



U N A M

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
COLEGIO DE CIENCIAS Y HUMANIDADES  
UNIDAD ACADÉMICA DE LOS CICLOS PROFESIONAL Y DE POSGRADO

“ESTUDIO PALEOCEANOGRÁFICO Y SEDIMENTOLÓGICO HOLOCÉNICO  
DE LA BAHÍA DE LA PAZ, GOLFO DE CALIFORNIA”

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTORA EN CIENCIAS DEL MAR  
(OCEANOGRAFÍA GEOLÓGICA)

P R E S E N T A:  
LIGIA LUCINA PÉREZ CRUZ

285913

MÉXICO, D.F., DICIEMBRE DE 2000





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**A la memoria de mis padres:**

Doña María de los Ángeles Cruz de Pérez y  
Don Guillermo Pérez Vargas  
por la fortuna de haber sido su hija.

**Für Hermann**

Meinen geliebten Ehemann

## Agradecimientos

Al Dr. Adolfo Molina Cruz, director de esta tesis, mi más profundo agradecimiento por su sólido y permanente respaldo académico.

A los miembros de mi jurado de tesis: Dra. Margarita Caballero Miranda, Dra. Ma. Luisa Machain Castillo, Dra. Adela Monreal Gómez, Dra. Gloria Vilaclara Fatjo, Dr. Francisco Javier Siervo Sánchez y Dr. Jaime Urrutia Fucugauchi, por su muy valiosa participación en la revisión crítica y minuciosa de este documento, así como por sus comentarios y sugerencias para mejorarlo y enriquecerlo.

A la Dirección General de Estudios de Posgrado de la UNAM, por la beca que me fue otorgada para realizar mis estudios de doctorado.

Al Coordinador del Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología, Dr. Martín Merino Ibarra, por su soporte y confianza, pararelos a su amistad. Hago extensivo este agradecimiento a las eficientes asistentes de esa Coordinación.

A los miembros del Comité Académico del Posgrado en Ciencias del Mar por sus dictámenes a favor de mis estancias académicas y la participación en congresos.

Al M. en C. Angel Callejón Giménez y al Dr. Enrique Nava-Sánchez por su participación, no oficial, durante el desarrollo de este trabajo. Mi mayor gratitud por su desinteresada colaboración en la generación de datos y en la interpretación de resultados.

Al Dr. Juan Carlos Herguera, por haberme abierto una ventana al conocimiento de la geoquímica marina.

A la Dra. Angeles Bárcena Pernía por su apoyo en el manejo e interpretación de datos de diatomeas y series de tiempo. Lines, mi sincero agradecimiento por haber hecho que mi estancia en Salamanca fuera inmejorable.

Al Dr. José Abel Flores, por haber compartido su espacio de trabajo durante mi primera estancia en la Universidad de Salamanca, por sus ideas complementarias a mi proyecto de tesis y por su amistad *sostenida y sin bemoles*.

A Hermann Reese, por su respaldo técnico, metódico y detallado en la realización de los microanálisis por rayos X, el análisis de imágenes, el manejo de software especializado, y en general, por ayudarme a comprender algunos artilugios de la electrónica, para mi impenetrables. Emocionalmente le agradezco profundamente su inconmesurable confianza y su amor de cada día.

Al Dr. Alejandro Frank le agradezco el tiempo que me dedicó para discutir acerca de los fósiles y las termoclinas.

Al Dr. Esteban Cedillo Pardo, investigador del Instituto Mexicano del Petróleo por permitirme el acceso a las instalaciones y el uso del equipo del Laboratorio de Microscopía y Microanálisis por rayos X.

A Martín Espinosa Pérez, técnico del laboratorio de Paleomagnetismo del Instituto de Geofísica, por su colaboración en los análisis de parámetros magnéticos.

Al Biol. Jorge Castro, por el diseño de algunas figuras de esta tesis, así como de otras incluidas en presentaciones de congresos relacionados con esta investigación.

Al Sr. Alejandro Pineda, por su apoyo en la preparación de muestras micropaleontológicas. Quiero aprovechar este breve espacio para hacer un sincero reconocimiento por sus 30 años de permanencia en el Laboratorio de Micropaleontología y Ecología de Foraminíferos de la UNAM. Alex, muchas gracias y felicidades.

A la Biol. Delfina Rodríguez por su oportuna ayuda en el procesamiento de algunas muestras.

A mis compañeros del Laboratorio de Micropaleontología y Ecología de Foraminíferos, Araceli, Rocío, Elsa y Jorge, por los gratos momentos compartidos.

A Sergio Macías por la cuidadosa edición de este documento. Max, eres un sujeto de lo mejor.

Al M. en I. Esteban Prado, por su apoyo en los análisis estadísticos.

En particular quiero agradecer la amistad de 4 personajes, los cuales mencionaré en orden "cronestratigráfico":

A Adolfo, por las pinceladas de profundo afecto.

A Steven Peter Ried Czitrom Baus, *Istvannak, rendkivüli barátságáért mély gyöngédséggel körülvéve.*

A Don Javier Ramón Díaz de la Serna Braojos, por haber cruzado el puente que une la sensatez con lo desparpajado. Gracias por matizar mi vida con los colores de tu amistad.

A Eduardo Morales de la Garza, por su genuina y perdurable amistad. Querido Lalo, te garantizo que no compraré una Harley Davidson: la Conejo.

Deseo agradecer, a quien haya que hacerlo, la fortuna de contar con una maravillosa familia.

A mis hermanos, a Laura y a mis sobrinos, por su cariño y protección permanentes. Ellos son 19 piezas fundamentales en mi vida.

A Jutta y Wolfgang, por su cariño que navega desde el otro lado del Atlántico y llega a mí como suave brisa marina.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	3
INTRODUCCIÓN .....	5
<b>Capítulo 1. ESTADO ACTUAL DE CONOCIMIENTOS .....</b>	<b>7</b>
El Golfo de California .....	7
Marco Oceanográfico General .....	7
La Bahía de la Paz .....	9
Localización geográfica y estructura de la Cuenca Alfonso .....	9
Clima .....	9
Marco Oceanográfico .....	10
Circulación Superficial .....	11
Masas de Agua .....	12
Oxígeno disuelto .....	15
Sedimentos .....	15
Sedimentos laminados: varves y secuencias de aporte diferencial no anuales .....	16
Modelos de formación de Sedimentos Laminados (Varves) .....	17
Sedimentos laminados · Estudios paleoceanográficos .....	18
Radiolarios: <i>proxies</i> paleoceanográficos .....	18
Marco Cronológico .....	19
<b>Capítulo 2. MÉTODOS .....</b>	<b>23</b>
“Camisas” de Acrílico .....	23
Radiografías .....	23
Dataciones .....	23
Dataciones con Carbono 14 .....	23
Dataciones con Plomo 210 .....	25
Estudio Micropaleontológico .....	25
Radiolarios .....	25
Procesamiento de las Muestras (Fase 2, “Alta Resolución”) .....	26
Determinación Taxonómica y Conteo de Organismos .....	27
Análisis Estadísticos .....	27
Geoquímica .....	27
Microanálisis por Dispersión de Energía de Rayos X (Alta Resolución) .....	27
Susceptibilidad Magnética .....	31
<b>Capítulo 3. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN .....</b>	<b>33</b>
Análisis de Imágenes de los Sedimentos Laminados .....	33
Dataciones .....	33
Carbono 14 (14C-AMS) .....	33
Conteo de Láminas .....	35
Plomo 210 (210Pb) .....	35

Micropalantología .....	41
Radiolarios .....	41
Fase 1) Baja Resolución .....	41
Fase 2. Alta Resolución .....	49
Geoquímica (Alta Resolución) .....	51
Microanálisis por Dispersión de Rayos X.....	51
Materia Orgánica .....	57
Susceptibilidad Magnética .....	60
Baja Resolución .....	60
Alta Resolución .....	60
Modelo del ambiente depositacional de las láminas claras y oscuras en la Bahía de la Paz. ....	64
<b>Capítulo 4. CONCLUSIONES .....</b>	<b>65</b>
Baja Resolución .....	65
Alta Resolución .....	66
Literatura Citada .....	67
Apéndice 1. Imágenes de los sedimentos laminados del núcleo BAP96J-CP .....	81
Apéndice 2. Carbono 14 .....	101
Apéndice 3. Radiolarios (Polycistinos) de la Bahía de la Paz .....	107
Apéndice 4. Espectros de los microanálisis por rayos x, de la composición elemental de los sedimentos laminados del núcleo BAP96J-CP.....	155
Apéndice 5. Diatomeas del núcleo BAP96J-CP .....	163

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Esquema de distribución de las masas de agua del Golfo de California (Lavin <i>et al.</i> , 1997). .....	8
Figura 1.2. a) Localización de la Bahía la Paz, b) giro ciclónico definido por la circulación oceánica, c) perfil batimétrico del umbral a -275m (modificado de Nava-Sánchez, 1997). El * muestra la posición del núcleo BAP96J-CP. ....	10
Figura 1.3. Batimetría de la Bahía de la Paz (Nava-Sánchez, 1997). ....	11
Figura 1.4. Registros de precipitación anual de las ciudades de la Paz y Loreto. La precipitación anual más alta tiene una periodicidad de 9 a 10 años (Nava-Sánchez, 1997). ....	11
Figura 1.5. Distribución vertical de la temperatura del agua dentro de la Bahía de la Paz (Monreal-Gómez <i>et al.</i> , en prensa). ....	12
Figura 1.6. Características de temperatura y salinidad: a) en la Bahía de la Paz, y b) fuera de la Bahía (Monreal-Gómez <i>et al.</i> , en prensa). ....	13
Figura 1.7. Distribución superficial de: a) temperatura, b) salinidad, y c) sigma ? (Monreal-Gómez <i>et al.</i> , en prensa). ....	14
Figura 1.8. Distribución a 50 m de profundidad de: a) temperatura, b) sigma ? y c) topografía de la isoterma de 20°C (Monreal-Gómez <i>et al.</i> , en prensa). ....	14
Figura 1.9. Perfil vertical de oxígeno disuelto en la Cuenca Alfonso, Bahía de la Paz (Molina-Cruz <i>et al.</i> , en prensa). ....	15

Figura 2.1	Ejemplo de un espectro obtenido mediante un EDS. En el eje de las "x" las unidades de energía son en kilo-electronvolts (KeV). Sobre el eje aparecen los picos de los elementos identificados y junto a ellos se indica el nivel orbital, que en este caso es K. ...	28
Figura 3.1.	Tasas de sedimentación del núcleo BAP96-CP. Se señala el valor de R <sup>2</sup> . Se observa con línea punteada la extrapolación de la curva que cruza el eje horizontal e ~450 años. ....	34
Figura 3.2.	Correlación exponencial del exceso de <sup>210</sup> Pb determinado de las muestras del núcleo BAP96J-CP <i>versus</i> profundidad en el subsuelo (cm). .....	36
Figura 3.3.	Curvas logarítmicas de las edades de <sup>14</sup> C (años BP) <i>versus</i> profundidad en el subsuelo. a) Edades calculadas mediante los foraminíferos bentónicos y b) edades calculadas mediante foraminíferos planctónicos en el núcleo BAP96J-CP. ....	39
Figura 3.4	Esquema de la columna estratigráfica que muestra la estructura laminada del núcleo BAP96J-CP; Factor loadings de los factores 1 («Ecuatorial»), 2 («Golfo de California») y 3 («Sugerencias»), y Susceptibilidad Magnética (HF-Frecuencia Alta y LF Frecuencia Baja) .....	43
Figura 3.5.	Valores de Factores de las especies: a) <i>Tetrapyle octacantha</i> y b) <i>Theophilium tricostatum</i> . ....	44
Figura 3.6.	Valores de los Factores de las especies: a) <i>Euchitonia</i> sp, b) <i>Spongotrochus glacialis</i> y c) <i>Dictyophimus infabricatus</i> . .....	46
Figura 3.7.	Valores de los Factores de las especies: a) <i>Hexacantium enthacanthum</i> , b) <i>Pylospira octopyle</i> y c) <i>Didymocyrtis tetrathalamus</i> . .....	48
Figura 3.8.	Elementos presentes en las láminas claras y oscuras del núcleo BAP96J-CP. ....	52
Figura 3.9.	Correlación del aluminio (Al) con el hierro (Fe), potasio (K), y sílice (Si). ....	53
Figura 3.10.	Variaciones del Al y el Si en las láminas claras y oscuras del núcleo BAP96J-CP. ....	54
Figura 3.11.	Porcentaje de ópalo biogénico en los sedimentos del núcleo BAP96J-CP (Modificado de De Diego, 1998. La línea punteada describe la tendencia lineal. ....	54
Figura 3.12.	Correlación del calcio con los elementos terrígenos. ....	55
Figura 3.13.	Gráfica de los <i>factor loadings</i> : Factor 1 <i>versus</i> Factor 2, ? láminas claras y r láminas oscuras. ....	56
Figura 3.14.	Valores de los factores. a) Factor 1, el cual representa el 96% de la variabilidad de los datos y, b) Factor 2, que representa el 3%. ....	57
Figura 3.15.	Concentraciones de TOC (%) en las láminas claras (lc) y oscuras (lo) del núcleo BAP96J-CP. ....	58
Figura 3.16.	Índice de Hidrógeno en las láminas claras y oscuras del núcleo BAP96J-CP en la Bahía de la Paz. ....	59
Figura 3.17.	Contenido de TOC (%) a lo largo del núcleo BAP96J-CP. La línea punteada describe su tendencia lineal. ....	60
Figura 3.18.	Gráfica de la Magnetización de Saturación <i>versus</i> profundidad en 15 láminas claras y 13 láminas oscuras del núcleo BAP96J-CP. ....	62



Figura 3.19.	Loops de histéresis de 6 láminas del núcleo BAP96J-CP de la Bahía de la Paz. Los loops corresponden a tres láminas oscuras (a,d, e) y tres láminas claras (b, c, f), de los siguientes intervalos: a) 93.1-93.3 cm, b) 93.3-93.7 cm , c) 109.15-109.3 cm, d) 109.5-109.8 cm, e) 170.1-170.4 cm, y f) 170.7-171 cm. ....	63
Figura A.1	Abundancia relativa de las especies de microfósiles silíceos contra la edad (años BP) y la profundidad (cm), en el núcleo BAP96J-CP. Especies relacionadas con ambientes subtropicales: a) <i>Tetrapyle octacantha</i> * y b) <i>Azpeitia nodulifer</i> **. Especies asociadas a condiciones de alta productividad: c) <i>Pylospira octopyle</i> *, d) <i>Chaetoceros</i> ** (esporas), e) <i>Hexacantium enthacanthum</i> * y, f) <i>Paralia sulcata</i> **. Notación :* radiolarios, **diatomeas. ....	166

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.	Relación de láminas claras y oscuras del núcleo BAP96J-CP consideradas para el estudio micropaleontológico. ....	26
Tabla 2.2.	Relación de muestras (láminas), a lo largo del núcleo BAP96J-CP utilizadas para el microanálisis por rayos X. ....	29
Tabla 2.3.	Relación de muestras (láminas), en un intervalo continuo utilizadas para el microanálisis por rayos X. ....	30
Tabla 2.4.	Relación de láminas consideradas para la determinación de Carbono Orgánico Total. ..	30
Tabla 2.5.	Muestras sedimentarias utilizadas para el estudio de Susceptibilidad magnética .....	32
Tabla 3.1.	Edades de <sup>14</sup> C-AMS del núcleo BAP96J-CP, calibradas con el programa Calib 4.1 (Stuiver <i>et al.</i> , 1998). Las edades calibradas corresponden a años Antes del Presente (BP por sus siglas en inglés). ....	33
Tabla 3.2.	Exceso de Pb-210 del núcleo BAP96J-CP en 9 muestras (Todas las actividades son referidas al 1 de diciembre de 1999)(Gorsline com. pers.) .....	35
Tabla 3.3	Estimación de la diferencia de edades entre foraminíferos bentónicos y planctónicos en el núcleo BAP96J-CP .....	38
Tabla 3.4.	Especies de Radiolarios consideradas en Análisis de Factores «modo Q» (S=Espumelarios y N=Naselarios) .....	40
Tabla 3.5.	<i>Eigenvalues</i> obtenidos a través del análisis de factores modo “Q” (Factores) .....	41
Tabla 3.6.	Abundancia de radiolarios 13 láminas claras y 13 láminas oscuras .....	49
Tabla 3.7.	Abundancias relativas promedio de las especies más significativas en las láminas claras y oscuras. Para calcular estos promedios, se eliminaron los valores extremos (máximos y mínimos). ....	50
Tabla 3.8.	Concentración normalizada al 100% de los elementos mayores de los sedimentos laminados del núcleo BAP96J-CP. ....	51
Tabla 3.9	<i>Eigenvalues</i> obtenidos a través del análisis de factores modo “Q” (Factores) .....	55
Tabla 3.10.	Parámetros magnéticos medidos en los sedimentos laminados del núcleo BAP96J-CP .....	61

## RESUMEN

LA DEPOSITACIÓN de los sedimentos laminados está influenciada por diferentes parámetros oceanográficos y climáticos. El estudio de estos registros geológicos naturales provee evidencia sobre los cambios climáticos a escala regional, como reflejo de las condiciones globales.

En este estudio se analiza detalladamente una secuencia de sedimentos laminados en la Bahía de la Paz, con el propósito de reconstruir la paleoceanografía del Holoceno y entender los factores que inducen la formación de las láminas en esta cuenca. El estudio comprende registros de baja (~36 años) y alta resolución (~6 años).

Los registros de baja resolución de las asociaciones de radiolarios polycistinos, definidas a través del Análisis de Factores modo "Q", sugieren que la Bahía ha experimentado dos cambios oceanográficos conspicuos y otros eventos importantes de corta duración durante los últimos 8000 años BP, de acuerdo con las dataciones de  $^{14}\text{C}$ . Se propone que en el periodo de ~7800 a 2700 años BP probablemente predominó un clima árido y se intensificó la evaporación, lo que propició la formación del Agua del Golfo de California. Bajo este escenario cuatro especies fueron significativas: *Euchitonia* sp, *Tetrapyle octacantha*, *Spongotrochus glacialis* y *Dictyophimus infabricatus*. En el intervalo entre ~2700 y 450 años BP, las condiciones de la Bahía fueron cálidas; que predominó el Agua Superficial Ecuatorial (ASE) y dominaron especies como *Tetrapyle octacantha* y *Theopilium tricostatum*. Asimismo, se registró la señal de eventos relativamente fríos a ~6100, 3600, 3000 y 1400 años, relacionados probablemente con surgencias, caracterizados por la dominancia de *Hexacontium enthacanthum*, *Pylospira octopyle* y *Didymocyrtis tetrathalamus*.

Por medio de la susceptibilidad magnética se definieron episodios en donde el aporte de terrígenos fue significativo a ~7900, 5700, 1700 y 1400 años.

Se determinó un ciclo de cambio climático de ~2000 años asociado con cambios en la actividad solar.

El estudio de alta resolución comprendió la caracterización de las láminas claras y oscuras mediante el análisis de las asociaciones de radiolarios, datos geoquímicos (composición química, contenido y calidad de la materia orgánica) y parámetros magnéticos (Ms). Se sugiere que las láminas oscuras son el resultado de una depositación proporcionalmente mayor de terrígenos y que están asociadas a condiciones climáticas cálidas-templadas, en donde la termoclina es muy marcada y se encuentra por debajo de la zona eufótica. La estratificación permite la mejor preservación de la materia orgánica. Las láminas claras se depositan en condiciones climáticas cálidas y áridas que inducen el ascenso de la termoclina hasta la zona eufótica. Esto propicia la renovación de nutrientes y mejora la productividad. Estas láminas se

caracterizan por una mayor abundancia y diversidad de radiolarios, específicamente de especies indicadoras de alta productividad.

Los sedimentos laminados de la Bahía de la Paz, a diferencia de otras regiones del Golfo de California, son un ejemplo de un sistema depositacional en donde el flujo de sedimentos es fundamentalmente de origen terrígeno. Existen aportes biogénicos episódico menos evidente. Los sedimentos no reflejan una variabilidad anual o interanual, ya que cada lámina representa alrededor de 5 a 7 años.

## ABSTRACT

The deposition of laminated sediments is influenced by a variety of climatic and oceanographic parameters. The study of these natural geological records provides evidence on how climatic changes operate on a regional scale, as a reflection of global conditions.

In this study, a sequence of laminated sediments from the Bay of La Paz is analysed in detail, to infer the paleoceanography of the Holocene and to understand the factors that promote the formation of these sediments. The study encompasses records of low (~36 years) and high resolution (~6 years).

The low resolution records of radiolarian assemblages, defined through Q-mode Factor Analysis, suggests that the Bay of La Paz has experienced conspicuous oceanographic changes, and other important short term events, during the last 8000 years BP, as indicated by <sup>14</sup>C dating. The down-core record suggests that in the period from 7800 to 2700 years BP, dry climatic conditions prevailed with high evaporation that promoted the formation of the Gulf of California Water. In this period, there were four dominant species: *Euchitonia* sp, *Tetrapyle octacantha*, *Spongotrochus glacialis* and *Dictyophimus infabricatus*. In the interval between 2700 to 450 BP years the conditions of the Bay were warm, dominated by the Equatorial Surface Water, with two dominant species: *Tetrapyle octopyle* and *Theopilium tricostatum*. It appears that during the At 6100, 3600, 3000 y 1400 years BP, records indicate that relatively cold events occurred, probably related to upwelling. These events are characterized by the presence of *Hexacontium enthacanthum* *Pylospira octopyle* and *Didymocyrtis tetrathalamus*.

Through magnetic susceptibility, episodes of significant terrigenous input were defined at 7900, 5700, 1700 and 1400 years BP.

A 2000 year climatic change cycle was defined, associated to changes in solar activity.

The high resolution study was focused on the light and dark laminae through analysis of radiolarian assemblages, geochemistry data and magnetic parameters. The records suggest that dark laminae are caused by mostly terrigenous depositions, which are associated to tempered-warm climates, where thermoclyne is very sharp and is found below the euphotic zone. The stratification allows a better preservation of organic matter.

The light laminae are deposited during warm and dry climates at which time the thermoclyne elevates towards the euphotic zone. This promotes the renovation of nutrients and enhances productivity. The light laminates are characterized by high abundance and diversity of radiolarians, specifically high-productivity indicator species.

The laminated sediments of the Bay of La Paz, in contrast to other regions of the Gulf of California, are an example of a deposition system where the sediment flow is basically of terrigenous origin, with less evident episodes of biogenic input. They do not reflect an annual variability, because on average every lamination represents about 5 to 7 years.

## INTRODUCCIÓN

*And the seven years of plentiousness, that was in the land of Egypt was ended. And the seven years of dearth began to come, according as Joseph had said: and the dearth was in all lands; but in the land of Egypt there was bread.*

*Genesis 41:53*

Los cambios climáticos tienen un papel central en la regulación de la sedimentación, esto propicia, en consecuencia, que los sedimentos del piso oceánico representen un registro de estos cambios y que su interpretación sea importante para el entendimiento de la evolución climática (Hays *et al.*, 1976; Imbrie & Imbrie, 1980; Ruddiman, *et al.* 1989; entre otros). En particular, los sedimentos laminados han sido utilizados en estudios de reconstrucciones paleoceanográficas y paleoclimáticas en el Golfo de California (Schrader & Baumgartner, 1983; Baumgartner *et al.*, 1985; Pike *et al.*, 1994; Pike & Kemp, 1997), ya que este tipo de secuencias sedimentarias representa, comúnmente, registros continuos de alta resolución de la variabilidad climática regional.

Estos registros geológicos naturales están restringidos a cuencas con dos características particulares: la primera, es que el ciclo de cambio climático propicie diferencias en el aporte de material biogénico y terrígeno; y la segunda, es que las aguas de fondo deficientes en oxígeno inhiban la bioturbación y así preserven la señal del aporte sedimentario (Thunell *et al.*, 1993; Schummelmann & Lange, 1996).

Revelle (1950) fue el primero en sugerir que la alternancia de láminas claras y oscuras, encontradas en ciertas regiones del Golfo de California, era debida a los cambios estacionales en la producción de plancton. Posteriormente, Byrne (1957) propuso que las láminas claras representaban los “*blooms*” de plancton silíceo durante la primavera, sobreponiéndose a un aporte de material terrígeno a lo largo del año. A partir de estos modelos un número de modificaciones han sido realizadas a este escenario de producción estacional, variando el tiempo y el mecanismo de aporte de los dos componentes principales: ópalo biogénico y material terrígeno (Calvert, 1966); Donegan & Schrader, 1982; Baumgartner *et al.*, 1991; Baba *et al.*, 1991; Thunell *et al.*, 1993).

En particular, la Bahía de la Paz es una cuenca semicerrada relativamente somera (profundidades <420 m), que se encuentra en la parte sureste de la Península de Baja California (Fig. 1.2). Dentro de la Bahía se localiza, a su vez, una pequeña cuenca llamada “Alfonso”, la cual está separada de las cuencas adyacentes al este, por un umbral (Nava-Sánchez, 1997). Este rasgo batimétrico y la circulación lenta evita su venti-

lación, por lo que la disponibilidad de oxígeno es mínima (<0.1 ml/l), lo cual hace posible la preservación de sedimentos laminados. Bajo este escenario es posible estudiar la variabilidad oceanográfica y climática a través del análisis de los componentes biogénicos y terrígenos de los sedimentos.

En particular, los radiolarios han sido utilizados como un *proxy* paleoceanográfico, ya que a través del dato o datos climáticos y oceanográficos que se infieren a partir de éstos, se puede extender el entendimiento del clima, más allá del registro instrumental (Baumgartner *et al.*, 1989). Asimismo, algunos *proxies* geoquímicos y geofísicos han demostrado su valor en trabajos paleoclimáticos y paleoceanográficos (p. ej. Emeis *et al.*, 1991; Meyers, 1997; Urrutia-Fucugauchi *et al.*, 1997).

En este trabajo de investigación se analiza detalladamente una secuencia de sedimentos laminados en la Bahía de la Paz y se plantean los siguientes objetivos:

#### OBJETIVO GENERAL

Inferir la paleoceanografía holocénica de la Bahía de la Paz y entender los factores que inducen la formación de sedimentos laminados en esta cuenca.

#### OBJETIVOS PARTICULARES

- Definir el marco geocronológico de la secuencia de sedimentos laminados del núcleo BAP96J-CP, mediante la utilización de técnicas radiométricas ( $^{14}\text{C}$ -AMS y  $^{210}\text{Pb}$ ).
- Definir el registro micropaleontológico en las laminaciones en la Bahía de la Paz, estudiando detalladamente las asociaciones de radiolarios polycistinos.
- Identificar las señales paleoclimático-oceanográficas registradas en los sedimentos laminados, mediante la interpretación ecológica de las asociaciones de radiolarios.
- Evidenciar cuáles han sido los factores regionales y globales que han propiciado la variación de las condiciones oceanográficas en el área de estudio.
- Determinar los factores que controlan la formación de sedimentos laminados en la Bahía de la Paz, a través de algunos *proxies* micropaleontológicos, geoquímicos y geofísicos.

## CAPÍTULO 1 ESTADO ACTUAL DE CONOCIMIENTOS

### EL GOLFO DE CALIFORNIA

#### MARCO OCEANOGRÁFICO GENERAL

El Golfo de California presenta varias cuencas que son progresivamente menos profundas de sur a norte. Estas cuencas están separadas una de otra por parteaguas submarinos transversales. Las cuencas más al sur (Farallón, Carmen y Guaymas) están en comunicación abierta con el Pacífico Ecuatorial, mientras que las que se encuentran al norte están parcialmente aisladas de las aguas intermedias y profundas del Pacífico, y son relativamente pobres en contenido de oxígeno:  $\sim 1$  ml/l (Bray y Robles, 1991) (Fig. 1.1).

El Golfo de California es una cuenca evaporítica cuya estructura vertical termohalina está caracterizada por la salida de agua tibia y salina cerca de la superficie (Bray, 1988) y una entrada compensatoria de agua superficial. El intercambio en la superficie está relacionado con los patrones estacionales de los vientos (Bray & Robles, 1991). Durante el invierno y la primavera los vientos provienen del norte y esto da como resultado un transporte neto de aguas superficiales fuera del Golfo, así como una intensa surgencia y alta productividad a lo largo del lado oriental de la cuenca (Roden, 1972; Álvarez-Borrego & Lara-Lara, 1991). En el verano y el otoño, el desarrollo de vientos del sur produce la penetración de aguas superficiales ecuatoriales en el Golfo

y la presencia de surgencias del lado occidental (Badan-Dangon *et al.*, 1985).

Frente a la boca del Golfo se encuentran varias masas de agua que son transportadas por un sistema de corrientes que presenta movimientos estacionales como respuesta a cambios igualmente estacionales de la meteorología a escala de todo el Océano Pacífico. Por ejemplo, el movimiento estacional de la Zona de Convergencia Intertropical impone desplazamientos latitudinales de todo el sistema de corrientes ecuatoriales, los cuales repercuten en qué tan al sur llega la Corriente Mexicana (que es la que acarrea al Agua Superficial Ecuatorial). Esta variación estacional de las corrientes frente a las costas mexicanas es congruente con la variación de la posición de las masas de agua superficiales en el Golfo (Lavin *et al.*, 1997).

La principal causa de variabilidad interanual en el patrón de circulación del Golfo es la ocurrencia *quasi-periódica* del fenómeno de "El Niño"/Oscilación del Sur (ENSO) (Robles y Marinone, 1987; Bray y Robles, 1991). Un aumento de la temperatura superficial y un incremento en las anomalías del nivel del mar están claramente asociadas con este evento (Baumgartner &



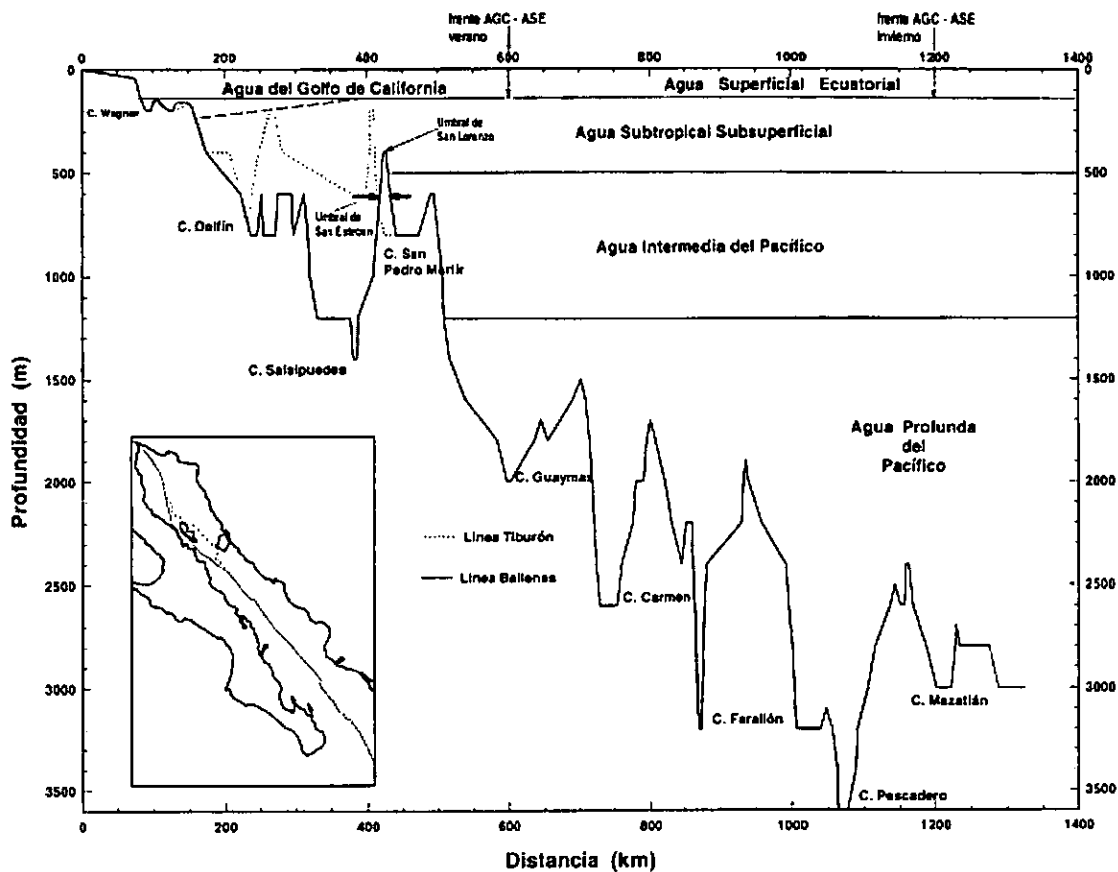


Figura 1.1. Esquema de distribución de las masas de agua del Golfo de California (Lavín et al., 1997).

Christiansen, 1985; Pérez-Cruz y Molina-Cruz, 1988). Durante los años de ENSO las aguas superficiales cálidas y de baja salinidad del Pacífico sólo se extienden hacia la parte central del Golfo (Bray & Robles, 1991). Otros estudios han reportado que la productividad superficial y la lluvia, son también más intensas en el Golfo (Alvarez-Borrego & Lara-Lara, 1991). "El Niño" más fuerte registrado en lo que va del siglo, ocurrió en 1982-1983. La hidrografía tuvo cambios notables (Robles & Marinone, 1987), ya que se presentó una intrusión exagerada de Agua Superficial Ecuatorial en el verano (Lavín et al., 1997).

Una estrato de oxígeno mínimo bien definido existe en el Golfo de California y ha sido observado por varios autores a profundidades inter-

medias entre 400 y 1600m (Calvert, 1964; Roden, 1964; Álvarez-Borrego & Lara-Lara, 1991). En particular, en la región sur del Golfo las concentraciones de oxígeno son de  $-0.1$  ml/l a profundidades de 200 a 600-800 m (Calvert, 1964; Álvarez-Borrego & Lara-Lara, 1991). Cuando esta zona incide sobre el talud hay muy poca bioturbación y se hace posible la conservación de sedimentos laminados como en las cuencas del Carmen y Guaymas entre  $-500$  y  $1000$ m (Thunell et al., 1993). Se han propuesto diferentes modelos para explicar el origen de estos sedimentos. Todos relacionan cambios estacionales en la entrada de sedimentos terrígenos y/o biogénicos (Byrne, 1957; Calvert 1966; Baumgartner et al., 1991; Thunell et al., 1993). La formación de estas secuencias sedimentarias

está relacionada con la alta productividad primaria estacional, ligada con los procesos de surgencias y con los bajos contenidos de oxígeno en el fondo (Calvert, 1966).

