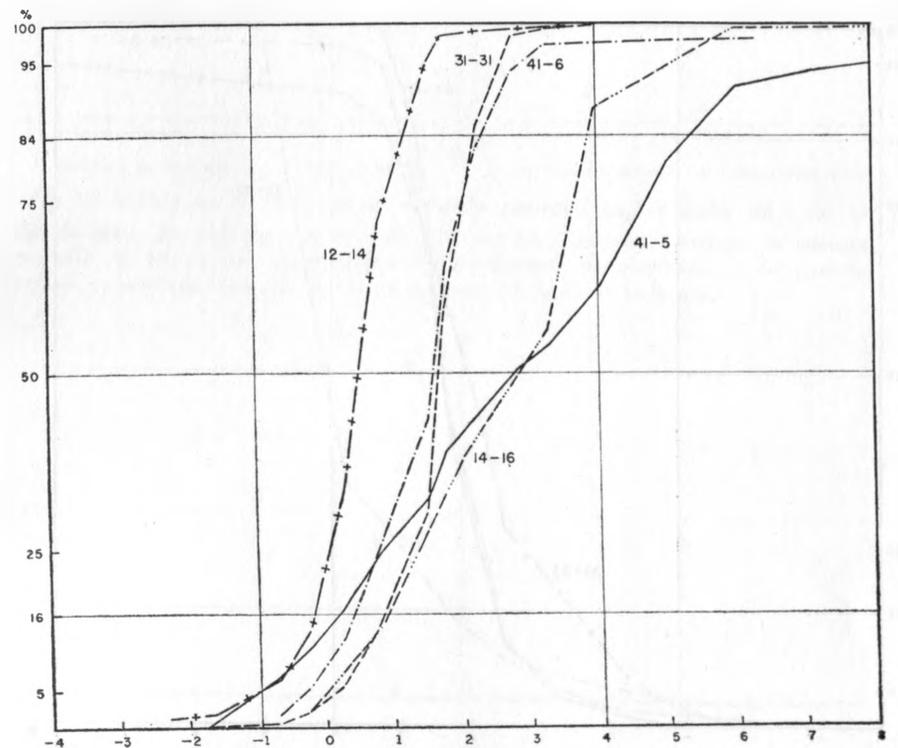


Fig. 18. Curvas acumulativas de los sedimentos de la superficie de los pináculos (41-5, 41-6) y de arena de playa de las islas (12-14, 14-16, 31-31).

ne de esqueletos de diatomeas e indicios de materia orgánica. Mineralógicamente, solo pueden mencionarse como constituyentes de estos sedimentos dos especies: aragonita y calcita. Sobre estos puntos se tratará con alguna mayor extensión cuando se describan los resultados de las muestras del subsuelo.

Parece bien comprobado, por otra parte, que la totalidad de los materiales que constituyen el arrecife provienen en definitiva de los esqueletos de or-

ganismos arrecifales, esto es, que la otra posible fuente de carbonato cálcico, la precipitación química directa de las aguas del mar, no juega en este arrecife ningún papel según los datos de Hoskin (1963: 38), con los que el presente autor está completamente de acuerdo.

Se trata de averiguar en qué proporción contribuye cada categoría de organismos a las constitución del arrecife. Para ello, siguiendo los pasos de los autores que precedieron en estudios semejantes, en este y otros arrecifes, se han hecho determinaciones en la fracción arenosa. Como se dijo anteriormen-

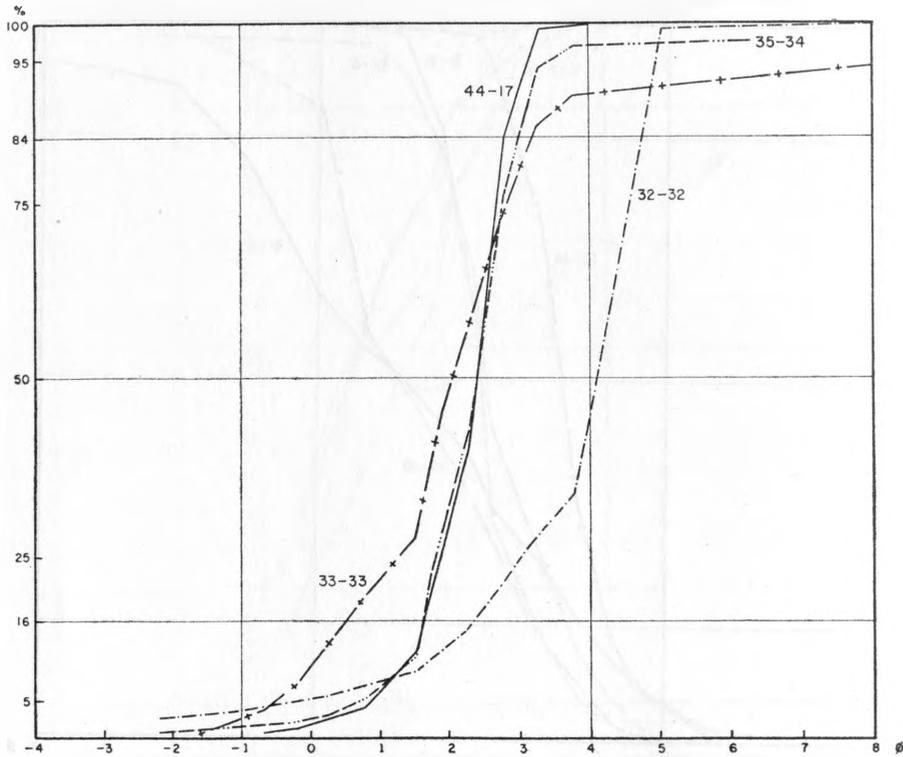


Fig. 19. Curvas acumulativas de sedimentos de la plataforma arrecifal de sotavento (44-17) y del fondo de la Sonda de Campeche (32-32, 33-33 y 35-34).

te, se utilizó el método de Ginsburg que consiste en incluir en plástico los elementos sueltos, obtener láminas delgadas y cuantear el volumen de cada clase de materiales constituyentes por el sistema de puntos.

Ginsburg, Hoskin, Cann y otros han comentado las ventajas e inconvenientes de este método en comparación con el cuanteo directo de partículas bajo el microscopio binocular. No se cree necesario insistir sobre esto.

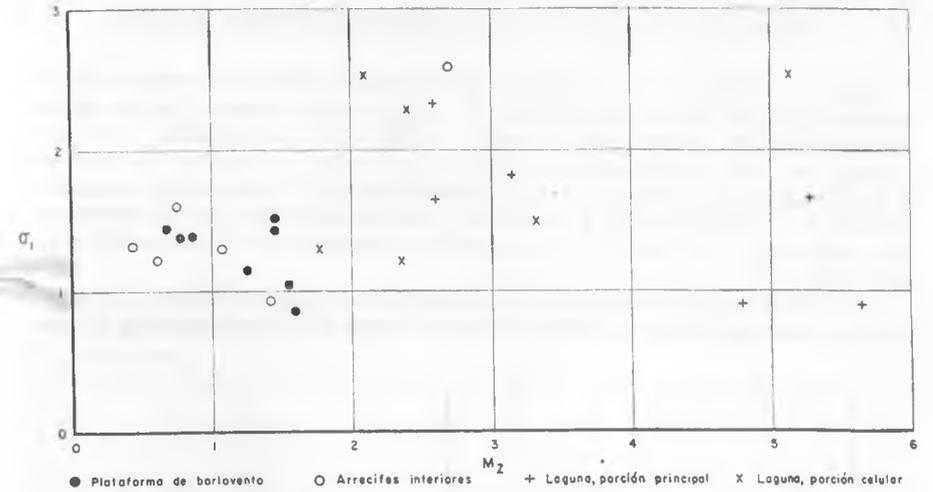


Fig. 20. Gráfica de los valores de la desviación estándar ( $\sigma_I$ ) y media ( $M_2$ ) del tamaño de grano de sedimentos superficiales del arrecife Alacranes. Obsérvese la estrecha agrupación de los puntos representativos de las muestras de plataforma y de arrecifes interiores en contraposición con los de las muestras del fondo de la laguna.

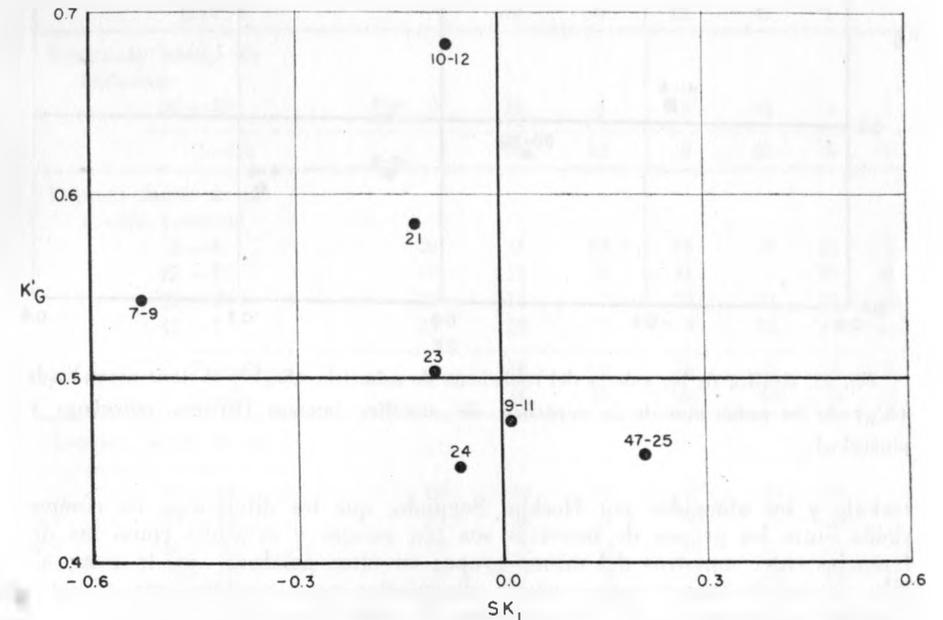


Fig. 21. Gráfica de los valores del coeficiente de asimetría ( $Sk_I$ ) y curtosis normalizada ( $K'_G$ ) de los sedimentos de la explanada arrecifal de barlovento. Cuando el número de estación es igual al número de muestra, sólo se indica una vez.

En la tabla No. 3 se condensan los resultados obtenidos, agrupando las muestras por divisiones fisiográficas. Se han incluido también los promedios de los resultados obtenidos por Hoskin, a título de comparación; estos promedios han sido recalculados para obtener porcentajes referidos únicamente a los elementos esqueléticos, es decir, eliminando en el cómputo las porciones referentes a grumos fecales y agregados, que aunque presentan diámetros correspondientes a la fracción arenosa, están constituidos por elementos mucho más finos.

El estudio de esta tabla pone en evidencia los siguientes puntos. Primero, que hay una concordancia general bastante buena entre los resultados de este

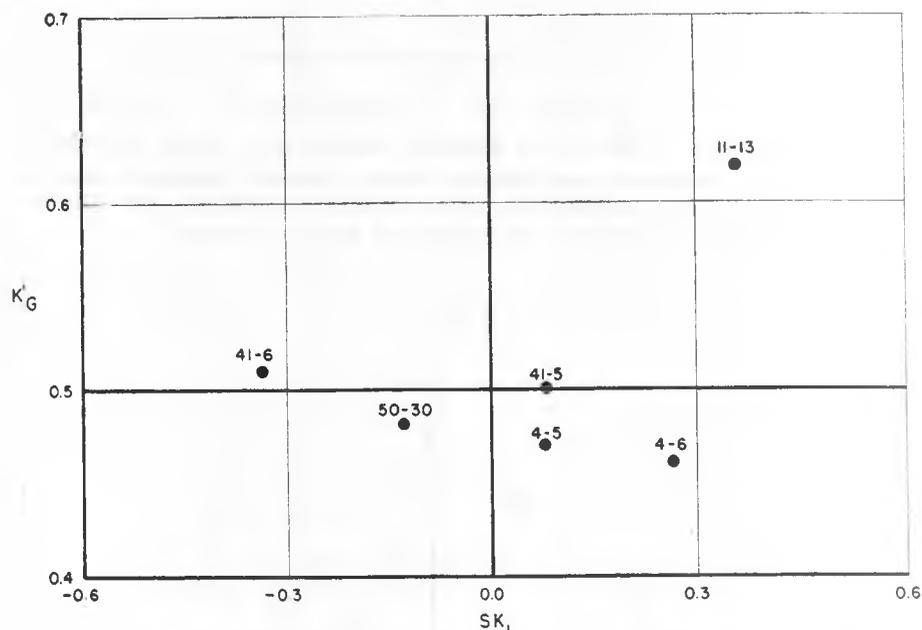


Fig. 22. Gráfica de los valores del coeficiente de asimetría ( $Sk_1$ ) y curtosis normalizada ( $K'_G$ ) de los sedimentos de la superficie de arrecifes internos (barrera, reticulares y pináculos).

trabajo y los obtenidos por Hoskin. Segundo, que las diferencias de composición entre los grupos de muestras son tan escasas y erráticos como las diferencias entre muestras del mismo grupo; en otras palabras, que la composición no puede usarse como criterio diagnóstico para atribuir una muestra o grupo de muestras a la correspondiente división fisiográfica del arrecife. En cambio, las diferencias son muy tajantes y notables al comparar muestras de los fondos de la Sonda con las muestras del arrecife; las primeras tienen una proporción de restos de moluscos notablemente superior y esta diferencia per-

TABLA 3

COMPOSICION PORCENTUAL DE LAS MUESTRAS DE FONDO

Los datos de Hoskin son promedios recalculados referidos al total de elementos esqueléticos.

	Profundidad (pies)	Coral	Moluscos	Foraminíferos	Hali-medas	Coralinas	Equinodermos
<b>Parapeto de bloques</b>							
8 — 10	2'	38	9	1	25	27	tr
Hoskin		35	5	8	31	19	tr
<b>Explanada externa de Barlovento</b>							
9 — 11	6'	38	2	3	28	29	tr
10 — 12	7'	28	11	17	28	16	tr
22 — 22	3'	32	3	4	38	19	3
47 — 25	2'	23	7	—	68	2	—
Promedio		30	6	6	40	16	tr
Hoskin		27	8	10	40	14	tr
<b>Foso</b>							
48 — 26	30'	24	19	12	18	26	1
Hoskin		33	5	10	42	9	
<b>Explanada interna de Barlovento</b>							
25 — 25	7'	25	8	12	43	11	1
Hoskin		21	10	9	52	6	1
<b>Laguna; fondo de la porción principal</b>							
3 — 4	69'	21	13	15	26	24	1
15 — 17	70'	12	8	31	9	39	tr
30 — 30	30'	13	7	18	42	19	1
42 — 7	33'	28	7	2	52	11	—
Promedio		18	9	16	32	23	tr
Hoskin		16	18	20	40	4	2
<b>Laguna; fondo de la porción celular</b>							
18 — 18	15'	24	12	7	36	19	1
19 — 19	20'	26	14	6	24	28	2
20 — 20	10'	22	3	6	33	34	1
26 — 26	20'	16	4	7	38	34	tr
27 — 27	22'	33	8	8	40	11	tr
28 — 28	18'	3	7	17	63	10	—
29 — 29	20'	8	3	3	78	8	—
Promedio		19	7	8	45	20	tr
Hoskin		31	9	7	44	7	1

TABLA 3 (continuación)

COMPOSICION PORCENTUAL DE LAS MUESTRAS DE FONDO

Los datos de Hoskin son promedios recalculados referidos al total de elementos esqueléticos.

	Profun- didad (pies)	Cora- les	Molus- cos	Fora- mini- feros	Hali- meda	Cora- li- nas	Equi- noder- mos
Arrecifes reticulares superficie							
50—30	6'	25	9	16	34	16	tr
Hoskin		34	12	5	33	15	1
Arena de playa islas							
12—14	+2'	10	6	24	44	15	1
31—31	+3'	29	9	11	43	7	1
Promedio		20	7	17	43	11	1
Explanada arrecifal de sotavento. Arena							
44—17	10'	28	6	4	56	6	—
Hoskin		38	5	5	44	5	1
Explanada arrecifal de sotavento; fondo madre- pórico							
43—13	13'	38	13	2	39	10	1
Fondo Sonda de Campeche							
32—32	175'	33	29	11	9	15	2
33—33	165'	26	34	13	10	11	5
35—34	140'	31	33	6	11	17	2
Promedio		30	32	10	10	14	3
Hoskin		29	27	15	19	8	1
Cann		11	62	10	7	7	3

siste en los datos obtenidos por Hoskin y Cann basados en un número mucho mayor de muestras. Esto ha permitido sin lugar a dudas fijar en la perforación la base del arrecife, como se verá más adelante.

Precisamente, la uniformidad de composición de las distintas partes del arrecife, hace que las estimaciones de otros autores sobre la composición global de diversos arrecifes sean comparables, no obstante la diversidad en las técnicas empleadas. En la tabla No. 4. (pág. 54) de Hoskin, este autor recopiló datos sobre 13 arrecifes, comprendiendo atolones, arrecifes en mesa, unos del Atlántico, otros del Pacífico, etc. Los porcentajes de los constituyentes prin-

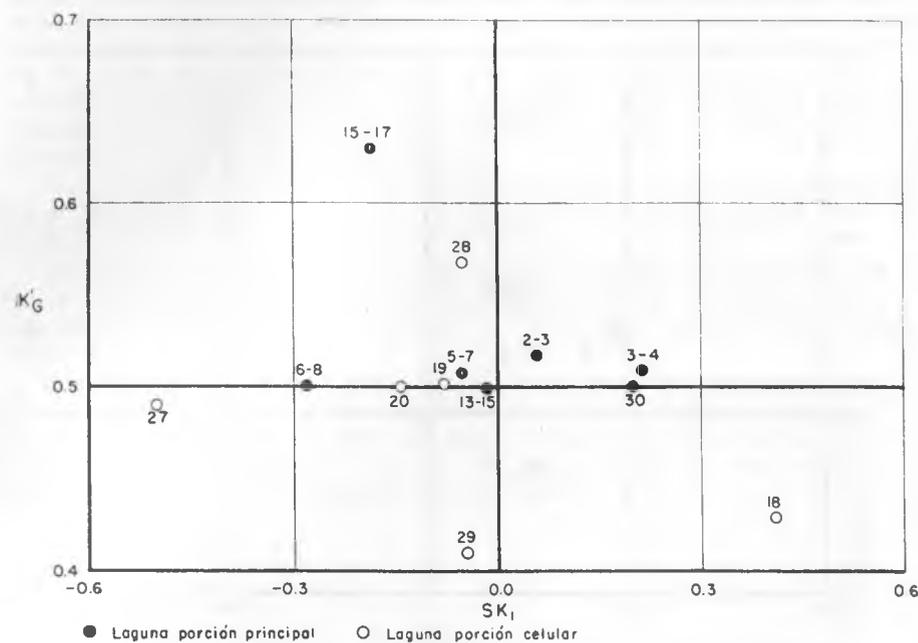


Fig. 23. Gráfica de los valores de asimetría (Sk<sub>1</sub>) y curtosis normalizada (K'<sub>G</sub>) de los sedimentos del fondo de la laguna.

cipales son tan similares que no permiten ninguna diferenciación de orden geográfico ni del tipo de complejo arrecifal. En casi todos los casos el componente más importante es *Halimeda*, seguida por los corales y en menor proporción, los moluscos, foraminíferos y coralináceas.

Por lo que respecta a Alacranes, los porcentajes recalculados, basados en 81 muestras, de Hoskin en su tabla 4, y los obtenidos con los promedios de las 23 muestras contenidas en la tabla No. 3 del presente trabajo, son las siguientes, expresando en primer lugar las cifras propias; *Halimeda*: 38 y 41; Corales: 26 y 34; Moluscos: 10 y 7; Coralináceas: 16 y 9; Foraminíferos:

10 y 7. Los demás constituyentes: equinodermos, espículas de gorgonias y de esponjas, diatomeas, etc., en conjunto no llegan al 1%.

Basados en resultados como estos y olvidando frecuentemente que se refieren exclusivamente a la fracción arenosa, es corriente la afirmación errónea de que los arrecifes actuales están constituidos predominantemente por restos de algas calcáreas. Dejando para más adelante el discutir este asunto con más detenimiento, baste indicar por ahora que en los arrecifes no solo hay arenas sino también gravas y bloques y esto, en una proporción mucho mayor de lo que pudiera sospecharse por los muestreos al uso propios y ajenos, que como ya se indicó, tienen el defecto de ser absolutamente inadecuados pa-

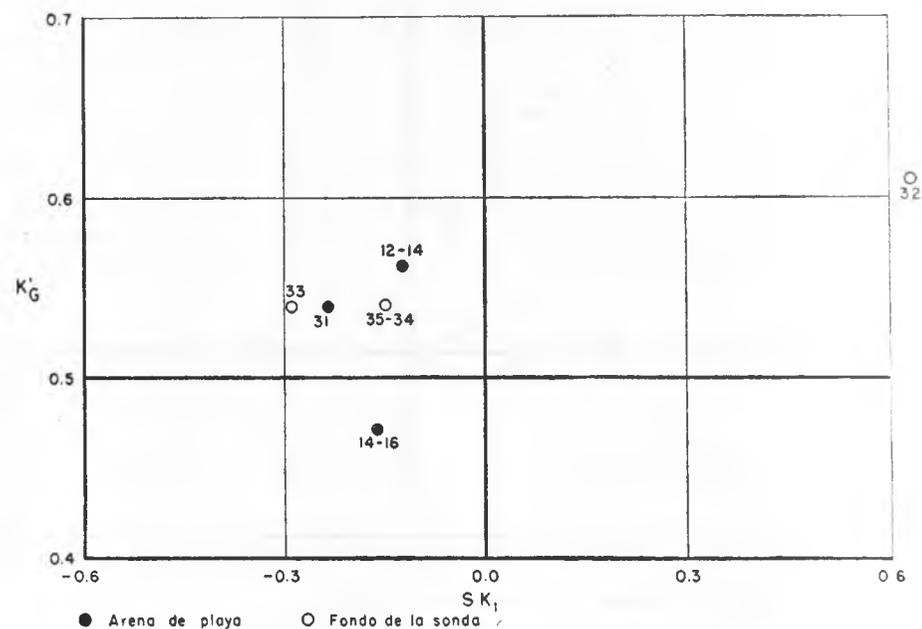


Fig. 24. Gráfica de los valores del coeficiente de asimetría ( $SK_1$ ) y curtosis normalizada ( $K'_G$ ) de sedimentos del fondo de la Sonda de Campeche (32-33 y 35-34) y de la arena de playa de las islas (31, 12-14, 14-16). Cuando el número de muestra es igual al número de estación, sólo se indica una vez.

ra dar estimación de los elementos realmente voluminosos. Creemos que una de las aportaciones principales de este trabajo es precisamente hacer ver la importancia de tales elementos en la constitución del arrecife pues casi exclusivamente son restos de corales. En el capítulo dedicado a los sedimentos del subsuelo se intentará demostrar que, después de todo, los arrecifes coralinos están constituidos principalmente por corales.

## RESUMEN DE DATOS SEDIMENTOLÓGICOS

Para condensar en pocas palabras los resultados obtenidos del estudio sedimentológico pueden enunciarse las siguientes conclusiones:

1a.—Los resultados obtenidos concuerdan con los de los autores que en sus respectivos campos han trabajado sobre el complejo Alacranes y sus alrededores, específicamente, Folk y Robles, Hoskin y Cann, lo que muestra la reproductibilidad de los métodos empleados.

2a.—La granulometría permite separar satisfactoriamente por un lado los sedimentos someros de las distintas partes del complejo y por otro, los que constituyen el fondo lagunar. En cambio no permiten separar estos últimos de los del fondo de la Sonda. Los sedimentos subaéreos de los cayos podrían también individualizarse, cuando menos en principio, por su grado de clasificación, pero estos depósitos no son significativos desde el punto de vista geológico a causa de su escaso volumen.

3a.—El análisis de composición permite en cambio separar perfectamente los sedimentos del arrecife, incluyendo los del fondo lagunar, de los de la Sonda.

4a.—Con las excepciones mencionadas, ni los métodos granulométricos, ni los de composición permiten separar los sedimentos de las distintas porciones fisiográficas del complejo ni, "a fortiori", los sedimentos propios de cada comunidad.

5a.—La composición de la fracción arenosa es similar a la encontrada por diversos autores en los arrecifes que hasta ahora se han estudiado a este respecto. La extrapolación indebida de estos resultados proporciona una idea falsa sobre la composición de conjunto del arrecife como se demostrará al estudiar a este respecto las muestras de subsuelo.

## DATOS TECNICOS SOBRE LA PERFORACION

### LOCALIZACIÓN DEL POZO

Se eligió para este fin la isla Pérez, el más extenso de los cayos arenosos del complejo arrecifal, y el único habitado permanentemente. Esta isla está situada muy cerca del extremo meridional de la explanada arrecifal de sotavento, de modo que su extremo NE confina con la laguna propiamente dicha, en tanto que su costa del SW dista unos 150 m del talud de sotavento; como consecuencia, el lugar de la perforación está a unos 250 m al SE del arrecife en franja que bordea a la isla por su costa NE, unos 600 m al NE del arrecife actual que bordea la explanada, que por cierto, es la única porción del frente arrecifal de sotavento provista de un sistema de surcos y arbotantes, así como de la asociación de *Acropora palmata*. Una descripción de la isla, así como de los cambios de configuración que ha sufrido durante el último siglo, puede verse en Bonet y Rzedowski (1962). Como consecuencia, la perforación debe informar directamente sobre la constitución del arrecife marginal de sotavento; de hecho atravesó sedimentos que corresponden a los que actualmente se encuentran en la explanada de sotavento.

El lugar exacto de la perforación está situada a 55 m al S 40°E de la esquina sudoriental de la base del faro antiguo, es decir, el faro metálico, y a 42 m al W del límite superior de las mareas en la porción más próxima de la costa oriental. Este lugar está entre las habitaciones, y la costa este, ligeramente al SW del embarcadero.

La isla carece de lente Ghyben-Herzberg y por consiguiente los acuíferos son de agua marina; el pozo se mantuvo ocupado por agua salada durante todo el período de la perforación y el espejo de agua subía y se abatía al mismo tiempo que la marea, entre 1.20 por debajo del suelo de la isla en pleamar y 1.70 en bajamar; en esa época del año (fines de septiembre) se registraban las mareas vivas más intensas (sizigiales). La altura del brocal, sobre el nivel medio del mar era de 1.55 m.

### EQUIPO DE PERFORACIÓN

Como maquinaria de perforación se utilizó la perforadora para núcleos "Joy, 12-B core Drill", con motor de explosión, cabezal del barreno y demás accesorios montados sobre patines de acero. En conjunto aparte se disponen la bomba de agua, motor y manguera de presión. El brocal asentaba sobre un tubo de guía de 3 pulgadas de diámetro y 10 de largo con tubos de ademe de 2 7/8". Los tubos de perforación eran de 1 7/8" de diámetro y 10' de largo. El muestrero de núcleos era de 2 1/4" de diámetro. Para la perforación de cabezas de coral y caliza compacta se utilizó la barrena de diamante B 1 5/8", pero la mayor parte de la perforación, que transcurrió

en sedimentos sueltos, fue llevada a cabo utilizando como barrena una broca improvisada cortando dientes triangulares en el extremo de un trozo de tubo de ademe.

El aparejo, poleas, martillo pilón, etc., se montaron en un trípode de tubos de acero (Lám. 9, fig. 2). El conjunto se dispuso sobre una pesada plataforma de madera de cedro. Dada la imposibilidad de efectuar un anclaje satisfactorio, en la arena suelta, sin recurrir a extensas cimentaciones de concreto, se cargó la plataforma con pesos adicionales constituidos por barriles metálicos llenos de agua. A un lado del aparejo se efectuó una excavación como de metro y medio de diámetro por 2 de profundidad, que proporcionó toda el agua salada necesaria.

#### MARCHA DE LA PERFORACIÓN

La excavación inicial, en la arena suelta del cayo se efectuó hasta llegar al espejo de agua a 1.30 m de profundidad, tomándose directamente tres muestras; después se procedió a enclavar el tubo de guía por percusión con ayuda de agua a presión sin encontrar resistencia de materiales firmes; se obtuvo otra muestra, pero desprovista de finos por el agua de circulación. Poco después de iniciarse la perforación rotatoria con broca de diamante, se hizo patente que por este método solo se recuperaban los escasos fragmentos de coral contenidos en los sedimentos que atravesaba la barrena, puesto que los elementos finos, que constituían la casi totalidad, eran arrastrados por el agua de circulación. El muestrero de núcleos no era del tipo adecuado para obtener muestras representativas de sedimentos sueltos tan friables, así que hubo de cambiarse de método, dejando la rotación mecánica con circulación de agua y la barrera de diamante para los escasos intervalos ocupados por cabezas de coral, o por roca caliza firme.

La mayor parte de la perforación hubo pues de efectuarse sin circulación de agua, si bien debe recordarse que el pozo permaneció constantemente lleno por agua de mar. La rotación se hizo a mano, el avance mediante golpes del martillo pilón y como barrena, un tubo de acero con su extremo dentado en forma de sierra. Se comprende que este método resultase extremadamente fatigoso y lento, pero fue el único medio de obtener muestras representativas y por cierto, se logró un grado de recuperación francamente favorable.

El mantener una perforación abierta en materiales tan deleznales, representaba el peligro constante de derrumbes y acuñaamiento de la tubería; entre los 18 y los 19 m de profundidad se hicieron dos intentos de cementación pero ambos fracasaron al resultar la barrena desviada por el tapón de cemento. Con tal motivo hubo de reanudarse la perforación renunciando definitivamente a cementar el ademe.

A los 27-28 m se rompió la tubería de perforación quedando en el interior el muestrero y 2.5 m de tubería. Con relativa facilidad se efectuó la "pesca" y se reanudó la perforación ya sin incidentes.

A los 78.56 m de profundidad se dio por terminada la perforación, en primer lugar por haberse rebasado el objetivo; además, el peligro de perder una gran longitud de tubería en un orificio al descubierto en sedimentos sueltos,

era cada vez mayor a medida que progresaba la perforación. Por otra parte, al hacerse mayor el peso de la tubería que la perforadora misma se hacía más patente el defecto de anclaje pues en ocasiones se levantaba la maquinaria y plataforma al funcionar el motor para clavar la barrena.

#### OBJETIVOS Y MUESTREO

Se consideró deseable desde un principio alcanzar una profundidad tal que hubiese la absoluta seguridad de atravesar todo el arrecife, penetrando suficientemente en el basamento para eliminar cualquier duda al respecto. Como los fondos de la Sonda de Campeche en los alrededores del arrecife, alcanzan profundidades entre los 51 y los 55 m, se consideró deseable llegar a los 65-70 m.

Se llevó a cabo un muestreo continuo de núcleos desde el comienzo hasta el final, resultando solo dos intervalos sin muestras, uno entre los 8.4 y los 10 m y otro de los 27.7 a los 34.3 metros que en total hacen 8.2 metros, de intervalo. La recuperación varió según los materiales pero en conjunto alcanzó el 37.5%, proporción inusitadamente buena en comparación con otras perforaciones hechas en arrecifes.

Conforme las muestras iban siendo sacadas del muestrero se disponían en cajas especiales de madera (Lám. 9, fig. 3) con precauciones adecuadas para evitar la contaminación y conservar la posición relativa. Cada núcleo se dividía en porciones de unos 20-30 cm de longitud, envolviendo cada una en papel de aluminio y después en un saco de plástico si se trataba de materiales sueltos. Para su conservación definitiva las porciones que no se han gastado al hacer los análisis se conservan en envases de vidrio.

Al comienzo del Apéndice II de este trabajo se indica el sistema empleado en la designación de muestras. En la descripción de cada núcleo, en el mismo Apéndice se indican circunstanciadamente los pormenores de la perforación y la disposición de los materiales obtenidos.

## MÉTODOS DE ESTUDIO DE LAS MUESTRAS DEL SUBSUELO

### SELECCIÓN DE MUESTRAS

Dispuestas en orden las porciones de cada núcleo, previa desecación al aire, se inspeccionaban cuidadosamente y después de pesadas, se separaba en todas ellas la fracción mayor de 4 mm, si se trataba de sedimentos sueltos; si se juzgaban todas las porciones suficientemente homogéneas, se seleccionaba una para efectuar análisis completos procurando elegirla hacia el centro del núcleo; las demás porciones se reservaron para referencia posterior, después de reincorporar a cada una la grava ya analizada. Si en el mismo núcleo estaban representados sedimentos con aspecto distinto, se separaba para análisis completo, una porción de cada uno. Por el contrario, si dos o más núcleos contiguos se juzgaron completamente homogéneos, se seleccionó una sola porción de uno de ellos como representativa del conjunto.

### SEDIMENTOS SUELTOS

Separadas las fracciones mayores de 4 mm, se clasificaban por tamaños (-2, -3, -4  $\phi$  etc.), y dentro de cada fracción se agrupaban y pesaban separadamente los fragmentos correspondientes a cada especie de organismos (casi siempre corales). En otras palabras, los análisis granulométricos y de composición se efectuaban simultáneamente, obteniéndose la composición por separado en cada clase de tamaño. En estas fracciones la determinación específica de los corales es casi siempre posible y la cantidad de otros organismos resulta insignificante. En cambio, en la fracción arenosa, el diagnóstico específico de los fragmentos es casi siempre imposible y la diversidad de restos orgánicos es mucho mayor. El resultado de estos análisis se ha incluido en las tablas correspondientes, señalando por separado el peso de cada organismo en cada fracción y los porcentajes ponderales correspondientes.

El tamaño máximo de las gravas que pueden estar representadas en las muestras viene limitado por el diámetro del muestrero; no obstante, elementos muy alargados, como los fragmentos de *Acropora cervicornis*, con un diámetro de 1.5 a 2 cm por 5-6 cm de longitud, están bien representadas en las muestras sin signos de fracturas debidas al muestreo. Incidentalmente, cabe aclarar que esos fragmentos muy alargados, fueron incluidos en la clase de tamaño cuyo límite inferior viene dado por el mayor cuadrado por el que *no* pueden pasar aunque sea de punta, es decir que normalmente se incluyen en la clase de 16 mm, aunque su longitud puede ser mucho mayor. Este criterio se adoptó por uniformidad con las fracciones arenosas que se separan por medio de tamices y en las cuales, un grano muy alargado puede pasar más pronto o más tarde por una malla bastante más pequeña que su longitud.

Los fragmentos con superficies de sección cilíndrica obviamente ocasionados por el taladro, *no* se computaron en el análisis granulométrico. Tales ele-

mentos representan fragmentos de "granos" de diámetro superior al taladro y de todos modos, aunque hubiesen sido computados, no representarían sino una parte alícuota desconocida de la clase de tamaño correspondiente. Estos fragmentos, designados convencionalmente como "bloques" al expresar los resultados de los análisis, son siempre fragmentos de corales y en general, provienen del corte de la barrena a través de una cabeza de coral; véase por ejemplo el representado en la lámina 10 figura 3.

Aun cuando estos núcleos no tienen significación desde el punto de vista granulométrico, sí pueden proporcionar información sobre la cantidad de cabezas de coral más o menos íntegras que entran a formar parte en la constitución del arrecife. Es evidente que conocida la proporción entre las trayectorias de una perforación lineal, a través de las cabezas y su recorrido en sedimentos sueltos, sería fácil calcular el porcentaje de cabezas por unidad de volumen de sedimentos, suponiendo que su distribución espacial fuese más o menos homogénea, e incluso hay métodos sencillos para calcular probabilísticamente las proporciones volumétricas en función de las intercepciones lineales, sobre la base de algunas suposiciones. Por esto, se han registrado la longitud de los "bloques" para poder computar su proporción en el recorrido total de la barrena.

Se insiste en que aun cuando pudieran computarse las cantidades de cabezas de coral, estas difícilmente pueden considerarse como "granos" de un sedimento suelto y por tanto está fuera de lugar su inclusión en una distribución granulométrica. Esencialmente, la granulometría informa sobre la producción de *clásticos* y su distribución espacial de acuerdo con los factores hidrodinámicos que entraron en juego e inversamente, permite, en principio, reconstruir las condiciones ambientales pasadas basándose en la disposición actual de los clásticos. Las cabezas de coral "in situ", ni son *clásticos* ni su distribución está determinada directamente por factores hidrodinámicos.

Por razones similares, aunque aparentemente opuestas, se han eliminado también de los cómputos granulométricos los nódulos que se encuentran en sedimentos sueltos, pero parcialmente litificados. Se trata de elementos más o menos redondeados, del tamaño de gravas o arenas gruesas, que se encuentran en una matriz arenosa o limosa. Lejos de ser el resultado de una fragmentación natural o artificial de calizas, están formados por agregación y cementación de los mismos granos arenosos o limosos que constituyen la matriz.

Los análisis granulométricos y de composición de las fracciones inferiores a 4 mm. se llevaron a cabo siguiendo exactamente los mismos métodos que se especificaron al tratar de los sedimentos de fondo superficial puesto que se trata de establecer comparaciones entre ambos. Cabe mencionar únicamente que los sedimentos parcialmente litificados, esto es, con nódulos, la presencia de estos entre los gránulos y arenas gruesas presenta una dificultad pues no es tan fácil eliminarlos como en el caso de las gravas; se recurrió al procedimiento de hacer presión con la goma de un lápiz sobre los granos sospechosos deshaciéndose los agregados de tipo nodular puesto que su grado de litificación es relativamente bajo. Esto no excluye por completo el que ciertos granos esqueléticos frágiles hayan podido pasar a incrementar una clase más fina de la que les correspon-

dería y al contrario, que algunos nódulos hayan resistido la presión de la goma, pero se cree que en conjunto esto no representó una causa seria de error.

Los resultados de los análisis de composición se han expresado en el Apéndice II en tablas que comprenden las fracciones superiores a 4 mm; en aquellas porciones que se sometieron a análisis completo, se incluyen además en tablas que comprenden todas las fracciones superiores a 1/8 de mm; a pesar de esto no hay duplicación pues en las tablas de la fracción gruesa se distingue específicamente los corales mientras que los que incluye la fracción arenosa solo se indican grupos taxonómicos más amplios. Por último, en la tabla 7, se indica la composición de las fracciones mayores de 1/8 de mm pero inferiores a 4 mm; este cuadro tiene por objeto principal facilitar la comparación de las muestras de subsuelo con las de los fondos actuales, en las que falta virtualmente la porción gravosa por defecto de muestreo.

#### SEDIMENTOS LITIFICADOS

La proporción y composición de las gravas se hizo estimando la superficie ocupada por fragmentos de cada especie en proporción a la superficie visible del núcleo, sin hacer la corrección para pasar de superficies a volúmenes.

El estudio sedimentológico y petrográfico se efectuó utilizando los métodos usuales de obtención de láminas delgadas y examen al microscopio petrográfico. No se intentó estudiar la granulometría y composición cuantitativamente, pues la equivalencia entre los datos granulométricos obtenidos por tamizado y los obtenidos por análisis de puntos en lámina delgada dejan mucho que desear. Por otro lado, la mayor parte de las muestras litificadas presentan granos tan finos que impiden el diagnóstico de origen en la mayor parte de la muestra.

#### ANÁLISIS QUÍMICO Y MINERALÓGICO

Por métodos comunes de análisis químico se cuantearon el calcio y el magnesio, encontrándose que el porcentaje del primero es prácticamente el que corresponde al carbonato cálcico y la del magnesio, es nula o insignificante. Eliminada pues la existencia de dolomita y calizas magnesianas quedaban por determinar las proporciones de aragonita y calcita. Esta proporción fue determinada por un método de difracción de rayos X utilizando un equipo de difracción North American Philips Co., con un sistema de detección Geiger usado a 1550 voltios; las gráficas fueron obtenidas con un aparato Brown. Fue utilizado un tubo de rayos X con anticátodo de cobre operado a 35 Kw y 15 ma, con voltaje estabilizado y filtro de níquel.

Se emplearon factores de escala 2 y 4; factor multiplicador 0.8 y constante de tiempo 8 segundos. La velocidad del goniómetro fue de 1/2 grado por minuto y la del papel de gráfica de 76.2 cm por hora.

Las muestras pulverizadas fueron pasadas por un tamiz de 100 mallas y empacadas en portamuestras de aluminio. Los porcentajes se obtuvieron en relación con la altura de picos a 29.4° para la calcita y 26.2° para la aragonita, de acuerdo con las curvas publicadas por Lowenstam (1954). Los resultados pueden verse en la tabla No. 9.

## COLUMNA LITOSTRATIGRAFICA ATRAVESADA

### CARACTERÍSTICAS GENERALES Y DIVISIÓN

En el Apéndice II de este trabajo se encontrarán descripciones detalladas de cada una de las muestras obtenidas, así como los datos circunstanciados de perforación, disposición de las muestras y su significación paleoecológica. En este lugar se expondrán brevemente las conclusiones generales obtenidas del estudio de estas muestras y su comparación con las de los fondos superficiales actuales. En los diagramas de las figuras 25, 30 y 31 y en las tablas 4 a 7 están expuestos los datos numéricos en los que se basa la siguiente discusión.

Se considera conveniente tratar por separado cada una de las divisiones que pueden hacerse en la columna atravesada por la perforación; estas son, de la superficie al fondo, las cuatro que se definen a continuación: 1) Sedimentos del cayo arenoso, 0.0-3.5 m. Arenas de depósito subaéreo, por lo menos en parte, idénticas a las que actualmente constituyen la isla. 2) Sedimentos del arrecife actual, 3.5-33.5 m. Bloques, gravas y arenas no consolidadas, con la composición correspondiente a los fondos actuales de la plataforma de sotavento. 3) Arrecife antiguo, 33.5-60.4 m. Elementos similares a los de la sección anterior pero parcialmente litificados. 4). Depósitos de la Sonda, 60.4-78.5 m. Arenas finas y limos parcialmente litificados virtualmente sin corales, con abundantes moluscos; con la fauna de los actuales fondos de la Sonda de Campeche.

### SEDIMENTOS DEL CAYO ARENOSO

Entre los 0.0 m y los 3.5 m de profundidad, arenas sueltas, con muy escasa grava de características similares a los actuales sedimentos subaéreos de isla Pérez. El espejo de agua, a una profundidad de 1.20 a 1.70 m según el estado de la marea, permite subdividir esta sección en dos unidades.

*0.0-1.30.* Muestra M-1. Arenas ligeramente gravosas, con las mismas características granulométricas (fig. 26) y de composición que las otras arenas subaéreas de isla Pérez. (Cf. muestra actual 12-14). El escaso valor de su desviación estandar, alta proporción de arena, escasa cantidad de grava y franca leptocurtosis son caracteres que no se encuentran en las restantes muestras del subsuelo. La escasa cantidad de gravas y corales, así como la gran cantidad de *Halimeda*, constituyen otras características apreciables. Sobre los sedimentos subaéreos de isla Pérez, véase Folk y Robles (1964).

*1.3-3.5.* Muestra M-4. Se trata de arenas sueltas también con muy escasa cantidad de grava a juzgar por las características de perforación. Aunque actualmente están bajo el agua, pudieran haber sido depositadas como arenas de playa. La única muestra disponible no arrojaría luz al respecto por estar

privada de finos como artefacto de perforación. Por otra parte, aunque la distinción entre arenas de playa y la de barras sumergidas de la explanada de sotavento, según los datos de Folk y Robles es muy neta estadísticamente, puede no ser tan clara al comparar muestras aisladas; véanse al efecto los parámetros de las muestras actuales 12-4 y 44-17 en la tabla No. 2.

SEDIMENTOS DEL ARRECIFE MODERNO

Comprende esta sección un espesor de 30 m entre los 3.5 y los 33.5 m de profundidad y las muestras de los núcleos 1 al 21 y M-5 a M-11. En este intervalo la longitud agregada de "bloques", es decir, de cabezas de coral es de 3 m o sea la décima parte del recorrido total; pasando a volúmenes las cabezas íntegras representarían el 0.1% de los materiales del arrecife. Característica muy importante de toda esta sección es el estar constituida exclusivamente por sedimentos sueltos, sin el menor indicio de litificación.

Comparando las distribuciones granulométricas de esta sección con las de los fondos actuales se aprecian diferencias sistemáticas difíciles de explicar. Por ejemplo, las muestras de subsuelo presentan una marcada plurimodalidad que comporta altos valores de la desviación estandar; esto significa muy mala clasificación por tamaños y platicurtosis acentuada (figs. 30 y 31). Estas características no se encuentran en muestras de ninguna de las divisiones fisiográficas del complejo arrecifal actual (Cf. tabla 1 y tabla 5) y esto sigue siendo cierto al compararlas con los datos de Hoskin que comprenden representación de elementos fisiográficos no estudiados en este trabajo. Una posible explicación parcial de esta discrepancia pudiera consistir en el déficit de gravas en las muestras de los fondos actuales debido a su insuficiente tamaño, pero ciertamente los múltiples modos en las fracciones arenosas y limosa deben ser explicados de otra manera.

