

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**

**FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS**



**“DETERMINACIÓN DE PALEOAMBIENTE  
PARA EL PLEISTOCENO  
EN ISLA CORONADOS, BAJA CALIFORNIA SUR.”**



**TESIS  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
OCEANÓLOGA  
PRESENTA:  
CITLALI LIZETH MIRABAL DÁVILA**


**Ensenada, Baja California a Junio del 2006.**


**“DETERMINACIÓN DE PALEOAMBIENTE  
PARA EL PLEISTOCENO  
EN ISLA CORONADOS, BAJA CALIFORNIA SUR.”**

**TESIS DE LICENCIATURA  
QUE PRESENTA  
CITLALI LIZETH MIRABAL DÁVILA**

Aprobada por:

  
\_\_\_\_\_  
Presidente del Jurado  
**Dr. Jorge Ledesma Vázquez**

  
\_\_\_\_\_  
Sinodal propietario  
**Dr. Guillermo Eliezer Avila Serrano**

  
\_\_\_\_\_  
Sinodal propietario  
**Dr. Francisco Javier Aranda Manteca**

## AGRADECIMIENTOS

A la 10ª Convocatoria de Investigación UABC del proyecto: ATLAS DE ECOSISTEMAS COSTEROS EN EL GOLFO DE CALIFORNIA: PASADO Y PRESENTE, por su apoyo para la realización de este trabajo.

Al Dr. Jorge Ledesma Vázquez, por su apoyo y confianza para la realización de este trabajo y de otros más, por su paciencia y comprensión en todo momento y por sus consejos.

Al Dr. Guillermo Eliécer Avila Serrano por su amistad y apoyo, por sus consejos y paciencia y por su amabilidad y buen sentido del humor.

Al Dr. Francisco Javier Aranda Manteca por su tiempo y disponibilidad para la revisión de este escrito y su orientación para el mejoramiento del mismo.

Al Dr. Miguel Agustín Téllez Duarte por su disposición y ayuda, por su apoyo con el microscopio y material bibliográfico para la identificación de los foraminíferos.

Al Dr. Oscar Efraín González Yajimovich, por facilitarme el uso del coulometro, por su ayuda en la traducción de algunos artículos y por su disponibilidad en todo momento.

Al Oc. Luis Aguilar por su ayuda en la toma de las fotografías de los foraminíferos.

## AGRADECIMIENTOS

A mis papás y hermanos por su amor, apoyo y confianza, por su interés en mi superación tanto personal como profesional y sobre todo gracias por siempre creer en mí y en lo que me propongo.

A mis abuelos que aunque no saben bien lo estudie, confiaron en mí y siempre me echaron porras.

A mis tíos por su apoyo y cariño.

A Dante por su amistad, por todos esos días de estudio y diversión que tuvimos juntos, por siempre estar ahí.

A Emmanuel, Federico, Hiram y Salvador, por su cariño y amistad incondicional y por todos esos fines de semana en familia inolvidables.

A Ana, Karla y Circe por su amistad y apoyo, por todos los momentos vividos y por su cariño.

A Haide, Luis y Priscilla por su amistad y enorme cariño, que con todo y la distancia siguen intactos, por hacer más fáciles y divertidos mis primeros meses en este puerto y por esos momentos fabulosos juntos.

A Luis A. Ríos por su amor y apoyo en la última etapa de este proyecto.

A todos mis compañeros y amigos que de una u otra manera formaron y forman parte de esta experiencia e hicieron más fáciles y amenos todos y cada uno de los momentos vividos.

A todos mis maestros, que tal vez algunos ni me recuerden, gracias por sus enseñanzas y por su constante motivación y entera disponibilidad.

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue interpretar el paleoambiente asociado al desarrollo de un arrecife coralino del Pleistoceno en Isla Coronados, Baja California Sur por medio de una secuencia estratigráfica.

Se recolectaron e identificaron organismos fósiles, se identificaron los constituyentes biogénicos y el porcentaje de composición. Se realizaron análisis para la descripción de las características texturales de los sedimentos, de la distribución y abundancia de las especies más comunes de foraminíferos y del contenido de carbonato de calcio.

El área de estudio se identifica como una zona de energía media, con una incidencia de baja a media del oleaje, un ambiente carbonatado de aguas frías asociado a arrecifes coralinos someros y una transición de la asociación photozoan a rhodalgal y carbonatos asociados a una profundidad de 30 a 50 m.

Los depósitos presentes se identificaron como de costa rocosa y marino somero de alta energía adyacente a la línea de costa rocosa. La interestratificación de conglomerado y biocalcarenita así como la presencia de colonias de coral son evidencia de una transgresión marina.

En base a lo anterior, se concluye que la zona de estudio es una laguna costera inundada por una transgresión del nivel del mar, lo que permitió el desarrollo del arrecife coralino.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Página</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>II. ANTECEDENTES</b> .....	<b>9</b>
<b>III. HIPÓTESIS</b> .....	<b>12</b>
<b>IV. OBJETIVO</b> .....	<b>12</b>
<b>V. ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	<b>12</b>
<b>VI. METODOLOGÍA</b>	
<b>Métodos de campo</b> .....	<b>14</b>
<b>Métodos de laboratorio</b> .....	<b>14</b>
<b>VII. RESULTADOS</b>	
<b>Levantamiento estratigráfico</b> .....	<b>18</b>
<b>Macrofósiles</b> .....	<b>22</b>
<b>Foraminíferos</b> .....	<b>25</b>
<b>Análisis granulométrico</b> .....	<b>27</b>
<b>VIII. DISCUSIONES</b> .....	<b>30</b>
<b>IX. CONCLUSIONES</b> .....	<b>36</b>
<b>X. REFERENCIAS</b> .....	<b>37</b>
<b>XI. ANEXOS</b> .....	<b>41</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
<b>I. Descripción de las asociaciones sedimentarias según James (1997), Corannante <i>et al.</i> (1988), Less y Buller (1972) .....</b>	<b>2</b>
<b>II. Descripción de las asociaciones sedimentarias según al ambiente en que domina .....</b>	<b>3</b>
<b>III. Categorías y determinación de ambiente en base al % de <math>CaCO_3</math> en los sedimentos, Halfar <i>et al.</i> 2000 .....</b>	<b>10</b>
<b>IV. Fósiles identificados fuera de la laguna .....</b>	<b>23</b>
<b>V. Fósiles identificados dentro de la boca principal de la laguna.....</b>	<b>24</b>
<b>VI. Especies de foraminíferos y números de organismos encontrados en cada muestra recolectada en Isla Coronados, B.C.S. ....</b>	<b>25</b>
<b>VII. Distribución y parámetros de frecuencia, para las muestras recolectadas en Isla Coronados, B.C.S. ....</b>	<b>27</b>
<b>VIII. Porcentaje de <math>CaCO_3</math> en las muestras tomadas en Isla Coronados, B.C.S .....</b>	<b>28</b>
<b>IX. Constituyentes biogénicos en las muestras tomadas en Isla Coronados, B.C.S. ....</b>	<b>28</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
<b>FIGURAS</b>	
1. Diagrama de las facies de un arrecife, corte transversal .....	4
2. Diagrama de facies de un arrecife .....	5
3. Subdivisión de ambientes carbonatados de agua poco profunda en el Golfo de California .....	8
4. Localización geográfica de Isla Coronados, B.C.S. ....	12
5. Imagen de la zona estudio y regiones del sistema .....	14
6. Fotografía del afloramiento de la parte externa de la laguna de la Isla Coronados .....	18
7. Columna estratigráfica para la parte externa de la laguna de Isla Coronados, B.C.S. ....	19
8. Fotografía del afloramiento de la parte interna de la laguna de la Isla Coronados .....	20
9. Columna estratigráfica para la parte interna de la laguna de Isla Coronados, B.C.S. ....	21
10. <i>Criboelehidium sp.</i> encontrado en Isla Coronados, B.C.S. ....	26

11. Diagrama de Laguna Coronados, antes, durante y después del aumento del nivel del mar .....	31
12. <i>Codakia distinguenda</i> en posición de vida, Isla Coronados, B.C.S. ....	33
13. Colonia del coral <i>Porites panamensis</i> , Isla Coronados, B.C.S. ....	34
14. <i>Quinqueloculina lamarkiana</i> encontrada en Isla Coronados, B.C.S. ....	35

**En Anexos**

<b>1. Cambios del nivel del mar durante el Pleistoceno .....</b>	<b>41</b>
<b>2. Gráfico de distribución normal, para la muestra CC1 tomada en Isla Coronados, B.C.S. ....</b>	<b>42</b>
<b>3. Gráfico de distribución normal, para la muestra CC2 tomada en Isla Coronados, B.C.S. ....</b>	<b>42</b>
<b>4. Gráfico de distribución normal), para la muestra CC3 tomada en Isla Coronados, B.C.S. ....</b>	<b>43</b>
<b>5. Gráfico de distribución normal, para la muestra CC6 tomada en Isla Coronados, B.C.S. ....</b>	<b>43</b>
<b>6. Gráfico de distribución normal, para la muestra A tomada en Isla Cornoados, B.C.S. ....</b>	<b>44</b>
<b>7. Gráfico de distribución normal), para la muestra B tomada en Isla Coronados, B.C.S. ....</b>	<b>44</b>

## I. INTRODUCCIÓN

La paleontología estudia la descripción taxonómica de los fósiles y su interpretación en la reconstrucción de condiciones ambientales antiguas. Los fósiles se definen como huellas o remanentes de seres que vivieron en la antigüedad (Mc Kerrow, 1978). Una rama de la paleontología es la paleoecología a través de la cual se estudian las interacciones entre los organismos y su medio en épocas pasadas (Mc Kerrow, 1978). Basándose en la paleoecología, se pueden realizar estudios de paleogeografía, estratigrafía y algunos aspectos de la geología estructural, lo que se manifiesta por ciertos cambios en las comunidades. Las interpretaciones paleontológicas pueden hacerse en base a rasgos fisiológicos y/o morfológicos generales de los fósiles (Ladd, 1957), por lo que los procesos de adaptación de un organismo a un medio ambiente particular definen su estructura y forma, razón por la que los fósiles son una gran herramienta para la interpretación de paleoambientes.

Muchas de las interpretaciones paleoambientales se basan ampliamente en el conocimiento de modelos actuales de sedimentación, de ciclos químicos, de circulación, de la dinámica de las masas de agua y de la relación de estos factores con los organismos. Por lo anterior, los sedimentos biogénicos acumulados proveen información sobre variables biológicas, físicas y químicas del ambiente (Hernández-Flores, 1981).

Por ejemplo, los depósitos de carbonato en las plataformas están controlados por la temperatura, la salinidad, balance de CO<sub>2</sub>, profundidad del agua, regímenes de corrientes, penetración de la luz, naturaleza del sustrato y por la turbidez, aunque en una escala global, la salinidad y la temperatura son el principal control (Lees, 1975). A partir de esto, los sedimentos carbonatados se dividen en dos asociaciones dependiendo de la temperatura del agua: asociación *foramol* típica de aguas templadas, y asociación *chlorozoan* típica de aguas cálidas (Less and Buller, 1972). La primera incluye el detrito de foraminíferos bentónicos, moluscos, briozoarios, percebes y algas calcáreas rojas como componentes dominantes; equinodermos, ostracodos y espículas de esponjas como

componentes accesorios (Tabla I y II). La asociación *chlorozoan* contiene muchos de los componentes *foramol*, incluyendo corales hermatípicos y algas verdes calcáreas.

**Tabla I.** Descripción de las asociaciones carbonatadas según James (1997), Corannante *et al.* (1988), Less y Buller (1972).