Los sedimentos laminados, generalmente *varves*, que se forman en la parte central del Golfo de California proporcionan información acerca de la variabilidad climática en esta región, con una alta resolución (escala anual). El Golfo está situado idealmente para monitorear cambios, a

escala de cuenca, en el Pacífico. Cambios estacionales en la posición del centro de alta presión del Pacífico norte y los bajos continentales adyacentes controlan los patrones de viento predominantes y la precipitación; éstos a su vez afectan la circulación superficial y el aporte de sedimentos a la cuenca. Estas características hacen que los sedimentos laminados que se acumulan en el Golfo, además de tener un interés local, se consideren un registro de cambios importantes en el sistema climático global.

## LA BAHÍA DE LA PAZ

### LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y ESTRUCTURA DE LA CUENCA ALFONSO

La Bahía de la Paz se encuentra ubicada sobre el margen suroriental de la Península de Baja California, a ~180 km de la boca del Golfo de California, entre los 24.20° y 24.97° de latitud N y, 110.30° y los 110.75° de longitud W (Fig. 1.2).

Su longitud es de 90 km y su ancho de 60 km, con una área de ~4,500 km<sup>2</sup>. Se comunica libremente con las aguas del Golfo de California a través de la Boca Grande, ubicada entre la Isla San José y el extremo norte de la Isla Partida. Al sureste también se comunica con el Golfo de California a través de una boca secundaria (Canal de San Lorenzo) localizada en el extremo sur de Isla Espíritu Santo (Jiménez-Illescas, 1996). La Bahía está influenciada por el Golfo de California, especialmente a través de la Boca Grande, observándose que la variabilidad en el sur del Golfo determina en gran parte la variabilidad de mesoescala de ésta (Monreal-Gómez *et al.*, en prensa).

La Bahía de la Paz, en la parte norte, tiene una profundidad de ~420 m, mientras que la parte

sur es más somera (~18m) (Fig. 1.3). Al norte de la Bahía, frente a Punta Coyote, se encuentra la Cuenca Alfonso, la cual tiene una profundidad máxima de ~400 m. Esta Cuenca está aislada del Golfo por un umbral batimétrico definido a ~275 m de profundidad (Nava-Sánchez, 1997) (Fig. 1.2c).

### CLIMA

El clima de la Bahía varía de seco a desértico cálido, con temperatura media de 22°C (García, 1973) y una humedad relativa del orden de 50% durante el día. La cobertura de nubes durante el año es de las más bajas en México. Se registran nublados sólo cuando se acerca una masa de aire tropical y se encuentra con una masa fría o cuando se aproxima un ciclón tropical (Jiménez-Illescas, 1996).

La precipitación media anual es de 180 mm y la evaporación media anual es de 300 mm (Jiménez-Illescas, 1996). Este exceso de la evaporación sobre la precipitación causa un incremento en la salinidad, ya que el aporte permanente de agua dulce por ríos es prácticamente nulo. La precipitación depende de la ocurrencia de tormentas tropicales y de huracanes, los cuales en su mayoría es-

tán asociados con el fenómeno de “El Niño” (Bray & Robles, 1991; Nava-Sánchez, 1997) (Fig. 1.4).

### MARCO OCEANOGRÁFICO

Antes de describir esta sección referente a la dinámica oceanográfica de la Bahía de la Paz, es muy importante mencionar que esta Bahía prácticamente no ha sido estudiada y que son muy escasos los trabajos sobre su oceanografía. Dos

de éstos, el de Jiménez-Illescas, 1996, quien propone un modelo hidrodinámico, y el de Monreal *et al.* (en prensa), representan las primeras descripciones oceanográficas formales de esta Bahía, por lo que básicamente se hará referencia a ellos.

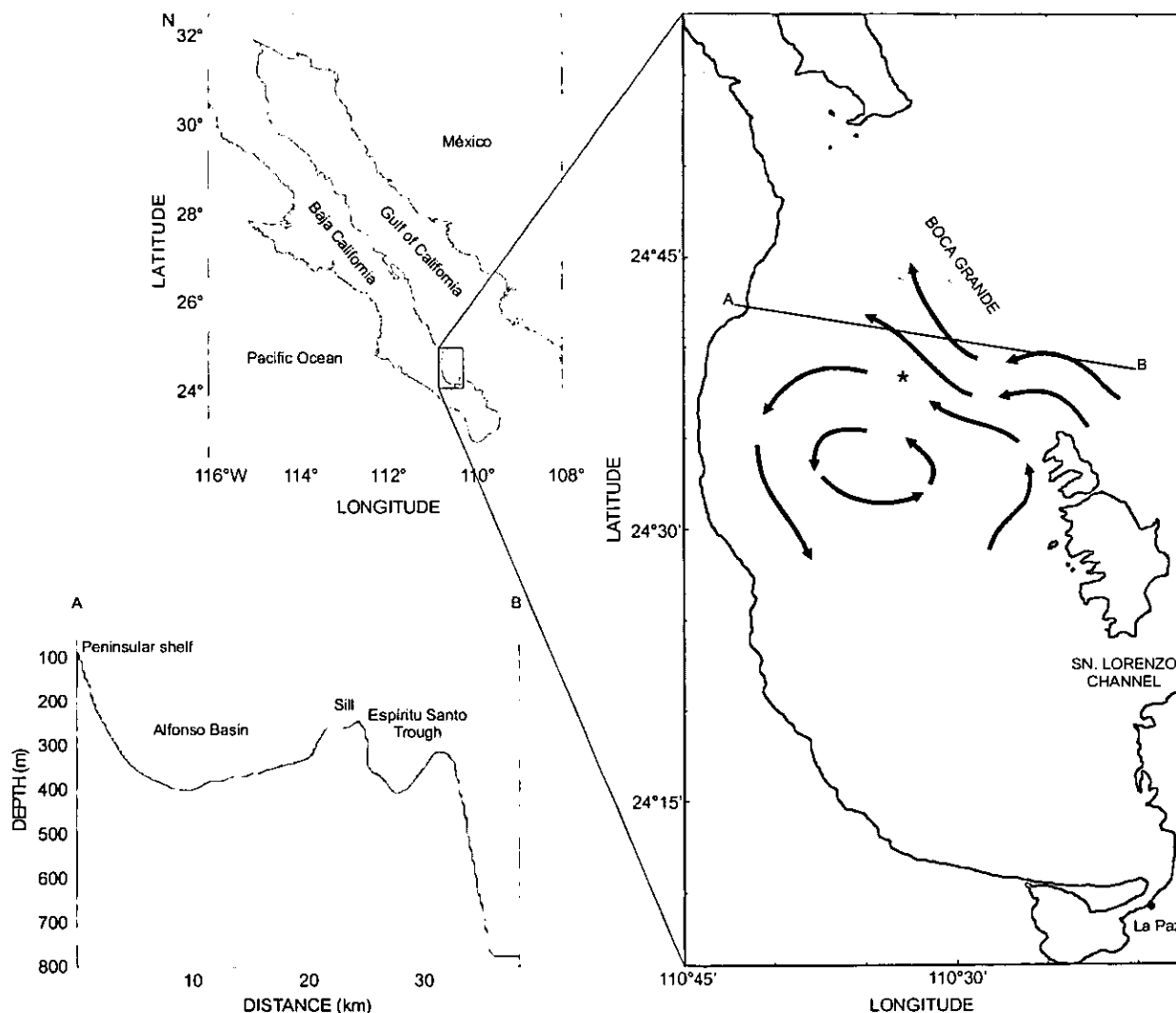


Figura 1.2 a) Localización de la Bahía de la Paz, b) giro ciclónico definido por la circulación oceánica. c) perfil batimétrico del umbral a - 275 m (modificado de Nava-Sánchez, 1997). El asterisco muestra la posición del núcleo BAP96J-CP

## CIRCULACIÓN SUPERFICIAL

La fuerte estructura barotrópica y el estrés de los vientos y las mareas son los factores principales que gobiernan la circulación y la estructura termohalina de la Bahía de la Paz (Jiménez-Illescas, 1996). Monreal *et al.* (en prensa), refieren que la circulación está influenciada durante el verano por vientos del sureste y en el invierno por vientos del nortenoeste, conocidos localmente como “Coromueles” y “Coyas”, respectivamente.

El Agua Superficial Ecuatorial (ASE) penetra al Golfo de California desde el Océano Pacífico y llega a la Bahía de la Paz. Dentro de la Bahía, esta agua alimenta a un giro ciclónico inducido por los vientos del noroeste (con una

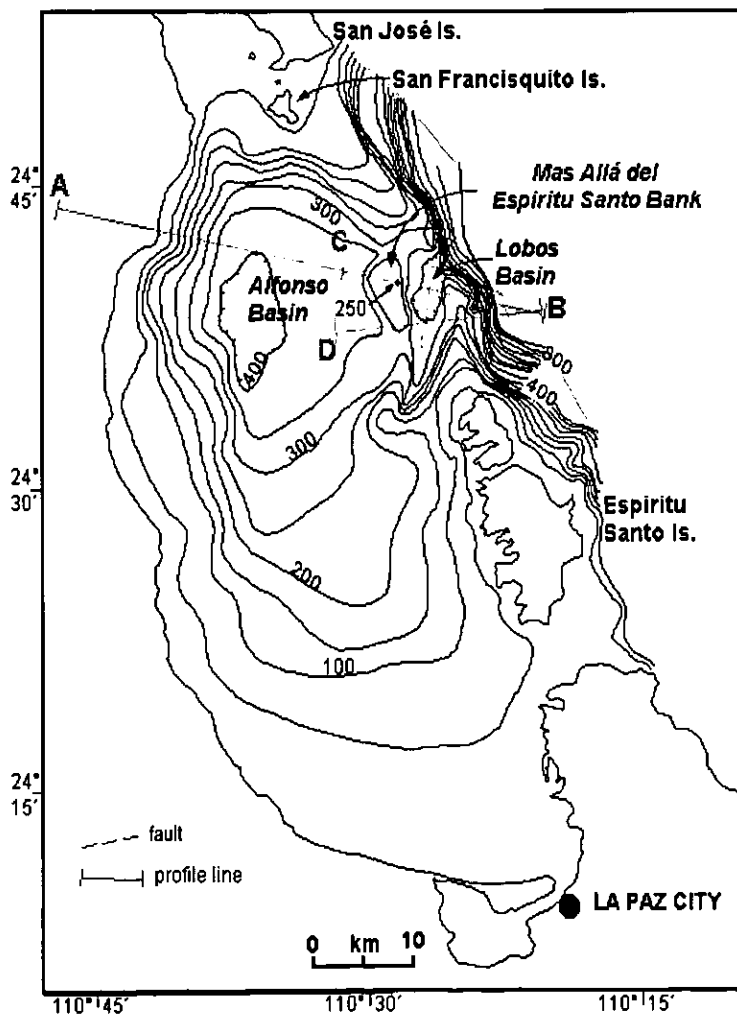


Figura 1.3. Batimetría de la Bahía de la Paz (Nava-Sánchez, 1997)

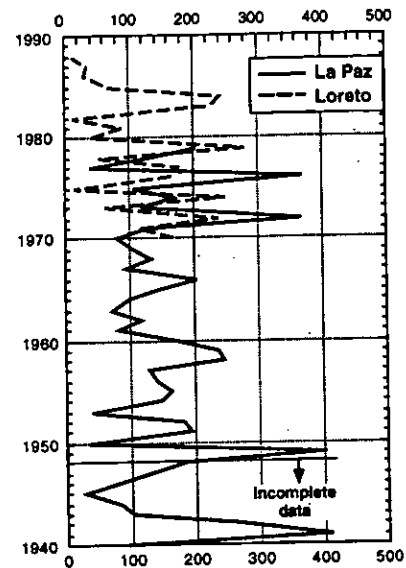


Figura 1.4 Registros de precipitación anual de las ciudades de La Paz y Loreto. La precipitación anual más alta tiene una periodicidad de 9 a 10 años (Nava-Sánchez, 1997)

profundidad de 150 m), que constituye la característica más importante del patrón de circulación (Fig. 1.2b). El giro ciclónico origina un proceso de divergencia, el cual, teóricamente, podría incrementar la productividad primaria en el área (Monreal-Gómez *et al.*, en prensa). Estas condiciones oceanográficas probablemente induzcan los procesos de surgencias que algunos autores mencionan dentro de la Bahía (Santoyo, 1976; Signoret, 1980).

Una termoclina muy marcada es descrita en la Bahía de la Paz, como una característica relevante (Monreal-Cruz *et al.*, en prensa). En invierno, la parte superior de la termoclina se encuentra a ~ 80 m de profundidad y en verano a ~ 20 m. En general, la temperatura del agua de la termoclina en invierno desciende de ~21.5°C a 15°C entre 80 y 100 m de profundidad, y en verano de

-25°C a 17°C dentro de los 20 a 60 m (Fig. 1.5). Ambos gradientes verticales son abruptos, por lo que definen una termoclina muy marcada, la cual se mantiene a lo largo del año. La termoclina de verano es más somera que la de invierno, y concurre con la zona eufótica. De acuerdo con los gradientes termales, la termoclina de verano es más débil que la de invierno. Una termoclina marcada propicia una estratificación de masas de agua bien definida e inhibe la mezcla vertical. Esto podría explicar el por que en la Bahía la productividad no es alta, aunque se presenten divergencias, causadas por el el giro ciclónico (Monreal-Gómez *et al.*, en prensa).

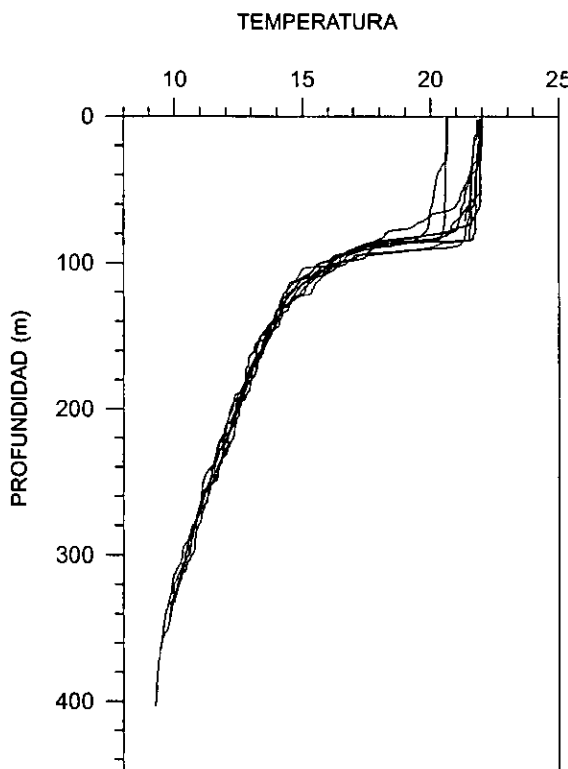


Figura 1.5. Distribución vertical de la temperatura del agua dentro de la Bahía de la Paz (Molina-Cruz *et al.*, en prensa).

## MASAS DE AGUA

Siguiendo la clasificación de masas de agua del Golfo de California sugerida por Torres-Orozco (1993), Monreal *et al.* (en prensa), exponen que dentro de la Bahía de la Paz concurren tres masas de agua (Fig. 1.6): El Agua del Golfo de California (AGC;  $S^{35.00}$ ,  $T^{12.00^{\circ}\text{C}}$ ), el Agua Superficial Ecuatorial (ASE;  $S < 35.00$ ,  $T^{18^{\circ}\text{C}}$ ), y el Agua Subsuperficial Subtropical (AssST;  $34.50 < S < 35.00$ ,  $9 < T < 18.00^{\circ}\text{C}$ ). En la Boca Grande, fuera de la Bahía a profundidades mayores de 400m, se presenta de el Agua Intermedia del Pacífico (AIP;  $34.50 < S < 34.80$ ,  $4.00 < T < 9.00$ ).

Monreal-Gómez *et al.*, (en prensa) definen, a través de la distribución vertical de la salinidad, la profundidad de las masas de agua antes descritas. El Agua del Golfo de California se presenta de la superficie hasta -25 m de profundidad, mientras que, hasta -60 m, se observa el Agua Superficial Ecuatorial, y de 60 m al fondo, concurre el Agua Subsuperficial Subtropical.

Los valores de las temperaturas superficiales varían entre 25.68° y 27.60° C (Fig. 1.7a) su distribución muestra valores máximos cerca de la Isla Partida y se observa un gradiente en el cual los valores se incrementan desde adentro de la Bahía hacia la Boca Grande. La salinidad superficial oscila entre 34.96 y 35.25 y describe un patrón inverso al de la temperatura superficial; es decir, los valores aumentan desde la Boca Grande hacia el interior de la Bahía (Fig. 1.7b). Esta distribución también describe la densidad relativa ( $\sigma_t$ ) en la superficie, con valores entre 22.55 y 22.31 (Fig. 1.7c).

Las temperaturas a 50 m de profundidad varían entre 17.25 y 20.25°C y sus isotermas describen un patrón concéntrico, con valores aumentando distalmente (Fig. 1.8a). Las isopicnas, a 50 m de

profundidad, muestran valores entre 24.50 y 25.25 (Fig. 1.8b). El máximo valor corresponde con el mínimo de temperatura descrito anterior-

mente. La densidad disminuye hacia la periferia con el valor mínimo en la Boca Grande.

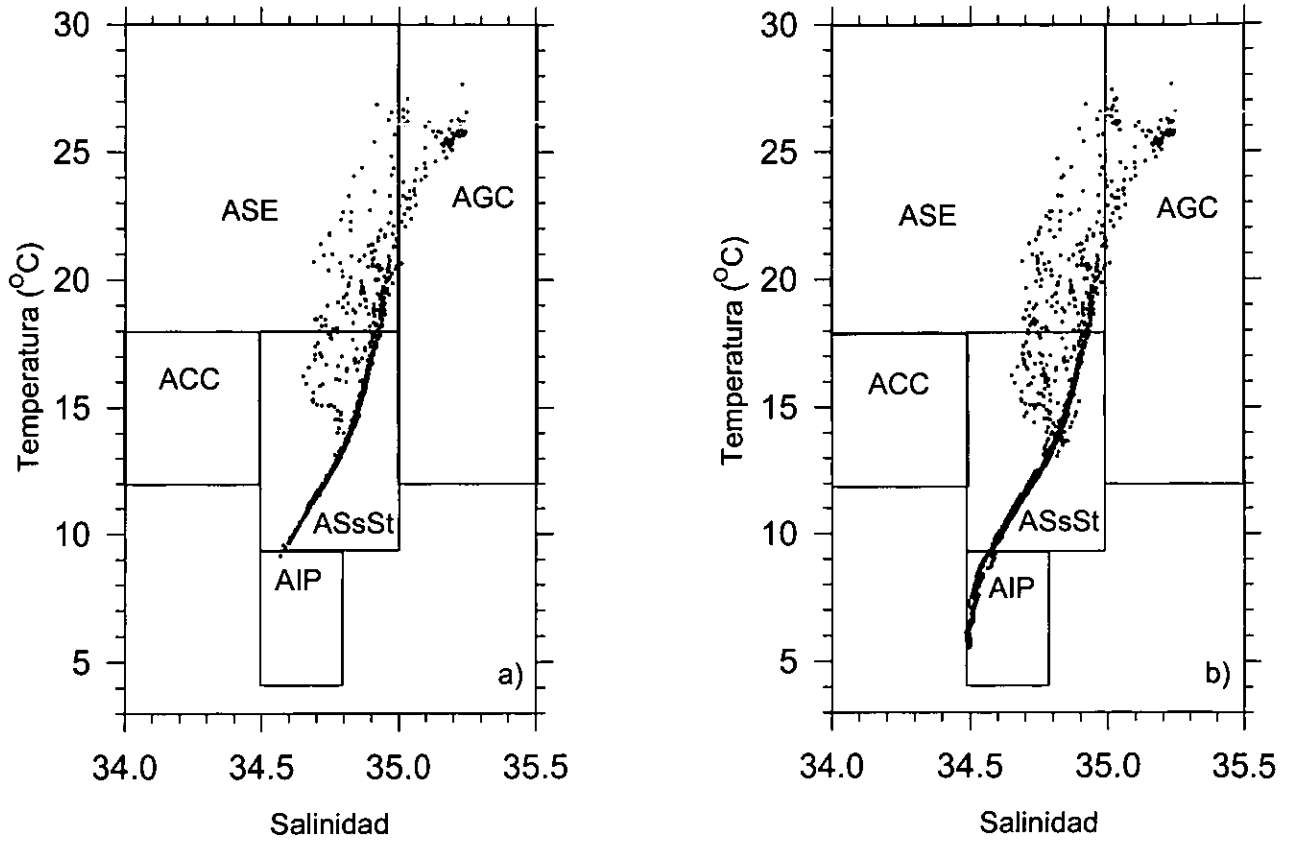


Figura 1.6. Características de temperatura y salinidad: a) en la Bahía de la Paz, y b) fuera de la Bahía (Monreal-Gómez et al., en prensa).

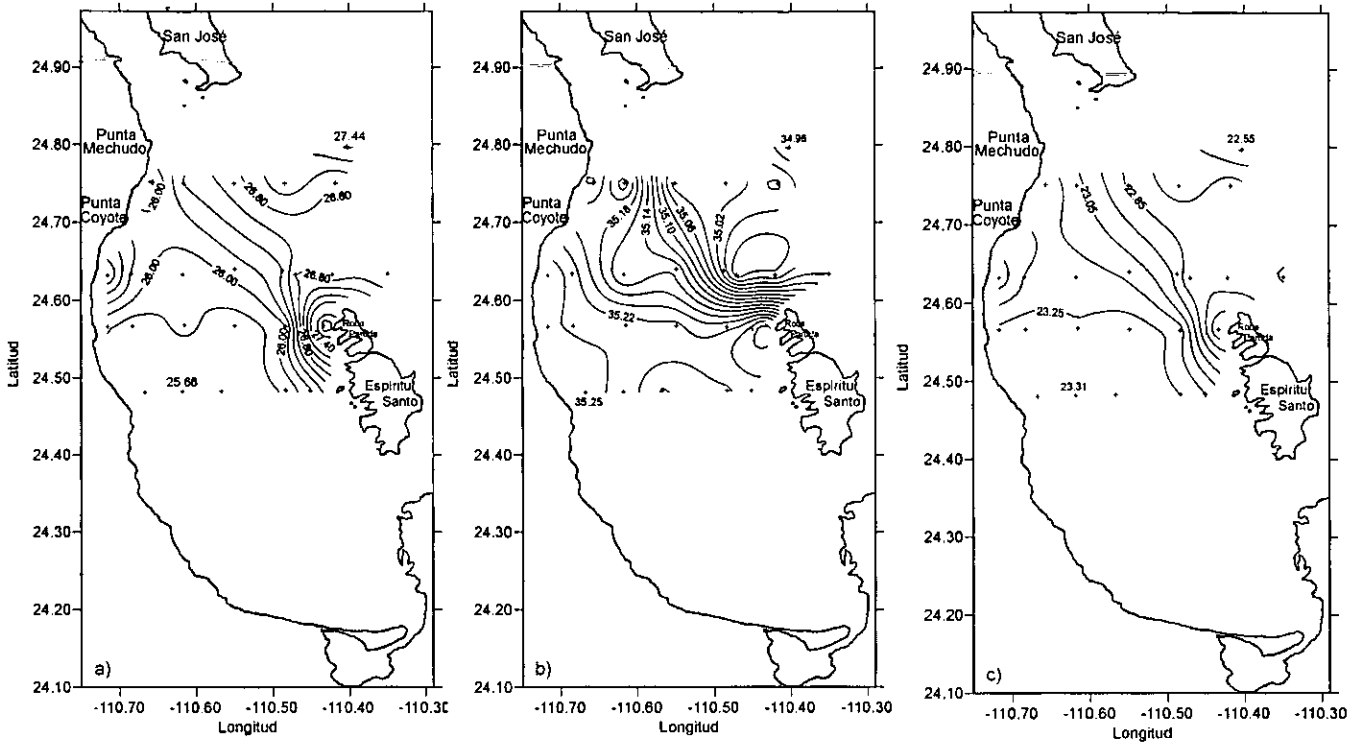


Figura 1.7. Distribución superficial de: a) temperatura, b) salinidad y c) sigma q (Monreal-Gómez et al., en prensa)

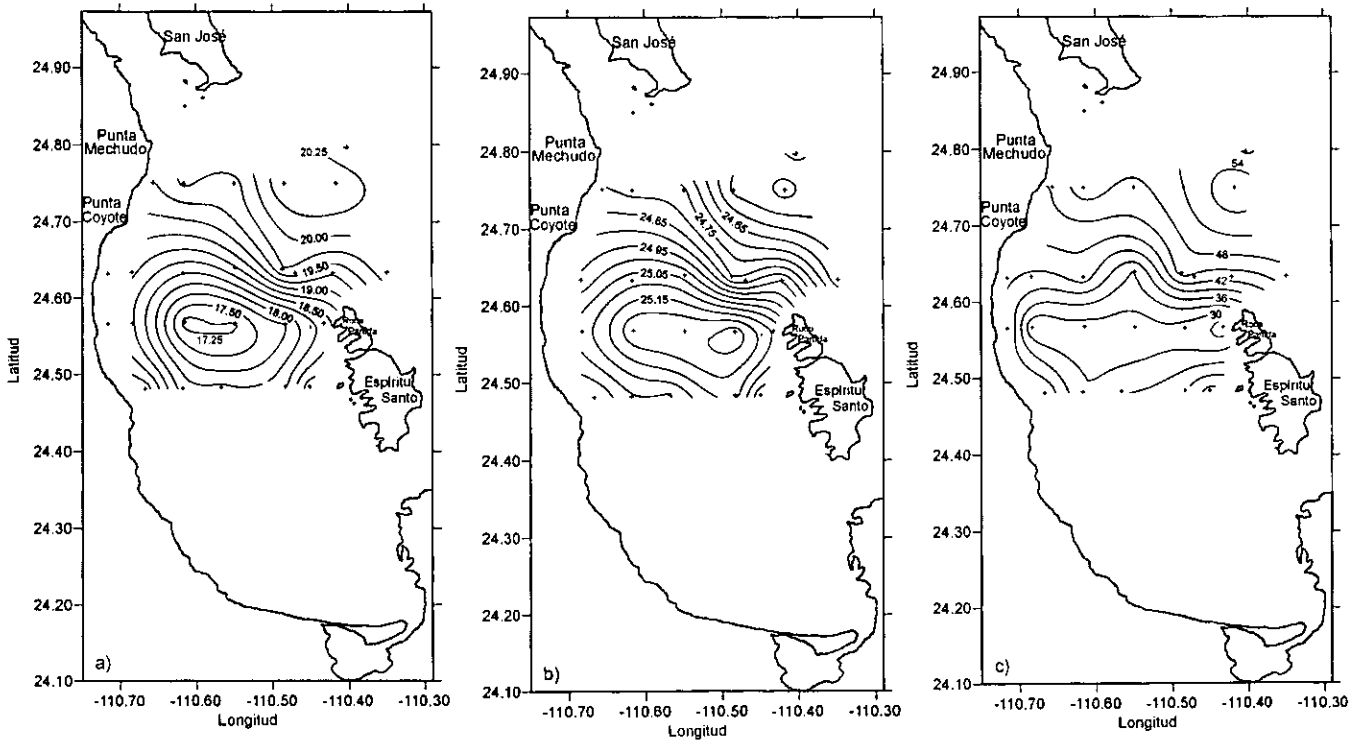


Figura 1.8. Distribución a 50 m de profundidad de: a) temperatura, b) sigma q, y c) topografía de la isoterma de 20°C (Monreal-Gómez et al., en prensa).

A lo largo de la latitud 24.55°N, la topografía de la isoterma de 20°C se localiza exactamente a 30 m de profundidad; sin embargo, se hace más profunda y concéntrica distalmente, es decir, describe un domo (Fig. 1.8c).

De acuerdo con la distribución de las isotermas, isopícnias y de la topografía de la isoterma de 20°C, el geostrofismo indica que durante finales de la primavera el intercambio de las aguas superficiales entre el Golfo de California y la Bahía de la Paz ocurre predominantemente a través de la Boca Grande. La incursión de agua superficial del Golfo a la Bahía se presenta en el sur de dicha Boca, mientras que el flujo de la Bahía al Golfo es a través de la parte norte, particularmente al este de Punta Coyote.

Monreal-Gómez *et al.*, (en prensa) proponen que el Agua Superficial Ecuatorial es introducida desde el Golfo a la Bahía y que una vez ahí, debido a los procesos de evaporación, esta agua incrementa su salinidad (>35) y se transforma en Agua del Golfo de California. El proceso de producción de esta agua está de acuerdo con los argumentos propuestos por Warsh, *et al.* (1973).

#### OXÍGENO DISUELTO

La distribución vertical de oxígeno disuelto en la Bahía de la Paz muestra valores máximos en la superficie (>5.0 ml/l), mientras que a 75 m de profundidad se define la oxiclina, en donde el contenido de oxígeno es de ~1.0 ml/l. En el fondo, el oxígeno disuelto es < 0.1 ml/l. Molina-Cruz *et al.* (en prensa), sugieren que el oxígeno mínimo detectado en las capas inferiores a la oxiclina

es debido a una ineficiente mezcla entre la capa mezclada y las subsecuentes capas inferiores, y no es causado por los procesos de oxidación de la materia orgánica.

Es importante recordar que los sitios en donde las masas de agua *quasi*-anóxicas intersectan a los sedimentos y no hay bioturbación, son propicios para la depositación y preservación de sedimentos con estructura laminada (Savrda *et al.*, 1984; Savrda & Bottjer, 1991).

#### SEDIMENTOS

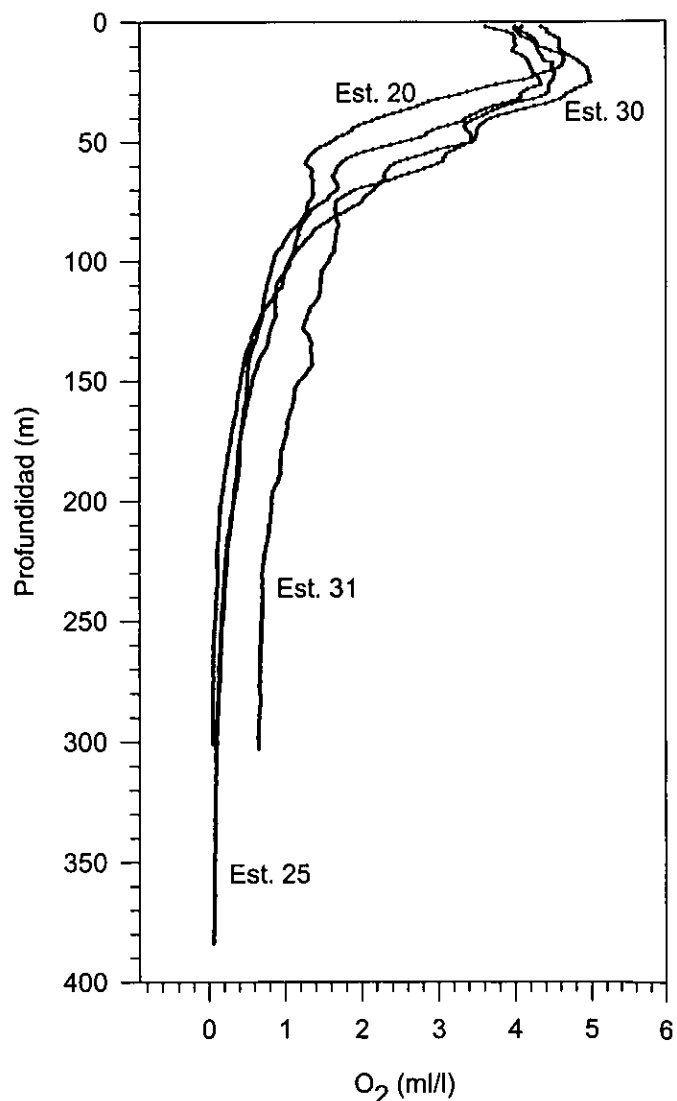


Figura 1.9. Perfil vertical de oxígeno disuelto en la Cuenca Alfonso, Bahía de la Paz. (Monreal-Gómez *et al.*, en prensa).



Dentro de la Bahía de la Paz existen condiciones ambientales muy particulares: 1) es una región dominada por el intemperismo físico (calor y frío); 2) presenta una precipitación anual baja (200 mm) y la evaporación es muy alta, y 3) no hay presencia de corrientes fluviales.

De acuerdo con la composición textural de los sedimentos, dentro de la Bahía es posible definir dos regiones: En la parte sur así como en las márgenes y en el Canal de San Lorenzo predominan las arenas, mientras que en la región norte, más profunda, los sedimentos son

limosos (Cruz-Orozco *et al.*, 1996). El contenido de materia orgánica fluctúa entre < 1 a 5%, con los valores más bajos en la parte sur y los valores > 3 a 5%, alrededor de la Isla Espíritu Santo, probablemente porque no existe remoción de material y quizás por ser un área de alta productividad.

Los procesos de sedimentación, asociados a la dinámica oceanográfica, en particular en la Cuenca Alfonso, influyen preponderantemente en la depositación de secuencias laminadas.

## SEDIMENTOS LAMINADOS: VARVES Y SECUENCIAS DE APORTE DIFERENCIAL NO ANUALES

Una *varve* es definida como un par de capas de color y textura contrastantes, las cuales representan el depósito de un año (verano e invierno) en algún tiempo en el pasado (Burroughs, 1992). La palabra viene del sueco que significa "capa" y fue utilizada por primera vez por el Baron Gethard de Geer (1912). Su formación ha sido atribuida a un ciclo anual de aporte diferencial de sedimentos biogénicos y no biogénicos (Hay, 1988; Hay *et al.*, 1990). Bajo la hipótesis de que las *varves* representan unidades anuales de depositación, un número de estudios de núcleos sedimentarios ha utilizado estas láminas como geocronómetros (Hay, 1988; Hay *et al.*, 1991). No obstante, se han mostrado discrepancias significativas entre las cronologías de esas *varves* y la edad derivada de dataciones mediante la técnica de  $^{14}\text{C}$  utilizando Espectrometría de Aceleración de Masas (AMS, por sus siglas en inglés), en regiones como el Mar Negro y el Golfo de California (Jones, 1990; Calvert, *et al.*, 1991). La técnica de radiocarbono consistentemente da edades más antiguas que las determinadas por el conteo de láminas. Crusius y Anderson (1991),

utilizando el método radiométrico  $^{210}\text{Pb}$  en sedimentos laminados del Mar Negro, indicaron que las tasas de acumulación de los sedimentos eran dos veces menores que las basadas en el conteo de láminas. Con base en lo anterior los autores concluyeron que los paquetes de sedimento (capas claras y oscuras) en el Mar Negro no pueden ser considerados como *varves*. Esto se traduce en que no todo par de secuencias claro-oscuras representan un depósito anual.