Fig. 25. Registros del pozo perforado en isla Pérez.

A). Porcentaje de grava. En los sedimentos sueltos, medido por el peso de la fracción mayor de 2 mm; en los sedimentos litificados, porcentaje estimado por inspección directa. Los "nódulos calcáreos" no se computaron como grava por estimar que son resultado de una aglomeración de elementos finos posterior al depósito.

B). Porcentaje de los principales componentes de los sedimentos encontrados en la fracción mayor de 1/8 de mm. El resultado ponderal de cada porción analizada se considera generalizado para todo el núcleo o parte del mismo que presenta los mismos caracteres litológicos.

C). Cabezas de coral en posición de crecimiento señaladas por un rectángulo negro de altura proporcional al diámetro de cada cabeza. Sedimentos totalmente litificados representados por bandas que comprenden toda la anchura del registro; si en un mismo núcleo hay varias capas delgadas litificadas separadas por sedimentos sueltos, se considera una sola banda de espesor igual a la suma de ellas. Cuando hay nódulos litificados su porcentaje ponderal se simboliza por la anchura del símbolo correspondiente.

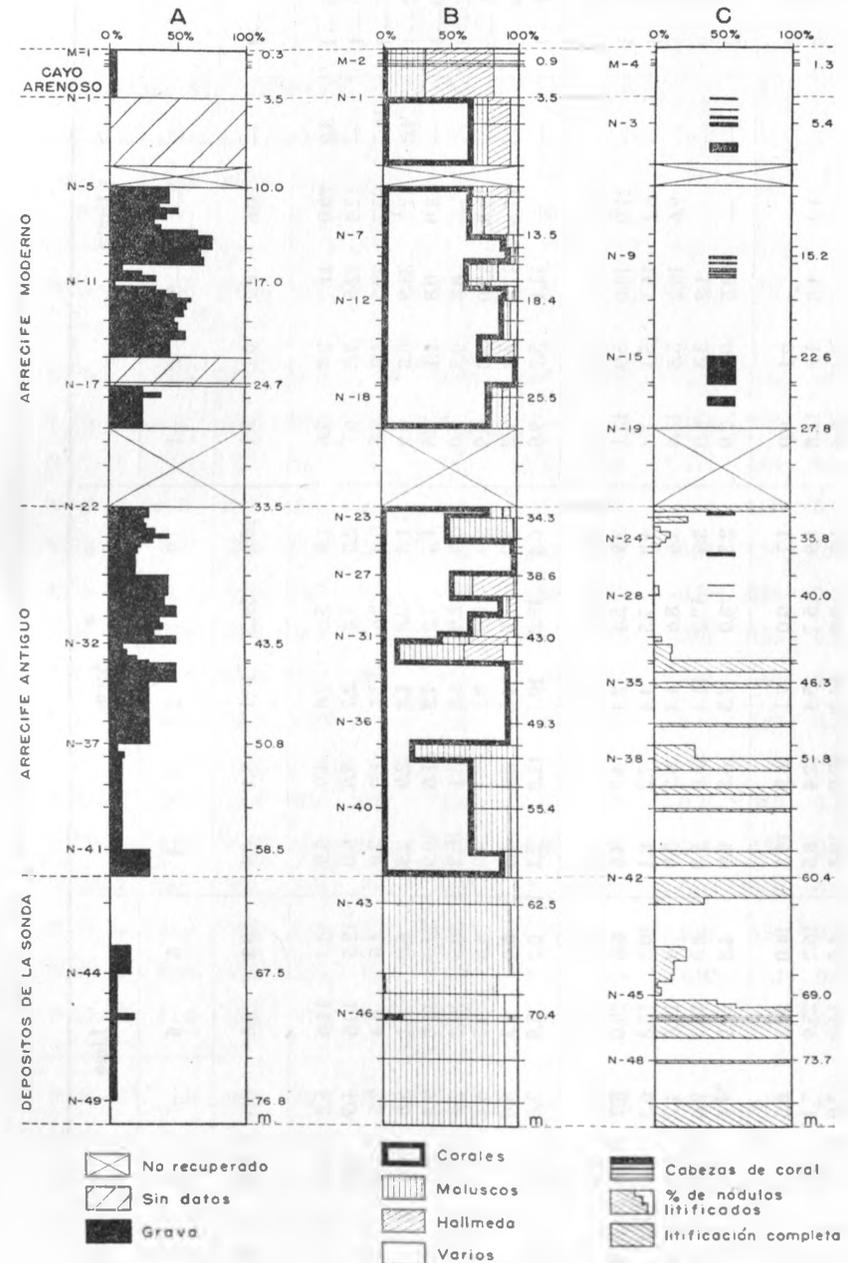


Fig. 25.

TABLA 5

## PARAMETROS GRANULOMETRICOS DE LAS MUESTRAS DE POZO

Muestras	Grava %	Arena %	Limo %	Arcilla %	Md $\phi$	$M_z$ $\phi$	$\sigma_1$ $\phi$	$Sk_1$	$K_a$	$K_G$
M —1	4.7	93.7	1.3	0.3	0.54	0.39	0.80	-0.17	1.34	0.56
N 5—1	43.6	19.9	33.0	3.4	0.99	0.67	4.16	-0.05	0.56	0.36
N 6—1	45.3	25.4	29.3	0.0	0.60	0.63	3.78	+0.04	0.55	0.35
N 7—1	74.2	8.7	15.1	2.0	-3.66	-1.47	4.09	+0.72	1.04	0.51
N 8—1	67.2	11.2	21.6	0.0	-3.14	-0.82	3.95	+0.72	0.70	0.41
N 10—1	8.5	38.4	51.9	1.2	4.13	3.62	2.56	-0.34	1.14	0.53
N 11—1	1.8	42.9	55.2	0.0	4.16	3.86	1.63	-0.26	0.98	0.49
N 11—2	33.8	35.8	28.5	1.9	1.38	1.16	4.12	-0.01	0.55	0.36
N 14—1	45.8	27.0	27.2	0.0	0.15	0.70	4.21	+0.20	6.60	0.37
N 17—1	25.8	54.2	19.0	1.0	1.99	1.46	3.07	-0.17	0.89	0.47
N 23—2	28.0	31.4	40.6	0.0	2.60	1.87	3.79	-0.26	0.60	0.37
N 27—1	43.6	19.5	36.9	0.0	0.82	0.98	3.91	+0.06	0.53	0.35
N 29—1	36.7	22.4	31.9	0.0	1.40	1.17	3.77	-0.08	0.56	0.36
N 31—1	42.0	26.6	31.4	0.0	0.70	0.91	3.81	+0.06	0.54	0.35
N 32—2	12.5	51.6	35.2	0.6	2.62	2.41	2.69	-0.02	0.81	0.45
N 37—2	11.4	39.7	47.6	1.3	3.92	3.60	2.89	-0.30	0.96	0.49
N 42—1	1.0	46.3	52.7	0.0	4.22	3.89	1.94	-0.23	0.89	0.47
N 43—4	16.1	33.8	50.0	0.1	4.00	2.91	2.90	-0.46	0.79	0.44
N 44—2	4.0	67.4	27.5	1.0	2.56	3.11	2.17	+0.26	0.88	0.47
N 46—1	18.1	46.9	34.0	1.0	2.19	2.31	3.00	+0.04	0.63	0.39

TABLA 4  
DISTRIBUCION GRANULOMETRICA DE LAS MUESTRAS DEL POZO

	Grava					Arena					Limo				Arcilla
	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	<8
M —1	—	0.8	0.7	0.1	3.1	20.8	59.2	10.1	3.1	0.4	0.3	0.6	0.3	0.2	0.3
N 5—1	3.9	20.0	11.7	2.4	5.6	1.5	5.2	2.8	4.9	6.9	13.7	11.6	5.2	1.1	3.4
N 6—1	—	12.4	22.5	3.8	6.7	2.3	5.8	2.7	5.6	9.0	12.5	10.6	4.5	1.6	—
N 7—1	16.7	25.7	23.5	4.8	3.5	0.9	2.6	1.4	1.8	2.0	4.5	6.4	2.5	1.7	2.0
N 8—1	4.3	17.3	33.9	6.8	4.9	1.3	2.8	1.8	2.9	2.4	6.0	9.1	5.8	0.6	—
N 10—1	—	3.0	0.8	1.1	3.6	1.5	7.2	7.2	11.6	10.9	21.4	17.8	9.3	3.3	1.2
N 11—1	—	—	0.3	0.5	1.0	0.9	5.9	6.8	13.1	16.2	30.5	19.2	2.5	3.1	—
N 11—2	—	12.8	12.0	3.0	5.9	2.9	10.9	8.2	9.1	4.8	6.3	9.7	5.1	7.4	1.9
N 14—1	—	17.3	17.0	4.3	7.2	3.7	7.6	4.5	6.4	4.8	5.6	6.3	5.6	9.7	—
N 17—1	—	—	11.1	5.7	9.0	6.4	18.2	10.7	11.8	7.1	8.2	5.9	3.0	1.9	1.0
N 23—2	—	8.0	7.8	5.7	6.5	4.5	8.1	4.6	7.9	6.3	8.9	17.6	13.8	0.2	—
N 27—1	—	11.0	13.6	5.9	13.1	2.9	5.4	2.4	4.2	4.6	8.6	20.0	5.7	2.6	0.0
N 29—1	—	8.1	16.1	5.1	7.4	4.2	7.5	4.4	7.2	8.1	10.3	15.3	6.3	—	—
N 31—1	—	9.6	15.2	5.8	11.4	3.6	8.6	4.3	6.2	3.9	7.9	17.6	4.7	1.2	0.0
N 32—2	—	—	1.2	3.3	8.0	3.7	12.2	11.4	15.0	9.3	8.0	16.7	9.6	1.0	0.6
N 37—2	—	—	8.5	0.9	2.0	2.3	6.0	7.3	14.2	9.9	4.8	17.8	24.4	0.5	1.3
N 42—1	—	—	—	0.1	0.9	1.7	9.0	7.1	15.0	13.5	14.0	29.5	6.5	2.7	0.0
N 43—4	—	1.1	1.3	1.8	11.8	1.9	5.7	5.4	12.4	8.5	16.2	25.9	7.1	0.8	0.0
N 44—2	—	—	—	0.4	3.6	1.5	9.9	14.8	30.9	10.3	4.5	14.0	7.9	1.5	0.7
N 46—1	—	—	0.9	3.0	14.2	6.5	14.3	9.1	10.3	6.7	5.8	16.9	11.6	0.8	0.8

Otra discrepancia importante se refiere al elevado porcentaje de moluscos y, con excepción de los sedimentos más someros, la escasísima representación de fragmentos de *Halimeda* en la fracción arenosa (Cf. tabla 3 y tabla 7) de las muestras de subsuelo. A este respecto, la diferencia se presenta con los datos de muestras actuales, tanto propios como los de Hoskin. La polimodalidad además de constituir en sí un problema no resuelto, ha constituido una gran dificultad para obtener conclusiones paleoecológicas basadas en la granulometría.

Los eventos paleoecológicos principales enumerados por orden cronológico son los siguientes:

- 1) Banco arenoso similar a los que actualmente existen en la explanada de sotavento (?). Espesor, 5.8 m.
- 2) Fondos coralinos ocupados por la asociación de corales macizos y gorgonias en la explanada de sotavento. Espesor, 5.2 m.
- 3) Fondos con grava de *A. cervicornis* al pie de un arrecife protegido, en la explanada de sotavento. Espesor, 5.6 m.
- 4) Fondos coralinos con la asociación de corales macizos y gorgonias, en la explanada de sotavento. Espesor, 1.8 m.
- 5) Fondos con grava de *A. cervicornis* al pie de un arrecife protegido, en la explanada de sotavento. Espesor, 1.6 m.
- 6) Asociación de *A. cervicornis* en el borde de la cima de un arrecife protegido. Espesor, 2.9 m.
- 7) Cebadal de *Thalassia* o asociación de *Penicillus* en la cima de un arrecife protegido. Espesor, 7.2 m.

Desde que se inició el crecimiento del arrecife moderno, en la vertical de la perforación, se acumularon primero bancos de arena más o menos someros, sobre los que después se establecieron primero fondos coralinos y después fondos con grava de *Acropora* repitiéndose las alternancias; ambos tipos de fondos son hoy frecuentes en la explanada de sotavento a unos 8-12 m de profundidad y no hay razón para suponer que en el pasado las cosas ocurriesen de distinto modo. Después se instaló la asociación de *A. cervicornis* y probablemente el cebadal de *Thalassia* o sus equivalentes a profundidades menores de 3 m y que, en general, se encuentran en la cima de arrecifes que crecen sobre la misma explanada. Todo parece indicar que el lugar de la perforación ha ocupado una posición relativa similar a la que ocupa hoy en el complejo arrecifal.

La ausencia de litificación, de acuerdo con el punto de vista actual, significa que estos sedimentos no han emergido desde su depósito lo que implica una edad post-Wisconsin, comprendida entre la última detención en la subida eustática del nivel del mar de la transgresión Flandriense y el término de esta transgresión esto es, entre 8 000 y 5 000 años antes de los tiempos actuales.

En esta sección pueden considerarse los intervalos que se describen a continuación.

TABLA 6

COMPOSICION PORCENTUAL DE LA FRACCION MAYOR DE 1/8 mm. DE LAS MUESTRAS DE POZO.

Núcleos	Corales	Moluscos	Foraminíferos	Halimeda	Corallinas	Equinodermos	Ostracodos	Otros crustáceos	Brizoa	Serpulidos	Alcionarios	Espojas	Indeterminado	Suma	% muestra total
M 1	3	28	14	51	1	1	1	1	1	1	tr	1	tr	97	98.0
N 5-1	67	11	3	16	tr	1	2	tr	tr	tr	tr	tr	tr	97	58.0
N 6-1	64	10	3	19	tr	1	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	99	62.6
N 7-1	91	8	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	99	80.9
N 8-1	94	4	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	98	76.0
N 10-1	62	23	6	tr	tr	tr	4	tr	tr	tr	tr	tr	tr	98	36.0
N 11-1	63	14	9	4	tr	tr	3	tr	tr	tr	tr	tr	tr	99	28.5
N 11-2	84	11	3	tr	tr	tr	1	tr	tr	tr	tr	tr	tr	99	64.8
N 14-1	73	8	tr	18	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	99	68.0
N 17-1	81	8	3	6	tr	tr	1	tr	tr	tr	tr	tr	tr	99	72.9
N 23-2	50	49	1	1	tr	tr	1	tr	tr	tr	tr	tr	tr	99	58.0
N 27-1	54	14	tr	31	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	99	58.5
N 29-1	68	5	tr	26	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	99	60.0
N 31-1	46	18	3	29	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	98	64.7
N 32-2	13	48	3	30	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	95	54.8
N 37-2	24	73	tr	1	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	99	41.2
N 42-1	1	97	2	1	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	100	33.8
N 43-4	1	95	5	1	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	100	41.5
N 44-2	1	83	12	1	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	99	61.1
N 46-1	14	81	2	1	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	99	58.3

3.5-10.7. Núcleos 1 al 5; muestras M-5. Grava limoso-arenosa con pronunciada bimodalidad (fig. 26); un modo principal en las gravas y otro en el limo, lo que se traduce por una clasificación por tamaños muy mala (alta desviación estándar) y gran platicurtosis, pero con curva prácticamente simétrica.

Abundan las cabezas de *Porites porites* y *P. astreoides* con algo de *Diploria strigosa* y *Acropora cervicornis*. La presencia de las dos primeras especies así como la abundancia de *Halimeda* sugiere fondos muy someros, fangosos, posiblemente un cebadal de *Thalassia* o asociación de *Penicillus*, en la cima de un arrecife protegido. También pudiera pensarse en la asociación de *Porites* ramosos. Esta hipótesis no explica la fuerte bimodalidad antes mencionada.

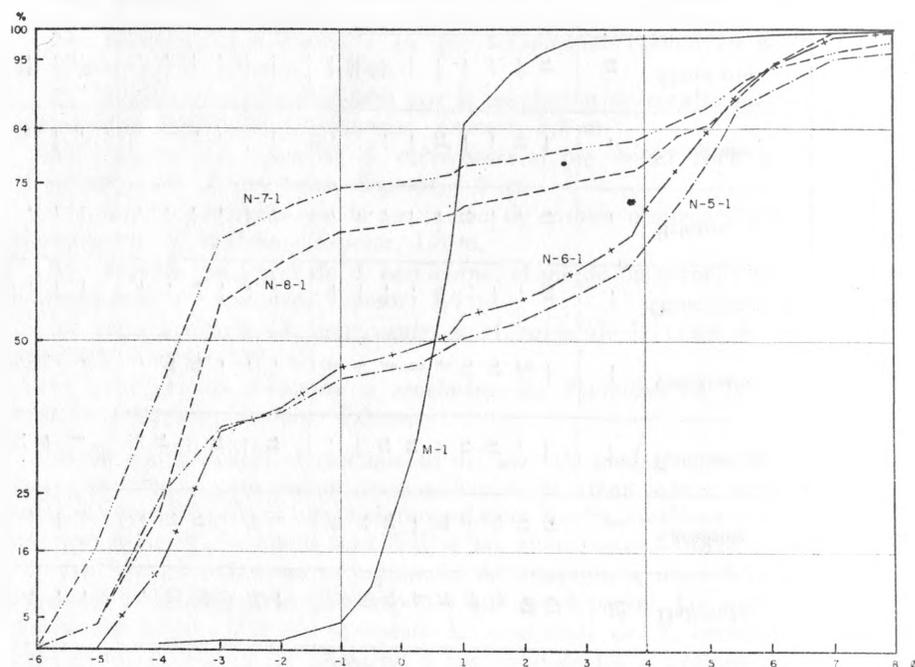


Fig. 26. Curvas acumulativas de los sedimentos obtenidos en el pozo de isla Pérez. Muestra 1 y núcleos 5, 6, 7 y 8.

10.7-13.6. Núcleo 6, porciones 6-1 a 6-6. Grava limoso-arenosa fuertemente bimodal, con las mismas características paramétricas que el intervalo supra-yacente.

Los fragmentos de *A. cervicornis* dominan de manera absoluta con *Porites* y *Montastrea* en cantidad muy subordinada. Probablemente se trata de la asociación de *A. cervicornis* que ocupa aguas muy someras en la zona periférica de la cima, así como en la porción superior de los flancos de los arrecifes protegidos. Esta hipótesis no explica la bimodalidad, pero la identidad de distribución de este intervalo y el anterior parece implicar igualdad de condiciones

TABLA 7  
COMPOSICION PORCENTUAL DE LA FRACCION MENOR DE 4 mm. Y MAYOR DE 1/8 mm. DE LAS MUESTRAS DEL POZO.

Muestras	Corales	Moluscos	Foraminíferos	Halimeda	Coralinas	Varios	Indeterminado	Sumas
M-1	2	36	14	46	1	tr	1	100
N 5-1	6	29	10	48	2	3	tr	98
N 6-1	10	24	7	51	2	6	1	101
Promedio parcial	8	26	9	50	2	4	tr	99
N 7-1	58	30	5	tr	tr	4	2	99
N 8-1	78	13	3	1	—	5	1	101
N 10-1	63	27	4	tr	—	5	1	100
N 11-1	63	20	6	4	—	4	3	100
N 11-2	75	17	4	1	1	2	—	100
N 14-1	44	15	1	39	tr	1	—	100
N 17-1	77	10	3	8	1	1	1	101
Promedio parcial	65	19	4	8	tr	3	1	100
N 23-2	19	81	—	—	tr	—	—	100
N 27-1	6	48	tr	45	—	—	1	100
N 29-1	35	11	1	52	—	1	—	100
N 31-1	17	19	6	52	—	2	5	101
N 32-2	12	45	3	36	—	2	1	99
N 37-2	5	90	tr	—	—	2	3	98
Promedio parcial	16	47	2	30	tr	1	2	100
N 42-1	—	97	2	—	—	1	—	100
N 43-1	—	93	7	—	—	—	—	100
N 44-2	2	88	7	—	—	2	1	100
N 46-1	13	84	2	—	—	1	1	101
Promedio parcial	4	90	4	—	—	1	1	100

batimétricas. Debe declararse que es muy difícil la diferenciación en muestras de subsuelo entre sedimentos de la asociación de *A. cervicornis* y los de los fondos de grava de *A. cervicornis* situados a mayor profundidad; la composición biótica es la misma y la distribución granulométrica no ayuda mucho, pues la multimodalidad de los sedimentos del subsuelo impide la comparación directa con los respectivos sedimentos actuales, cuyas gravas por otra parte, tampoco se conocen bien. Únicamente cabe apuntar que en los núcleos 1 al 6, abundan relativamente los fragmentos de *Halimeda*, que faltan virtualmente en los sedimentos atribuidos al fondo de gravas.

La porción 6-7, correspondería a la zona de *Montastrea*, inmediatamente por fuera y ligeramente más profunda que la de *A. cervicornis* pues ya corresponde al flanco del arrecife protegido.

13.6-15.2. Núcleos 7 y 8, muestras M-7 a M-8. Gravas limoso-arenosas. (fig. 26), con un modo principal muy marcado en la grava y otro secundario, mucho menos marcado, en los limos. Muy mala clasificación por tamaños, con muy elevado valor de la desviación estandar y fuerte asimetría positiva, es decir, con un exceso de finos en el modo secundario, y distribución ligeramente platicúrtica o mesocúrtica. En la grava, que forma alrededor del 70% de la muestra, dominan ciertamente los fragmentos de *A. cervicornis*, pero con cantidad apreciable de *Montastrea annularis*.

Probablemente se trata de los fondos de grava de *A. cervicornis* que tan frecuentemente se encuentran al pie y en los flancos de los arrecifes protegidos varios metros por debajo de la zona de *A. cervicornis* viva. Estos fondos son comunes en la explanada de sotavento y en la laguna.

15.2-17.0. Núcleos 9 y 10. Limos arenosos mal o muy mal clasificados por tamaño, con pequeñas cantidades de grava (fig. 27). Modo único en los limos gruesos pero con un exceso de grava que se traduce en una asimetría negativa de intensidad mediana, y prácticamente mesocúrticos. Hay numerosas cabezas "in situ" de *Montastrea annularis*, especie que también domina con la grava. Estos sedimentos parecen indicar la asociación de corales macizos y gorgonias de la explanada de sotavento donde ocupa fondos de 8-12 m de profundidad, lo que explica la cantidad relativamente elevada de limo y de moluscos.

17.0-22.6. Núcleo 11 al 14; muestras M-7 a M-10. Gravas arenoso-limosas, prácticamente trimodales (fig. 27), con el modo principal en las gravas y los secundarios en las arenas y limos respectivamente, extremadamente mal seleccionadas por tamaños, poco o nada asimétricas. En un caso (11-1) limo arenoso ligeramente gravoso con un solo modo y desviación estandar relativamente baja. La grava de *A. cervicornis* domina en absoluto con cantidades menores de *Diploria* y *Montastrea annularis*. Fondo con grava de *A. cervicornis* como los que se encuentran al pie de los flancos de los arrecifes protegidos; la trimodalidad de los sedimentos apoya mas bien esta interpretación que la alternativa de asociación de *A. palmata*, propia de aguas más someras.

22.6-27.8. Núcleos 15 al 18; muestra M-11. En este intervalo abundan

las cabezas "in situ" de *Diploria*, *Montastrea annularis* y otros corales macizos. Las clásticas, a juzgar por el núcleo 17, son arenas gravoso-limosas (fig. 27) francamente multimodales con dos modos principales en las arenas y otro en las gravas, además de otros modos secundarios; como consecuencia, la distribución es francamente platicúrtica y asimétrica negativa. Por la composición biótica, parece corresponder a la asociación de corales macizos y gorgonias, que típicamente se desarrolla en el arrecife marginal a unos 8 m 12 m de profundidad.

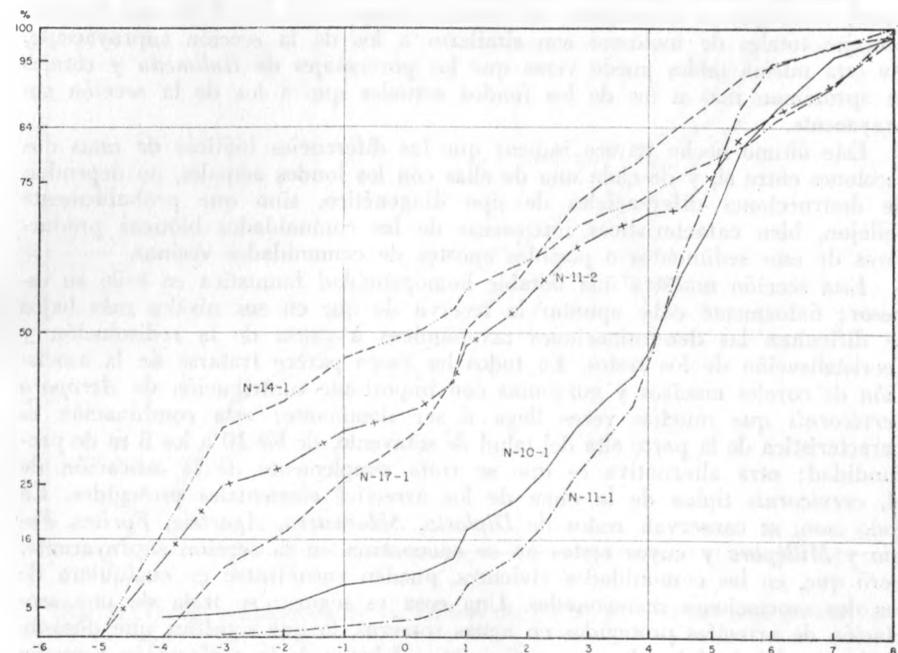


Fig. 27. Curvas acumulativas de los núcleos 10, 11, 14 y 17 del pozo de isla Pérez.

27.8-33.6. Núcleos 19 al 21. De este intervalo faltan las muestras por haberse empleado una técnica de perforación defectuosa, pero puede asegurarse que no se presentó ninguna cabeza de coral ni capas litificadas, por consiguiente debe corresponder a arenas o limos sin cantidades apreciables de grava, es decir, a una barra arenosa como las que actualmente existen en el arrecife marginal de sotavento.

#### ARRECIFE ANTIGUO

Esta sección comprende un espesor de cerca de 27 m, entre los 33.6 y los 60.4 m de profundidad. Solo en la cuarta parte superior de este intervalo se observan cabezas de coral "in situ".

Las distribuciones granulométricas presentan quizás más exageradas las mismas características que en la sección suprayacente, es decir, una acentuadísima polimodalidad, altísimos valores de la desviación estandar e intensa platicurtosis; justamente estas características son las que no se encuentran en ninguno de los fondos actuales del arrecife como ya se hizo notar.

La cantidad relativa de fragmentos de moluscos, en la fracción arenosa, es más grande que en la sección suprayacente y los fondos actuales (tabla 7), pero las gravas parecen restablecer las proporciones pues en la tabla 6 puede verse que en el conjunto de fracciones superiores a 1/8 de mm, los porcentajes totales de moluscos son similares a los de la sección suprayacente. En esta misma tabla, puede verse que los porcentajes de *Halimeda* y corales se aproximan más a los de los fondos actuales que a los de la sección suprayacente.

Este último hecho parece indicar que las diferencias bióticas de estas dos secciones entre sí, y de cada una de ellas con los fondos actuales, no dependen de destrucciones diferenciales de tipo diagenético, sino que probablemente reflejan, bien características intrínsecas de las comunidades bióticas productoras de esos sedimentos o posibles aportes de comunidades vecinas.

Esta sección muestra una notable homogeneidad faunística en todo su espesor; únicamente cabe apuntar la reserva de que en sus niveles más bajos se dificultan las determinaciones taxonómicas a causa de la redisolución y recristalización de los restos. En todos los casos parece tratarse de la asociación de corales macizos y gorgonias con importante contribución de *Acropora cervicornis* que muchas veces llega a ser dominante; esta combinación es característica de la parte alta del talud de sotavento, de los 10 a los 5 m de profundidad; otra alternativa es que se trata simplemente de la asociación de *A. cervicornis* típica de la cima de los arrecifes elementales protegidos. En todo caso, se conservan restos de *Diploria*, *Siderastrea*, *Agaricia*, *Porites*, *Favia* y *Millepora* y cuyos restos no se encuentran en la sección suprayacente, pero que, en las comunidades vivientes, pueden encontrarse en cualquiera de las dos asociaciones mencionadas. Una cosa es segura: se trata de una asociación de arrecifes protegidos en aguas someras, lo que significa que durante el tiempo del depósito de estos sedimentos, el lugar de la perforación ocupaba en el complejo arrecifal una situación análoga a la actual.

La característica más notable de esta sección, es la presencia en su cima de capas de sedimentos litificados, esto es, de calizas que en conjunto presentan la misma composición faunística y granulométrica que los sedimentos sueltos del resto de la sección.

Además, en los horizontes de sedimentos no litificados, hay nódulos de varios centímetros de diámetro con la misma estructura, predominante calcarenítica o calcilitítica, que los sedimentos sueltos encajantes. Estos nódulos, que frecuentemente tienen como núcleo un fragmento de origen orgánico, se interpretan como resultado de una litificación parcial.

Actualmente se considera que la litificación de los sedimentos calcáreos presupone una etapa de emersión más o menos prolongada; de ser esto así, el intervalo más alto de la sección debe haber emergido durante muy poco tiempo, pues casi todos sus sedimentos quedaron sin litificar y no hay se-

ñales de redisolución ni recristalización por aguas percolantes, sino por debajo de la profundidad de los 44.7 m, donde se presentan con toda claridad.

En esta sección se pueden considerar los tres intervalos que se describen de inmediato.

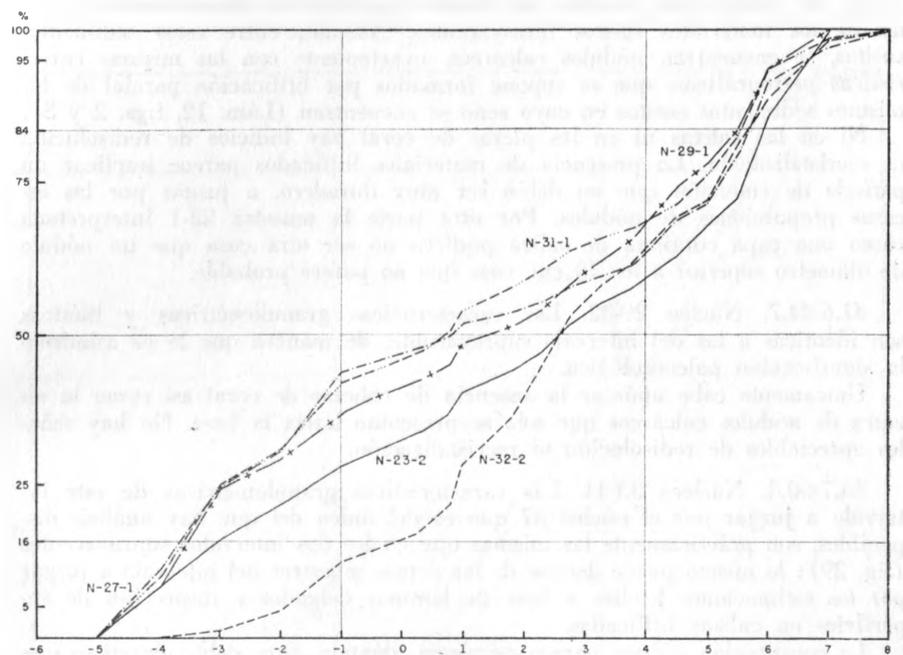


Fig. 28. Curvas acumulativas de los núcleos 23, 27, 29, 31 y 32 del pozo de isla Pérez.

33.6-41.6. Núcleos 22 a 28. Limos arenosos, limos gravosos o gravas limosas fuertemente polimodales, con un modo principal en los limos, uno o dos modos bien marcados en las gravas y uno o dos muy poco acusados en las arenas (fig. 28). Como consecuencia la clasificación por tamaños es extremadamente mala con valores altos de la desviación estandar, fuertemente platicúrticos y curvas casi simétricas. Faunísticamente dominan los corales sobre los moluscos a veces por corto margen. Las especies dominantes son *Acropora cervicornis* y *Montastrea annularis*, unas veces domina en absoluto la primera, otras la segunda y por fin alguna vez están más o menos equilibradas. Además de la especie dominante son frecuentes los restos de *Diploria*, *Agaricia*, *Porites*, *Favia*, *Siderastrea* y *Millepora* a veces en cantidades notables especialmente los dos primeros géneros. En este intervalo se atravesaron cuatro cabezas de *Montastrea* y *Agaricia* que miden en conjunto 22.5 cm. Abundan los restos de *Halimeda*.

La composición biótica indica la asociación de *Acropora cervicornis*, o más bien esa modalidad de la asociación de corales macizos y gorgonias con *A. cervicornis* que se encuentra en la porción superior del talud de sotavento entre los 10 y los 5 m (véase pág. 28).

Este intervalo está coronado por una capa de caliza compacta de unos 10 cm de espesor que presenta las mismas características granulométricas que las de los materiales sueltos infrayacentes. Además, entre estos sedimentos sueltos, se encuentran nódulos calcáreos, exactamente con las mismas características petrográficas, que se supone formados por litificación parcial de los mismos sedimentos sueltos en cuyo seno se encuentran (Lám. 12, figs. 2 y 3).

Ni en las calizas ni en las piezas de coral hay indicios de redisolución ni recristalización. La presencia de materiales litificados parece implicar un período de emersión que no debió ser muy duradero, a juzgar por las escasas proporciones de nódulos. Por otra parte la muestra 22-1 interpretada como una capa continua de caliza pudiera no ser otra cosa que un nódulo de diámetro superior a los 10 cm, cosa que no parece probable.

41.6-44.7. Núcleo 29-32. Las características granulométricas y bióticas son idénticas a las del intervalo suprayacente, de manera que lo es asimismo la significación paleoecológica.

Únicamente cabe apuntar la ausencia de cabezas de coral así como la escasez de nódulos calcáreos que solo se presentan hacia la base. No hay señales apreciables de redisolución ni recristalización.

44.7-60.4. Núcleos 33-41. Las características granulométricas de este intervalo a juzgar por el núcleo 37 que es del único del que hay análisis disponibles, son prácticamente las mismas que en los dos intervalos suprayacentes (fig. 29); lo mismo puede decirse de las demás muestras del intervalo a juzgar por las estimaciones hechas a base de láminas delgadas e inspección de superficies en calizas litificadas.

La constitución biótica parece asimismo idéntica, pero debe advertirse que las determinaciones son más difíciles o imposibles en los niveles inferiores en los que por cierto, la cantidad de grava disminuye tanto que incluso las proporciones entre corales y moluscos dejan de ser significativas. En este intervalo no se observaron cabezas "in situ", pero abundan los restos de *Halimeda*.

Son frecuentes las calizas bien litificadas, con estructura calcarenítica o calcilitítica (Lám. 10, fig. 2). El carácter que imprime peculiaridad a este intervalo son los intensos signos de redisolución y recristalización de las calizas. En la cima del intervalo dominan los fenómenos de recristalización, incluso con particiones de vetas de calcita espática; la recristalización en mosaico de calcita microcristalina pulverulenta (Lám. 12, fig. 1) es frecuente poco más abajo y en el resto, dominan los fenómenos de disolución diferencial (Lám. 11, figs. 1 a 3; Lám. 12, fig. 3; Lám. 13, fig. 1) a veces con revestimientos drusiformes de cristales aciculares (Lám. 13, fig. 2). Todas estas características apuntan hacia la existencia de un período de emersión incluso con disolución y recristalización por aguas de lluvia percolantes, pero buena parte de los sedimentos quedaron sin litificar.

## DEPÓSITOS DE LA SONDA

Esta sección comprende desde los 60.4 m hasta los 78.6 m en que terminó la perforación o sea los núcleos 42 al 49 y la muestra M-12.

Desde el punto de vista granulométrico esta sección difiere netamente de las suprayacentes por la brusca disminución de la cantidad de gravas, que representan un porcentaje pequeño en comparación con los limos y arenas.

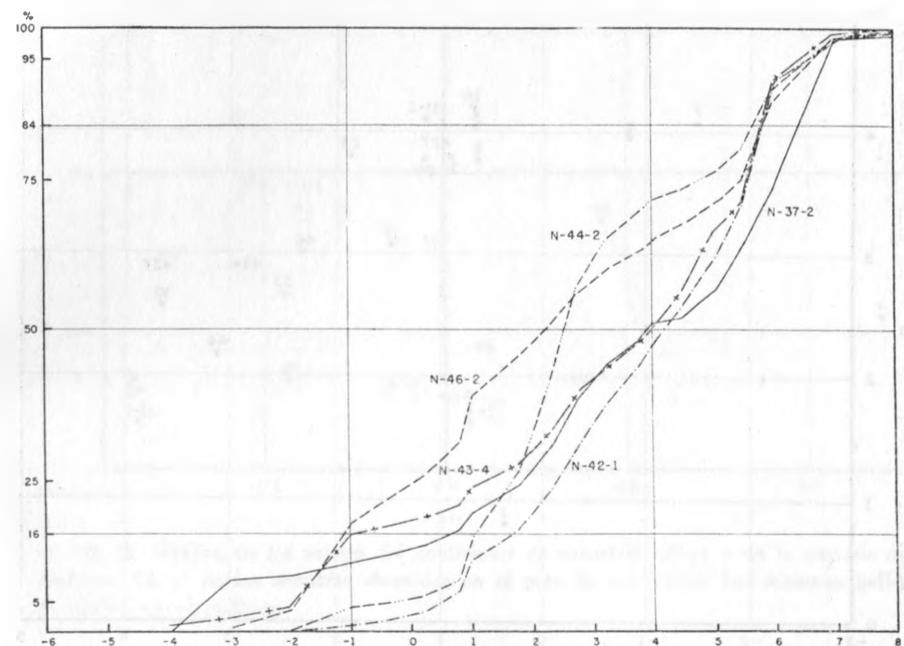


Fig. 29. Curvas acumulativas de los núcleos 37, 42, 43, 44 y 46 del pozo de isla Pérez.

Los sedimentos, litificados o sueltos son limos arenosos o arenas limosas con escasa cantidad de grava. (fig. 29). Persiste la polimodalidad con modos en limo y arenas; y aún en gravas finas; en general la desviación estandar es un poco menos alta que en los sedimentos de las secciones suprayacentes pero persiste la escasa selección por tamaños y la platicurtosis; alguna vez hay asimetría negativa muy pronunciada.

Faunísticamente también la diferencia es muy notable; desaparecen virtualmente los corales y los moluscos vienen a ocupar lugar predominante, e incluso único en el caso de las gravas. Aumenta la cantidad de foraminíferos especialmente peneróplidos y anfistegínidos (Lám. 16, fig. 2) presentándose también nódulos de unas algas calcáreas cuya identificación taxonómica está en estudio (Lám. 15, figs. 1 y 2), pero que son desde luego muy distintas a las coralíneas masivas o nodulares que se encuentran en los fondos actuales

del arrecife; en cambio posiblemente sean los mismos nódulos que menciona Logan (1961 a) como elementos relictos en los fondos actuales de la Sonda de los alrededores de Alacranes. Debe aclararse que en algunos nódulos existen coralináceas ramosas muy conocidas (*Amphiroa*) que nada tienen que ver con las algas anteriormente mencionadas (Lám. 13, fig. 4). Otro carácter importante lo constituye la falta de *Halimeda*, que es escasa en los fondos actuales de la Sonda.

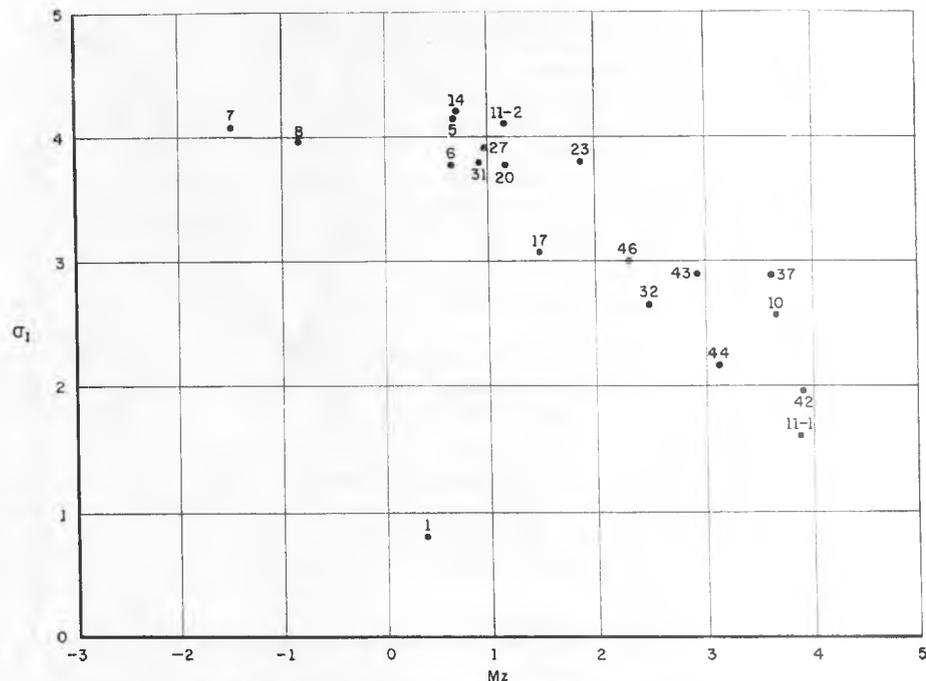


Fig. 30. Gráfica de los valores de la desviación estandar ( $\sigma_1$ ) y media ( $M_z$ ) de las muestras obtenidas en el pozo de isla Pérez. Los números indican el núcleo correspondiente.

La litificación total se presenta en esta sección con características semejantes a la sección suprayacente. Se trata de calcarenitas (Lám. 15, fig. 4) o calcilutitas bien litificadas, de color blanco, a veces bastante friables como consecuencia de una intensa redisolución diferencial que asimismo les confiere aspecto cretoso. La redisolución tiene lugar tanto en las conchas de moluscos, que se presentan casi siempre bajo la forma de moldes huecos, (Lám. 9, fig. 1; Lám. 10, fig. 1) como en fragmentos biógenos del tamaño de los gránulos, y arenas. Los huecos resultantes a veces dejan reconocer por su forma el carácter biógeno del fragmento; en ocasiones las cavidades están tapizadas por revestimientos drusiformes y otras veces quedan rellenos por un mosaico de calcita espática. En conjunto las señales de redisolución y re-

cristalización son del mismo orden que en la sección suprayacente; en ésta aumenta en intensidad con la profundidad.

Entre los sedimentos sueltos hay una notable proporción de nódulos a los que ya se ha hecho referencia.

En conjunto las porciones litificadas muestran una semejanza muy notable con la llamada Caliza Carrillo Puerto (Lám. 17, figs. 1 y 2); ésta es una formación que aflora paralelamente a las costas norte y oriente de la

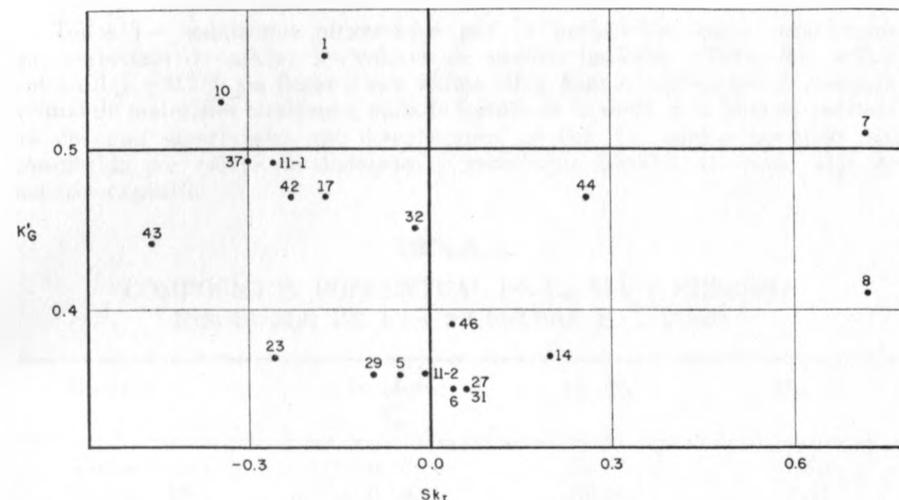


Fig. 31. Gráfica de los valores del coeficiente de asimetría ( $Sk_1$ ) y de la curtosis normalizada ( $K'_G$ ) de las muestras obtenidas en el pozo de isla Pérez. Los números indican el núcleo correspondiente.

península yucateca en una faja bastante ancha. Aunque su edad no está bien precisada, desde luego está comprendida entre el Mioceno Medio y el Pleistoceno. La similitud es completa por lo que respecta al aspecto externo, petrografía, microfauna y hasta en los moluscos que casi siempre se presentan como moldes huecos. Alternando con las calizas hay depósitos de aspecto cretoso, friables, que en la región llaman "sashcab"; estos depósitos corresponderían a las porciones de arenas y limos calcáreos sueltos que forman parte importante de esta sección.