CARBONATOS \ AUTOR	James (1997)	Corannante <i>et. al.</i> , (1988)	Less y Buller (1972)
Carbonatos de agua tropical	<p><u>Asociación heterozoan</u></p> <p>Abundan oolitas y granos agregados, corales y algas calcáreas verdes. Son poco abundantes las algas calcáreas rojas, los foraminíferos y los briozoarios.</p>	<p><u>Asociación chlorozoan</u></p> <p>Abunda coral hermatípico y algas calcáreas verdes.</p>	<p><u>Asociación chlorozoan</u></p> <p>Abunda coral hermatípico y algas calcáreas verdes.</p>
Carbonatos de agua subtropical			<p><u>Asociación chloralgal</u></p> <p>Abundan algas calcáreas verdes y carencia de corales (Less, 1975).</p>
Carbonatos de agua fría	<p><u>Asociación photozoan</u></p> <p>Dominan moluscos, briozoarios, foraminíferos y algas calcáreas rojas.</p>	<p><u>Litofacies molechfor</u></p> <p>Esta litofacies representa el mismo tipo de grano que la asociación foramol. Dominan moluscos, foraminíferos y equinodermos.</p> <p><u>Litofacies rhodalgal</u></p> <p>Dominan algas calcáreas rojas y briozoarios.</p>	<p><u>Asociación foramol</u></p> <p>Dominan moluscos, foraminíferos y equinodermos.</p>

**Tabla II.** Descripción de las asociaciones carbonatadas según al ambiente en que dominan.

CARBONATOS	ASOCIACIÓN	AMBIENTE
Carbonatos de agua tropical	Heterozoan	Representan un ambiente de aguas marinas a temperaturas menores de 20° C, característicos de rampas y plataformas abiertas.
	Chlorozoan	Esta asociación está relacionada a ambientes lagunares y arrecifales someros (Pomar L. <i>et al.</i> , 2004). Típica de aguas cálidas, donde el mínimo de temperatura no excede de los 14° a 15° C (Sellwood, 1986).
Carbonatos de agua subtropical	Chloralgal	En ambientes con rangos extremos de salinidad (Less, 1975).
Carbonatos de agua fría	Litofacies rhodalgal	Sedimentos rodolíticos, están asociados a altas pendientes y arrecifes coralinos someros.
	Litofacies molechfor	Aguas donde el mínimo de temperatura excede los 15° C (Sellwood, 1986).
	Photozoan	Asociados a la naturaleza dependiente de la luz. Temperaturas inferiores a 22° C (James, 1997).
	Foramol	Aguas donde el mínimo de temperatura excede los 15° C (Sellwood, 1986).

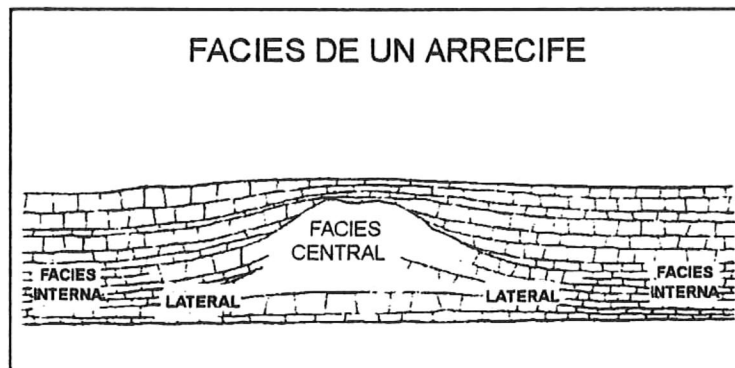
Las numerosas secreciones de carbonato de calcio de organismos (corales), permanecen sobre los restos de sus antecesores y están rodeados frecuentemente por restos de esqueletos de organismos pequeños que vivieron sobre, por debajo y entre ellos. Como los arrecifes son construidos por organismos, los arrecifes fósiles son un depósito clave de información paleontológica, en tanto que los actuales son un laboratorio natural para el estudio de la ecología bentónica marina (Walker, 1984).

Los arrecifes generalmente se subdividen en tres facies (Fig. 1 y 2):

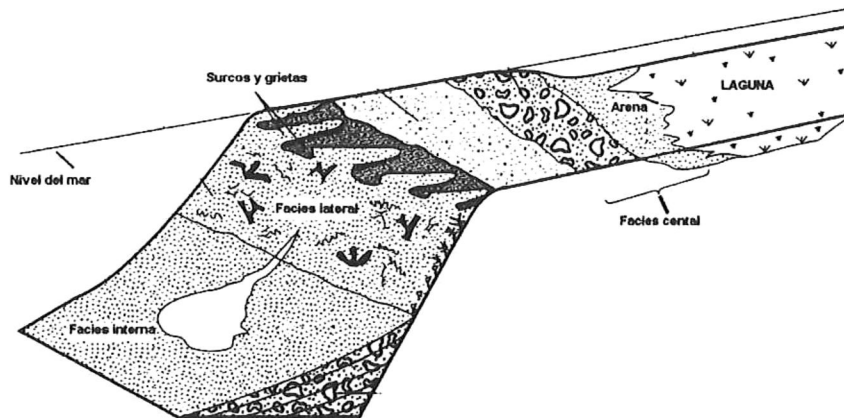
1. Facies central del arrecife: masiva, sin estratificación, frecuentemente con carbonatos nodulares y lenticulares que incluyen esqueletos de organismos y una matriz de lodos calcáreos.
2. Facies lateral del arrecife: con estratificación de conglomerados y arenas calcáreas, material derivado del arrecife, facies inclinada y delgada fuera del centro del arrecife.
3. Facies interna del arrecife: normalmente de aguas someras, presencia de calizas submareales, sin relación a la formación del arrecife, o sedimentos siliclásticos de grano fino (Walter, 1984).

Las facies arrecifales son mejor diferenciadas en base a criterios independientes como son:

- La relación y la abundancia relativa entre los esqueletos y los sedimentos, por ejemplo, el tipo de carbonatos del arrecife.
- La diversidad de especies que conforman al arrecife.
- La forma de crecimiento del coral.



**Figura 1.** Diagrama de las facies de un arrecife, corte transversal (Tomado de Walter, 1984).



**Figura 2.** Diagrama de facies de un arrecife (Tomado de Wright *et al.*, 1996).

El estado de conservación de cualquier afloramiento arrecifal es un delicado balance entre el crecimiento esquelético de metazoarios, la continua destrucción de los mismos organismos por los organismos huéspedes y la producción de sedimento por el rápido crecimiento y el corto tiempo de vida. Los corales generalmente permanecen *in situ* después de muertos, a no ser que sean removidos por tormentas o bioperturbadores (Walker, 1984).

La forma irregular y el hábito de crecimiento de estos arrecifes resultan en la formación de cavidades dentro de los mismos que pueden ser habitadas por pequeños bentos calcáreos. Estas cavidades también pueden ser llenadas en parte o completamente por granos finos de sedimento. Los organismos incrustadores crecen sobre las superficies muertas y ayudan a estabilizar la estructura (Walker, 1984).

La mayoría del sedimento en un arrecife es producto de la desintegración post-mortem de organismos fragmentados (algas calcáreas verdes, crinoideos) o no fragmentados (bivalvos, braquiópodos, foraminíferos). Esos organismos crecen en los rincones y las grietas, entre los esqueletos de los corales (Walker, 1984).

La abundancia relativa de organismos es una de las observaciones más fáciles que se pueden hacer en un arrecife fósil y potencialmente es una de las más útiles, aunque intuitivamente debe haber una relación simple entre la diversidad y el ambiente, observaciones recientes indican que es compleja y poco sencilla. La diversidad de la

fauna incrementa cuando existen condiciones óptimas para el crecimiento de los organismos, pero cuando la comunidad no es capaz de llegar a un equilibrio competitivo frecuentemente hay una reducción de la población. Entre los factores de estrés más comunes a los que están expuestos los corales son: 1) las fluctuaciones de temperatura y salinidad; 2) intensidad del oleaje y swell; 3) poca penetración de luz y 4) una fuerte sedimentación y/o turbulencia (Walker, 1984).

Los arrecifes pueden desarrollarse casi en cualquier lugar en el espectro de facies de carbonato. Las estructuras aisladas están dispersas en las plataformas someras de carbonato y son capaces de soportar la subsidencia. Como elementos contiguos moldean barreras largas, sinuosas, comúnmente a lo largo de los márgenes de las mismas plataformas, cerca de la región a lo largo del borde de pendientes angostas o como halos alrededor de elementos estructurales seguros (Walker, 1984).

Los corales crecen mejor y exitosamente en zonas de barlovento, islas, plataformas y atolones donde el viento y el oleaje son consecuentes, así como sobre la costa. Los arrecifes forman un rompeolas natural cuando crecen en una zona sobre la costa y crean un ambiente relativamente tranquilo (Walker, 1984).

Los corales que crecen en zonas con oleaje de alta energía presentan una clara división por zonas de acuerdo a la incidencia del oleaje. Cuando la energía del oleaje decrece, la forma de crecimiento del coral cambia, y la zonación es menos notable, el tipo y forma de los organismos que constituyen el arrecife es diferente y existe una menor diversidad (Walker, 1984). La consideración de todos estos factores facilitan las interpretaciones paleoambientales.

También uno de los grupos que facilitan estas interpretaciones son los foraminíferos bentónicos (Hernández-Flores, 1981). Los foraminíferos son utilizados en la paleontología debido a que sus formas antiguas son correlacionables a las del presente, y porque son sensibles a los cambios climáticos (Lipps *et al*, 1979). Los foraminíferos asociados a ambientes someros (lagunas, bahías u otras zonas costeras internas), donde existe la máxima disponibilidad de  $\text{CaCO}_3$ , la mayoría son de la familia

Miliolidae, que por lo general ocupan más de la mitad de la población de los foraminíferos y además decrecen conforme aumenta la profundidad (Bandy, 1967).

Los foraminíferos típicos de lagunas costeras son muy cosmopolitas, pero dominan los calcáreos, como los géneros *Ammonia* y *Elphidium* (Bandy, 1967).

La salinidad de las lagunas costeras en general es muy variable, además cambian por temporada y de un lugar a otro. El intervalo de pH, según Emery y Stevenson (1957; citado en Bandy, 1967), se mantienen en un intervalo de aproximadamente 7.6 a 8.6. El sedimento generalmente es fino, pobremente clasificado y con una variación grande debido a la presencia de canales (Bandy, 1967).

El Golfo de California representa un mar subtropical caracterizado por altas tasas de productividad primaria (Zeitschel, 1969) y es una de las unidades biológicas más productivas en el mundo; esto es resultado de su posición latitudinal y su configuración geomorfológica del biota (Bray, 1988). La boca del Golfo es la unión de la corriente de California con la corriente Norecuatorial, limitando climas de temperaturas cálidas y climas subtropicales, estableciendo así una unidad topográfica, oceanográfica y climática que permite la formación de ambientes carbonatados (Bray, 1988; Bray and Robles, 1991). Muchas de las condiciones para la formación de carbonatos que existen en el lado este del Pacífico no existen en el Golfo, esto es debido a la combinación de efectos de un mar semi-cerrado, como lo es el Golfo (Halfar *et al.*, 2000).

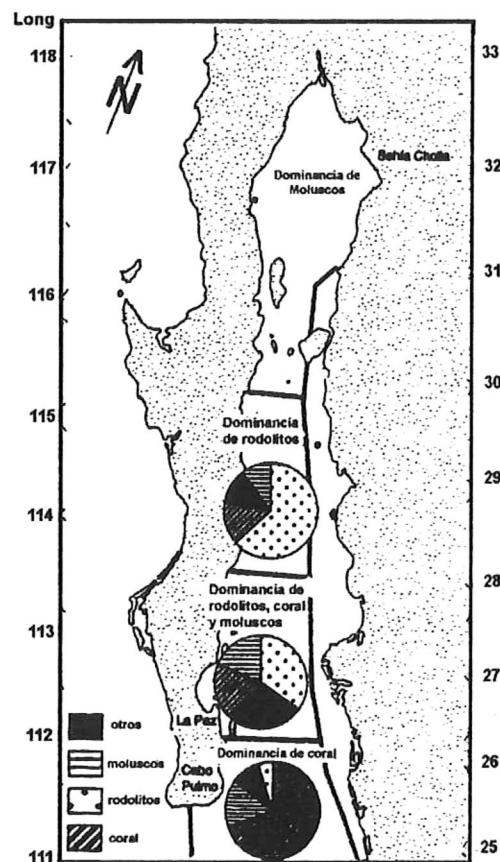
El Golfo de California es un moderno ejemplo del control de la producción de carbonatos por fuertes fluctuaciones de nutrientes y temperatura, como consecuencia de esto presenta una fuerte variación de ambientes carbonatados *heterozoan* a *photozoan* (Halfar *et al.*, 2000).

Los ambientes carbonatados en el este del Golfo de California están restringidos lateralmente, esto se atribuye a su batimetría que tiene plataformas angostas. En la mayoría de los lugares están limitados a pequeñas bahías a lo largo de los márgenes noreste y occidentales del Golfo (Halfar *et al.*, 2000).

Según estudios realizados por Halfar *et al.* (2000), Fürsich *et al.* (1991) y Flessa y Ekdale (1987), el Golfo de California puede dividirse en cuatro zonas de acuerdo al

contenido de carbonatos y a los constituyentes biogénicos de los sedimentos. Los ambientes carbonatados en el norte del Golfo de California están dominados claramente por moluscos. En la parte central los carbonatos son producidos principalmente por rodolitos y en una menor contribución por corales y moluscos. Hacia el sur existe una dominancia de rodolitos, corales y moluscos, así como otros productores en menor grado. Los ambientes carbonatados en la zona más sureña del golfo (Cabo Pulmo), tienen una total dominancia de coral (Fig. 3) (Halfar *et al.*, 2000).

El presente estudio fue realizado con el objetivo de interpretar el paleoambiente asociado a las características del desarrollo de un arrecife coralino fósil, por medio de una secuencia estratigráfica.



**Figura 3.** Subdivisión de ambientes carbonatados de agua poco profunda en el Golfo de California (Tomado de Halfar, 2000).