Para el Golfo de California existe un acuerdo entre las cronologías derivadas de los conteos de láminas y varias técnicas radiométricas, así:

En la Cuenca de Guaymas, utilizando material recuperado mediante un nucleador de caja, Baumgartner *et al.*, (1985) reportan una tasa de sedimentación de 2.4 mm por año, tanto por el conteo de *varves*, como utilizando la técnica de  $^{210}\text{Pb}$ .

Juillet-Leclerc y colaboradores (1991), apoyan la idea de que los paquetes sedimentarios del Golfo

de California son verdaderas *varves*. Estos autores establecieron una cronología para un núcleo de caja, colectado en la Cuenca de Guaymas en 1980, utilizando mediciones radiométricas de  $^{137}\text{Cs}$ . El  $^{137}\text{Cs}$  se produjo durante el periodo de pruebas nucleares atmosféricas (1960-1966). El máximo periodo de lluvia radioactiva ocurrió en 1964 (Bowen *et al.*, 1968). En el núcleo estudiado por estos autores, el pico de  $^{137}\text{Cs}$  ocurre a 44 mm del "techo" del núcleo. Asumiendo que esta profundidad corresponde a 1964, el conteo de *varvas* hacia arriba, a partir de esta marca, confirma que el techo del núcleo fue en efecto depositado al tiempo en que éste se recuperó (1980).

#### MODELOS DE FORMACIÓN DE SEDIMENTOS LAMINADOS (*VARVES*)

Diferentes modelos e hipótesis han sido propuestos para explicar la formación de sedimentos laminados en el Golfo de California. Revelle (1950)

fue el primero en sugerir que la alternancia de láminas claras y oscuras, encontradas en ciertas regiones del Golfo de California, son debidas a los cambios estacionales en la producción de plancton. Byrne (1957) propuso que las láminas claras representan los "*blooms*" de plancton silíceo durante la primavera (particularmente de diatomeas), sobreponiéndose a un aporte más o menos constante de material terrígeno a lo largo del año. Desde entonces, un número de modificaciones han sido hechas a este escenario de producción estacional. El modelo de Byrne (1957), fue modificado por Calvert (1966), Donegan & Schrader (1982), Baumgartner *et al.* (1991), Baba *et al.* (1991) y Thunell *et al.* (1993), variando el tiempo y el mecanismo de aporte de los dos componentes principales: ópalo biogénico y material terrígeno (un resumen de estos modelos se presenta en el Cuadro 1). Estos modelos coinciden en que las láminas oscuras se forman cuando existe un alto aporte de terrígenos, mientras que las láminas claras se depositan cuando la producción de ópalo es alta.

**Cuadro 1. MODELOS PROPUESTOS PARA LA DEPOSITACIÓN DE LÁMINAS CLARAS Y OSCURAS EN EL GOLFO DE CALIFORNIA**

	<i>Láminas claras</i>	<i>Láminas oscuras</i>
1. Revelle (1950)	" <i>Blooms</i> " de plancton en invierno.	Aporte de material terrígeno, principalmente en verano.
1. Byrne (1957)	" <i>Blooms</i> " de plancton silíceo en primavera.	Aporte constante de material detrítico durante todo el año.
2. Calvert (1966)	Sedimentación biogénica constante a través de todo el año.	Alto aporte de material terrígeno durante el verano asociado con grandes descargas de ríos.
3. Donegan y Schrader (1982).	Alta producción de ópalo asociada con la estación de invierno seco.	Alto aporte de terrígenos durante la estación de verano con alta humedad.
4. Baumgartner <i>et al.</i> (1991).	Alta producción de ópalo biogénico asociada con el periodo de surgencias desde el invierno hasta la primavera.	Alto aporte de terrígenos desde el verano hasta el otoño, asociado con tormentas de polvo.
5. Thunell <i>et al.</i> (1993).	Desde finales del otoño hasta principios de primavera cuando el flujo total tiende a ser bajo, pero es dominado por ópalo biogénico.	Alto aporte de terrígenos desde el verano hasta principios del otoño, probablemente transportado eólicamente

## SEDIMENTOS LAMINADOS « ESTUDIOS PALEOCEANOGRÁFICOS

Los sedimentos laminados han sido utilizados por diversos autores en estudios de reconstrucciones paleoceanográficas y paleoclimáticas en el Golfo de California. Por ejemplo, Baumgartner *et al.* (1985) usaron un registro de *varves* de 20 años para examinar las relaciones entre la producción de plancton silíceo, el cambio en el nivel del mar y la presencia del ENSO.

Juillet-Leclerc y Scharder (1987), estudiaron sedimentos laminados e infirieron las variaciones en la intensidad de las surgencias en el Golfo de California en los últimos 3000 años. Pike *et al.* (1993), analizaron sedimentos laminados del Golfo de California a través de imágenes de microscopía electrónica de barrido con electrones retrodispersos y propusieron una historia climática y oceanográfica más compleja que las anteriores. Posteriormente, Pike & Kemp (1997), mediante un análisis de imágenes de electrones retrodispersos, examinaron y documentaron detalladamente sedimentos laminados del Holoceno temprano de la Cuenca de Guaymas, definiendo eventos depositacionales anuales y decadales.

Los factores que controlan la depositación de estos sedimentos laminados parecen variar y estar influenciados por diferentes parámetros climáticos de acuerdo a cada región, así que el estudio detallado de estos registros es muy valioso para conocer como operan los cambios climáticos a diferentes escalas de tiempo en diferentes regiones.

## RADIOLARIOS: PROXIES PALEOCEANOGRÁFICOS

Debido a que el plancton está cercanamente relacionado a la hidrografía, sus restos en el registro sedimentario porporcionan una herramienta

para decifrar condiciones paleoceanográficas y paleoclimáticas (Weinheimer & Cayan, 1997). Se ha mostrado que el plancton refleja las condiciones hidrográficas como si hubieran sido medidas con registros instrumentales (Baumgartner *et al.*, 1989). En particular, los radiolarios polycistinos (referidos como radiolarios en este trabajo), son microzooplancton silíceo que vive a todas las profundidades de la columna de agua y que ha sido utilizado en correlaciones con: temperatura, salinidad, profundidad, nutrientes y clorofila (p. ej. Casey, 1971; Petrushevskaya, 1971; Kling, 1978; 1979; Alder & Boltovskoy, 1993; Weinheimer & Cayan, 1997). Arrastres de plancton, trampas de sedimentos y datos de sedimentos de fondo muestran que la distribución geográfica de los radiolarios en la columna de agua y en los sedimentos, están relacionadas con los dominios definidos hidrográficamente (Casay, 1971; Molina-Cruz, 1977; Piasias, 1978; Boltovskoy & Riedel, 1987; Abelman, 1992; Molina-Cruz & Martínez-López, 1994). Los estudios de series de tiempo muestran que los grupos de plancton, en particular ciertas especies, tienden a fluctuar con los cambios climáticos (Boltovskoy *et al.*, 1996). Este fenómeno ha sido atribuido a condiciones ambientales a gran escala (Colebrook, 1977).

De aquí que, los radiolarios en este estudio se utilizaran como un *proxy* paleoceanográfico, ya que a través del dato o datos climáticos y oceanográficos que se infieran a partir de éstos, se podrá extender el entendimiento del clima, más allá del registro instrumental (Baumgartner *et al.*, 1989).

Estudios previos de radiolarios en el Golfo de California han tratado de relacionar la distribución de especies con las condiciones superficiales del océano. Por ejemplo, Benson (1964), describe la taxonomía de los radiolarios encontrados en muestras sedimentarias superficiales y, relacio-

na la distribución de las especies a los patrones de surgencias en el Golfo. Posteriormente, Molina-Cruz (1985; 1986), utilizando el mismo material que Benson, así como material nuevo, aplicó métodos estadísticos para definir la distribución de los conjuntos de radiolarios y su relación con la oceanografía de la capa mezclada del Golfo.

Mientras que estos estudios han mostrado que la distribución de radiolarios, tanto en el Golfo como en otras áreas, está relacionada con las condiciones oceanográficas superficiales, estudios ecológicos de radiolarios vivos han demostrado que sus distribuciones reflejan tanto características horizontales como verticales de las masas de agua (Casey, 1971; McMillan & Casey, 1978; Kling, 1979, Molina-Cruz *et al.*, 1999).

En un estudio del Pacífico Tropical, Kling (1979), mostró que en una sección vertical hidrográfica la abundancia de especies de radiolarios cambia como consecuencia de las propiedades físicas y químicas de la columna de agua. Los datos también sugieren que las especies comúnmente encontradas en las cercanías de la zona superficial pueden ser transportadas por advección a niveles subsuperficiales, inclusive por debajo de la termoclina.

Por su parte, Pisias (1986), señaló en un estudio que realizó con sedimentos superficiales del Golfo de California, que la circulación vertical del Golfo juega un papel importante en la distribución de los conjuntos de radiolarios.

En 1986, Molina-Cruz infirió la concurrencia de diferentes masas de agua en el Golfo de California con base en la distribución geográfica de conjuntos de radiolarios, utilizando para esto métodos estadísticos.

En otro estudio, Pisias & Rea (1988), transformaron estadísticamente los datos de las abundan-

cias de ciertas especies de radioarios con el propósito de estimar la temperatura superficial del mar y la fuerza de divergencia ecuatorial.

En cuanto a estudios paleoceanográficos en la Bahía de la Paz se refiere, el esfuerzo ha sido casi nulo. Sin embargo, se puede mencionar un trabajo que refleja algunos aspectos generales:

Murillo-Jiménez (1987), realizó inferencias paleoceanográficas en la Bahía mediante el estudio de radiolarios. Según este estudio, desde hace -1000 años ha ido disminuyendo la influencia de las aguas que incursionan en el interior de la Bahía en su parte sur.

En síntesis, se puede decir que los conjuntos de radiolarios pueden considerarse buenos índices de condiciones oceanográficas y paleoclimáticas, ya que proveen información acerca de la estructura horizontal y vertical de los océanos.

## MARCO CRONOLÓGICO

El Holoceno, escenario de este estudio, se refiere a los últimos 11500 años de la historia de la Tierra -el tiempo transcurrido desde la última época glacial o "edad de hielo" hasta nuestros días-. En general, ha sido definido como un periodo interglacial cálido, que comenzó al finalizar el Younger Dryas (YD), el cual representa un severo episodio frío que ocurrió durante la última deglaciación en la región del Atlántico Norte (Dansgaard *et al.*, 1989). La fase de transición entre el YD/Holoceno ocurrió alrededor de 10200 a 10100 años *BP* (Karpuz & Jansen, 1992).

De acuerdo con los datos de los núcleos de hielo de Groenlandia, condiciones relativamente más frías que las actuales permanecieron antes del principal evento cálido. El Holoceno cálido 'normal' fue alcanzado después de 1,500 años

(Seidenkrantz *et al.*, 1995). Se propone que el óptimo climático del Holoceno ocurrió entre -9,000 y 5,000 años (8,000-4,000 años de acuerdo con las dataciones de  $^{14}\text{C}$ ), aunque el tiempo de las condiciones de mayor calidez probablemente varió en diferentes regiones. Se ha definido una severa fase fría y seca hace -8,200 años (7,500  $^{14}\text{C}$ ) que duró -200 años antes de retornar a las condiciones cálidas, y que afectó los climas a lo largo de Africa del norte, sur de Asia, Europa, las Américas y la Antártida (Mayewski, 1997).

En particular, el Holoceno medio fue un periodo dinámico de cambio climático global. Entre -7,000 y 5,000 años *BP*, se describe que en el Océano Pacífico Tropical la temperatura fue de 1 a 2° C más cálida que la actual. Registros en corales y en núcleos de lagos indican que hubo marcados cambios en los perfiles zonales de evaporación-precipitación (Dorale *et al.*, 1992). Por otra parte, Dean *et al.* (1996), a través del estudio de registros de polen, dunas activas y núcleos de lagos en el noroeste de Minnesota en Norte América, reconocen dos periodos de máxima aridez desde -7,000 a 6,500 años *BP*, y de -6,000 a 5,000 años *BP*, separados por periodos de condiciones relativamente frías y húmedas.

Estudios en sedimentos de paleolagos en el noroeste de México apoyan diferentes puntos de vista acerca de la naturaleza de los cambios climáticos desde el último glacial (-12000 años *BP*) al Holoceno Medio (6000 años *BP*). En registros del desierto de Sonora, Spaulding (1991) determina condiciones de extrema aridez que se extienden desde 7500 a 4700 años *BP*. Mientras que Van Devender (1990), en estudios realizados en el desierto de Chihuahua, argumenta condiciones húmedas entre -9000 y 4500 años *BP*. Por su parte Ortega-Ramírez (1990) y Urrutia-Fucugauchi *et al.*, (1997) determinaron en los sedimentos lacustres de la Cuenca de Babicora en

Chihuahua un periodo gradual de aridez hacia los 6000 años *BP*.

Metcalf *et al.* (1997) explican las diferentes interpretaciones en la región debido al fino balance que existe entre la precipitación y la evapotranspiración. Así mismo, determinaron en Babicora un cambio importante en la química del sistema indicado por sedimentos ricos en carbonatos. Esto puede ser el reflejo de un aumento en la evaporación en el Holoceno medio, no obstante los registros de diatomeas no reflejaron condiciones de aridez significativa.

Durante la segunda mitad del Holoceno, hace -5000 años, pequeños, pero repentinos cambios climáticos fríos/cálidos han sido registrados en varias partes del mundo y se han reconocido dos eventos fríos a -3,800 y 2,600 años *BP* (Dorale *et al.*, 1992).

En el Holoceno tardío se han determinado dos cambios climáticos importantes en pequeña escala denominados como: la "Pequeña Edad de Hielo" (*Little Ice Age* LIA) entre 1350 y 1700 *A.D.* y el Periodo Cálido Medieval (*Medieval Warm Period* MWP), entre 850 y 1350 *A.D.* (Markgraf, 1998). Estos dos periodos son considerados anómalos desde el punto de vista climatológico a largo término. Sin embargo, la sincronidad interhemisférica de los patrones de cambio climático en las Américas es muy notable. El LIA es uno de los eventos climáticos identificables en el registro del Holoceno, que se correlaciona con otros registros paleoclimáticos (O'Brien *et al.*, 1995).

Un patrón general en el clima durante el Holoceno ha sido inferido a partir de núcleos de alta resolución en el Atlántico norte. Al parecer, al menos en esa región, y posiblemente a nivel global, hubo un ciclo caliente-frío con una periodicidad alrededor de 1,500 años (Bond *et al.*, 1997). En la región del Atlántico norte, y proba-

blemente en áreas oceánicas adyacente a Europa, la variación de temperatura en cada periodo fue de aproximadamente 2°C, un cambio muy substancial en la temperatura promedio anual (aunque sólo una pequeña variación entre las condiciones glaciales e interglaciales (Campbell *et al.*, 1998)). Las fases frías parecen haber sido relati-

vamente abruptas, éstas han sido datadas a: 11000, 10300, 9800, 8100, 5900, 4200, 2800 y 1400 años; incluyendo los eventos de ~8200 y 2600 años, los cuales parecen haber sido los más extremos en términos de registros terrestres alrededor del mundo (van Geel *et al.*, 1996; Campbell, *et al.*, 1998).

## CAPÍTULO 2. MÉTODOS

En este capítulo se describen los métodos utilizados en el estudio de los sedimentos laminados del núcleo BAP96J-CP (Cuadro 1). El núcleo BAP96J-CP fue colectado en la Cuenca Alfonso a 24°38.12 latitud N y 110°33.24 longitud W, a una profundidad de 390 m, por medio de un nucleador de gravedad tipo *Kasten*. La recuperación del núcleo se hizo a bordo del B/O “El Puma” de la UNAM en junio de 1996. La longitud de la columna sedimentaria fue de 212 cm.

### “CAMISAS” DE ACRÍLICO

La recuperación de la secuencia sedimentaria se realizó de acuerdo con la técnica propuesta por Baumgartner *et al.* (1991) con algunas modificaciones. Esta técnica consistió en introducir dentro del tubo cuadrado del nucleador *Kasten*, “camisas” de acrílico, las cuales son cajas de 12 cm de ancho por 50 cm de altura, con un espesor de ~1 cm. El propósito de estas “camisas” es el de simplificar el muestreo de la columna sedimentaria, así como evitar su perturbación. Posteriormente, las cajas de acrílico fueron llevadas al laboratorio y se cortaron longitudinal y transversalmente para obtener 9 lajas o secciones de 2 cm de anchura y ~25 cm de longitud (Apéndice I) y facilitar la toma de radiografías y submuestras para los análisis subsecuentes.

### RADIOGRAFÍAS

Para este estudio se tomaron radiografías del núcleo BAP96J-CP y sus correspondientes positivos (Apéndice I), con el propósito de resolver y

realzar la disposición de las láminas, así como distinguir sus espesores y tonalidades (Baumgartner *et al.*, 1991; Algeo *et al.*, 1994). La toma de radiografías fue realizada en el Departamento de Geología de la Universidad del Sur de California, por el Dr. Enrique Nava-Sánchez.

Para obtener mayor información de las radiografías del núcleo PAB96J-CP, se llevó a cabo un análisis de imágenes y, para ello, se utilizó el programa de cómputo *Halo Desktop Imager*, con el propósito de mejorar la resolución y nitidez de la estructura laminada a través de filtros (Apéndice I).

### DATAACIONES

Los métodos radiométricos son utilizados para estimar edades absolutas, de tal forma que es posible asociar eventos paleoclimáticos con el registro geológico. En este estudio se realizaron dataciones radiométricas de  $^{14}\text{C}$ -AMS y  $^{210}\text{Pb}$ , con el propósito de tener un marco geocronológico de referencia

### DATAACIONES CON CARBONO 14

En particular, el Carbono 14 ( $^{14}\text{C}$ ) ha sido ampliamente utilizado como técnica de datación de sedimentos de cientos a miles de años. Su vida media es de  $5,730 \pm 40$  años, por lo que, después de 10 vidas medias, hay muy poca cantidad de carbono radioactivo presente en la muestra y la técnica alcanza su límite (Stuiver & Polach,

1977). Para detalles del método, ver el Apéndice II en donde se comenta más ampliamente sobre el método.

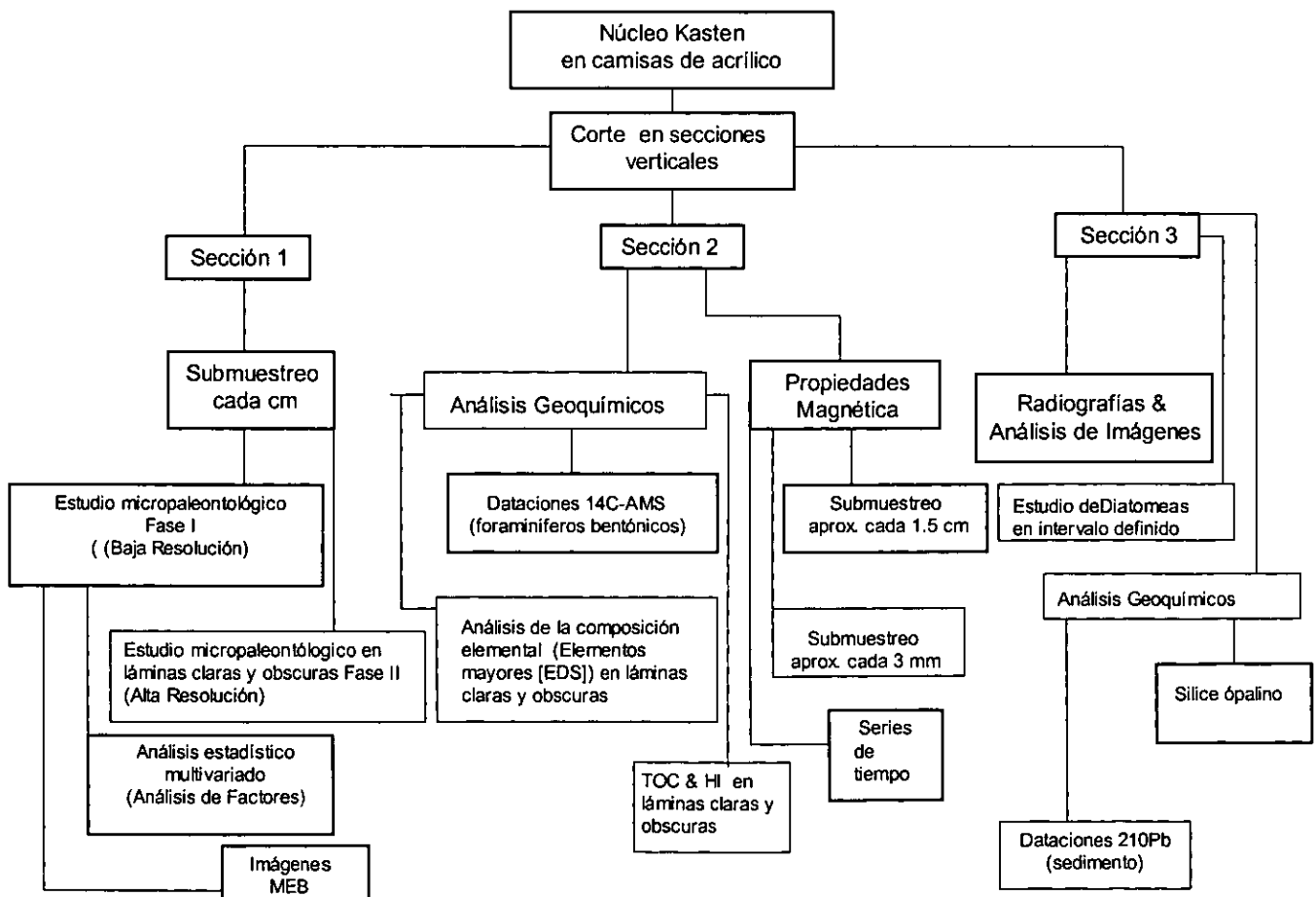
**PREPARACIÓN DE MATERIAL PARA DATACIÓN CON <sup>14</sup>C-AMS.**

El <sup>14</sup>C se midió en testas de foraminíferos bentónicos, ya que estos organismos fueron los más abundantes en las muestras, en contraste con la escases de foraminíferos planctónicos. Esto permitio elegir una sola especie. Se seleccionaron tres muestras en diferentes intervalos a lo largo del núcleo a: 19, 101 y 210 cm. Se eligieron especímenes de *Bolivina subadvena* (por ser la especie más abundante), bien preservados y sin aparente alteración diagenética. Con el fin de eliminar cualquier material adherido a las testas,

éstas se limpiaron en un baño ultrasónico por espacio de 30 segundos. Posteriormente, las muestras se dejaron secar a 40°C por un lapso de 1 hora y después fueron pesadas. El peso de cada muestra fue de ~10 mg (~2000 testas).

El pretratamiento final se realizó en el Laboratorio de Preparación de Muestras e Investigación de Radiocarbono AMS de la Universidad de Colorado. Las mediciones de AMS y el cálculo de la edad se llevaron a cabo en el NOAMS del Instituto Oceanográfico de Woods Hole. La edad resultante es expresada en años BP, utilizando la vida media de Libby de 5568 años y de acuerdo con el método establecido por Stuiver y Polach (1977). Las edades de radiocarbono se calibraron utilizando el Programa Calib 4.1 (Stuiver & Reimer, 1993).

*Cuadro 1. Métodos utilizados en este trabajo para estudiar los sedimentos laminados del núcleo BAP96J-CR*





Se obtuvieron tres edades más de radiocarbono para el núcleo BAP96J-CP en diferentes intervalos. Éstas fueron obtenidas por el Dr. Robert Douglas, investigador de la Universidad del Sur de California, quien midió el  $^{14}\text{C}$  en las testas de foraminíferos planctónicos. Cabe mencionar que para obtener la cantidad de muestra requerida para la medición consideró un conjunto de especies de diferentes ambientes, debido a que este grupo fue escaso en los sedimentos.

### DATACIONES CON PLOMO 210

El método consiste en medir el  $^{210}\text{Pb}$  a varias profundidades someras del núcleo (< 20 cm). El radioisótopo de  $^{210}\text{Pb}$  es un miembro intermedio de la cadena de decaimiento del  $^{238}\text{U}$ . El  $^{222}\text{Rn}$ , tanto suspendido en el aire como el que se encuentra en el agua de mar, se degrada a  $^{210}\text{Pb}$  y es rápidamente absorbido dentro del material particulado, el cual eventualmente alcanza el piso oceánico (Joshi & Ku, 1979). El  $^{210}\text{Pb}$  tiene una vida media de 22 años y su actividad decrece con la profundidad en los sedimentos enterrados. La actividad del exceso de  $^{210}\text{Pb}$  fue calculada a partir de la diferencia entre la actividad  $^{214}\text{Pb}$  y la actividad total de  $^{210}\text{Pb}$  en cada muestra, la cual decrece con la profundidad.

### MATERIAL

Se tomaron 9 muestras de sedimento lo largo de los primeros 20 cm del núcleo. La cantidad de muestra fue de ~1.5 g. El análisis de las muestras y las dataciones se realizaron en el Laboratorio de Geoquímica de la Universidad del Sur de California, por el Dr. Donn Gorsline.

## ESTUDIO MICROPALAEONTOLOGICO

### RADIOLARIOS

El estudio micropaleontológico se basó en el análisis de las asociaciones de radiolarios polycistinos contenidos en los sedimentos. Este estudio se dividió en dos fases: la primera consistió en muestrear centímetro a centímetro el núcleo y la segunda, en el estudio de los radiolarios contenidos en láminas milimétricas seleccionadas.

El propósito de la Fase 1 (Baja Resolución) fue inferir eventos paleoceanográficos secuenciales en la resolución temporal más alta posible. La toma de muestras se realizó cada centímetro para garantizar la suficiente abundancia de radiolarios (más de 300 especímenes). De acuerdo con la tasa de sedimentación promedio del núcleo determinada a través de dataciones radiométricas de  $^{14}\text{C}$  y  $^{210}\text{Pb}$ , un centímetro representa ~30 años.

En la Fase 2 (Alta Resolución), del estudio de las láminas, la finalidad fue determinar si existían diferencias en abundancia y/o diversidad de especies de radiolarios entre las láminas "claras" y "oscuras", y si esto representaba variaciones ambientales significativas.

### PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS (FASE 1, "BAJA RESOLUCIÓN").

El procesamiento de las muestras se realizó de acuerdo con los métodos propuestos por Molina-Cruz (1977) y Roelofs & Pisias (1986), con algunas adecuaciones.

En cada centímetro del núcleo se tomó una cantidad constante de sedimento húmedo, mediante unos anillos metálicos de volumen conocido ( $3.564\text{ cm}^3$ ), y se procedió al tratamiento químico para separar el material silíceo. El sedimento se colocó en un vaso de precipitados con 50 ml

de agua corriente, se añadieron 25 ml de ácido clorhídrico (HCl) y 25 ml de peróxido de hidrógeno (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) con el propósito de disolver los carbonatos y eliminar la materia orgánica. La reacción química se llevó a cabo en 15 ó 20 minutos, a una temperatura de ~ 250°C. Se esperó por espacio de una hora a que se completara la reacción, agitando ocasionalmente el contenido en el vaso de precipitados. Al final se le agregaron 150 ml de agua corriente y se esperó a que enfriara. La mezcla se vació sobre un tamiz con una abertura de malla de 106 mm y se lavó con agua corriente. La fracción retenida en la malla se distribuyó aleatoriamente sobre un portamuestras de 5.0x2.5 cm, mediante decantación. De cada nivel se prepararon 2 portaobjetos. Posteriormente se hizo el montaje con bálsamo de Canadá. Los portaobjetos se dejaron secar por un lapso de 15 días, antes de observarlos con el microscopio óptico.

**PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS (FASE 2, "ALTA RESOLUCIÓN")**

La fase dos consistió en seleccionar visualmente tres intervalos del núcleo en los cuales se distinguieran alternancias de láminas "claras" y "oscuras" (Tabla 3.1): primero en los positivos de las radiografías y luego en la secuencia sedimentaria.

Cabe mencionar que la apreciación subjetiva del observador juega un papel relevante en la selección; no obstante, el criterio para definir cuáles laminas eran claras y cuáles oscuras fue consistente. La definición de colores se realizó de acuerdo con la Tabla de Color de Suelos de

Munsell (1975). La láminas claras presentan una escala de colores de gris olivo (5Y 4/2), olivo (5Y 4/3) y olivo pálido (5Y 6/3). Las laminas oscuras se definen en la gama del gris olivo oscuro (5Y 3/2) y gris muy oscuro (5Y 3/1).

El muestreo de las láminas en las lajas se hizo utilizando un bisturí y espátulas muy finas. Se realizó tratando de tomar únicamente la lámina elegida, evitando que se contaminara con los sedimentos adyacentes.

La cantidad de sedimento que se procesó dependió del grosor de las láminas (Tabla 2.1). En este caso fue necesario secar el sedimento, antes de ser procesado, para tener el peso exacto y poder calcular posteriormente el número de radiolarios por gramo. La muestra seca se pesó en una balanza analítica electrónica Sartorius modelo 1712MP8.

*Tabla 2.1. Relación de láminas claras y oscuras del núcleo BAP96J-CP consideradas para el estudio micropaleontológico.*

Láminas Claras	Intervalo (cm)	Peso (g)	Láminas Oscuras	Intervalo (cm)	Peso (g)
C1	5.9-6.2	1.15	O1	6.2-6.5	1.30
C2	71.0-71.2	0.61	O2	71.65-71.8	0.66
C3	71.3-71.5	0.86	O3	72.3-72.4	1.05
C4	72.0-72.1	0.55	O4	73.2-73.6	2.75
C5	72.6-72.8	0.71	O5	74.6-74.8	0.52
C6	72.8-73.2	3.02	O6	74.8-75.0	1.00
C7	74.0-74.1	0.52	O7	146.4-149.9	1.19
C8	150.2-150.5	1.34	O8	150.75-151.0	1.33
C9	152.5-152.75	1.49	O9	151.0-151.25	1.26
C10	152.75-153.0	1.30	O10	151.25-151.5	1.75
C11	153.0-153.25	1.48	O11	151.5-151.75	1.52
C12	153.25-153.5	1.15	O12	152.0-152.25	0.98
C13	154.25-154.5	1.40	O13	152.25-152.5	1.11

### DETERMINACIÓN TAXONÓMICA Y CONTEO DE ORGANISMOS

La observación de los portamuestras se realizó con un microscopio óptico Carl Zeiss modelo S18 con objetivos planacromáticos de 10x, 16x y 25x. El conteo de los radiolarios se llevó a cabo revisando cada portamuestras.

En el caso del estudio de baja resolución se contaron al menos 300 especímenes que representan, estadísticamente, la muestra significativa de la población (Sachs, 1973); mientras que, en el análisis de las láminas (alta resolución) se consideraron únicamente aquellas muestras que contuvieran más de 100 especímenes. Este menor número de organismos está en razón de la menor cantidad de muestra, no obstante, en este estudio se consideraron significativos. En el caso de que en un solo portamuestras no se encontrara la población requerida, se procedió a contar también su réplica. Los intervalos en donde se encontraron menos de 300 ejemplares no se consideraron en el análisis estadístico multivariado. Las determinación taxonómica de los radiolarios se realizó revisando la diagnosis en publicaciones especializadas (Benson, 1966; Molina-Cruz, 1977; Nigrini & Moore, 1979; Boltovskoy, 1997; entre otros).

### IMÁGENES DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

Con el propósito de hacer más evidentes las características morfológicas de algunas especies de radiolarios y de esta manera facilitar su determinación taxonómica, se obtuvieron imágenes con el microscopio electrónico de barrido Carl Zeiss 960A, del Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido y Microanálisis, de la Gerencia de Geociencias del Instituto Mexicano del Petróleo (Apéndice III).

### ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Los conteos de las especies se convirtieron en proporciones relativas y se expresaron como un porcentaje de la población de radiolarios. A dichos datos se les aplicó un método estadístico multivariado conocido como Análisis de Factores "modo Q", con el propósito de agrupar muestras y compararlas entre sí (Kleinbaum & Krupper, 1978). El Análisis de Factores ha sido utilizado en numerosos estudios de radiolarios para definir asociaciones de especies (Klovan & Imbrie, 1971; Moore, 1978; Pisia, 1986). Durante la aplicación de este método multivariado se obtienen los valores del factor (*factor scores*) que permiten identificar las especies importantes para definir los factores, y las cargas del factor (*factor loadings*), que representan el peso de las muestras sobre los factores definidos (Welling & Pisia, 1998). Para llevar a cabo este análisis estadístico se emplearon dos programas de cómputo, el paquete CSS y Statistica 6.0, ambos de StaSoft Inc.

### GEOQUÍMICA

#### MICROANÁLISIS POR DISPERSIÓN DE ENERGÍA DE RAYOS X (ALTA RESOLUCIÓN)

Con el propósito de conocer la composición química de elementos mayores, tanto en las láminas claras como en las oscuras, se llevaron a cabo una serie de microanálisis de rayos X mediante un Detector de Energía Dispersiva de Rayos X (EDS) montado al microscopio electrónico de barrido. El EDS es una herramienta atractiva, ya que permite una evaluación rápida de la muestra y tiene una eficiencia virtualmente constante, cerca del 100%, en el intervalo de 3 a 10 KeV (Goldstein *et al.*, 1994).

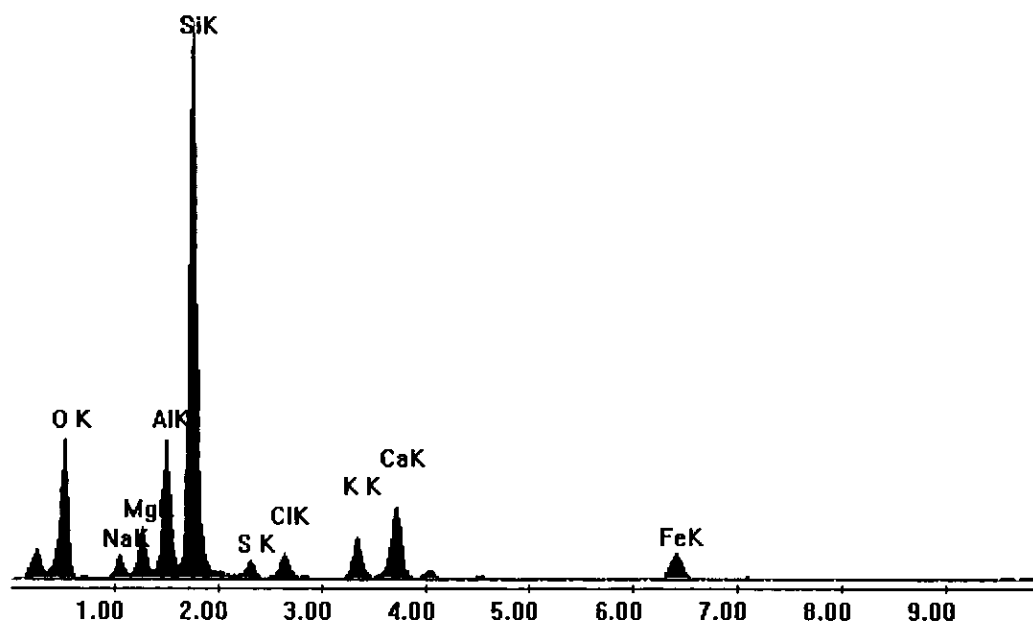


Figura 2.1. Ejemplo de una espectro obtenido mediante un EDS. En el eje horizontal las unidades de energía son en kilo-electronvolts (KeV). Sobre el eje vertical aparecen los picos de los elementos identificados y junto a ellos se indica el nivel orbital, que en este caso es K.

### DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

El análisis químico se llevó a cabo midiendo la distribución energética e intensidad en la señal de rayos X generada por un haz de electrones enfocados sobre la muestra. Es decir, la técnica del microanálisis aprovecha el hecho de que cada elemento, al ser bombardeado por electrones de alta energía, emite rayos X característicos. Estos son emitidos por la recombinación de electrones en diferentes niveles orbitales del átomo, mismos que se denominan K, L, M/ a, b,  $\gamma$ /I, II, III. La energía de los rayos X producida permite identificar directamente el elemento emisor. Los rayos X registrados se traducen en un espectro, el cual, a

través de un sistema electrónico, se despliega en forma de una gráfica en donde se asignan los elementos emisores correspondientes (Fig. 2.1). De esta manera, se puede determinar la composición química de la muestra en observación. Las energías más representativas son las emitidas desde las órbitas (líneas) K, L y M. Debido a que esta denominación es importante para la interpretación de espectros de rayos X, se despliegan las letras identificadoras junto al nombre del elemento al que pertenece un pico en particular (identificación del elemento). En este estudio los picos de los espectros se resolvieron en líneas de energía K, por ser las de mejor resolución.

El sistema de detección de rayos X también cuantifica la proporción de elementos presentes en la muestras. Los cálculos los despliega en una lista debajo de la gráfica.

En este estudio se analizaron láminas claras y oscuras a diferentes intervalos del núcleo BAP96J-CP: 34 muestras intercaladas a lo largo del núcleo (Tabla 2.2), más 9 en un intervalo laminado continuo (Tabla 2.3). En estos niveles también se hizo un análisis del contenido de minerales magnéticos, como se explica más adelante. El proceso de selección y muestreo de las láminas se describe en la Fase 2 del estudio micropaleontológico de este capítulo. Una variante fue la cantidad de muestra seleccionada, que osciló entre 28.40 y 42.00 mg.

La muestra seca se colocó en un portamuestras de aluminio, sobre una cinta adhesiva de carbón de doble cara. Después, se recubrió con una capa fina de oro depositada en la superficie por ionización, con el propósito de hacer la muestra eléctricamente conductiva; se introdujo a la cámara de muestras del microscopio electrónico de barrido (Carl Zeiss 960A), equipado con un detector de energía dispersiva de rayos X (EDAX), y se procedió a analizarla.

De cada muestra se consideraron tres microáreas para el análisis de la composición elemental. Mediante el software especializado que acompaña al detector, fue posible generar los espectros respectivos y llevar a cabo la identificación de los picos (elementos mayores), así como la cuantificación, en por ciento en peso, de los elementos presentes. Cabe mencionar que para reducir el error que pueden llegar a tener las mediciones ( $\pm 5\%$ ), el equipo se calibró con los estándares de los elementos presentes y este error se redujo a  $\pm 0.5\%$ . Estos análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio de Microscopía Electrónica de Barrido y Microanálisis, de la Gerencia de Geociencias del Instituto Mexicano del Petróleo.

Tabla 2.2. Relación de muestras (láminas), a lo largo del núcleo BAP96J-CP utilizadas para el microanálisis por rayos X.

Color de la Lámina	Intervalo (cm)	Peso (mg)
Clara	7.2-7.5	40.40
Oscura	7.5-7.8	38.80
Clara	23.4-23.7	33.30
Oscura	23.7-24.0	42.20
Clara	38.4-38.6	40.20
Oscura	38.6-39.0	34.00
Clara	47.7-48.0	39.20
Oscura	48.0-48.2	28.40
Oscura	62.7-62.9	42.00
Clara	63.0-63.3	37.60
Clara	66.7-66.9	37.30
Oscura	67.0-67.2	31.60
Oscura	76.5-76.7	38.30
Clara	76.9-77.2	41.30
Oscura	93.1-93.3	39.20
Clara	93.3-93.7	29.60
Oscura	108.9-109.1	30.60
Clara	109.15-109.3	28.90
Oscura	109.5-109.8	39.50
Clara	109.8-110.1	41.20
Clara	121.7-121.9	40.55
Oscura	122.2-122.5	33.62
Oscura	145.5-145.8	38.60
Clara	152.8-153.1	40.30
Clara	160.1-160.3	36.10
Oscura	160.65-160.9	34.70
Clara	161.6-162	37.70
Oscura	170.1-170.4	37.30
Clara	170.7-171	39.90
Clara	181.1-181.5	35.20
Oscura	181.7-182	41.40
Clara	192.6-192.9	40.70
Oscura	201.5-201.8	42.00
Clara	207.1-207.5	37.90

#### ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Estas cuantificaciones se ordenaron en tablas para así poder aplicar algunos análisis estadísticos (co-

relaciones no paramétricas, análisis de factores) y hacer evidentes asociaciones de elementos y agrupación de muestras con base en su composición química.

Tabla 2.3. Relación de muestras (láminas), en un intervalo continuo utilizadas para el microanálisis por rayos X.

Color de la Lámina	Intervalo (cm)	Peso (mg)
Clara	173.1-173.4	39.37
Oscura	173.4-173.7	40.46
Clara	173.7-174.0	40.53
Oscura	174.0-174.3	40.11
Clara	174.3-174.6	39.30
Oscura	174.6-174.9	40.07
Clara	174.9-175.2	40.50
Oscura	175.5-175.8	39.09
Clara	175.8-176.1	40.55

## MATERIA ORGÁNICA

El estudio de geoquímica de la materia orgánica en los sedimentos laminados del núcleo BAP96J-CP se basó en el método de Pirólisis Rock-Eval (Espitalié *et al.*, 1986). Este método fue inicialmente desarrollado para evaluar el potencial de generación de hidrocarburos de las rocas generadoras de petróleo (Espitalié *et al.*, 1977), pero en los últimos años se ha demostrado su valor en trabajos paleoclimáticos y paleoceanográficos (p. ej. Emeis *et al.*, 1991; Meyers, 1997). El método proporciona información sobre el tipo de materia orgánica en los sedimentos. La cantidad de materia orgánica presente en una roca o sedimento se expresa comúnmente como Carbono Orgánico Total (TOC, por sus siglas en inglés), por lo que en este estudio se determinó el TOC, así como el índice de hidrógeno (HI, por sus siglas en inglés), con el propósito de diferenciar el contenido y el estado de preservación de la ma-

teria orgánica entre las láminas claras y las oscuras de 18 muestras sedimentarias (10 claras y 8 oscuras) a lo largo del núcleo (Tabla 2.4).

## DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Se pesaron 0.2 g de muestra previamente pulverizada y se colocó en un crisol de porcelana filtrante. Debido a la interferencia de los carbonatos minerales en el análisis, éstos se eliminaron acidificando la muestra con una solución de ácido clorhídrico al 50% durante 24 horas, seguido del lavado con agua para eliminar los cloruros producidos en la reacción. Posteriormente, la muestra restante se secó en una estufa a 40°C y se determinó el contenido de TOC en un equipo LECO CS-334 que contiene un horno de inducción donde se produce la combustión en

Tabla 2.4. Relación de láminas consideradas para la determinación de Carbono Orgánico Total.

Color de la Lámina	Profundidad (cm)
Oscura	20.0-20.2
Clara	21.1-21.4
Oscura	45.0-45.7
Clara	65.8-66.0
Oscura	66.0-66.3
Clara	68.3-68.7
Clara	77.0-77.7
Oscura	82.3-82.6
Clara	95.5-95.7
Oscura	117.7-118.0
Clara	118.9-119.2
Clara	139.5-139.8
Oscura	153.8-154.4
Oscura	178.5-179.1
Clara	179.2-179.8
Oscura	181.7-182.2
Clara	192.6-193.1
Clara	207.1-208.0

presencia de oxígeno a 1000°C, generando dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). El gas es cuantificado en un detector infrarrojo calibrado. La diferencia entre el TOC medido en la muestra acidificada y el medido en la muestra sin acidificar, representa la cantidad aproximada de carbonatos presentes (Callejón com. pers), no obstante debido a que la cantidad de muestra no fue suficiente no fue posible estimar los carbonatos. Estos análisis fueron realizados en el Laboratorio de Geoquímica del *Houston Advanced Research Center*, bajo la supervisión del Dr. Ángel Callejón.

### SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA

Se han utilizado métodos paleomagnéticos con éxito en estudios ambientales y paleoclimáticos, debido a que las propiedades magnéticas de los sedimentos aportan información sobre la mineralogía, la fuente de los sedimentos y algunos procesos diagenéticos y autígenicos (e. g. Thompson & Oldfield, 1986; Urrutia-Fucugauchi *et al.*, 1997). Así mismo, a través de estos datos es posible inferir cambios en la tasa de depositación y fluctuaciones en el aporte terrígeno resultante de cambios climáticos (Thompson & Oldfield, 1986; Lozano García *et al.*, 1993; Snowball, 1993; Urrutia-Fucugauchi *et al.*, 1997).

La susceptibilidad magnética cuantifica la capacidad de la roca o del sedimento para ser magnetizada por un campo magnético débil de acuerdo con el comportamiento diamagnético, paramagnético y ferromagnético de los constituyentes minerales, su concentración y tamaño de grano (Robinson, 1993). En ausencia de alteración diagenética, la susceptibilidad magnética puede proporcionar un registro de la mayoría de los cambios mineralógicos inducidos por la entrada de terrígenos y de la dilución pelágica (Vanderaveroot *et al.*, 1999).

Hay muchos ejemplos de la identificación de cambios cíclicos paleoambientales y paleoclimáticos, así como también de las variaciones de las fuentes de sedimentos detríticos (Robinson, 1986; Bloemendal & deMenocal, 1989; Grousset *et al.*, 1993; Stoner *et al.*, 1995).

### MUESTREO

El núcleo BAP96J-CP fue muestreado en intervalos continuos en toda su longitud, se tomaron 143 muestras estándar de 2.2X2.2X2.2 cm (Tabla 2.5). Las mediciones de susceptibilidad magnética se hicieron en campo bajo y en dos diferentes frecuencias empleando el sensor de laboratorio MS2B con 0.465 kHz y 4.65 kHz. La calibración tiene una precisión de 1% y una deriva menor a  $2 \cdot 10^{-6}$  cgs. El uso de doble frecuencia permite identificar la presencia de minerales ferromagnéticos en tamaños cercanos a la transición del dominio sencillo y superparamagnéticos. Esto es minerales de tamaño ultrafino, que se presentan en diagénesis de suelo, intemperismo de sedimentos, ocurrencia de material eólico.

En general permite ver variaciones de tamaño de grano, pero no es simple ya que también influyen variaciones en composición y tipo de minerales magnéticos. Generalmente se representa por el parámetro de frecuencia en %.

$$(LF-HF/LF) \times 100\%$$

Se llevó a cabo un estudio mas detallado en 43 muestras (23 láminas claras y 20 láminas oscuras, tablas 2.2 y 2.3). Se midieron los ciclos de histéresis y se les impartió una magnetización isoterma y la desmagnetización de la MRI máxima por campos directos. Estas mediciones se hicieron con el equipo MicroMag™ 2900 con una precisión del 2%. Estos datos permiten analizar los minerales del registro y conocer algo sobre los tamaños de grano de los minerales y el estado de dominio magnético.

Tabla 2.5. Muestras sedimentarias utilizadas para el estudio de Susceptibilidad magnética.

# de Muestra	Intervalo (cm)	# de Muestra	Intervalo (cm)	# de Muestra	Intervalo (cm)	# de Muestra	Intervalo (cm)
1	1.0-2.9	37	53.6-55.5	73	111.9-113.8	109	164.0-165.9
2	2.1-4.0	38	54.7-56.6	74	113.0-114.9	110	165.1-167.0
3	3.2-5.1	39	56.9-58.8	75	115.2-117.1	111	166.2-168.1
4	5.4-7.3	40	58.0-59.9	76	116.5-118.4	112	168.4-170.3
5	6.5-8.4	41	59.1-61.0	77	117.6-119.5	113	169.5-171.4
6	7.6-9.5	42	61.3-63.2	78	118.7-120.6	114	170.6-172.5
7	9.8-11.7	43	62.4-64.3	79	120.9-122.8	115	172.8-174.7
8	10.9-12.8	44	63.5-65.4	80	122.0-123.9	116	173.9-175.8
9	12.0-13.9	45	65.7-67.6	81	123.1-125.0	117	175.0-176.9
10	14.2-16.1	46	66.8-68.7	82	125.3-127.2	118	177.2-179.1
11	15.3-17.2	47	67.9-69.8	83	126.4-128.3	119	178.3-180.2
12	16.4-18.3	48	69.5-71.0	84	127.5-129.4	120	179.4-181.3
13	18.6-20.5	49	75.5-77.4	85	129.7-131.6	121	181.6-183.5
14	19.7-21.6	50	76.6-78.5	86	130.8-132.7	122	182.7-184.6
15	20.8-22.7	51	77.7-79.6	87	131.9-133.8	123	183.8-185.7
16	24.0-25.9	52	79.9-81.8	88	134.1-136.0	124	186.0-187.9
17	25.1-27.0	53	81.0-82.9	89	135.2-137.1	125	187.1-189
18	26.2-28.1	54	82.1-84.0	90	136.3-138.2	126	188.2-190.1
19	28.4-30.3	55	84.3-86.2	91	138.0-139.9	127	189.3-191.2
20	29.5-31.4	56	85.4-87.3	92	139.5-141.4	128	189.0-190.9
21	30.6-32.5	57	86.5-88.4	93	140.2-142.1	129	190.1-192
22	32.8-34.7	58	88.7-90.6	94	142.4-144.3	130	191.2-193.1
23	33.9-35.8	59	89.8-91.7	95	143.5-145.4	131	193.4-195.3
24	35.0-36.9	60	90.9-92.8	96	144.6-146.5	132	194.5-196.4
25	37.2-39.1	61	93.1-93.5	97	146.8-148.7	133	195.6-197.5
26	38.3-40.2	62	94.2-96.1	98	147.9-149.8	134	197.8-199.7
27	39.4-41.3	63	95.3-97.2	99	149.0-150.9	135	198.9-200.8
28	41.6-43.5	64	97.0-98.9	100	151.2-153.1	136	200.0-201.9
29	42.7-44.6	65	97.95-98.85	101	152.3-154.2	137	202.2-204.1
30	43.8-45.7	66	102.0-103.9	102	153.4-155.3	138	203.3-205.2
31	46.0-47.9	67	103.1-105.0	103	155.6-157.5	139	204.4-206.3
32	47.1-49	68	104.2-106.1	104	156.7-158.6	140	206.6-208.5
33	48.2-50.1	69	106.4-108.3	105	157.8-159.7	141	207.7-209.6
34	50.4-52.3	70	107.5-109.4	106	160.0-161.9	142	208.8-210.3
35	51.5-53.4	71	108.6-110.5	107	161.4-163.3	143	211-212.5
36	52.5-54.4	72	110.8-112.7	108	162.2-164.1		



## CAPÍTULO 3. RESULTADOS E INTERPRETACIÓN

*Más allá del dato o del registro numérico, está una realidad compleja y caprichosa. Realidad que no pocas veces nos lleva a concluir que la estadística es el olmo que si da peras. Una suerte de metáfora que congrega y concilia lo diverso. Un espejo que se convierte en múltiples interpretaciones.*

### ANÁLISIS DE IMÁGENES DE LOS SEDIMENTOS LAMINADOS

Mediante el análisis de imágenes fue posible distinguir diferentes tonalidades de grises e identificar intervalos con laminaciones bien definidas, así como diferenciar láminas de color claro y oscuro. Por ejemplo, en las secciones 2 y 4 del Apéndice I es fácil distinguir las laminaciones continuas, mientras que en otros intervalos (secciones 1 y 8), éstas no fueron tan evidentes. Estas obser-

vaciones fueron los primeros indicios de cambios temporales en el régimen sedimentario de la Cuenca Alfonso, debido probablemente a variaciones climáticas en la región. Esta idea se explica y se discute más adelante.

La radiografías se obtuvieron de las secciones o lajas que no se muestrearon, por lo que podría existir algún pequeño desfase entre éstas y la sección sedimentaria muestreada.

### DATACIONES

#### CARBONO 14 (<sup>14</sup>C-AMS)

*Tabla 3.1. Edades de <sup>14</sup>C-AMS del núcleo BAP96J-CP, calibradas con el programa Calib 4.1 (Stuiver et al., 1998). Las edades calibradas corresponden a años Antes del Presente (BP por sus siglas en inglés<sup>1</sup>).*

Profundidad (cm)	Tipo de Muestras	Clave	Edad AMS	Error	δ <sup>13</sup> C PDB	Edad Años Cal (BP)
19	Bolivina subadvena	NSRL-10411	1730	±45	0 (•)	1349
101	Bolivina subadvena	NSRL-10640	3830	±35	-1.5 (••)	3785
120	Foraminíferos planctónicos					4450*
210	Bolivina subadvena	NSRL-10413	7500	±50	-1.2 (••)	8038
212	Foraminíferos planctónicos					7700*

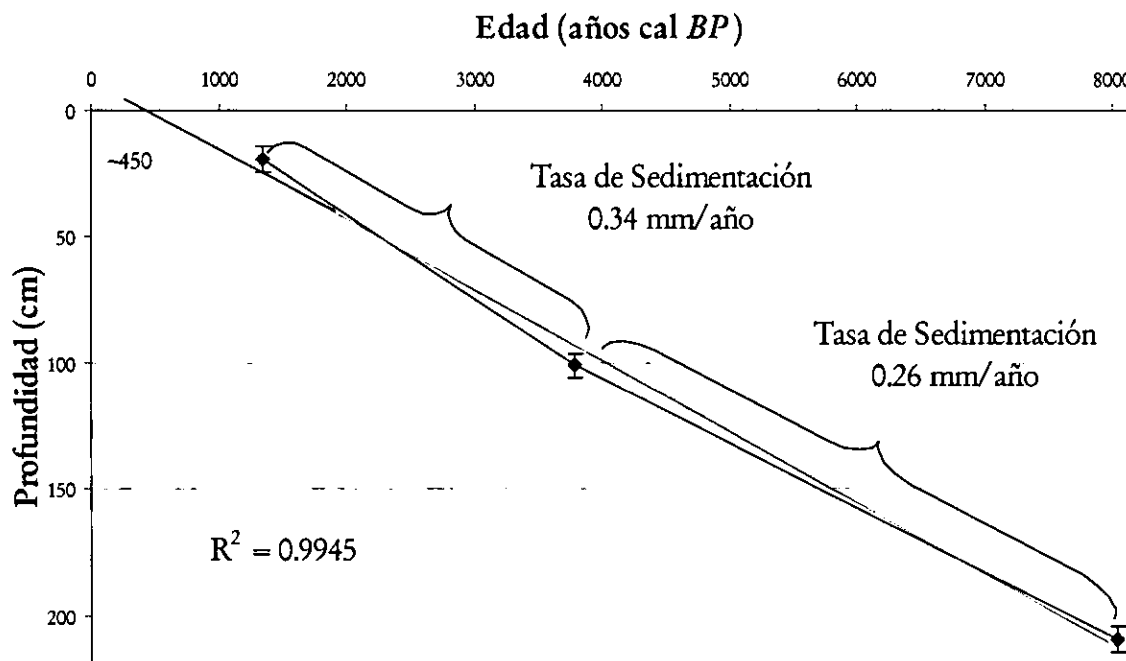
\* Edades proporcionadas por Robert Douglas (com. pers.). • Estimado. •• Medido

<sup>1</sup> Before Present, 0 cal BP=AD 1950.

Las edades obtenidas a través del método de  $^{14}\text{C}$  AMS en testas de *Bolivina subadvena* en tres niveles del núcleo BAP96J-CP, se muestran en la Tabla 3.1, así como las edades calibradas.

Con base en estas dataciones, se infiere que el núcleo BAP96J-CP incluye aproximadamente los dos últimos tercios del Holoceno. Las edades (años calendario) se graficaron contra la profundidad (Fig. 3.1) y se calcularon dos tasas de sedimentación del núcleo<sup>2</sup>.

Figura 3.1. Tasas de sedimentación del núcleo BAP96J-CP. Se señala el valor de  $R^2$ . Se observa con línea punteada la extrapolación de la curva.



La tasa de sedimentación estimada para el intervalo entre 210 y 101 cm es de 0.26 mm/año y para el intervalo entre 109 y 19 cm es de 0.34 mm/año.

2 Cálculos para obtener la tasas de sedimentación:

- Ø En el intervalo de 19 a 101 cm:  
 $101 - 19 = 82 \text{ cm} = 820 \text{ mm}$   
 $3,785 - 1,349 = 2,436 \text{ años}$   
 $2,436 \text{ años} \otimes 820 \text{ mm}$   
 $1 \text{ año} \otimes X \text{ mm}$   
 $X = 0.3366 \text{ mm/año}$
- Ø En el intervalo de 101 a 210 cm:  
 $210 - 101 = 109 \text{ cm} = 1090 \text{ mm}$   
 $8,038 - 3,785 = 4,253 \text{ años}$   
 $1,090 \text{ mm} \otimes 4,253 \text{ años}$   
 $X \text{ mm} \otimes 1 \text{ año}$   
 $X = 0.25628 \text{ mm}$

De acuerdo con estos datos, la tasa de sedimentación en la Cuenca Alfonso no ha variado significativamente en los últimos 8000 años, en promedio es de  $0.3 \pm 0.04 \text{ mm/año}$ . Esto se hace más evidente al trazar la tendencia lineal y calcular el valor  $R^2$ , el cual es muy cercano a 1 ( $R^2 = 0.9945$ ).

Si se prolonga la línea de tendencia lineal obtenida, se observa que ésta cruza el eje de las X, en el valor correspondiente a  $\sim 450$  años; que de acuerdo con la tasa de sedimentación estimada<sup>3</sup>

3 El año  $\otimes 0.34 \text{ mm}$ , entonces en 450 años  $\otimes 153 \text{ mm} = 15 \text{ cm}$ .

corresponde a un espesor de sedimentos de ~15 cm, los cuales probablemente se perdieron durante la recuperación del núcleo. Cabe mencionar que, en la mayoría de los casos, la colecta de sedimentos marinos utilizando el nucleador tipo *Kasten* no es efectiva totalmente, ya que durante la manipulación del equipo frecuentemente se pierde el techo del núcleo y/o se perturban los primeros centímetros.

### CONTEO DE LÁMINAS

Se consideraron tres secciones a lo largo del núcleo en donde la estructura laminada fue claramente distinguible: 101-121, 138-152 y 156-158 cm. En éstas se contaron el número de láminas que se definen por centímetro, determinándose que en promedio hay 6. A partir de este dato y con base en las tasas de sedimentación obtenidas a través de las edades calibradas de <sup>14</sup>C, fue posible inferir que una lámina representa alrededor de 5-7 años<sup>4</sup>, lo cual sugiere que en este lapso ocurren cambios en los procesos depositacionales de la Bahía de la Paz. Cabe mencionar que esta "periodicidad" es similar a la ocurrencia del ENSO (Hagadorn *et al.*, 1995). De este modo el paquete conformado por una lámina clara y una oscura representa ~12 años, este lapso es muy cercano al periodo promedio de las manchas solares, las cuales tienen una ciclicidad de ~11.2 años (Burroughs, 1992).

### PLOMO 210 (<sup>210</sup>Pb)

Aunada a la datación de <sup>14</sup>C, el Dr. Donn Gorsline dató los sedimentos del núcleo BAP96J-CP con <sup>210</sup>Pb (Tabla 3.2); con el propósito de corroborar la tasa de sedimentación en el área.

El número final de la actividad de exceso de plomo (Tabla 3.2) se graficó contra la profundidad, y los puntos se ajustaron a una curva exponencial (Fig. 3.2), de la forma:

$$Ex - Pb-210 = Pb-210 ({}_0) * e^{(-\lambda^{210}t)} \quad (1)$$

En donde, Ex-Pb-210 es el exceso de <sup>210</sup>Pb; Pb-210(<sub>0</sub>) es el exceso en la superficie del fondo; λ<sup>210</sup> es la degradación del <sup>210</sup>Pb, la cual es una constante y es igual a 0.0311; t es el tiempo. Si, t= z/s, en donde z es la profundidad y s es la tasa de sedimentación, substituyendo estos valores en (1), entonces,

$$Ex - Pb-210 = Pb-210({}_0) * e^{(-\lambda^{210}z/s)}$$

De la formula exponencial para la gráfica que se muestra en la Figura 3.2, se determina que (λ<sup>210</sup>/s) = 0.74, substituyendo el valor de λ, entonces,

$$s = 0.0311/0.74$$

$$s \text{ (tasa de sedimentación)} = 0.042 \text{ cm/año} = 0.4 \text{ mm/año.}$$

Tabla 3.2. Exceso de Pb-210 del núcleo BAP96J-CP en 9 muestras (Todas las actividades son referidas al 1 de diciembre de 1999)(Gorsline com. pers.).

Intervalo (cm)	Exceso de Pb-210 (dpm/g)
0-1	23.12± 1.39
1-2	22.84± 1.64
2-3	5.93± 1.18
3-4	3.08± 1.12
4-5	-2.54± 1.21
7-8	-1.89± 1.20
11-12	-3.29± 1.05
15-16	-3.73± 0.80
19-20	-4.59± 0.88

4 Considerando que tanto las láminas claras como las oscuras se depositaron a la misma velocidad.

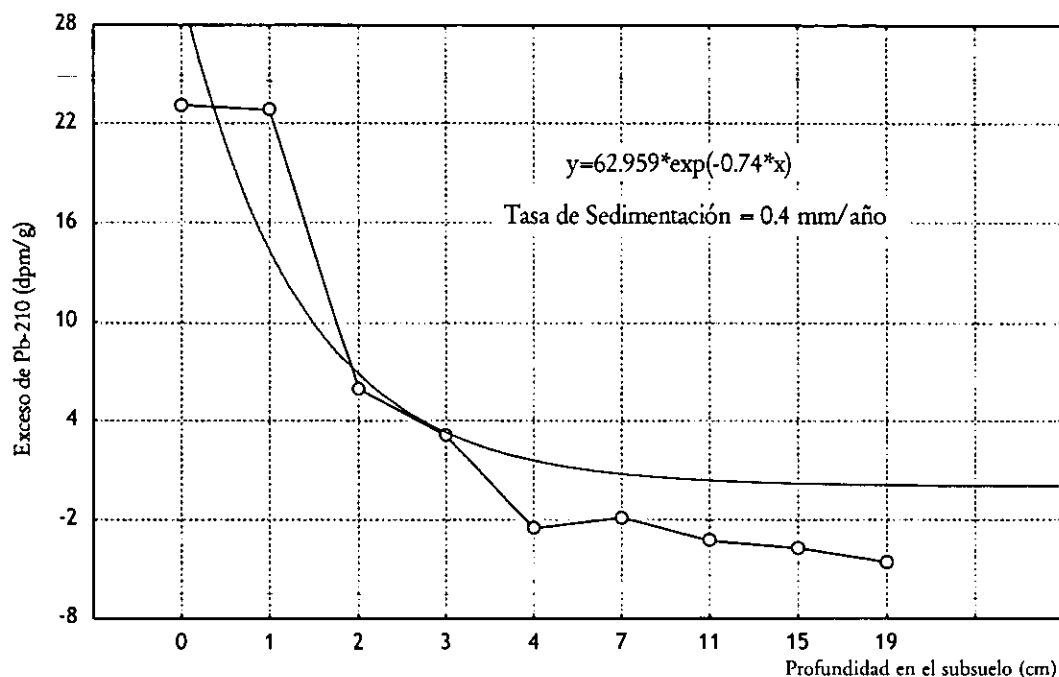


Figura 3.2 Correlación exponencial del exceso de <sup>210</sup>Pb determinado de las muestras del núcleo BAP96J-CP versus profundidad en el subsuelo (cm).

Esta tasa de sedimentación es ligeramente más alta que la obtenida con <sup>14</sup>C, aunque se considerará similar, para fines prácticos.

#### DATACIONES DE <sup>14</sup>C Y <sup>210</sup>Pb.

A continuación se presentan varios puntos que argumentan el por qué las dataciones de <sup>14</sup>C efectuadas en este estudio son convenientes. Asimismo, se hace una consideración acerca de la utilización del <sup>210</sup>Pb y sus implicaciones en el marco geocronológico.

##### 1) CONTAMINACIÓN POR AGUA INTERMEDIA DEL PACÍFICO EN LA BAHÍA DE LA PAZ.

Dada la comunicación de la Bahía de la Paz con la parte sur del Golfo de California, podría esperarse que los foraminíferos bentónicos formaron sus conchas con carbono más viejo, heredado del Agua Intermedia del Pacífico (AIP). Sin embargo, de acuerdo con Monreal-Gómez *et al.* (en prensa), en la Bahía de la Paz únicamente

están presentes tres masas de agua a lo largo del año: el Agua del Golfo de California, el Agua Superficial Ecuatorial y el Agua Subsuperficial Subtropical. Se infiere que el AIP no ha incursionado en la Bahía durante los últimos 8000 años, como se discutirá más adelante, por lo que, la posibilidad de que las dataciones de <sup>14</sup>C sean más viejas debido a la señal isotópica del Agua Intermedia del Pacífico es improbable.

##### 2) PRESENCIA DE AGUAS "VIEJAS" EN EL FONDO DE LA CUENCA.

Debido a las características oceanográficas de la Cuenca Alfonso, en donde se observa que la columna de agua generalmente presenta una clara estratificación y que los procesos de mezcla ocurren preponderantemente en los primeros 100 m (Monreal-Gómez *et al.*, en prensa), cabe esperar que el agua de fondo esté semi-estancada por la circulación lenta y restringida y que el carbono tomado por los foraminíferos bentónicos para formar sus conchas provenga de estas aguas más

“viejas”, pero, no tan “viejas” como el Agua Intermedia del Pacífico y que esto se refleje en las edades estimadas.

### 3) CONTAMINACIÓN POR EROSIÓN Y TRANSPORTE.

Por otra parte se cuestionó la posibilidad de contaminación de los sedimentos del núcleo y el posible retrabajo y/o transporte de los foraminíferos bentónicos utilizados en las dataciones con  $^{14}\text{C}$ . Se sabe que el sedimento profundo puede ser transportado por corrientes o flujos de fondo. Si se hubiera dado un transporte de sedimentos de otro lugar, se esperaría una clasificación de acuerdo con el tamaño de grano y la densidad durante el transporte. Esto no se observó. Adicionalmente, se examinaron las asociaciones de foraminíferos bentónicos observándose consistencia entre éstas y el tipo de ambiente. Los sedimentos que se encuentran subyaciendo a las zonas de oxígeno mínimo en diferentes regiones del Pacífico, están caracterizados por una baja diversidad de las faunas de foraminíferos bentónicos y dominados por especies de *Bolivina* (Phleger & Soutar, 1973; Ingle, 1980; Resig, 1981; Pérez-Cruz & Machain-Castillo, 1990). En los sedimentos del núcleo BAP96J-CP predominan las especies de *Bolivina*, en particular de *Bolivina subdavena*, sobre todo en la parte media y en la base del núcleo. En menor número se observan especies de *Uvigerina* y *Valvulineria*. Es importante mencionar que esta fauna es característica de ambientes de talud y que no se encontraron especímenes de ambientes de plataforma, indicativos de contaminación por erosión y transporte.

### 4) EFECTO DE MEZCLA DE GENERACIONES.

Otro factor que se consideró fue el “efecto de mezcla de generaciones”, ya que la unión de diferentes generaciones de foraminíferos bentónicos podría alterar los valores de  $^{14}\text{C}$ .

Se sabe que algunos foraminíferos bentónicos viven a unos cuantos centímetros por debajo de la interfase agua/sedimento (infauna), mientras que otros viven en la superficie (epifauna). De *Bolivina subdavena* se desconoce su hábitat específico; pero independientemente de su preferencia por algún tipo de ambiente, podría ocurrir que los sedimentos se mezclaran verticalmente por procesos de bioturbación, propiciando la combinación de sedimentos recientes con otros más antiguos y, por consiguiente, la mezcla de distintas generaciones de foraminíferos. Las mediciones de  $^{14}\text{C}$  reflejarían valores promedio y edades más viejas que las reales. En particular, en la Cuenca Alfonso los procesos de bioturbación son mínimos, debido al ambiente reductor que prevalece en el fondo y que ha propiciado la formación de sedimentos laminados. Consecuentemente, se descarta la posibilidad de mezcla de generaciones.

### 5) EFECTO DEL HÁBITAT

Los foraminíferos bentónicos, dependiendo de su hábitat, forman sus conchas a partir de los carbonatos disueltos en el agua de fondo, o bien en el agua intersticial. El contenido total de  $\text{CO}_2$  del agua intersticial es una mezcla de: 1) el  $\text{CO}_2$  de agua de fondo, 2) el  $\text{CO}_3^{2-}$  proveniente de la disolución de  $\text{CaCO}_3$ , 3) el  $\text{CO}_2$  derivado de la respiración y, 4) de la oxidación de la materia orgánica. Se ha descrito en la literatura que el  $^{14}\text{C}$  del agua intersticial es más bajo que el del agua de fondo. Los datos disponibles del agua intersticial (McCorkle *et al.*, 1983; Emerson *et al.*, 1984) sugieren que estos efectos no son grandes, dando a los foraminíferos bentónicos que crecen en la infauna una edad más vieja de tan sólo 20 años con respecto a los que hubieran crecido en el agua de fondo (formas epibentónicas). Por lo anterior se considera que este es un efecto no significativo en las dataciones con  $^{14}\text{C}$ .

6) LÍMITES DE RESOLUCIÓN DE LAS TÉCNICAS DE DATACIÓN (<sup>14</sup>C VERSUS <sup>210</sup>Pb).