Los caracteres bióticos y granulométricos excepto la polimodalidad son similares a los de los actuales fondos de la Sonda, incluso en la presencia de nódulos con algas. En pocas palabras, las Calizas Carrillo Puerto, los fondos de la Sonda y la sección que se está analizando corresponderían a la misma unidad estratigráfica.

El escaso espesor perforado así como la homogeneidad faunística y litológica del mismo, no ameritan su división en intervalos.

## LA COMPOSICION GLOBAL DEL ARRECIFE

### COMPOSICIÓN QUÍMICO-MINERALÓGICA

Todos los sedimentos atravesados por la perforación están constituidos por carbonato de calcio; los valores de residuo insoluble (Tabla 8) oscilan entre 0.1% y 0.2% sin llegar a esta última cifra. Esto se explica por la ausencia virtual de materiales terrígenos, dada la lejanía de la costa, y la falta de corrientes de agua superficiales que desemboquen en ella. El residuo insoluble está constituido por valvas de diatomeas y radiolarios (ópalo) así como algo de materia orgánica.

TABLA 8.  
COMPOSICION PORCENTUAL DE Ca, Mg, Y RESIDUO  
INSOLUBLE DE LAS MUESTRAS DEL POZO.

Muestra	Insoluble %	Ca %	Mg %
Núcleo 5-1	0.18	39.64	0.01
Núcleo 10-1	0.19	39.66	0.02
Núcleo 14-1	0.10	39.80	0.00
Núcleo 17-2	0.15	39.86	0.00
Núcleo 23-1	0.16	39.84	0.01
Núcleo 27-2	0.10	39.96	0.02
Núcleo 29-1	0.10	39.84	0.00
Núcleo 32-2	0.18	39.88	0.00
Núcleo 37-1	0.14	39.94	0.02
Núcleo 43-4	0.10	39.90	0.00
Núcleo 44-2	0.11	39.72	0.00

El magnesio falta en la mayor parte de las muestras y cuando más alcanza un valor del 0.02%; (Tabla 8). Esto está de acuerdo con la ausencia completa de dolomita reconocible al microscopio.

De más interés es la distinción entre aragonita y calcita. En una muestra determinada, la proporción entre ambos minerales depende de dos grupos de factores: el origen de los granos (alquemias) constituyentes y los cambios diagenéticos tempranos. Así, los corales y *Halimeda* tienen esqueleto aragoniti-

co; las coralináceas y la mayor parte de los foraminíferos son calcíticos, en tanto que las conchas de los molucos, según las especies, pueden ser calcíticas, aragoníticas o mezcla de ambos minerales de modo que la relación aragonita: calcita depende de la relación corales más *Halimeda* : coralinas más foraminíferos.

TABLA 9.

## COMPOSICION PORCENTUAL DE ARAGONITA-CALCITA DE LAS MUESTRAS DEL POZO.

Muestra	Aragonita %	Calcita %
Núcleo 5-1	89	11
Núcleo 10-1	86	14
Núcleo 14-1	84	16
Núcleo 17-2	85	15
Núcleo 23-1	72	28
Núcleo 27-2	30	20
Núcleo 29-1	83	17
Núcleo 31-1	80	20
Núcleo 32-2	37	13
Núcleo 37-1	52	43
Núcleo 43-4	42	58
Núcleo 44-2	40	60

De las doce muestras reseñadas en la tabla 8, ocho contienen más de 80% de aragonita y excepto N 32-2, todas tienen más del 60% de *Halimeda* más corales; una contiene 72% de aragonita y 50% de corales; otras 52% de aragonita y 24% de corales y otras dos con 40-42% de aragonita y prácticamente sin corales ni *Halimeda*. Vemos pues que la menor cantidad de aragonita en los núcleos 37, 43 y 44 puede explicarse simplemente por la escasez o falta completa de esqueletos aragoníticos, sin necesidad de atribuirla a la mayor antigüedad de estos núcleos; esto conduce a tratar sobre los cambios que las alteraciones diagenéticas pueden aportar a la relación aragonita calcita. Todos hemos leído en los textos elementales que la calcita es más estable que la aragonita a la temperatura ambiente y que por tanto el carbonato depositado como aragonita debe sufrir más o menos tarde una inversión a calcita, la fase estable del  $\text{CO}_3\text{Ca}$  en condiciones ordinarias. Y esto es cierto al referirse a rocas que han permanecido emergidas más o menos tiempo. Pero evidencias recientes de tipo experimental indican (Cloud 1962, Ginsburg, 1957, Purdy 1963 y Harding 1964) que con respecto al agua de mar, es la aragonita la fase estable, y es la única forma en que cristaliza el  $\text{CO}_3\text{Ca}$  de una solución salina; además la inversión de la aragonita a calcita no tiene

lugar en tanto que las rocas están en contacto con el agua de mar (Cloud 1962, citado por Harding 1964). Por consiguiente, la presencia de cementos calcíticos, en rocas del Pleistoceno-Reciente, indica un período de exposición subaérea y esta, independientemente de que la calcita provenga de precipitación directa en huecos preexistentes o resulte de la recristalización, con o sin inversión, de elementos más finos.

## COMPOSICIÓN BIÓTICA DE LOS ARRECIFES CORALINOS

En otro lugar de este trabajo (pág. 56) se ha aludido a la compilación hecha por Hoskin sobre los datos presentados por varios autores y referentes a no menos de 13 arrecifes sobre la composición biótica de la fracción arenosa. El mismo autor indica que los datos referentes a Alacranes por ejemplo, podían haber sido objeto de cálculos más refinados, así, en lugar de calcular simples promedios de la composición de cada elemento fisiográfico, se podía haber compensado según la superficie ocupada en el complejo por cada elemento. Es dudoso que este y otros refinamientos alteren en lo esencial los resultados obtenidos, que en sí no tienen nada de objetables. El problema reside en la extrapolación indebida, pero frecuente, que consiste en atribuir a todo el arrecife la composición de las arenas. Así resulta según los datos recopilados por Hoskin y los propios que *Halimeda* es el principal constituyente, seguido por los corales y en menor escala aún por los moluscos; los restos de los demás grupos taxonómicos representan un porcentaje exiguo.

La extrapolación podría defenderse si la contribución de cada grupo de organismos se mantuviese en proporciones parecidas en las distintas clases de tamaño, pero es evidente que esto no es cierto ni siquiera basándose en consideraciones puramente geométricas; es inconcebible por ejemplo, que en la clase que tiene como límite inferior los 4 mm, estén representadas las espículas de ascidias, ni las de esponjas, gorgonias, etc.; tampoco podrían encontrarse foraminíferos y otros animales pequeños. De hecho basta inspeccionar las tablas del Apéndice II en las que se da la composición de todas las fracciones superiores a 1/8 de mm (por ejemplo, tablas 11, 16, 25, 30, etc) para ver que por arriba de los 8 mm rara vez hay otra cosa que corales, los moluscos comienzan a estar representados generalmente en los 8 mm y suelen tener su máxima a los 0.25 mm; *Halimeda* solo rarísima vez se encuentra arriba de los 4 mm y tiene su máximo alrededor de los 0.5 mm. etc. En Folk y Robles (1964: 286) se examina ampliamente la tendencia de ciertos organismos para fracturarse predominantemente en una o dos clases de tamaño; por ejemplo, *Acropora cervicornis* se rompe de preferencia en fragmentos de rama de forma cilíndrica de unos 6 cm de largo por 16 mm de ancho y además en paquetes de fibras cristalinas de unos 0.25 mm de diámetro. Otros restos esqueléticos tienden asimismo a predominar en ciertas clases de tamaño.

Concretamente, para los efectos de la presente discusión lo que interesa es hacer notar que las gravas, especialmente desde los 4 mm para arriba, están constituídas casi exclusivamente por corales, como puede verse en los cuadros antes mencionados. Por otra parte, se ha repetido varias veces que las

muestras de los fondos actuales tanto las tomadas por el presente autor, como las de los autores que han precedido en el estudio de este y otros arrecifes, dan una representación de la grava, y especialmente de la grava gruesa, muy inferior a la real a causa de su insuficiente tamaño, y esta es una de las causas que han dificultado la estimación de los componentes bióticos de los arrecifes, sin contar la deliberada limitación al análisis de la fracción arenosa. Otra causa que milita en el mismo sentido es la dificultad de estimar ni siquiera aproximadamente la cantidad de cabezas de coral íntegras enterradas entre los clásticos.

A continuación se va a intentar evaluar la composición del arrecife del complejo Alacranes. Debe declararse explícitamente al respecto que estos cálculos se basan en suposiciones simplificadoras que no sabemos hasta qué punto están de acuerdo con la realidad. La primera es que el análisis se limita a la fracción superior a 1/8 de mm; esto se debe a que por debajo de este tamaño muchos granos son de determinación incierta y esta pasa a ser totalmente imposible por debajo de la clase de 0.06 mm. Cabe suponer que la composición de los finos no sea muy diferente de la fracción arenosa más fina, pero esto no hay manera de comprobarlo actualmente. Aún sí, para cálculos más exactos posiblemente fuera conveniente hacer una corrección dependiente de la proporción de finos por muestra, pero esto no se intentará en este trabajo.

Cabe conjeturar hasta qué punto podrán generalizarse a todo el complejo las conclusiones derivadas de una sola perforación. Parece razonable suponer que las diferencias más notables pudieran surgir con el frente y talud de barlovento; estas dos partes constituyen una porción pequeña de la superficie total del arrecife que en gran parte está ocupada por fondos lagunares o arrecifes protegidos, similares con toda probabilidad al lugar de la perforación.

Con estas reservas, y concediendo que incluso con los datos disponibles pudieran manipularse las cifras para obtener alguna mayor precisión, bastará exhibir los promedios de los porcentajes obtenidos de las tablas 6 y 7 así como de otras partes de este trabajo.

	Corales	Moluscos	Foramníferos	Halimeda	Varios
Fracciones mayores de 1/8 mm					
Arrecife moderno	75	11	3	7	4
Arrecife antiguo	43	35	1	19	2
Únicamente fracción arenosa					
Fondos actuales (Hoskin)					
	34	7	7	38	14
Fondos actuales (Bonet)					
	26	10	10	41	13
Arrecife moderno	53	21	5	17	4
Arrecife antiguo	16	47	2	30	5

Recordando que según la estimación hecha del porcentaje en volumen de las cabezas de coral enteras atravesadas en la perforación no llega al 1%, se verá que este factor no puede cambiar mucho las cifras obtenidas. De todos modos en definitiva, las cifras anteriores muestran que los componentes representados por un porcentaje mayor son los corales, después los moluscos y por fin *Halimeda*, foraminíferos y varios; entre estos últimos se encuentran principalmente las algas coralíneas.

En cambio si se considera solamente la fracción arenosa, el porcentaje de *Halimeda* pasa a primer término, dominando a los corales.

## ALTERACIONES DIACENETICAS

### HALMIROLISIS

Recientemente varios autores han insistido en la importancia del estudio de los sedimentos calcáreos actuales y subfósiles desde el punto de vista de la diagénesis temprana para ayudar a la interpretación paleoecológica de sedimentos antiguos. Además de los tratados clásicos, pueden verse discusiones recientes sobre el concepto y división de los procesos diagenéticos tempranos en Ginsburg (1957) y Harding (1964). Aquí solo interesa consignar algunas observaciones comparativas recogidas en el estudio de las muestras actuales y del subsuelo.

Desde este punto de vista resulta útil agrupar bajo el nombre de halmirolisis, propuesto por Dapples (1959), aquéllas alteraciones que sufren los sedimentos mientras permanecen en el fondo del mar durante el proceso de enterramiento.

Tampoco a este respecto se va a hacer otra cosa que mencionar las alteraciones observadas en los fondos recientes, simplemente con objeto de no confundirlas con los procesos que ocurrieron después de integrarse en la composición del arrecife y que son los que realmente pueden informar sobre la historia del mismo.

Por ejemplo, en un bloque de *Montastrea annularis* del núcleo 2, puede verse una cavidad cilíndrica de 1.5 mm de diámetro producida por el molusco bivalvo *Lithophaga* sp. muy común en la base de los corales vivos; rara vez se partirá una colonia viviente de *Diploria* o *Montastrea* sin encontrar en su base uno o varios ejemplares de esta especie y varios anélidos errantes alojados en las cavidades producidas por ella.

En los fragmentos de *Porites* ramificados, *Acropora* y otros corales tanto de los fondos actuales como en las muestras de subsuelo del arrecife moderno, pueden verse materialmente recorridos por túneles contorneados que se entrecruzan en todas direcciones impartiendo al fragmento un aspecto esponjoso. Estos túneles han sido excavados por esponjas perforadoras del género *Cliona* (Lám. 15, fig. 3) que también perforan conchas de moluscos. En la misma fotografía de la Lámina 15, se aprecian algunas líneas finas, oscuras que atraviesan las trabéculas del coral y que son producidas por algas perforantes, estudiadas por muchos autores, entre otros Colom y Ginsburg; esas algas filamentosas atacan en tal cantidad los fragmentos esqueléticos que en ocasiones su entrecruzamiento denso imparte a la imagen microscópica un aspecto afiltrado, y al examen macroscópico aparece el fragmento afectado con aspecto cretoso y pulverulento. Estas actividades destructoras, se encuentran en todas las secciones del pozo pero debe insistirse en que así mismo pueden encontrarse en los fragmentos muertos de los fondos actuales y algunas, incluso en organismos vivos.

Otros fenómenos de distinto orden ocurren también en los fragmentos depositados en los fondos actuales, por ejemplo ciertos tipos de recristalización; aun cuando este término se ha usado con tantos significados distintos que resulta poco menos que inútil, no encuentro otro más apropiado para designar ciertas alteraciones que ocurren en el esqueleto de los corales. En ejemplares vivos y en los bien conservados, por ejemplo, muchos de los fragmentos encontrados en todos los niveles del pozo, las trabéculas del esqueleto están compuestas por paquetes de cristales fibrosos que se extinguen con cierto orden a la luz polarizada, de tal manera que en la actualidad la disposición, forma y número de tales paquetes tienden a usarse como caracteres taxonómicos. Existe un proceso lento de recristalización por el cual las fibras y paquetes cristalinos pierden su individualidad de modo que el contraste entre paquetes total o parcialmente extinguidos y el fondo iluminado se hace cada vez más débil. Este proceso parece que no llega a su término si los esqueletos permanecen sumergidos, pero en el medio subaéreo se completa por la inversión de aragonita a calcita, transformándose en un mosaico de grandes cristales de calcita espática. Este tipo de recristalización incipiente se encuentra en fragmentos de todas las secciones del pozo. (Lám. 12, fig. 1).

Otro tipo de "recristalización" se ha observado en un fragmento de *Porites astreoides* del núcleo 11, que consiste aparentemente en la sustitución, probablemente mediante disolución y después precipitación directa de cristales aciculares de aragonita, que se entrelazan y substituyen al primitivo tejido calcáreo del coral. Esos cristales aciculares por otra parte, son idénticos a los que se encuentran tapizando cavidades naturales tales como cámaras de foraminíferos, conchas de gasterópodos o incluso cavidades de disolución. Estos revestimientos drusiformes, presumiblemente aragoníticos, se encuentran tanto en fragmentos de los fondos actuales como en cavidades de disolución de las calizas litificadas encontradas en el pozo; claro que en este caso, que se examinará más adelante, ya no se trata de halmirolisis, lo cual no impide que el proceso sea idéntico tanto en sus efectos como en su mecanismo.

Este no parece ser otro que la precipitación directa del  $\text{CO}_2$  Ca del agua del mar. Incidentalmente, es el único caso conocido de cristalización directa sin intervención de organismos en el complejo de Alacranes, pues según Hoskin, incluso las escasas agujas de aragonita que se encuentran en los fondos lagunares, parecen proceder de la destrucción de talos de *Halimeda*.

No se sabe si los nódulos calcáreos que se encuentran en las secciones del arrecife antiguo y de los depósitos de la Sonda, se han formado en la interfase agua-fondo o por debajo de ella; en todo caso, se tratará de ellos en el apartado siguiente.

#### CEMENTACIÓN Y LITIFICACIÓN

Las calizas micro y criptocristalinas (micritas) deben su cohesión a un cemento de carbonato de calcio que une entre sí los granos de los que la roca está constituida. Esta afirmación, que linda con la banalidad, tiene no obstante algo de problemática y es que tales cementos carbonatados no son discernibles ni con la mejor óptica de los microscopios petrográficos; en los

cristales que forman los granos criptocristalinos no se aprecia forma definida ni menos los límites entre ellos y el supuesto cemento, y no obstante, tiene que haber algo que diferencie las calizas compactas o los nódulos calcáreos de los sedimentos sueltos de la misma composición granulométrica y química con los cuales están en contacto.

En las calcarenitas y calcirruditas de matriz micrítica el problema es exactamente el mismo. En todos estos casos el cemento es invisible y por tanto, con los procedimientos petrográficos usuales no es posible decidir si su composición es calcítica o aragonítica. Este problema es de interés más que académico, puesto que, un cemento calcítico, de acuerdo con el apogeo actual, implica una emersión más o menos prolongada. Por esto, el intervalo superior del arrecife antiguo, entre los 33.6 y los 44.7 m no puede asegurarse por completo que haya emergido de las aguas aunque la presencia de calizas compactas en su cima y de nódulos en todo él, hagan probable tal emersión, pero no ha podido comprobarse la presencia de cementos calcíticos.

Los nódulos calcáreos, que se encuentran entre los sedimentos sueltos del arrecife antiguo y depósitos de la Sonda presentan rasgos de sumo interés en el proceso de la litificación. Su composición petrográfica varía de micrítica, cuando yacen en limos calcáreos sueltos, a calcarenítica cuando acompañan a arenas calcáreas, en general, el tamaño de grano predominante es idéntico al del sedimento suelto en que yacen. Su tenacidad es considerable; los de algún tamaño requieren golpes de martillo para romperse, en cambio se desgastan y redondean si se someten demasiado tiempo a la agitación en los tamices; su tamaño máximo observado es de 3-4 cm de longitud mayor pero pudiera esto representar únicamente una limitación debida al diámetro de la barrena. Su forma puede ser francamente irregular, pero siempre más o menos redondeada. En las tablas del Apéndice II en que se recopila la composición de las fracciones mayores de 4 mm (por ejemplo en tablas 59, 61, 62, 64, 65, 67, 77, etc.), puede verse que los nódulos pueden representar hasta el 50 o el 70% de la muestra total aunque frecuentemente los porcentajes sean menores; puede verse asimismo que en general se encuentran en máxima proporción en las clases mayores de la muestra (32 o 16 mm según el caso) y que su cantidad desciende rápidamente de modo que deben estar muy escasamente representados o faltan completamente en la fracción arenosa, si bien esto, como ya se ha dicho en otro lugar, es difícil de comprobar.

Al principio surgió la duda sobre si se trataba de clásticos o incluso de fragmentos originados artificialmente por la barrena, pero esta hipótesis hubo de ser desechada al comprobar que a veces tienen una estructura definida, esto es, están formados por una capa cortical más o menos gruesa y una porción central (Lám. 12, fig. 2); esa diferencia de aspecto parece ser debida en muchos casos a que frecuentemente la recristalización está mucho más avanzada en el centro que en la periferia. Otras veces los nódulos son más o menos homogéneos, pero frecuentemente tienen en el centro un fragmento grande de coral o molusco, y en ocasiones un grupo de artejos de *Halimeda* (Lám. 16, fig. 3); esta observación concuerda con el punto de vista de Purdy (1963) sobre el papel de la sustancia orgánica al iniciar la agregación de partículas. En definitiva, los nódulos serían una especie de "agregados" parecidos a los men-

cionados por Illing (1954: 56), Ginsburg (1956: 2425), Purdy (1963: 343), y otros, pero de tamaño considerablemente mayor. Así entrarían dentro de la categoría de "intraclastos" de Folk; el conjunto de nódulos y matriz suelta, una vez litificado por completo, daría origen a lo que muchos autores han denominado "pseudo-brecha" o "brecha intraformacional", si persisten diferencias apreciables en color o aspecto entre nódulos y matriz después de la litificación total.

No obstante, pudiera ser que la formación de estos intraclastos no sea un fenómeno netamente halmirolítico, esto es que no siempre ocurra precisamente en la interfase agua-fondo sino a mayor o menor profundidad en el espesor de los sedimentos. Como quiera que sea, considero a estos nódulos como una etapa en el proceso de litificación de sedimentos calcáreos, es decir, que en estos casos la litificación (o cementación) no ocurriría en bloques sino que se propagaría gradualmente a partir de ciertos centros (los nódulos) hasta invadir todo el espesor de la capa o capas de sedimentos. En ocasiones (por ejemplo en el núcleo 31-1), la capa de sedimentos litificados alrededor de los grandes bioclásticos que sirven de centro, no es suficientemente gruesa para enmascarar la forma del fragmento, lo que parece constituir una etapa temprana en la formación del nódulo.

Estas hipótesis sugieren inmediatamente las preguntas, no solo de por qué se han litificado los nódulos, sino de por qué han dejado de litificarse los sedimentos sueltos que los contienen. Probablemente la contestación a una de ellas implicaría la contestación de ambas. Debe confesarse que la revelación de que partes considerables de los fondos de la Sonda permanecen sin litificar aunque estén incluidas entre capas de calizas densas, fue ciertamente una sorpresa que posiblemente arroje luz sobre el problema general de la litificación de los sedimentos calcáreos.

Probablemente se trata del mismo problema del origen de la creta, que desde hace tantos años sigue sin resolverse. ¿Por qué los depósitos de carbonatos permanecen en la creta sin consolidarse en calizas compactas? Solo cabe apuntar que en la Caliza Carrillo Puerto del norte y este de Yucatán, los depósitos de "sashcab" son en gran parte no de origen edáfico, como ha sido supuesto, sino que son depósitos cretosos no consolidados idénticos a las capas de sedimentos sueltos que hay entre la caliza del fondo de la Sonda. Cabe recordar a este respecto la Formación Bacalar (Butterlin, 1958) de Quintana Roo y que seguramente se continúa con los "White marls" del norte de Belice. Incidentalmente, también a esta formación se aplica localmente el nombre de "sashcab" y se trata de cretas blancas con nódulos idénticos a los que se acaban de describir. Esto sugiere que, si bien es posible que para la litificación de sedimentos calcáreos sea necesaria la emersión, la inversa no es cierta, esto es, que sedimentos calcáreos no litificados o, solo parcialmente litificados, pueden permanecer indefinidamente en ese estado en el medio subaéreo.

Otro tipo de cementación ya se mencionó anteriormente; se trata de los revestimientos drusiformes de cristales aciculares. Estos tampoco constituyen un fenómeno exclusivamente halmirolítico, sino que son muy frecuentes en las

calizas bien litificadas, tanto en las cavidades naturales de fósiles (Lám. 13, 3) como en las formadas por solución o excavación. La presencia de este tipo de revestimientos en los poros de disolución en calizas compactas indica claramente que en estos casos la cementación drusiforme es posterior a la litificación y a la disolución o excavación de cavidades. Este proceso tiende a reducir la porosidad primaria o secundaria. Si como parece probable, los cristales aciculares, son de aragonita, y no de calcita escaloédrica, esto indica que fueron depositados después del período de emersión que originó las cavidades de disolución, bajo el supuesto de que esta no sea un fenómeno submarino. Este es un asunto que requiere ulteriores trabajos ya en vías de llevarse a cabo.

#### DISOLUCIÓN Y POROSIDAD

En la sección correspondiente al arrecife moderno no se encontraron efectos de disolución apreciables no obstante haberse examinado al microscopio numerosas piezas de corales. Únicamente cabe recordar el fragmento de *Porites* del núcleo 11, ya mencionado. Todo lo cual indica que el arrecife moderno no presenta evidencias de emersión. En algunos casos los cálices de los corales y otras cavidades naturales de disolución se rellenan por una matriz micrítica litificada o no que reduce la porosidad primaria (Lám. 12, fig. 1).

En las calizas litificadas y en los nódulos, la porosidad intragranular se produce por disolución selectiva de los bioclastos conservándose únicamente su contorno. Esto ocurre con grandes fragmentos de corales o moluscos (Lám. 10, fig. 1; Lám. 11, figs. 1 a 3), con granos calcareníticos. (Lám. 13, fig. 4) o limolíticos (Lám. 12, fig. 4). Claro es que se trata entonces de una porosidad secundaria. Otras veces, la porosidad es intergranular, la cual en principio puede ser primaria, es decir, los poros son espacios vacíos entre los gránulos que nunca han estado ocupados por matriz ni cemento, o lo que es más frecuente, los poros resultan de la destrucción o disolución de varios granos juntos de modo que el espacio libre no tiene por límites los contornos de un grano en particular, por ejemplo algunos de los poros que se ven en Lám. 13, fig. 3; en este último caso se trata pues de porosidad secundaria. Esta discusión desde luego se limita a la porosidad visible, sin tener en cuenta para nada la porosidad invisible ni la permeabilidad, que en todos los casos parece bastante alta.

Desde luego, el tipo de porosidad más frecuente de con mucho en las calizas y nódulos de las muestras de subsuelo, es el intragranular que alcanza grandes proporciones tanto de las partes profundas del arrecife antiguo, como en los depósitos de la Sonda.

En muchos casos la pared de los poros está tapizada por una capa de cristales más o menos isodiametrales (¿calcita?) como en la Lámina 13, fig. 4; otras, la incrustación drusiforme es de cristales aciculares (¿aragonita?).

Aunque no se puede excluir definitivamente la posibilidad de una redisolución de carbonatos, por el agua de mar, esto parece poco probable en los mares tropicales de aguas muy someras que se consideran saturadas de  $\text{CO}_2$   $\text{Ca}$ , aunque haya que conceder que la situación es muy compleja. De ordinario tales disoluciones diferenciales suelen atribuirse a la acción de aguas dul-

ces percolantes, es decir, de aguas de lluvia, lo que implica emersión. De hecho, en toda la sección del arrecife moderno y en el intervalo 33.6 a 44.7 m del arrecife antiguo, no hay indicios de disolución. En cambio a partir de esta última profundidad y coincidiendo con intensas recristalizaciones, se hace muy abundante la porosidad que parece aumentar con la profundidad. Lo mismo puede decirse de la sección de depósitos de la Sonda.

## LITOLOGIA DE LAS CALIZAS COMPACTAS

No se trata en este apartado de describir petrográficamente las calizas del subsuelo; ya se han dado datos suficientes al respecto en varias partes de este trabajo y en el Apéndice II. Por lo demás, se trata de micritas (calclutitas) o calcarenitas de matriz micrítica sobre las que hay poco que añadir. Se cree necesario en cambio comentar la falta de algunos tipos importantes de calizas.

Por ejemplo, en ninguna muestra de subsuelo se han encontrado señales de oolitas ni de calizas oolíticas. Por lo que respecta a los arrecifes moderno y antiguo esta ausencia está de acuerdo con la falta de oolitas en todos los fondos del arrecife actual, hecho puesto de relieve, primero por Hoskin y confirmado después por los datos de este trabajo. Aparentemente, ni antes ni ahora había en Alacranes las condiciones necesarias para la producción de oolitas que en cambio sí existen abundantemente en las Bahamas; en Alacranes las aguas podrán estar saturadas de  $\text{CO}_2$  Ca pero su circulación intensa impide la sobresaturación que virtualmente se observa en gran parte de la somera y extensísima laguna del banco de las Bahamas.

Si en el arrecife actual no hay oolitas, si las hay y en abundancia en los fondos actuales de la Sonda si bien es verdad que se consideran como relictos de otras épocas. Así Cann (1962) describe una "facies oolítica" que comprende extensiones bastante grandes de la terraza en la que asienta Alacranes. Claro es que estas oolitas sueltas no pueden originarse a las profundidades del orden de las 30 brazas que prevalecen actualmente. Por su parte Harding (1964) describe abundantes litoclastos o fragmentos de calizas oolíticas con matriz microcristalina (oomicritas) o con matriz de calcita espática (oosparitas). Estos litoclastos se suponen arrancados de las calizas compactas del fondo de la Sonda por erosión durante las transgresiones y regresiones de finales del Pleistoceno y Holoceno.

Otra falta conspicua de elementos líticos lo constituye la ausencia de esparitas, es decir, de calizas detríticas cuya matriz es un mosaico de calcita espática. Estas calizas han sido consideradas por Bonet (1952) Carozzi (1960), Harding (1964) y otros como formadas principalmente por recristalización a expensas de una matriz originalmente micrítica; por el contrario Folk (1959) y otros piensan que en general, resultan de la precipitación directa de cristales de  $\text{CO}_2$  Ca en los huecos que quedan entre los clásticos al ser lavados los finos por movimientos del agua de modo que, en cierta medida, los cementos espáticos vendrían a ser una señal de los ambientes sedimentarios de alta energía. Sin entrar a discutir ambos puntos de vista, que por cierto no son por necesidad mutuamente exclusivos, cabe señalar que es justamente en los complejos arrecifales donde mejor cabría esperar ambientes de alta energía y a pesar de esto, no se encontraron en las muestras de subsuelo cementos espáticos.

Por el contrario, todas las calizas encontradas que contienen clásticos más o menos gruesos constituyen ejemplos de lo que Folk denominó inversiones texturales, esto es que constituyen una mezcla aparentemente antitética de elementos originados en condiciones de alta energía y finos, que según dicho autor, tendrían que ser barridos por el movimiento del agua. Folk explica su existencia suponiendo que los clásticos, por ejemplo la grava de *Acropora cervicornis*, originados en un ambiente de alta energía, son transportados a mayor profundidad, donde se acumulan de preferencia los limos, resultando una calcirrudita con matriz micrítica (Lám. 10, fig. 2). En realidad todas las calizas de los arrecifes moderno y antiguo, excepto las micritas puras, muestran "inversión textual" en mayor o menor grado.

Es difícilmente concebible que, excepto en condiciones excepcionales y volúmenes muy limitados, un amontonamiento de clásticos lixiviado por las corrientes, pueda permanecer limpio de finos durante el proceso de enterramiento, y todavía más difícil, es suponer que en las condiciones del ambiente marino, cristalice directamente la calcita espática, pues hoy se tiene por imposible cualquier precipitación directa del  $\text{CO}_2$  Ca del agua del mar que no sea en forma de aragonita. Así pues, los mosaicos de calcita espática que todos conocemos, por lo menos los de las calizas marinas, han tenido que sufrir cuando menos la inversión aragonita-calcita.

Por lo que respecta a los depósitos de la Sonda, Harding ha encontrado litoclastos de oosparitas y biosparitas en los cuales el cemento espático en unas, muestra señales de haberse originado por recristalización de una matriz micrítica y en otras, según los criterios de Harbaugh, no habría tales señales. Harding considera a estos últimos como posiblemente formados por precipitación directa. En realidad la falta de esas señales no excluyen necesariamente que puedan haberse formado por recristalización.

Por último debe mencionarse la falta entre las muestras de subsuelo, de la llamada "reef rock"; en realidad esta roca no es más que un conjunto de colonias de coral o sus fragmentos que se suponen en actitud de crecimiento y soldadas una a otras por un revestimiento de algas coraliráceas que sirven de cemento. Es difícil que el limitado diámetro de la perforación permitiese coleccionar fragmentos suficientemente grandes para poder diagnosticar sin lugar a dudas la roca arrecifal, pero en este caso, las cabezas de coral *in situ* atravesadas por la perforación están separadas unas de otras por una tal cantidad de sedimentos sueltos, que no hay posibilidad de que constituyan nada parecido a una trama coherente. En realidad esta roca solo está bien desarrollada en el talud y frente de barlovento; en los arrecifes interiores o por lo menos en muchos de ellos, las coraliráceas no funcionan como cementantes (Kornicker y Boyd, 1962), de modo que no están formados por "reef rock". Así pues, nada de particular tiene el no haber encontrado esta roca en el sitio de la perforación que fue ocupado por arrecifes protegidos. Tampoco se han encontrado en el arrecife actual, ni en las muestras de subsuelo roca de playa (beach rock) que sí existe por ejemplo en otro complejo arrecifal de la Sonda: Cayo Arenas.

## DATOS PALEOECOLOGICOS GENERALES

### SECUENCIA DE EVENTOS Y EVIDENCIAS DE EMERSIÓN

En realidad la redacción definitiva de este capítulo no podrá efectuarse hasta no terminar los estudios emprendidos para la distinción entre cementos calcíticos y aragoníticos por métodos petrográficos y especialmente, hasta que se hagan determinaciones de edad absoluta por medio del  $\text{C}_{14}$ . Los métodos de coloración de que se dispone actualmente para distinguir las dos fases mineralógicas del carbonato cálcico, dejan mucho de desear, pues fallan precisamente en los casos en que son más necesarios, esto es, en la distinción de agregados microcristalinos.

Por otra parte las determinaciones de  $\text{C}_{14}$  deben esperar todavía bastante tiempo, así que de momento será conveniente dar un resumen de los acontecimientos geológicos, tal como parecen haber ocurrido según la evidencia disponible en el momento, dejando para más adelante mayores precisiones, si es que llegan a obtenerse.

En el capítulo dedicado a la Sonda de Campeche ya se indicó que en la última regresión marina correspondiente al Wisconsin, tanto la plataforma interna como la mayor parte de la externa quedaron emergidas. No está claro si la plataforma de las 28-35 brazas fue tallada durante una detención del proceso regresivo antes de alcanzar su máximo recesional o en una detención de la transgresión holocénica; de cualquier manera, los signos de disolución revelados en la sección más profunda del pozo debe corresponder a esta época. Al reanudarse el movimiento transgresivo se inicia la edificación del "arrecife antiguo". Desde el comienzo el lugar ocupado por la perforación mantuvo una comunidad de *A. cervicornis* lo que significa que ese lugar estaba protegido relativamente en la dirección de barlovento por otros arrecifes.

Al llegar la transgresión Flandriense (holocénica) al actual emplazamiento de la isobata de las 18 brazas, ocurrió una detención durante la cual, se talló la terraza correspondiente al mismo tiempo que ocurría la planación de la cima del arrecife antiguo. Los signos de litificación y redisolución del arrecife antiguo indican una exposición subaérea más o menos larga. Esto puede explicarse por dos hipótesis alternativas: o bien después de tallarse la terraza de las 18 brazas hubo una regresión episódica o, alternativamente, tanto el arrecife antiguo como la terraza de las 28-35 brazas son preholocénicas. Este es uno de los puntos que posiblemente pueda aclarar la técnica del  $\text{C}_{14}$ .

La edificación del "arrecife moderno" comienza al reanudarse la transgresión; en el lugar de la perforación se inaugura por un episodio de barra arenosa; la ausencia de muestras impide averiguar si se trataba de barra sumergida o un cayo arenoso similar al de la actual isla Desaparecida; de todos modos el episodio, además de efímero fue local, es decir se trata de una de tantas barras arenosas como hay en la actualidad en el arrecife de sotavento.

A partir de este nivel sobreviene en el lugar de la perforación un fondo de grava de *A. cervicornis* probablemente al pie o próximo a un arrecife protegido, con dos alternancias a la asociación de corales macizos y gorgonias de condiciones batimétricas similares (unos 10 m); al final de la transgresión el lugar es invadido progresivamente por los flancos de un arrecife protegido, probablemente el mismo mencionado en líneas anteriores, de modo que fugazmente se pasa por la zona de *Montastrea annularis* y la de *A. cervicornis* viva, para terminar en la cima del arrecife con el cebadal de *Thalassia*; el cayo arenoso actual constituiría el episodio terminal de la secuencia esbozada. No hay signos de emersión en todo este intervalo, pero probablemente las comunidades propias de fondos muy someros y el cayo arenoso son acontecimientos que ocurrieron durante los últimos 5 000 años en que se supone que el nivel del mar ha permanecido estacionario hasta el presente.

#### VELOCIDAD DE CRECIMIENTO

Varios autores han tratado de calcular la velocidad de crecimiento vertical de los arrecifes coralinos, basándose en la observación del crecimiento de las especies de coral más significativas desde este punto de vista. Claro es que el problema de la velocidad de crecimiento de un arrecife es considerablemente más complejo que la suma del crecimiento de los corales que en parte lo constituyen, pero hasta ahora, no se disponía de otra fuente de información sobre el tema, de manera que toda estimación basada en la velocidad de acumulación del conjunto de sedimentos de toda clase que constituyen el arrecife, debe aceptarse como susceptible de proporcionar datos más aceptables, aún teniendo en cuenta las inseguridades de todo orden que plagan las estimaciones de duración de eventos geológicos pasados.

Aceptando como aplicables a las antiguas líneas de costa de las 30 y 18 brazas, las fechas calculadas por Curray (1960) para los niveles correspondientes en el NW del Golfo de México, y suponiendo que el arrecife antiguo se inició después de tallada la terraza de las 30 brazas (11 000 años), la acumulación de un espesor de 88 pies de sedimentos arrecifales ocupó un período de 3 000 años, puesto que el nivel de las 16 brazas, al que terminó el arrecife antiguo, tiene una edad de 8 000 años de acuerdo con las mismas estimaciones.

Análogamente, los 105 pies de espesor del arrecife actual tardaron aproximadamente el mismo lapso de tiempo puesto que el nivel del mar actual se alcanzó según Curray hace unos 5 000 años.

Estas cifras concuerdan sorprendentemente bien con las estimaciones de Hoffmeister y Multer (1964) quienes calculan que el crecimiento de 7 pies de espesor de un arrecife pleistocénico en Cayo Largo, Florida fue alcanzado entre 250 y 500 años, velocidad de crecimiento mayor que la aceptada en estimaciones anteriores con fundamentos distintos. Tomando como base la primera de estas cifras, las duraciones de crecimiento del arrecife antiguo y arrecife actual sería respectivamente 3 144 y 3 714 años que dada la naturaleza del problema, representa una buena concordancia con los resultados obtenidos. Esta coincidencia lograda con métodos tan diversos refuerzan mutuamente la

verosimilitud de las premisas en que ambos se fundan, pero la más elemental prudencia aconseja esperar los resultados de la estimación de edades por el método del radio-carbono.

Por otra parte, debe observarse que la velocidad así estimada mide de hecho no el crecimiento potencial del arrecife sino el aumento eustático de nivel; en otras palabras, el arrecife no puede crecer por encima del nivel del mar en cada momento.

Aparentemente el crecimiento potencial de los arrecifes coralinos sería igual o superior al aumento de nivel correspondiente a la transgresión Flandriense. Por otra parte, contra esto pudiera argüirse que una velocidad de crecimiento mucho menor habría conducido al mismo estado de cosas por lo que se refiere al arrecife actual, puesto que hubo un período de 5 000 años para poder compensar cualquier retraso que hubiere podido haber en el crecimiento del arrecife. No obstante, este retraso no puede ser muy grande pues las comunidades que han vivido en el lugar de la perforación desde el comienzo de la vida arrecifal, han sido de aguas relativamente someras.

Por lo que respecta al crecimiento horizontal, debe tenerse en cuenta que una de las conclusiones obtenidas es que el lugar de la perforación ha estado ocupado por comunidades propias de arrecifes protegidos. Esto quiere decir que desde la iniciación del arrecife antiguo, han tenido que haber más arrecifes hacia barlovento, o sea que el crecimiento arrecifal se inició presumiblemente en una base amplia por varios arrecifes independientes que se fusionaron posteriormente como se sugirió al principio de este trabajo. El hecho es que el arrecife moderno, todavía no ha rebasado en amplitud al arrecife antiguo, que forma un pedestal más amplio que el área ocupada por el arrecife actual.

## BIBLIOGRAFIA

- AHR W. (1963). *Petrology and Petrography of the Campeche Calcilutite, Campeche Bank, México*. API Semiannual Report, Project 63 (No visto, referencia en Harding 1964).
- AGASSIZ, A. (1878). *Lether No. 1 to C. P. Patterson, Superintendent Coast Survey, Washington, D. C. from Alexander Agassiz, on the dredging operations of the U. S. Coast St. "Blake"* Bull. Mus. Comp. Zool. Harvard. Coll. v. 5, p. 1-19.  
—(1888 *Three cruises of the U. S. Coast and Geodetic Steamer "Blake"*. Bull. Mus. Comp. Zool. Harvard Coll. v. 14: p. 70-73 y Hughton, Mifflin and Company, v. 1 p. 69-72.
- ALCORTA, R. (1945). *Límite, litorales, mares, islas y aislamiento de Yucatán*. En: *Enciclopedia Yucatanense*. Tomo I, p. 29-42 (Véase p. 41).
- ANÓNIMO. (1825). *Derrotero de las Islas Antillas, de la Costa de Tierra firme y las del Seno México*. 600 p. y *Portulano de la América Septentrional* (atlas de la misma), 118 láms. México.
- ANÓNIMO. (1922). *Derrotero de las costas de la República Mexicana. 1 tomo. Desde el Río Bravo del Norte en el Golfo de México, hasta el quebrado o paso de Xcalak en el mar Caribe*. An. Secr. Com. y Obras Públicas. (3a. serie), v. p. 1-165. (Véase p. 123-125).
- ANÓNIMO. (1941). *West Indies Pilot, comprising the mainland shores of the Caribbean Sea and Gulf of Mexico, from Punta Peñas in Venezuela to Cape Sable in Florida U. S. A., with adjacent islands*, 10 th. edit. v 1. p. 281.
- BONET, F. (1952). *La facies Urganiana del Cretácico Medio de la Región de Tampico*. Bol. Asoc. Mexicana Geol. Petr., v. 3. 153-262.  
—(1956). *Nota preliminar sobre la constitución de los arrecifes coralinos de la Sonda de Campeche, México*. Resumen de los trabajos presentados. XX Congreso Geología Internacional, p. 231.
- BONET, F. and J. Butterlin. (1962). *Stratigraphy of the Northern part of the Yucatan Peninsula*. Guide Book Field Trip to Peninsula of Yucatan, New Orleans Geological Society. p. 52-57.
- BONET, F. y J. Rzedowski. (1962). *Vegetación de las islas del arrecife Alacranes, Yucatan (México)*. An. Esc. Nac. Cienc. Biol. Mexico, v. 11, n. 1-4, p. 15-50, 5 láms.
- BRESINA, J. (1963). *Kapteyn's Transformation of grain size distribution*. Journ. Sedim. Petr., v. 33, n. 4, p. 931-937.
- BUTTERLIN, J. (1958). *Reconocimiento geológico preliminar del Territorio de Quintana Roo (con un apéndice sobre el Eoceno de la Península de Yucatán)*. Asoc. Mex. Geol. Petr., v. 10, n. 9-10, p. 531-570.
- BUTTERLIN, J. y F. Bonet. (1963). *Las Formaciones Cenozoicas de la parte Mexicana de la Península de Yucatán*. Ingeniería Hidráulica de México, v. 27, n. 1, p. 1-9.  
—(1966) *Les formations Cenozoiques de la partie mexicaine de la presqu'île du Yucatan*. Transaction of the Third Caribbean Geological Conference. Geological Survey Department Hope Gardens. Kingston. Jamaica.
- CANN, R. (1963). *Recent Calcium Carbonate Facies of the North-Central Campeche Bank, Yucatan, Mexico*. Tesis.