## II. ANTECEDENTES

En 1997 Dorsey realizó una descripción e interpretación de facies carbonatadas ricas en rodolitos en la sección Punta el Bajo, Loreto, B.C.S., y su asociación con capas de conglomerados de líneas de costa rocosa, en la sección Punta el Bajo, Loreto, B.C.S. Las clasifica como litofacies rhodalgal, que contiene abundantes algas rojas en forma de rodolitos y que son características de zonas climáticas de transición entre regiones tropicales y templadas. Concluye que en la sección Pleistoceno de Punta el Bajo, conglomerados masivos fueron depositados en ambientes de costa rocosa, y las calcarenitas rhodalgales intercaladas se acumularon cerca de la cara de la playa hacia aguas ligeramente más profundas. Por lo que capas intercaladas de conglomerados y calcarenitas proveen evidencia de cuatro episodios de levantamiento por fallas, seguidos por la subsidencia y hundimiento de la línea de costa.

En el 2000 Mitchell y colaboradores, realizaron una descripción e interpretación de las litofacies presentes en la Formación Port Morant para el Pleistoceno en Jamaica. Usaron las facies para interpretar el ambiente depositacional y sugieren un modelo aplicable a sistemas depositacionales similares de carbonatos clásticos mezclados. Concluyen que la Formación Port Moran es una sucesión de relleno lagunar, existiendo dos posibles eventos de transgresión.

En el 2000 Halfar Jochen y colaboradores realizaron un análisis de microfacies en La Paz, B.C. hacia la parte suroeste del Golfo de California, con aplicación directa en la interpretación de la formación y la preservación de los sedimentos carbonatados cálidos-templados a subtropicales, con el objetivo de proveer un modelo de la formación de carbonatos no-tropicales en un ambiente carbonatado restringido lateralmente en el Pacífico oriental y compararlo con ambientes carbonatados a nivel mundial.

Mediante un análisis del contenido de carbonatos y de los constituyentes biogénicos en los sedimentos, encontraron que las algas calcáreas rojas en forma de rodolitos son los principales productores de carbonato, y otros contribuidores significativos son los corales, moluscos, equinodermos y foraminíferos bentónicos.

Concluyen que los ambientes carbonatados de La Paz se clasifican en 3 categorías (Tabla III) y que exhiben un área en la que los sedimentos carbonatados están siendo generados y depositados en el área tectónicamente activa de la plataforma y el litoral del suroeste del Golfo de California, y que pueden ser característicos de una transición entre carbonatos templados a subtropicales.

**Tabla III.** Categorías y determinación de ambiente en base al % de  $CaCO_3$  en los sedimentos (tomado de Halfar *et al.*, 2000)

$CaCO_3$ (%)	CATEGORÍA	AMBIENTE
90 – 100	Carbonatos.	Profundidades de la zona intermareal hasta 30 m.
50 – 90	Carbonatos con aloquímicos arenosos o lodosos.	Profundidades de 30 – 50 m.
10 – 50	Lodo o arena con aloquímicos.	Profundidades >50 m.
< 10	Arcilla.	

En el 2004 Pomar y colaboradores, realizaron un trabajo demostrando la importancia de considerar otros factores aparte de la temperatura para hacer una interpretación acertada del paleoambiente de sistemas depositacionales de carbonato. También explican de que manera influyen en las áreas disponibles para la producción de ambientes carbonatados en dos plataformas carbonatadas del Mioceno en la región occidental del Mediterráneo, que están compuestas de las asociaciones sedimentarias *foramol*, *rhodalgal*, y *bryomol* formadas bajo condiciones tropicales. Finalmente encontraron evidencias de condiciones tropicales en el Mediterráneo durante el periodo de surgimiento de estas plataformas, dadas por la presencia de especies de algas rojas y foraminíferos, apoyados con datos de cuencas e isótopos de oxígeno.

En 2004, Halfar y colaboradores mediante datos de clorofila *a*, temperatura, salinidad y nutrientes del Golfo de California, complementados con la información oceanográfica de una base de datos que se compiló de un espectro de sistemas de carbonatos recientes a nivel mundial, demostraron la influencia de los nutrientes en la formación de los sistemas carbonatados y los utilizaron como una base para la interpretación de ambientes carbonatados fósiles. Encontraron que al sur del Golfo de California los principales componentes de los ambientes carbonatados son corales hermatípicos y moluscos, más hacia el norte existe una dominancia de algas calcáreas rojas, rodolitos y moluscos. En el norte del Golfo encontraron una biota productora de carbonatos dominada por moluscos y brozoarios, y pequeñas contribuciones de equinodermos y percebes. Concluyen que el sur del Golfo es ciertamente un ambiente carbonatado photozoan, la parte central es una zona de transición que contiene componentes de coral hermatípico (photozoan), pero está dominado por componentes heterozoa.

En el 2005, Ruvalcaba realizó una descripción e interpretación estratigráfica de un afloramiento del Pleistoceno en El Faro, Baja California, donde encontró una alta abundancia y frecuencia de foraminíferos de los géneros *Ammonia* y *Elphidium*, rastros de bioturbación de pastos marinos y sedimentos de limos gruesos a arenas finas, por lo que concluye que se trata de un ambiente lagunar.

### III. HIPÓTESIS

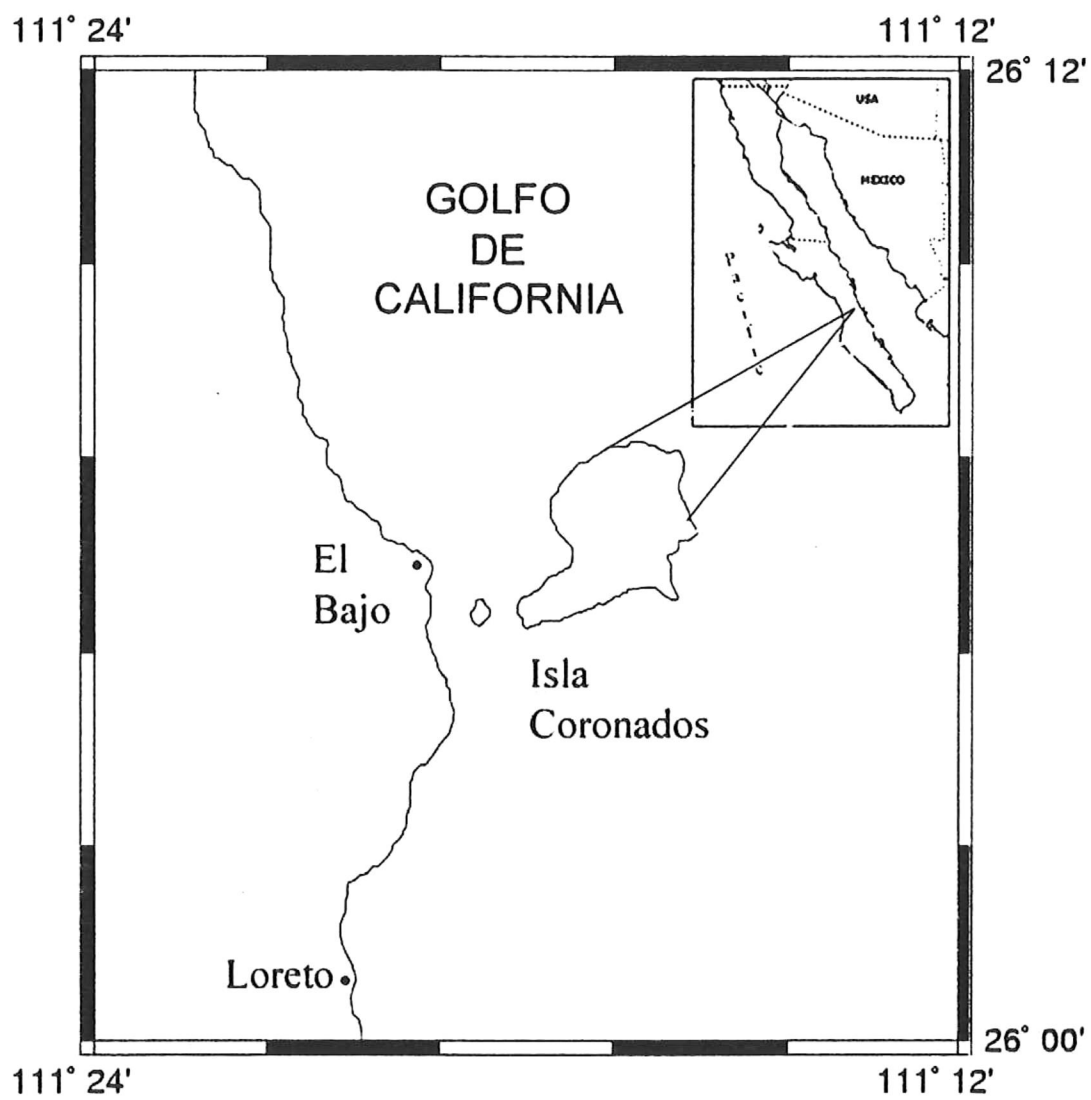
El área de estudio representa una inundación de la costa por una transgresión del nivel del mar durante el Pleistoceno, lo que permitió su colonización por organismos carbonatados. Esto posiblemente asociado a que durante el Pleistoceno se presentó una elevación del nivel del mar. De ser así las interpretaciones estratigráficas y sedimentarias deberán ser típicas de un ambiente lagunar.

### IV. OBJETIVO

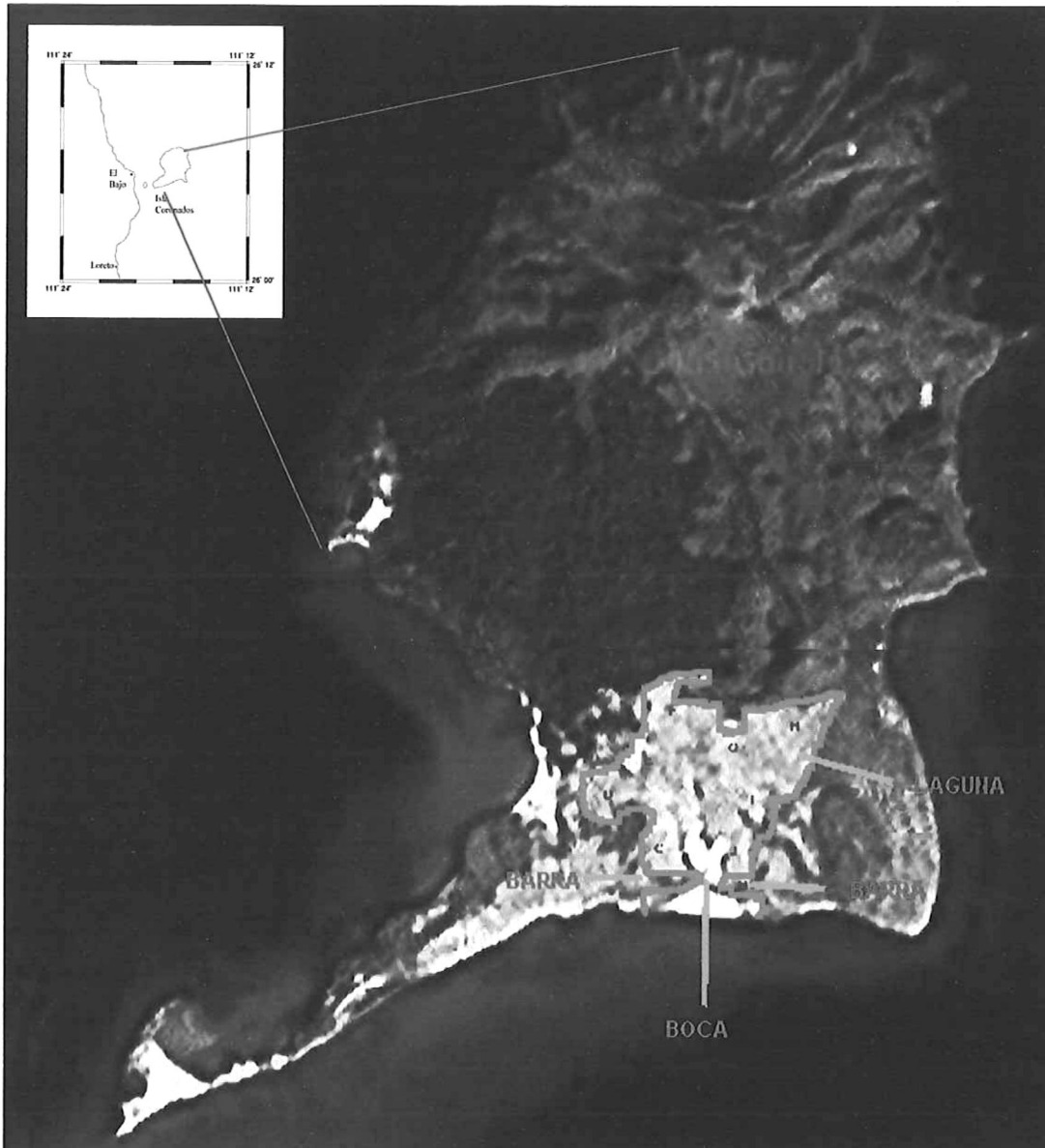
Interpretación paleoambiental de una secuencia estratigráfica asociada al desarrollo de un arrecife coralino fósil en Isla Coronados, Baja California Sur (B.C.S.).