La precisión del Espectrómetro Acelerador de Masas de Carbono 14 (<sup>14</sup>C-AMS) en muestras con una edad de 1000 años es típicamente ± 50. La precisión basada en <sup>210</sup>Pb es ~1 año y está limitada a los sedimentos con edades de ~100 años (Schimmelmann & Lange, 1998). El <sup>210</sup>Pb tiene una vida media de 22.3 años, por lo que prácticamente su uso está limitado a sedimentos de la interfase agua/sedimento. muy jóvenes (Nava-Sánchez, 1997).

De acuerdo con los argumentos anteriores, el ámbito de este estudio se inclina hacia un escenario holocénico, por lo que será conveniente utilizar <sup>14</sup>C en este estudio.

7) ESTIMACIÓN DE LA EDAD DEL RESERVORIO PROFUNDO

Existe la posibilidad de estimar, en forma aproximada, el tiempo de residencia de las aguas de fondo en la Bahía de la Paz a través de las mediciones de <sup>14</sup>C, considerando las diferencias entre edades de <sup>14</sup>C en foraminíferos bentónicos y planctónicos. Los foraminíferos planctónicos precipitan los iones carbonato disueltos en las masas de aguas superficiales para construir sus conchas, por lo que no son susceptibles de tomar un carbono viejo que altere su edad; entonces, la diferencia entre edades de foraminíferos planctónicos y bentónicos es una aproximación cercana del envejecimiento de las aguas del reservorio profundo. Para realizar esta estimación es necesario considerar que el <sup>14</sup>C que se encuentra en el agua

de fondo como bicarbonato disuelto, depende principalmente de la circulación, la cual cambia a través del tiempo sin indicios de un comportamiento lineal. Por este motivo se asumen funciones de tipo logarítmica.

En la figura 3.3 se graficaron las “edades bentónicas”(Fig.3.3a) y las “edades planctónicas”(Fig. 3.3b) versus profundidad en el subsuelo y se ajustaron a dos curvas logarítmicas. Para cada caso se obtuvieron las siguientes ecuaciones:

$$y_1 = -23029.83 + 13378.5 \cdot \log_{10}(x) + \text{eps}$$

“edades bentónicas”

$$y_2 = -23119.6 + 13259.8 \cdot \log_{10}(x) + \text{eps}$$

“edades planctónicas”

Las ecuaciones anteriores fueron evaluadas en 13 diferentes profundidades en el subsuelo y se calculó la diferencia entre ambas. Las diferencias entre las edades planctónicas y bentónicas representan una estimación de la edad del reservorio profundo en la Cuenca Alfonso, que oscila entre 328 a 366 años (en promedio 350 años) (Tabla 3.3).

Tabla 3.3 Estimación de la diferencia de edades entre foraminíferos bentónicos y planctónicos en el núcleo BAP96J-CP

x (prof. cm)	"Edades Bentónicas"	"Edades Planctónicas"	Diferencia
101	3785	3457	328
110	4281	3949	332
120	4787	4450	337
130	5252	4911	341
140	5682	5338	344
150	6083	5735	348
160	6458	6107	351
170	6810	6456	354
180	7142	6785	357
190	7457	7096	361
200	7755	7392	363
210	8038	7673	365
211	8066	7700	366

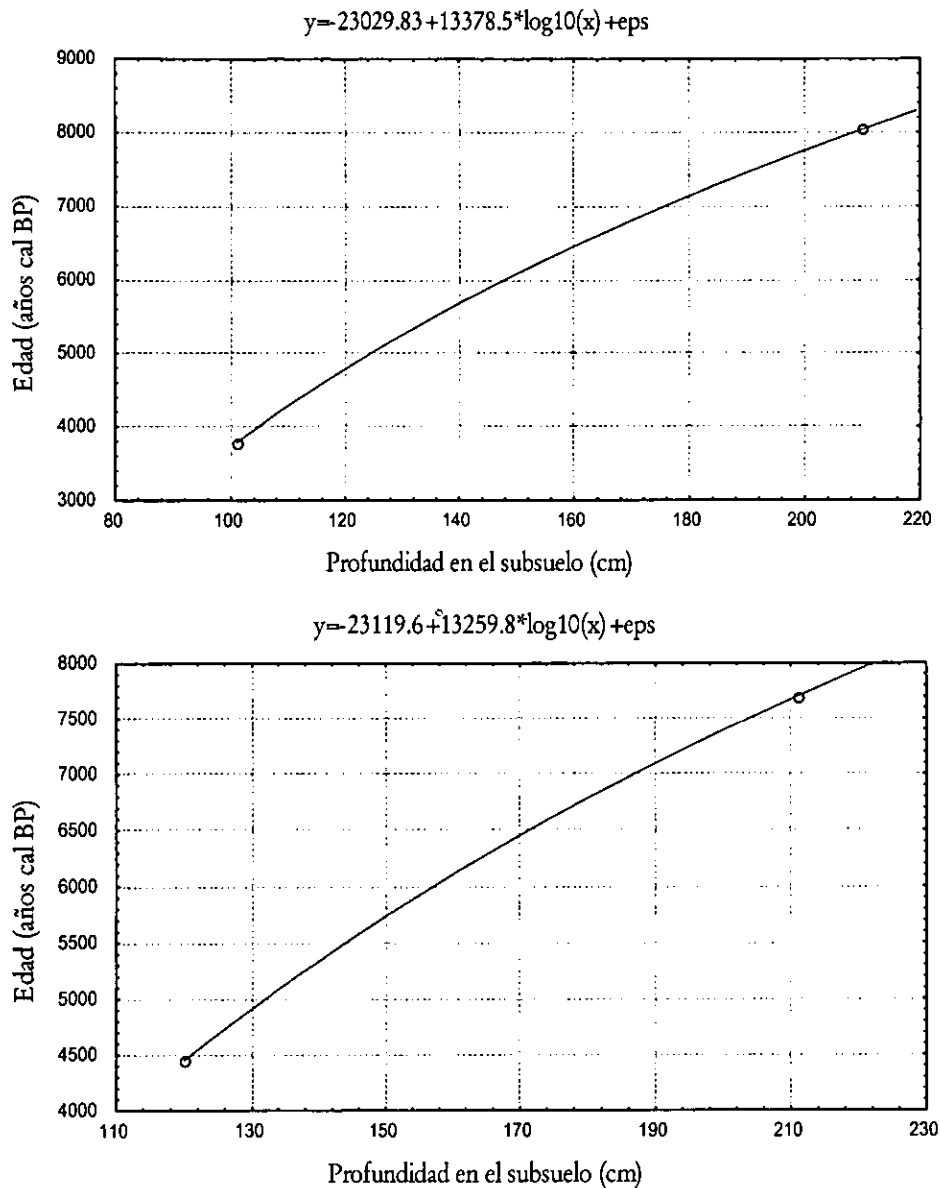


Figura 3.3. Curvas logarítmica de las edades de  $^{14}\text{C}$  (años cal BP) versus profundidad en el subsuelo. a) Edades calculadas mediante los foraminíferos bentónicos y b) edades calculadas mediante foraminíferos planctónicos en el núcleo BAP96J-CP.

Tabla 3.4. Especies de Radiolarios consideradas en Análisis de Factores «modo Q» (S=Espumelarios y N=Naselarios)

Código	Especie	Código	Especie
S1	<i>Acrosphaera murrayana</i>	S66	<i>Spongodiscus resurgens</i>
S2	<i>Actinomma antarcticum</i>	S67	<i>Spongodiscus americanus</i>
S3	<i>Actinomma leptodermum</i>	S68	<i>Spongodiscus biconcavus</i>
S4	<i>Actinomma medianum</i>	S69	<i>Spongodiscus sp.</i>
S6	<i>Actinosphaera cristata</i>	S70	<i>Spongopyle osculosa</i>
S7	<i>Amphiropalum ypsilon</i>	S71	<i>Spongospaera streptacantha</i>
S8	<i>Amphitholus acanthometra</i>	S52	<i>Spongostrochus glacialis</i>
S10	<i>Circodiscus microporus</i>	S73	<i>Spongostrochus sp.</i>
S11	<i>Cladococcus cervicornis</i>	S74	<i>Stylochlamydidium asteriscus</i>
S12	<i>Cladococcus stalactites</i>	S75	<i>Stylodictya aculeata</i>
S15	<i>Cypassis irregularis</i>	S76	<i>Stylodictya validispina</i>
S17	<i>Dictyocoryne truncatum</i>	S80	<i>Thecosphaera sp.</i>
S19	<i>Didymocyrtilis tetrathalamus</i>	S81	<i>Tetrapyle octacantha</i>
S22	<i>Echinomma delicatum</i>	S82	<i>Tholospira sp.</i>
S23	<i>Echinomma sp.</i>	N1	<i>Amphiplecta cylindrocephala</i>
S24	<i>Euchitonia elegans</i>	N2	<i>Anthocyrtilidium ophirensis</i>
S25	<i>Euchitonia furcata</i>	N6	<i>Calocyclus monumentum</i>
S26	<i>Euchitonia triangulum</i>	N15	<i>Dictyophimus infabricatus</i>
S27	<i>Euchitonia sp.</i>	N16	<i>Dictyophimus tripus</i>
S28	<i>Heliodiscus asteriscus</i>	N17	<i>Dictyophimus platycephalus</i>
S29	<i>Heliodiscus echiniscus</i>	N18	<i>Euceryphalus cervus</i>
S30	<i>Heliodiscus minus</i>	N20	<i>Eucyrtilidium hexagonatum</i>
S31	<i>Heliosphaera radiata</i>	N22	<i>Eucyrtilidium infundibulum</i>
S32	<i>Hexacontium entacanthum</i>	N23	<i>Giraffospyris angulata</i>
S33	<i>Hexacontium heterocantha</i>	N24	<i>Helotholus histicosa</i>
S35	<i>Hexacontium laevigatum</i>	N25	<i>Lamprocycclus maritales maritales</i>
S36	<i>Hexapyle dodecantha</i>	N26	<i>Lamprocycclus maritales polypora</i>
S37	<i>Hexastylus triaxonius</i>	N27	<i>Lamprocycclus maritales ventricosa</i>
S38	<i>Hymenisatrum euclidis</i>	N28	<i>Lamprocyrtilis nigrinae</i>
S40	<i>Larcopyle butschlii</i>	N29	<i>Lampromita quadricuspis</i>
S41	<i>Larcopyle sp. A y Sp B</i>	N32	<i>Liriospyris reticulata</i>
S44	<i>Larcospira quadrangula</i>	N33	<i>Litharacnium tentorium</i>
S45	<i>Larcospira spp.</i>	N36	<i>Lithostrobos hexagonalis</i>
S46	<i>Lithelius minor</i>	N38	<i>Lophospyris pentagona pentagona</i>
S47	<i>Lithelius nautiloides</i>	N39	<i>Lophophaenoma witjazii</i>
S48	<i>Lithelius obscurus</i>	N48	<i>Pterocanium bicorne</i>
S50	<i>Lithelius sp A</i>	N50	<i>Pterocanium praetextum eucolpum</i>
S51	<i>Octopyle stenoazona</i>	N51	<i>Pterocanium praetextum praetextum</i>
S53	<i>Phorticium pylonium</i>	N52	<i>Pterocanium trilobum</i>
S54	<i>Plegmosphaera spp</i>	N53	<i>Pterocorys hertwigii</i>
S55	<i>Porodiscus sp. A</i>	N54	<i>Pterocorys minithorax</i>
S56	<i>Porodiscus sp. B</i>	N55	<i>Pterocorys zancleus</i>
S57	<i>Prunopyle antarctica</i>	N56	<i>Sethophormis aurelia</i>
S58	<i>Pylonium sp (Benson)</i>	N57	<i>Sethophormis pentalactis</i>
S59	<i>Pylospira octopyle</i>	N62	<i>Theocalypta bicomis</i>
S61	<i>Sethodiscus macroccus</i>	N63	<i>Theocorythium trachelium trachelium</i>
S63	<i>Spongaster tetras irregularis</i>	N64	<i>Theopilium tricoctatum</i>
S64	<i>Spongaster tetras tetras</i>	N68	<i>Verticillata hexacantha</i>
S65	<i>Spongocore puella</i>	N69	<i>Zigocircus productus</i>



### CONSIDERACIÓN ACERCA DE LA PRESENCIA DE $^{210}\text{Pb}$ EN EL NÚCLEO BAP96J-CP

Considerando las dataciones de  $^{14}\text{C}$  (realizadas en foraminíferos bentónicos) fue posible inferir que al núcleo BAP96J-CP le faltan los primeros 15 cm aproximadamente, en consecuencia que la edad de la parte superior del núcleo es de ~450 años. Si a esta edad se le resta la edad promedio del reservorio profundo (~350 años), se obtiene un valor de 100 años. Esta edad es cualitativamente comparable con el exceso de  $^{210}\text{Pb}$  observado en las cuatro muestras más someras analizadas por Gorsline (valores positivos en la Tabla 3.2).

Debido a que la edad del reservorio profundo: ~350 años, puede o no ser aceptada en razón de los datos considerados (tiempo y número de muestras) y porque es muy probable que la tasa de sedimentación estimada mediante  $^{210}\text{Pb}$  (0.4mm/año) no esté bien determinada por no incluir muestras de la interfase agua/sedimento, se convino en utilizar como marco geocronológico de referencia para la argumentación paleoceanográfica, edades calibradas de  $^{14}\text{C}$ , mostradas en la Tabla 3.1.

## MICROPALEONTOLOGÍA

### RADIOLARIOS

Se examinó el contenido de radiolarios en los sedimentos laminados del núcleo BAP96J-CP considerando dos aspectos: 1) un estudio de “baja resolución” a lo largo de todo el núcleo y, 2) un análisis de “alta resolución” en tres intervalos definidos, diferenciando láminas claras de láminas oscuras.

### FASE 1) BAJA RESOLUCIÓN

Se estudiaron 211 muestras sedimentarias<sup>1</sup> en total 422 portamuestras. Se determinaron 152 taxa de radiolarios polycistinos (Apéndice III). Los conjuntos de radiolarios fueron definidos mediante un Análisis de Factores, “modo Q”, con una varianza maximizada (VARIMAX) (Klovan & Imbrie, 1971; Klovan & Miesch, 1976). El “modo Q” agrupó las muestras con base en sus similitudes vectoriales. El análisis se realizó utilizando la abundancia relativa de 98 especies (tabla 3.4) de radiolarios en 206 muestras. Sólo se consideraron las especies que, de acuerdo con un análisis de estadística descriptiva (máximos, mínimos, promedios y ocurrencias) fueron las más frecuentes y abundantes a lo largo del núcleo. Por otra parte, se eliminaron aquellas muestras que tuvieron menos de 100 especímenes por considerarse no representativas de la población de radiolarios. A partir de esta matriz (98 especies [casos] X 206 muestras [variables]), se calcularon los *factor loadings* y los valores de los factores.

Mediante este análisis se definieron 3 factores, los cuales tienen *eigenvalues* mayores de 5.9 y explican el 78.9% de la variabilidad de los datos (Tabla 3.5).

Tabla 3.5. *Eigenvalues* obtenidos a través del análisis de factores modo “Q” (Factores)

Factor	<i>Eigenvalues</i>	% total Varianza	<i>Eigenvalues</i> Acumulados	% Acumulados
1	144.2	70.0	144.2	70.0
2	12.1	5.9	156.3	75.9
3	5.9	2.9	162.3	78.9

Los *factor loadings* de cada factor se grafican con respecto a las edades, para definir cambios a través del tiempo.

Su distribución estratigráfica sugiere que la Bahía de la Paz ha experimentado predominantemente dos escenarios oceanográficos en aproximadamente los últimos 8000 años, y algunos eventos climáticos perceptibles de relativamente corta duración.

Con base en la asociación de las especies y su afinidad con parámetros oceanográficos en el área, particularmente masas de agua y al proceso de afloramiento, los factores se denominaron: 1) "Ecuatorial", 2) "Golfo de California" y 3) "Surgencias".

Es conveniente señalar que varios paleoceanógrafos han definido dos asociaciones de radiolarios en el Océano Pacífico Ecuatorial de acuerdo con su distribución geográfica y su relación con la salinidad, refiriéndolas como: "Factor Tropical" ( $S < 34.50$ ) y "Factor Subtropical" ( $34.50 < S < 35.00$ ) (p. ej. Benson, 1966; Molina-Cruz, 1978; Moore, 1978; Nigrini, 1968; 1971; Piasias, 1986). Desde el punto de vista de oceanografía física estos 2 factores quedan comprendidos dentro del Agua Superficial Ecuatorial.

#### EL FACTOR 1 ("ECUATORIAL")

Este factor define el 70% de la variabilidad de los datos; fue el predominante en la región en el periodo entre ~2700 y ~800 años (Fig. 3.4); mostrando algunos pulsos importantes entre ~5700 y ~6000 años. La especie clave que domina este factor es la más común a lo largo del núcleo: *Tetrapyle octacantha*, la cual presenta aquí su valor más alto (Fig. 3.5). Otra especie que caracteriza a este factor es *Theopilium tricostatum* con valores del factor de 3.34 (Fig. 3.5).

*Tetrapyle octacantha* ha sido frecuentemente interpretada como un indicador de aguas subtropicales y ecuatoriales (Molina-Cruz, 1977; Piasias *et al.*, 1896; Welling & Piasias, 1993; Weinheimer & Cayan, 1997), y también ha sido descrita como un componente importante de la población de radiolarios en la Boca del Golfo de California (Molina-Cruz, 1988; 1994; Molina-Cruz *et al.*, 1998; Molina-Cruz *et al.*, 1999).

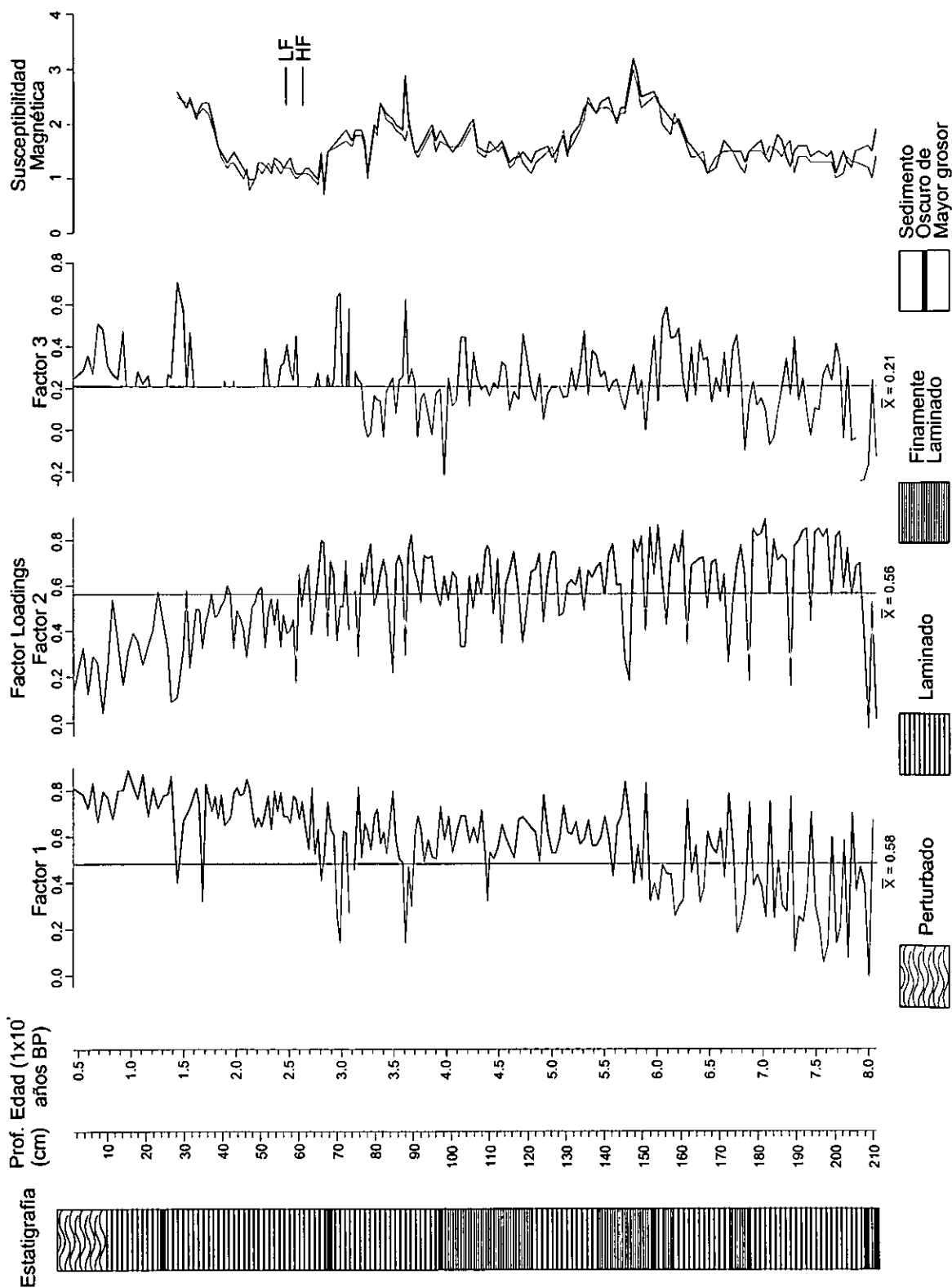
En particular, Welling *et al.* (1992) la encontraron caracterizando el factor denominado "Subtropical". Más tarde, Welling & Piasias (1997) mostraron que esta especie tiene una mayor abundancia y flujo que cualquiera de los otros radiolarios subtropicales. Los mismos autores, observaron que el factor subtropical, en donde se encontraba *T. octacantha*, mantenía *factor loadings* muy altos en el ecuador, excepto durante las fases frías del ENSO.

Welling & Piasias (1998), en un estudio en el Pacífico Ecuatorial Central utilizando trampas de sedimentos, corroboraron una vez más que *T. octacantha* es una especie clave del conjunto subtropical.

En este estudio se observa la presencia de *T. octacantha* a lo largo de todo el núcleo. Su constante presencia se puede explicar por la concurrencia de Agua Superficial Ecuatorial en la boca del Golfo de California y dentro de la Bahía.

En la actualidad, la extensión del Agua Superficial Ecuatorial (ASE) hacia el interior del Golfo tiene una clara señal estacional (Torres-Orozco, 1993), con su máxima intrusión en verano (cuando el ASE puede llegar hasta la Cuenca de Guaymas, durante la ocurrencia del fenómeno del ENSO) y la máxima retracción en invierno, cuando se le encuentra solamente cerca de la boca del Golfo (Robinson, 1973; Molina-Cruz *et al.*, 1999; Monreal-Gómez *et al.*, en prensa).

Figura 3.4. Esquema de la columna estratigráfica que muestra la estructura laminada del núcleo BAP96J-CP; Factor loadings de los factores 1 («Ecuatorial»), 2 («Golfo de California») y 3 («Sugerencias»), y Susceptibilidad Magnética (HF-Frecuencia Alta y LF Frecuencia Baja).



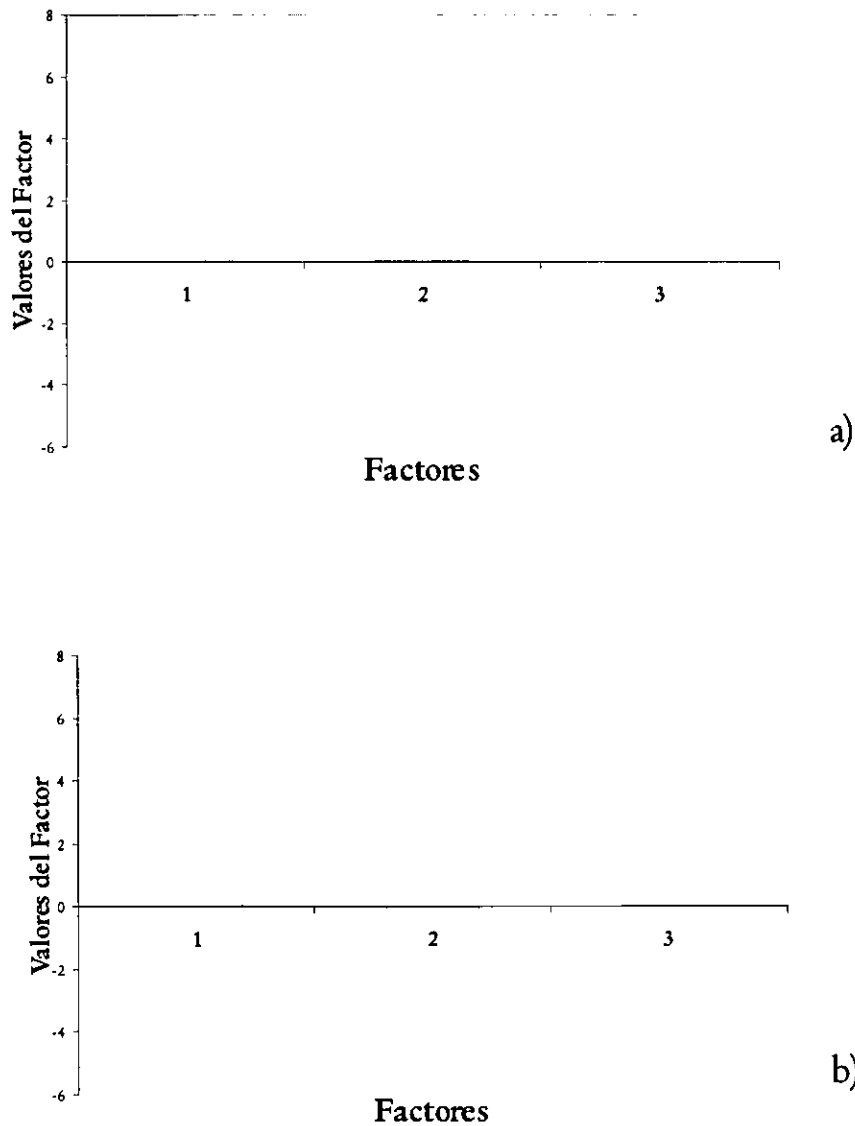


Figura 3.5. Valores de los Factores de las especies: a) *Tetrapyle octacantha* y b) *Theopilium tricostatum*.

Por otra parte, en la literatura no se señala alguna preferencia ecológica acerca de *Theopilium tricostatum*, pero es un componente de los conjuntos de radiolarios de la parte sur del Golfo (Benson, 1966; Molina-Cruz, 1988; 1999).

De acuerdo con lo anterior, se pueden inferir dos escenarios probables: a) que la incursión del ASE

ha sido más intensa y predominante en la Bahía en los últimos ~2700 años y b) que el mecanismo de evaporación, el cual induce la formación del Agua del Golfo de California ha sido menor y, en consecuencia, el Agua Superficial Ecuatorial ha predominado en la Bahía de la Paz. Ambas condiciones propiciarían el mayor flujo y abundancia de *Tetrapyle octacantha*.

## EL FACTOR 2 (“GOLFO DE CALIFORNIA”)

El Factor “Golfo de California” define, en general, el periodo entre -7800 y -2700 años (Fig. 3.4). Las especies predominantes son: *Euchitonia* sp, *Tetrapyle octacantha*, *Spongotrochus glacialis* y *Dictyophimus infabricatus*, con valores de 6.61, 4.56, 3.91 y 1.43, respectivamente (Fig. 3.6).

*Euchitonia* sp fue reportada por Benson (1966) como una especie característica de la parte sur del Golfo de California. Haeckel (1887) definió a esta especie como cosmopolita en regiones tropicales y, en general, ha sido confinada a regiones tropicales de todos los mares (Benson, 1966).

*Tetrapyle octacantha*, como se mencionó, es una especie constante a lo largo del núcleo y sus afinidades ecológicas ya han sido descritas.

Por otra parte, *Spongotrochus glacialis* es una especie que ha estado definida por Welling & Pisias (1998) dentro de el factor Subtropical, mientras que Weinheimer & Cayan (1997), en un estudio realizado en la Cuenca de Santa Barbara, incluyen a *S. glacialis* dentro de un ambiente “Intermedio”, asociada con el Agua Intermedia del Pacífico, con salinidades >34.00, ocupando las aguas debajo de la termoclina. A su vez, estos autores confirman que esta especie tiene sus mayores flujos en años cálidos.

La cuarta especie que caracteriza este factor, *Dictyophimus infabricatus*, fue definida por Weinheimer & Cayan (1997) como una especie de “transición”.

En síntesis, sería la primera vez que a *Euchitonia* sp se le relacionara con masas de agua de alta salinidad; mientras que la presencia de *Spongotrochus glacialis* y *Dictyophimus infabricatus* en este factor se podría explicar por su preferencia por aguas subsuperficiales asociadas con la

termoclina. Se sugiere que las condiciones climático-oceanográficas de la Bahía de la Paz propiciaron el desarrollo de una termoclina más somera, que provocó el ascenso de las aguas subsuperficiales, lo cual explicaría la presencia significativa de estas especies.

Al observar la Figura 3.4, se puede distinguir que este factor presenta sus mayores *factor loadings* entre -5500 y -7800 años BP; lo cual es concurrente con el estadio conocido como el óptimo climático del Holoceno, caracterizado por condiciones de mayor calidez (Dorale *et al.*, 1992; Finkl, 1997). El Holoceno medio ha sido definido como un periodo dinámico de cambio climático global, en particular, se ha descrito que en el Océano Pacífico Tropical entre -7000 a 5000 años BP la temperatura fue de 1 a 2° C más cálida que en la actualidad, con marcados cambios en los perfiles zonales de evaporación-precipitación (Dorale *et al.*, 1992). Por su parte, Dean *et al.* (1996) documentaron un incremento en la aridez en el Holoceno medio en el Hemisferio Norte y en Norte América, reconociendo dos periodos máximos de -7000 a 6500 años y de -6000 a -5000 años BP.

Al parecer, la influencia de estas condiciones globales se reflejó en la Bahía de la Paz propiciando un escenario con un clima más cálido que el actual, promoviendo la intensificación de la evaporación, misma que constituye el mecanismo más importante para formar el Agua del Golfo de California (S<sup>3</sup>35.00) (Lavin *et al.*, 1997) dentro de la Bahía.

No obstante lo anterior, es importante hacer notar que entre -7800 y 8100 años, no hay una definición de este factor (ni en los otros), probablemente por una gran dilución de organismos por aporte eólico o posiblemente una turbididad (Gorsline, com. pers.)

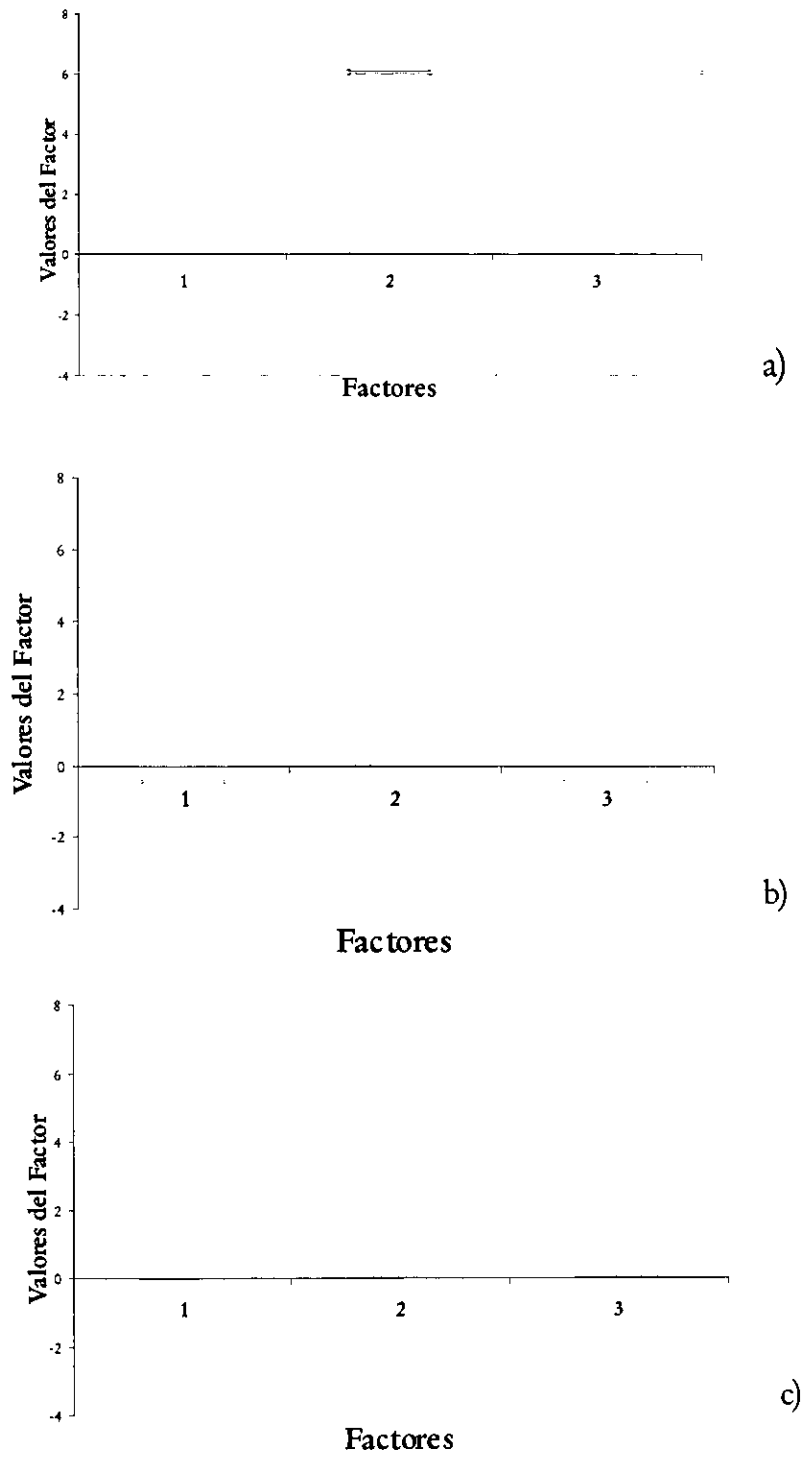


Figura 3.6. Valores de Factores de las especies: a) *Euchitonia* sp., b) *Spongotrochus glacialis* y *Dictyophimus infabricatus*.

### FACTOR 3 ("SURGENCIAS")

El Factor "Surgencias", al parecer define eventos de poca duración; particularmente a ~6700, ~6100, 3600, 3000 y 1400 años (Fig. 3.4). Se encuentra caracterizado por tres especies: *Hexacontium enthacanthum*, *Pylospira octopyle* y *Didymocyrtis tetrathalamus*. Los valores de éstas en el Factor son 4.52, 2.3 y 1.16, respectivamente (Fig. 3.7).

*Hexacontium enthacanthum* ha sido encontrada asociada con aguas relativamente frías, con una salinidad >34.50 (Weinheimer & Cayan, 1997).