- CAROZZI, A. V. (1960). *Microscopic Sedimentary Petrography*. J. Wiley and Sons, edit., New York y Londres. VIII, 485 p.
- CLOUD, P. E. (1962). *Environment of Calcium Carbonate Deposition West of Andros Island, Bahamas*. U. S. Geol. Survey Prof. Paper 350.
- CURRAY, J. R. (1960). *Sediments and History of the Holocene transgression, continental shelf Northwest Gulf of Mexico*. In: *Recent Sediment Northwest Gulf of Mexico*. American Assoc. Petr. Geol., Tulsa, 394 p.
- DAPPLES, E. C. (1959). *Behavior of Silica in Diagenesis*. In: *Silica in Sediments*. Soc. Ec. Paleont. and Mineral, Spec. Publ., v. 7, p. 34-54. (No visto, citado por Harding, 1964).
- DAVIS, R. A. (1964). *Foraminiferal assemblages of Alacran Reef, Campeche Bank, Mexico*. Journ. Paleont., v. 38, n. 2, p. 417-421.
- FOLK, R. E. (1959). *Practical Petrographic Classification of Limestones*. Bull. American. Assoc. Petr. Geol., v. 43, p. 1-30.
- (1962). *Sorting in some Carbonate Beaches of Mexico*. Trans. New York Acad. Sci., ser. II. v. 25, n. 2, p. 222-224.
- FOLK, R. L., M. O. Hayes y R. Shoji. (1962). *Carbonate sediments of Isla Mujeres, Quintana Roo, Mexico and Vicinity*. Guide Book Field Trip to Peninsula of Yucatan, New Orleans Geological Society, p. 85-100.
- FOLK, R. L. y R. Robles. (1964). *Carbonate Sands of Isla Pérez Alacran Reef Complex Yucatan*. Journ. Geology, v. 72, n. 3 p. 255-292.
- FOLK, R. L. y W. C. Ward. (1957). *Brazos River Bar: A study in the significance of grain size parameters*. Journ. Sed. Petr., v. 27, n. 1, p. 3-26.
- FOSBERG, F. Q. (1961). *Atoll news and comments*: Atoll Research Bulletin, v. 84, p. 6-9.
- GINSBURG, R. N. (1956). *Environmental relationships of grain size and constituent particles in some south Florida carbonate sediments*. Bull. American Assoc. Petr. Geol., v. 40, n. 10, p. 2384-2427.
- (1957). *Early Diagenesis and Lithification of Shallow-Water Carbonate Sediments in South Florida*. Soc. Ec. Paleont. and Miner., Spec. Publ., v. 5, p. 80-99.
- GONZÁLEZ, A. C. (1965). *Foraminíferos recientes de la familia Soritidae Ehrenberg 1839 en el arrecife Alacran, Banco de Campeche, Yucatán, México*. (Tesis). 42 p.
- HARDING, J. L. (1964). *Petrology and Petrography of the Campeche Lithic Suite, Yucatan Shelf, Mexico*. Texas A. and M. University. Dept. of Oceanography and Meteorology Ref. 64-11 T, XIII 140 p.
- HILDEBRAND, H. H., H. Chávez y H. Compton. (1964). *Aporte al conocimiento de los peces del Arrecife Alacranes, Yucatán, México*. Ciencia v. 23, n. 3, p. 107-134.
- HOFFMEISTER, J. E. y H. G. Multer. (1964). *Growth-rate estimates of a Pleistocene coral reef of Florida*. Bull. Geol. Soc. America. v. 75, n. 4, p. 353-358.
- HOSKIN, C. M. (1960). (Abs). *Carbonate sedimentation in the Alacran Reef, Campeche Shelf, México*.— *Preliminary report*. Intern. Geographical Congress. XIX, Norden. 1960. Abstract of papers., p. 126.
- (1963). *Recent Carbonate Sedimentation en Alacran Reef, Yucatan, Mexico*. Nat. Acad. Science. Nat. Res. Counc. Publ., v. 1089, p. 1-160.
- (1966) *Coral Pinnacle sedimentation, Alacran Reef Lagoon, Mexico*. Journ. Sedim. Petr. v. 36, n. 4, p. 1058-1074, figs 1-15.
- HUERTA, L. (1961). *Flora marina de los alrededores de la isla Pérez, Arrecife Alacranes, sonda de Campeche, México*. An. Esc. Nac. Cienc. Biol., v. 10, n. 14, p. 11-221.

- KERHALLET, C. P. (1853) *Manual de la navigation dans la mer des Antilles et dans le Golfe du Mexique*. 2 v. París (No visto).
- KORNICKER, L. S., F. Bonet, R. Cann y Ch. M. Hoskin. (1959). *Alacran Reef Campeche Bank, Mexico*. Institute of Marine Science, v. 6, p. 1-22. Port Aransas, Texas.
- KORNICKER, L. S. y D. W. Boyd. (1961). (Abs). *The Alacran Reef Complex of the Campeche Bank*, In: Ann. Ass. Pet. Geol. Program of the 46 th annual meeting, p. 111.
- (1962). *Shallow-water Geology and Enviroments of Alacran Reef-Complex, Campeche Bank, Mexico*. Bull. American Ass. Petr. Geol., v. 46, n. 5, p. 640-673.
- (1962). *Bio-Geology of a living coral Reef Complex on the Campeche Bank*. Guide-Book Field Trip to Peninsula of Yucatan. New Orleans Geological Society, p. 73-84.
- LOGAN, B. W. (1961a). (Abs). *Coral-Reef and bank communities of the Campeche shelf, Yucatan, Mexico*. In: Program of the 74th annual meeting of the Geol. Soc. American, p. 94 A.
- (1961b). *Regional aspects of Carbonate Sedimentation, Campeche Bank*, API Semianual Report, Project 63 (No visto, referencia en Harding, 1964).
- (1962a). *Submarine Topography of the Yucatan Plataform*, In: *Guide Book, Field Trip to Yucatan*: New Orleans Geological Society, p. 101-104.
- (1962b). (Abs). *Coral-Reef and Bank Comunities of the Campeche Shelf, Yucatan, Mexico*. Geol. Soc. American, Spec. Paper, No. 68, p. 218.
- (1962s). *Regional aspects of Carbonate Sedimentation, Yucatan Shelf, Mexico*. (No visto, referencias en Harding, 1964).
- (1963). *Regional Carbonate Sedimentation, Campeche, Bank, Yucatan Shelf, Mexico*. (No visto, referencia en Harding, 1964).
- LOWENSTAM, H. A. (1954). *Factors affecting the aragonite calcite ratios in carbonate secreting marine organisms*. Journ. Geol., v. 62, n. 3, p. 284-322.
- MARGALEF, R. (1962). *Comunidades naturales*. Publicación especial del Instituto de Biología Marina. Universidad de Puerto Rico. Mayaguez, Puerto Rico, VII —469 p.
- MARION, A. F. (1884). *Excursion aux iles Alacranes*. Bull. Soc. Acad. Brest, (ser, 2) v. 9, p. 5-21.
- MCCAMMON, R. B. (1962). *Moment Measures of Size Frequency Distributions*. Journ. Geol., v. 70, n. 1, p. 89-92.
- MILLSPAUGH, C. F. (1916). *Vegetation of Alacranes Reef*. Field. Mus. Nat. Hist., Bot. ser., Publ. 187, v. 2, n. 11, p. 421-431.
- MUÑOZ LUMBIER, M. (1919). *Algunos datos sobre Islas Mexicanas para contribuir al conocimiento de sus recursos*. An. Inst. Geol. México, 1, n. 7, p. 1-54, 9 láms. Reproducido en: *Las Islas Mexicanas*, Biblioteca Enciclopedia Popular No. 117, Secr. Educación, México, 1946, 117 p. (Véase p. 108-110).
- PURDY, E. G. (1963). *Recent Calcium Carbonate Facies of the Great Bahama Bank, Pt. 1, Petrography and Reaction Groups*. Journ. Geol., v. 71, n. p. 334-354.
- (1963). *Recent Calcium Carbonate Factes of the Great Bahama Bank. 2, Sedimentary Facies*. Journ. Geol. v. 71, n. 4, p. 472-497.
- RICE, W. H. and L. S. Kornicker. (1962). *Mollusks of Alacran Reef, Campeche Bank, Mexico*. Publs. Inst. Marine Science Univ. Texas, v. 8, p. 366-403.
- (1965). *Mollusks from the Deeper Waters of the Northwestern Campeche Bank, Mexico*. Publs. Inst. Marine Science Univ. Texas., v. 10, p. 108-172.

- VALENCIA, J. y C. Fries. (1965). *Compendio de edades de radio carbono de muestras mexicanas de 1962 a 1964*. Bol. Inst. Geol., v. 73, n. 3, p. 135-191.
- WIENS, H. J. (1962). *Atoll Environment and Ecology*. Yale Univ. Press. XXII—532 p.
- WILLIAMS, J. D. (1963). *The Petrology and Petrography of Sediments from the Sigsbee Blanket, Yucatan Shelf, Mexico*. Technical Report, Dept. of Oceanography and Meteorology Texas A. and M. University, Ref. 63-12 T. (No visto).
- WRIGHT, T. and L. S. Kornicker. (1962). *Island Transport of Marine Shells on Pérez Island, Alacran Reef, Campeche Bank, Mexico*. Journ. Geol., v. 70, n. 5, p. 616-618.

## APENDICE I

### DESCRIPCIÓN DE LAS ESTACIONES DONDE FUERON OBTENIDAS MUESTRAS DE FONDO SUPERFICIAL.

Se da la distancia en metros y el rumbo a partir del faro viejo de isla Pérez. Las profundidades vienen expresadas en pies. Por excepción, las distancias de las estaciones 32, 33 y 35 vienen dadas en millas y las profundidades, en brazas. Cada muestra se identifica con dos números, el primero es el número de estación, el segundo es el número de muestra.

*Estación 1.*—A 825 m al N 80° E del faro. 21-VII-1959. Arrecife en parche situado en la porción principal de la laguna, frente a isla Pérez, (figs. 3 y 5). La estación corresponde a la cima del arrecife, a unos 4' de profundidad, muy cerca del flanco del arrecife que cae verticalmente hasta los 30' de profundidad.

El fondo, está cubierto por una delgada capa (2-3 cm) de grava y arena gruesa, con escasas cabezas de *Diploria strigosa*; grava constituida por fragmentos sueltos de *Acropora cervicornis* y *Porites* sp., de 2 cm de diámetro por 6-7 cm de longitud, cubiertos por arena gruesa (muestra 1-1, no representativa por no contener la fracción de grava).

Hacia adentro de la zona anterior hay un fondo arenoso ocupado por pradera de *Thalassia testudinum* (muestra 1-2).

*Estación 2.*—A 1200 m al N 85.5° E del faro. 21-VII-1959 (figs. 3 y 5).

Laguna, porción principal. Fondo arenoso, a 40 pies de profundidad; desde la superficie se aprecian sombras de organismos bentónicos fijos no identificados (muestra 2-3).

*Estación 3.*—A 1600 m al N 82° E del faro, 21-VII-1959 (figs. 3 y 5).

Laguna, porción principal. Fondo arenoso a 69 pies de profundidad, no visible desde la superficie (muestra 3-4).

*Estación 4.*—A 1975 m al N 84.5° E del faro. 21-VII-1959 (figs. 3 y 5).

Cima de un arrecife en barrera que separan dos partes de la porción principal de la laguna; profundidad: 4-5 pies. Se observan claramente tres zonas: A) Zona externa ocupada casi exclusivamente por *Acropora prolifera*; fondo rocoso cubierto por delgada capa de arena, con porciones donde domina la grava formada por fragmentos de *A. cervicornis* de 6-7 cm de longitud. B) Zona intermedia de corales macizos; dominan *Montastrea annularis*, *Porites astreoides*, grandes cabezas de *Diploria clivosa* y algo más pequeñas de *D. strigosa*; fondo rocoso cubierto por una capa de grava arenosa de pocos centímetros de espesor (muestra 4-5). C) Zona central rocosa cubierta por

delgada capa gravoso-arenosa (muestra 4-6); abundantes colonias de *Porites furcatus* que no forman cubierta continua.

*Estación 5.*—3200 m al N 81.5° E del faro. 21-VII-1959 (figs. 3 y 5).

Porción principal de la laguna, al pie del talud lagunar; 20 pies de profundidad. Fondo arenoso (muestra 5-7); la draga subió un fragmento de *Porites*.

*Estación 6.*—A 3575 m al N 82° E del faro. 21-VII-1959 (figs. 3 y 5).

Porción principal de la laguna, al pie del talud lagunar; 25 pies de profundidad. Fondo arenoso (muestra 6-8).

*Estación 7.*—A 4325 m al N 86.5° E del faro. 21-VII-1959 (figs. 3 y 5).

Plataforma arrecifal de barlovento, a unos 850 m por detrás del parapeto de bloques. Fondo de arena gravosa (muestra 7-9); con escasas cabezas de coral entre ellas las de *Porites furcatus*; escasas gorgonias.

*Estación 8.*—“Calderas”; pecio situado sobre el parapeto de bloques del margen arrecifal de barlovento, a 5225 m al N 86.5° E del faro. 21-VII-1959 (figs. 3 y 5).

Fondo a 1'-2' constituido por bloques de coral muerto la mayor parte de 20 a 50 cm de diámetro máximo; algo de arena (muestra 8-10) entre los bloques. Escasas *Diadema antillarum* (erizo); y algunas *Halimeda*; abundantes algas filamentosas.

Inmediatamente por fuera del rompiente se inicia el talud con abundantes cabezas de *Acropora palmata*, *Montastrea annularis* y *Millepora alcicornis*; bloques recubiertos por el zoántido *Palythoa mamillosa*.

*Estación 9.*—A 4450 m al N 89.5° E del faro. 21-VII-1959, (fig. 3).

Explanada arrecifal de barlovento. Grandes extensiones de fondo arenoso, de 3' a 6' de profundidad con *Ludwingothuria mexicana*, *Penicillus capitatus* y colonias de *Porites porites*, formando manchones esparcidos por el fondo arenoso (muestra 9-11).

*Estación 10.*—A 3750 m al S 83.5° E del faro. 21-VII-1959 (fig. 3).

Explanada arrecifal de barlovento. Fondo de grava arenosa, a 7' de profundidad, constituida por fragmentos de *Acropora cervicornis* de 2 x 7 cm, con arena coralina (muestra 10-12; comprende sólo la porción arenosa). Colonias aisladas de *Porites porites* y *Acropora cervicornis* con escasas gorgonias.

*Estación 11.*—A 2925 m al S 68° E del faro. 21-VII-1959 (fig. 3).

Arrecife en barrera que separa dos partes de la porción principal de la laguna, al E de isla Pájaros. Cebadal de *Thalassia testudinum*, a 2' de profundidad, con muy abundantes *Strombus gigas*, relativamente escasos *Porites astreoides*; *Manicina areolata* frecuente (muestra 11-13).

*Estación 12.*—Extremo NW de isla Pájaros. 21-VII-1959 (fig. 3).

Arena de playa. Muestra (12-14) como a 1 m del borde del agua y por fuera de la vegetación, a unos 2' sobre el nivel del agua.

*Estación 13.*—A 2517 m al S 62.5° E del faro, entre isla Pájaros e isla Chica. 21-VII-1959 (figs 3 y 7).

Porción principal de la laguna. Fondo arenoso, a 25' de profundidad (muestra 13-15).

*Estación 14.*—Extremo SW de isla Chica. 21-VII-1959 (figs. 3 y 7).

Arena de playa; muestra (14-16) tomada como a 1 m del borde del agua y por fuera de la vegetación, a unos 2' sobre el nivel del agua.

*Estación 15.*—A 1200 m al N 24.5° E del faro. 22-VII-1959 (figs. 3 y 8).

Laguna, porción principal. Fondo (70'), al pie del talud casi vertical de un arrecife en barrera. Limo blanco (muestra 15-17).

*Estación 16.*—A 3675 m al N 25° E del faro. 22-VII-1959 (figs. 3 y 8).

Talud de un arrecife reticular. Pared formada por grandes cabezas de *Diploria* y otros corales así como abundante *Gorgonia ventalina*. Tres lances de draga a 24' sin obtener sedimentos.

*Estación 17.*—A 5100 m al N 22° E del faro. 22-VII-1959 (figs. 3 y 8).

Arrecifes reticulares; fondo a 1'. Pequeñas colonias de *Acropora palmata* y *Millepora alcicornis*. Muestra perdida por accidente.

*Estación 18.*—A 4475 m al N 32° E del faro. 23-VII-1959 (figs. 3 y 12).

Laguna, porción celular. Fondo arenoso a 15' de profundidad, con *Tellina* sp; muestra 18-18.

*Estación 19.*—A 5600 m al N 36° E del faro. 23-VII-1959 (figs. 3 y 12).

Laguna, porción celular. Fondo arenoso-limoso, a 20' de profundidad, (muestra 19-19). Escasas cabezas de *Porites*.

*Estación 20.*—▲ 8050 m al N 37° E del faro. 23-VII-1959 (figs. 3 y 12).

Transición entre la porción celular de la laguna y la explanada arrecifal de barlovento, 10' de profundidad. Manchones de coral y gorgonias, en un fondo arenoso (muestra 20-20).

*Estación 21.*—A 12050 m al N 37° E del faro. 23-VII-1959 (figs. 3 y 12).

Porción externa de la explanada arrecifal de barlovento, a 4' de profundidad. Fondos arenosos, a unos 200 m del rompiente, con escasas cabezas de coral, cerca del límite externo del cebadal (muestra 21-21).

*Estación 22.*—A 14125 m al N 23° E del faro. 23-VII-1959 (fig. 3).

Porción externa de la explanada arrecifal de barlovento, cerca del límite externo de cebadal, a 3' de profundidad. Fondo arenoso con manchones de *Halimeda*; otros manchones formados por colonias de *Porites astreoides*, *Diploria* de pequeño tamaño, *Gorgonia ventalina* y otros gorgoniáceos. Los manchones están separados por extensiones grandes de fondo arenoso (muestra 22-22); el mismo tipo de fondo existe en todo el trayecto entre las estaciones 21 y 22.

*Estación 23.*—A 14450 m al N 20° E del faro. 23-VII-1959 (fig. 3).

Explanada arrecifal de barlovento. Cebadal de *Thalassia testudinum*; fondo arenoso (muestra 23-23).

*Estación 24.*—A 16825 m al N 10° E del faro, cerca del pecio "Sandwich". 23-VII-1959 (figs. 3 y -10).

Porción externa de la explanada arrecifal de barlovento. Fondo arenoso, a 2' de profundidad (muestra 24-24), con cabezas de coral aisladas (*Diploria*, *Porites*, etc.), gorgonias y bloques cubiertos por el zoantido *Palythoa mamillata*.

*Estación 25.*—A 15500 m al N 9.5° E del faro. 23-VII-1959 (figs. 3 y 10).

Explanada arrecifal de barlovento. Fondo arenoso a 7' de profundidad (muestra 25-25).

*Estación 26.*—A 13100 m al N 10° E del faro. 23-VII-1959 (figs. 3 y 10).

Laguna arrecifal, porción celular. Fondo a 20 pies; (muestra 26-26).

*Estación 27.*—A 10900 m al N 10° E del faro. 23-VII-1959 (figs. 3 y 10).

Laguna arrecifal, porción celular. Fondo limoso a 22' de profundidad. Muestra 27-27.

*Estación 28.*—A 7400 m al N 10° E del faro. 23-VII-1959 (figs. 3 y 10).

Laguna arrecifal, porción celular. Fondo limoso a 18' de profundidad. Muestra 28-28.

*Estación 29.*—A 4625 m al N 4° E del faro. 23-VII-1959 (figs. 3 y 10).

Laguna arrecifal, porción celular. Fondo arenoso a 20' de profundidad. Muestra 29-29.

*Estación 30.*—A 2600 m al N 1° E del faro. 23-VII-1959 (figs. 3 y 10).

Laguna arrecifal, porción celular. Fondo limoso a 30' de profundidad. Muestra 30-30.

*Estación 31.*—Centro de la costa oriental de isla Pérez. 25-VII-1959.

Playa arenosa, inmediatamente al S del embarcadero; a unos 2 m del borde del agua y por fuera de la vegetación, a unos 3' sobre el nivel del agua. Muestra 31-31.

*Estación 32.*—A 10.5 millas al S 84° E de isla Pérez. 25-VII-1959. (fig. 3, inserto).

Fondo limoso, a 29 brazas con abundantes conchas y serpulidos. Muestra 32-32; es idéntica a la muestra B-1 de R. Cann.

*Estación 33.*—A 15 millas al S 65° E de isla Pérez, entre Alacranes y Progreso. 25-VII-1959. (Fig. 3, inserto).

Fondo arenoso, a 27.5 brazas de profundidad. Muestra 33-33; es idéntica a la muestra B 2 de R. Cann. Fueron necesarios dos lances de draga para obtener muestra.

*Estación 34.*—A 22 millas al S 56° E de isla Pérez, entre Alacranes y Progreso. 25-VII-1959.

Fondo a 26.7 brazas. Recuperación insignificante en cuatro lances.

*Estación 35.*—A 30 millas al S 45° E de isla Pérez, entre Alacranes y Progreso. 25-VII-1959 (fig. 3, inserto).

Fondo arenoso, a 23 brazas. Muestra 35-34; es idéntica a la muestra B 4 de R. Cann. Fueron necesarios dos lances para obtener muestra.

*Estaciones 36 a 40.*—Entre Alacranes y Progreso. No se obtuvieron muestras.

*Estación 41.*—A 2725 m al N del faro. 10-VII-1960. (fig. 3 y Lám. 2, sección 46-30).

Uno de los pináculos de sección circular contenidos en un compartimiento de la porción principal de la laguna. La cima del pináculo, a una profundidad de 2' a 6' comprende las siguientes zonas concéntricas: A) Centro, (3' a 6' de profundidad) área de arena (muestra 41-6) con escasas gorgonias, tales como *Plexaura Homamalla* y *Gorgonia ventalina*; escasas cabezas de *Millepora alcicornis*, *Porites porites*, *Favia fragum* y *Agaricia agaricites*; abundan *Penicillus capitatus* y *Ludwigothuria mexicana*. (muestra 41-1). B) Zona de *Porites*, (muestra 41-5) con abundantes *Porites porites*, *Porites astreoides*, pequeñas cabezas hasta de 20 cm de diámetro de *Montastrea annularis*, *Diploria labyrinthiformis* y muchas algas, entre ellas, tres especies de *Halimeda*; (*H. tuna*, *H. incrassata* y *H. lacrymosa*), *Turbinaria tricostata* y *Dictyosphaera cavernosa*; abunda *Ludwigothuria mexicana* (muestra 41-2). C) Zona de *Acropora cervicornis*, en el mismo borde de la cima, muy estrecha pues alcanza de uno a 1 1/2 metros de anchura en el lado E, desapareciendo en el resto del contorno. D) Talud que desciende casi verticalmente desde los 6' a los 30', con grandes cabezas de *Montastrea*, algo más escasas *Siderastrea sideraea*, *Diploria labyrinthiformis*, *D. clivosa* y *D. strigosa* (muestra 41-3). E) Fondo arenoso del compartimiento lagunar a 30'-33' con grandes cabezas aisladas de *Montastrea* y *Diploria*. Se trata del pináculo descrito en detalle por Hoskin en su trabajo de 1966.

*Estación 42.*—A 2600 m al N del faro de isla Pérez. 11-VII-1960 (fig. 3 y Lám. 2, sección 46-30).

Borde del arrecife en barrera que limita por el S el compartimiento lagunar anterior. El fondo lagunar, a 33' (muestras 42-7 y 42-8) es idéntico al de la zona D de la estación anterior. El talud asciende, no tan abruptamente como de ordinario, hasta la cima de la barrera, a unos 6' de profundidad. La porción superior del talud comprende abundantes gorgoniáceos tales como *Gorgonia ventalina*, *Pseudopterogorgia americana*, *Plexaura flexuosa*, *P. homomalla* y *Plexaurella dichotoma* junto con *Halimeda opuntia* y *H. tuna*. Abundan *Montastrea cavernosa*, *M. annularis*, *Isophyllia*, *Favia* y las tres especies de *Diploria*. Prácticamente las mismas especies se encuentran en el borde de la barrera (muestras 42-9 a 42-11).

*Estación 43.*—A 2675 m al N 37° W del faro, a mitad de la distancia entre isla Pérez e isla Desertora. 12-VII-1960. (fig. 3).

Arrecife marginal de sotavento. Fondo madreporico, a 13' de profundidad, con abundantes cabezas de corales macizos de cerca de 1 m de diámetro, tales como *Montastrea annularis*, *M. cavernosa*, y *Siderastrea sideraea*. Abundan grandes colonias de gorgoniáceos tales como *Antillologorgia acerosa*, *Gorgonia*

*ventalina*, *Briareum asbestinum*, *Plexaurella dichotoma* y *Pseudoplexaura porosa* (muestras 43-13 y 43-14).

*Estación 44.*—A 8375 m al N 37° W del faro. 13-VII-1960, en la margen meridional del banco de arena que rodea a isla Desaparecida. (figs. 3 y 11).

Arrecife marginal de sotavento; fondo arenoso, a 10' de profundidad. Muestras 44-16 y 44-17.

*Estación 45.*—A 7200 m al N 35° W del faro, a mitad de distancia entre isla Desaparecida e isla Desertora. 13-VII-1960. (figs. 3 y 11).

Arrecife en parche en la porción principal de la laguna. La cima del arrecife, a 10' de profundidad, está cubierto por fragmentos de coral muerto y escasa arena. Dominan en absoluto los gorgoniáceos, especialmente *Antillogorgia acerosa*, *Gorgonia ventalina*, *Pseudopterogorgia americana*, *Euricea calyculata* y varios otros. Los madreporarios son escasos y de poco tamaño pues rara vez pasan de 20 cm de diámetro (*Diploria strigosa* y *D. labyrinthiformis*). Abundan mucho las esponjas (6-8 especies) y *Halimeda*. Muestra 45-18.

*Estación 46.*—A 250 m al N 61° E del faro. 17-VII-1960. (fig. 3).

Arrecife en franja a lo largo de la mitad N de la costa oriental de isla Pérez, al N del embarcadero. Desde la isla pueden distinguirse las siguientes zonas A) Pradera de *Thalasia*, B) Zona de *Porites* (2'-3' de profundidad) con abundantes corales de pequeño tamaño (cabezas menores de 20 cm) tales como: *Montastrea cavernosa*, *M. annularis*, *Siderastrea radians*, *Favia fragum*, *Porites asteroides*, así como las tres especies de *Diploria*: *D. clivosa*, *D. strigosa* y *D. labyrinthiformis*; faltan las dos gorgoniáceos y hay escasas *Diadema* (muestra 46-23). C) Zona de *Acropora cervicornis* de anchura muy variable y que puede faltar. D) Zona arenosa (profundidad mayor de 6') con escasos asteroideos (muestra 46-24).

*Estación 47.*—A 9550 m al N 52° E del faro. 18-VII-1960. (figs. 3 y 6).

Porción externa de la plataforma arrecifal de barlovento, a unos 200 m del rompiente. Fondo de grava y arena gruesa con bloques de coral muerto, a 2' de profundidad (muestra 47-25); manchones aislados constituidos por grupos de *Acropora cervicornis* de pequeño tamaño y muy ramificados, con algas tales como *Halimeda tuna*, *H. incrassata*, *Turbinaria tricostata*, *Dictyosphaeria cavernosa*, *Pocockiella variegata* y *Gelidiopsis intricata*. Entre esta estación y el foso, la profundidad aumenta algo (3'-4').

*Estación 48.*—A 9975 m al N 46° E del faro. 18-VII-1960. (fig. 3; Lám. 2, sección O-P, lám. 8, fig. 1).

Extremo norte del foso. Fondo a 30' de profundidad; arena gruesa con mucha grava y bloques de coral muerto (muestra 48-26). Hay cabezas aisladas de *Acropora cervicornis* y algunos otros corales.

*Estación 49.*—A 7600 m al N 60° del faro. 18-VII-1960. (fig. 3).

Extremo sur del foso. En el centro del foso la profundidad alcanza los 24'; el fondo es de arena gravosa sin organismos visibles, (muestra 49-29). Hacia

su orilla occidental el fondo asciende paulatinamente hasta los 3' donde se presenta un estrecho reborde de corallinas articuladas con muy escasos corales. *Porites astreoides*, *Dichocoenia stokessi* y otros (muestra 49-28). Aquí comienza el cebadal de *Thalassia* con muy abundantes *Strombus gigas*, (más de 1 ejemplar por m<sup>2</sup>) y *Manicina areolata* (muestra 60-27).

*Estación 50.*—A 4857 m al N 53° E del faro. 18-VII-1960. (figs. 3 y 6).

Cima de un arrecife reticular, a unos 6' (?) de profundidad. Fondo arenoso con abundantes cabezas de coral: las tres especies de *Diploria*, *Porites astreoides*, *P. porites*, bastantes gorgoniáceos: *Pseudopterogorgia americana*, *Briareum asbestinum* y *Plexaura homomalla*. Entre las algas abundan *Halimeda incrassata*, *H. opuntia* y *Caulerpa racemosa* (muestra 50-30).

## APENDICE II

### DESCRIPCIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUBSUELO

En las descripciones que se dan a continuación, cada núcleo ha sido dividido en porciones cuando la cantidad de los materiales recuperados lo ha requerido. Estas porciones se han designado con dos números, el primero es el número de orden del núcleo en el sentido de la perforación; el segundo señala la posición de cada parte dentro del núcleo, contando de la cima a la base. Por ejemplo, la segunda parte del sexto núcleo contando desde la cima, se designa por 6-2.

Materiales procedentes de la perforación que por alguna circunstancia no se juzgan completamente representativos o que han sido obtenidos por procedimientos distintos a los normales, se designan como "muestras", con un número consecutivo en el sentido de la perforación, por ejemplo, M-2, (Muestra 2).

Dentro de lo posible, se ha procurado seguir la misma pauta en todas las descripciones; cada corrida de núcleo se designa por la profundidad en metros de la cima y de la base, indicando el número de orden. A continuación se indican sucesivamente: 1) datos de perforación, 2) descripción de cada una de las partes, 3) interpretación de los datos de perforación, 4) disposición de las muestras, y 5) interpretación paleoecológica, incluyendo en su caso el estado de litificación.

0.00-1.30 m.—Muestras tomadas directamente de la excavación efectuada para iniciar el pozo.

M-1 (0.30-0.35 m). Arena media; es representativa de la que forma la superficie de isla Pérez.

Granulometría (fig. 26): grava, 4.7%; arena, 93.7%; limo 1.3% arcilla 0.3%;  $M_d = 0.54 \phi$ ;  $M_z = 0.39 \phi$ ;  $\sigma_1 = 0.8 \phi$ ;  $Sk_1 = -0.17$ ;  $K'_g = 0.56$ .

TABLA 10  
COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 1/8 mm. EN GRAMOS  
MUESTRA 1.

Fracciones mm.	16	8	4	Total	%
<i>A. cervicornis</i>	3.40	1.17	—	4.57	66.6
<i>P. porites</i>	—	1.00	—	1.00	14.5
Pelecípodos	—	1.00	0.14	1.14	16.5
Coralinas	—	—	0.20	0.20	2.4
Sumas	3.40	3.17	0.34	6.91	100.0
% de la muestra total.	0.78	0.73	0.08	1.59	

Exceptuando un fragmento de *Acropora*, muy alterado en la superficie, los demás no presentan indicios de alteración.

TABLA 11

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 1/8 mm. En %

## MUESTRA 1

Fracciones en mm.	16	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125	Global
Corales	100	68	—	1	—	1	4	3	3.3
Moluscos	—	32	41	37	26	27	42	48	28.4
Foraminíferos	—	—	—	14	27	12	6	10	14.1
Halimeda	—	—	—	45	47	59	45	34	51.6
Coralinas	—	—	59	1	2	1	—	—	0.9
Gorgoniáceas	—	—	—	—	—	—	1	—	0.1
Indeterminado	—	—	—	3	—	—	—	4	0.2

M-2 (0.90-1.00 m) arena media similar a la anterior.

M-3 (1.20-1.30 m) arena media similar a las dos muestras anteriores. Nivel del agua de mar en marea alta.

Con fines edafológicos se efectuaron análisis de ciertos elementos en estas muestras (Bonet y Rzedowski, 1962) que se transcriben a continuación. Parte cuando menos de estos elementos se deben a los excrementos de aves marinas que anidan en la isla.

TABLA 12

MATERIA ORGANICA Y NUTRIENTES

## MUESTRAS 1-3

Muestras	Materia orgánica %	N. total %	NO <sub>3</sub> %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	pH	Sales solubles.
M-1	0.32	0.015	0.00054	3.1	7.5	0.83
M-2	0.54	0.040	0.00110	1.9	7.3	0.94
M-3	0.23	0.012	0.00024	2.2	7.7	1.67

Obsérvese el aumento de sales y pH en el horizonte mojado en marea alta.

Las muestras M-1 y M-3 se utilizaron en los análisis. La M-2 se conserva íntegra.

Interpretación: Los parámetros granulométricos de la muestra 1 son bien diferentes de las obtenidas a más de 3 m de profundidad indicando un grado más elevado de selección por tamaño, ligera asimetría hacia los gruesos y

franca leptocurtosis. Su peculiaridad traduce una diferencia de origen, pues en este caso se trata de arenas de playa; son los sedimentos que constituyen isla Pérez. Un estudio detallado de los sedimentos subaéreos de esta isla puede verse en Folk y Robles (1964).

1.30-3.00 m.—Muestra tomada al enclavar el tubo de guía por percusión.

M-4. Elementos gruesos arrastrados por el agua de circulación al enclavar el tubo. No se hace análisis por considerarse que los finos han sido lavados por el agua de circulación; toda la muestra se guarda para referencia. Los golpes de martillo no revelaron la presencia de elementos duros.

El sedimento total puede corresponder a los bancos arenosos que cubren grandes porciones de la plataforma arrecifal de sotavento.

3.55-4.14 m (Núcleo 1).—Obtenido con broca de acero, circulación de agua y rotación manual; avance por percusión. Recuperación: 34%.

1-1. Diez fragmentos de 1.5 cm de diámetro y 3 de longitud de *Porites porites*; 51 fragmentos de las mismas dimensiones de *A. cervicornis* con *Homotrema* sp., y tubos de serpúlidos en la superficie; 1 fragmento de pelecípodo.

1-2. Bloque de *Diploria strigosa* de 8 cm de longitud (1.36% de la longitud total del núcleo), en posición de crecimiento.

M-5. Arena arrastrada por el agua de circulación recogida en el orificio de lodos.

Microscópicamente, los corales de 1-1 y 1-2 no muestran diferencia apreciable con los ejemplares actuales; su estructura está perfectamente conservada, no hay signos de recristalización; cavidades sin relleno ni revestimiento cristalino. Los fragmentos de *Acropora* no han sido afectados por la barrena, pero a juzgar por el aspecto de su superficie estuvieron depositados en el fondo del mar en el estado actual de fragmentación (halmirolisis de Dapples).

La porción no recuperada (66%) está constituida en buena parte por sedimentos sueltos que fueron arrastrados por el agua de circulación a juzgar por el aspecto del líquido en el orificio de lodos (M-5), así es que solo se recuperaron en el muestrero los fragmentos grandes. El bloque de *Diploria* quedó encastrado en el extremo de la barrena, de modo que puede haber actuado como tapón que impidió la penetración de materiales en el muestrero; de ser así, la proporción real de corales puede ser mayor que la indicada por la recuperación total.

Se conservan todos los fragmentos de coral (1-1 y 1-2) excepto pequeñas porciones destinadas a confección de láminas delgadas. M-5 no se considera representativa, pues los finos seguramente fueron lavados por el agua de circulación; se conserva para referencia excepto una porción destinada a análisis de constitución para comparar con las fracciones equivalentes del núcleo 5.

La composición biótica sugiere los fondos muy someros de la cima de arrecifes elementales protegidos. Se trata probablemente del cebadal de *Thalassia* o de la asociación de *Penicillus* pero no está excluida la asociación de *Porites* ramosos. Menos de 3 m de profundidad. Litificación nula.

4.14-5.38 m. (Núcleo 2).—Obtenido con broca de diamante, rotación mecánica y circulación de agua. Recuperación: 10%.

2-1. Fragmentos de *Diploria strigosa* de 3 x 2 cm.

2-2. Bloque de *Porites astreoides* de 3 cm. de altura (2.4% de la longitud total del núcleo), en posición de crecimiento.

2-3. Dos bloques de *Montastrea annularis* de 9 cm de longitud agregada (7.2% de la longitud total), en posición de crecimiento. Uno de ellos muestra un ejemplar completo de *Lithophaga* sp. en su cavidad.

Microscópicamente los corales no presentan indicios de alteración; sin recristalización, cavidades sin relleno ni revestimiento cristalino.

El 90% no recuperado debe atribuirse a sedimentos sueltos a juzgar por la arena fina arrastrada por el agua de circulación en el orificio de lodos. Estos sedimentos parecen ser muy semejantes al limo arenoso encontrado en el núcleo 5.

Se conservan todos los fragmentos de coral (2-1, 2-2 y 2-3) excepto pequeñas porciones utilizadas en la confección de láminas delgadas.

Sedimentos depositados en la cima de un arrecife protegido similar faunísticamente al encontrado en el núcleo 5.

5.38-8.38 m. (Núcleo 3).—Broca de diamante, rotación mecánica y circulación de agua. Recuperación: 22%.

3-1. Bloque de *Porites astreoides*, en tres fragmentos, con altura agregada de 18 cm (6%).

3-2. Bloque de *Montastrea annularis* en 7 fragmentos, con longitud agregada de 30 cm (10%) en posición de crecimiento.

Microscópicamente los corales no presentan indicios de alteración; sin recristalización, cavidades sin relleno ni revestimiento cristalino.

La porción no recuperada (78%) fue arrastrada por el agua de circulación. A juzgar por el aspecto de los líquidos del orificio de lodos, se supone formada por un limo arenoso similar al del núcleo 5.

Se conservan los bloques de coral (3-1, 3-2) excepto pequeñas porciones utilizadas para hacer láminas delgadas.

Sedimentos depositados en la cima de un arrecife protegido, similar al representado por el núcleo 5. Sin litificación.

8.38-10.00 m. (Núcleo 4).—Broca de diamante, rotación mecánica, con circulación de agua. Recuperación 0%.

Este intervalo se supone constituido por un limo arenoso similar al encontrado en el núcleo 5, y que fue arrastrado en su totalidad por el agua de circulación en la que se percibían arenas finas. La velocidad de perforación no reveló la existencia de elementos duros.

10.00-10.67 m. (Núcleo 5).—Broca de acero, rotación manual, avance por percusión, sin circulación. Recuperación 69%.

5-1. (Núcleo no dividido). Grava limoso-arenosa constituida principalmente por fragmentos de coral en una matriz limoso-arenosa suelta. Muestra total. 740.70. gr.

Granulometría (fig. 26): Grava, 43.6%; arena, 19.9%; limo 33.0%; arcilla, 3.5%;  $Md = 0.99 \phi$ ;  $\sigma_1 = 4.16 \phi$ ;  $Sk_I = 0.05$ ;  $K'_G = 0.358$ . Sedimentos claramente bimodales; un modo en  $-4\phi$  y otro en  $5 \phi$ .

TABLA 13

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm. EN GRAMOS  
NUCLEO 5 - 1

Fracciones en mm.	32	16	8	4	Total	%
<i>Diploria</i> sp.	28.88	62.35	10.40	1.57	103.20	34.74
<i>A. cervicornis</i>	—	37.30	55.76	4.75	97.81	22.92
<i>P. porites</i>	—	48.22	13.63	2.68	64.53	36.65
<i>M. annularis</i>	—	—	2.05	—	2.05	0.73
Corales indet.	—	—	4.09	6.52	10.61	3.76
Gasterópodos	—	—	0.71	1.51	2.22	0.13
Pelecípodos	—	—	—	0.60	0.60	0.79
Coralinas incrust.	—	—	—	0.37	0.37	0.21
<i>Halimeda</i> sp.	—	—	—	0.18	0.18	0.06
Sumas	28.88	147.87	86.64	18.18	281.57	99.99
% de la muestra total	3.90	19.96	11.70	2.45	38.01	

El fragmento de *Diploria* sp. presenta una cavidad de *Lithophaga*. Microscópicamente los corales no presentan indicios de alteración; sin recristalización; cavidades sin relleno ni revestimiento cristalino.

TABLA 14

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 1/8 DE mm. EN %.  
NUCLEO 5 - 1.

Fracciones en mm.	32	16	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125	Global
Corales	100	100	99	85	22	2	7	—	—	66.9
Moluscos	—	—	1	12	17	16	29	40	43	10.8
Foraminíferos	—	—	—	—	4	14	3	10	19	3.0
Halimeda	—	—	—	1	56	58	61	42	25	16.4
Coralinas	—	—	—	2	—	8	—	2	—	0.5
Equinodermos	—	—	—	—	—	1	—	—	—	tr
Ostrácodos	—	—	—	—	—	—	—	4	5	0.6
Espojas	—	—	—	—	—	—	—	1	5	0.5
Alcionarios	—	—	—	—	—	—	—	—	2	0.2
Briozoarios	—	—	—	—	—	—	—	1	1	0.1
Indeterminado	—	—	—	—	—	1	—	1	—	0.1

La porción no recuperada (31%) se supone debida a la compacción desarrollada al clavar el muestrero y posiblemente a obturación de este por fragmentos de coral.

Se conserva la fracción mayor de 4 mm excepto pequeños fragmentos de corales utilizados para láminas delgadas. La fracción menor de 4 mm se utiliza para análisis.

Los sedimentos que constituyen esta muestra se consideran típicos de la cima de los arrecifes elementales que crecen en aguas protegidas, es decir, en la plataforma marginal de sotavento o de los arrecifes interiores. La comunidad es el cebadal de *Thalassia* o asociación de *Penicillus*, si bien no puede excluirse la asociación de *Porites* ramosos. Profundidad menor de 3 m. Aparentemente, a este biotopo corresponde todo el intervalo de los núcleos 1 al 5 (3 a 10.67 m).

10.67-13.56 m (Núcleo 6).—Broca de acero, rotación manual, avance por percusión, sin circulación. Recuperación: 53 %.

6-1. Grava limoso-arenosa constituida casi exclusivamente por fragmentos de *Acropora cervicornis* en una matriz limoso-arenosa suelta. Muestra total, 487.19 gr.

Granulometría (fig. 26): Grava, 45.3%; arena, 25.4%; limo 29.3%; Md = 0.60  $\phi$ ;  $M_w$  = 0.63  $\phi$ ;  $\sigma_1$  = 3.78  $\phi$ ;  $Sk_1$  = 0.04;  $K'_a$  = 0.35. Bimodalidad clara; modos en -3 y 5  $\phi$ .

TABLA 15

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm. EN GRAMOS.  
NUCLEO 6-1.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>A. cervicornis</i>	56.59	103.95	7.34	167.88	89.30
<i>Porites</i> sp.	—	0.85	—	0.85	0.45
<i>M. annularis</i>	—	0.81	2.62	3.43	1.82
Corales indet.	—	2.50	3.80	6.30	3.35
Gasterópodos	3.65	—	0.80	4.45	2.37
Pelecípodos	—	1.52	1.87	3.39	1.80
Serpúlidos	—	—	0.10	0.10	0.05
Indeterminado	—	—	1.59	1.59	0.85
Sumas	60.24	109.63	18.12	187.99	99.99
% de la muestra total	12.36	22.50	3.72	38.58	

TABLA 16

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 1/8 DE mm. EN %.  
NUCLEO 6-1.

Fracciones en mm.	16	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125	Global
Corales	94	99	76	25	15	8	—	—	63.8
Moluscos	6	1	15	8	9	20	61	20	10.1
Foraminíferos	—	—	—	—	2	3	4	26	2.9
Halimeda	—	—	—	60	66	62	30	36	19.2
Coralinas	—	—	—	—	8	—	—	—	0.3
Ostrácodos	—	—	—	—	—	6	3	9	1.5
Esponjas	—	—	—	—	—	1	2	2	0.4
Serpúlidos	—	—	1	—	—	1	—	—	tr
Indeterminado	—	—	8	—	—	—	—	7	1.3

6-2. Grava limoso-arenosa constituida por fragmentos de coral en una matriz limoso-arenosa suelta. Muestra total 492.04 gr.

TABLA 17

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm. EN GRAMOS.  
NUCLEO 6-2.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>A. cervicornis</i>	81.90	56.29	9.32	147.51	95.17
<i>M. cavernosa</i>	—	2.70	—	2.70	1.74
Corales indet.	—	—	2.00	2.00	1.29
Gasterópodos	—	0.50	0.71	0.81	0.52
Pelecípodos	0.82	0.18	0.78	1.78	1.15
Equinodermos	—	—	0.10	0.10	0.06
Crustáceos	—	—	0.09	0.09	0.06
Sumas	82.72	59.67	12.60	154.99	99.99
% de la muestra total	16.81	12.13	2.56	31.50	

6-3. Grava limoso-arenosa constituida por fragmentos de coral en una matriz limoso-arenosa suelta. Muestra total, 443.74 gr.

TABLA 18

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.