### V. ÁREA DE ESTUDIO

Isla Coronados esta localizada a 9 km de Loreto, B.C.S., tienen un área aproximada de 7 km<sup>2</sup> (Fig. 4). La isla se divide en dos regiones, por un lado se encuentra un aparato volcánico del Pleistoceno al Reciente de aproximadamente 5 km<sup>2</sup> que domina la región norte de la isla; por otro lado se encuentra un mosaico de rocas marinas y sedimentos del Pleistoceno al Reciente que están depositados a lo largo del margen sur del cono volcánico con bloques basculados, formando así la geometría irregular que caracteriza la región sur de la isla. En el lado sureste de la cuenca se encuentran una serie de terrazas bien conservadas. Presencia de un embahamiento fósil y rocas basales volcanoclásticas. La cuenca en gran parte está rellena por arenisca en la base, sobreponiéndose una biocalcarenita de rodolitos fosilífera con estratificación cruzada y *Porites* en parche, lo que indica el comienzo de condiciones marinas en la base (Fig. 5). La cima de la sección que tiene una altura de 12 m está cubierta por un arrecife de coral fósil de *Porites*. El arrecife se desarrolló hace 121, 000 a 127, 000 años durante el nivel del mar más alto que se relaciona al episodio 5e (Anexo Fig. 1) (Johnson et al., 2006).



**Figura 4.** Localización geográfica de Isla Coronados, B.C.S. (Tomado de Johnson et al., 2006).



**Figura 5.** Imagen de la zona estudio y regiones del sistema (Tomado de Backus *et al.*, 2006). A y B zona donde se levantaron las columnas de la parte externa, C a J donde se levantaron las de la parte interna.

## VI. METODOLOGÍA

### Métodos de campo

Se llevó a cabo un reconocimiento general del área, con el fin de localizar las secciones más representativas. Habiendo elegido las secciones, se procedió a levantar 12 columnas estratigráficas, ubicando cada una con un posicionador por satélite global (GPS Garmin XXX). Finalmente se hizo una columna compuesta del área interna de la laguna y otra de la externa, ya que las capas lateralmente se observaron bastante homogéneas. Se recolectaron e identificaron organismos fósiles. Se colectaron tres muestras de sedimento de la columna más representativa de la parte interna de la laguna (CC1, CC2, CC3) y tres de la parte externa (CC6, A, B) ya que verticalmente se observaron diferencias, posteriormente se analizaron en laboratorio.

### Métodos de laboratorio

El análisis granulométrico para la descripción de las características texturales de los sedimentos se hizo mediante el tamizado de las muestras, las cuales fueron tamizadas durante 15 minutos para el análisis de tamaño de grano en tamices de 0 a 4  $\phi$  y de -1.5 a 2.5  $\phi$ . De acuerdo al tamaño de grano visible predominante de la muestra se seleccionó el tamaño de malla de los tamices. Una parte significativa de cada muestra fue tomada para el análisis, para esto la muestra se cuarteo y se tomaron aproximadamente 50 g. Los datos del análisis de tamaño de grano se procesaron con el uso del método de los momentos esto para obtener la curva de frecuencia o distribución normal (campana de Gauss), uniformidad o desviación estándar, media, asimetría y kurtosis. El análisis de los parámetros obtenidos se realizó mediante lo establecido por Folk (1974).

Se identificaron los constituyentes biogénicos y el porcentaje de composición en las muestras, esto con el uso de un lente de aumento 10X en base al diagrama de estimación visual (Terry *et al.*, 1955).

Se realizó un análisis de la distribución y abundancia de las especies más comunes de foraminíferos. Las muestras fueron lavadas con agua corriente a través de un tamiz de abertura de malla de 250  $\mu\text{m}$ , para eliminar la arcilla y facilitar la búsqueda de foraminíferos. Posteriormente las muestras se dejaron varias hora en peróxido al 30% para la eliminación de materia orgánica. Finamente las muestras fueron secadas a temperaturas menores a los 50° C para evitar dañar las testas. De cada muestra se separaron y contaron los foraminíferos de forma manual, utilizando un pincel extra fino y un microscopio estereoscópico. Se separaron 100 organismos por muestra. Las especies se identificaron siguiendo la descripción dada por Standish (1959), Andel y Shor (1964), Loeblich y Tappan (1964) y McCulloch (1977). Se escogió un organismo para cada especie, el cual se colocó de manera ventral, dorsal y algunas veces lateral para fotografiarlos y facilitar así su identificación.

Para medir el contenido de carbonato orgánico se tomó una parte significativa de cada muestra y se pulverizó manualmente en un mortero. Se pesó una submuestra de ~20 mg y fue analizada para determinar carbono inorgánico total (CIT) en un Coulometro de Dióxido de Carbono (UIC, Inc. Modelo CM5014). Para medir el contenido de CIT en el sedimento, fueron usados 5 ml de ácido perclórico en un módulo de acidificación para liberar el  $\text{CO}_2$  de cada muestra, el gas fue llevado a una celda donde fue detectado y registrado en una pantalla digital en términos de microgramos de carbón. La celda del coulometro es llenada parcialmente con un medio acuoso que contiene etanolamina y un indicador calorimétrico. El dióxido de carbono es cuantitativamente absorbido por la solución y reacciona con la etanolamina formando un ácido titratable, el cual causa que el color del indicador cambie. Los monitores de fotodetección registran el cambio de color en la solución como porcentaje de transmitancia. Después que el proceso se completa el aparato devuelve automáticamente la solución a su color original (azul). El contenido de carbonato de calcio fue calculado usando la siguiente ecuación:

$$CaCO_3 \text{ Wt. \%} = \frac{0.8335 (\mu g C_{\text{muestra}} - \mu g C_{\text{blanco}})}{W_{\text{t}_{\text{muestra}}}}$$

la cual da el valor de carbonato expresado en porcentaje de peso del sedimento (Gonzales-Yajimovich, 2004).

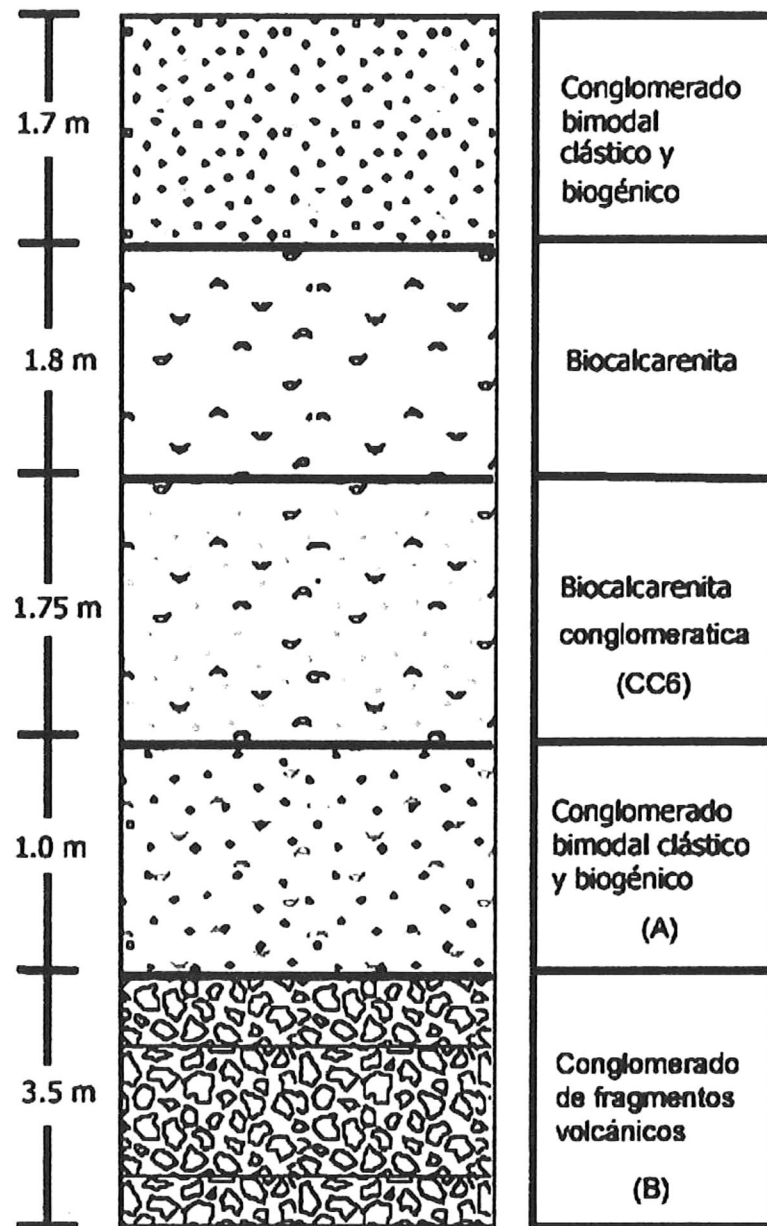
## VII. RESULTADOS

### Levantamiento estratigráfico

El afloramiento de la parte externa de la laguna de Isla Coronados se muestra en la figura. 6 y la sección está representada en una columna estratigráfica compuesta (Fig. 7).



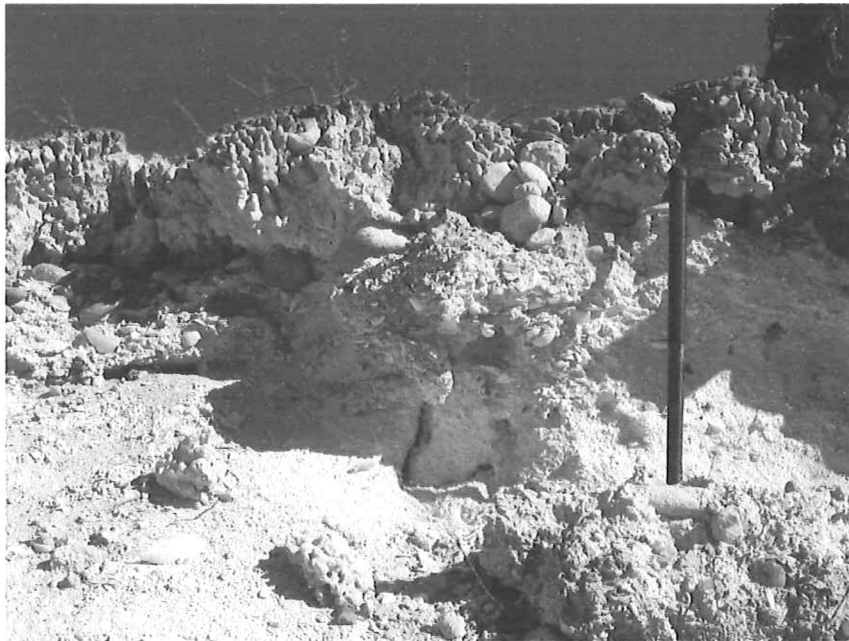
**Figura 6.** Fotografía del afloramiento de la parte externa de la laguna de Isla Coronados, B.C.S.