Por otra parte, Benson (1966) sugirió que *Pylospira octopyle* está asociada con procesos de alta productividad, como surgencias en el Golfo de California y al Sistema de la Corriente de California. Así mismo, Álvarez-Arellano y Molina-Cruz (1986) asocian a esta especie con eventos de surgencias en el Golfo. Weinheimer & Cayan (1997) la definieron dentro de los taxa asociados con aguas relativamente frías.

Moore (1978) señaló que *Didymocyrtis tetrathalamus* tiende a concentrarse en las regiones de contraflujo, entre las corrientes ecuatoriales inducidas por los vientos en el Pacífico Tropical Ecuatorial.

Otros autores incluyen a *D. tetrathalamus*, tanto en las asociaciones tropicales como subtropicales, o en ambas ( p. ej. Nigrini, 1967; 1970; Robertson, 1975; Renz, 1976; Molina-Cruz, 1978; Johnson, Nigrini, 1980; 1982). Boltovskoy & Jankilevich (1985) sugieren que *D. tetrathalamus* es más tolerante a condiciones adversas que la mayoría de las especies. Observaciones en el campo y en el laboratorio sugieren que esta especie exhibe un amplio rango de tolerancia física y que más que la temperatura, los factores tróficos pueden limitar su distribución y abundancia (Anderson *et al.*, 1990).

*D. tetrathalamus* fue reportada por Welling & Piasis (1998) dentro del factor denominado Pacífico Occidental; el factor estaba asociado con la fase fría del ENSO.

En este estudio, el Factor "Surgencias" sugiere que han ocurrido eventos fríos repentinos que propiciaron el "florecimiento" de estas tres especies. Durante dichos periodos, de relativa poca duración, probablemente los vientos provenientes del noroeste ("Coyas") fueron más intensos, propiciando que la afluencia del agua a través del sur de la Boca Grande se incrementara, saliendo por la parte norte, generando una circulación ciclónica en la Cuenca Alfonso y una pequeña corriente anticiclónica en la parte noroeste de la Bahía de la Paz (Monreal-Gómez *et al.*, en prensa). La circulación ciclónica pudo haber causado fuertes divergencias, mucho más evidentes que las que ocurren actualmente. Bajo este escenario las aguas subsuperficiales ricas en nutrientes ascendieron a la superficie (surgencia), lo cual explica la dominancia de *Hexacontium enthacanthum* y *Pylospira octopyle*, así como la presencia de *Didymocyrtis tetrathalamus*, que en este caso puede estar asociada a la mayor disponibilidad de nutrientes inducidos por las surgencias o bien a su adaptación a abruptos cambios climáticos.

Las variaciones en la intensidad de las surgencias en el Golfo de California están directamente relacionadas con las fluctuaciones de los vientos alisios del Pacífico norte. Juillet-Leclerc & Schrader (1987) indicaron que en los últimos 3000 años en el Golfo de California los vientos del noroeste se intensificaron, teniendo su máxima intensidad entre 1500 y 2000 años. Este incremento en la intensidad de las surgencias en estos periodos es apoyado también por las observaciones de Soutar & Isaacs (1969), quienes estimaron que hace 1500 años la intensificación de los vientos alisios a lo largo de la costa de

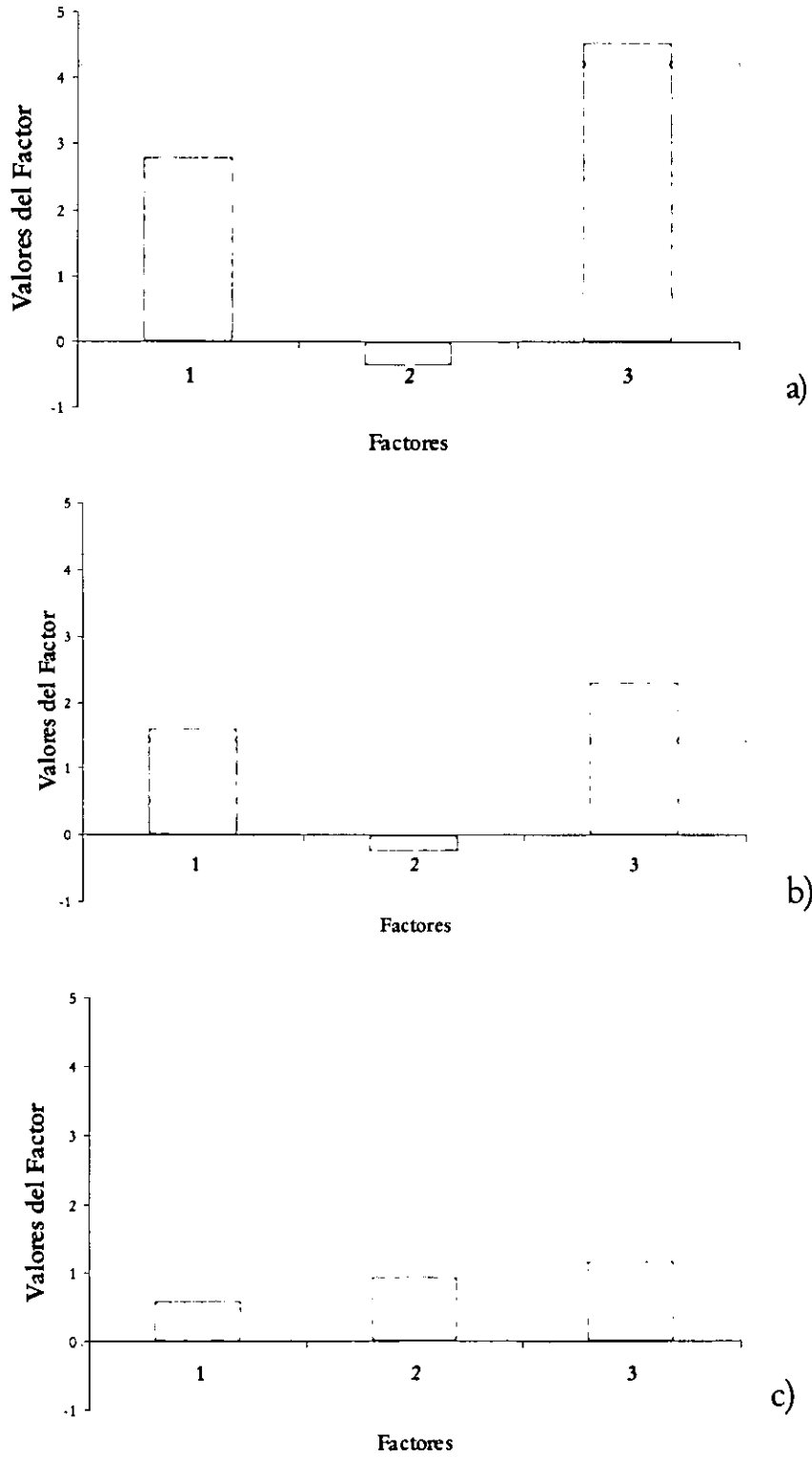


Figura 3.7. Valores de los Factores de las especies: a) *Heaxcontium enthacanthum*, b) *Pylospira octopyle*, y c) *Didymocyrtis tetrathalamus*.



California produjo una productividad 4 a 5 veces más alta que las de los pasados 200 años. Por otra parte, van Geel *et al.* (1996) reportan un evento frío particular que parece haber ocurrido en muchas partes del mundo, alrededor de los 2600 años *BP*. Dorale *et al.* (1992), también describen un evento frío alrededor de 2600 años, junto con otros dos a ~3800 y ~8200 años *BP*.

Por lo anterior, es posible inferir que los eventos de ~3600, ~3000 y ~1400 años que se evidencian por el factor 3, pueden correlacionarse con eventos globales en donde las condiciones climáticas fueron más frías y en donde la intensificación de los patrones de vientos alisios produjeron surgencias intensas.

Los otros dos picos en la gráfica del factor 3 que se distinguen son a ~6100 y ~6700 años, los cuales al parecer no se correlacionan con otros eventos a nivel global; sin embargo, por las características de los dos primeros, es factible que sean periodos con condiciones muy similares.

Cabe mencionar que Nava-Sánchez y Cruz-Orozco (1989) reportan que el nivel del mar en la Bahía disminuyó drásticamente hace 6000 años, probablemente por la ocurrencia de un evento frío.

## FASE 2. ALTA RESOLUCIÓN

### ABUNDANCIA Y DIVERSIDAD DE RADIOLARIOS

Al comparar las especies de radiolarios de las láminas claras contra las de las láminas oscuras, fue posible determinar algunas diferencias, tanto en la abundancia como en diversidad de especies. El contenido específico de las láminas claras fue de 49 taxa, mientras que en las oscuras sólo se determinaron 35 especies (Tabla 3.6).

A su vez, las láminas claras contuvieron más especímenes por gramo de sedimento, en promedio 44 rad./g, mientras que las láminas oscuras presentaron solamente 21 rad./g.

Tabla 3.6. Abundancia de radiolarios 13 láminas claras y 13 láminas oscuras

L. claras	Rad/muestra	Peso (g)	Rad/g	L. oscuras	Rad/muestra	Peso (g)	Rad/g
C1	197	1.15	171	O1	29	1.30	22
C2	49	0.61	80	O2	41	0.66	62
C3	54	0.86	63	O3	34	1.05	32
C4	64	0.55	117	O4	116	2.75	42
C5	30	0.71	43	O5	40	0.52	77
C6	30	3.02	10	O6	34	1.00	34
C7	42	0.52	81	O7	4	1.19	3
C8	31	1.34	23	O8	4	1.33	3
C9	10	1.49	7	O9	2	1.26	2
C10	20	1.30	15	O10	5	1.75	3
C11	16	1.48	11	O11	12	1.52	8
C12	27	1.15	23	O12	12	0.98	12
C13	20	1.40	14	O13	11	1.11	10

Al hacer una análisis de la ocurrencia de especies, se pudo observar que tres especies predominaron en las láminas claras: *Acrosphaera murrayana*, *Euchitonia triangulum* y *Pylospira octopyle*. Mien-

tras que, en las láminas oscuras predominaron taxa como: *Heliodiscus asteriscus*, *Porodiscus* sp B y *Tetrapyle octacantha*. (Tabla 3.7).

Tabla 3.7. Abundancias relativas promedio de las especies más significativas en las láminas claras y oscuras. Para calcular estos promedios, se eliminaron los valores extremos (máximos y mínimos).

Especies en las láminas claras [13 muestras]	<i>Acrosphaera murrayana</i> 5.2%	<i>Euchitonia triangulum</i> 6.8%	<i>Pylospira octopyle</i> 7.1%
Especies en las láminas oscuras [13 muestras]	<i>Heliodiscus asteriscus</i> 7.0%	<i>Porodiscus</i> sp B 12.7%	<i>Tetrapyle octacantha</i> 11.8%

Molina-Cruz (1977) consideró a *Acrosphaera murrayana* dentro de un factor asociado a procesos de surgencias y alta productividad en las costas de Perú. Más tarde, el mismo autor la define como una especie indicadora de surgencias en el Golfo de Tehuantepec (Molina-Cruz, 1984; Molina-Cruz & Martínez-López, 1994). *Pylospira octopyle* ha sido asociada también con surgencias en el Golfo de California (Benson, 1966) y a masas de agua relativamente frías (Weinheimer & Cayan, 1997).

Por su parte, *Tetrapyle octacantha*, como ya se dijo anteriormente en este capítulo, es una especie indicadora de aguas subtropicales. Benson (1966) describe a *Heliodiscus asteriscus* como una especie abundante de la parte sur del Golfo y Nigrini (1970) la define como parte de un conjunto tropical. Así mismo, *Porodiscus* sp B ha sido definida dentro de factores subtropicales (Robertson, 1975; Nigrini & Moore, 1979; Molina-Cruz *et al.*, 1999).

De acuerdo con lo anterior, se deduce que las especies de radiolarios polycistinos encontradas en la Bahía de la Paz están asociadas principalmente con ambientes subtropicales, esto también es evidenciado por las especies dominantes de diatomeas (ver Apéndice V). Asimismo, la productividad, inferida a través del número de radiolarios por gramo, es relativamente baja comparada con otras áreas del Golfo de California (Molina-Cruz *et al.*, 1999). Sin embargo, cambios en la hidrodinámica, como cuando la termoclina se encuentra más cerca de la superficie y, consecuentemente en la zona eufótica (-20 m de profundidad) (Molina-Cruz *et al.*, en prensa), pueden eventualmente promover el enriquecimiento de nutrientes y propiciar un aumento en la productividad, dando origen a la formación de láminas claras.

Se puede decir que los sedimentos de la Bahía de la Paz registran *blooms* episódicos más que reflejar una variabilidad anual o interanual, ya que cada lámina representa alrededor de 5-7 años (véase inciso acerca de dataciones de este capítulo).

## GEOQUÍMICA (ALTA RESOLUCIÓN)

## MICROANÁLISIS POR DISPERSIÓN DE RAYOS X

A continuación se presentan los resultados del análisis de la composición elemental de 34 muestras (18 láminas claras y 16 oscuras) del núcleo BAP96J-CP, llevado a cabo mediante el Sistema de Energía Dispersiva de Rayos X.

Se generaron tres espectros por cada muestra, así como la identificación y cuantificación de los elementos mayores, mediante el programa ZAF-EDAX-98, incluido en el Sistema de Microanálisis (Apéndice IV).

Este microanálisis se llevó a cabo con dos propósitos: a) definir la composición química de los sedimentos laminados de la Bahía de la Paz y, b) a partir de esto, diferenciar el origen de las láminas claras y oscuras.

*Tabla 3.8. Concentración normalizada al 100% de los elementos mayores de los sedimentos laminados del núcleo BAP96J-CP.*

Color de la Lámina	Intervalo	Si	Al	Cl	Na	Ca	Fe	K	Mg	S
Clara	7.2-7.5	12.93	5.73	20.61	17.06	4.24	2.03	2.03	2.66	1.85
Oscura	7.5-7.8	23.39	8.25	3.87	4.71	3.17	3.03	2.78	2.84	0.59
Clara	23.4-23.7	20.20	8.33	1.26	2.56	9.33	3.51	3.09	3.12	0.72
Oscura	23.7-24.0	23.64	8.84	1.83	2.78	5.59	5.24	3.70	3.40	0.66
Clara	38.4-38.6	15.20	5.95	20.49	15.40	3.62	3.40	1.91	2.25	1.03
Oscura	38.6-39.0	21.15	8.47	2.52	3.48	7.09	4.00	3.49	3.24	0.81
Clara	47.7-48.0	26.12	9.79	2.45	3.18	3.48	6.20	4.18	3.48	0.76
Oscura	48.0-48.2	15.64	5.77	20.88	18.37	2.17	2.06	1.71	2.32	1.01
Oscura	62.7-62.9	35.93	5.70	6.09	4.48	2.03	2.31	2.13	2.04	0.70
Clara	63.0-63.3	23.47	9.67	1.91	2.88	3.90	4.08	3.76	3.79	1.07
Clara	66.7-66.9	11.48	4.59	26.47	22.23	3.59	1.50	1.48	1.85	2.11
Oscura	67.0-67.2	12.41	5.03	27.08	20.86	3.24	2.13	1.85	1.97	1.77
Oscura	76.5-76.7	32.24	6.24	2.99	2.91	5.37	2.41	2.38	2.26	1.08
Clara	76.9-77.2	19.90	8.39	1.22	2.31	10.29	4.14	3.52	3.05	0.75
Oscura	93.1-93.3	22.65	9.22	1.53	2.63	6.47	4.76	3.76	3.22	1.16
Clara	93.3-93.7	10.20	4.28	24.75	22.78	4.09	1.32	1.39	1.89	2.65
Oscura	108.9-109.1	17.89	7.37	2.11	2.91	11.50	3.48	2.90	3.06	1.10
Clara	109.15-109.3	18.99	7.72	1.39	2.46	9.76	3.62	2.86	3.55	1.04
Oscura	109.5-109.8	19.67	8.16	2.91	3.80	8.31	2.92	2.83	3.26	1.08
Clara	109.8-110.1	12.75	4.80	27.97	18.98	3.11	2.20	1.74	1.86	1.85
Clara	121.7-121.9	23.69	7.38	5.39	4.04	7.57	3.11	2.95	2.74	1.40
Oscura	122.2-122.5	12.99	5.67	14.06	11.34	8.74	2.39	2.07	2.38	3.57
Oscura	145.5-145.8	18.36	8.11	6.10	6.04	6.58	4.84	3.01	3.30	1.35
Clara	152.8-153.1	21.25	9.48	1.24	2.57	5.95	3.76	3.25	3.18	0.76
Clara	160.1-160.3	24.38	9.61	1.26	2.56	6.37	4.73	3.92	3.17	0.69
Oscura	160.65-160.9	23.78	10.03	2.53	3.23	5.47	4.48	4.07	3.58	0.00
Clara	161.6-162	19.55	8.24	1.28	2.38	11.91	4.67	3.56	2.96	0.98
Oscura	170.1-170.4	24.11	9.82	1.50	2.88	6.17	5.20	3.92	3.13	0.00
Clara	170.7-171	21.91	9.69	2.13	2.74	8.02	8.23	4.39	2.97	0.74
Clara	181.1-181.5	27.38	8.19	1.72	2.45	7.24	5.02	3.45	2.76	0.46
Oscura	181.7-182	23.09	10.11	1.92	3.03	4.36	5.47	3.58	3.12	0.97
Clara	192.6-192.9	19.75	9.11	2.52	3.37	7.21	3.54	2.88	3.71	0.80
Oscura	201.5-201.8	19.64	8.41	1.60	2.41	10.66	4.78	3.52	3.13	0.90
Clara	207.1-207.5	18.28	7.90	1.08	2.33	12.46	3.94	3.03	3.15	0.00
Promedio		20.41	7.77	7.20	6.71	6.44	3.78	2.97	2.89	1.07

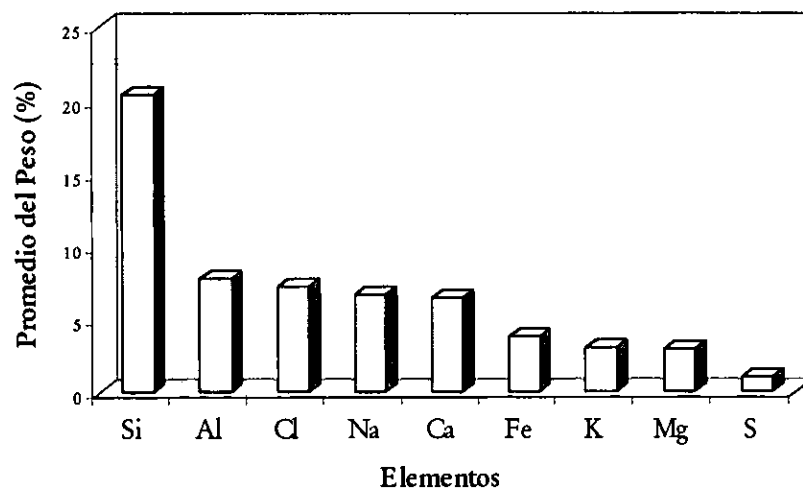


Figura 3.8. Elementos presentes en las láminas claras y oscuras del núcleo BAP96J-CP

Se determinó la composición química en 18 láminas claras y 16 láminas oscuras, evaluando el contenido de 9 elementos mayores presentes en las muestras: Al, Ca, Cl, Fe, K, Mg, Na, S, y Si.

Para la interpretación del análisis se consideró el origen de estos elementos de acuerdo con la siguiente clasificación (Seibold & Berger, 1993): 1) los elementos **terrágenos** o **litogénicos** son productos detríticos de desintegración de rocas pre-existentes (ígneas, metamórficas, sedimentarias, cenizas volcánicas), los cuales son transportados por el viento o descargas fluviales y redistribuidos por el oleaje y las corrientes; 2) los **biogénicos** son restos de organismos, principalmente carbonatos (calcita y aragonita), ópalo (sílice hidratado) y fosfato de calcio (dientes, huesos, etc.). Se acumulan en los sedimentos por precipitación *in situ* (organismos bentónicos) o vía columna de agua (pelágicos) y, 3) los **hidrogénicos** precipitados desde el agua marina o del agua intersticial (p. ej., las sales como la halita). También pueden ser producidos por las alteraciones durante las reacciones químicas tempranas dentro de los sedimentos depositados más recientemente.

En las 34 láminas los elementos más abundantes fueron el Si y el Al, como se puede observar en la Tabla 3.8 y en la Figura 3.8.

El aluminio está esencialmente asociado con material detrítico terrígeno (Boström, 1970; Emelyanov, 1977) y puede provenir de arcillas y micas (Mutterlose & Ruffel, 1999). Si se compara la abundancia de otros elementos con la del Al (Fig. 3.9), se observa que existe una alta correlación<sup>5</sup> (Spearman) con el hierro, el potasio y el magnesio, con valores entre 0.75 y 0.92, lo cual indica también el origen terrígeno de esos elementos.

En el caso particular del sílice, éste puede tener origen terrígeno, proveniente del cuarzo, arcillas, micas y feldespatos; o bien, puede ser biogénico a partir de diatomeas y/o radiolarios (Mutterlose & Ruffel, 1999). Se infiere que, en la Cuenca Alfonso, el mayor aporte de sílice es de origen terrígeno. Esta aseveración está apoyada en los siguientes argumentos:

5. Correlación no paramétrica.

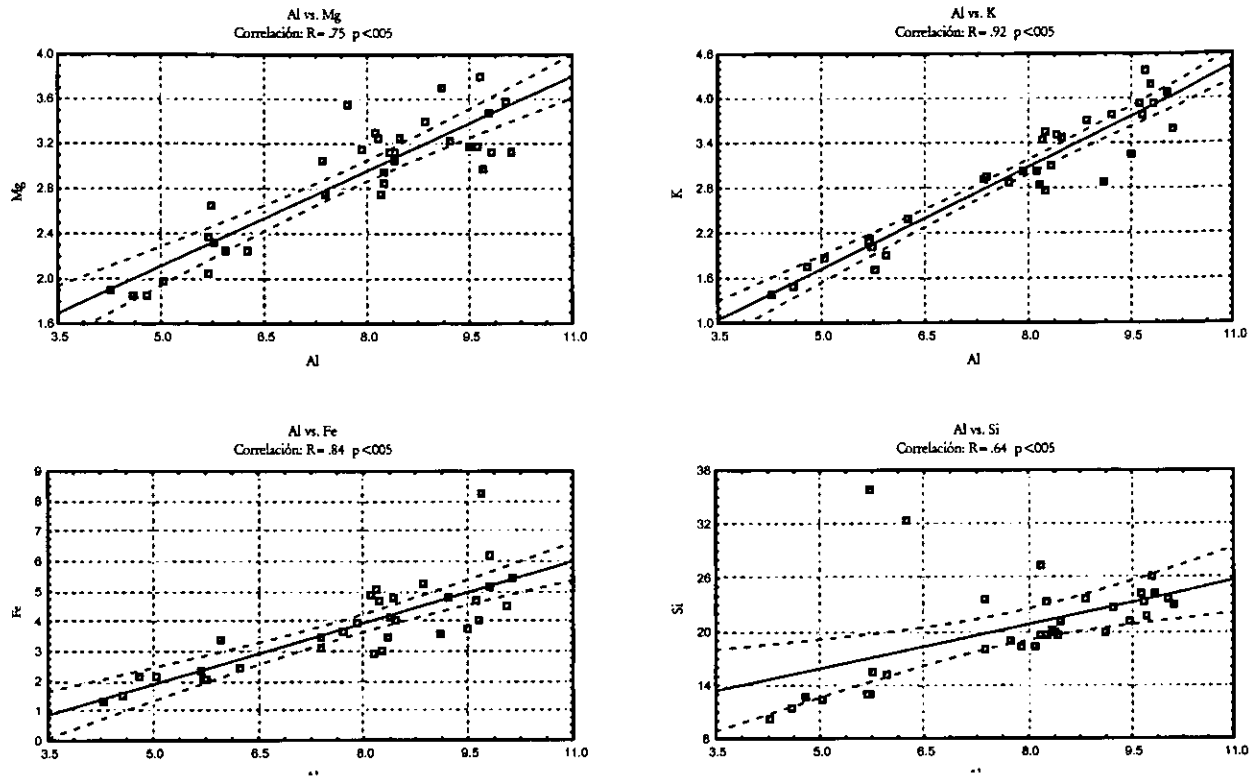


Figura 3.9. Correlación no paramétrica (Spearman  $R$ ) del aluminio (Al) con el hierro (Fe), potasio (K) y sílice (Si).

- 1) La Bahía de la Paz está rodeada de material rico en silicoaluminatos (tobas volcánicas y andesitas) (Hausback, 1984), por lo que el aporte a la Cuenca Alfonso está constituido principalmente por este tipo de materiales y, como se puede observar en la Tabla 3.8 y en la Figura 3.8, el Al y el Si predominan, siendo los elementos que componen significativamente los sedimentos. El Si y el Al tienen, relativamente, buena correlación (0.64) (Fig. 3.9).
- 2) Las variaciones en el contenido de sílice con respecto al aluminio y al hierro han sido utilizadas para caracterizar fases no-biológicas de los sedimentos (Rangin *et al.*, 1981; Machhour *et al.*, 1994). En este estudio en particular, se observa que el Si y el Al tienen una variación similar en los sedimentos la-

minados a lo largo del núcleo BAP96J-CP (Fig. 3.10), lo cual también apoyaría la idea de un origen predominantemente no biogénico.

- 3) Los porcentajes de sílice biogénico determinados por De Diego (1998) en los sedimentos laminados del núcleo BAP96J-CP, mostraron valores entre 0.5 y 4.5% (Fig. 3.10), los cuales son muy bajos comparados con valores observados en otras zonas de alta productividad del Golfo de California. P. ej.: Thunell *et al.* (1994) determinaron, en un núcleo en la Cuenca de Guaymas, concentraciones de ópalo en el intervalo de 26.5% a 34.7% (en promedio ~30%) y, ~10% (entre 9.3% y 12.5%) en otro núcleo en la Cuenca del Carmen.

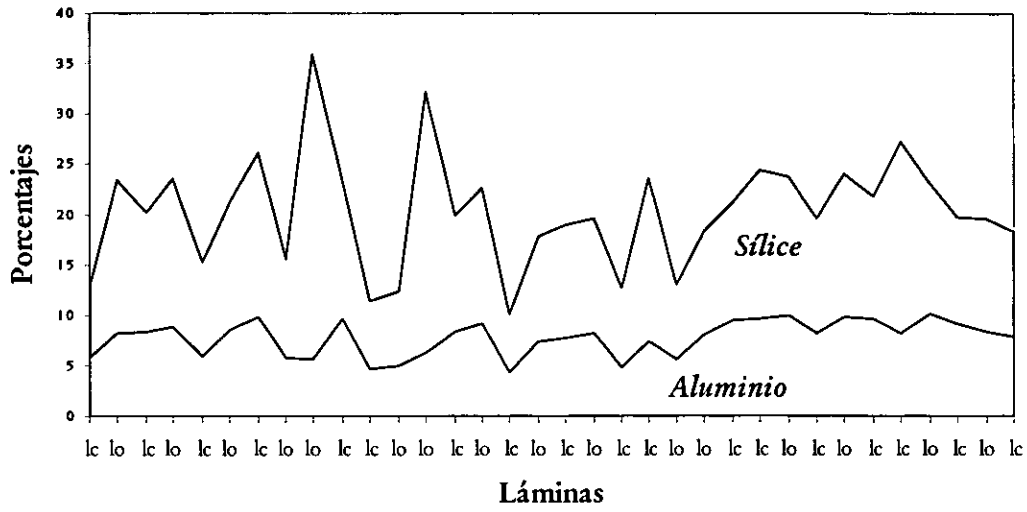


Figura 3.10. Variaciones del Al y el Si en las láminas claras y oscuras del núcleo BAP96J-CP

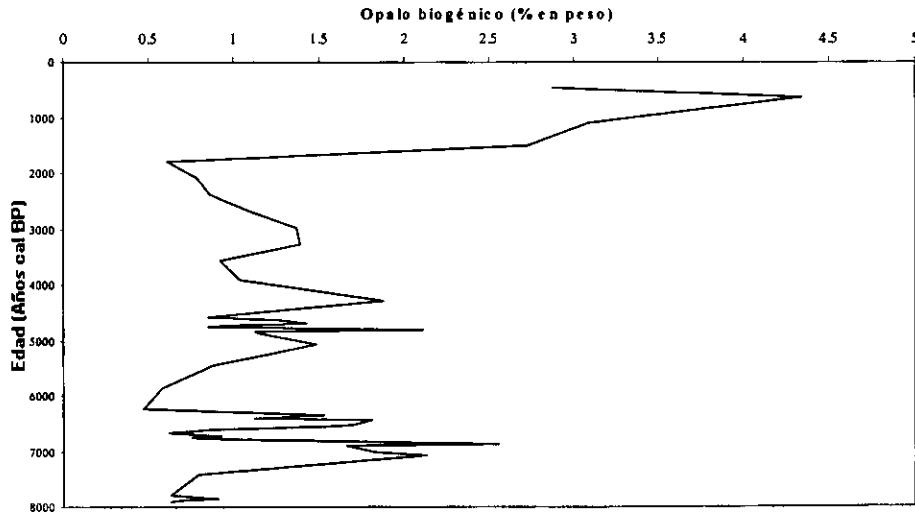


Figura 3.11. Porcentaje de ópalo biogénico en los sedimentos del núcleo BAP96J-CP (Modificado de De Diego, 1998). La línea punteada describe la tendencia lineal.

Cabe destacar que la tendencia del ópalo biogénico en el núcleo es de disminuir al aumentar la profundidad, ya que se infiere que es diluido por los carbonatos. Esto es apoyado por las estimaciones de carbonatos realizadas por De Diego (1998), en donde las mayores concentraciones se observan en la parte media e inferior del núcleo BAP96J-CP.

El calcio es uno de los elementos importantes en los sedimentos laminados, el cual se considera biogénico (Seibold & Berger, 1993) y que en este caso deriva principalmente de organismos carbonatados como foraminíferos y cocolitofóridos. Además su correlación con los minerales terrígenos es muy baja ( $r=-.015$ , Fig. 3.12) haciendo más evidente su origen biogénico.

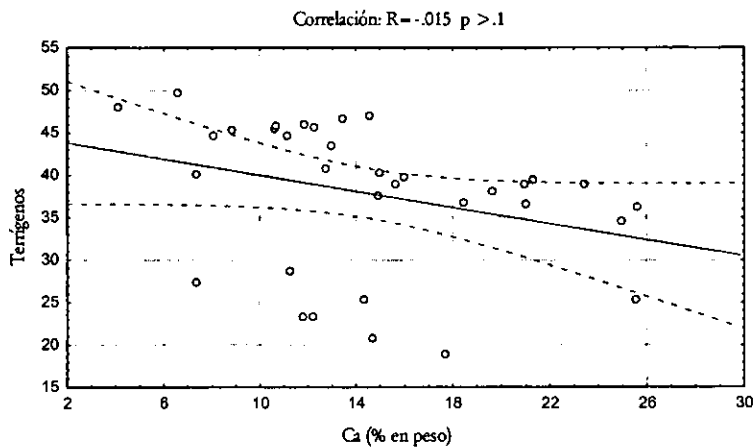


Figura 3.12. Correlación del calcio con los elementos terrígenos.

LÁMINAS CLARAS Y OSCURAS: DIFERENCIAS EN COMPOSICIÓN QUÍMICA ELEMENTAL.

Con el propósito de determinar si existían diferencias en la proporción de algunos elementos en la láminas claras y oscuras, y de esta manera determinar su posible origen, se llevó a cabo un Análisis de Factores modo "Q". Para este análisis se consideraron los porcentajes del peso de los siguientes elementos: Al, Ca, Fe, Mg, K, S y Si (Tabla. 3.8). El Na y el Cl se excluyeron debido a que estos elementos podrían ser el resultado de la precipi-

tación de la sal (NaCl) durante el secado de los sedimentos en laboratorio.

Mediante el análisis se definieron 2 factores que explican el 98.8 % de la variabilidad de los datos (Tabla 3.9). Por la asociación de elementos mostrados en los valores de los factores (Fig. 3.18) se denominan: 1) Terrígeno y 2) Biogénico.

Tabla 3.9 Eigenvalues obtenidos a través del análisis de factores modo "Q" (Factores)

Factor	Eigenvalues	% total Varianza	Eigenvalues Acumulados	% Acumulados
1	32.6	96.0	32.6	96.0
2	1.0	2.8	33.6	98.8

Con los *factor loadings* de los factores y considerando el color de las láminas, se hizo una gráfica del factor 1 *versus* el factor 2, con el propósito de inferir agrupaciones de las láminas claras con respecto a las oscuras (Fig. 3.13). Aunque se observa que hay un solapamiento en la parte central del gráfico, se muestra que la tendencia general es que las láminas oscuras estén relacionadas con el factor 1, y las láminas claras con el factor 2.

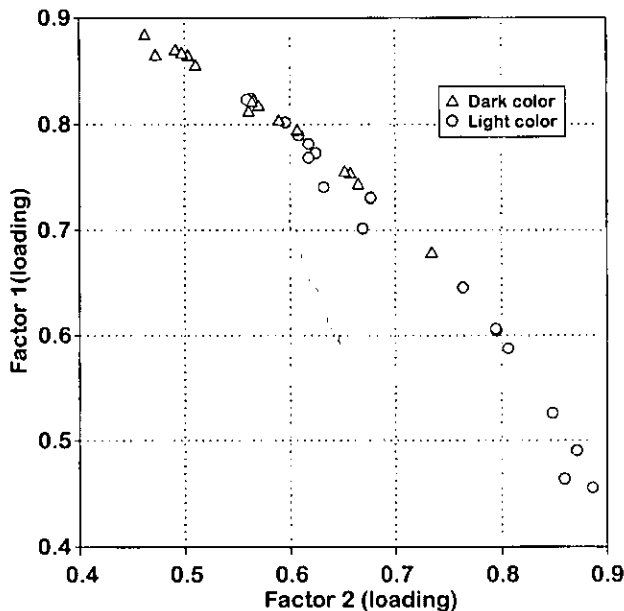


Figura. 3.13. Gráfica de los factor loadings: Factor 1 versus Factor 2, ? láminas claras y ? láminas oscuras.

El factor 1 "Terrígeno" está caracterizado por el sílice litogénico, el cual presenta un valor de 2.1 y también por el aluminio, que aunque observa un valor bajo (0.3) es más significativo que en el factor 2 (Fig. 3.14). Esta asociación de elementos litogénicos define que el factor 1 está determinado principalmente por la entrada de minerales terrígenos, e induce la formación de láminas oscuras. El hecho de que el factor 1 represente una varianza del 96%, indica que los minerales terrígenos son la principal fuente de aporte sedimentario a la cuenca. Esto es concurrente con el hecho de que la Bahía de la Paz está rodeada de

rocas con alto contenido de silicoaluminatos (Hausback, 1984).