NUCLEO 6 - 3.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>A. cervicornis</i>	94.80	85.87	7.70	188.37	97.04
<i>Porites</i> sp.	—	3.60	0.10	3.70	1.90
<i>M. annularis</i>	—	0.62	0.60	1.22	0.63
Corales indet.	—	—	0.82	0.82	0.42
Sumas	94.80	90.09	9.22	194.11	99.99
% de la muestra total	21.36	20.30	2.08	43.74	

6-4. Grava limoso-arenosa constituida por fragmentos de coral en una matriz limoso-arenosa suelta. Muestra total, 457.38 gr.

TABLA 19

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.

NUCLEO 6 - 4.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>A. cervicornis</i>	51.50	97.80	8.57	157.87	95.18
<i>Porites</i> sp.	—	3.45	0.80	4.25	2.56
Corales indet.	—	0.85	2.10	2.95	1.78
Pelecípodos	—	0.47	0.32	0.79	0.47
Sumas	51.50	102.57	11.79	165.86	99.99
% de la muestra total	11.25	22.43	2.58	36.26	

6-5. Grava limoso-arenosa constituida por fragmentos de coral en una matriz limoso-arenosa suelta. Muestra total, 453.70 gr.

TABLA 20

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.

NUCLEO 6 - 5.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>A. cervicornis</i>	86.75	21.78	7.85	116.38	93.50
<i>Agaricia</i> sp.	—	2.84	1.20	4.04	3.24
Gasterópodos	—	1.65	0.24	1.89	1.51
Pelecípodos	—	0.11	1.68	1.79	1.43
Serpúlidos	—	—	0.15	0.15	0.12
Crustáceos	—	—	0.22	0.22	0.17
Sumas	86.75	26.38	11.34	124.47	99.98
% de la muestra total	19.12	5.81	2.50	27.43	

6-6. Grava limoso-arenosa constituida por fragmentos de coral en una matriz limoso-arenosa suelta. Muestra total, 478.62 gr.

TABLA 21

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.

NUCLEO 6 - 6.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>A. cervicornis</i>	105.50	33.15	5.64	144.29	98.97
Corales indet.	—	—	1.42	1.42	0.97
Pelecípodos	—	—	0.07	0.07	0.05
Sumas	105.50	33.15	7.13	145.78	99.99
% de la muestra total	22.04	6.93	1.49	30.46	

6-7. Grava limoso-arenosa similar a la de la fracción 6-1, pero su contenido faunístico, es mas semejante al del núcleo 7. Muestra total, 381.45 gr.

TABLA 22

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.  
NUCLEO 6-7.

Fracciones en mm	32	16	8	4	Total	%
<i>M. annularis</i>	73.51	50.10	10.07	4.05	137.73	62.24
<i>A. cervicornis</i>	—	40.50	20.71	2.33	63.54	28.72
<i>Porites</i> sp.	—	5.12	3.70	1.80	10.62	4.80
<i>Agaricia</i> sp.	—	1.90	—	—	1.90	0.86
Corales indet.	—	—	3.50	3.78	7.28	3.29
Pelecípodos	—	—	—	0.20	0.20	0.09
Sumas	73.51	97.62	37.98	12.16	221.27	100.00
% de la muestra total	19.27	25.59	9.96	3.19	58.01	

M-6. Porción de muestra caída del muestrero y recuperada encima del núcleo siguiente; no se tomó en cuenta al calcular la recuperación. Esta muestra fue lavada al caer por la columna de agua que llenaba el pozo así como por el agua de circulación mantenida durante la bajada del muestrero, por consiguiente faltó en ella la porción fangoso-arenosa. Consta de dos fragmentos de *M. annularis* y otros dos de *A. cervicornis* de unos 3 cm de largo.

TABLA 23

COMPOSICION DEL NUCLEO 6.  
FRACCION MAYOR DE 4 mm, en %.

	6-1	6-2	6-3	6-4	6-5	6-6	6-7
<i>A. cervicornis</i>	89.30	95.17	97.04	95.18	93.50	98.97	28.71
<i>M. cavernosa</i>	—	1.74	—	—	—	—	—
<i>M. annularis</i>	1.82	—	0.62	—	—	—	62.24
<i>Porites</i> sp.	0.45	—	1.90	2.56	—	—	4.79
<i>Agaricia</i> sp.	—	—	—	—	3.42	—	0.85
Corales indet.	3.35	1.29	0.42	1.77	—	0.97	3.29
Total corales	94.9	98.2	100.0	99.5	96.7	100.0	99.9
Varios	5.1	1.8	0.0	0.5	3.3	0.0	0.1

Véase como en todas las fracciones mayores de 4 mm, los corales representan más del 95%. En las muestras de 6-1 a 6-6 la homogeneidad faunística es bien patente pues *Acropora cervicornis* constituye en todos los casos más del 89%.

En 6-7 pasan a dominar los restos de *M. annularis*.

La proporción de moluscos y *Halimeda* es prácticamente igual que en el núcleo anterior.

Algunos fragmentos de *A. cervicornis* presentan frecuentemente textura "esponjosa" en su interior debido a redisolución por *Cliona* (Lám. 15, fig. 3), así como revestimientos de algas coralináceas incrustantes y *Homotrema* sp., por ejemplo en 6-1 y 6-7; son también comunes los fragmentos que microscópicamente presentan abundantes algas perforantes. En alguna ocasión las cavidades intertrabeculares de esta especie y de *M. annularis* presentan parcialmente rellenos de una pasta calcarea de grano muy fino. Hay un comienzo de recristalización de las trabéculas de *A. cervicornis*. Todos estos cambios son atribuibles a halmirolisis.

La porción no recuperada (42%) debe atribuirse en parte a los materiales caídos (M-6) así como a compacción artificial por percusión.

De 6-1 y 6-3 solo se conserva la fracción mayor de 4 mm excepto un fragmento de *Acropora* destinado a confección de láminas delgadas de 6-1, y otros fragmentos de la misma especie de 6-3; el resto se destina a análisis. Las porciones 6-2, 6-4, 6-5, 6-6 y 6-7 se conservan íntegras, así como M-6.

La composición faunística de 6-1 a 6-6 así como el estado de conservación de los fragmentos, indica depósitos en un arrecife marginal protegido o a un arrecife interior; se trata de la asociación de *Acropora cervicornis* propia de las aguas someras y relativamente agitadas de la zona periférica en la cima de arrecifes elementales. La distinción entre sedimentos antiguos de esta asociación y los fondos ocupados por grava de *A. cervicornis* pero situados por debajo de la zona de *A. cervicornis* viva no puede hacerse sobre datos faunísticos y casi siempre es imposible llevarla a cabo con seguridad.

La porción 6-7, a juzgar por la abundancia de *Montastrea* debe interpretarse como depósito del propio arrecife interior, probablemente en su porción periférica (zona de *Acropora cervicornis*). Falta por completo la litificación.

13.56-14.50 m (Núcleo 7).—Broca de acero, rotación manual, avance por percusión. Sin circulación de agua. Recuperación, 25%.

7-1. (Núcleo no dividido). Grava limosa formada por fragmentos de coral y escasa cantidad de limo arenoso suelto. Muestra total, 371.59 gr.

Granulometría (fig. 26): Grava, 74.2; arena, 8.7%; limo, 15.1%; arcilla, 2.0%; Md = 3.66  $\phi$ ;  $M_z$  = -1.5  $\phi$ ;  $\sigma_1$  = 4.09  $\phi$ ;  $Sk_1$  = 0.715;  $K'_a$  = 0.5. Un modo bien marcado en -4  $\phi$  y otro secundario en 6  $\phi$ .

TABLA 24

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.  
NUCLEO 7-1.

Fracciones en mm.	32	16	8	4	Total	%
<i>A. cervicornis</i>	—	83.21	67.68	7.45	158.34	60.26
<i>M. annularis</i>	61.96	9.61	13.42	0.85	85.84	32.67
<i>Porites</i> sp.	—	1.60	2.38	1.81	5.79	2.20
Corales indet.	—	—	—	2.40	2.40	0.91
Pelecípodos	—	1.07	3.70	5.60	10.37	3.95
Sumas	61.96	95.49	87.18	18.11	262.74	99.99
% de la muestra total	16.67	25.70	23.46	4.87	70.70	

Microscópicamente los corales no muestran signos apreciables de recristalización; cavidades sin relleno ni revestimiento cristalino.

TABLA 25

COMPOSICION DE FRACCIONES MAYORES DE 1/8 DE mm, EN %.  
NUCLEO 7-1.

Fracciones en mm.	32	16	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125	Global
Corales	100	99	96	69	52	61	60	65	53	90.6
Moluscos	—	1	4	31	39	32	30	29	20	7.5
Foraminíferos	—	—	—	—	—	1	7	4	14	0.6
Halimeda	—	—	—	—	1	—	—	—	—	tr
Coralinas	—	—	—	—	1	—	—	—	—	tr
Equinodermos	—	—	—	—	6	1	1	—	1	0.3
Ostrácados	—	—	—	—	—	—	—	2	2	0.1
Espojas	—	—	—	—	—	—	—	4	—	0.1
Indeterminado	—	—	—	—	1	3	2	6	—	0.3

La porción no recuperada (75%) se atribuye a compacción por percusión y taponamiento del extremo de la barrena por fragmentos de coral.

Se conserva la fracción mayor de 4 mm excepto pequeños fragmentos de corales utilizados para la obtención de láminas delgadas. La fracción menor de 4 mm se utiliza para análisis.

Los sedimentos representados por esta muestra corresponden a los del pie de un arrecife protegido, Fondos de grava de *A. cervicornis*. No hay indicios de litificación.

14.50-15.24 m (Núcleo 8).—Broca de acero, rotación manual avance por percusión, sin circulación de agua. Recuperación, 51%.

8-1 (Núcleo no dividido). Grava limoso-arenosa constituida principalmente por fragmento de coral con limo arenoso suelto. Muestra total, 683.67 gr.

Granulometría (fig. 26): Grava, 67.2%; arena, 11.2%; limo, 21.6%  
Md = 3.1  $\phi$ ; M<sub>z</sub> = 0.82  $\phi$ ;  $\sigma_1$  = 3.95  $\phi$ ; Sk<sub>1</sub> = 0.72; K'<sub>G</sub> = 0.41. Modo principal en -3  $\phi$  y secundario en 6  $\phi$ .

TABLA 26

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm.  
NUCLEO 8-1.

Fracciones en mm	32	16	8	4	Total	%
<i>A. cervicornis</i>	—	86.53	177.47	25.41	289.41	67.98
<i>M. annularis</i>	29.59	31.43	7.41	2.95	71.38	16.77
<i>Porites</i> sp.	—	—	17.75	1.90	19.65	4.62
<i>Manicina</i> sp.	—	—	9.26	3.50	12.76	3.00
<i>Agaricia</i> sp.	—	—	4.90	2.30	7.20	1.69
<i>Favia fragum</i>	—	—	2.43	—	2.43	0.57
Corales indet.	—	—	7.37	7.92	15.29	3.59
Pelecípodos	—	—	0.55	1.39	1.94	0.45
Gasterópodos	—	—	5.05	0.56	5.61	1.32
Crustáceos	—	—	—	0.04	0.04	0.01
Sumas	29.59	117.96	232.19	45.97	425.71	100.00
% de la muestra total	4.33	17.25	33.96	6.72	62.26	

Muchos fragmentos de *Acropora* presentan textura "esponjosa" en su interior por perforación de *Cliona* sp.; microscópicamente hay ligeros indicios de recristalización; algunas cavidades con escaso relleno de una pasta oscura de grano muy fino. Es frecuente la incrustación por *Homotrema* sp., Abundantes tubos de algas perforantes. Estas características corresponden a los fragmentos muertos de *Acropora* que se encuentran en los fondos actuales (halmirolisis). La especie de *Manicina* es *M. areolata*.

TABLA 27

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 1/8 DE mm, EN %.

NUCLEO 8-1.

Fracciones en mm.	32	16	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125	Global
Corales	100	100	98	95	84	89	79	79	60	94.4
Moluscos	—	—	2	4	14	10	12	14	13	3.8
Foraminíferos	—	—	—	—	—	—	2	3	20	0.5
Halimeda	—	—	—	—	1	—	4	—	—	0.2
Equinodermos	—	—	—	—	—	1	—	—	—	tr
Ostrácodos	—	—	—	—	—	—	3	2	9	0.5
Malacostráceos	—	—	—	1	—	—	—	—	—	tr
Espojas	—	—	—	—	—	—	—	2	6	0.3
Briozoarios	—	—	—	—	—	—	—	—	2	0.1
Indeterminado	—	—	—	—	1	—	—	—	—	tr

La porción no recuperada (49%) se atribuye a compacción por percusión y taponamiento del extremo de la barrena.

Se conserva la fracción mayor de 4 mm, excepto pequeños fragmentos de coral utilizados para la obtención de láminas delgadas. El resto se usa para análisis.

Estos sedimentos son los típicos de los situados al pie de un arrecife marginal protegido o de un arrecife interior, similares a los del núcleo anterior, pero aquí la fauna conservada es más rica en especies. Ausencia virtual de *Halimeda*. No hay indicios de litificación.

15.24-15.72 m. (Núcleo 9). Broca de acero, perforación manual, avance por percusión, sin circulación de agua. Recuperación, 52%.

9-1. (Núcleo no dividido). Cabeza de *Montastrea annularis* representada por cuatro bloques de una longitud agregada de 17 cm., (35.4% de la corrida total) pero que muestran señales de desgaste por rotación en sus extremos.

Grava limoso-arenosa constituida por fragmentos de coral y limo arenoso suelto, que contiene fragmentos frescos derivados de la cabeza de *M. annularis*. Muestra total, excepto bloques, 185.96 gr.

No se hace análisis granulométrico por el escaso volumen de la muestra y por estar contaminada con fragmentos de la cabeza como artefacto de perforación. En el cuadro correspondiente no se incluyen los bloques de *Montastrea*.

TABLA 28

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm. EN GRAMOS

NUCLEO 9-1.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>M. annularis</i>	56.30	13.74	9.07	79.11	82.35
<i>A. cervicornis</i>	4.35	5.00	2.82	12.17	12.67
Pelecípodos	—	—	1.61	1.61	1.67
Gasterópodos	—	1.39	—	1.39	1.48
Equinodermos	—	—	1.79	1.79	1.80
Sumas	60.65	20.13	15.29	96.07	100.00
% de la muestra total	32.53	10.80	8.20	51.53	

La porción no recuperada (48%) se atribuye a compacción por percusión y posible obturación de la barrena.

Se conserva íntegra toda la muestra, excepto una pequeña porción de fango que se utiliza para el examen de foraminíferos.

Sedimentos típicos de la asociación de corales macizos y gorgonias, propia del fondo lagunar y de la explanada de sotavento. No hay indicios de litificación.

15.72-17.04 m (Núcleo 10).—Broca de acero, rotación manual, avance por percusión. Sin circulación de agua. Recuperación, 96%.

10-1. Dos bloques que corresponden a una cabeza de *Montastrea annularis*; en conjunto miden 7.5 cm de longitud (5.6% de la corrida total), con señales de intenso desgaste por rotación; no parecen estar en posición de crecimiento.

Limo gravoso suelto con escasos fragmentos de coral. Muestra total, sin bloques, 729.06 gr.

Granulometría (fig. 27): Grava, 8.5%; arena, 38.4%; limo, 51.9%; arcilla, 1.2%; Md = 4.13  $\phi$ ; Mz = -3.62  $\phi$ ;  $\sigma_1$  = 2.56  $\phi$ ; Sk<sub>G</sub> = -0.53 K'<sub>G</sub> = 0.53 Modo único en 5  $\phi$ .

Los bloques de *Montastrea* no se incluyen en la granulometría ni en el cuadro de constitución correspondiente.

TABLA 29

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.

NUCLEO 10-1.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>M. annularis</i>	21.72	4.44	2.20	28.36	80.50
<i>A. cervicornis</i>	—	1.36	2.50	3.86	10.96
Corales indet.	—	—	0.70	0.70	1.99
Pelecípodos	—	—	0.98	0.98	2.78
Coralina ramosa	—	—	0.56	0.56	1.59
Indeterminado	—	—	0.77	0.77	2.18
Sumas	21.72	5.80	7.71	35.23	100.00
% de la muestra total	2.98	0.79	1.06	4.83	

TABLA 30

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 1/8 de mm EN %

NUCLEO 10-1

Fracciones en mm.	16	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125	Global
Corales	100	100	72	73	77	59	50	55	62.3
Moluscos	—	—	12	23	22	37	34	17	23.2
Foraminíferos	—	—	—	—	—	4	5	13	6.0
Halimeda	—	—	—	—	1	—	—	—	tr
Coralinas	—	—	7	—	—	—	—	—	0.2
Ostrácodos	—	—	—	—	—	9	—	8	4.1
Eponjas	—	—	—	—	—	2	—	6	2.3
Serpúlidos	—	—	—	1	—	—	—	—	1.0
Indeterminado	—	—	9	3	—	—	—	1	0.6

10.2. Cuatro bloques de *M. annularis* que presumiblemente corresponden a dos cabezas; parecen estar en posición de crecimiento. En conjunto miden 13 cm de longitud, 10% de la corrida total.

Limo gravoso compuesto por escasos fragmentos de coral y limo arenoso suelto. En el cuadro correspondiente no se incluyen los bloques de *Montastrea*. Muestra total, sin bloques, 673.76 gr.

TABLA 31

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.

NUCLEO 10 - 2.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>M. annularis</i>	54.90	43.14	9.58	107.62	78.36
<i>A. cervicornis</i>	—	25.44	3.45	28.89	21.04
Pelecípodos	—	0.59	0.24	0.83	0.60
Sumas	54.90	69.17	13.27	137.34	100.00
% de la muestra total	8.15	10.26	1.97	20.38	

10-3. Siete bloques y fragmentos de bloque de *Montastrea annularis* que corresponden cuando menos a dos cabezas, con signos intensos de desgaste por rotación, y que en conjunto representan una longitud de 15 cm (11.2% de la corrida total).

Grava limoso-arenosa compuesta por escasos fragmentos de coral y limo arenoso suelto. En el cuadro siguiente no se incluyen los bloques de *Montastrea*. Muestra total, sin bloques, 585.81 gr.

TABLA 32

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.

NUCLEO 10 - 3.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>M. annularis</i>	88.71	65.22	22.07	176.00	94.49
<i>A. cervicornis</i>	—	6.61	2.42	9.03	4.85
Gasterópodos	—	0.53	—	0.53	0.28
Pelecípodos	—	—	0.70	0.70	0.38
Sumas	88.71	72.36	25.19	186.26	100.00
% de la muestra total	15.14	12.35	4.30	31.79	

TABLA 33

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN %  
NUCLEO 10.

	10-1	10-2	10-3
<i>M. annularis</i>	80.50	78.36	94.49
<i>A. cervicornis</i>	10.96	21.04	4.85
Corales indet.	1.99	—	—
Total de corales	93.45	99.40	99.34
Varios	6.55	0.60	0.62

Las cabezas de *Montastrea* representan cuando menos el 26.8% del intervalo total.

10-1. Representa un intervalo casi sin grava; 10-2 es claramente un fango gravoso y 10-3 está en el límite entre grava fangoso-arenosa y fango gravoso, es decir la proporción de fragmentos de coral aumenta progresivamente de la cima a la base. En todos los casos predomina *M. annularis* con cantidades subordinadas de *A. cervicornis*. Microscópicamente los fragmentos de *Acropora* y algunas cabezas de *Montastrea* no presentan evidencias de recristalización, sus cavidades están vacías y carecen de revestimiento drusiforme. Algunas cabezas de *Montastrea* muestran un relleno parcial de cavidades por una pasta calcárea de grano muy fino y color oscuro; hay indicios de recristalización en las trabéculas, evidentemente estas cabezas permanecieron en el fondo del mar después de muertas, antes de ser englobadas por los sedimentos.

La porción no recuperada (4%) debe atribuirse a compacción por percusión.

Se conserva la fracción mayor de 4 mm de 10-1; las 10-2 y 10-3 completas, excepto pequeños fragmentos de corales utilizados para láminas delgadas, así como pequeñas porciones de la fracción menor de 4 mm para estudio de foraminíferos.

Sedimentos típicos de la asociación de corales macizos y gorgonias propias de la explanada de sotavento y fondos lagunares; el aumento de la proporción de moluscos (cuadro 30) y del limo parece indicar profundidad del depósito mayor que en los núcleos anteriores. Sin indicios de litificación.

17.04-18.39 m (Núcleo 11).—Broca de acero, rotación manual, avance por percusión. Sin circulación, de agua. Recuperación: 71%.

11-1. Limo arenoso ligeramente gravoso, suelto. Muestra total, 570.26 gr.

Granulometría (fig. 27): Grava, 1.8%; arena, 42.9%; limo, 55.2%; Md = 4.16  $\phi$ ;  $M_z$  = 3.86  $\phi$ ;  $\sigma_I$  = 1.63  $\phi$ ;  $Sk_I$  = -0.26;  $K'_a$  = 0.49. Modo único en 5  $\phi$ .

TABLA 34

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.  
NUCLEO 11 - 1.

Fracciones en mm.	8	4	Total	%
<i>A. cervicornis</i>	2.02	1.92	3.94	80.08
Corales indet.	—	0.85	0.85	17.28
Gasterópodos	—	0.13	0.13	2.64
Sumas	2.02	2.90	4.92	100.00
% de la muestra total	0.35	0.51	0.86	

TABLA 35

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 1/8 EN %.  
NUCLEO 11 - 1.

Fracciones en mm.	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125	Global
Corales	100	96	68	57	76	65	51	62.2
Moluscos	—	4	23	32	18	14	12	14.1
Foraminíferos	—	—	—	7	3	7	13	8.6
Halimeda	—	—	5	3	2	6	4	4.0
Equinodermos	—	—	—	1	—	—	—	tr.
Ostrácodos	—	—	1	1	—	4	4	2.8
Espojas	—	—	—	—	—	—	7	3.2
Serpúlidos	—	—	1	—	—	—	—	tr.
Indeterminado	—	—	2	—	—	4	9	5.1

11-2. Grava arenoso-limosa compuesta por fragmentos de coral y arena limosa suelta. Muestra total, 582.38 gr.

Granulometría (fig. 27): Grava, 33.8%; arena, 35.8%; limo, 28.5%; arcilla, 1.9%; Md = 1.38  $\phi$ ;  $M_z$  = 1.16  $\phi$ ;  $\sigma_I$  = 4.12  $\phi$ ;  $Sk_I$  = -0.01;  $K'_a$  = 0.36. Tres modos, en -4, 1 y 6  $\phi$ .

TABLA 36

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS  
 NUCLEO 11 - 2.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>A. cervicornis</i> .	55.88	66.43	11.35	133.66	82.39
<i>M. annularis</i>	18.47	1.51	1.00	20.98	12.93
<i>Diploria</i> sp.	—	2.21	1.42	3.63	2.24
Corales indet.	—	—	3.56	3.56	2.19
Pelecípodos	—	—	0.40	0.40	0.25
Sumas	74.35	70.15	17.73	162.23	100.00
% de la muestra total	12.77	12.05	3.04	27.86	

TABLA 37

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 1/8, mm EN %.  
 NUCLEO 11 - 2.

Fracciones en mm.	16	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125	Global
Corales	100	100	98	77	82	75	83	57	84.4
Moluscos	—	—	2	18	15	21	5	29	10.7
Foraminíferos	—	—	—	—	3	4	4	9	2.5
Halimeda	—	—	—	1	—	—	5	—	0.7
Coralinas	—	—	—	4	—	—	—	—	0.3
Ostrácodos	—	—	—	—	—	—	2	3	0.6
Eponjas	—	—	—	—	—	—	1	2	0.4

11-3. Grava arenoso-limosa constituida por fragmentos de coral y arena limosa suelta. Muestra total, 569.90 gr.

TABLA 38

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.  
 NUCLEO 11 - 3.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>A. cervicornis</i>	33.69	101.22	25.80	160.71	77.18
<i>M. annularis</i>	18.33	—	—	18.33	8.80
<i>Porites</i> sp.	—	12.20	—	12.20	5.86
<i>Diploria</i> sp.	—	1.75	1.52	3.37	1.57
Corales indet.	—	2.66	2.31	4.97	2.39
Gasterópodos	—	3.71	0.67	4.38	2.10
Pelecípodos	—	1.36	3.02	4.38	2.10
Sumas	52.02	122.90	33.32	208.24	100.00
% de la muestra total	9.13	21.57	5.83	36.53	

11-4. Grava arenoso-limosa compuesta por fragmentos de coral y arena limosa suelta. Muestra total, 460.28 gr.

TABLA 39

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.  
 NUCLEO 11 - 4.

Fracciones en mm.	32	16	8	4	Total	%
<i>A. cervicornis</i>	20.92	67.11	62.25	13.72	164.00	87.03
<i>M. annularis</i>	—	17.03	—	1.20	18.23	9.67
<i>Agaricia</i> sp.	—	—	—	2.38	2.38	1.26
<i>Diploria</i> sp.	—	—	—	0.11	0.11	0.06
Corales indet.	—	—	—	1.26	1.26	0.67
Pelecípodos	—	—	1.28	0.25	1.53	0.81
Gasterópodos	—	—	0.89	—	0.89	0.47
Crustáceos	—	—	—	0.03	0.03	0.02
Sumas	20.92	84.14	64.42	18.95	188.43	99.99
% de la muestra total	4.54	18.28	14.00	4.12	40.94	

11-5. Grava arenoso-limosa constituida por fragmentos de coral y arena limosa suelta. Muestra total, 438.74 gr.

TABLA 40

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.  
NUCLEO 11 - 5.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>A. cervicornis</i>	125.69	86.25	13.82	225.76	94.90
<i>Agaricia</i> sp.	7.01	1.33	1.57	9.91	4.17
Gasterópodos	—	—	0.25	0.25	0.10
Pelecípodos	—	—	1.75	1.75	0.74
Coralinas	—	—	0.22	0.22	0.09
Sumas	132.70	87.58	17.61	237.89	100.00
% de la muestra total	30.25	19.96	4.01	54.22	

M-7. Materiales obtenidos al reperforar con broca de diamante y circulación de agua el intervalo 17.04-18.39 m, después de cementar; orificio desviado. Un bloque de *Montastrea annularis* de 7 cm de longitud y otro de *Porites astreoides* de 9 cm. Ambos representan cabezas probablemente en posición de crecimiento, pero no se computan, pues corresponden al orificio desviado, no al original.

M-8. Materiales desprendidos al rimar el intervalo 17.04-18.39, recuperados sobre la cima del núcleo 12, lavados por el agua de circulación. Fragmentos de *A. cervicornis* y otros corales hasta de 4 cm de longitud con arena gruesa; parte de los finos han sido lavados. No incluidos en el cómputo de recuperación.

TABLA 41

COMPOSICION DE LA FRACCION MAYOR DE 4 mm, EN %.  
NUCLEO 11.

	11-1	11-2	11-3	11-4	11-5
<i>A. cervicornis</i>	80.08	82.39	77.18	87.03	94.90
<i>M. annularis</i>	—	12.93	8.80	9.67	—
<i>Porites</i> sp.	—	—	5.86	—	—
<i>Agaricia</i> sp.	—	—	—	1.26	4.17
<i>Diploria</i> sp.	—	2.24	1.57	0.06	—
Corales indet.	17.28	2.19	2.39	0.67	—
Total corales	97.36	99.75	95.80	98.69	99.07
Varios	2.64	0.25	4.20	1.30	0.93

La porción 11-1 representa un episodio arenoso-fangoso; las demás porciones son francamente gravas. La constitución faunística es muy homogénea; domina en absoluto *A. cervicornis*, con *M. annularis* como elemento muy subordinado. El porcentaje de corales en la fracción mayor de 4 mm es superior al 95.7%.

El bloque de *Porites astreoides* (M-7) presenta una porción con evidentes signos de redisolución; al microscopio, esta porción muestra alterada la estructura de las trabéculas por cristales aciculares de carbonato; así mismo, las cavidades poseen un revestimiento drusiforme de cristales aciculares.

La porción no recuperada (29%) debe atribuirse a compacción por percusión y posible taponamiento del extremo de la barrena.

Se conserva la fracción mayor de 4 mm de 11-1 y 11-2. Las porciones 11-3 y 11-5 se conservan íntegras excepto pequeñas porciones destinadas al estudio de foraminíferos. Las M-7 y M-8 se conservan íntegras excepto un pequeño fragmento de la primera utilizado para hacer láminas delgadas.

Fondo de grava de *A. cervicornis* al pie de un arrecife protegido. Sin indicios de litificación.

18.39 — 19.91 m (Núcleo 12).—Al llegar a la profundidad de 18.39 m se hacen dos intentos de cementación sin resultados positivos. Se vuelve a perforar con broca de diamante hasta esta profundidad; orificio ligeramente desviado.

Broca de acero, rotación manual, avance por percusión, sin circulación de agua. Recuperación, 55%.

12-1. Grava limosa constituida por abundantes fragmentos de coral y limo arenoso suelto. Muestra total, 316.58. gr.

TABLA 42

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.  
NUCLEO 12 - 1.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>A. cervicornis</i>	39.23	53.01	11.03	103.27	63.79
<i>M. annularis</i>	21.75	26.21	9.51	57.47	35.50
<i>Porites</i> sp.	—	—	0.94	0.94	0.58
Pelecípodos	—	—	0.22	0.22	0.13
Sumas	60.98	79.22	21.70	161.90	100.00
% de la muestra total	19.26	25.02	6.86	51.14	

12-2. Grava limosa constituida por abundantes fragmentos de coral y limo arenoso suelto. Muestra total, 411.78 gr.

TABLA 43

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.

NUCLEO 12 - 2.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>A. cervicornis</i>	39.14	134.00	13.30	186.44	92.37
<i>Diploria</i> sp.	5.10	1.62	0.97	7.69	3.81
<i>M. annularis</i>	—	1.98	—	1.98	0.98
<i>Porites</i> sp.	—	0.40	2.09	2.49	1.23
<i>Agaricia</i> sp.	—	—	1.29	1.29	0.64
Pelecípodos	—	1.63	0.32	1.95	0.97
Sumas	44.24	139.63	17.97	201.84	100.00
% de la muestra total	10.74	33.91	4.36	49.01	

12-3. Grava limosa constituida por abundantes fragmentos de coral y limo arenoso suelto. Muestra total, 422.42 gr.

TABLA 44

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.

NUCLEO 12 - 3.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>A. cervicornis</i>	62.01	19.40	10.54	91.95	52.27
<i>Diploria</i> sp.	36.05	12.30	15.55	63.90	36.32
<i>M. annularis</i>	—	—	2.57	2.57	1.46
<i>Agaricia</i> sp.	10.36	5.04	1.98	17.38	9.88
<i>Halimeda</i> sp.	—	—	0.12	0.12	0.07
Sumas	108.42	36.74	30.76	175.92	100.00
% de la muestra total	25.67	8.70	7.28	41.65	

M-9. Materiales obtenidos al rimar el intervalo 18.39-19.91 m, recuperados sobre la cima del núcleo 13, lavados por el agua de circulación. Cuatro fragmentos grandes de *A. cervicornis* y mucha grava constituida casi exclusivamente, por *Diploria* sp. Escasa arena gruesa. Escasos fragmentos de cemento. No incluida al computar la recuperación.

TABLA 45

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN %.

NUCLEO 12

	12-1	12-2	12-3
<i>A. cervicornis</i>	63.79	92.37	52.27
<i>Diploria</i> sp.	—	3.81	36.32
<i>M. annularis</i>	35.50	0.98	1.46
<i>Porites</i> sp.	0.58	1.23	—
<i>Agaricia</i> sp.	—	0.64	9.88
Total corales	99.87	99.03	99.93
Varios	0.13	0.97	0.07

La fracción mayor de 4 mm es similar en las tres porciones; en todas ellas domina *A. cervicornis*; pero en 12-1 está *M. annularis*, como subdominante, como en el núcleo 11, mientras que en 12-2 y 12-3 juega este papel *Diploria* sp.

Fragmentos de *A. cervicornis* y *Agaricia* en láminas delgadas no muestran indicios de recristalización, relleno ni revestimiento drusiforme. Un fragmento de *Montastrea* presenta ligeros indicios de recristalización y revestimiento acicular en algunas cavidades.

La porción no recuperada (45%) puede atribuirse a compacción por percusión y obturamiento del extremo de la barrena por fragmentos de coral.

Se conservan las tres porciones completas excepto dos pequeñas cantidades de 12-1 y 12-2 destinadas al estudio de foraminíferos y constitución así como pequeños fragmentos de corales empleados en hacer láminas delgadas.

Fondos con grava de *A. cervicornis* al pie de un arrecife protegido. Sin indicios de litificación.

19.91-21.34 m (Núcleo 13).—Broca de acero, rotación manual, avance por percusión, sin circulación de agua. Recuperación 34%.

13-1. Grava limoso-arenosa constituida por abundantes fragmentos de coral y fango arenoso suelto. Muestra total, 470.11 gr.

TABLA 46

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.  
NUCLEO 13 - 1.

Fracciones en mm.	32	16	8	4	Total	%
<i>M. annularis</i>	70.27	43.12	18.58	13.98	145.35	73.06
<i>A. cervicornis</i>	—	11.93	26.47	4.67	43.07	21.65
<i>Diploria</i> sp.	—	—	4.20	6.00	10.20	5.13
Gasterópodos	—	—	—	0.16	0.16	0.08
Pelecípodos	—	—	—	0.12	0.12	0.06
<i>Halimeda</i> sp.	—	—	—	0.04	0.04	0.02
Sumas	70.27	55.05	49.25	24.37	198.94	100.00
% de la muestra total	14.95	11.71	10.48	5.18	42.32	

13-2. Grava limoso-arenosa constituida por abundantes fragmentos de coral y fango arenoso suelto. Muestra total, 361.96 gr.

TABLA 47

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.  
NUCLEO 13 - 2.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>A. cervicornis</i>	61.73	107.69	9.07	178.49	97.98
<i>M. annularis</i>	—	2.36	0.39	2.75	1.51
<i>Diploria</i> sp.	—	—	0.08	0.08	0.04
Pelecípodos	—	—	0.68	0.68	0.37
<i>Halimeda</i> sp.	—	—	0.17	0.17	0.09
Sumas	61.73	110.05	10.39	182.17	99.99
% de la muestra total	17.05	30.40	2.87	50.22	

M-10. Materiales obtenidos al rimar el intervalo 19.91-21.34 m, recuperados sobre el núcleo 14, lavados por el agua de circulación. Escasa grava de *Acropora cervicornis* con arena gruesa. Muy escasos fragmentos de cemento. No incluida al computar la recuperación.

TABLA 48

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN %.  
NUCLEO 13.

	13-1	13-2
<i>A. cervicornis</i>	21.65	97.98
<i>M. annularis</i>	73.06	1.51
<i>Diploria</i> sp.	5.13	0.04
Total corales	99.84	99.53
Varios	0.16	0.46

La porción no recuperada (66%) se atribuye a obturación del extremo de la barrena por fragmentos de coral.

Se conservan completas las porciones 13-1 y 13-2 excepto pequeñas cantidades destinadas a análisis de constitución y foraminíferos. M-10 se conserva íntegra.

Sedimentos típicos del fondo de grava de *A. cervicornis* al pie de un arrecife protegido. Sin indicios de litificación.

21.34-22.65 m (Núcleo 14).—Broca de acero, rotación manual, avance por percusión, sin circulación de agua. Recuperación, 29%.

14-1. (Núcleo no dividido). Grava limoso-arenosa constituida por fragmentos de coral y limo arenoso suelto. Muestra total, 846.96 gr.

Granulometría (fig. 27): Grava, 45.8%; arena, 27.0%; limo, 27.2%; Md = 0.15  $\phi$ ;  $M_z = 0.7 \phi$ ;  $\sigma_1 = 4.21 \phi$ ;  $Sk_1 = 0.20$ ;  $K'_G = 0.37$ . Tres modos, en -4, 1 y 8  $\phi$ .

TABLA 49

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4mm, EN GRAMOS.

NUCLEO 14 - 1.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>A. cervicornis</i>	126.81	126.19	27.51	280.51	85.70
<i>M. annularis</i>	11.28	3.18	2.97	17.43	5.33
<i>Porites</i> sp.	—	2.15	2.43	4.58	1.40
<i>Agaricia</i> sp.	—	0.43	—	0.43	0.13
<i>Diploria</i> sp.	—	0.92	—	0.92	0.28
Corales indet.	8.53	5.84	6.87	21.24	6.49
Gasterópodos	—	—	0.66	0.66	0.20
Pelecípodos	—	1.18	0.20	1.38	0.42
<i>Halimeda</i> sp.	—	—	0.15	0.15	0.05
Sumas	146.62	139.89	40.79	327.30	100.00
% de la muestra total	17.31	16.52	4.81	38.64	

TABLA 50

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 1/8, mm EN %.

NUCLEO 14 - 1.

Fracciones en mm.	16	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125	Global
Corales	100	99	97	40	33	53	47	46	73.3
Moluscos	—	1	2	10	10	16	10	28	8.1
Foraminíferos	—	—	—	—	—	1	—	4	0.6
Halimeda	—	—	1	48	57	30	42	19	18.0
Coralinas	—	—	—	2	—	—	—	—	0.2
Ostrácodos	—	—	—	—	—	—	—	1	tr
Esponjas	—	—	—	—	—	—	—	2	0.2
Indeterminado	—	—	—	—	—	—	1	—	tr

Por su composición faunística esta muestra es similar al núcleo 11. Se conserva íntegra la fracción mayor de 4 mm.

La porción no recuperada se atribuye a obturamiento por percusión.

Fondo con grava de *A. cervicornis* al pie de un arrecife protegido. Sin indicios de litificación.

22.65-24.48 m (Núcleo 15).—Broca de diamante, rotación mecánica y circulación de agua. Recuperación. 72%.

15-1 a 15-17. Núcleo continuo de una cabeza de *Montastrea annularis*, actualmente dividido en 17 porciones, de 1.32 m de longitud agregada (72% de la corrida total). Macroscópica y microscópicamente no hay signos de alteración; cavidades sin relleno, trabéculas no recristalizadas y cavidades sin revestimiento drusiforme. En la porción 15-2 hay cavidades de *Lithophaga* sp. Pequeñas porciones con los cálices redisueltos en 15-7 y 15-14.

El 28% no recuperado se atribuye a que la porción fangosa fue eliminada por el agua de circulación.

Se conservan íntegras todas las porciones excepto un pequeño fragmento destinado a la confección de láminas delgadas.

Se interpreta esta cabeza como parte de un fondo coralino con la asociación de corales macizos y gorgonias, en la explanada de barlovento.

24.48-24.69 m (Núcleo 16).—Broca de diamante, rotación mecánica, con circulación de agua. Recuperación: 50%.

16-1. Bloques de *Montastrea annularis* de 7 cm de longitud (43% de la corrida total) que pudiera formar parte de la cabeza del núcleo anterior, sin signos macroscópicos ni microscópicos de alteración.

16-2. Pequeños fragmentos de *A. cervicornis* (3), *M. cavernosa* (1), *M. annularis* (3), *Porites* sp. (1) y gasterópodos (1). No presentan signos macroscópicos ni microscópicos de alteración.

El 50% no recuperado se considera formado por una arena fangosa que se eliminó por el agua de circulación.

Se conservan todas las porciones excepto pequeños fragmentos destinados a confeccionar láminas delgadas.

La misma interpretación ecológica que en el caso del núcleo 15.

24.69-25.50 m (Núcleo 17).—Broca de acero, rotación a mano, avance por percusión, sin circulación de agua. Recuperación: 78%.

17-1. Arena gravoso-limosa compuesta por fragmentos de coral y arena fangosa suelta. Muestra total, 444.02 gr.

Granulometría (fig. 27): Grava, 25.8%; arena, 54.2%; limo, 19.0%; arcilla, 1.0%;  $M_d = 1.99 \phi$ ;  $M_z = 1.46 \phi$ ;  $\sigma_1 = 3.07 \phi$ ;  $Sk_1 = -0.17$ ;  $K'_G = 0.47$ . Modos principales en  $-3$  y  $3 \phi$ .

TABLA 51

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4mm, EN GRAMOS.  
 NUCLEO 17-1.

Fracciones en mm.	8	4	Total	%
<i>Diploria</i> sp.	32.11	13.42	45.53	61.03
<i>M. annularis</i>	16.08	4.30	20.38	27.32
<i>Porites</i> sp.	1.30	0.49	1.79	2.40
Corales indet.	—	4.28	4.28	5.74
Gasterópodos	—	1.33	1.33	1.78
Pelecípodos	—	1.29	1.29	1.73
Sumas	49.49	25.11	74.60	100.00
% de la muestra total	11.15	5.65	16.80	

TABLA 52

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 1/8, mm EN %.  
 NUCLEO 17-1.

Fracciones en mm	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125	Global
Corales	100	90	84	80	83	80	57	81.2
Moluscos	—	10	10	11	1	8	22	7.9
Foraminíferos	—	—	—	1	8	—	6	3.1
Halimeda	—	—	2	8	5	11	12	5.8
Coralinas	—	—	4	—	—	—	—	0.5
Ostrácodos	—	—	—	—	3	—	1	0.9
Indeterminado	—	—	—	—	—	1	2	0.5

17-2. Grava arenoso-limosa compuesta por fragmentos de coral y arena limosa suelta. Muestra total, 433.12 gr.

TABLA 53

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4mm, EN GRAMOS.  
 NUCLEO 17-2.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>Diploria</i> sp.	38.38	68.17	17.16	123.11	93.67
Gasterópodos	—	1.96	1.78	3.74	2.83
Pelecípodos	—	—	1.91	1.91	1.45
Coralinas incrust.	—	—	2.71	2.71	2.05
Sumas	38.38	70.13	23.56	132.07	100.00
% de la muestra total	8.86	16.19	5.44	30.48	

TABLA 54

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN %  
 NUCLEO 17.

	17-1	17-2
<i>Diploria</i> sp.	61.03	93.67
<i>M. annularis</i>	27.32	—
<i>Porites</i> sp.	2.40	—
Corales indet.	5.74	—
Total de corales	96.49	93.67
Varios	3.51	6.33

La porción no recuperada (22%) se atribuye a compacción por percusión. Se conserva la fracción mayor de 4 mm de 17-1 y la porción 17-2 íntegra.

Fondo coralino, con la asociación de corales macizos y gorgonias en la explanada de sotavento. Sin litificación.

25.50-27.76 m (Núcleo 18).—Broca de diamante, rotación mecánica, con circulación de agua. Recuperación: 17%.

18-1-18.8. Bloques y fragmentos de bloque de *Montastrea annularis* con una longitud total aproximada de 38 cm (17% de de la corrida total). Macroscópicamente se observan algunas porciones con cálices redisueltos (18-3, 18-5 y 18-7); por lo demás ni macroscópica ni microscópicamente se observan signos de alteración; trabéculas no recrystalizadas; cavidades sin relleno ni revestimiento drusiforme (Lám. 15, fig. 4).

M-11. Materiales correspondientes aproximadamente al intervalo 25.50-27.76 m, desprendidos durante la operación de rescate de la barrena que se indica más adelante. Se recuperaron al limpiar el tubo de rima, y fueron lavados por el agua de circulación. Arena fangosa con muy escasos fragmentos pequeños de coral y moluscos.

El 83% no recuperado corresponde al fango arenoso arrastrado por la circulación de agua.

Se conserva íntegra la muestra excepto un pequeño fragmento destinado a la confección de láminas delgadas. También se conserva sin estudiar M-11. Interpretación, como en núcleos anteriores.

27.76-28.78 m (Núcleo 19).—Barrena de acero, rotación a mano, avance por percusión, sin circulación. Recuperación: 0%.

Al sacar la muestra se acuñó la tubería en el agujero, rompiéndose. Quedaron en el fondo la broca con unos 2.5 m de tubería. En las operaciones de rescate se perdió la muestra.

28.78-30.50 m (Núcleo 20).—Broca de diamante, rotación mecánica, circulación de agua. Recuperación: 0%.

A juzgar por la marcha de la perforación, en todo el intervalo no se presentaron materiales duros tales como cabezas de coral u horizontes litificados; toda la muestra fue arrastrada por el agua de circulación. Por el aspecto del líquido que salía por el orificio de lodos se cree que el sedimento corresponde a arena fangosa suelta.

30.50-33.55 m (Núcleo 21).—Broca de diamante, rotación mecánica, circulación de agua. Recuperación: 0%.

A juzgar por la marcha de la perforación, en todo el intervalo no se presentaron elementos duros tales como cabezas de coral u horizontes litificados. Toda la muestra fue arrastrada por el agua de circulación. Por el aspecto del líquido que salía del orificio de lodos, se cree que el sedimento corresponde a arena fangosa suelta.