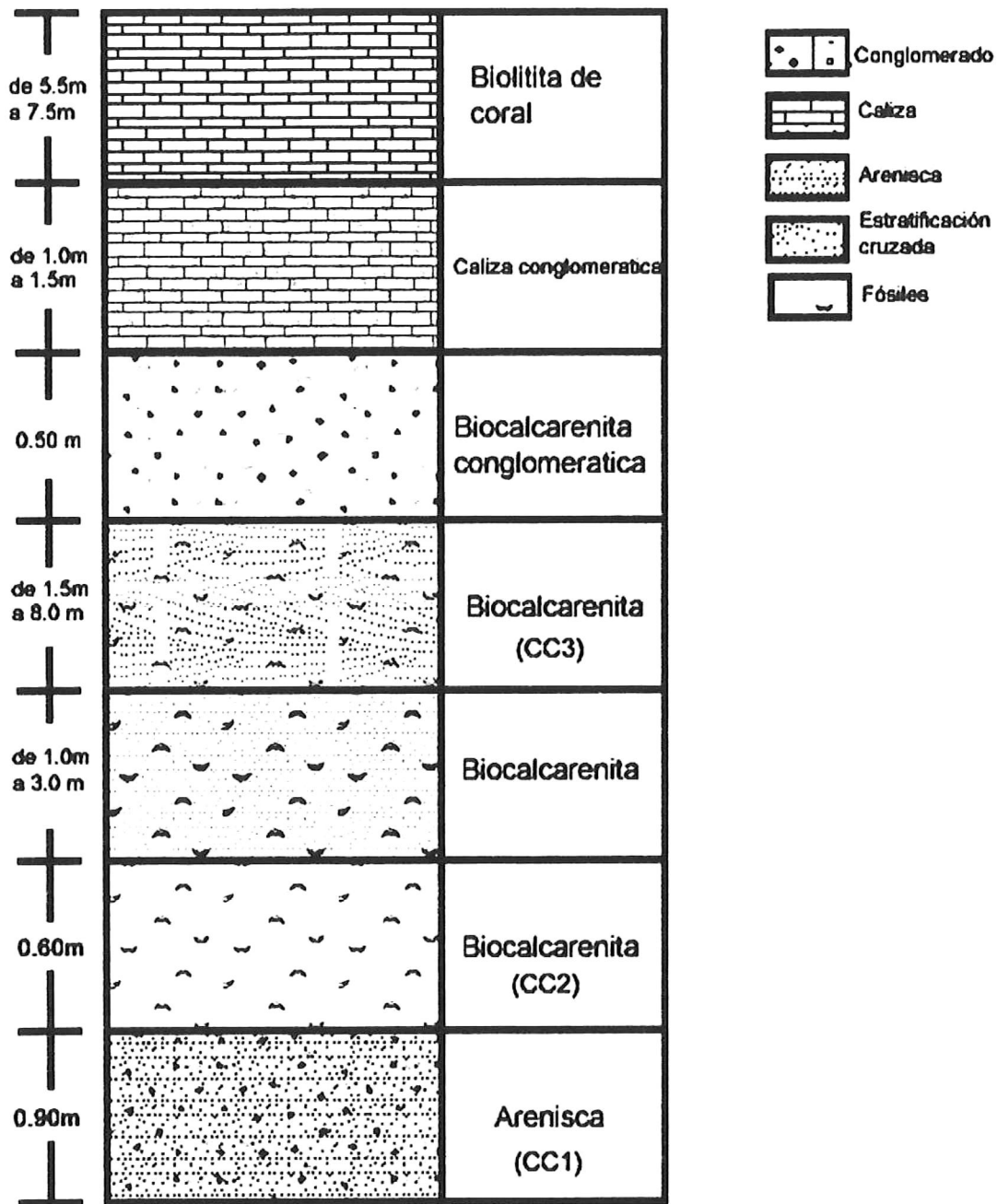
**Figura 7.** Columna estratigráfica para la parte externa de la laguna de Isla Coronados, B.C.S.

La sección contiene tres capas de conglomerado de 1 a 3.5 m de espesor formadas por fragmentos de roca volcánica dentro de una matriz de fragmentos de rodolitos que van de arena gruesa a grava fina. La capa superior de la columna se distingue de las otras dos capas conglomeráticas debido a que exhibe fragmentos de gasterópodos, bivalvos, y presenta clastos bien redondeados y clasificados de ~6 a 15 cm. Entre las capas de conglomerados se encuentran dos capas masivas de fragmentos de rodolitos (biocalcarenita) de ~1.8 m de espesor cada una, exhiben fragmentos y ejemplares completos así como fragmentos de *Porites* y anélidos. La capa intermedia de la columna también presenta clastos de fragmentos de rocas volcánicas de angulosos a subangulares en una sola línea.

El afloramiento de la parte interna de la laguna de Isla Coronados se muestra en la figura 8 y la sección está representada en la columna estratigráfica compuesta (Fig. 9).



**Figura 8.** Fotografía del afloramiento de la parte interna de la laguna de Isla Coronados, B.C.S.



**Figura 9.** Columna estratigráfica para la parte interna de la laguna de Isla Coronados, B.C.S.

La capa basal es una arenisca, presenta fragmentos de roca granítica bien redondeados, carbonatos sólo como arenas y corales pequeños y tiene un espesor de 0.90 m. Dentro de la columna se encontraron cuatro biocalcarenitas de 0.5 m a 8.0 m de espesor. La biocalcarenita inferior no presenta estratificación y exhibe un alto contenido de fósiles, tiene un grosor de 0.6 m. La biocalcarenita intermedia presenta un contacto gradacional a normal y una estratificación pobre, dominan los rodolitos y contiene colonias completas, con una matriz de arena fina (fragmentos de carbonatos), la capa tiene un color beige a rosado y un grosor de 1 m a 3,0 m, presencia de *Chione sp.* y *Pina sp.* La biocalcarenita superior con un grosor de 1.5 m a 8.0 m presenta estratificación cruzada con un contacto gradacional a normal, con una alta presencia de fósiles y fragmentos de rodolitos. La biocalcarenita conglomerática es un conglomerado basal de fragmentos de rocas volcánicas dentro de una matriz de grano muy fino de color rosado a rojizo, presenta una alta ocurrencia de fragmentos de fósiles y fragmentos del coral *Porites panamensis*, tiene un grosor de 0.5 m. La capa que le antecede a la superior de la columna es una caliza conglomerática dentro de una matriz de rodolitos, tiene un espesor de 1.0 m a 1.5 m, presenta fósiles de coral (*Porites panamensis*), fragmentos de rocas volcánicas y fósiles como *Codakia sp.* en posición de vida, *Turbo*, *Pecten*, *Strombus* y *Chione*. La capa superior es una biolitita de coral con un espesor de 5.5 m a 7.5 m, presenta colonias de coral y corales en parche de *Porites panamensis*, así como fragmentos de roca volcánica.

#### Macrofósiles

Los fósiles fueron recolectados dentro y fuera de la laguna encontrándose un número similar de especies en ambos casos (Tabla IV y V, respectivamente).

Se encontraron 17 especies de bivalvos en el área externa de la laguna y 19 dentro, de las cuales 13 se encuentran en ambas zonas. Se identificaron 19 especies de gasterópodos en la parte externa y 17 en la interna, 11 de ellas presentes en las dos áreas.

A diferencia de la parte interna de la laguna, en la externa se identificaron dos especies de equinodermos y una de anélidos (tubos de gusanos).

**Tabla IV.** Fósiles identificados fuera de la laguna (aproximadamente a 100 m de la boca) Abreviaciones: Ar: articulada; D: desarticulada, R: presencia rara, C: común, A: abundante.

Bivalvos	Gasterópodos	Colenterata
<i>Barbatia reeveana</i> , D, R	<i>Fasciolaria princeps</i> , C (una concha muy grande)	<i>Porites panamensis</i> , A
<i>Anadara multicosata</i> , Ar, A	<i>Strombus galeatus</i> , C	Anélidos (1 especies)
<i>Glycymeris maculata</i> , D R	<i>Strombus granulatus</i> , R	Tubos de gusano R
<i>Spondylus crassisquama</i> , Ar, A	<i>Turbo squamiger</i> , R	Equinodermos (2 especies)
<i>Spondylus victoriae</i> , Ar, A	<i>Trivia solandri</i> , R	<i>Encopoe grandis</i> ,
<i>Cardita megastrophia</i> , Ar, C	<i>Bulla aspersa</i> , R	subespecies <i>inezana</i>
<i>Codakia distinguenda</i> , Ar, C	<i>Cassis coarctata</i> , R	<i>Encope californica</i>
<i>Periglypta multicosata</i> , D, C	<i>Phyllonotus princeps</i> , R	
<i>Chione californiensis</i> , Ar, C	<i>Turritella gonostoma</i> , R	
<i>Megapitonia squalida</i> , Ar, A	<i>Terebra variegata</i> , C	
<i>Ostrea fisheri</i> , D, R	<i>Conus regalitatus</i> , R	
<i>Crassatellites diqueti</i> , D, R	<i>Conus bartsehi</i> , R	
<i>Divaricella lucasens</i> , D, R	<i>Conus recurvus</i> , R	
<i>Lyropecten subnodosus</i> , Ar & D, C	<i>Oliva davisae</i> , C	
<i>Lima tetrica</i> , D, R	<i>Alabina stronghi</i> , R	
<i>Pecten vogdesi</i> , Ar, C	<i>Polinices bifasciatus</i> , R	
<i>Modiolus capax</i> , D, R	<i>Murex lenensis</i> , R	
	<i>Mioulus cerodes</i> , R	
	<i>Crepidula onyx</i> , R	

**Tabla V.** Fósiles identificados dentro de la boca principal de la laguna (debajo de la capa rocosa de coral).

Bivalvos	Gasterópodos
<i>Barbatia reeveana</i> , D, C	<i>Fasciolaria princeps</i> , R
<i>Anadara multicosata</i> , D, R	<i>Strombus galeatus</i> , A
<i>Glycymeris maculata</i> , D, R	<i>Strombus granulatus</i> , A
<i>Spondylus victoriae</i> , D, R	<i>Turbo fluctuosus</i> , C
<i>Cardita megastrophia</i> , D, C	<i>Trivia solandri</i> , R
<i>Codakia distinguenda</i> , D & Ar, very A	<i>Phyllonotus princeps</i> , R
<i>Periglypta multicosata</i> , D, R	<i>Crepidula onyx</i> , R
<i>Chione californiensis</i> , D, C	<i>Crucibulum imbricatum</i> , R
<i>Chione tumens</i> , D, C	<i>Bulla aspersa</i> , R
<i>Megapiteria squalida</i> , D, R	<i>Architectonica noblis</i> , R
<i>Lyropecten subnodosus</i> , D, R	<i>Malea ringens</i> , R
<i>Pecten vogdesi</i> , D, R	<i>Cassis coarctata</i> , R
<i>Modiolus capax</i> , D, R	<i>Conus regularis</i> , R
<i>Pina corteziana</i> , D, R	<i>Conus princeps</i> , R
<i>Pseudochama exogyra</i> , D, R	<i>Vascum caestus</i> , R
<i>Tagelus californienus</i> , D, C	<i>Oliva davisae</i> , R
<i>Ostrea sp.</i> D, R	<i>Terebra variegata</i> , R
<i>Pinctada mazatlanica</i> , D, R	
<i>Arca pacifica</i> , D, R	

En 8 de las especies de bivalvos identificadas fuera de la laguna, los organismos se encontraron desarticulados y su incidencia fue rara, para las otras 9 especies los organismos estaban articulados y con una ocurrencia de común a abundante. En cuanto a los gasterópodos sólo tres de las 19 especies presentaron una ocurrencia común, el resto tuvo incidencia rara.

En todas las especies identificadas dentro de la laguna (Tabla IV y V), los organismos se encontraron desarticulados, esto debido a que los organismos fueron colectados debajo de la capa rocosa de coral. La incidencia de la mayoría de las especies fue rara tanto en los bivalvos como en los gasterópodos. *Codakia distinguenda* fue el

único bivalvo con una ocurrencia alta y de los gasterópodos fueron *Strombus galeatus* y *Strombus granulatus*. Algunas especies se encontraron en posición de vida, principalmente *Codakia*.

#### Foraminíferos

Los resultados del análisis microfaunístico de foraminíferos se presentan en la tabla VI.

**Tabla VI.** Especies de foraminíferos y número de organismos encontrados en cada muestra recolectada en Isla Coronados, B.C.S.

ESPECIES	CC1	CC2	CC3	CC6
<i>Cibicides sp.</i>	15	3	2	0
<i>Criboelphidium sp.</i>	0	0	55	0
<i>Elphidium sp.</i>	13	0	8	0
<i>Epistominella sp.</i>	0	0	3	0
<i>Gyroidina sp.</i>	0	0	4	0
<i>Nonion sp.</i>	19	0	6	0
<i>Nonionella basispinata</i>	2	0	0	0
<i>Quinqueloculina candeiana</i>	0	8	0	0
<i>Quinqueloculina cf. flexuosa</i>	0	3	0	0
<i>Quinqueloculina lamarkiana</i>	17	56	4	76
<i>Quinqueloculina sp.</i>	33	31	17	24

Las muestras recolectadas dentro de la laguna muestran un mayor número de especies, en tanto que en la muestra recolectada fuera sólo presentó *Quinqueloculinas*.

En la muestra CC1 se identificaron seis especies diferentes, de las cuales la que presentó una mayor ocurrencia fue *Quinqueloculina sp.* con 33 organismos y *Quinqueloculina lamarkiana* con 17. También se encontraron organismos del género *Nonion sp.*, *Cibicides sp.*, *Elphidium sp.* y *Nonionella basispinata*.