Por otra parte, el factor 2 "Biogénico" está definido predominantemente por el Ca (1.8) y por el Si, pero éste es menos significativo que en el factor 1. Además, los valores del factor de elementos terrígenos como: Fe, Mg y K, son opuestos (Fig. 3.14), por lo que se asume que este factor está caracterizado por un aporte de material biogénico que da lugar a la formación de láminas claras. Estos resultados coinciden con los resultados del análisis de los radiolarios en las láminas en este estudio, en donde se determinó que las láminas claras presentaban una relativa mayor abundancia de organismos que en las láminas oscuras. La tonalidad clara de los sedimentos al parecer está dada por la presencia de restos de organismos de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ), principalmente de foraminíferos y nanoplancton calcáreo. Locke & Thunell (1988) mencionan que los patrones  $\text{CaCO}_3$  reflejan cambios en la productividad o dilución por entrada de terrígenos y sugieren un incremento en la productividad de las aguas superficiales en el Holoceno.

En teoría, la circulación ciclónica que ocurre en la Bahía de la Paz podría promover la productividad y, en consecuencia, un incremento en el aporte de material biogénico a los sedimentos. No obstante, de acuerdo con el porcentaje de la variabilidad de los datos del Factor 2 (-3 %), se infiere que el aporte biogénico es bajo en comparación al aporte de terrígenos. Esto concuerda con los porcentajes relativamente bajos de ópalo biogénico descritos en los sedimentos del núcleo (De Diego, 1988). Algunos autores han sugerido que el sílice opalino es el mejor *proxy* para determinar la productividad primaria en el Golfo de California (Thunell, 1998; Pride *et al.*, 1998). Con base en esta idea se deduce que la productividad de la Bahía de la Paz es baja al compararla con otras áreas del Golfo. La



causa de una pobre productividad puede ser el desarrollo de una termoclina muy marcada que inhibe la mezcla vertical. Esto conduce a un bajo contenido de oxígeno en el fondo ( $<0.2 \text{ ml/l}$ )<sup>6</sup> y a que la renovación de nutrientes sea mínima (Molina-Cruz *et al.*, en prensa). Aunado a esto, se infiere que el aporte de nutrientes que provienen del continente es escaso debido a que prácticamente no existen descargas fluviales. Sin embargo, la productividad mejora en la Bahía cuando se debilita la termoclina, se hace más somera y alcanza la zona eufótica, permitiendo el ascenso de nutrientes (por ejemplo: las condiciones de verano descritas por Monreal-Gómez *et al.*, en prensa),.

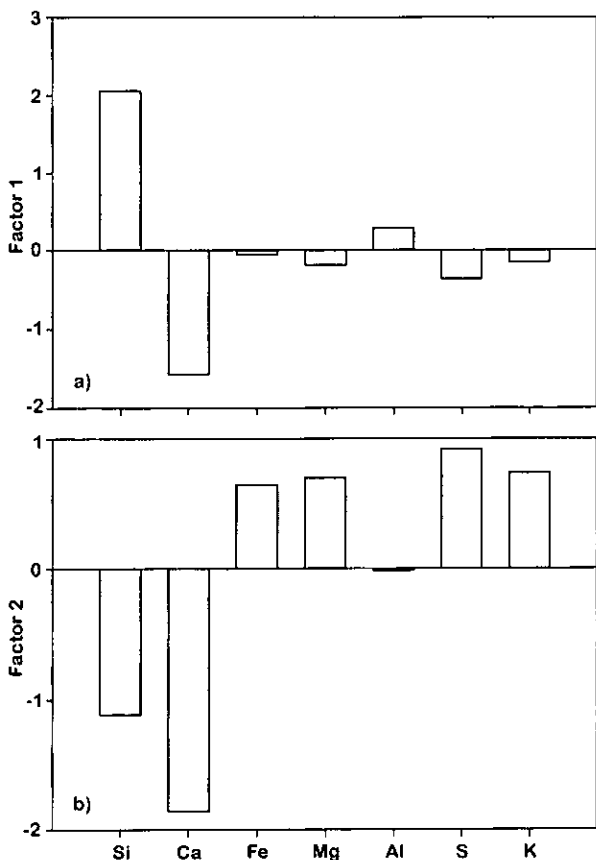


Figura 3.14. Valores de los dos factores. a) Factor 1, el cual representa el 96% de la variabilidad de los datos y, b) Factor 2, que representa el 3%.

## MATERIA ORGÁNICA

El estudio de la materia orgánica en los sedimentos proporcionó indicadores, o *proxies*, que pueden utilizarse para reconstruir registros de paleoambientes y paleoclimas, considerando que los cambios ambientales afectan tanto la producción de materia orgánica como su preservación (Meyers, 1997).

Las muestras de los sedimentos tuvieron concentraciones de TOC mayores de 4%. El contenido de TOC en las láminas claras fue entre 4.2 y 5.9%, con promedio de 5.8%, mientras que en las láminas oscuras, el promedio fue de 6.9% y los valores oscilaron entre 5.2 y 7.2% (Fig. 3.15). El mayor contenido de TOC en las láminas oscuras probablemente contribuye al oscurecimiento de estas láminas.

El incremento del contenido de carbono orgánico en los sedimentos ha sido atribuido a tres factores principales (Geraga *et al.*, 2000): (i) incremento del aporte de materia orgánica marina y/o terrestre (ii) decremento en la ventilación de las aguas de fondo y (iii) incremento en las tasas de sedimentación. En el caso particular de la Bahía de la Paz, se sugiere que la ocurrencia de un mayor contenido de TOC en las láminas oscuras puede ser el resultado más que a un aumento en la productividad a condiciones de mejor preservación, como se explica a continuación.

Cuando las condiciones oceanográficas definen una termoclina profunda estable y una marcada estratificación de la columna de agua, el oxígeno en el agua de fondo se debe agotar muy rápidamente, y por lo tanto, la materia orgánica que fluya hacia el fondo, aunque no sea mucha se conserva con mayor facilidad. Si a esto se une

6 Los sedimentos laminados del núcleo BAP96J-CP son ricos en conjuntos de pequeños bolivinidos, particularmente de *Bolivina subadvena*. Murray (1995) sugirió que éstos representan periodos en donde la circulación del fondo es lenta y el oxígeno es reducido.

una tasa de sedimentación mayor<sup>7</sup> y probablemente una menor porosidad del sedimento por ser éste más arcilloso -menos biogénico- entonces, el oxígeno en las aguas intersticiales probablemente se agota muy rápido, incluso aunque exista un poco en el agua de fondo, ya que al ser el sedimento poco poroso y muy poco permeable, el oxígeno no se renueva desde la superficie porque hay muy poca circulación de aguas intersticiales en los primeros centímetros de la capa del sedimento. Esta situación puede ser muy diferente cuando el sedimento es más biogénico, es decir hay diatomosa, radiolarios, foraminíferos y coccolitofóridos, entonces, el sedimento es más poroso y permeable y hay más aguas intersticiales desde el fondo, esto haría más fácil la oxidación de la materia orgánica dentro del sedimento.

Por otra parte, los valores medidos del Índice de Hidrógeno (HI, por sus siglas en inglés) en las láminas claras y oscuras del núcleo oscilan entre 240 y 307 mgHC/gmC (Fig. 3.16). Al parecer no muestran alguna diferencia significativa entre unas y otras, pero estos valores sugieren una predominancia, general, de materia orgánica de origen marino (Cowie *et al.*, 1999). Particularmente, los registros de TOC y del HI reflejan que los sedimentos laminados del núcleo BPA96J-CP contienen materia orgánica bien preservada. Hay que recordar que el HI es también una estimación de la calidad química de la materia orgánica (Ariztegui *et al.*, 2000). Características similares se han observado en otros núcleos en condiciones anaeróbicas-disaeróbicas (Machhour *et al.*, 1994).

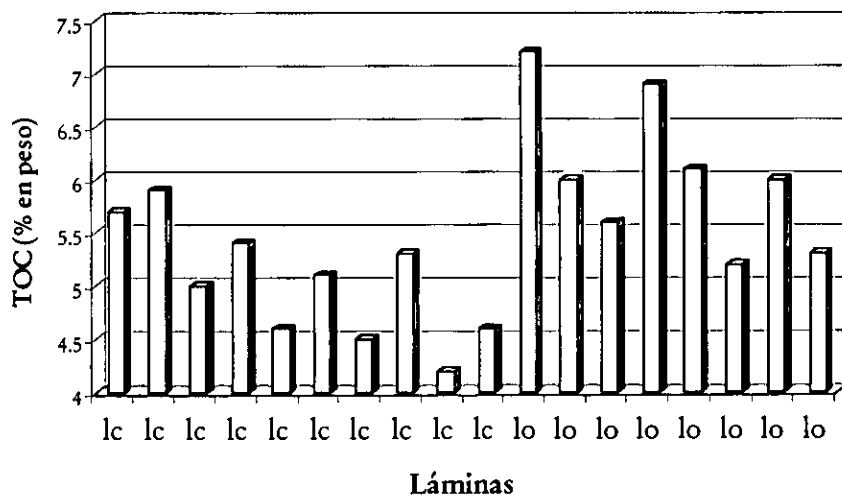


Figura 3.15. Concentraciones de TOC (%) en las láminas claras (lc) y oscuras (lo) del núcleo BAP96J-CP.

7 Si la sedimentación es más rápida, entonces la materia orgánica queda enterrada más rápidamente con lo que hay menos tiempo para que pueda ser oxidada en las capas superiores por debajo de la interfase sedimento-agua.

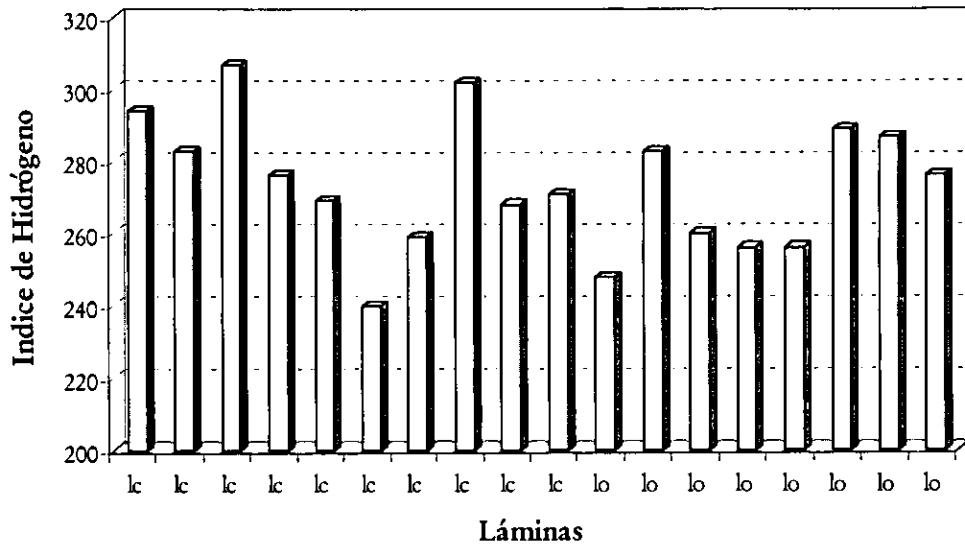


Figura 3.16. Índice de Hidrógeno en las láminas claras y oscuras del núcleo BAP96J-CP en la Bahía de la Paz.

De acuerdo con los escenarios paleoclimáticos del Holoceno, definidos a través de los conjuntos de radiolarios en el estudio de baja resolución, se reconocen dos estadios: uno entre - 800 y 2700 años, en donde predomina el Agua Superficial Ecuatorial en la Bahía, y otro entre - 2700 y 7800 años, cálido y árido, en donde el Agua del Golfo de California es más evidente. Las mayores concentraciones de ópalo biogénico (Fig. 3.11) y de carbono orgánico (Fig. 3.17) se muestran en la parte superior del núcleo BAP96J-CP (desde hace - 2500 años), estos registros se pueden correlacionar con el primer estadio. Algunos au-

tores ha propuesto que los patrones de vientos en el Golfo de California se han intensificado durante los últimos 3000 años (Soutar & Isaacs, 1969; Juillet-Leclerc & Schrader, 1987). Se sugiere que estas condiciones se reflejaron en la Bahía y propiciaron el aumento del flujo de material terrígeno por vía eólica. Esto explicaría el aumento en el contenido de carbono orgánico, proveniente de materia orgánica terrestre, y consecuentemente una tasa de sedimentación relativamente mayor (0.34 mm/año *versus* 0.26 mm/año).

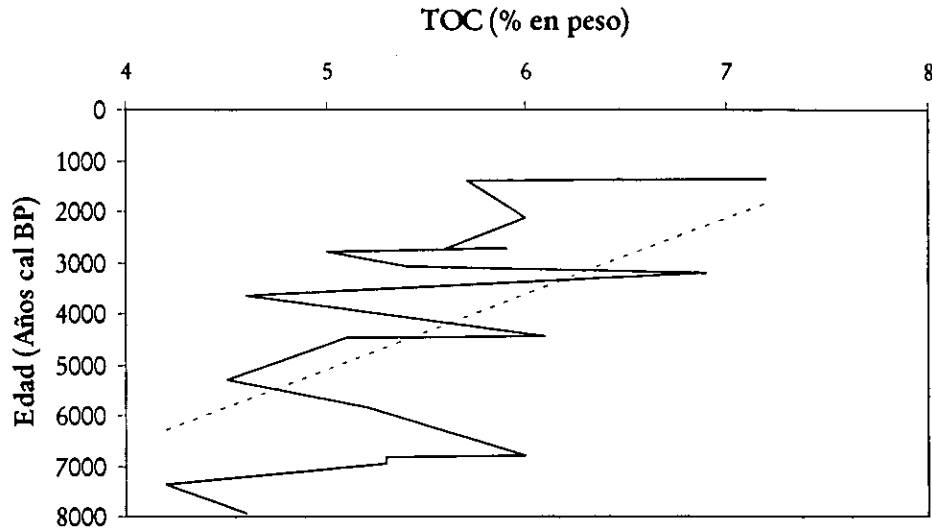


Figura 3.17. Contenido de TOC (%) a lo largo del núcleo BAP96J-CP. La línea punteada describe su tendencia lineal.

## SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA

### BAJA RESOLUCIÓN

Los registros de susceptibilidad magnética de campo bajo fueron graficados en función del tiempo (Fig. 3.4). En esta gráfica se observan diferentes patrones de variación, siendo más alta en la parte superior del núcleo. Los valores más bajos se muestran en el periodo entre -2800 y 2100 años BP en donde se presume que el flujo biogénico fue mayor (posiblemente por la intensificación de las surgencias) y diluyó los minerales ferromagnesianos. Es posible distinguir 4 picos sobresalientes a -7900, 5700, 3600, y 1400 años; se sugiere que éstos están asociados con mayor aporte de material terrígeno a la cuenca, resultado del transporte eólico o bien de intervalos en donde la precipitación fue significativa.

Se observó que los valores de susceptibilidad magnética de alta y baja frecuencia, HF y LF, respectivamente, mostraron un comportamiento similar; no obstante, se pueden distinguir varios intervalos en donde estas señales se separan:

entre -8070 y 7100 años, a -6800, 6200, 5900, 5500, 3600, 3200 y 3000 años. Estos desfases podrían indicar la presencia de minerales magnéticos ultrafinos provenientes del continente. Se sugiere que tales minerales podrían haber sido transportados, principalmente, por vía eólica. Particularmente, en la base del núcleo, donde este desfase es más evidente, se observó que el material biogénico fue muy escaso y que hubo un predominio de terrígenos.

### ALTA RESOLUCIÓN

Los *loops* de histéresis fueron medidos en 43 láminas claras y oscuras. Se determinaron los parámetros magnéticos que se muestran en la Tabla 3.10. Se analizaron los valores de la Magnetización de Saturación ( $M_s$ ) y se observaron diferencias entre las láminas claras y oscuras. En general, los valores fueron mayores en las láminas oscuras (Fig. 3.18). Con base en estos datos se infirió que éstas representan intervalos en donde el aporte de material terrígeno es más evidente. Esto puede ser el resultado de variables como son, el incremento en la intensificación de los

vientos que induce un mayor transporte de material terrígeno a la cuenca y a su vez, un aumento en la tasa de sedimentación, mayor que la que ocurre durante la formación de láminas cla-

ras. Estas condiciones pudieron variar a lo largo del tiempo y es por ello que en algunos intervalos no se observan estas señales tan claramente.

Tabla 3.10. Parámetros magnéticos medidos en los sedimentos laminados del núcleo BAP96J-CP

Intervalo (cm)	HC(mT)	Mr(nAm <sup>2</sup> )	Ms (mAm <sup>2</sup> )	Mr/Ms
7.2-7.5	7.9	216.0	2	0.126
7.5-7.8	7.4	211.0	2	0.136
23.4-23.7	9.0	57.0	420	0.136
23.7-24.0	9.0	98.5	704	0.140
38.4-38.6	13.2	61.3	304	0.202
38.6-39.0	14.0	39.0	182	0.214
47.7-48.0	14.7	51.6	215	0.240
48.0-48.2	14.8	34.1	146	0.233
62.7-62.9	15.5	53.9	211	0.256
63.0-63.3	14.8	42.9	187	0.230
66.7-66.9	15.3	44.4	184	0.241
67.0-67.2	15.8	35.4	150	0.235
76.5-76.7	15.0	39.2	163	0.241
76.9-77.2	15.0	36.3	140	0.258
93.1-93.3	14.6	40.5	167	0.243
93.3-93.7	14.3	28.9	125	0.231
108.9-109.1	15.2	32.9	138	0.239
109.15-109.3	14.1	25.3	112	0.226
109.5-109.8	14.4	39.9	157	0.254
109.8-110.1	13.7	39.8	175	0.227
121.7-121.9	13.7	28.7	132	0.217
122.2-122.5	13.1	41.5	222	0.187
145.5-145.8	14.5	41.7	185	0.225
152.8-153.1	13.7	40.1	181	0.222
160.1-160.3	13.5	35.5	162	0.219
160.65-160.9	14.2	32.3	149	0.217
161.6-162.0	14.6	30.4	138	0.221
170.1-170.4	12.7	37.8	186	0.203
170.7-171.0	13.2	35.7	157	0.228
173.4-173.7	14.1	36.4	160	0.228
173.7-174.0	15.1	32.2	138	0.234
174.3-174.6	15.0	39.3	163	0.240
174.9-175.2	15.3	38.9	158	0.246
175.8-176.1	14.5	42.8	165	0.260
173.4-173.7	15.4	39.6	171	0.231
174.0-174.3	15.8	40.0	169	0.236
174.6-174.9	14.3	35.7	144	0.249
175.5-175.8	14.7	31.6	136	0.232
181.1-181.5	14.3	31.2	139	0.224
181.7-182.0	14.9	50.0	226	0.221
192.6-192.9	14.6	35.8	153	0.235
201.5-201.8	13.2	29.6	141	0.210
206.8-206.9	14.2	35.0	153	0.229
207.1-207.5	13.8	29.9	127	0.235

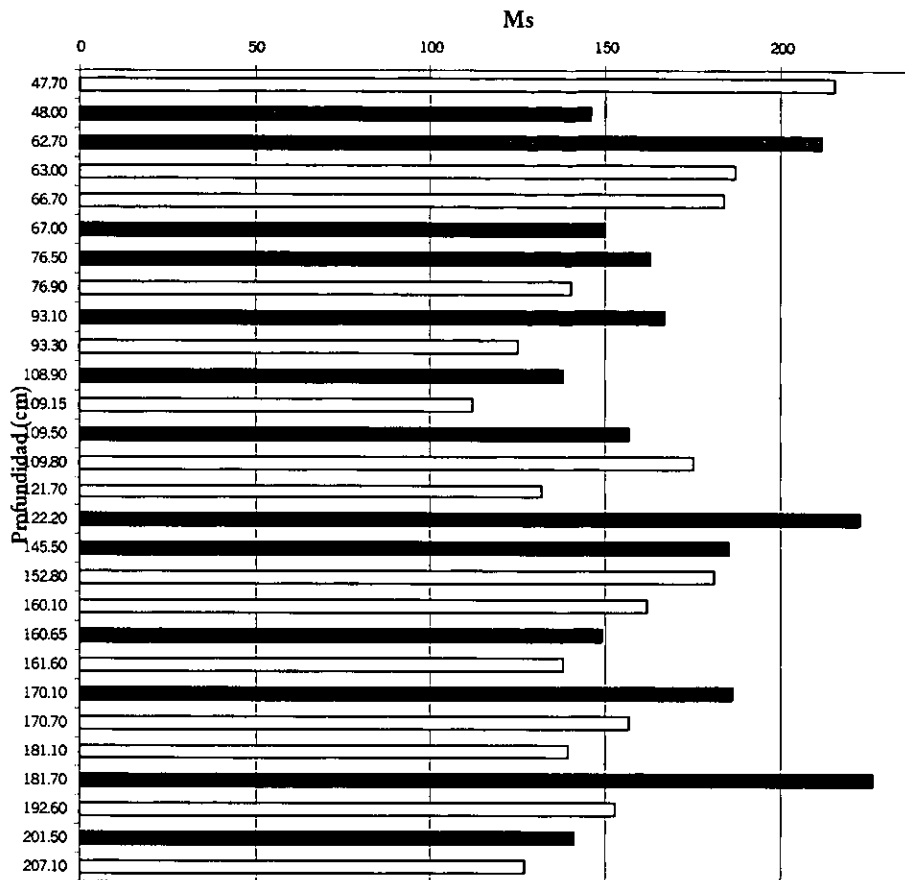


Figura 3.18. Gráfica de la Magnetización de Saturación *versus* profundidad en 15 láminas claras y 13 láminas oscuras del núcleo BAP96J-CP.

### ANÁLISIS ESPECTRAL

Los datos de susceptibilidad magnética fueron analizados por el método de Fourier utilizando un programa desarrollado por Arciniega (1997) para procesar señales sísmicas. Este método asume que las series de tiempo son estacionarias e infinitamente repetitivas. Se realizaron dos análisis empleando 128 y 256 datos, con igual espaciado. Estas series igualmente-espaciadas se determinaron a partir de la serie original que contó con 136 datos empleando una subrutina de splines. Los periodos principales estimados del análisis concuerdan para la interpolación y extrapolación.

Fue posible reconocer tres ciclos principales a ~2000, ~1500 y ~570 años, que pueden estar asociados con la actividad solar.

Damon & Sonett (1991) y Hood & Jirikowicz (1990) mostraron que cambios dramáticos en la actividad solar ocurren en un espacio de ~2000 años (2000-2400). Algunos autores sugieren que no sólo la variabilidad solar sino una serie de fenómenos naturales (Solares-Terrestres [ST]), podrían contribuir a los cambios climáticos; p. ej., variable solar, actividad geomagnética y volcánica, cambios en el campo magnético de la Tierra, cambios en la posición relativa de la Tierra con respecto al sol (Cress & Schönwiese, 1990;

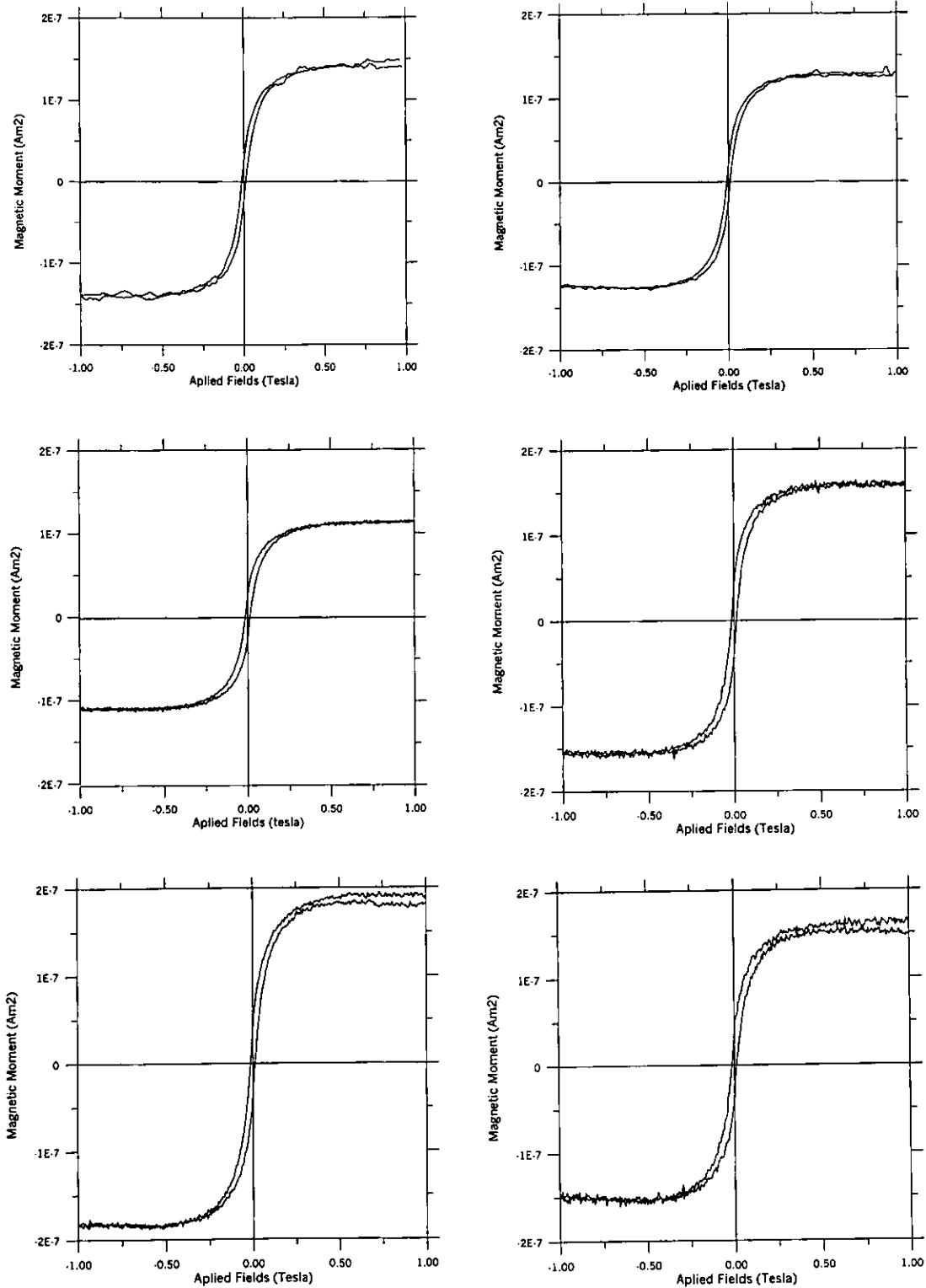


Figura 3.19. Loops de histéresis de 6 láminas del núcleo BAP96J-CP de la Bahía de la Paz. Los loops corresponden a tres láminas oscuras (a, d, e) y tres láminas claras (b, c, f) de los siguientes intervalos: a) 93.1-93.3 cm, b) 93.3-93.7 cm, c) 109.15-109.3 cm, d) 109.5-109.8 cm, e) 170-1-170.4 cm, y f) 170.7-171 cm.

Sonett, 1991). Sonett (1991) resumió los resultados de los fenómenos expresados en registros naturales (p. ej., actividad solar reflejada en el  $^{14}\text{C}$  de los anillos de los árboles, circulación profunda expresada en los sedimentos oceánicos, etc.). Él mostró que dos ciclos prominentes han sido encontrados en todos estos fenómenos Solares-Terrestres, el ciclo de ~ 200 (170-210) años y el ciclo de ~ 2000 (2000-2400) años, ambos ciclos están presentes permanentemente.

De los otros dos ciclos no se encontró alguna relación directa pero es probable que también estén realcioandos con este tipo de fenómenos (ST).

#### MODELO DEL AMBIENTE DEPOSITACIONAL DE LAS LÁMINAS CLARAS Y OSCURAS EN LA BAHÍA DE LA PAZ.

Los *proxies* paleoceanográficos y geoquímicos utilizados en este estudio, ayudaron al entendimiento de los mecanismos que controlan la formación de sedimentos laminados en la Bahía de la Paz. Esta información sugiere que cambios en el clima causaron variaciones en la circulación, posición de la termoclina, temperatura superficial, salinidad y productividad. El flujo de sedimentos es fundamentalmente de origen terrígeno, con un aporte biogénico menos evidente. Se propone que las láminas oscuras son el resultado de una depositación proporcionalmente mayor de material terrígeno que biogénico. Se infiere que están asociadas a condiciones climáticas cálidas-templadas en la Bahía, en donde concurre principalmente el Agua Superficial Ecuatorial. Se ha observado que bajo condiciones oceanográficas análogas (invierno), la termoclina (picnoclina) es muy marcadas y se encuentra por debajo de la zona eufótica. Bajo estas condiciones se inhibe la

mezcla vertical y la renovación de nutrientes y las aguas de fondo contienen muy poco oxígeno (<0.2 ml/l) (Monreal *et al.*, en prensa). En la medida en que estas condiciones se mantienen hay muy poca productividad y por lo tanto una tasa baja de acumulación de plancton síliceo y cálcareo en el fondo, al tiempo en que se forman las láminas oscuras.

Una productividad superficial menor, por lo general, induce tasas menores de acumulación de carbono orgánico; sin embargo, en los sedimentos laminados de la Bahía se observa lo contrario. Las láminas oscuras consistentemente presentan valores promedio de carbono orgánico total más alto (6.2%) que las claras (5%). Esta aparente contradicción puede ser explicada en términos de una mejor preservación.

Se sugiere que las láminas claras son el resultado de condiciones climáticas cálidas y áridas que inducen el ascenso de la termoclina hasta la zona eufótica. Esto propicia la renovación de nutrientes y mejora la productividad, que a su vez favorece el desarrollo de las comunidades planctónicas (diatomeas, radiolarios, foraminíferos y cocolitofóridos). Las láminas claras se caracterizan por una mayor abundancia y diversidad de radiolarios, específicamente de especies indicadoras de alta productividad, así como de una mayor abundancia de plancton calcáreo. Las proporciones de Ca, provenientes del  $\text{CaCO}_3$  de las testas de microfósiles tienen mayor significado en estas láminas.

Este régimen climático cálido, análogo a las condiciones de la Bahía en verano, promovió una mayor evaporación, la cual propició que la salinidad promedio de las aguas superficiales aumentara ( $S > 35$ ) dando lugar a la formación de Agua del Golfo de California.



## CAPÍTULO 4. CONCLUSIONES

### BAJA RESOLUCIÓN

De acuerdo con las dataciones de  $^{14}\text{C}$ -AMS, los sedimentos laminados del núcleo BAP96J-CP, colectado en la Cuenca Alfonso dentro de la Bahía de la Paz, registran escenarios climáticos y oceanográficos del los últimos 8,000 años BP. La tasa de sedimentación estimada a partir de las edades de  $^{14}\text{C}$  es en promedio de 0.3 mm/año  $\pm$  0.04, similar a la calculada con  $^{210}\text{Pb}$ .

Se definieron tres asociaciones de radiolarios, a través de un Análisis de Factores modo "Q". Su distribución estratigráfica sugiere que la Bahía de la Paz ha experimentado dos cambios climáticos conspicuos, y algunos eventos climáticos de corta duración.

Con base en las asociaciones de especies y su afinidad con parámetros oceanográficos, particularmente masas de agua y el proceso de afloramiento, los factores se denominaron: 1) "Ecuatorial", 2) "Golfo de California", y 3) "Surgencias".

El Factor "Ecuatorial" define fundamentalmente el periodo entre -2700 y 450 años BP, y está caracterizado por dos especies de radiolarios: *Tetrapyle octacantha* y *Theophilium tricostatum*. Este factor indica que el clima de la Bahía ha sido cálido y que la incursión del Agua Superficial Ecuatorial (ASE) ha predominado en los últimos 2,700 años.

El Factor "Golfo de California" se encuentra definido entre -7800 y 2,700 años BP. Se su-

giere que este periodo se distinguió por presentar condiciones áridas con intensa evaporación, lo cual propicio la formación de el Agua del Golfo de California (S=35). Las especies dominantes en este factor son: *Euchitonia* sp, *Tetrapyle octacantha*, *Spongotrochus glacialis* y *Dictyophimus infabricatus*. Este factor posiblemente tiene afinidad con masas de agua de alta salinidad (>35) y está asociado a la definición de la termoclina en la zona eufótica. Sobresale dentro de este factor el periodo entre -5500 y 7800 años BP, el cual coincide con el estadio del óptimo climático del Holoceno.

El Factor "Surgencias" define eventos relativamente fríos de corta duración, en donde los vientos del noroeste ("Coyas") se intensificaron. Esto acentuó la corriente ciclónica que se define en la Cuenca Alfonso, causando divergencias (más evidentes que las actuales) y el ascenso de aguas subsuperficiales ricas en nutrientes (surgencias), lo cual explica la dominancia de *Hexacantium enthacanthum*, *Pylospira octopyle* y *Didymocyrtis tetrathalamus*; esta última parece estar asociada a la mayor disponibilidad de nutrientes. Los eventos más importantes se registran a -6100, -3600, -3000 y -1400 años.

A través de los porcentajes de radiolarios en los sedimentos laminados se infiere que la que la productividad en la Bahía de la Paz es baja al compararla con otras regiones del Golfo de California.

Esto es concurrente con los datos de sílice ópalo, utilizados como *proxy* para determinar la paleoproduktividad.

Con base en los registros de susceptibilidad magnética de alta y baja frecuencia, se infiere que hubo un mayor aporte de terrígenos a ~7900, 5700, 3600, 1700 y 1400 años BP. Además, se pueden distinguir varios intervalos en donde estas señales se separan: entre ~8070 y 7100 años, a ~6800, 6200, 5900, 5500, 3600, 3200 y 3000 años. Estos desfasamientos podrían indicar la presencia de minerales magnéticos ultrafinos provenientes del continente. Se sugiere que tales minerales podrían haber sido transportados, principalmente, por vía eólica.

De acuerdo con las series de tiempo, se determinó un ciclo de cambio climático de ~2000 años, el cual está asociado con cambios en la actividad solar. También se infieren dos ciclos de menor escala: a ~1500 y 570 años.

## ALTA RESOLUCIÓN

El flujo biogénico en la Bahía de la Paz es relativamente bajo, respecto al resto del Golfo. No obstante, cuando éste no es diluido significativamente por el aporte terrígeno, éste es suficiente para aclarar el color de los sedimentos. Se infiere que variaciones episódicas de los procesos oceanográficos pueden producir una alternancia de laminaciones claras y oscuras, conformando una columna de sedimentos laminados.