33.55-34.29 m (Núcleo 22).—Broca de diamante, rotación mecánica, circulación de agua. Recuperación: 44%.

22-1 Caliza biógena, bien litificada, de color blanco ligeramente cremoso; abundante porosidad en picada de alfiler; aspecto ligeramente cretoso.

La fracción calcirrudítica, (>2 mm) constituye cerca del 30% y está formada principalmente por bioclastos de *Acropora cervicornis* y *Montastrea annularis* hasta de 3 cm de longitud; no presentan señales de alteración, pero en algunos, los huecos están rellenos por la matriz. La fracción calcarenítica gruesa y muy gruesa (2.0-0.5 mm) no llega al 10%; está constituida por fragmentos de corales, equinodermos, algas coralinas, moluscos, espículas de esponja y *Halimeda*. La fracción calcarenítica media a muy fina (0.5-0.062 mm) es menor del 5% y parece estar constituida por bioclastos calcáreos.

Pasta microcristalina constituida aproximadamente por partes iguales de las fracciones calcilitítica (62.4 micras) y criptocristalina (<4 micras) pero ambos componentes se presentan en proporciones muy irregulares en las distintas muestras; abundan en esta fracción las espículas de ascidia.

No hay indicios de redisolución ni recristalización. Falta por completo la calcita espática. La porosidad es de tipo intergranular.

22-2. Dos bloques de *Montastrea annularis* de una longitud agregada de 15 cm (23% de la corrida total); representan una cabeza en posición de crecimiento; macroscópicamente se aprecia redisolución en algunas zonas de aspecto cretoso. Microscópicamente, sin recristalización apreciable; cavidades vacías, sin revestimiento drusiforme.

La fracción no recuperada se supone compuesta por limo arenoso suelto arrastrado por el agua de circulación.

Desde el punto de vista paleoecológico estos sedimentos representan probablemente depósitos de un arrecife marginal protegido.

Se conservan las dos porciones 22-1 y 22-2 excepto fragmentos utilizados para hacer láminas delgadas.

La porción 22-1, representa la primera caliza litificada que se encontró en esta perforación; si forma capa continua, sería de un espesor próximo a los 10 cm., pero cabe la posibilidad de que se trate de un nódulo de diámetro superior al de la barrena. La porción 22-2 corresponde a sedimentos no litificados.

34.29-35.82 m (Núcleo 23).—Broca de acero, rotación a mano, avance por percusión, sin circulación de agua. Recuperación: 100%.

23-1. Limo arenoso-gravoso suelto formado por fragmentos de coral y limo arenoso suelto, con abundantes nódulos calcáreos. Muestra total 792.74 gr.

TABLA 55  
COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4mm, EN GRAMOS.  
NUCLEO 23 - 1.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>A. cervicornis</i>	31.31	63.88	6.83	102.02	77.69
<i>M. annularis</i>	—	16.02	3.65	19.67	14.98
<i>Porites</i> sp.	—	2.42	—	2.42	1.84
<i>Agaricia</i> sp.	—	0.52	0.70	1.22	0.93
Corales indet.	—	—	5.28	5.28	4.02
Gasterópodos	—	0.44	—	0.44	0.34
Pelecípodos	—	—	0.26	0.26	0.20
Sumas	31.31	83.28	16.72	131.31	100.00
% de la muestra total	3.95	10.50	2.11	16.56	
Nódulos calcáreos.	65.84	87.80	50.05	203.69	
% de la muestra total.	8.30	11.08	6.31	25.69	

23-2. Limo gravoso arenoso constituido por abundantes fragmentos de coral, limo arenoso suelto y muy escasos nódulos calcáreos. Muestra total ... 846.76 gr.

Granulometría (sin nódulos): Grava, 28.0%; arena, 31.4%; limo, 40.6%;  $M_d = 2.6 \phi$ ;  $M_z = 1.87 \phi$ ;  $\sigma_1 = 3.79 \phi$ ;  $K'_G = -0.26$ ;  $Sk_x = 0.37$ . Modo en  $6\phi$  (fig. 28).

TABLA 56

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.  
NUCLEO 23 - 2.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>M. annularis</i>	60.80	22.08	13.33	96.21	58.66
<i>A. cervicornis</i>	—	22.70	25.01	47.71	29.09
Corales indet.	—	15.00	5.08	20.08	12.24
Sumas	60.80	59.78	43.42	164.00	99.99
% de la muestra total.	7.18	7.06	5.13	19.37	
Nódulos calcáreos.	—	3.23	2.73	5.96	
% de la muestra total.	—	0.38	0.32	0.70	

TABLA 57

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 1/8. mm EN %.  
NUCLEO 23 - 2.

Fracciones en mm.	16	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125	Global
Corales	100	100	100	91	2	—	—	—	50.1
Moluscos	—	—	—	9	96	100	100	100	49.5
Equinodermos	—	—	—	—	2	—	—	—	tr

23-3. Grava limosa constituida por fragmentos de coral, limo suelto y nódulos calcáreos. Muestra total 810.84 gramos.

TABLA 58

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.  
NUCLEO 23 - 3.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>A. cervicornis</i>	51.39	34.20	20.65	106.24	50.44
<i>M. annularis</i>	29.48	18.87	9.80	58.15	27.61
<i>Agaricia</i> sp.	21.94	5.91	5.14	32.99	15.66
<i>Porites</i> sp.	—	5.42	0.20	5.62	2.67
<i>Diploria</i> sp.	—	—	0.31	0.31	0.15
Corales indet.	—	4.15	0.75	4.90	2.33
Gasterópodos	—	—	0.47	0.47	0.22
Pelecípodos	—	—	1.83	1.83	0.87
<i>Halimeda</i> sp.	—	—	0.10	0.10	0.05
Sumas	102.81	68.55	39.25	210.61	100.00
% de la muestra total.	12.68	8.45	4.84	25.97	
Nódulos calcáreos.	16.55	6.66	21.40	44.61	
% de la muestra total.	2.04	0.82	2.64	5.50	

23-4. Grava limosa compuesta por fragmentos de coral, limo suelto y escasos nódulos calcáreos. Muestra total, 334.72 gr.

TABLA 59

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.

NUCLEO 23 - 4.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>A. cervicornis</i>	25.06	66.47	18.36	109.89	87.85
<i>Agaricia</i> sp.	—	6.98	0.38	7.36	5.88
<i>Porites</i> sp.	—	2.08	0.28	2.36	1.89
<i>M. annularis</i>	—	—	0.59	0.59	0.47
Corales indet.	—	—	4.49	4.49	3.58
Pelecípodos	—	—	0.40	0.40	0.32
Sumas	25.06	75.53	24.50	125.09	99.99
% de la muestra total.	7.49	22.56	7.32	37.37	
Nódulos calcáreos	18.92	20.29	3.53	42.74	
% de la muestra total.	5.65	6.06	1.05	12.77	

TABLA 60

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN %

NUCLEO 23.

	23-1	23-2	23-3	23-4
<i>A. cervicornis</i>	77.69	29.09	50.44	87.85
<i>M. annularis</i>	14.98	58.66	27.61	0.47
<i>Agaricia</i> sp.	0.93	—	15.66	5.88
<i>Porites</i> sp.	1.84	—	2.67	1.89
<i>Diploria</i> sp.	—	—	0.15	—
Corales indet.	4.02	12.24	2.33	3.58
Total corales	99.46	99.99	98.86	99.67
Varios	0.54	—	1.14	0.32

La porción de clásticos de tamaño mayor de 4 mm aumenta desde 23-1 a 23-4, y comprende más del 98.8% de corales, de los cuales *A. cervicornis* y *M. annularis* son predominantes. Estos bioclásticos no muestran alteración apreciable si bien en algunos fragmentos hay relleno de cavidades.

En este núcleo, y en muchos de los obtenidos a mayor profundidad, se presentan nódulos de una caliza cretosa, más o menos bien litificada que puede constituir hasta más de la mitad del sedimento total, muy similar a la caliza del núcleo 22.

Es evidente que estos nódulos, representan porciones litificadas idénticas por lo demás al resto del sedimento, como puede apreciarse por su composición y textura. Son relativamente deleznable, de tal manera que aunque su forma original es más o menos irregular, se redondean fácilmente cuando se tamizan para separarlos de los materiales sueltos. No son el resultado de un fraccionamiento artificial por la barrena de capas de caliza intercaladas entre los sedimentos sueltos, y esto puede afirmarse por el hecho de que en muchos de estos nódulos se aprecia fácilmente al corte, dos porciones bien distintas (Lám. 12, fig. 2), una zona cortical, de 1 a 4 mm de espesor, fuertemente litificada y que por transparencia presenta intenso color café y una porción central mucho más deleznable y que en luz transmitida es mucho más transparente, y de color claro. En ocasiones, los nódulos engloban fragmentos más o menos grandes de corales, moluscos, etc. (Lám. 12, fig. 3).

Consideramos estos nódulos como resultado de una litificación parcial del sedimento; posiblemente fueron retrabajados en la misma área de su origen permaneciendo más o menos tiempo en el fondo del mar antes de quedar englobados por el resto de los sedimentos. Es decir, serían un tipo especial de "intraclastos" en el sentido de Folk, pero no son verdaderos clásticos.

Por esta última consideración, no se ha considerado conveniente incluir los nódulos en granulometría, pero sí tenerlos presentes al estimar el grado de litificación.

Petrográficamente, ambas zonas cortical y central, son calizas microcristalinas, con fracciones calcirrudíticas (2 mm) y calcarenítica muy gruesa a gruesa (2-0.5 mm) que en conjunto no sobrepasan generalmente el 10%; están constituidas en su mayor parte por *Halimeda* sp., (Lám. 14, fig. 2) y con mucha menor frecuencia por bioclásticos de equinodermos, (Lám. 14, fig. 1) moluscos, *Amphistegina*, otros foraminíferos y coralináceas.

Matriz microcristalina con cantidades subiguales de las fracciones calcilutítica (62.4 micras) y criptocristalina (<4 micras); en la primera abundan las espículas de ascidias (Lám. 13, fig. 2).

No hay señales de redisolución ni recristalización; falta por completo la calcita espática.

La porción 23-2 se utiliza para análisis excepto la fracción mayor de 4 mm; las restantes porciones se conservan íntegras excepto pequeños fragmentos usados para confeccionar láminas delgadas.

Ecológicamente este núcleo corresponde a la asociación de *A. cervicornis* o a la de corales macizos, gorgonias y *A. cervicornis* del talud arrecifal de sotavento. La proporción de nódulos litificados varía del 0.7 al 25% de la muestra total.

35.84-36.42 m (Núcleo 24).—Broca de acero, rotación a mano, avance por percusión, con circulación de agua. Recuperación: 100%.

24-1. Limo gravoso, constituido por fragmentos de coral, fango suelto y escasos nódulos calcáreos. Muestra total, 652.65 gr.

TABLA 61

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.

NUCLEO 24 - 1.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>A. cervicornis</i>	27.72	35.07	34.13	96.92	76.63
<i>M. annularis</i>	—	8.94	1.77	10.71	8.47
<i>Agaricia</i> sp.	—	3.71	0.78	4.49	3.55
Corales indet.	—	3.20	9.75	12.95	10.24
Gasterópodos	—	—	0.07	0.07	0.06
Pelecípodos	—	—	0.60	0.60	0.47
Equinodermos	—	—	0.55	0.55	0.43
Halimeda sp.	—	—	0.18	0.18	0.14
Sumas	27.72	50.92	47.83	126.47	99.99
% de la muestra total.	4.25	7.80	7.33	19.38	
Nódulos calcáreos	29.94	16.97	9.91	56.85	
% de la muestra total.	4.59	2.60	1.52	8.71	

24-2. Limo gravoso constituido por fragmentos de coral, fango suelto y escasos nódulos calcáreos. Muestra total, 470.90 gr.

TABLA 62

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.

NUCLEO 24 - 2.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>A. cervicornis</i>	—	33.62	20.51	54.13	72.85
<i>M. annularis</i>	—	7.63	2.71	10.34	13.92
Corales indet.	—	7.70	2.13	9.83	13.23
Sumas	—	48.95	25.35	74.30	100.00
% de la muestra total.	—	10.39	5.38	15.77	
Nódulos calcáreos.	9.47	15.40	5.05	29.92	
% de la muestra total.	2.01	3.27	1.07	6.35	

TABLA 63

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN %

NUCLEO 24.

Fracciones en mm.	24-1	24-2
<i>A. cervicornis</i>	76.63	72.85
<i>M. annularis</i>	8.47	13.92
<i>Agaricia</i> sp.	3.55	—
Corales indet.	10.24	13.23
Total corales	98.89	100.00
Varios	1.10	—

La composición de los bioclásticos mayores de 4 mm es muy similar a la del núcleo anterior. La proporción de nódulos litificados es escasa: microscópicamente son muy semejantes a los del núcleo anterior (Lám. 14, fig. 3,

Lám. 16, figs. 3 y 4), tanto por lo que se refiere a proporciones entre distintas fracciones como a su composición biótica, pero en la matriz parece predominar la fracción calcilutítica (62.4 micras) sobre la criptocristalina (<4 micras).

Las dos porciones de este núcleo se conservan íntegras excepto tres fragmentos de nódulos destinados al examen microscópico.

Ecológicamente, con la misma significación que los núcleos anteriores. Porción litificada (nódulos) menor del 9% de la muestra total.

36.42-36.90 m (Núcleo 25).—Broca de acero, rotación manual, avance por percusión, sin circulación. Recuperación: 21%.

25-1. (Núcleo no dividido). Limo gravoso constituido por fragmentos de coral, fango suelto y nódulos calcáreos. Muestra total, 270.44 gr.

TABLA 64

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.  
NUCLEO 25 - 1.

Fracciones en mm.	8	4	Total	%
<i>A. cervicornis</i>	20.53	3.20	23.73	64.66
<i>M. annularis</i>	—	0.99	0.99	2.70
<i>Agaricia</i> sp.	2.77	0.95	3.72	10.13
Corales indet.	2.58	5.68	8.26	22.51
Sumas	25.88	10.82	36.70	100.00
% de la muestra total.	9.57	4.00	13.57	
Nódulos calcáreos.	—	3.83	3.83	
% de la muestra total.	—	1.42	1.42	

Bioclásticos mayores de 4 mm como en los núcleos anteriores. Nódulos calcáreos muy escasos.

El material no recuperado (79%) parece haberse caído de la barrena pues no hubo fragmentos de coral suficientemente grandes para taponar.

La muestra 25-1 se conserva íntegra.

La misma interpretación ecológica que en los núcleos anteriores. Litificación muy escasa (1.5%).

36.90-38.56 m (Núcleo 26).—Broca de diamante, rotación mecánica, con circulación de agua. Recuperación 10%.

26-1. (Núcleo no dividido). Tres bloques más ocho fragmentos de bloque de *Montastrea annularis* que miden en conjunto 15 cm (9% de la corrida total). Ocho fragmentos medianos de *Agaricia agaricites* y dos fragmentos pequeños de *Acropora cervicornis*. Microscópicamente ninguna de las tres especies muestra signos de redisolución ni recristalización; los fragmentos de *Agaricia* y *Acropora* con abundantes algas perforantes.

La porción no recuperada (90%) fue arrastrada por el agua de circulación; se supone muy similar a la del núcleo 25.

La muestra 26-1 se conserva íntegra excepto pequeños fragmentos convertidos en láminas delgadas.

Ecológica y diagenéticamente, la misma significación que los núcleos anteriores; es de notar la cabeza de *Montastrea* posiblemente en posición de crecimiento.

38.56-40.00 m (Núcleo 27).—Broca de acero, rotación mecánica, sin circulación de agua. Recuperación: 59%.

27-1. Grava limoso-arenosa constituida por fragmentos de coral, fango suelto y muy escasos nódulos calcáreos de pequeño tamaño. Muestra total, .. 549.99 gr.

Granulometría (sin nódulos): Grava, 43.6%; arena, 19.5%; limo, 36.9%; Md = 0.82  $\phi$ ; M<sub>z</sub> = 0.98  $\phi$ ;  $\sigma_1$  = 3.91  $\phi$ ; Sk<sub>I</sub> = +0.06; K'<sub>G</sub> = 0.35; Modos en —3 y 6  $\phi$  (fig. 28).

TABLA 65

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.  
NUCLEO 27 - 1.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>A. cervicornis</i>	9.50	44.70	7.20	61.40	37.01
<i>Agaricia</i> sp.	50.54	12.13	3.06	65.73	39.63
<i>Favia</i> sp.	—	9.09	—	8.09	4.88
<i>Porites</i> sp.	—	1.33	—	1.33	0.80
Corales indet.	—	7.52	10.45	17.97	10.83
Gasterópodos	—	—	0.18	0.18	0.11
Coralinas incrust.	—	—	0.53	0.53	0.31
<i>Halimeda</i> sp.	—	—	10.65	10.65	6.42
Sumas	60.04	73.77	32.07	165.88	99.99
% de la muestra total.	10.92	13.41	5.83	30.16	
Nódulos calcáreos.	—	0.72	5.10	5.82	
% de la muestra total.	—	0.13	0.93	1.06	

TABLA 66

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 1/8, mm EN %.  
NUCLEO 27-1.

Fracciones en mm	16	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125	Global
Corales	100	100	64	22	1	7	—	—	54.0
Moluscos	—	—	1	—	20	18	100	100	13.8
Foraminíferos	—	—	—	—	—	2	—	—	0.2
Halimeda	—	—	33	78	72	73	—	—	30.9
Coralinas	—	—	2	—	—	—	—	—	0.2
Indeterminado	—	—	—	—	7	—	—	—	0.3

27.2 Dos bloques de *Montastrea annularis* que miden en conjunto 5 cm, (3.4% de la corrida total), no incluidos en el cuadro correspondiente.

Grava limoso-arenosa constituida por fragmentos de coral, fango suelto y nódulos calcáreos. Muestra total, sin los bloques, 933.03 gr.

TABLA 67

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.  
NUCLEO 27-2.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>M. annularis</i>	76.60	23.79	18.51	118.90	41.95
<i>A. cervicornis</i>	—	40.91	13.69	54.60	19.27
<i>Porites</i> sp.	37.17	29.03	10.70	76.90	27.14
<i>Agaricia</i> sp.	22.20	6.40	3.83	32.43	11.44
Pelecípodos	—	—	0.03	0.03	0.01
<i>Halimeda</i> sp.	—	—	0.53	0.53	0.19
Sumas	135.97	100.13	47.29	283.39	100.00
% de la muestra total.	14.57	10.73	5.07	30.37	
Nódulos calcáreos	29.80	2.48	5.39	37.67	
% de la muestra total.	3.19	0.27	0.58	4.04	

TABLA 68

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN %  
NUCLEO 27.

	27-1	27-2
<i>M. annularis</i>	—	41.95
<i>A. cervicornis</i>	37.01	19.27
<i>Agaricia</i> sp.	39.63	11.44
<i>Porites</i> sp.	0.80	27.14
<i>Favia</i> sp.	4.88	—
Corales indet.	10.83	—
Total corales	93.15	99.80
Varios	6.84	0.20

La composición de este núcleo es muy similar a la de los núcleos anteriores, si bien la proporción de grava es algo mayor. Los nódulos litificados son escasos (menos del 5%); uno de ellos es un molde interno de gasterópodo. Microscópicamente muy similares a los del núcleo 23 (Lám. 14, fig. 4).

La porción no recuperada (41 %) parece constituida por fango suelto; probablemente hubo taponamiento de la barrena por un fragmento de coral.

La porción 27-1 se utilizó para análisis; se conserva la fracción mayor de 4 mm. Queda íntegra 27-2 excepto pequeños fragmentos convertidos en láminas delgadas y una porción de los materiales sueltos usados para análisis.

Ecológica y diagenéticamente, este núcleo es similar a los anteriores; obsérvese la presencia de una cabeza de *Montastrea* en 27-2, y el aumento relativo de *Halimeda* en la fracción mayor de 4 mm; comprende dos especies, una de ellas con artejos muy grandes.

40.00-41.63 m (Núcleo 28).—Broca de acero, rotación mecánica, sin circulación de agua. Recuperación: 56%.

28-1. Bloque de *Agaricia* sp. de 2.5 cm de longitud (1.5% de la corrida total).

Grava limoso-arenosa compuesta de fragmentos de coral y fango suelto, sin nódulos calcáreos. Muestra total, sin el bloque, 875.42 gr.

TABLA 69

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.  
 NUCLEO 28-1

Fracciones en mm.	32	16	8	4	Total	%
<i>Agaricia</i> sp	—	63.23	55.12	9.90	128.25	50.65
<i>A. cervicornis</i>	—	14.96	28.72	21.65	65.33	25.80
<i>Porites</i> sp.	36.00	—	—	—	36.00	14.22
<i>M. annularis</i>	—	6.90	6.37	3.62	16.89	6.67
Corales indet.	—	—	—	3.22	3.22	1.27
Pelecípodos	—	—	2.00	0.92	2.92	1.15
Equinodermos	—	—	—	0.14	0.14	0.06
<i>Halimeda</i> sp.	—	—	—	0.45	0.45	0.18
Sumas	36.00	85.09	92.21	39.90	253.20	100.00
% de la muestra total.	4.11	9.72	10.53	4.56	28.92	

28-2. Grava limoso arenosa constituida por fragmentos de coral y fango suelto. Muestra total, 907.50 gr.

TABLA 70

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.  
 NUCLEO 28-2.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>A. cervicornis</i>	—	89.42	15.29	104.71	30.33
<i>M. annularis</i>	94.70	5.69	3.10	103.49	29.98
<i>Agaricia</i> sp.	63.89	7.53	2.30	73.72	21.35
<i>Porites</i> sp.	30.93	13.61	5.64	50.18	14.54
<i>Millepora</i> sp.	—	2.75	1.11	3.86	1.12
Corales indet.	—	1.78	2.71	4.49	1.30
Pelecípodos	—	—	0.96	0.96	0.28
<i>Halimeda</i> sp.	—	—	3.81	3.81	1.10
Sumas	189.52	120.78	34.92	345.22	100.00
% de la muestra total.	20.88	13.31	3.85	38.04	

TABLA 71

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN %  
 NUCLEO 28.

	28-1	28-2
<i>A. cervicornis</i>	25.80	30.33
<i>M. annularis</i>	6.67	29.98
<i>Agaricia</i> sp.	50.65	21.35
<i>Porites</i> sp.	14.22	14.54
<i>Millepora</i> sp.	—	1.12
Corales indet.	1.27	1.30
Total corales	98.61	98.62
Varios	1.39	1.38

La proporción de fracciones y composición de este núcleo es muy similar al anterior; nótese el bloque de *Agaricia* de 28-1, y la ausencia completa de nódulos litificados.

La porción no recuperada (44%) se debe probablemente a obturamiento de la barrena por fragmentos de coral.

Las dos porciones de este núcleo se conservan íntegras.

Interpretación ecológica idéntica a la de los núcleos anteriores. Sin indicios de litificación.

41.63-42.90 m (Núcleo 29).—Broca de acero, rotación mecánica, sin circulación de agua. Recuperación: 76%.

29-1. Grava limoso-arenosa constituida por fragmentos de coral y un fango arenoso suelto. Muestra total, 908.02 gr.

Granulometría (fig. 28): Grava, 36.7%; arena, 22.4%; limo, 31.9%; Md = 1.40  $\phi$ ;  $M_z$  = 1.17  $\phi$ ;  $\sigma_1$  = 3.77  $\phi$ ;  $Sk_1$  = -0.08;  $K'_G$  = 0.36. Modos en -3 y 6  $\phi$ .

TABLA 72

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.

NUCLEO 29 - 1.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>A. cervicornis</i>	55.25	143.27	40.64	239.16	89.77
<i>M. annularis</i>	18.21	1.02	—	19.23	7.22
<i>Agaricia</i> sp.	—	1.88	0.58	2.46	0.92
Corales indet.	—	0.60	1.73	2.33	0.87
Gasterópodos	—	—	0.10	0.10	0.04
Pelecípodos	—	—	0.23	0.23	0.09
<i>Halimeda</i> sp.	—	—	2.90	2.90	1.09
Sumas	73.46	146.77	46.18	266.41	100.00
% de la muestra total.	8.09	16.16	5.09	29.34	

TABLA 73

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 1/8 de mm, EN %.

NUCLEO 29-1.

Fracciones en mm.	16	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125	Global
Corales	100	100	93	59	18	25	22	51	67.8
Moluscos	—	—	1	3	11	14	20	6	5.1
Foraminíferos	—	—	—	—	—	1	3	3	0.7
<i>Halimeda</i>	—	—	6	38	70	59	54	40	25.8
Equinodermos	—	—	—	—	1	1	1	—	0.3

29-2. Grava limoso-arenosa constituida por fragmentos de corales y fango arenoso suelto. Muestra total, 683.56 gr.

TABLA 74

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.

NUCLEO 29 - 2.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>A. cervicornis</i>	46.58	134.18	28.82	209.58	95.07
<i>Porites</i> sp.	—	2.91	1.39	4.30	1.95
<i>Agaricia</i> sp.	—	—	0.10	0.10	0.05
Gasterópodos	—	—	0.15	0.15	0.07
Pelecípodos	—	—	0.29	0.29	0.13
<i>Halimeda</i> sp.	—	—	6.02	6.02	2.73
Sumas	46.58	137.09	36.77	220.44	
% de la muestra total.	6.81	20.06	5.38	32.25	

29-3. Fango limoso-arenoso constituido por fragmentos de coral y limo arenoso suelto. Muestra total, 306.49 gr.

TABLA 75

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.

NUCLEO 29 - 3.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>A. cervicornis</i>	17.39	46.40	8.58	72.37	94.37
<i>Diploria</i> sp.	—	0.52	0.23	0.75	0.97
Corales indet.	—	—	0.37	0.37	0.48
<i>Halimeda</i> sp.	—	—	3.20	3.20	4.17
Sumas	17.39	46.92	12.38	76.69	99.99
% de la muestra total.	5.67	15.31	4.04	25.02	

TABLA 76

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN %.

NUCLEO 29.

	29-1	29-2	29-3
<i>A. cervicornis</i>	89.77	95.07	94.37
<i>M. annularis</i>	7.22	—	—
<i>Porites</i> sp.	—	1.95	—
<i>Agaricia</i> sp.	0.92	0.05	—
<i>Diploria</i> sp.	—	—	0.97
Corales indet.	0.87	—	0.48
Total corales	98.78	97.07	95.82
Varios	1.22	2.93	4.17

La composición biótica es similar a la de los núcleos anteriores predominando de con mucho *Acropora cervicornis*.

La porción no recuperada (24%) se atribuye a taponamiento de la barrera.

Se conserva la porción mayor de 4 mm de 29-1 así como 29-2 íntegra.

La misma interpretación ecológica que en núcleos anteriores. Sin indicios de litificación.

42.90-43.00 m (Núcleo 30).—Broca de diamante, rotación mecánica, con circulación de agua. Recuperación: 0%.

43.00-43.46 m (Núcleo 31).—Broca de acero, rotación mecánica, sin circulación de agua. Recuperación: 56%.

31-1. (Núcleo no dividido). Grava limoso-arenosa compuesta por fragmentos de coral y limo arenoso suelto, con fragmentos de pelecípodos, corales y nódulos calcáreos. Muestra total, 487.39 gr.

Granulometría (sin nódulos): Grava, 42.0%; arena, 26.6%; fango, 31.4%;  $M_d = 0.70 \phi$ ;  $M_z = 0.91 \phi$ ;  $\sigma_1 = 3.81 \phi$ ;  $Sk_1 = -0.06$ ;  $K'_g = 0.35$ . Modos en  $-3$  y  $6 \phi$  (fig. 28).

TABLA 77

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS. NUCLEO 31-1

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>A. cervicornis</i>	8.53	33.02	12.27	53.82	38.23
<i>M. annularis</i>	27.29	15.00	1.62	43.91	31.19
<i>Siderastrea</i> sp.	—	11.06	0.83	11.89	8.45
<i>Diploria</i> sp.	—	—	0.16	0.16	0.11
Gasterópodos	—	1.57	3.88	5.45	3.87
Pelecípodos	8.46	9.20	2.85	20.51	14.57
Coralinas incrust.	—	—	1.95	1.95	1.39
<i>Halimeda</i> sp.	—	—	3.08	3.08	2.19
Sumas	44.28	69.85	26.64	140.77	100.00
% de la muestra total.	9.08	14.33	5.47	28.88	
Nódulos calcáreos.	11.70	9.48	6.01	27.19	
% de la muestra total.	2.40	1.95	1.23	5.58	

TABLA 78

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 1/8 de mm, EN %. NUCLEO 31-1.

Fracciones en mm.	16	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125	Global
Corales	81	85	57	24	19	21	20	1	46.1
Moluscos	19	15	25	13	3	16	22	39	18.4
Foraminíferos	—	—	—	1	3	6	5	13	2.7
Halimeda	—	—	11	62	69	49	40	41	28.7
Coralinas	—	—	7	—	—	—	—	—	0.7
Ostrácodos	—	—	—	—	—	1	—	1	0.2
Malacostráceos	—	—	—	—	—	1	—	—	0.1
Serpúlidos	—	—	—	—	—	—	—	4	0.4
Esponjas	—	—	—	—	—	—	—	1	0.1
Indeterminado	—	—	—	—	6	6	13	—	2.0

La composición biótica de este núcleo es similar a los anteriores; nótese la presencia de *Siderastrea* y el aumento notable en la cantidad de moluscos.

Todos los nódulos litificados de esta muestra son en realidad fragmentos de coral o de pelecípodos, recubiertos por una gruesa capa calcilitica que no llega a enmascarar la forma del fragmento; estos, no muestran al microscopio señales de alteración.

La porción no recuperada (44%) se atribuye a taponamiento de la barrera.

Se conserva de esta muestra la porción mayor de 4 mm.

La misma significación paleoecológica que en núcleos anteriores. Nódulos litificados 5.6%, de los cuales buena parte corresponde a los bioclásticos que sirven de núcleo.

43.46-44.73 m (Núcleo 32).—Barrena de acero, rotación mecánica, sin circulación. Recuperación: 92%.

Este núcleo se cayó del muestrero al sacar la tubería, pero fue recuperado junto con el núcleo siguiente. Posiblemente la falta de nódulos y otros elementos gruesos en 32-1 sea consecuencia de la caída, así mismo es posible que dicha porción contenga materiales desprendidos al rimar el intervalo 43.00-43.45 m.

32-1. Fango suelto con escasos fragmentos de coral. Muestra total, 846.36 gr. Por las razones antes mencionadas la distribución de materiales en esta porción es sospechosa de artefacto.

TABLA 79

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.

NUCLEO 32-1.

	16-8	8-4	Total	%
<i>A. cervicornis</i>	1.52	1.88	3.40	43.93
Corales indet.	—	2.00	2.00	25.84
Gasterópodos	—	1.41	1.41	18.22
Pelecípodos	—	0.05	0.05	0.65
Coralinas incrustantes	—	0.22	0.22	2.84
<i>Halimeda</i> sp.	—	0.55	0.55	7.10
Indeterminado	—	0.11	0.11	1.42
Sumas	1.52	6.22	7.74	100.00
% de la muestra total.	0.18	0.73	0.91	

32-2. Arena limoso-arenosa con abundantes nódulos calcáreos. Muestra total, 807.71 gramos.

Granulometría (excluidos los nódulos): Grava, 12.5%; arena, 51.6%; limo, 35.2%; arcilla, 0.6, Md = 2.62  $\phi$ ; M<sub>Z</sub> = 2.41  $\phi$ ;  $\sigma_1$  = 3.81  $\phi$ ; Sk<sub>1</sub> = -0.02; K'<sub>G</sub> = 0.45. Modos en 1 y 6  $\phi$  (fig. 28).

TABLA 80

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS. NUCLEO 32-2.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
Corales indet.	—	4.47	15.19	19.66	62.12
Gasterópodos	—	1.07	2.45	3.52	11.12
Pelecípodos	—	1.37	4.53	5.90	18.64
Coralinas incrust.	—	1.52	0.16	1.68	5.31
<i>Halimeda</i> sp.	—	—	0.89	0.89	2.81
Sumas	—	8.43	23.22	31.65	100.00
% de la muestra total.	—	1.04	2.87	3.91	
Nódulos calcáreos.	55.69	43.41	5.91	105.01	
% de la muestra total.	6.89	5.37	0.73	12.99	

TABLA 81

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 1/8 de mm, EN %. NUCLEO 32-2.

Fracciones en mm.	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125	Global
Corales	55	65	59	10	3	—	—	13.4
Moluscos	28	30	19	27	56	57	64	48.2
Foraminíferos	—	—	—	1	6	5	3	3.2
<i>Halimeda</i>	—	4	31	56	29	36	30	30.3
Coralináceas	17	1	—	—	—	—	—	0.5
Equinodermos	—	—	1	3	1	—	—	0.6
Ostrácodos	—	—	—	—	2	—	—	0.4
Serpúlidos	—	—	—	—	—	2	3	1.2
Indeterminado	—	—	—	3	3	—	—	0.7

32-3. Arena gravoso-limosa constituida por fango suelto, fragmentos de corales y nódulos calcáreos. Muestra total, 876.42 gramos.

TABLA 82

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.  
NUCLEO 32-3.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>M. annularis</i>	36.69	20.79	5.60	63.08	59.11
<i>A. cervicornis</i>	—	19.82	17.69	37.51	35.15
<i>Diploria</i> sp.	—	—	0.22	0.22	0.21
Gasterópodos	—	—	1.52	1.52	1.42
Pelecípodos	—	2.02	1.40	3.42	3.20
Coralinas incrust.	—	—	0.32	0.32	0.30
<i>Halimeda</i> sp.	—	—	0.09	0.09	0.08
Indeterminado	—	—	0.55	0.55	0.52
Sumas	36.69	42.63	27.39	106.71	99.99
% de la muestra total.	4.19	4.86	3.13	12.18	
Nódulos calcáreos	82.54	19.17	5.56	107.27	
% de la muestra total.	9.42	2.19	0.63	12.24	

TABLA 83

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, en %  
NUCLEO 32.

	32-1	32-2	32-3
<i>M. annularis</i>	—	—	59.11
<i>A. cervicornis</i>	43.93	—	35.15
<i>Diploria</i> sp.	—	—	0.21
Corales indet.	25.84	62.12	—
Total corales	69.77	62.12	94.47
Varios	30.23	37.88	5.52

La composición biótica de este núcleo es similar a la de los anteriores. También en este núcleo la mayoría de los nódulos litificados se han constituido alrededor de fragmentos de corales y moluscos. Estos fragmentos presentan al microscopio, un grado de alteración no mayor que el de los fragmentos no recubiertos y en ningún caso hay recristalización ni redisolución. Los nódulos pequeños, redondeados, sin núcleo definido, presentan una composición en la que predomina *Halimeda* sp. La textura microscópica y constitución de los nódulos examinados es idéntica a la descrita de los nódulos del núcleo 23.

Se conservan íntegras las porciones 32-1 y 32-3 así como la fracción mayor de 4 mm de 32-2.

La misma significación ecológica que los núcleos anteriores. Una buena parte del porcentaje atribuido a los nódulos, corresponde a los bioclásticos que les sirven de núcleo.

44.73-44.88 m (Núcleo 33).—Broca de acero, rotación mecánica, sin circulación de agua. Recuperación: 25%.

33-1. (Núcleo no dividido). Fragmentos de caliza hasta de 1 cm de diámetro; se interpretan como resultado de fragmentación por la barrena de una capa de caliza de unos 3 cm de espesor situada inmediatamente por encima de la caliza del núcleo siguiente.

Macrocópicamente, se trata de una caliza bien litificada, de color gris, dispuesta en capas de 2 a 4 mm de espesor, con intercalaciones y vetas de calcita espática blanca; las capas más delgadas son homogéneas, de grano fino; las más gruesas presentan clásticos calcáreos de color blanco.

Microscópicamente (Lám. 13, fig. 1), en ciertos campos abundan los clásticos mayores de 2 mm de tal manera que la muestra merece sin duda el calificativo de calcirrudita, pero en otras porciones la proporción de clásticos es mucho menor.

A juzgar por su contorno, los clásticos son biógenos, semejantes en su distribución granulométrica a los de las calizas y sedimentos sueltos de núcleos anteriores, pero en este caso, todo rastro de la estructura original se ha borrado por recristalización y están constituidos exclusivamente por una masa homogénea de cristales de calcita espática, transparentes, de 4 a 8 micras de diámetro. Todos los clásticos, de pequeño o gran tamaño han sufrido este proceso de recristalización, de modo que destacan por su color blanco en luz reflejada y transparentes en luz transmitida, sobre el color gris de la matriz. Esta, presenta estructura grumosa más o menos marcada y también parece haber sufrido un principio de recristalización, pero la diferencia en tamaño entre los granos cripto cristalinos originales y los granos de recristalización, es tan pequeña, que es difícil afirmar nada al respecto.

Todas las muestras se conservan excepto los fragmentos destinados a confeccionar láminas delgadas.

La porción no recuperada (75%) se supone constituida por caliza firme que la barrena no pudo fragmentar y que forma la cima del núcleo siguiente.

Se interpreta la porción recuperada como una costra de recristalización

que sella la caliza del núcleo siguiente, debida a una etapa de emersión no muy prolongada.

44.88-46.30 m (Núcleo 34).—Broca de diamante, rotación mecánica, con circulación de agua. Recuperación: 37%.

34-1. Numerosos fragmentos de una calcirrudita biógena, bien litificada, constituida por bioclastos de *Acropora cervicornis* y *Montastrea annularis* y una matriz calcilutítica. Macroscópicamente es de color crema claro sobre el que destacan los bioclastos por su color más claro. Abundante porosidad en picada de alfiler.

Microscópicamente (Lám. 12, fig. 1), los bioclastos conservan su estructura original casi en su totalidad, pero presentan pequeñas porciones, muy escasas, en las que las fibras aragoníticas originales han sido recristalizadas y substituidas por una masa de cristales transparentes de calcita espática, de 4 a 8 micras de diámetro, idénticas a las señaladas en el núcleo 33. La matriz presenta las mismas características que la que en el núcleo 22, y sirve de relleno a las cavidades de los corales.

34-2 a 34-8. Siete bloques de calcirrudita biógena, bien litificada, que junto con 34-1, comprenden una longitud agregada del 37% de la corrida total.

Macroscópicamente (Lám. 10, fig. 2), se trata de una caliza de color crema claro, ligeramente cretosa, con abundantes fragmentos de *Acropora cervicornis* hasta de 6 cm de longitud que destacan por su color casi blanco. También hay fragmentos de *Montastrea annularis* en cantidad mucho menor. Los fragmentos de *Acropora cervicornis* descansan con su eje mayor en sentido horizontal, es decir, no estaban en posición de crecimiento. En conjunto la fracción calcirrudítica gruesa (mayor de 4 mm) se estima que constituye del 40 al 50% de la muestra total en volumen. Muy abundante porosidad de tipo puntada de alfiler.

Microscópicamente, la fracción de grava fina y arena es cuantitativamente poco importante (del 10 al 20%); los granos conservados son principalmente fragmentos de *Halimeda*, equinodermos y moluscos, pero la mayor parte de ellos han sido rediseñados, de manera que solo queda su cavidad; la porosidad resultante, muy desarrollada por cierto, es pues de tipo intragranular y no parece afectar a la matriz. La matriz limosa es similar a la del núcleo 22.

La porción no recuperada (63%) se atribuye a materiales sueltos arrastrados por el agua de circulación.

Se conservan todas las porciones excepto pequeños fragmentos destinados a la confección de láminas delgadas.

La roca representada por este núcleo es el resultado de una litificación completa de sedimentos idénticos a los encontrados en los núcleos anteriores; por consiguiente su significado ecológico es idéntico, es decir representa sedimentos de arrecife protegido.

Macroscópicamente no hay signos de disolución ni recristalización, pero la disolución selectiva de los granos de la fracción arenosa sugiere un posible lavado por aguas no saturadas de carbonato, posiblemente agua de lluvia, lo que implicaría una etapa de emersión ya señalada en el núcleo 33.

46.30-49.33 m (Núcleo 35).—Broca de diamante, rotación mecánica, con circulación de agua. Recuperación: 10%.

35-1 a 35-8. Bloque y fragmentos de bloque de una caliza bien litificada, que en conjunto representa el 10% de la corrida total.

Macroscópicamente es una caliza de color blanco cremoso, de aspecto cretoso y fuertemente porosa. Los poros grandes, son resultado de la disolución de fragmentos de coral, conservando en hueco la forma del fragmento primitivo (*A. cervicornis*, *M. annularis*.) Algunas de estas cavidades están provistas de un revestimiento drusiforme de cristales aciculares. Algunos fragmentos de coral se conservan sin disolver pero son muy escasos; aún considerando los disueltos, el sedimento original contenía indudablemente una fracción calcirrudítica menor que la del núcleo 34, posiblemente el 30% del total.

Microscópicamente, (Lám. 12, fig. 4), casi todos los fragmentos mayores de 62 micras han sido disueltos, así como buena parte de la matriz, de modo que en muchas porciones solo quedan delgadas trabéculas de matriz calcárea separando las cavidades; de esto resulta una porosidad visible mayor que el 50%. Casi todos los poros están revestidos por una capa de cristales aciculares del orden de las 4 a las 8 micras; buena parte de la matriz también está recristalizada en un mosaico de cristales transparentes solo visible en gran aumento por el escaso tamaño de los cristales resultantes (8-4 micras).

La porción no recuperada (90%) está constituida evidentemente por capas de sedimentos sueltos que fueron arrastrados por el agua de circulación, según se pudo comprobar por el aspecto del líquido que salía por el orificio de lodos.

Se conservan todas las muestras excepto pequeños fragmentos utilizados en la confección de láminas delgadas.

Paleoecológicamente este núcleo no difiere de los anteriores. La porción litificada, que fue la única recuperada, muestra evidencias macroscópicas y microscópicas muy marcadas de redisolución por aguas percolantes, en un grado mucho mayor que en el núcleo anterior.

49.33-50.85 m (Núcleo 36).—Broca de diamante, rotación mecánica, con circulación de agua. Recuperación: 6.5%.

36-1. Bloque de caliza cretosa, de color blanco cremoso, muy semejante macroscópicamente y microscópicamente a la del núcleo anterior. La disolución de los bioclásticos grandes y pequeños es bien evidente originando una roca de gran porosidad microscópica. Los bioclastos de la fracción arenosa, cuando se han conservado, revelan composición muy semejante a los de núcleos anteriores pero aquí dominan localmente los peneróplidos (Lám. 16, fig. 1); otros clastos están completamente substituidos por un mosaico de recristalización de grano muy fino (8-4 micras). Cavidades vacías de foraminíferos y las resultantes de disolución, frecuentemente con revestimiento drusiforme.

36-2. Dos terrones muy pequeños de fango suelto que se suponen representativos del intervalo no recuperado (93.5%) pero que no se estudian por su pequeño tamaño.

Se conservan íntegras las dos porciones excepto pequeños fragmentos de 36-1 que se utilizaron para hacer láminas delgadas.

La misma interpretación ecológica y post-deposicional que en el núcleo anterior.

50.85-51.86 m (Núcleo 37).—Broca de acero, rotación mecánica, sin circulación de agua. Recuperación: 65%.

37-1. Limo gravoso-arenoso suelto con abundantes nódulos calcáreos. Muestra total, 469.33 gramos.

TABLA 84

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.  
NUCLEO 37 - 1.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
Corales	—	6.08	—	6.08	97.12
Gasterópodos	—	—	0.18	0.18	2.88
Sumas	—	6.08	0.18	6.26	100.00
% de la muestra total.	—	1.29	0.04	1.33	
Nódulos calcáreos	36.40	58.76	44.51	139.67	
% de la muestra total.	7.76	12.52	9.48	29.76	

37-2. Limo gravoso-arenoso suelto con abundantes nódulos calcáreos. Muestra total, 723.55 gr.

Granulometría (sin nódulos): Grava, 11.4%; arena, 39.7%; limo, 47.6%; arcilla, 1.3;  $Md = 3.92 \phi$ ;  $Mz = 3.60 \phi$ ;  $\sigma_1 = 2.89 \phi$ ;  $Sk_1 = -0.30$ ;  $K'_G = 0.49$ . Modos bien marcados en  $-3$ ,  $3$  y  $7 \phi$  (fig. 29).

TABLA 85

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.  
NUCLEO 37 - 2.

Fracciones en mm.	34	16	8	4	Total	%
Corales	—	—	42.41	4.01	46.42	100.00
% de la muestra total.	—	—	5.86	0.55	6.41	
Nódulos calcáreos	75.40	73.47	3.50	42.80	195.17	
% de la muestra total.	10.42	10.15	0.48	5.92	29.97	

TABLA 86

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 1/8 de mm, EN %.  
NUCLEO 37 - 2.