La muestra CC2 presentó cinco especies, siendo la de mayor dominancia la especie *Quinqueloculina lamarkiana*, con 56 ejemplares, seguida de *Quinqueloculina sp.* También se identificaron organismos de las especies *Quinqueloculina candeiana* y

*Quinqueloculina cf. Flexuosa*, sólo apareciendo en ésta muestra, las más abundantes fueron las *Quinqueloculinas*. Y con una baja ocurrencia también se identificaron organismos del género *Cibicides sp.*

En la muestra CC3, quien presentó la mayor diversidad, se identificaron 7 especies. El género *Criboelphidium sp.* (Fig. 10) fue el de mayor ocurrencia, seguido por el género *Quinqueloculina sp.* y a diferencia de las muestras anteriores, *Quinqueloculina lamarkinana* se encontró con un número bajo de ejemplares. Otros géneros que sólo se encontraron en ésta muestra fueron *Epistominella sp.*, *Gyroidina sp.* y especímenes del género *Nonion sp.*



**Figura. 10** *Criboelphidium sp.* encontrado en Isla Coronados, B.C.S. (vista dorsal y ventral, respectivamente).

Para la muestra CC6 sólo se encontraron especies del género *Quinqueloculina lamarkiana* y *Quinqueloculina sp.*, el primero con el mayor número de ejemplares.

En general se identificaron 11 especies diferentes de foraminíferos en el área de estudio, variando su ocurrencia en cada muestra, así como el número de organismos. Las *Quinqueloculinas* fueron los foraminíferos con mayor incidencia, principalmente la *Quinqueloculina lamarkiana*, quien estuvo presente en todas las muestras.

### Análisis granulométrico

Los datos del análisis de tamaño de grano, tales como desviación estándar, media, asimetría y kurtosis que se obtuvieron del método de los momentos, están representados en la tabla VII y las gráficas de distribución de tamaño de grano se encuentran en anexos (Fig. 2 a 7).

**Tabla VII.** Distribución y parámetros de frecuencia, para las muestras recolectadas en Isla Coronados, B.C.S.

MUESTRA	MEDIA	DV STD	ASIMETRIA	KURTOSIS
CC1	1.5178	1.2075	0.3788	2.1928
CC2	1.4738	1.3856	0.1101	1.7042
CC3	-0.7464	1.1275	1.0664	3.2631
CC6	-0.4643	1.3247	0.6394	2.2052
A	0.9777	1.1787	0.4485	1.8600
B	1.6285	0.8088	0.2598	2.6330

Los valores de la media indican un tamaño de grano correspondiente a arenas de gruesas a medias (Folk, 1974), en base al valor de la media las muestras CC3 y CC6 son arenas gruesas y el resto arenas medias. Los valores de desviación estándar indican en general sedimentos pobremente clasificados. En tanto que los valores de asimetría varían más de una muestra a otra; las muestras CC1, CC2 y B tienen una tendencia asimétrica hacia los finos, mientras que las muestras CC3, CC6 y A una tendencia fuertemente asimétrica hacia los finos.

La interpretación del % de  $CaCO_3$  se realizó siguiendo la terminología propuesta por Halfar *et al.* (2000) hecha en base a los recientes ambientes carbonatados y en la que los aloquímicos son producto principalmente de organismos tales como algas calcáreas rojas en forma de rodolitos y otros contribuidores significativos, pero en menor proporción los corales, moluscos, equinodermos y foraminíferos bentónicos, lo que

podría ser un factor importante en la interpretación del ambiente carbonatado antiguo. Los porcentajes de  $CaCO_3$  en cada muestra se presentan en la tabla VIII.

**Tabla VIII.** Porcentaje de  $CaCO_3$  en las muestras tomadas en Isla Coronados, B.C.S

MUESTRA	$CaCO_3$ (%)
Estándar	98.4
CC1	17.7
CC2	51.1
CC3	88.9
CC6	92.5
A	40.7
B	31.5

El porcentaje más alto de carbonato de calcio fue encontrado en la muestra CC6. Las muestras CC2, CC3 y A, tuvieron de 90 a 50% de  $CaCO_3$ . Los porcentajes más bajos (30 a 10%) se encontraron en las muestras CC1 y B.

Los principales constituyentes biogénicos encontrados en las muestras fueron corales, algas calcáreas rojas, anélidos y moluscos, no se encontraron en tamaño visible en las muestras A y B (Tabla IX).

**Tabla IX.** Constituyentes biogénicos en las muestras tomadas en Isla Coronados, B.C.S.

C.B. / MUESTRA	CC1	CC2	CC3	CC6
Coral	15%	10%	80%	40 %
Rodolitos	30%	15%	20%	40 %
Anélidos	15%	15%	-	15 %
Moluscos	40%	60%	-	5%

El constituyente biogénico dominante en las muestras CC1 y CC2 fueron los moluscos, en tanto que en las muestras CC3 y CC6 fueron los corales y los rodolitos.

Los anélidos se encontraron en una contribución del 15% en las muestras con excepción de la CC3 que no presentó, sólo presentó fragmentos de coral y rodolitos.

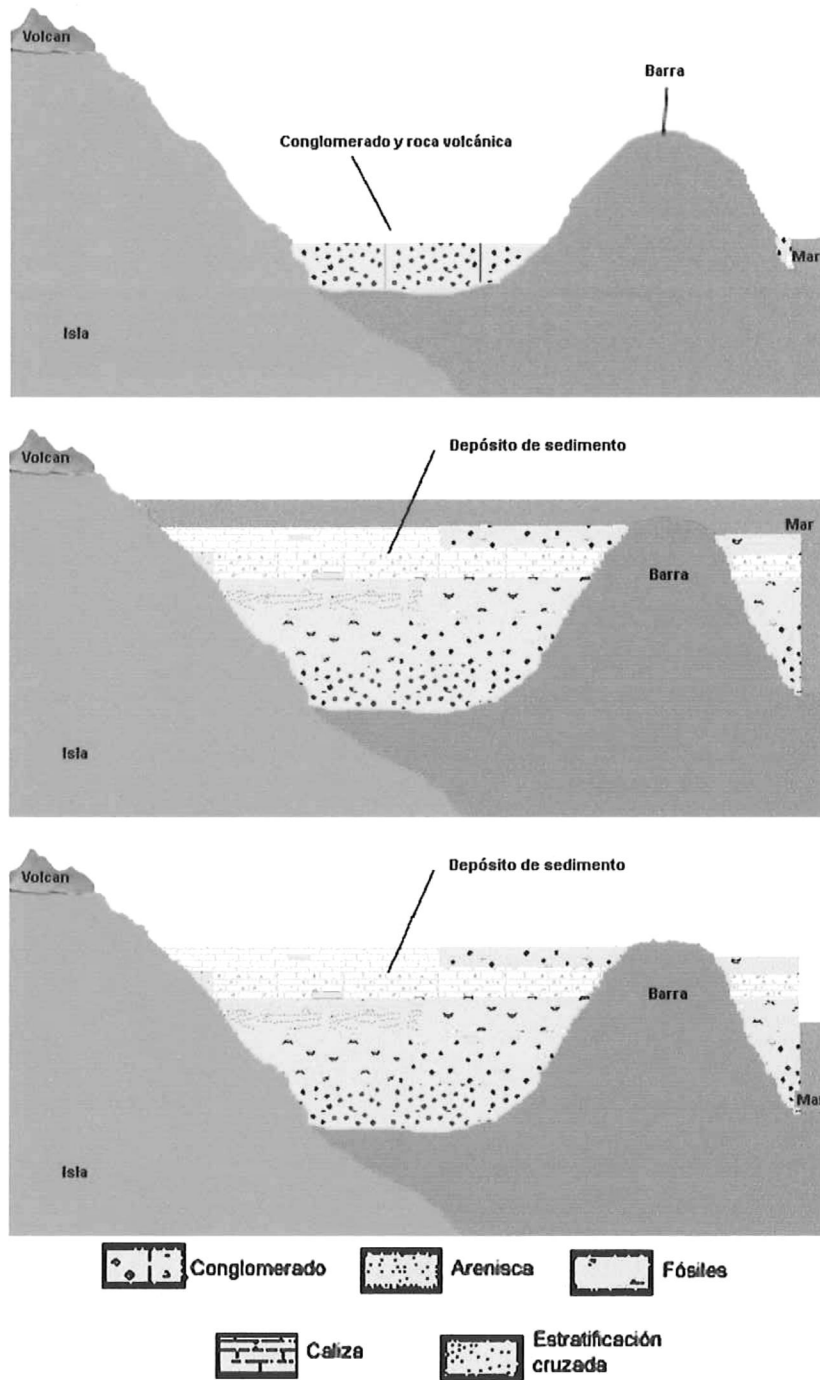
## VIII. DISCUSIONES

La columna de la parte externa de la laguna (Fig. 7) presenta una interestratificación de conglomerados y biocalcarenitas.

La columna de la parte interna de la laguna (Fig. 9) presenta un mayor número de capas de biocalcarenitas con colonias de rodolitos y coral *Porites panamensis*.

La presencia de rocas volcánicas en ambas columnas (Fig. 7 y 9) puede ser producto de las erupciones y deslaves volcánicos en tanto que los conglomerados sugieren un depósito de costa rocosa (Dorsey, 1997). Cada capa de biocalcarenita es interpretada como un depósito marino somero de alta energía adyacente a la línea de costa rocosa e indica una transgresión marina. Así mismo la interestratificación de las biocalcarenitas, apoyada por su asociación con depósitos de conglomerados de costa rocosa y material de rodolitos, indican que las unidades de biocalcarenita fueron depositadas en un ambiente marino que existía lateralmente adyacente a la playa rocosa produjo los conglomerados, lo que también es evidencia de subsidencia y por lo tanto del hundimiento de la línea de costa (Dorsey, 1997). Esto representa la fase de la sedimentación de carbonatos (Fig. 11). Estas condiciones ambientales y el aumento del nivel del mar son evidenciadas por la presencia de colonias de coral en la biolitita que representan un tiempo de agua clara, tranquila y con una salinidad marina normal (Mitchell *et al.*, 2000).

Características estratigráficas similares fueron descritas por Dorsey (1997) en Punta el Bajo, Loreto B.C.S. durante el Pleistoceno.



**Figura 11.** Diagrama de Laguna Coronados, antes, durante y después del aumento del nivel del mar.

A su vez Halfar y colaboradores (2000) en su estudio en la Paz, describen que ambientes carbonatados encontrados a una profundidad de 30 a 50 m pertenecen a zonas someras cerca de la línea de costa, y los de una profundidad de la zona intermareal hasta 30 m corresponden a zonas protegidas. Por lo que en general los ambientes carbonatados identificados en el área de estudio (Laguna Coronados) nos indican una zona somera protegida adyacente a la línea de costa, lo que demuestra el tipo de ambiente interpretado por la estratificación. Todas las muestras de sedimento presentaron contenido de  $\text{CaCO}_3$ . Dentro de la columna interna de la laguna los porcentajes bajos, correspondientes a la capa basal, indican lodo o arena con aloquímicos, representativo de profundidades mayores a 50 m. La capa superior a la basal e intermedia presentaron un porcentaje de  $\text{CaCO}_3$  característico de carbonatos con aloquímicos arenosos o lodosos encontrados a una profundidad de 30 a 50 m (Halfar *et al.*, 2000). En la muestra CC6 se encontró el porcentaje de  $\text{CaCO}_3$  más alto (92.5 %), propio de la zona intermareal hasta 30 m de profundidad y el más bajo correspondió a la muestra B, indica lodo o arena con aloquímicos representando profundidades mayores a 50 m. La muestra A de acuerdo al contenido de  $\text{CaCO}_3$  se asocia a carbonatos con aloquímicos arenosos o lodosos encontrados a una profundidad de 30 a 50 m (Halfar *et al.*, 2000).

Aunado a lo anterior el tamaño de grano para las dos columnas también demuestra las condiciones de energía para la zona anteriormente mencionadas ya que correspondió al rango de arenas medias a gruesas, con una clasificación de pobre a moderada y con una fuerte asimetría a los finos (Folk, 1974), indicativo de condiciones de oleaje de baja a media energía, características granulométricas descritas por Bandy (1967) de un ambiente lagunar costero.