Fracciones en mm.	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125	Global
Corales	100	100	24	—	—	—	—	23.5
Moluscos	—	—	62	100	92	99	98	72.5
Equinodermos	—	—	—	—	8	1	—	1.3
Foraminíferos	—	—	—	—	—	—	2	0.7
Indeterminado	—	—	14	—	—	—	—	0.7

TABLA 87

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN %  
NUCLEO 37

	37-1	37-2
Corales	97.12	100.00
Gasterópodos	2.88	—

Desde la parte inferior del núcleo 36 se advierte una ausencia virtual de clásticos mayores de 4 mm, tanto en el presente núcleo como en los siguientes, hasta el punto de que las proporciones entre corales y no corales dejan de ser significativas.

Los nódulos calcáreos, de aspecto cretoso, son abundantes y presentan variaciones marcadas por lo que respecta a su tenacidad. Petrográficamente son calcilitas con escasos elementos de la fracción calcarenítica y casi sin clastos de las fracciones mayores. El grado de alteración es muy variable de unos nódulos a otros; los hay casi sin señales de recristalización tanto en los clastos como en la matriz, comparables por ejemplo a los del núcleo 22; otros, en cambio, presentan redisueltos todos sus elementos de la fracción calcarenítica, con el aspecto esponjoso que se encuentra por ejemplo en las calizas de los núcleos 35 y 36. También hay grados muy diversos de recristalización; si bien ambas alteraciones, redisolución y recristalización varían concurrentemente;

así los revestimientos drusiformes mejor desarrollados se observan en las cavidades primarias o secundarias de los nódulos más lavados, en los que así mismo pueden verse cristales aciculares como resultado de recristalización de la matriz.

El 35% no recuperado se debe probablemente a taponamiento de la barrena por nódulos calcáreos.

Se conserva la fracción mayor de 4 mm de 37-2 y la porción 37-1 íntegra excepto los nódulos fragmentados para hacer láminas delgadas.

La ausencia virtual de clásticos gruesos señala alejamiento de la fuente de origen de dichos clásticos, es decir, del arrecife propiamente dicho, si bien las condiciones generales de depósito corresponden en general a un ambiente arrecifal, concretamente, estos sedimentos corresponderían bien a un fondo lagunar o a depósitos interarrecifales.

51.86-53.90 m (Núcleo 38).—Barrena de diamante, rotación mecánica, con circulación de agua. Recuperación: 40%.

38-1 a 38-18. Bloques de caliza bien litificada que en conjunto representan el 40% de la corrida total.

Macroscópicamente se trata de una caliza cretosa de color blanco, ligeramente friable, porosa, con restos de corales y moluscos mayores de 4 mm, que en conjunto representan menos del 10% del volumen total; los fragmentos de *A. cervicornis* y otros corales, pueden estar total o parcialmente disueltos, quedando en el primer caso únicamente su molde en hueco; esto es lo que ocurre en casi todos los casos con los moluscos cuyos moldes son relativamente abundantes. Se estima que la proporción entre corales y moluscos es del 70 y 30% respectivamente.

Al microscopio se observa una matriz muy abundante constituida por las fracciones calcilutítica y criptocristalina, con escasos elementos de la fracción calcarenítica, muchos de los cuales han sido disueltos (Lám. 13, fig. 3), quedando únicamente sus cavidades que imparten al conjunto su porosidad visible.

La porción no recuperada (60%) corresponde probablemente a horizontes de sedimentos sueltos que fueron arrastrados por el agua de circulación.

Se conservan todas las muestras excepto pequeños fragmentos de 38-4 y 38-15 que se utilizaron para obtener láminas delgadas.

Como en el caso del núcleo anterior, la escasa proporción de elementos mayores de 4 mm puede interpretarse como relativo alejamiento de los arrecifes propiamente dichos; además en este caso hay un cambio faunístico notable; los corales que en todos los núcleos anteriores jugaban un papel absolutamente predominante, son desplazados por los moluscos.

53.90-55.42 m (Núcleo 39).—Barrena de diamante, rotación mecánica, con circulación de agua. Recuperación: 30%.

39-1 a 39-10. Bloques de caliza bien litificada cuyos caracteres macroscópicos son muy semejantes a los del núcleo anterior y que en conjunto representan el 30% de la corrida total; microscópicamente se trata de una caliza microcristalina cuya matriz está constituida por cristales de 4 a 16 micras de diámetro, con cavidades formadas por la disolución de bioclásticos del tamaño de arenas medias a finas. Falta virtualmente la fracción criptocristalina.

El conjunto tiene un aspecto esponjoso a causa de la porosidad, primitivamente intragranular. De hecho, casi todos los huecos presentan un revestimiento drusiforme de cristales aciculares que modifica considerablemente el contorno original del hueco.

La cantidad total de bioclásticos de las fracciones calcirrudíticas es menor del 10% del volumen total y predominan los moldes de corales (*Acropora cervicornis*) en un 70%, correspondiendo el restante 30% a los moldes de moluscos.

La porción no recuperada (70%) se cree corresponde a capas de sedimentos sueltos que fueron arrastrados por el agua de circulación, pero los núcleos presentan señales de desgaste rotatorio que evidentemente disminuyó en una porción difícil de precisar, la porción recuperada.

Se conservan todas las muestras excepto pequeños fragmentos de 39-7 que se utilizan para hacer láminas delgadas.

La significación peleoecológica de este núcleo es igual a la del núcleo anterior. Hay señales más intensas de redisolución y recristalización.

55.42-58.47 m (Núcleo 40).—Barrena de diamante, rotación mecánica, con circulación de agua. Recuperación: 6%.

40-1. Bloque de caliza blanca, cretosa, de aspecto idéntico a la del núcleo 39, de unos 5 cm de longitud. (1.6% de la corrida total).

40-2. Nódulos calcáreos hasta de 3 cm de longitud y un fragmento de *Acropora cervicornis*, del mismo tamaño y muy bien conservado.

Microscópicamente las características son muy semejantes a las del núcleo anterior; caliza microcristalina con escasos elementos de la fracción arenosa, una buena parte de los cuales se ha disuelto quedando el molde hueco; estos no son tan abundantes como en el núcleo anterior y en su mayoría presentan revestimiento drusiforme de cristales aciculares que también existe en las cavidades primarias de los microfósiles. En la fracción arenosa abundan los fragmentos de equinodermos y briozoarios y moluscos. En la fracción limosa son de señalarse las espículas de ascídias.

Casi todo el intervalo estaba constituido por sedimentos sueltos que fueron arrastrados por el agua de circulación a juzgar por la escasísima recuperación obtenida. El bloque 40-1 posiblemente representa una capa continua pero no puede eliminarse la posibilidad de que se trate de un nódulo de mayor diámetro que el de la barrena.

Los fragmentos de 40-2 son nódulos a juzgar por su redondeamiento natural; no parecen provenir de la fragmentación de una capa continua.

Se conserva el bloque y fragmentos excepto algunos de éstos utilizados para la obtención de láminas delgadas.

Significación paleoecológica de este núcleo como en el anterior.

58.47-60.40 m (Núcleo 41).—Broca de acero, rotación mecánica, sin circulación de agua. Recuperación: 50%.

41-1 a 41-16. Bloques y fragmentos de bloque de caliza bien litificada, que en conjunto representa cerca de 1 m de longitud agregada, es decir, el 50% de la corrida total.

Macroscópicamente se trata de una caliza blanca a ligeramente amarillenta, cretosa, muy ligeramente deleznable pero litificada, con abundante poro-

sidad visible. Los poros varían en tamaño desde cavidades de 6-7 cm de longitud por 1 ó 2 cm de ancho hasta la porosidad microscópica, (15 micras) abundando los poros de 1-2 cm de diámetro (Lám. 11, figs. 1 a 3). En todos los casos, poros y cavidades son resultado de la disolución diferencial de bioclásticos (porosidad intragranular); las cavidades mayores son moldes huecos de fragmentos de *Acropora cervicornis*, algunos de los cuales conservan residuos del contenido original; hay también moldes externos huecos de moluscos, algunos de ellos con el correspondiente molde interno, de modo que la concha se disolvió selectivamente.

Por inspección visual directa se estima que el sedimento original contenía alrededor de el 30% de fragmentos mayores de 4 mm, de los cuales cerca del 95% estaban constituidos por *A. cervicornis* y el resto por otros corales y moluscos principalmente.

Microscópicamente es una caliza microcristalina de elementos finos (4-8 micras), muchos de ellos aciculares. La estructura original es la de una calcilita de grano grueso o una calcarenita muy fina pues la clase modal de los clásticos parece estar alrededor de los 4  $\phi$ , pero la mayor parte de ellos han sido disueltos de modo que solo quedan los moldes huecos frecuentemente provistos de revestimiento drusiforme de cristales aciculares. A juzgar por los clastos no redisueltos, la mayoría de ellos corresponden a fragmentos de foraminíferos (Lám. 17, fig. 3), moluscos y algas coralinas.

La porción recuperada representa indudablemente uno o varios horizontes bien litificados; la porción no recuperada posiblemente corresponde a sedimentos sueltos pues los bloques venían cubiertos por una capa delgada de fango calcáreo que también rellenaba las cavidades; este fango se eliminó fácilmente lavando en agua pero no parece formar horizontes intercalados entre la caliza.

Se conserva todo lo recuperado excepto pequeños fragmentos destinados a la confección de láminas delgadas.

Con anterioridad a la litificación, el sedimento representado por este núcleo era probablemente una grava fangosa o fangoso-arenosa, francamente bimodal, con un modo hacia los -4 ó -5  $\phi$  y otros alrededor de los 4  $\phi$  constituida principalmente por fragmentos de *A. cervicornis*, es decir un sedimento muy similar al del núcleo 6 tomado como ejemplo, pero fuertemente litificado. Paleocológicamente tiene exactamente la misma significación, esto es, representa un arrecife en mancha o reticular o bien fondos inmediatos al mismo.

Es notable el alto grado de porosidad que presenta este núcleo resultado de la disolución selectiva de los clásticos, tanto grandes como pequeños. Se supone que con posterioridad a la litificación ha sido sometido a un intenso lavado ("leaching") por aguas percolantes representando la máxima intensidad de redisolución desde el núcleo 33 ó 34 en que comienzan los indicios de disolución.

60.40-62.43 m (Núcleo 42).—Broca de acero, rotación mecánica, sin circulación de agua. Recuperación: 29%.

42-1. (Núcleo no dividido). Caliza bien litificada, representada por un bloque dividido en nueve fragmentos y 3 bloques enteros, que en conjunto miden 35 cm (17% de la corrida total), con arena fangosa intercalada (10 cm).

La caliza es de aspecto cretoso ligeramente deleznable de color blanco amarillento a gris claro, con muy escasas cavidades de disolución. Microscópicamente es una calcilita que gradúa a calcarenita de grano fino según las diferentes porciones. En ocasiones los bioclásticos han sido redisueltos pero en general conservan su estructura original; la mayoría corresponden a fragmentos de moluscos con escasos foraminíferos (pencróplidos, rotálidos) y fragmentos de equinodermos (Lám. 15, fig. 4, Lám. 16, fig. 2 y Lám. 17, fig. 1)

Limo arenoso suelto con nódulos calcáreos. Muestra total, sin los bloques de caliza, 919.01 gr.

Granulometría (sin los bloques ni los nódulos calcáreos): Grava, 1.0%; arena, 46.3%; limo, 52.7%;  $M_d = 4.2 \phi$ ;  $M_z = 3.9 \phi$ ;  $\sigma_1 = 1.94 \phi$ ;  $Sk_T = -0.23$ ;  $K'_G = 0.47$ . Modo en 6 $\phi$  (fig. 29).

TABLA 83  
COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.  
NUCLEO 42 - 1.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
Gasterópodos	—	—	0.32	0.32	78.05
Pelecípodos	—	—	0.09	0.09	21.95
Sumas	—	—	0.41	0.41	100.00
% de la muestra total.	—	—	0.04	0.04	
Nódulos calcáreos.	188.07	84.93	63.86	336.86	
% de la muestra total.	20.46.	9.24	6.95	36.65	

TABLA 89  
COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 1/8 mm, EN %  
NUCLEO 42 - 1.

Fracciones en mm.	4	2	1	0.50	0.25	0.125	Global
Moluscos	100	100	97	98	93	98	96.7
Foraminíferos	—	—	—	—	7	2	2.3
Equinodermos	—	—	3	2	—	—	0.7

La porción litificada y los sedimentos sueltos son muy similares tanto en granulometría como en composición.

Se conserva toda la porción litificada excepto pequeños fragmentos utilizados en la confección de láminas delgadas. Los elementos sueltos se utilizaron en los análisis.

Los caracteres litológicos macro y microscópicos de las calizas de este núcleo presentan gran similitud con las calizas Carrillo Puerto, (Lám. 17, fig. 2) que afloran principalmente al norte y oeste de la península yucateca. Esta similitud abarca también a la macrofauna; por ejemplo, es una característica común con las calizas Carrillo Puerto, la abundancia de moluscos casi siempre conservados como simples moldes.

Por otra parte, los sedimentos sueltos intercalados entre las calizas compactas, tales como los recuperados en los núcleos 42, 43, etc., presentan también gran similitud con el "sashcab", depósito suelto, de aspecto cretoso que se encuentra intercalado entre las calizas Carrillo Puerto y en otras formaciones de Yucatán.

Los moldes huecos de moluscos y corales así como la porosidad intragranular, son evidencias de redisolución.

62.53-67.54 m (Núcleo 43).—Broca de acero, rotación en parte mecánica, en la segunda mitad, a mano con avance a percusión. Recuperación: 37%.

La mitad superior de esta muestra se cayó tres veces del muestrero al intentar sacarla; en consecuencia se hizo una corrida de doble longitud que la normal, logrando recuperar el conjunto. Probablemente la falta de nódulos calcáreos y elementos gruesos en 43-1 y 43-2 sea un artefacto consecuencia de la caída a través de la columna de agua.

43-1. Limo arenoso suelto. Toda la muestra pasa por el tamiz de mallas de 1 mm. Por las razones antes mencionadas esta porción no se considera representativa. Muestra total, 844.66 gr.

43-2. Limo arenoso suelto; 0.44 gr. quedó en el tamiz 4-2 mm y 1071-71 gr. pasa por dicho tamiz. Por el mismo motivo esta porción no se considera representativa.

43-3. Limo gravoso suelto con escasos nódulos calcáreos. Color y aspecto intermedio entre las dos porciones anteriores y las dos siguientes. Faltan los clásticos biógenos mayores de 4 mm. No se considera completamente representativa. Contiene las siguientes cantidades de nódulos calcáreos: 10.11 gr. (32-16 mm); 6.75 gr (16-8 mm); 6.63 gr (8-4 mm) 1261.40 gr, y además de la fracción menor de 4 mm.

43-4. Limo gravoso-arenoso suelto con nódulos calcáreos. Muestra total 1021.65 gr.

Granulometría (sin nódulos calcáreos): Grava, 16.1%; arena, 33.8%; limo, 50.0%; arcilla, 0.1;  $M_d = 4.00 \phi$ ;  $M_z = 2.91 \phi$ ;  $\sigma_1 = 2.90 \phi$ ;  $Sk_1 = 0.46$ ;  $K'_C = 0.44$ . Modos en —1, 3 y 6  $\phi$  (fig. 29).

TABLA 90

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.

NUCLEO 43-4.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
Pelecípodos	7.65	10.40	13.44	31.49	100.00
% de la muestra total.	0.75	1.02	1.31	3.08	
Nódulos calcáreos	59.50	91.29	86.54	237.33	
% de la muestra total.	5.82	8.94	8.47	23.23	

TABLA 91

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 1/8 mm, EN %

NUCLEO 43-4.

Fracciones en mm.	16	8	4	2	1	0.50	0.25	0.125	Global
Moluscos	100	100	100	100	100	88	92	87	94.5
Foraminíferos	—	—	—	—	—	12	8	13	5.2

43-5. Limo gravoso-arenoso suelto con nódulos calcáreos. Muestra total, 930.16 gr.

TABLA 92

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.  
NUCLEO 43 - 5.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
Pelecípodos	—	0.52	1.00	1.52	100.00
% de la muestra total.	—	0.05	0.11	0.16	
Núcleo calcáreo	39.82	47.05	55.86	142.75	
% de la muestra total.	4.28	5.06	6.01	15.35	

TABLA 93

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN %  
NUCLEO 43.

	43-4	43-5
Pelecípodos	100.00	100.00

Se conservan todas las porciones excepto algunos fragmentos de nódulos (43-5) utilizados para hacer láminas delgadas y la porción 43-4 gastada en los análisis, excepto la fracción mayor de 4 mm.

La misma significación pelaeológica que el núcleo anterior; los nódulos presentan los mismos caracteres microscópicos que la caliza compacta del núcleo anterior y no presentan indicios de redondeamiento.

67.54 — 69.04 m (Núcleo 44).— Broca de acero, rotación a mano, avance por percusión, sin circulación de agua. Recuperación 76%.

44-1. Arena limosa suelta con escasos nódulos calcáreos. Muestra total 919.78 gr.

TABLA 94

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.  
NUCLEO 44 - 1.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
Pelecípodos	—	1.52	2.50	4.02	100.00
% de la muestra total.	—	0.17	0.27	0.44	
Nódulos calcáreos.	55.53	28.43	22.55	106.51	
% de la muestra total.	6.04	3.09	2.45	11.58	

Los nódulos calcáreos presentan estructura calcarenítica, con abundantes foraminíferos, y algas calcáreas (*Amphiroa*), con bastante porosidad inter e intragranular; huecos parcialmente con revestimiento drusiforme (Lám. 13, fig. 4).

44-2. Arena limosa suelta con muy escasos nódulos calcáreos. Muestra total 1039.52 gr.

Granulometría (sin nódulos): Grava, 4.0%; arena, 67.4%; limo, 27.5%; arcilla, 1.0%;  $M_d = 2.56 \phi$ ;  $M_z = 3.11 \phi$ ;  $\sigma_1 = 2.17 \phi$ ;  $Sk_1 = +0.26$ ;  $K'_G = 0.39$ . Presenta dos modos bien marcados, en 3 y en 6  $\phi$  respectivamente (fig. 29).

TABLA 95

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.  
NUCLEO 44 - 2.

Fracciones en mm.	8	4	Total	%
Pelecípodos	—	4.68	4.68	100.00
% de la muestra total.	—	0.45	0.45	
Nódulos calcáreos.	11.79	12.10	23.89	
% de la muestra total.	1.13	1.16	2.29	

TABLA 96

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 1/8 mm, EN %

NUCLEO 44-2.

Fracciones en mm.	4	2	1	0.50	0.25	0.125	Global
Corales	4	2	6	3	—	—	0.8
Moluscos	100	96	93	86	80	83	82.7
Foraminíferos	—	—	—	7	16	14	11.8
Equinodermos	—	—	1	—	1	—	0.3
Ostrácodos	—	—	—	4	—	—	0.7
Serpúlidos	—	—	—	—	3	3	2.2
Indeterminado	—	2	—	—	—	—	0.1

44-3. Arena limosa suelta con muy escasos nódulos calcáreos. Muestra total, 1196.12 gr.

TABLA 97

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.

NUCLEO 44-3.

Fracciones en mm.	8	4	Total	%
Pelecípodos	2	0.80	0.80	100.00
% de la muestra total.	—	0.07	0.07	
Nódulos calcáreos.	14.29	30.48	44.77	
% de la muestra total.	1.19	2.54	3.73	

TABLA 98

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN%

NUCLEO 44.

	44-1	44-2	44-3
Pelecípodos	100.00	100.00	100.00

Se conservan todas las porciones excepto un nódulo de 44-1 destinado a la preparación de láminas y la fracción menor de 4 mm de 44-2 que se utilizó en los análisis.

La misma significación paleoecológica que en los núcleos anteriores.

69.04-70.41 m (Núcleo 45).—Broca de acero, rotación mecánica y manual, sin circulación de agua. Recuperación: 50%.

45-1. Arena limosa suelta. Hay sospechas de que pudiera tratarse de material desprendido al rimar el intervalo 67.54-69.04, y por tanto tratarse de arena lavada por el agua de circulación. Nódulos calcáreos como sigue: 4.22 gr (16-8 mm); 8.31 gr (8-4 mm). Además, materiales sueltos: 21.20 gr (4-2 mm) y 643.54 gr (menos de 2 mm). Muestra total, 677.27 gr.

45-2. Arena limosa suelta con abundantes nódulos calcáreos. Muestra total, 162.53 gr.

TABLA 99

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.

NUCLEO 45-2.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
Pelecípodos	—	—	1.21	1.21	100.00
% de la muestra total.	—	—	0.74	0.74	
Nódulos calcáreos.	31.43	30.36	12.19	73.98	
% de la muestra total.	19.34	18.68	7.50	45.52	

45-3. Bloque de caliza de 6 cm de longitud (4.3% de la corrida total). Iguales características macroscópicas que 45-5 y 45-6.

45-4. Arena limosa suelta con abundantes nódulos calcáreos. Muestra total, 211.85 gr.

TABLA 100.

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.

NUCLEO 45-4

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
Pelecípodos	—	—	0.21	0.21	100.00
% de la muestra total.	—	—	0.10	0.10	
Nódulos calcáreos.	57.86	42.50	25.97	126.33	
% de la muestra total.	27.31	20.06	12.26	59.63	

45-5 y 45-6. Bloques de caliza cretosa, blanca; miden respectivamente 6 y 4 cm de longitud, que representa en conjunto el 7.2% de la corrida total. Macroscópicamente no se observaron clastos mayores de 4 mm. Microscópicamente se trata de una calcarenita de grano fino en la cual la mayoría de los clastos han sido disueltos quedando el hueco provisto de un revestimiento drusiforme; porosidad visible muy abundante.

TABLA 101

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN %

NUCLEO 45

	45-2	45-4
Pelecípodos	100	100

Se conservan todas las porciones excepto dos fragmentos de 45-5 y 45-6 que fueron laminados.

La misma interpretación paleoecológica que en los núcleos anteriores. Abundantes indicios de lavado por aguas percolantes en 45-5.

70.41-70.94 m (Núcleo 46).—Broca de acero, rotación mecánica y manual, sin circulación. Recuperación 100%.

46-1. Arena limoso-gravosa suelta con muy abundantes nódulos calcáreos. Muestra total, 378.53 gr.

Granulometría (sin nódulos): Grava, 18.1%; arena, 46.9%; limo, 34.0%; arcilla, 1.0;  $M_d = 2.19 \phi$ ;  $M_z = 2.31 \phi$ ;  $\sigma_1 = 3.00 \phi$ ;  $Sk_1 = +0.04$ ;  $K'_G = 0.39$ . Tres modos bien marcados en  $-1$ ,  $1$  y  $6 \phi$  respectivamente (fig. 29).

TABLA 102

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.

NUCLEO 46-1.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
Corales	—	1.55	1.18	2.73	39.97
Pelecípodos	—	—	4.10	4.10	60.03
Sumas	—	1.55	5.28	6.83	100.00
% de la muestra total.	—	0.41	1.39	1.80	
Nódulos calcáreos.	96.80	71.92	30.62	199.34	
% de la muestra total.	25.57	19.00	8.09	52.66	

TABLA 103

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 1/8 DE mm, EN %.

NUCLEO 46-1.

Fracciones en mm.	8	4	2	1	0.5	0.25	0.125	Global
Corales	100	22	2	29	34	—	—	13.9
Moluscos	—	78	96	71	63	94	97	80.9
Foraminíferos	—	—	—	—	1	4	3	1.4
Equinodermos	—	—	2	—	1	—	—	0.7
Indeterminado	—	—	—	—	1	2	—	0.6

46-2 a 46-6. Bloques de caliza cretosa, blanca, que miden en conjunto 17 cm (37% de la corrida total). Microscópicamente presenta estructura de una calcarenita, de grano medio a grueso, constituida por fragmentos biógenos, principalmente de moluscos; abundantes foraminíferos, especialmente *Amphistegina* y peneróplidos. Muchos de los clastos han sido disueltos quedando las cavidades tapizadas por un revestimiento drusiforme de cristales aciculares; otros han quedado completamente rellenos por un mosaico de calcita espática secundaria. Abundante porosidad intragranular.

46.7. Arena limosa suelta con abundantes nódulos calcáreos. Muestra total, 313.06 gr.

TABLA 104

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 4 mm, EN GRAMOS.  
NUCLEO 46-7.

Fracciones en mm.	16	8	4	Total	%
<i>Diploria</i> sp.	—	3.80	—	3.80	65.52
Pelecípodos	—	—	2.00	2.00	34.48
Sumas	—	3.80	2.00	5.80	100.00
% de la muestra total.	—	1.21	0.64	1.85	
Nódulos calcáreos.	85.18	55.18	19.35	159.71	
% de la muestra total.	27.21	17.63	6.18	51.02	

46-8. Bloque de caliza cretosa blanca de 4 cm de longitud (7.5% de la corrida total). Microscópicamente es una calcarenita similar a la de las porciones 46-2 a 46-6, pero con gran cantidad de nódulos formados por algas calcáreas incrustantes.

TABLA 105

COMPOSICION DE LAS FRACCIONES MAYORES DE 1/8 DE mm, EN %.  
NUCLEO 46.

	46-1	46-7
Corales	2.73	3.80
Pelecípodos	4.10	2.00

Se conservan todas las porciones excepto fragmentos de 46-4, 46-5 y 46-8 destinados a laminación y la fracción menor de 4 mm de 46-1.

La misma significación paleoecológica general que en núcleos anteriores.

70.94-73.71 m (Núcleo 47).—Barrena de diamante, rotación mecánica. Se inyectó agua sin obtener circulación. Recuperación: 39%.

47-1 a 47-22. Bloques de caliza bien litificada que en conjunto representan el 40% de la corrida total. Macroscópicamente es una caliza de color crema, compacta, bien litificada, que presenta abundantes moldes en hueco de pelecípodos y gasterópodos de tamaño mayor que 2 mm y que en conjunto representan probablemente cerca del 5% del volumen total (Lám. 9, fig. 1 y Lám. 10, fig. 1).

Microscópicamente presenta la estructura de una calcilita de grano grueso en tránsito a calcarenita de grano fino. La mayor parte de los clastos son de origen indeterminable a causa de su tamaño, pero a juzgar por los contornos, parecen dominar los fragmentos de moluscos; una buena parte de los clastos pequeños (menores de 50 micras) aparecen como huecos vacíos sin que sea siempre fácil decidir si como resultado de disolución o desplazados artificialmente al pulir la lámina. Entre los elementos identificables se encuentran foraminíferos y coralíneas, abundantes fragmentos de equinodermos y muchas espículas de didemnídos (ascidias). La porosidad visible microscópicamente es intragranular; los poros más abundantes son de unas 25-100 micras, y en conjunto representan del 5 al 30% de la superficie de sección.

Se conserva todo lo recuperado excepto parte de 47-1, 47-11 y 47-20 empleados en la confección de láminas delgadas.

Muchos bloques presentan señales de desgaste por rotación así que la porción recuperada representa un espesor mayor de sedimentos litificados que lo que indican las cifras de recuperación; el balance de lo no recuperado debe atribuirse a sedimentos sueltos.

Antes de la litificación, el sedimento representado por este núcleo, era un limo arenoso, ligeramente gravoso muy similar por su constitución biótica a la de los núcleos anteriores y tiene la misma significación paleoecológica.

73.71-76.76 m (Núcleo 48).—Barrena de diamante, rotación mecánica. Se inyecta agua pero no recircula. Recuperación: 1.6%.

48-1 y 48-2. Fragmentos de bloque de caliza bien litificada que en conjunto apenas representa 5 cm de longitud; las calizas presentan los mismos caracteres macro y microscópicos que las del núcleo anterior y tienen la misma significación paleoecológica (Lám. 15, fig. 2 y Lám. 17, fig. 4).

Muestra 12. La mayor parte del contenido se cayó al fondo del pozo al izar el muestrero; para recuperar estos materiales la corrida siguiente se hizo con barrena de acero sin circulación y efectivamente sobre la cima del núcleo 49, se obtuvieron unos 1.50 metros de materiales sueltos constituidos por arena calcárea gruesa, 1 bloque de calcilita con huecos de moluscos idéntica a la de N 47, N 48-1 y N 48-2, del diámetro de la broca de diamante, así como cuatro fragmentos más. En conjunto la muestra representa un intervalo de sedimentos sueltos pero no se considera representativa por haber estado sometida al

lavado por el agua inyectada durante la perforación y al atravesar el agua del orificio al caer del muestrero.

Se conservan las porciones 48-1 y 48-2 excepto fragmentos utilizados en la confección de láminas. De M-12 sólo se conserva una parte.

Se interpreta todo el intervalo como sedimentos sueltos excepto unos pocos centímetros en su parte alta ocupado por caliza idéntica a la del núcleo 47.

76.76-78.56 m (Núcleo 49).—Broca de acero, sin circulación, avance a mano. Recuperación: 20%.

49-1. Bloque de caliza cretosa de unos 6 cm de longitud (Lám. 15, fig. 1).

49-2. Fragmentos de caliza de 2 a 40 mm de diámetro que en conjunto representa unos 25 cm de longitud del muestrero; sin elementos finos.

49-3. Bloque de caliza de 3.5 cm de longitud.

La caliza de 49-1, 49-2 y 49-3, es tan homogénea que puede describirse de una sola vez. Macroscópicamente es una caliza blanca, cretosa, muy friable, de aspecto calcarenítico, en la que no se perciben clastos mayores de 4 mm. Microscópicamente es una caliza bioclástica; por el tamaño de los clastos dominantes varía de calcarenita de grano fino a calcilitita de grano grueso. Una buena parte de los clastos han sido redisueltos por lo que la porosidad es muy elevada, hasta el punto de que en 49-2 es prácticamente imposible obtener láminas pues el material se deshace al intentar el desgaste. Las cavidades dejadas por los clastos están tapizadas por cristales aciculares y la mayor parte están completamente rellenas de un mosaico de calcita secundaria de grano muy fino. La matriz también presenta signos de recristalización. Entre los clastos que conservan su estructura, dominan los foraminíferos, especialmente *Amphistegina*.

Se conserva todo el material recuperado, excepto fragmentos pequeños de 49-1 y 49-2 utilizados en la confección de láminas.

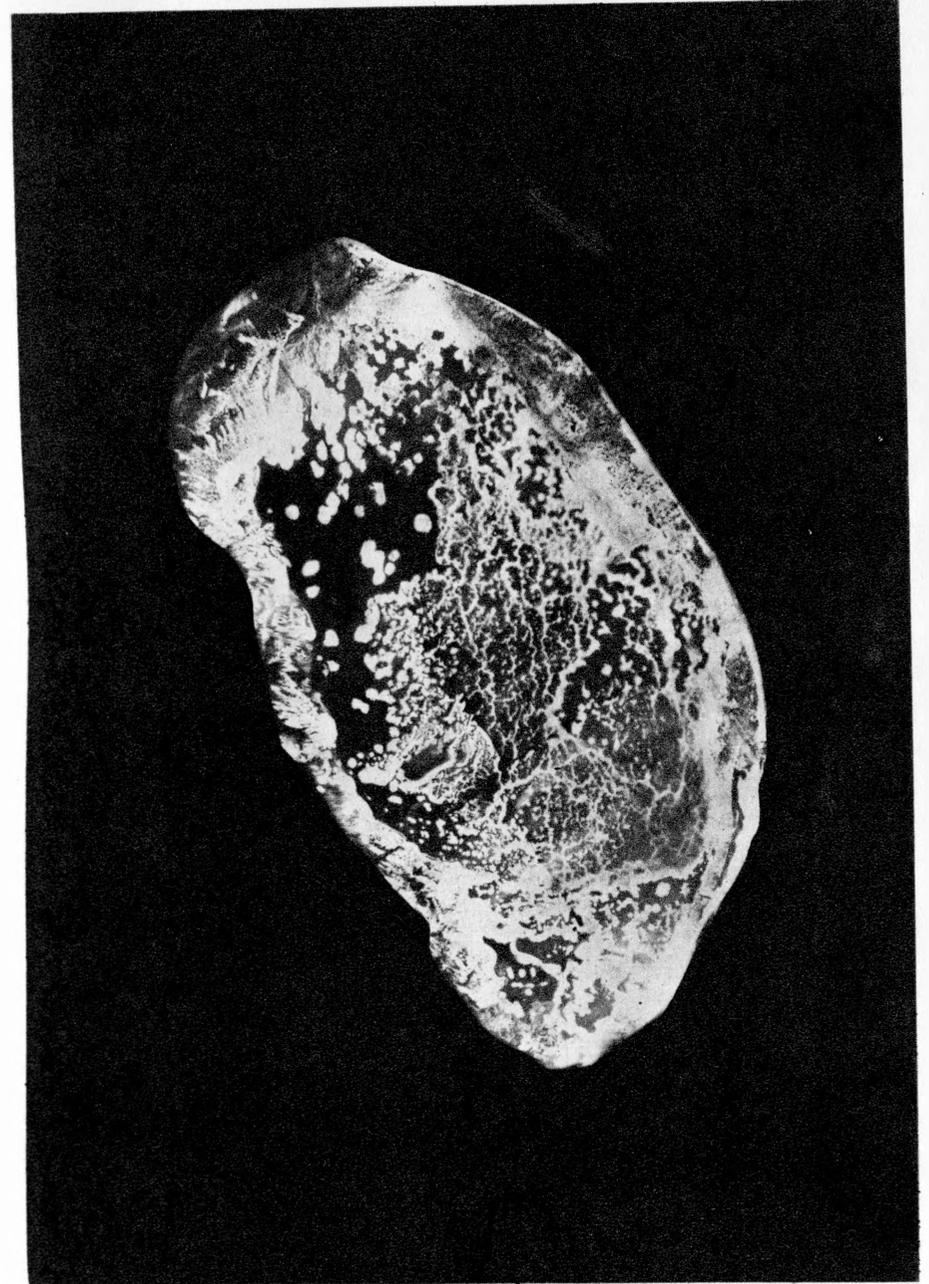
Al tratar del núcleo 48 se indicó que la M-12 fue recuperada sobre el núcleo 49; está claro que esa muestra no debe computarse en la recuperación del núcleo 49. La porción no recuperada (80%) se atribuye a obturación de la barrena por el bloque 49-3. Toda la sección atravesada debe ser de caliza muy friable; 49-2 es el resultado de la fragmentación de esta caliza al meter el muestrero pues no hay elementos sueltos del tamaño de arena o limo.

Paleoecológicamente este núcleo no parece diferir de los anteriores, pero sí presenta un grado mucho mayor de redisolución y recristalización.

## LAMINAS 1 - 17

LAMINA I

Fig. 1. Composición fotográfica obtenida retocando el mosaico aerofotográfico utilizado para la confección del mapa de la figura 3, que es el publicado por Kornicker y Boyd en 1962.



## LAMINA 2

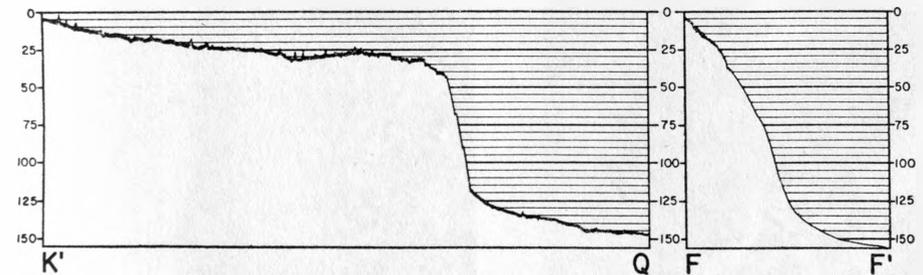
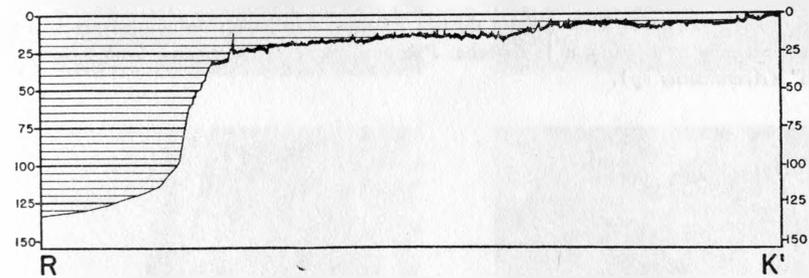
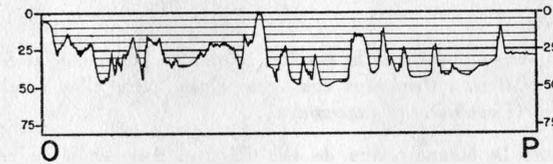
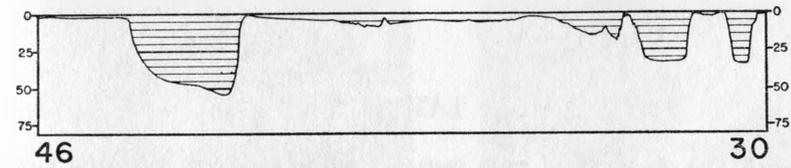
Registros batimétricos tomados con el eco-sonda. Véase su situación en el mapa de la figura 2. Sin escala horizontal (!) Profundidades en pies.

Perfil 46-30. Desde estación 46, que es el embarcadero de isla Pérez, hacia el norte. Primero recorre el arrecife en franja situado al NE de isla Pérez y después una porción de la parte principal de la laguna; a continuación pasa por un amplio arrecife en barrera que separa dos porciones de la parte principal de la laguna; en la masa septentrional de éstas hay tres pináculos, en el centro de uno de los cuales termina el perfil (Estación 30).

Perfil O-P. Sigue aproximadamente el eje del foso mostrando sus desigualdades.

Perfil R—K' y K'—Q. Talud del arrecife marginal de sotavento a nivel de isla Desertora.

Perfil F—F'. Talud de barlovento.



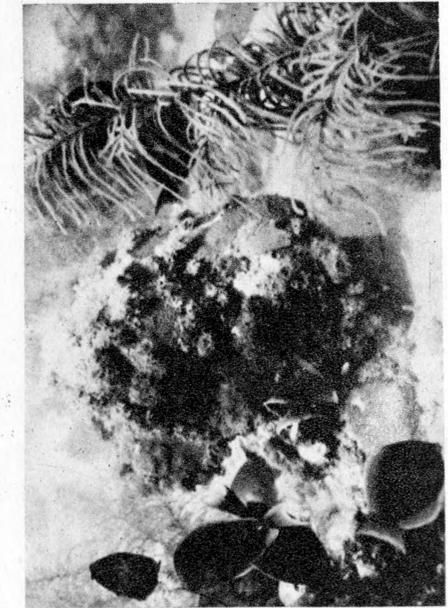
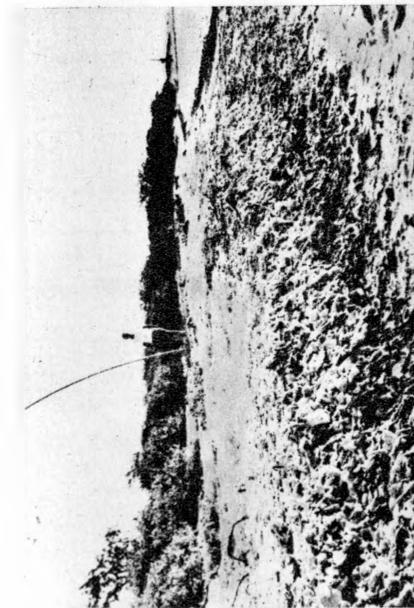
LAMINA 3

Fig. 1. Ceja de tempestad en la costa oriental de isla Pérez. Fotografía tomada en julio de 1959; estaba constituida exclusivamente por fragmentos de corales y moluscos del tamaño de grava gruesa. Al año siguiente había desaparecido y sus elementos quedaron ocultos por la arena.

Fig. 2. Fondo fangoso-arenoso de la porción celular de la laguna, al SE de la estación 27. Asociación de *Halimeda Penicillus* con otras algas, entre ellas coralínáceas ramosas. El pez es una lora (*Pseudoscarus guacamaya*).

Fig. 3. Fondo de la laguna, cerca de isla Pájaros. Asociación de corales macizos y gorgonias, aquí representados por *Pseudopterogorgia americana* y *Pleuxaurella dichotoma*; en primer término la madrepora *Montastrea annularis*. El pez es un "negrillo" (*Garrupa* sp.)

Fig. 4. Fondo de la laguna cerca de isla Pájaros. Asociación de corales macizos y gorgonias. En primer término, a la derecha, *Pseudopterogorgia americana*, los peces son "lan-ceros" (*Acanthurus* sp.).



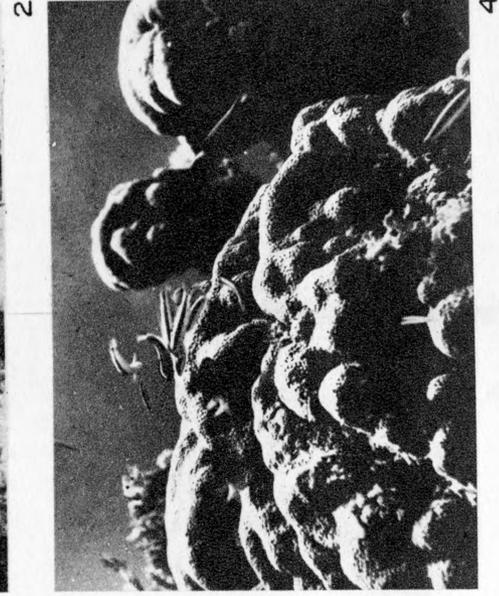
## LAMINA 4

Fig. 1. Arrecifes reticulares; asociación de corales macizos. A la izquierda *Acropora cervicornis*; por debajo de la cabeza del pez, *Porites astreoides*; por encima de dicha cabeza, coral de fuego (*Millepora alcicornis*). Las madreporas más abundantes son *Montastrea annularis*. El pez es un negrillo (*Garrupa nigrita*).

Fig. 2. Arrecifes reticulares; asociación de corales macizos (*Montastrea annularis*); en el centro, un negrillo.

Fig. 3. Fondo de la laguna; porción celular, Asociación de corales macizos y gorgonias. Los abanicos de mar (*Gorgonia ventalina*) están todos orientados en la misma dirección, perpendicular a la de la corriente; a la izquierda un "arbolillo" de *Plexaurella dichotoma*. Las cabezas de coral son de *Diploria strigosa*.

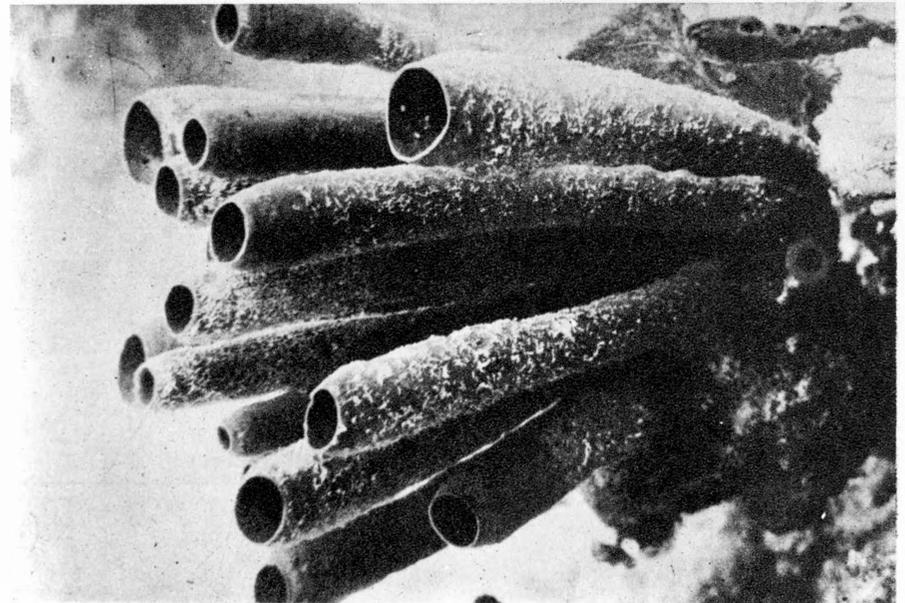
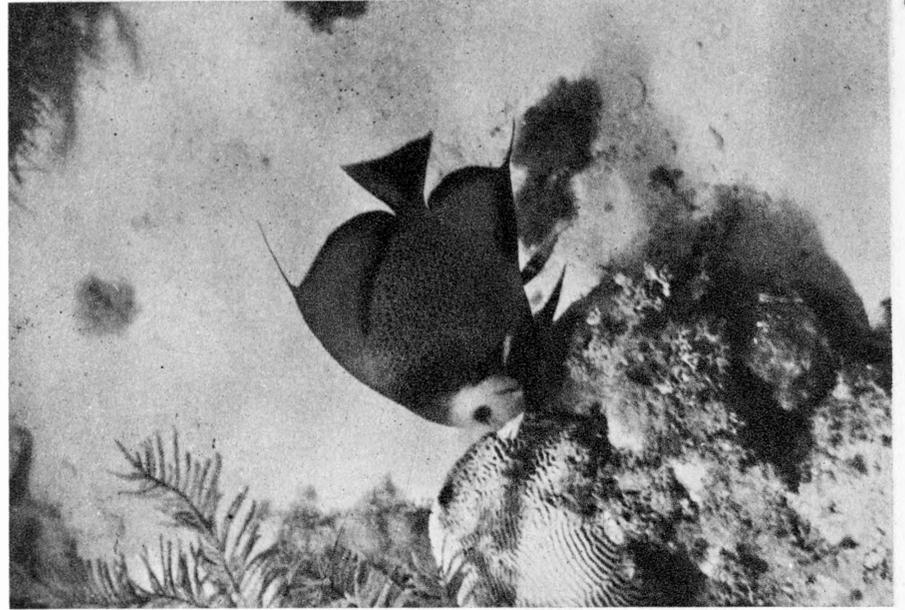
Fig. 4. Colonia de *Montastrea cavernosa* que forma parte de un arrecife en parche.