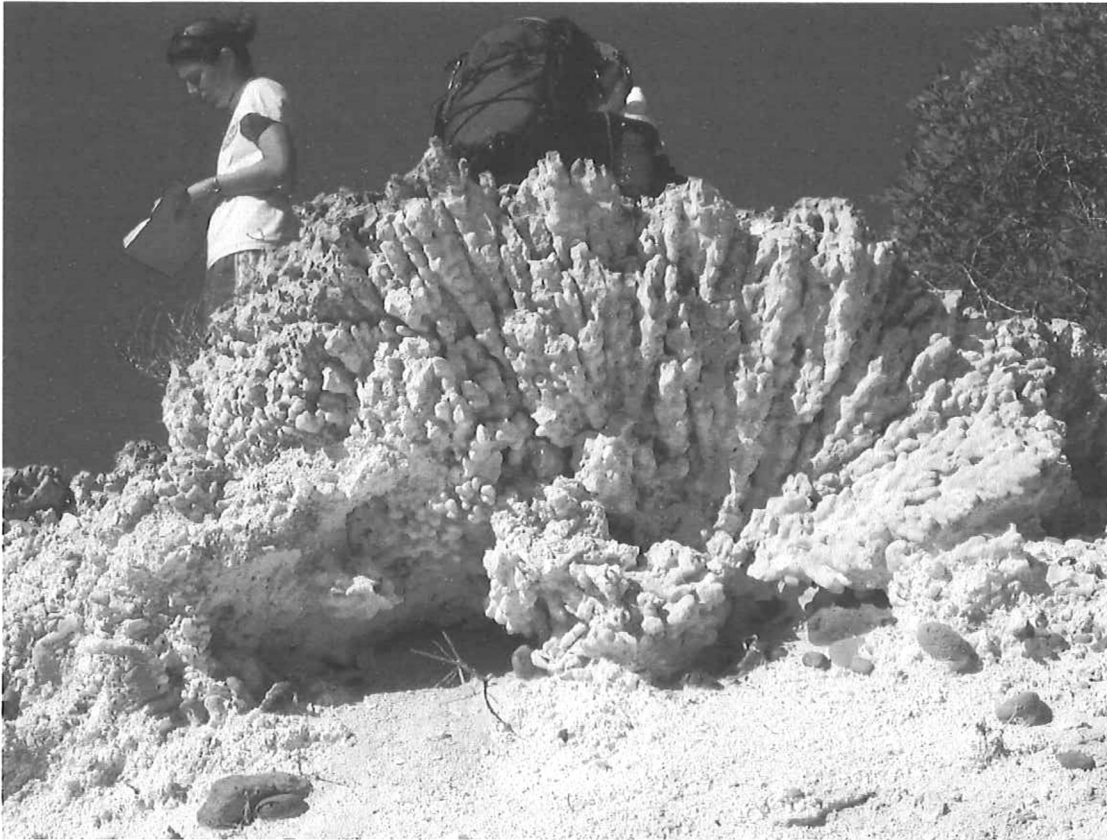
La presencia tanto de organismos fragmentados (algas calcáreas), como no fragmentados (bivalvos, braquiópodos, foraminíferos) es el resultado de las condiciones ambientales durante la transgresión marina que permitió la colonización de la laguna por organismos. El número de especies de microfósiles encontradas tanto fuera como dentro de la laguna fue muy similar en los dos casos. Se encontraron principalmente organismos incrustadores, tales como, gasterópodos y bivalvos, algunos en posición de

vida (Fig. 12). Éstos son fauna típica de los arrecifes de coral que crecen en rincones, grietas y las superficies muertas, ayudando a estabilizar la estructura (Walker, 1984).



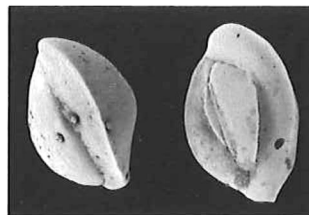
**Figura 12.** *Codakia distinguenda* en posición de vida, Isla Coronados, B.C.S.

*Porites panamensis* fue el coral que se encontró en la zona de estudio, existiendo colonias completas y parches, éstas en posición de vida (Fig. 13). Las colonias de coral en posición de vida indican que permanecen *in situ* después de muertos y que no han sido removidos por tormentas o bioperturbadores (Walker, 1984), lo cual elimina la posibilidad de que los corales encontrados en la zona de estudio fueron transportados.



**Figura 13.** Colonia del coral *Porites panamensis*, Isla Coronados, B.C.S.

Como resultado del análisis microfaunístico las especies con mayor incidencia son principalmente la *Quinqueloculina lamarkiana* (Fig. 14) de la familia Miliolidae, *Criboelphidium sp.* y *Elphidium sp.* Están asociadas a ambientes someros (lagunas costeras), zonas arrecifales y aguas someras, según lo descrito por Bandy (1967), habitan donde existe la máxima disponibilidad de  $\text{CaCO}_3$ .



**Figura 14.** *Quinqueloculina lamarkiana* encontrada en Isla Coronados, B.C.S.

Los corales, rodolitos, anélidos y moluscos fueron los principales constituyentes biogénicos encontrados en los sedimentos, encontrándose también presencia de foraminíferos. En cuanto al contenido biogénico de los sedimentos, la capa intermedia de la columna interna (muestra CC3) se identificó como una litofacies rhodalgal indicativa de un ambiente carbonatado de aguas frías asociado a altas topografías y a arrecifes coralinos someros, debido a su alto contenido de coral y rodolitos (Corannante *et. al*, 1988). En tanto que las capas basal y la superior a ésta (CC2) dentro de la asociación photozoan, típica también de ambientes carbonatados de aguas frías (temperaturas inferiores a 22° C), asociados a organismos dependientes de la luz con dominancia de moluscos, en menor grado de rodolitos, briozoarios y la presencia de foraminíferos (James, 1997). La columna interna de la laguna representa una transición de photozoan a rhodalgal, indicando ambas asociaciones ambientes carbonatados de aguas frías, esto debido a que dentro de la columna se registran los dos tipos de asociaciones, identificándose la photozoan en las capas más profundas y la rhodalgal en las superiores.

En la columna externa sólo la muestra CC6 presentó componentes biogénicos visibles con una dominancia de coral y algas rojas, y en menor porcentaje anélidos y moluscos, lo que permitió clasificarla también dentro de la asociación photozoan (James, 1997). Lo anterior concuerda con Halfar (2004) que en la parte central y sur del Golfo de California define un ambiente carbonatado photozoan e identifica también una zona de transición.

## IX. CONCLUSIONES

El análisis granulométrico indica una zona de energía media, con una incidencia de baja a media del oleaje.

El alto contenido de fragmentos de coral, rodolitos, anélidos y moluscos en las muestras recolectadas, indican un ambiente carbonatado de aguas frías asociado a arrecifes coralinos someros y una transición de la asociación photozoan a rhodalgal.

El contenido de carbonato en las muestras indica carbonatos asociados a una profundidad de 30 a 50 m.

La presencia de conglomerados sugiere que existe una estratificación de depósitos de costa rocosa, en tanto que las biocalcarenitas un ambiente marino somero de alta energía adyacente a la línea de costa rocosa. En general la interestratificación de conglomerado y biocalcarenita son evidencia de subsidencia y por lo tanto del hundimiento de la línea de costa.

Las colonias y parches de coral muestran un ambiente de marino somero a lagunar costero por una transgresión marina.

La alta presencia de organismos incrustadores, es una fauna típica de arrecife de coral, lo cual ayudó a estabilizar la estructura del mismo.

Los géneros de foraminíferos identificados para esta área son característicos de lagunas costeras, así como de zonas arrecifales y de aguas someras.

En base a lo anterior, se concluye que la zona de estudio es una laguna costera inundada por una transgresión del nivel del mar, lo que permitió el desarrollo del arrecife coralino.

## X. REFERENCIAS

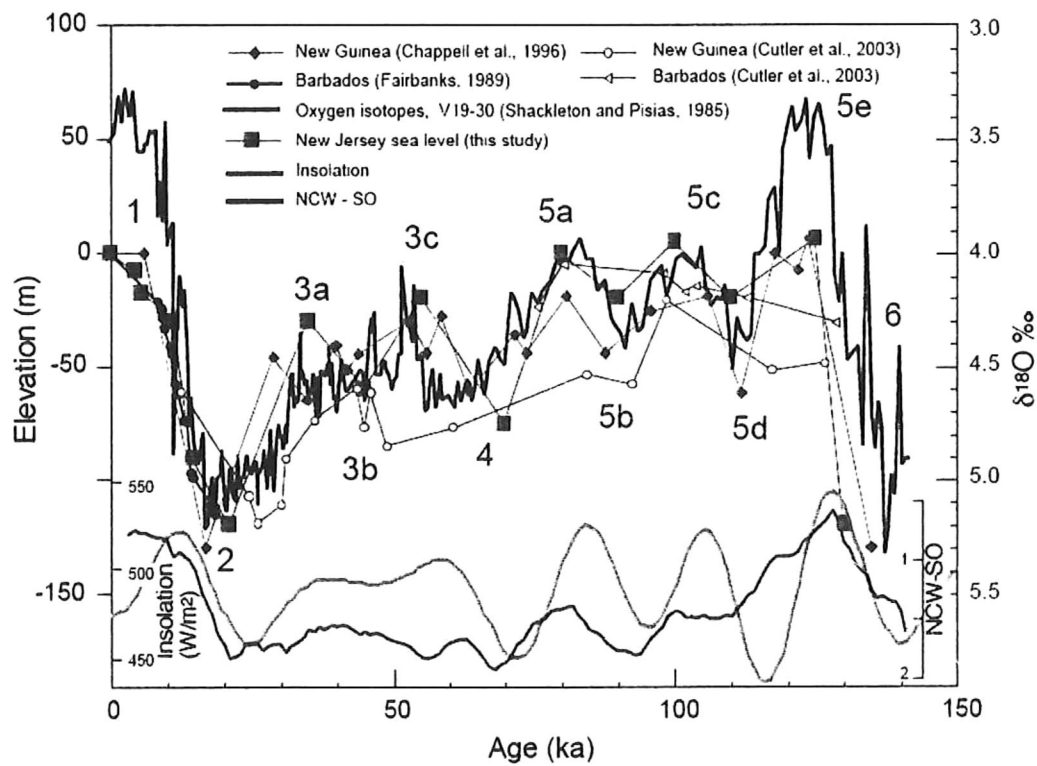
- Backus David H., J. Ledesma-Vázquez, Markes E. Johnson and R. Andrés López-Pérez, 2006. Geology of Isla Coronados. Revista de Ciencias Marinas. Sometido.
- Bandy O. L., 1967, Foraminiferal indices in paleoecology, stratigraphic geology division, Texas, U.S.A., EPR67-ER2047pp.
- Barcenas-Pozos, Maria de los Ángeles, 1988. Paleontología y paleoecología de la formación Rosario (Campaniano- Maestrichtiano), Baja California, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. 109 pp.
- Bray, N. A., 1998. Water mass formation in the Gulf of California. Journal of geophysical Research, v.93, p. 9223-9240.
- Dorsey, Rebecca J., 1997. Origin and significance of rhodolith-rich strata in the Punta El Bajo section, southeastern Pliocene Loreto basin. Geological Society of American Special Paper 318.
- Folk, Robert L., 1974. Petrology of Sedimentary Rocks. The University of Texas, Hemphill Publishing Co., Austin, Texas, 182 pp.
- González-Yajimovich, Oscar Efraín, 2004. Holocene Sedimentation in the Southern Gulf of California and its Climatic Implications. Faculty of the Graduate School, University of Southern California. Requirements of the Degree Doctor of Philosophy (Geological Sciences). 211 pp.
- Halfar, J., L. Godinez-Orta and J.C. Ingle, 2000. Microfacies Analysis of Recent Carbonate Environments in the Southern Gula of California, Mexico – A Model

- for Warm-Temperate of Subtropical Carbonate Formation. *Palaios*, v. 15, p.323-342.
- Halfar, J., Godínez-Orta, L., Mutti, M., Valdez-Holguín, J. E. and Borges, J. M., 2004. Nutrient and temperature controls on modern carbonate production: An example from the Gulf of California, Mexico. *Geological Society of America*, v. 32, p.213-216.
- H. van Andel, T. and Shor, G. G., Jr., 1964. *Marine Geology of the Gulf of California, Memoir 3*, Scripps Institution of Oceanography, University of California, American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma, U.S.A.
- Hernández-Flores M. H., 1981. *Relación de la Distribución de Foraminíferos con Algunos Parámetros Oceanográficos de la Parte Central del Golfo de California*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, Baja California, México. 68 pp.
- James, N.P., 1997. The cool water carbonate depositional realm, in James, N.P., and Clarke, J.A.D., eds., *Cool-water carbonates: SEMP (Society for Sedimentary Geology) Special Publication 56*, p. 1-22.
- Ladd, H. S., 1957. *Treatise of Marine Ecology and Paleocology. Vol. 2 Paleocology. Memor 67*. Geological Society of America.
- Less, A., 1975. Possible influence of salinity and temperature on modern shelf carbonate sedimentation. *Marine Geology*, v. 13, p. 159-198.
- Lees, A., and Buller, A.T., 1972. Modern temperate-water and warm-water shelf carbonates contrasted. *Marine Geology*, v. 13, p. M67-M73.

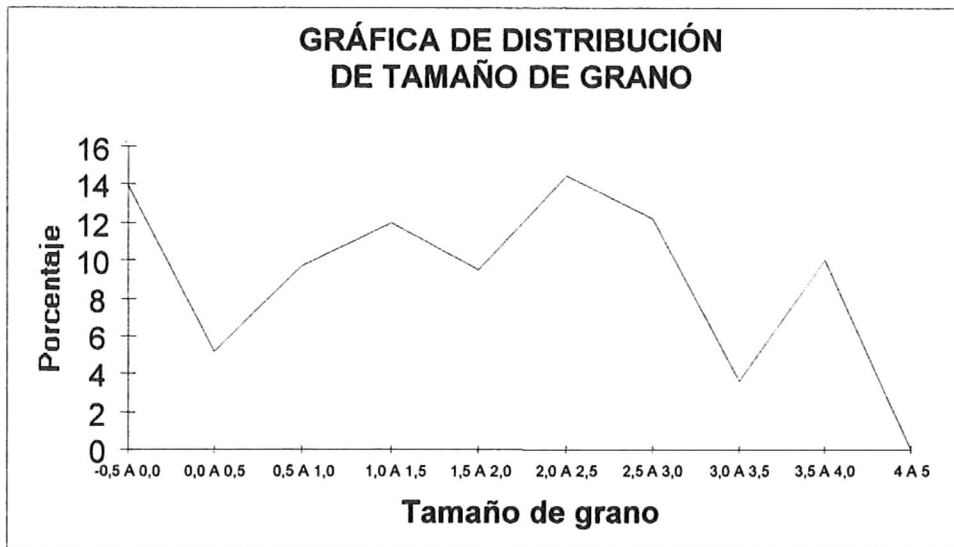
- Lipps, J. H., W. H. Berger, M. A. Bruzas, R. G. Douglas & C.A. Ross, 1979. Foraminiferal Ecology and Paleoecology. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, U.S.A., 187 pp.
- Loeblich, Alfred R., Jr. and Tappan Helen, 1964. Treatise on INVETEBRATE PALEONTOLOGY. Moore, Editor, (C) Protista 2<sup>(2)</sup>. Geological Society of America, University of Kansas Press.
- McCulloch, Irene, 1977. Qualitative Observations on Recent Foraminiferal Tests with Emphasis on the Eastern Pacific, Part III. University of Southern California, Los Angeles, California.
- Mc Kerrow, W. S., 1978. The Ecology of the Fossils: an illustrated guide. The MIT Press. Cambridge Massachusetts.
- Mitchell, Simon F., Ron K. Pickerill & Thomas, A. Stemann, 2000. The Port Morant Formation (Upper Pleistocene, Jamaica): high resolution sedimentology and paleoenvironmental analysis of mixed carbonate clastic lagoonal succession. *Sedimentary Geology* 144 (2001) 291-306.
- Ruvalcaba-Baroni, I., 2005. Paleocología de foraminíferos bentónicos del Pleistoceno en El Faro, Baja California, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. 83 pp.
- Sellwood, B. W., 1986. Sedimentary Environment and Facies. Chapter 10. 2<sup>nd</sup> Edition, H. G. Reading Editorial.

- Standish Mallory, V., 1959. Lower Biostratigraphy of California Coast Ranges. University of Washington, Seattle. American Association of Petroleum Geologist.
- Terry, R.D. and G. V. Chilingar, 1955. Allen Hancock Foundation. Los Angeles. Reprinted from Journal Sedimentary Petrography, v.5, n.3, p. 229-234.
- Walker, R. G. 1984. Facies Models. Second Eddition. Geological Association of Canada. Department of Earth Sciences. Canada. 316 pp.
- Wright V.P. and T.P. Burchette, 1996. Shallow-water carbonate environments. Chapter 9. Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy. 3<sup>th</sup> Edition, H.G. Reading Editorial.

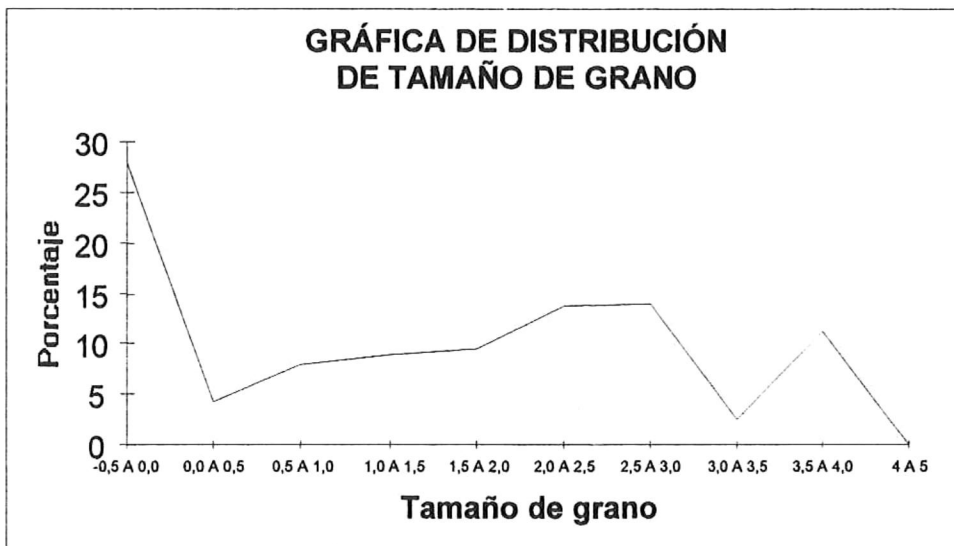
## XI. ANEXOS



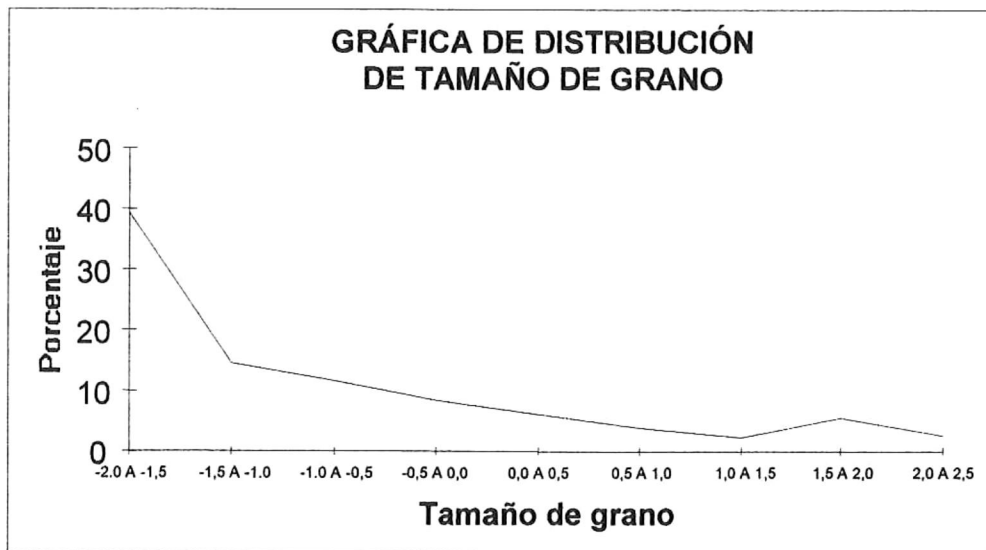
**Figura 1.** Cambios del nivel del mar durante el Pleistoceno (Johnson et al., 2006).



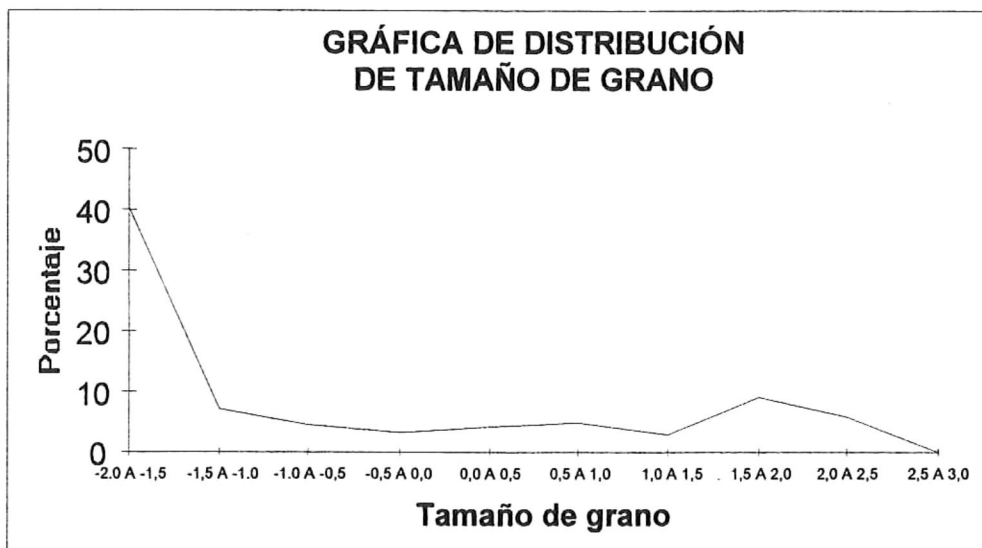
**Figura 2.** Curva de frecuencia o distribución normal (campana de Gauss), para la muestra CC1 tomada en Isla Coronados, B.C.S.



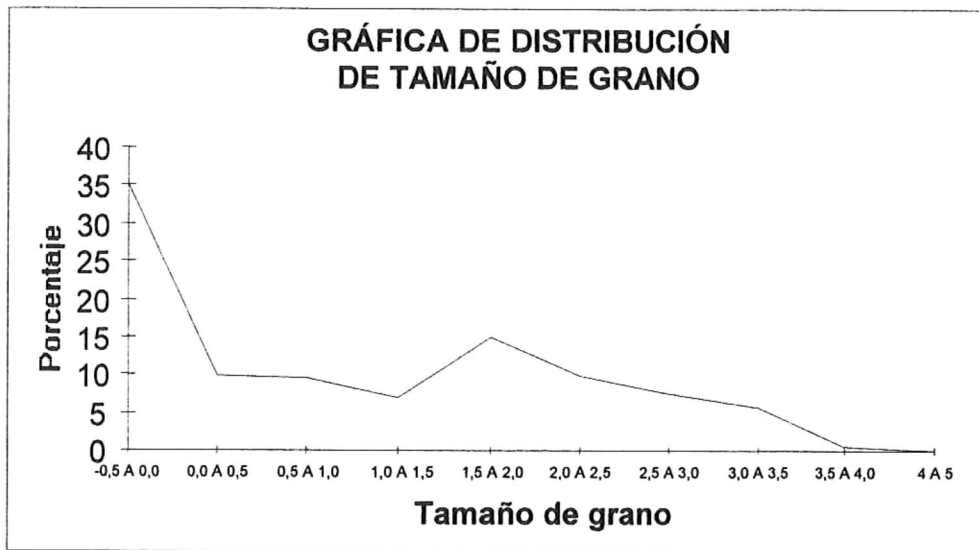
**Figura 3.** Curva de frecuencia o distribución normal (campana de Gauss), para la muestra CC2 tomada en Isla Coronados, B.C.S.



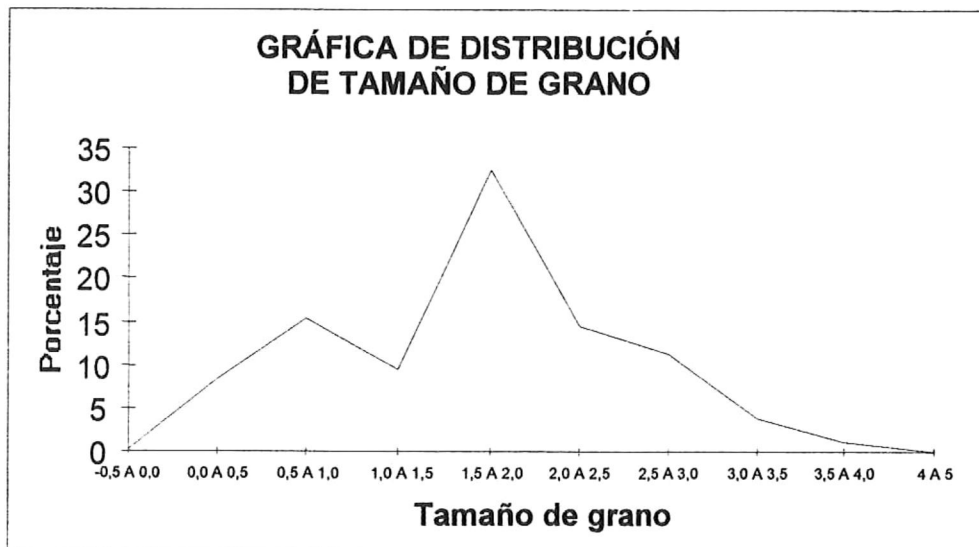
**Figura 4.** Curva de frecuencia o distribución normal (campana de Gauss), para la muestra CC3 tomada en Isla Coronados, B.C.S.



**Figura 5.** Curva de frecuencia o distribución normal (campana de Gauss), para la muestra CC6 tomada en Isla Coronados, B.C.S.



**Figura 6.** Curva de frecuencia o distribución normal (campana de Gauss), para la muestra A tomada en Isla Cornoados, B.C.S.



**Figura 7.** Curva de frecuencia o distribución normal (campana de Gauss), para la muestra B tomada en Isla Coronados, B.C.S.