LAMINA 5

Fig. 1. Fondo de la laguna; porción celular. Asociación de corales macizos y gorgonias. Esponja córnea *Callyspongia* sp.

Fig. 2. Fondo de la laguna. porción celular. Asociación de corales macizos y gorgonias. A la izquierda y arriba, *Pseudopterogorgia americana*. Al centro, *Pomacanthus paru* royendo una cabeza de *Diploria strigosa*.



## LAMINA 6

Fig. 1. Fondo de la laguna, porción principal. Asociación de corales macizos y gorgonias. Bosquete de *Plexaura homomalla* y *Plexaurella dichotoma*.

Fig. 2. Al centro derecha gran colonia de coral de fuego *Millepora alcicornis*; algo por delante, esponja órgano (*Callyspongia* sp.); al centro, en primer término, ramas de *Briaseum asbestinum*. A la izquierda centro, una cabeza de *Montastrea cavernosa*; al fondo, probablemente *Plexaurella* sp.



1



2

LAMINA 7

Fig. 1. Laguna, parte principal. Cima de un pináculo con abundantes algas (*Pocko-kiella* sp.).

Fig. 2. Laguna, parte principal. Cima de un pináculo; aquí las algas dominantes son los sargazos (*Sargassum* sp.).

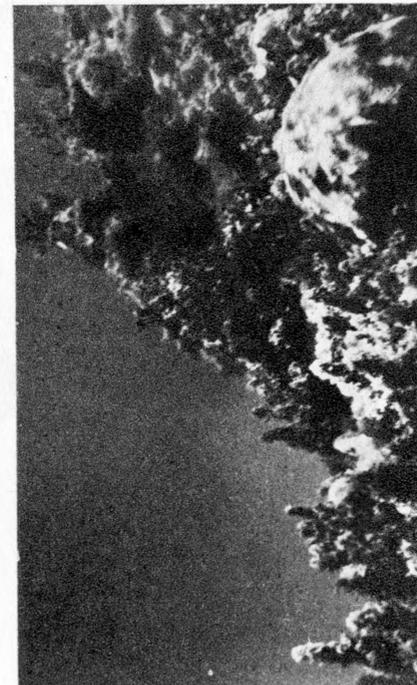
Fig. 3. Explanada arrecifal de sotavento. Flanco de un pequeño arrecife en parche, constituido por *Montastrea cavernosa*. El pez del centro es un *Holocentrus*. El cebadal de *Thalassia testudinum* cubre la explanada por fuera del arrecife en parche.



3



1



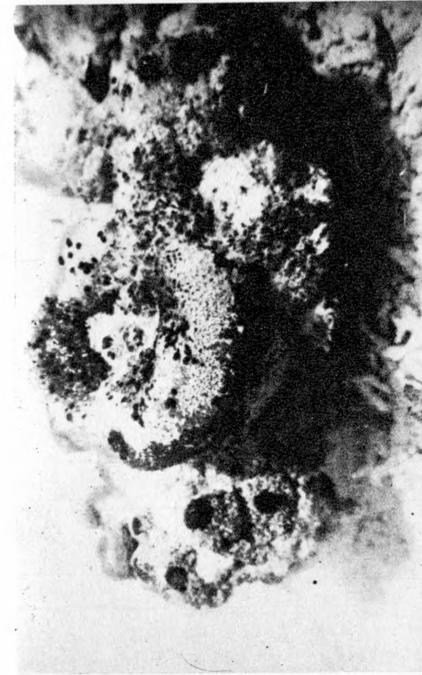
2

LAMINA 8

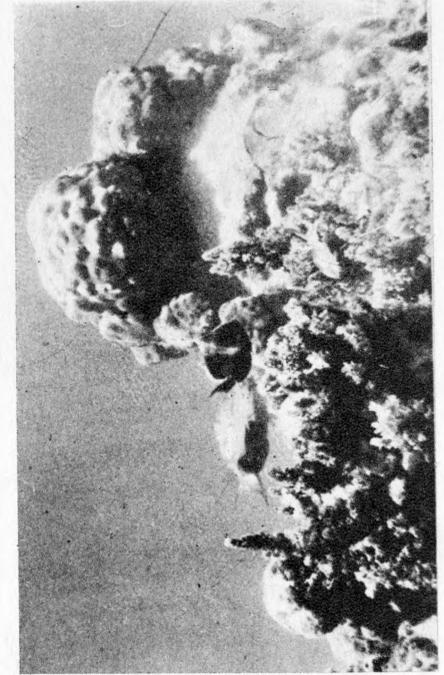
Fig. 1. Extremo norte del foso; declive mostrando fondo cubierto por grava de *Acropora cervicornis*. Al centro, cabeza de coral muerto cubierta parcialmente por sedimentos sueltos, algas y briozoarios.

Fig. 2. Laguna, parte principal. Cima de un pináculo ocupada por dos cabezas de coral, posiblemente *Diploria clivosa*. En primer término sargazal con *Sargassum* sp.

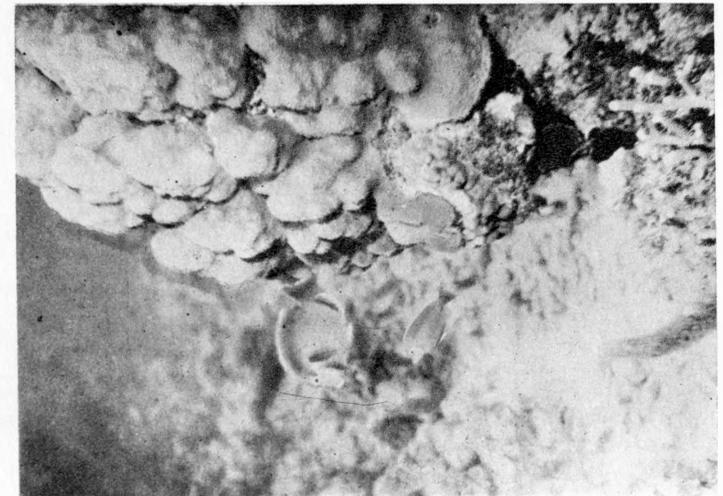
Fig. 3. Flanco de un arrecife en parche cubierto por *Montastrea cavernosa*. Al centro, lanceros (*Acanthurus* sp.).



1



2



3

LAMINA 9

Fig. 1. Núcleo 47-4. Pozo de isla Pérez, 72 m de profundidad. Calizas compactas, de grano fino, con moldes de pelecípodos de concha delgada. Escala en centímetros y milímetros.

Fig. 2. Aparejo de perforación de isla Pérez. Al fondo la laguna arrecifal.

Fig. 3. Caja con muestras de la perforación de isla Pérez.



1



2



3

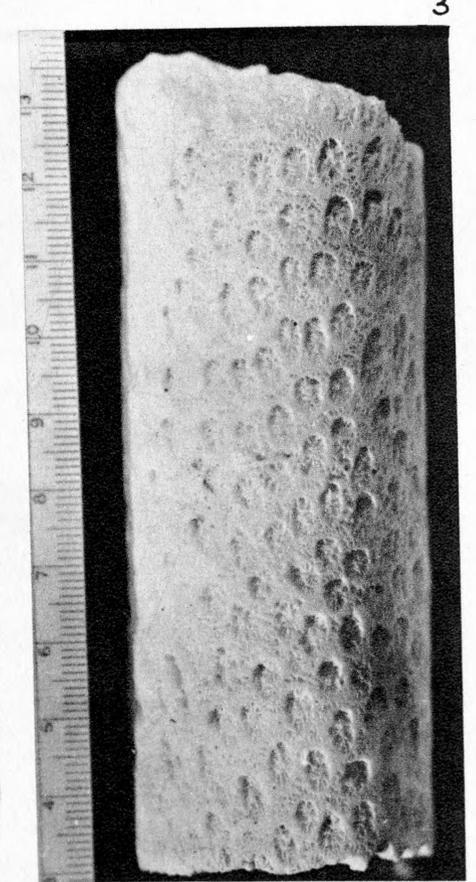


## LAMINA 10

Fig. 1. Núcleo 47-12, Pozo de isla Pérez, 72 m de profundidad. Caliza compacta bien litificada con moldes huecos de gasterópodos. Escala en centímetros y milímetros.

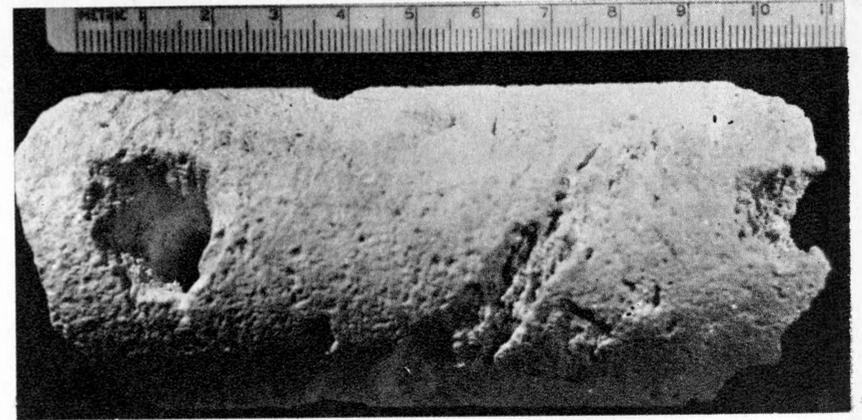
Fig. 2. Núcleo 34-5 y 6. Pozo de isla Pérez, 46 m de profundidad. Calcirrudita biógena. Los fragmentos de *Acropora cervicornis* destacan en blanco sobre una matriz bioclástica de color más oscuro. (Véase lám. 12 fig. 1). Escala en centímetros y milímetros.

Fig. 3. Núcleo 18-4. Pozo de isla Pérez, 26 m de profundidad. Fragmentos de un núcleo perforado a través de una cabeza de *Montastrea annularis*. Escala en centímetros y milímetros.



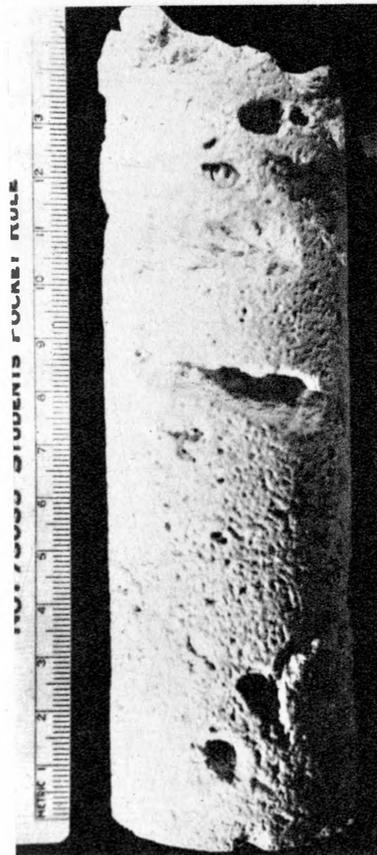
## LAMINA 11

Figs. 1 a 3. Núcleo 41-4 y 5. Pozo de isla Pérez, 60 m de profundidad. Caliza cretosa con abundantes moldes huecos producidos por disolución de fragmentos de *Acropora cervicornis* y algunos moluscos; la porosidad fina también se debe a disolución diferencial de bioclásticos, en este caso, de pequeño tamaño. Escala en centímetros y milímetros.

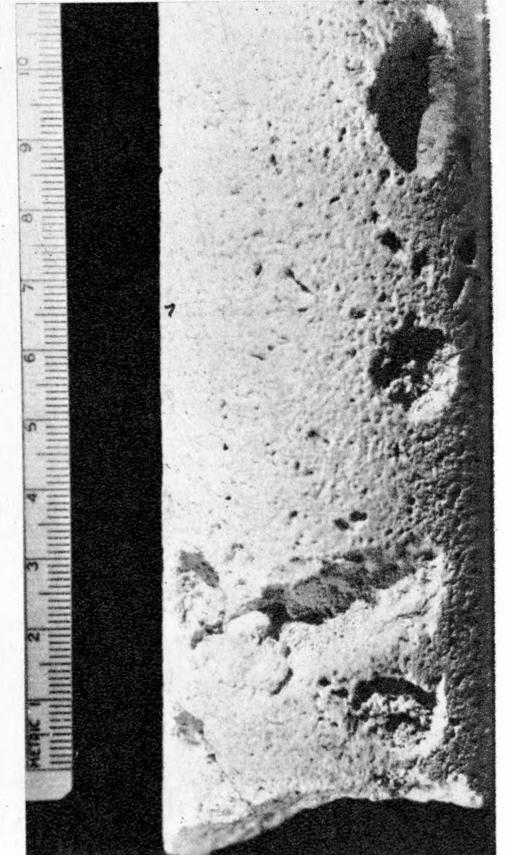


1

2



3



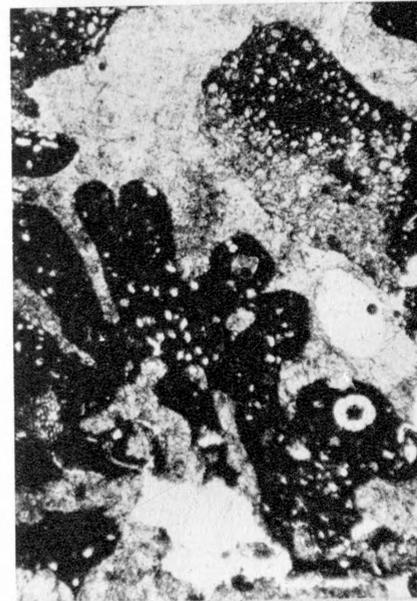
## LAMINA 12

Fig. 1. Núcleo 34-8. Pozo de isla Pérez, 46 m de profundidad. Calcirrudita biógena cuyo aspecto megascópico puede verse en la lám. 10, fig. 2. En la fotomicrografía aparece el corte oblicuo de un cáliz cuyos septos y paredes aparecen como un mosaico de calcita transparente por recristalización; las cavidades están rellenas por una matriz criptocristalina, opaca, que a trechos pasa a estructura microcristalina.

Fig. 2. Núcleo 23-1. Pozo de isla Pérez, 35 m de profundidad. Corte parcial de un nódulo calcáreo; a la derecha y arriba porción cortical del nódulo, es oscura, de estructura microcristalina densa, de grano muy fino; la porción central (al centro y abajo a la izquierda de la microfotografía) los cristales son netamente más grandes, más transparentes y la porosidad es bastante mayor, por lo que ésta parte aparece en claro en la fotografía.

Fig. 3. Núcleo 23-4. Pozo de isla Pérez, 35 m de profundidad. Porción cortical, calcilutítica, de un nódulo calcáreo a mayor aumento que en la fotomicrografía anterior.

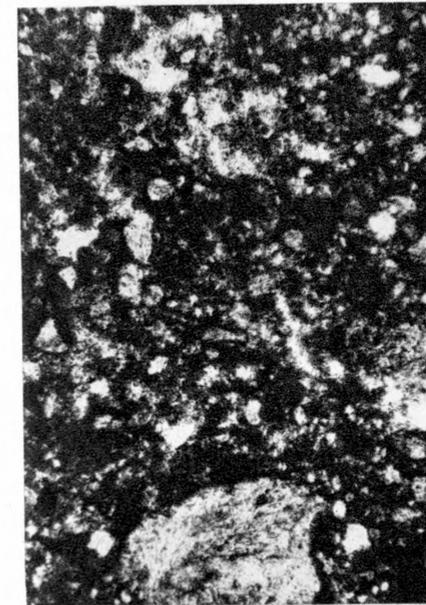
Fig. 4. Núcleo 35-3. Pozo de isla Pérez, 47 m de profundidad. Matriz calcilutítica con abundante porosidad resultante de la solución de los granos. Al centro, un fragmento de alga coralinácea.



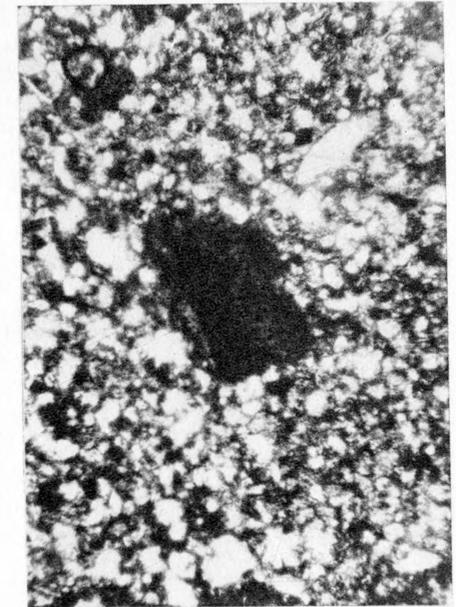
1



2



3



4

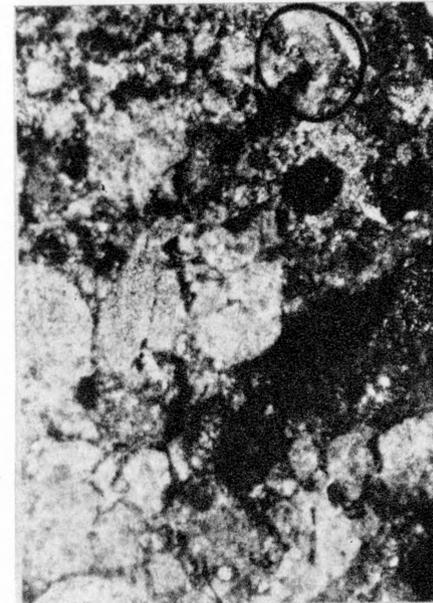
## LAMINA 13

Fig. 1. Núcleo 33-1. Pozo de isla Pérez, 44.8 m de profundidad. Caliza calcarenítica cuyos granos posiblemente sean de origen biótico, pero que por recristalización han perdido todo rastro de la estructura original; capas con esta estructura alternan con calcita espática blanca. El conjunto se interpreta como una costra de recristalización por exposición al aire.

Fig. 2. Núcleo 23-1. Pozo de isla Pérez, 35 m de profundidad. Nódulo calcáreo visto a gran aumento; luz polarizada, nicoles cruzados. Al centro y abajo, una espícula de ascidia (*Didemnum*) sp., con su tipo de extinción característico.

Fig. 3. Núcleo 38-4. Pozo de isla Pérez, 52 m de profundidad. Calcilitita que muestra abundantes indicios de recristalización. Tres cavidades tapizadas por cristales aciculares, la central corresponde posiblemente a un ostrácodo; las otras dos son resultados de redisolución. A la derecha y abajo de la cavidad central una espícula de ascidia.

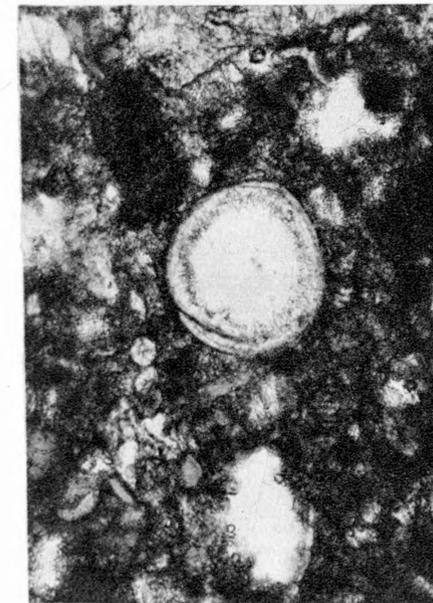
Fig. 4. Núcleo 44-1. Pozo de isla Pérez, 67 m de profundidad. Nódulo calcáreo de estructura calcarenítica; son visibles dos fragmentos de *Amphiroa* (a la derecha y arriba), fragmentos de espículas de esponjas y foraminíferos; un corte de peneróplido (al centro y arriba) muestra una mitad longitudinal completamente recristalizada mientras la otra conserva su estructura característica.



1



2



3



4

## LAMINA 14

Fig. 1. Núcleo 23-3. Pozo de isla Pérez, 35 m de profundidad. Nódulo calcáreo que presenta en una matriz calcilutítica el corte oblicuo de una espina de equinoide y algunos foraminíferos.

Fig. 2. Núcleo 23-4. Pozo de isla Pérez, 35 m de profundidad. Nódulo calcáreo constituido por una matriz calcilutítica (micrita) con un gran fragmento de *Halimeda* (arriba) y un foraminífero (abajo).

Fig. 3. Núcleo 24-2. Pozo de isla Pérez, 36 m de profundidad. Porción de un nódulo calcáreo que presenta en la matriz micrítica, una sección de espina de equinoide, un foraminífero anfistegínido y dos grandes fragmentos de *Halimeda*; estos últimos apenas si se distinguen del fondo en la fotografía, pero en cambio resaltan por su color en el examen microscópico.

Fig. 4. Núcleo 27-2. Pozo de isla Pérez, 39 m de profundidad. Nódulo calcáreo; estructura calcilutítica de la matriz: un foraminífero biserial (*Textularia?*), abajo, cerca del margen a la derecha, una espícula de didemnido (ascidia).



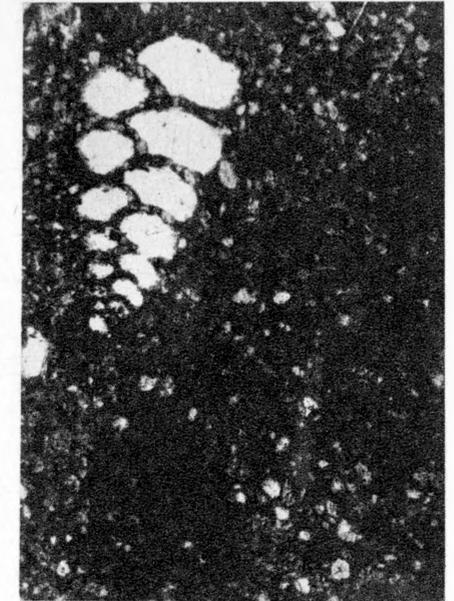
1



2



3



4

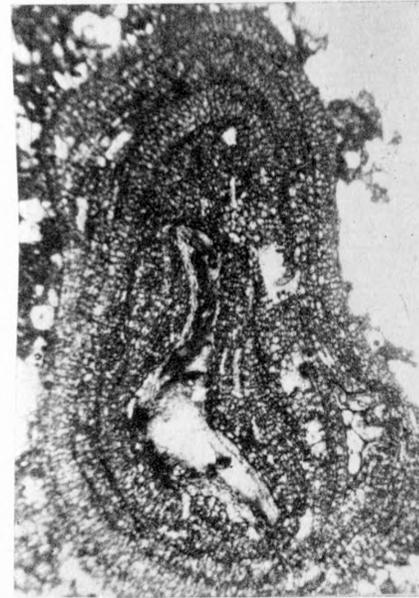
## LAMINA 15

Fig. 1. Núcleo 49-1. Pozo de isla Pérez, 77 m de profundidad. Colonia de una alga calcárea (coralinácea?) desarrollada alrededor de un fragmento de molusco.

Fig. 2. Núcleo 48-2. Pozo de isla Pérez, 76 m de profundidad. Colonia de alga calcárea, aparentemente, de la misma especie que la representada en la figura anterior.

Fig. 3. Núcleo 6-1. Pozo de isla Pérez, 11 m de profundidad. Fragmento de *Acropora cervicornis*, mostrando la sección de un cáliz (a la derecha). La estructura fibrosa original, se conserva bastante bien; obsérvese un túnel de *Cliona* con bordes netos, y sin revestimiento cristalino. Son apreciables las líneas oscuras producidas por las algas perforantes.

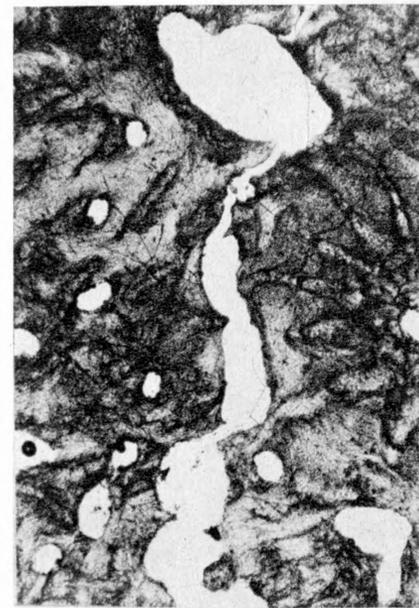
Fig. 4. Núcleo 42-1. Pozo de isla Pérez, 60 m de profundidad. Calcarenita de grano fino con miliólidos; corte transversal de un tubo de serpúlido relleno con una matriz de grano más fino. A la izquierda, corte de un peliépodo de concha delgada.



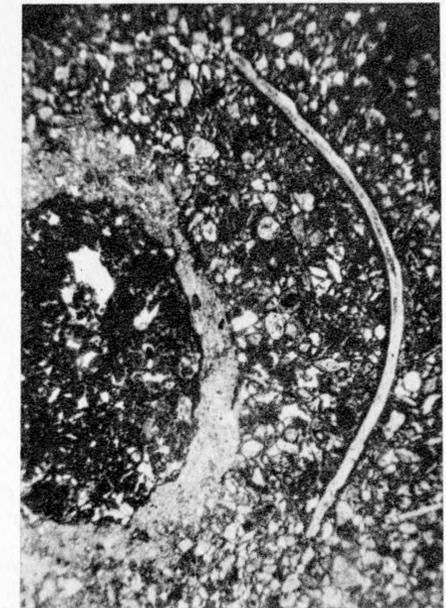
1



2



3



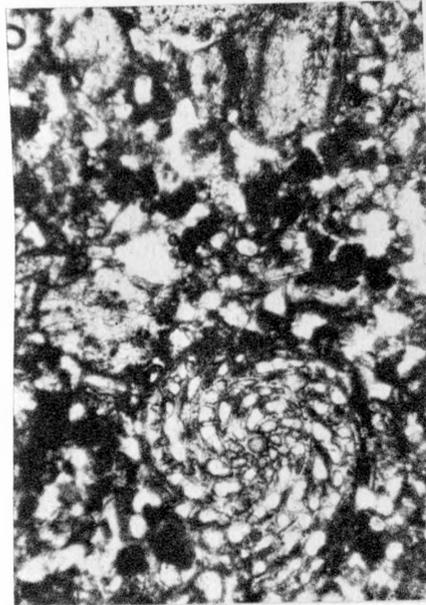
4

## LAMINA 16

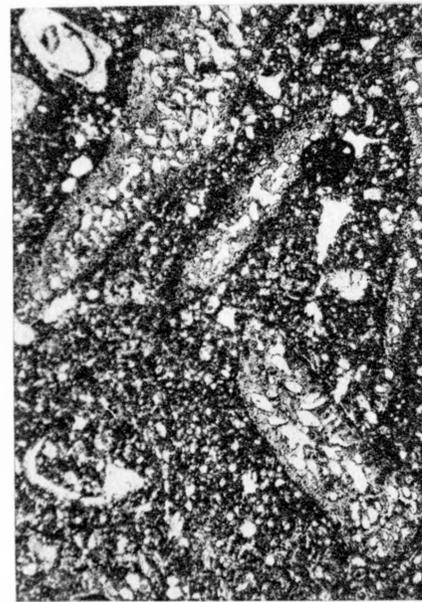
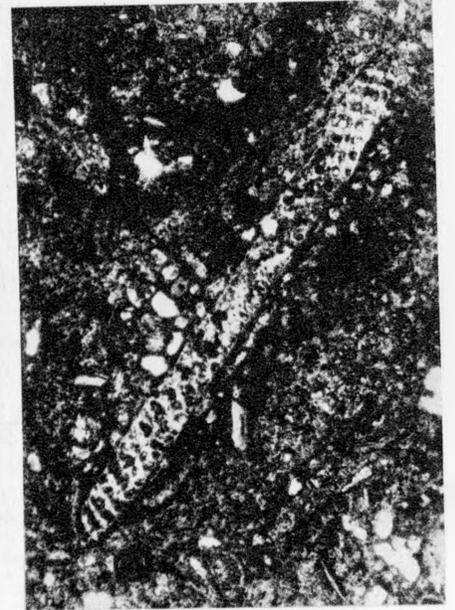
Fig. 1. Núcleo 36-1. Pozo de isla Pérez, 50 m de profundidad. Calcilutita que muestra porosidad abundante por disolución de los bioclásticos. Un gran corte ecuatorial de peneróplido, posiblemente *Archaias*, en mitad inferior.

Fig. 2. Núcleo 42-1. Pozo de isla Pérez 61 m de profundidad. Calcilutita que muestra escasa porosidad y un gran corte transversal de un peneróplido.

Figs. 3-4. Núcleo 24-1. Pozo de isla Pérez, 36 m de profundidad. Nódulo calcáreo de estructura calcilutítica con grandes fragmentos de *Halimeda*.



1



3



4

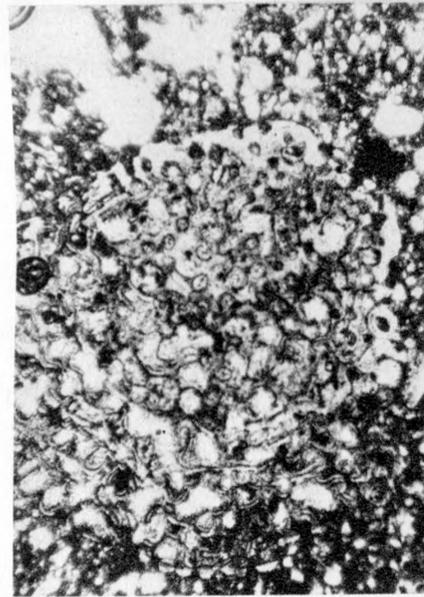
## LAMINA 17

Fig. 1. Núcleo 42-1. Pozo de isla Pérez, 61 m de profundidad. Calcilitita con un ejemplar de foraminífero sesil *Homotrema rubrum*.

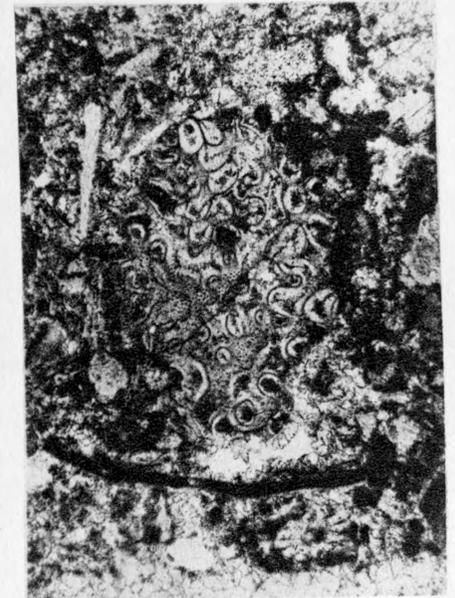
Fig. 2. Kilómetro 18 de la carretera de Mérida Chichén Itzá, Yucatán. Caliza Carrillo Puerto; calcilitita con un gran ejemplar de *Homotrema rubrum*. Se inserta este fotomicrografía para mostrar la identidad de características de la caliza Carrillo Puerto con la que forma la parte profunda del pozo y que representa al roca que forma la Sonda de Campeche por debajo del arrecife Alacranes.

Fig. 3. Núcleo 41. Pozo de isla Pérez, 60 m de profundidad. Caliza microcristalina con abundantes poros por redisolución de clásticos. Un gran ejemplar de *Homotrema* (?).

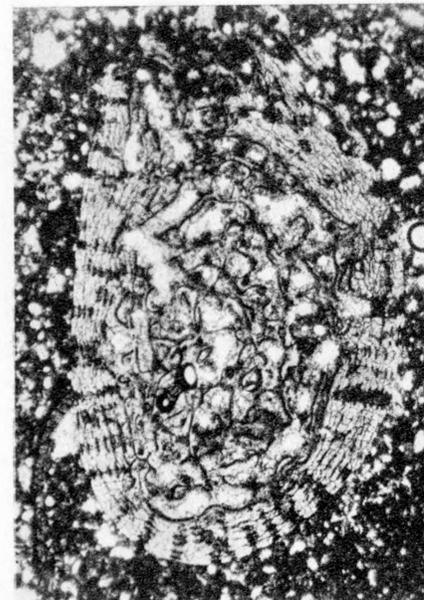
Fig. 4. Núcleo 48-2. Pozo de isla Pérez, 76 m de profundidad. Calcilitita porosa mostrando un ejemplar de *Gypsina* sp.



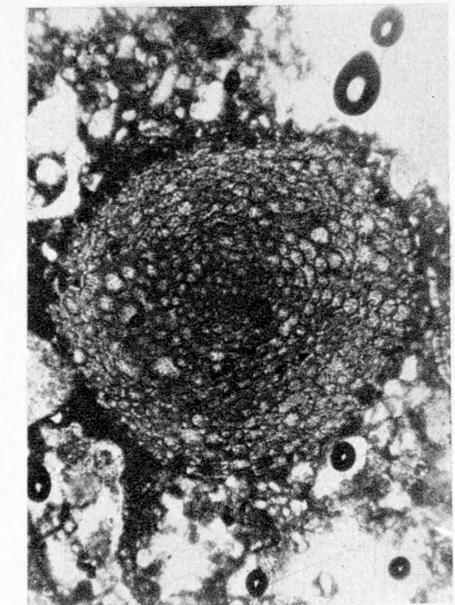
1



2



3



4

BOLETINES DEL INSTITUTO DE GEOLOGIA

50.— <i>Las Meteoritas Mexicanas</i> , por JOSÉ C. HARO, 1931.	\$ 50.00 M.N.	\$ 5.00 Dlls.
51.— <i>Zonas Mineras de los Estados de Jalisco y Nayarit</i> , por TOMÁS BARRERA, 1931.	\$ 50.00 M.N.	\$ 5.00 Dlls.
53.— <i>Topografía Sepultada en la Región de Santa Rosalía, B. C.</i> , por IVAN F. WILSON, 1948.	\$ 20.00 M.N.	\$ 2.00 Dlls.
54.— <i>Paleontología y Estratigrafía del Plioceno de Yepómera, Edo. de Chihuahua (Primera Parte)</i> , por JOHN F. LANCE, 1950.	\$ 20.00 M.N.	\$ 2.00 Dlls.
55.— <i>Los Estudios Paleobotánicos de México</i> , por MANUEL MALDONADO KOERDELL, 1950.	\$ 20.00 M.N.	\$ 2.00 Dlls.
56.— <i>Las Provincias Geohidrológicas de México (Segunda Parte)</i> , por ALFONSO DE LA O. CARREÑO, 1954.	\$ 30.00 M.N.	\$ 3.00 Dlls.
57.— <i>Espeleología Mexicana, Cuevas de la Sierra Madre Oriental de la Región de Xilitla</i> , por FEDERICO BONET, 1953.	\$ 20.00 M.N.	\$ 2.00 Dlls.
58.— <i>Geología y Paleontología de la Región de Caborca</i> , por G. ARTHUR COOPER y otros, 1954.	\$ 30.00 M.N.	\$ 3.00 Dlls.
Pt. III.— <i>Fauna Pérmica de El Antimonio, Oeste de Sonora, México</i> , por G. ARTHUR COOPER y otros, 1965.	\$ 30.00 M.N.	\$ 3.00 Dlls.
59.— <i>Los Depósitos de Bauxita en Haití y Jamaica y posibilidades de que Exista Bauxita en México</i> , por GUILLERMO P. SALAS, 1959.	\$ 30.00 M.N.	\$ 3.00 Dlls.
60.— <i>Geología del Estado de Morelos y de Partes Adyacentes de México y Guerrero, Región Central Meridional de México</i> , por CARL. FRIES, JR., 1960.	\$ 50.00 M.N.	\$ 5.00 Dlls.
61.— <i>Fenómenos Geológicos de Algunos Volcanes Mexicanos</i> , por LUIS BLÁSQUEZ L., ARMANDO REYES LAGOS, FEDERICO MOOSER y JOSÉ L. LORENZO, 1961.	\$ 20.00 M.N.	\$ 2.00 Dlls.
62.— <i>Reconocimiento Geológico en la Sierra Madre del Sur, entre Chilpancingo y Acapulco, Edo. de Guerrero</i> , por ZOLTAN DE CSERNA, 1965.	\$ 30.00 M.N.	\$ 3.00 Dlls.
63.— <i>Contribución al Estudio de Minerales y Rocas</i> , por EDUARDO SCHMITTER y RUTH ROJAS DE GÓMEZ, 1962.	\$ 30.00 M.N.	\$ 3.00 Dlls.
64.— <i>Estudios Geocronológicos de Rocas Mexicanas</i> , por CARL FRIES, JR., 1962.	\$ 25.00 M.N.	\$ 2.50 Dlls.

Agotado  
(Out of print)

65.— <i>Estudios Mineralógicos y Petrográficos del Casquete y la Sal de Algunos Domos Salinos del Istmo de Tehuantepec, México</i> , por SALVADOR ENCISO DE LA VEGA, 1963.	\$ 30.00 M.N.	\$ 3.00 Dlls.
--	---------------	---------------

- 66.—*Revisión Crítica de los Minerales Mexicanos* BOLEITA, por FRANCISCO J. FABREGAT, 1963. \$ 40.00 M.N. \$ 4.00 Dlls.
- 67.—*Salinidad, Batimetría, Temperatura y Distribución de los Sedimentos Recientes de la Laguna de Términos Campeche, México*, Partes I-IV.  
Pt. I.—*Salinidad, Batimetría, Temperatura y Distribución de los Sedimentos Recientes de la Laguna de Términos Campeche, México*, por AMADO YAÑEZ CORREA, 1963. \$ 25.00 M.N. \$ 2.50 Dlls.  
Pt. II.—*Sistemática y Distribución de los Géneros de Diatomeas de la Laguna de Términos Campeche, México*, por ANGEL SILVA B., 1963. \$ 15.00 M.N. \$ 1.50 Dlls.  
Pt. III.—*Sistemática y Distribución de los Foraminíferos Recientes de la Laguna de Términos Campeche, México*, por AGUSTÍN AYALA, 1963. \$ 75.00 M.N. \$ 7.50 Dlls.  
Pt. IV.—*Sistemática y Distribución de los Micromoluscos Recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México*, por ANTONIO GARCÍA CUBAS, 1963. \$ 30.00 M.N. \$ 3.00 Dlls.
- 68.—*Sistemática y Distribución de los Foraminíferos Recientes de la "Playa Washington" al S.E. de Matamoros, Tamps.*, por LUIS RAFAEL SEGURA V., 1963. \$ 30.00 M.N. \$ 3.00 Dlls.
- 69.—*Geología del Area delimitada por el Tomatal, Huitzuc y Mayanacán*, Estado de Guerrero por JOSÉ MA. BOLÍVAR, 1963. \$ 30.00 M.N. \$ 3.00 Dlls.
- 70.—*Derrames Cineríticos Las Américas de la región de El Oro Tlalpujahua. Estados de México y Michoacán*, parte centro meridional de México por CARL FRIES JR., C. S. ROSS y ALBERTO OBRECÓN PÉREZ.
- En preparación  
(Being prepared)
- 71.—*Estudios Geológicos en los Estados de Durango y San Luis Potosí*, por DIEGO A. CÓRDOVA, EUGENIO CSERNA y ALEJANDRO BELLO BARRADAS, 1963. \$ 40.00 M.N. \$ 4.00 Dlls.
- 72.—*Revisión Crítica de los Minerales Mexicanos, la PLUMOSITA*, por FRANCISCO J. FABREGAT G., 1964. \$ 40.00 M.N. \$ 4.00 Dlls.
- 73.—*Contribuciones del Laboratorio de Geocronometría*. Partes I-III.  
Pt. I.—*Discusión de Principios y Descripción de la Determinación Geoquímica por el Método Plomo Alfa o Larsen*, por CÉSAR RINCÓN ORTA, 1965.  
Pt. II.—*Nuevas aportaciones Geocronológicas y Técnicas empleadas en el Laboratorio de Geocronometría*, por CARL FRIES, JR., y CÉSAR RINCÓN ORTA, 1965.

- Pt. III.—*Compendio de Edades de Radiocarbono de Muestras Mexicanas de 1962 a 1964*, por JOSEFINA VALENCIA y CARL FRIES, JR., 1965. \$ 45.00 M.N. \$ 4.50 Dlls.
- 74.—*Estudio Geológico en el Estado de Chihuahua*. Partes I-II.  
Pt. I.—*Estudio Geológico en el Estado de Chihuahua*, por LUTHER W. BRIDGES. Geología del Area de Plomosas.  
Pt. II.—Por ZOLTAN DE CSERNA. 1966. Notas sobre la Geología de la Región de Placer de Guadalupe y Plomosas, Chih. \$ 45.00 M.N. \$ 4.50 Dlls.
- 76.—*Estudios de Mineralogía*. Partes I-III.  
1.—*Mineralización de Telurio en la Mina de la Moctezuma, cerca de Moctezuma, Sonora*.  
2.—*Métodos de Laboratorio para la Separación y Purificación de Muestras Minerales*, 1965. \$ 20.00 M.N. \$ 2.00 Dlls.
- 76.—*Estudios de Mineralogía*. Partes I-III.  
Pt. I.—*Los Minerales de Manganeso de Molango, Hgo.*, por LIBERTO DE PABLO GALÁN.  
Pt. II.—*Caolinita de Estructura Desordenada de Concepción de Buenos Aires, Edo. de Jalisco, México*, por LIBERTO DE PABLO GALÁN.  
Pt. III.—*Nota Preliminar sobre la Identificación por Rayos X, de Oxido Tálico TL<sub>2</sub>O<sub>3</sub>*, por JESÚS RUIZ ELIZONDO, GLORIA AVILA L., OCTAVIO CANO CORONA y GLORIA AYALA ROJAS, 1965. \$ 35.00 M.N. \$ 3.50 Dlls.
- 77.—*Los Minerales Mexicanos 3. DURANGITA*, por FRANCISCO J. FABREGAT G., 1966. \$ 45.00 M.N. \$ 4.50 Dlls.
- 78.—*Los Minerales Mexicanos 4. CUMENGEITA*, por FRANCISCO J. FABREGAT G., 1966. \$ 30.00 M.N. \$ 3.00 Dlls.
- 79.—*Los Minerales Mexicanos 5. LIVINGSTONITA*, por FRANCISCO J. FABREGAT G., 1966. \$ 30.00 M.N. \$ 3.00 Dlls.
- 80.—*"Biogeología Subsuperficial del Arrecife Alacranes, Yucatán"*, por FEDERICO BONET. \$ 60.00 M.N. \$ 6.00 Dlls.
- 81.—*Ecology Distribution and Texonomy of Recent Ostracoda of Laguna de Términos Campeche, México*, por GUSTAVO A. MORALES. \$ 30.00 M.N. \$ 3.00 Dlls.
- 82.—*Estudios de Geocronometría y Mineralogía*, por J. PANTOJA A., LIBERTO DE PABLO, RICHARD V. GAINES y F. J. FABREGAT.

Para su adquisición diríjase al:  
Instituto de Geología, Oficina de Publicaciones — Ciudad Universitaria,  
México 20, D. F.

Se terminó la impresión del *Boletín 80*  
el 6 de junio de 1967, en los talleres  
de la Editorial Stylo. Las láminas en  
huecograbado por Impresiones en Hueco-  
grabado, las dos en la ciudad de México.