Durante periodos áridos en la Bahía de la Paz, se observa, además de una alta evaporación, una termoclina somera (~20-60 m). Su posición en la zona eufótica propicia condiciones para incrementar la productividad primaria y consecuentemente el flujo biógenos. Estas condiciones se

ven reflejadas en el registro de microfósiles ya que la abundancia y diversidad de radiolarios es mayor en las láminas claras que en las láminas oscuras y contienen especies que son indicadoras de alta productividad (*Acrosphaera murrayana* y *Pylospira octopyle*). Así mismo, aumenta la proporción de calcio proveniente del  $\text{CaCO}_3$  de las testas de microfósiles. El aporte de material biógeno tiende a aclarar la coloración de las laminaciones.

En contraste, durante estadios en donde la termoclina es mas profunda, hay precipitación (la cual es rara en la actualidad) o se intensifican los vientos, predomina el flujo de terrígenos (Si y Al) y por consiguiente la formación de laminaciones oscuras. Éstas presentan, en general, valores mayores de magnetización de saturación, lo que apoya su origen terrígeno. El contenido de carbono orgánico total (TOC) es mayor en las láminas oscuras que en las láminas claras; en aparente contrariedad con el aporte biogénico. Se sugiere que pueden ser el resultado de una mejor preservación, más que a un aumento en la productividad.

Las láminas claras y oscuras son preservadas en el fondo de la Bahía de la Paz debido a las condiciones de poca bioturbación en condiciones anaeróbicas-disaeróbicas. Estas condiciones en el fondo son promovidas por la ineficiente mezcla vertical de las aguas (al predominar una termoclina muy marcada), y por ser una cuenca semiaislada del Golfo de California.

Los sedimentos laminados del núcleo BAP96J-CP de la Bahía de la Paz, son un ejemplo de un sistema depositacional dominado por sedimentación terrígena pero en el cual el flujo biogénico episódico se hace evidente. La naturaleza de los cambios del flujo sedimentario es de aproximadamente cada 5 a 7 años.

## LITERATURA CITADA

- Abelman, A., 1992. Radiolarian taxa from Southern Ocean sediment traps (Atlantic sector), *Polar Biol.*, 12: 373-385.
- Aitken, M.J., 1990. Science-based dating in archaeology. London. Longman.
- Alder, V.A. & D. Boltovskoy, 1993. The ecology of larger microzooplankton in the Weddell-Scotia confluence area: horizontal and vertical distribution patterns. *Journal of Marine Research*, 51(2):323-344.
- Algeo, T. J., Phillips, M., Jaminski, J., & Fenwick, M., 1994. High-Resolution X-radiography of laminated sediment cores. *Journal of Sedimentary Research*, A64(3):665-703.
- Álvarez-Arellano A. & A. Molina-Cruz, 1986. Aspectos paleoceanográficos cuaternarios del Golfo de California, evidenciados por conjuntos de radiolarios. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*, 13(2):67-94.
- Álvarez-Borrego, S. & R. Lara-Lara, 1991. The physical environment and primary productivity of the Gulf of California. In: Dauphin, J. & Simoneit B. (eds.). The Gulf and Peninsular Province of the Californias. *American Association of Petroleum Geology, Memoir 47:555-567*.
- Anderson, O.R., Bryan, M. & P. Bennett, 1990. Experimental and observational studies of radiolarian physiological ecology: 4. Factors determining the distribution and survival of *Didymocyrtis tetrathalamus tetrathalamus* with implications for paleoecological interpretations. *Marine Micropaleontology*, 16: 155-167.
- Ariztegui, D. Asioli, A., Lowe, J.J., Trincardi, F., Vigliotti, L., F. Tamburini, Chondrogianni, C., Accorsi, C.A., Bandini Mazzanti, M., Mercuri, A.M., Van der Kaars, S., McKenzie, J. A. & F. Oldfield, 200. Paleoclimate and formation of sapropel S1: inferences from Late Quaternary lacustrine and marine sequences in the central Mediterranean region. *Palaeoceanography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 158:215-240.
- Baba, J., Peterson, C.D. & H. Schrader, 1991. Modern Fine-Grained Sediments in the Gulf of California. In: Dauphin, J. & B. Simoneit (Eds.). The Gulf and Peninsular Province of the Californias. *American Association of Petroleum Geology, Memoir 47:569-587*.
- Badán-Dangón, A., Koblinsky, C.J. & T. Baumgartner, 1985. Spring and Summer in the Gulf of California: observations of surface thermal patterns. *Oceanologica Acta*, 8:13-22.
- Bárcena M. A. & F. Abrantes, 1998. Evidence of high productivity area off the coast of Málaga from studies of diatoms in surface sediments. *Marine Micropaleontology* 35:91-103.

- Baumgartner, T. R. & N. Christiansen Jr., 1985. Copling of the Gulf of California to large-scale interannual climatic variability. *Journal of Marine Research*, 43:825-848.
- Baumgartner, T. R., Ferreira-Bartrina V., Schrader, H., & A. Soutar, 1985. A 20-year record of siliceous phytoplankton variability in the Central Gulf of California. *Marine Geology*, 64: 113-129.
- Baumgartner, T. R., Michaelsen, J., Thompson, L., Shen, G., Soutar, A., & Casey, R. E., 1989. The recording of interannual climatic change by high-resolution natural systems: tree rings, coral bands, glacial ice layers and marine varves. In: Peterson, D. (ed.), Aspects of Climate Variability in the Pacific and the Western Americas. *American Geophysics Union Monograph* 55, 1-14.
- Baumgartner, T. R., Ferreira-Bartrina, V., & P. Moreno-Hentz, 1991. Varve formation in the central Gulf of California: a reconsideration of the origin of the dark laminae from the 20th century varve record. In: Dauphin, J. & B. Simoneit (Eds.). The Gulf and Peninsular Province of the Californias. *American Association of Petroleum Geology, Memoir* 47: 617-635.
- Benson, R. N., 1964. Preliminary report of Radiolaria in Recent sediments of the Gulf of California. In: Van Andel T. H., & G.G. Shor (Eds.), Marine Geology of the Gulf of California. *American Association of Petroleum Geology, Memoir* 3:398-400.
- Benson, R. N., 1966. *Recent Radiolaria from the Gulf of California*. Ph. D. Thesis, University of Minnesota, 577 pp.
- Blomendal, J., & P. deMenocal., 1989. Evidence for a change in the periodicity of tropical climate cycles at 2.4 Myr from whole core magnetic susceptibility measurements. *Nature* 342, 897-900.
- Boltovskoy, D., 1997. Radiolaria Polycistina. In: Boltovskoy, D. (Ed). South Atlantic Zooplankton. Backhuys, Amsterdam. 568 pp.
- Boltovskoy, D. & S.S. Jankilevich, 1985. Radiolarian distribution in East equatorial Pacific plankton. *Oceanologica Acta*, 8(1):101-123.
- Boltovskoy, D. & W. R. Riedel, 1987. Polycistine radiolaria of the California Current Region: Seasonal and geographic patterns. *Marine Micropaleontology*, 12(1):65-104.
- Boltovskoy, D., Uliana E. & G. Wefer, 1996. Seasonal variations in the flux of microplankton and radiolarian assemblage composition in the southeastern tropical Atlantic at 2195 m. *Limnol. Oceanogr.*, 41 (4): 615-635.
- Bond, G., Showers, W., Cheseby, M., Lotti, R., Almasi, P., deMenocal, P., Priore, P., Cullen H., Hajdas, I. & G. Bonani., 1997. A pervasive millennial-scale cycle in North America and Glacial climates. *Science* 278: 1257-1265.
- Boström, K., 1970. Submarine volcanism as a source of iron. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 9:348-354.
- Bowen, V., Noshkin, V., Volchok, H. & T. Sugihara, 1968. Fallout <sup>90</sup>Sr in Atlantic Ocean surface water. *Health Safety Laboratory*, 197:1-64.

- Bray, N. A., 1988. Termohaline circulation in the Gulf of California. *Journal Geophysical Research*, 93:4993-5020.
- Bray, N. A. & J. Robles, 1991. Physical oceanography of the Gulf of California. In: Dauphin, J. & B. Simoneit (Eds.). The Gulf and Peninsular Province of the Californias. *American Association of Petroleum Geology*, Memoir 47: 511-553.
- Burroughs, W. J., 1992. Weather Cycles Real or Imaginary. Cambridge University Press. 207 pp.
- Byrne, J., 1957. *The Marine Geology of the Gulf of California*. Ph. Dissertation. University of Southern California. 289 p.
- Calvert, S.E., 1964. Factors affecting the distribution of laminated diatomaceous sediments in the Gulf of California. In: van Andel Tj. H, & G.G. Shor (Eds.). Marine Geology of the Gulf of California. *American Association of Petroleum Geology*, Memoir 3: 311-330.
- Calvert, S. E., 1966. Origin of diatom-rich, varved sediments from Gulf of California. *Journal of Geology*, 76: 546-565.
- Calvert, S.E., Karlin, R.E., Toolin, L.J., Donahue, D.J., Southon, J.R. & J.S. Vogel. *Nature*, 350:692-695.
- Campbell, I.D., Campbell, C., Apps, M.J., Rutter, N.W. & A.B.G. Bush, 1998. Late Holocene ~1,500 yr periodicities and their implications. *Geology* 26: 471-473.
- Casey, R. E., 1971. Radiolarians as indicators of past and present water masses. In: Funnell, B.M. & W.R. Riedel (Eds.). The Micropaleontology of the Oceans. Cambridge University Press, Cambridge:331-340.
- Colebrook, J. M., 1977. Annual fluctuations in biomass of taxonomic groups of zooplankton in the California Current, 1955-59. *Fish. Bull.*, 75:357-368.
- Cress, A., & C-D. Schönwiese, 1990. Vulkanische Einflüsse auf die bodennahe und stratosphärische Lufttemperatur der Erde. *Berichte des Institut für Meteorologie un Geophysik der Universität Frankfurt/Main*, Nr.82.
- Cruz-Orozco, R., Martínez-Noriega, C. & A. Mendoza-Maravillas, 1996. Batimetría y sedimentos de la Bahía de la Paz, B.C.S., México. *Océánides*, 11(1):21-27
- De Greer, G., 1912. A geocronology of the last 12,000 years. *Cong. Geol. Internat. 11<sup>th</sup>, Stockholm 1910*, *Comptes Rendus*, 241-253.
- Crusius, J. & R. F. Anderson, 1991. Inconsistencies in accumulation rates of Black Sea sediments inferred from records of laminae and <sup>210</sup>Pb. *Paleoceanography*, 7. 215-227.
- Damon, P.E. & C.P. Sonett, 1991. Solar and Terrestrial Components of the Atmospheric <sup>14</sup>C Variations Spectrum. In: Sonett, C.P. Giampapa, M.S. & M.S. Mathews (Eds.). The Sun in Time. Tucson: The University of Arizona, 360-388.

- Dean, W. E., Ahlbrandt, T.S., Anderson, R. Y. & J. P. Bradbury, 1966. Regional aridity in North America during Middle Holocene. In: John A Matthews (Ed.) *The Holocene an interdisciplinary journal focusing on recent environmental changes. The Holocene* 6(2): 145-155.
- De Diego, T. A., 1998. *Oxygen-Related Biofacies in Slope Sediment from the Western Gulf of California, Mexico*. M. Sc. Thesis, University of Southern California, 132.
- Díaz, H. F., & Markgraf, V. (Eds.), 1992. *El Niño: Historical and Paleoclimatic Aspects of the Southern Oscillation*. Cambridge University Press, Cambridge, 474 pp.
- Donegan, D., & H. Schrader, 1982. Biogenic and abiogenic components of laminated hemipelagic sediments in the central Gulf of California. *Marine Geology*, 48:215-237.
- Dorale, J.A., Gonzalez, L.A., Reagan, M.K., Pickett, D.A., Murrell, M.T. & R. G. Baker, 1992. A high resolution record of Holocene climate change in speleothem calcite from Cold Water Cave, Northeast Iowa. *Science*, 258:1626-1630.
- Ehrenberg, C.G., 1875. Fortsetzung der mikrogeologischen Studien als Gesamt-Uebersicht der mikroskopischen Paläontologie gleichartig analysirter Gebirgsarten der Erde, mit specieller Rücksicht auf den Polycystinen Mergel von Barbados. *Königliche Akademie Wissenschaften zu Berlin, Abhandlungen*. 1-225.
- Emeis K-C, Whelan, J.K. & M. Tarafa, 1991. Sedimentary and geochemical expressions of oxic and anoxic conditions on the Peru Shelf. In: Tyson, R.V. & Pearson, T.H. (eds.). *Modern and Ancient Continental Shelf Anoxia. Geological Society Special Publication No. 58: 155-170*.
- Emelyanov, P.P., 1977. Geochemistry of sediments in the Western central Atlantic. DPDP leg 39, Init. Rep. DSDP, 39:477-492.
- Emerson, S.R., Fischer, K., Reimers, C. & D. Heggie, 1984. Organic carbon dynamics and preservation in deep-sea sediments. *Deep Sea Research*.
- Espitalié, J., Madec, M., Tissot, B. & P. Leplat, 1977. Source Rock Characterization Method for Petroleum Exploration. Paper number OTC2935. Offshore Technology Conference, Houston, Texas.
- Espitalié, J., Deroo, G. & F. Marquis, 1986. La pyrolysis Rock-Eval et ses applications. Rev. IFP, Paris 40(6):755-784.
- Fink, C.W. Jr., 1997. Introduction to Holocene Cycles. In: *Holocene Cycles: Climate, Sea Levels, and Sedimentation. Journal of Coastal Research Special Issue No 17: 1-4*.
- Foreman, H.P., 1973. Radiolaria of Leg X with systematics and ranges for the families Amphipyndacidae, Artostrobiidae and Theoperidae, *Init. Rep. Deep Sea Drilling Project*, 10:407-474.
- García, E., 1973. Modificaciones al sistema de clasificación de Koopen. *Instituto de Geografía, UNAM*. 246 p.
- Geraga, M., Tsaila-Monopolis, St., Iokam, Chr., Papatheodorou, G. & G. Ferrentinos, 2000. Evaluation of paleoenvironmental changes during the last 18,000 years in the Myrtoon basin, SW Aegean Sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 156: 1-17.

- Goldstein, J., Newbury, D., Echlin, P., Joy, R., Roming, A.D., Lyman, Ch., Fiori, Ch. & E. Lifshin. 1994. *Scanning Electron Microscopy and X ray Microanalysis. A text for Biologists, Material Scientists, and Geologists*. Plenum Press, New York and London: 819.
- Goll, R.M., 1968. Classification and phylogeny of Cenozoic Trissocyclidae (Radiolaria) in the Pacific and Caribbean basins. Part I. *Journal of Paleontology*, 42: 1409-1432.
- Goll, R.M., 1969. Classification and phylogeny of Cenozoic Trissocyclidae (Radiolaria) in the Pacific and Caribbean basins. Part II. *Journal of Paleontology*, 43: 322-339.
- Goll, R.M., 1976. Morphological integration between modern populations of Lophospyris and Phormospyris (Trissocyclidae, Radiolaria). *Micropaleontology*, 22:379-418.
- Grousset, F.E., Labeyrie, L., Sinko, J.A., Cremer, M., Bond, G., Duprat, J., Cortijo, E., & S. Huon, 1993. Patterns of ice-rafted detritus in the glacial North Atlantic (40-55°N). *Paleoceanography* 8, 175-192.
- Guillard, R. R. L. & P. Kilham, 1977. The ecology of marine planktonic diatoms. In: Werner, D. (Ed.). *The Biology of Diatoms. Botanical Monographs*, 13: 372-469.
- Haeckel, E., 1862. *Die Radiolarien (Rhizopoda, Radilaria). Eine Monographie*. Georg Reimer, Berlin. 1-572.
- Haeckel, E., 1881. Prodrömus systmatis radiolarium. Entwurf eines Radiolarien – Systems auf Grund von Studien der Challenger-Radilarien. *Jenaische Zeitschrift Naturwissenschaft*, 15(3): 418-472.
- Haeckel, E., 1887. Report on the Radiolaria collected by H.M.S. "Challenger" during the years 1873-1876. *Report Scientific Results, Voyage H.M.S. Challenger, Zool.*, 18:1-188.
- Hausback, B., 1984. Cenozoic volcanic and tectonic evolution of Baja California Sur, México. In: Friezzel, V. (Ed.) *Geology in the Baja California Peninsula. Pacific Section S.E.P.M.*, 39: 219-236.
- Hay, B.J., 1988. Sediment accumulation in the central eastern Black Sea over the last 5,100 years. *Paleoceanography*, 3: 491-508.
- Hay, B.J, Honjo, S., Kempe, K., Ittekkot, V.A., Degens, E.T., Konuk, T. & E Izdar, 1990. Interannual variability in particle flux in the southwestern Black Sea. *Deep Sea Research*, 37: 911-928.
- Hay, B.J., Arthur, M.A., Dean, W.E., Neff, E.D. & S. Honjo, 1991. Sediment deposition in the late Holocene abyssal Black Sea with climatic and chronological implications. *Deep Sea Research*: 38, S2:S1211-1235.
- Hays, J.D., Imbrie, J., & Shackleton N. J., 1976. Variations in the earth's orbit: pacemaker of the ice ages. *Science*, 194:1121-1132.
- Hood, L.L. & J.L. Jirikovicz, 1990. Recurring variations of probable solar origin in the atmospheric <sup>14</sup>C time record. *Geophysical Research Letters*, 17: 85-88.
- Imbrie, J., & Imbrie, Z., 1980. Modelling the climatic response to orbital variations. *Science*, 207:942-953.

- Ingle, J. C., Jr., 1980. Cenozoic paleobathymetry and depositional history of selected sequences within the southern California continental borderland, *Cushman Foundation of Foraminiferal Research, Special Publication*, 19:163-195.
- Jiménez Illescas, A. R., 1996. *Análisis de Procesos Barotrópicos y Baroclínicos en la Bahía de la Paz, B.C.S.* (Tesis de Doctorado) UACPyP-CCH, UNAM:193.
- Johnson, D.A. & C. Nigrini, 1980. Radiolarian biogeography in surface sediments of the Western Indian Ocean. *Marine Micropaleontology*, 5:111-152.
- Johnson, D.A. & C. Nigrini, 1982. Radiolarian biogeography in surface sediments of the eastern Indian Ocean. *Marine Micropaleontology*, 7:237-281.
- Jones, G., 1990. AMS radiocarbon dating of sediments and waters from the Black Sea: an integrated approach. *EOS Trans. AGU*, 71, 152.
- Joshi, L.U & T.L. Ku, 1979. Measurement of  $^{210}\text{Pb}$  from a sediment core off the coast of California. *Journal Radioanalytical Chemistry*, 52(2):329-334.
- Juillet-Leclerc, A., & H. Schrader, 1987. Variations of upwelling intensity record in varved sediment from Gulf of California during the past 3,000 years. *Nature*, 329: 146-149.
- Juillet-Leclerc, A., Labeyrie, L., Reyes, J., & H. Schrader, 1991. Temperature variability in the Gulf of California during the last century: a record of the recent strong El Niño. *Geophysical Research Letters*, 18: 1889-1892.
- Karpuz, N. K. & E. Jansen, 1992. A high resolution diatom record of the last deglaciation from the SE Norwegian Sea: Documentation of rapid climatic changes. *Paleoceanography* 7(4):499-520.
- Kleinbaum, D. G. & L. Kupper, 1978. Applied Regression Analysis and Other Multivariable Methods. Duxbury Press, Massachusetts, 376-393.
- Kling, S.A., 1978. Radiolaria. In: Haq, B.U. & A. Boersma (Eds.). *Introduction to Marine Micropaleontology*. Amsterdam, Elsevier: 203-244.
- Kling, S.A., 1979. Vertical distribution of polycystine radiolarians in the Central North Pacific. *Marine Micropaleontology*, 4: 295-318.
- Klovan, J. E. & J. Imbrie, 1971. An algorithm and Fortran IV program for large scale Q mode factor analysis and calculation of factor scores. *Math. Geol.*, 3(1):61-77.
- Klovan, J.E. & A.T. Miesch, 1976. Extended CABFAC and Q-mode computer programs for Q-mode factor analysis of compositional data. *Computers in Geoscience*, 1:161-178.
- Lavin, M.F., Beier, E. & A. Badan, 1997. Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: Escalas estacional e interanual. In: Contribuciones a la Oceanografía Física de México. Monografía 3. *Unión Geofísica Mexicana*: 141-171.



- Libes, S.M., 1992. *An Introduction to Marine Biogeochemistry*. John Wiley & Sons, Inc. New York. 734 pp.
- Locke, S. & R. Thunell, 1988. Paleooceanographic record of the last glacial/interglacial cycle in the Red Sea and Gulf of Aden. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 64:163-187.
- Lózano-García, S., Ortega-Guerrero, B., Caballero-Miranda, M. & J. Urrutia-Fucugauchi, 1993. Late Pleistocene and Holocene paleoenvironments of Chalco Lake, Central México. *Quaternary Research*, 40:332-342.
- Machhour Louaï, Philip J. & J-L. Oudin, 1994. Formation of laminite deposits in anaerobic-dysaerobic marine environments. *Marine Geology*, 117:287-302.
- Markgraf, V., 1998. Researches investigate inter-hemispheric climate linkages in the Americas and their societal effects. *Eos, Transactions, American Geophysical Union*, col. 79(31): 371-378.
- Mayewski, P.A., Meeker, L.D., Twickler, M.S., Whitlow, S., Yang, Q., Lyons, W.B. & M. Prentice, 1997. Major features and forcing of high-latitude northern hemisphere atmospheric circulation using a 110,000-year-long glaciochemical series. *Journal Geophysical Research*, 102:26,345-26,365.
- McCorkle, D.C., Emerson, S.R. & P. Quay, 1983. Carbon isotopes in marine porewaters (abstract). *EOS Trans AGU*, 64, 721.
- McMillen, K. J., & R. E. Casey, 1978. Distribution of living polycystine radiolarians in the Gulf of Mexico and Caribbean Sea and comparison with the sedimentary record. *Marine micropaleontology*, 3:121-145.
- Metcalfé, S. E., Bimpson, A., Courtice, A. J., O'Hara, S. L. & D. M. Taylor, 1997. Climate change at the monsoon/Westerly boundary in Northern Mexico. *Journal of Paleolimnology* 17:155-171.
- Meyers, P., 1997. Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic, and paleoclimatic processes. *Organic Geochemistry* 27(5/6):213-250.
- Molina-Cruz, A., 1977. Radiolarian assemblages and their relationship to the oceanography of the subtropical southeastern Pacific. *Marine Micropaleontology*, 2:315-352.
- Molina-Cruz, A., 1978. *Late Quaternary oceanic circulation along the Pacific coast of South America*. Ph. D. Thesis. Oregon State University, 246 pp.
- Molina-Cruz, A., 1984. Radiolaria as indicators of upwelling processes: the Peruvian Connection. *Marine Micropaleontology*, 9: 53-75.
- Molina-Cruz, A., 1985. Registro micropaleontológico de las masas de agua en la region central del Golfo de California (inédito).
- Molina-Cruz, A., 1986. Evolución oceanográfica de la boca del Golfo de California. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*, 13(2):95-120.
- Molina-Cruz, A., 1988. Late Quaternary oceanography of the Mouth of the Gulf of California: the polycystine connection. *Paleoceanography*, 3(4):447-459.

- Molina-Cruz, A., 1994. Bioestratigrafía y significado paleoceanográfico de los radiolarios de la protoboca del Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 20(4): 441-465.
- Molina-Cruz, A. & M. Martínez-López, 1994. Oceanography of the Gulf of Tehuantepec, Mexico, indicated by radiolaria remains. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 110:179-195.
- Molina-Cruz, A., Caudillo-Bohorquez, A & L. Welling, 1999. Radiolarian distribution in the water column, southern Gulf of California, and its implication in thanatocoenose constitution. *Marine Micropaleontology*, 37:149-171.
- Molina-Cruz, A., Pérez-Cruz, L. & A. Monreal-Gómez. *Geology* (en prensa).
- Monreal-Gómez, M.A., Molina-Cruz, A. & D. Salas, en prensa. Cyclonic circulation in Bay of La Paz, Gulf of California, during June, 1998. *Journal of Marine Systems*.
- Moore, T.C.Jr., 1972. Mid-Tertiary evolution of the radiolarian genus *Calocyclus*. *Micropaleontology*, 18(2):144-152.
- Moore, T.C.Jr., 1974. Taxonomy of Holocene-Late Pleistocene Radiolaria. A preliminary guide to the taxonomy of modern Radiolaria as used in the study of samples from the Pacific Ocean. CLIMAP Project. 65 pp.
- Moore, T. C. Jr., 1978. The distribution of Radiolaria assemblages in the modern and ice-age Pacific. *Marine Micropaleontology*, 3:229-266.
- Müller, J., 1858. Über die Thalassicollen, Polycystinen und Acanthometren des Mittelmeeres. *K. Akad. Wiss. Berlin, Abh.*, Jahrg. 1-62.
- Murillo-Jiménez, J, M., 1987. *Algunas características paleoceanográficas y cuerpos de agua inferidos a partir del registro micropaleontológico (Radiolaria) en la Bahía de la Paz, Baja California Sur, México*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California Sur, 70 p.
- Murray, J.W., 1995. Microfossil indicators of ocean water masses, circulation and climate. In: Bosence, D.W.J. & P.A. Allison (Eds.). *Marine Paleoenvironmental Analysis from Fossils. Geological Society Special Publication No. 83: 245-264.*
- Mutterlose J. & A. Ruffel, 1999. Milankovitch-scale paleoclimate changes in pale-dark bedding rhythms from Early Cretaceous (Hauterivian and Barremian) of eastern England and northern Germany. *Palaeoceanography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 154:133-160.
- Nava-Sánchez, E. H., 1997. *Modern fan delta of the west coast of the Gulf of California, Mexico*. Ph.D. Thesis. Univ. Southern California. 229.
- Nava-Sánchez, E.H. & R. Cruz-Orozco, 1989. Evolución geomorfológica y creación de la Laguna de la Paz, B.C.S, México. *Invest. Mar. CICIMAR* 4(1): 49-58.
- Nigrini, C., 1967. Radiolaria in the pelagic sediments from the Indian and Atlantic oceans *Bull. Scripps Inst. Oceanogr.*, 11:1-125.

- Nigrini, C., 1968. Radiolaria from eastern tropical Pacific sediments. *Micropaleontology*, 14:51-63.
- Nigrini, C., 1970. Radiolarian assemblages in the north Pacific and their application to a study of Quaternary sediments in core V20-120. *Geological Society America Mem*, 1226: 139-183.
- Nigrini, C., 1971. Radiolarian zones in the Quaternary of the equatorial Pacific Ocean. In: Funnel, B.M. & W.R. Riedel (Eds.). *The Micropaleontology of the Oceans*. 443-461.
- Nigrini, C. & G. Lombardi, 1984. A guide to Miocene Radiolaria. Cushman Foundation for Foraminiferal Research. Special Publication 22: S1-S102, N1-N206.
- Nigrini, C. & T.C. Moore, 1979. A guide to modern Radiolaria. *Cushman Foundation of Foraminiferal Research*. Special Publication, 16, 233 pp.
- O'Brien, S.R., Mayewski, A., Meeker, L.D., Meese, D.A., Twickler, M.S. & S. I. Whitlow, 1996. Complexity of Holocene climate as reconstructed from Greenland ice core. *Science*, 270:1962-1964.
- Pérez-Cruz, L. & A. Molina-Cruz, 1988. El Niño 1983: efecto sobre la distribución de silicoflagelados del Golfo de California. *Ciencias Marinas*, 14(3):9-38.
- Pérez-Cruz, L. & M.L., Machain-Castillo, 1990. Benthic foraminifera of the oxygen minimum zone, continental shelf of the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Journal of Foraminiferal Research*, 20(4): 312-325.
- Petrushevskaya, M.G., 1971. Spumellarian and nassellarian radiolaria in the plankton and bottom sediments of the central Pacific. In: Funnel, B.M. & W.R. Riedel (Eds.) *The Micropaleontology of the Oceans*. 309-317.
- Phleger, F. B. & A. Soutar, 1973. Production of benthic foraminifera in three East Pacific Oxygen Minima, *Micropaleontology*, 19:110-115.
- Pike, J., Kemp, A. E. S., & C. Sancetta, 1993. Complex signals from the laminated sediments, Gulf of California. *Eos Transactions, American Geophysical Union*, 74(43):363.
- Pike, J. & A.E.S. Kemp, 1997. Early Holocene decadal-scale ocean variability recorded in Gulf of California laminated sediments. *Paleoceanography*, 12(2):227-238.
- Pisias, N. G., 1978. Paleoceanography of the Santa Barbara Basin during the last 8,000 years. *Quaternary Research*, 10:366-384.
- Pisias, N.G., 1986. Vertical water mass circulation and the distribution of radiolaria in surface sediments of the Gulf of California. *Marine Micropaleontology*, 10:189-205.
- Pisias, N. G. & D. K. Rea, 1988. Late Pleistocene paleoclimatology of the Central Equatorial Pacific: Sea surface response to the southeast trade winds. *Paleoceanography*, 3(1):21-37.
- Pride, C.R., Thunell, R. & E. Tappa, 1998. Evaluating productivity proxies: results from the Gulf of California.

- Rangin, C., Steinberg, M. & C. Bonnot-Courtois, 1981. Geochemistry of the Mesozoic bedded cherts of Central Baja California (Vizcaino-Cedros-San Benito). Implications for palaeogeographic reconstructions of an old oceanic basin. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 54:312-322.
- Renz, G.W., 1976. The distribution and ecology of Radiolaria in the central Pacific: plankton and surface sediments. *Bull. Scripps Inst. Oceanogr.* 22:1-267
- Resig, 1981. Biogeography of benthic foraminifera of the northern Nazca plate and adjacent continental margin: *Geological Society of America Memoir* 154:619-665.
- Revelle, R.R., 1950. Sedimentation and oceanography: survey of field observations, pt. 5 of 1940 E. W. Scripps Cruise to the Gulf of California: *Geological Society of America, Memoir* 43: 1-16.
- Riedel, W.R., 1958. Radiolaria in Antarctic sediments, *B.A.N.Z. Ant. Res. Exped., Rep., Ser., B*,6(10): 217-255.
- Riedel, W.R. 1967b. Subclass Radiolaria. In: Harland, W.B. (Ed.) *The Fossil Record*. Geological Society. London: 291-298.
- Riedel, W.R. & A. Sanfilippo, 1971. Cenozoic Radiolaria from western tropical Pacific , Leg 7. *Init. Rep. Deep Sea Drilling Project*, 7:1529-1672.
- Robertson, J.H., 1975. *Glacial to interglacial oceanographic changes in the northwest Pacific, including a continuous record of the last 400,000 years*. Ph.D. Thesis, Columbia University, 355 pp.
- Robinson, M.K., 1973. Atlas of monthly mean sea surface and subsurface temperatures in the Gulf of California, Mexico. Mem. 5., *Soc. of Nat. Hist., San Diego, Cal.* 90 figs. 19.
- Robinson, S. G., 1986. The Late Pleistocene paleoclimatic record of North Atlantic deep sea sediments revealed by mineral-magnetic measurements. *Phy. Earth Planet. Int.* 42, 22-47.
- Robinson, S.G., 1993. Lithostratigraphic applications for magnetic susceptibility logging of deep sea sediment cores: examples from ODP Leg 115. In: Hailwood, E. A., Kidd, R.B. (Eds.), *High Resolution Stratigraphy. Geological Society Special Publication*, 70, 65-98.
- Robles, J. M., & S.G. Marinone, 1987. Seasonal and interannual thermohaline variability in the Guaymas Basin of the Gulf of California. *Continental Shelf Research*,7:715-733.
- Roden, G.I., 1964. Oceanographic aspects of the Gulf of California. In: van Andel Tj. H, & G.G. Shor (Eds.). *Marine Geology of the Gulf of California. American Association of Petroleum Geology, Memoir* 3: 30-58
- Roden, G.I., 1972. Thermohaline structure and baroclinic flow across the Gulf of California entrance and in the Revilla Gigedo Islands region. *Journal of Physical Oceanography*,2:177-183.
- Roelofs, A.K. & N.G., Pias, 1986. Revised technique for preparing quantitative radiolarian slides from deep-sea sediments. *Micropaleontology*, 32(2):182-185.

- Ruddiman, W., Raymo, M., Martinson, D., Clement, B. & J Backman, 1989. Pleistocene evolution: Northern Hemisphere ice sheets and North Atlantic Ocean. *Paleoceanography*, 4:353-412.
- Sachs, H.M., 1973. *Quantitative Radiolarian-Based Paleoceanography in Late Pleistocene Subartic Pacific Sediments*. Thesis, Brown University, Providence, R.I., 280 p.
- Sanfilippo, A. & W.R. Riedel, 1980. A revised generic and suprageneric classification of the artiscins (Radiolaria). *Journal of Paleontology*, 54:1008-1011.
- Santoyo, H., 1976. Fitoplancton de la Bahía de la Paz Baja California, al través de un ciclo estacional (1975-1976). Resumen. III Simposio Latinoamericano de Oceanografía Biológica, sec. I/1.
- Savrda, C.E., Bottjer, D.J. & D. S. Gorsline, 1984. Development of a comprehensive oxygen deficient marine biofacies model: evidence from Santa Monica, San Pedro, and Santa Barbara Basins, California Continental Borderlands. *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, 68: 1179-1192.
- Savrda, C.E. & D.J. Bottjer, 1991. Oxygen-related biofacies in marine strata: an overview and update. In: Tyson, R.V. & T.H. Pearson (Eds.) *Moderns and Ancient Continental Shelf Anoxia*. *Geological Society*, London. Special Publication, 58: 201-220.
- Scherbaum, F. & J. Johnson, 1992. Programable interactive toolbox for seismological analysis. Institute of Geophysics, University of Munich, Germany, 223 pp.
- Schimmelmann, A. & C. B. Lange, 1996. Tales of 1001 varves: a review of Santa Barbara Basin sediment studies. In: Kemp, A. (Ed). *Palaeoclimatology and Palaeoceanography from Laminated Sediments*. *Geological Society Special Publication No. 116*:121-141.
- Schrader, H. & Baumgartner, T., 1983. Decadal variation of upwelling in the central Gulf of California. In: Thiede J. y Suess, E. (eds.). *Coastal Upwelling*: 247-276.
- Seibold, R. & W. H. Berger, 1996. *The Sea Floor: An Introduction to Marine Geology*. Springer -Verlag. Berlin, Heidelberg, New York, 356.
- Seidenkrantz, M.S., Kristensen, P. & K.L. Knudsen, 1995. Marine evidence for climatic instability during the last interglacial in shelf records from northwest Europe. *Journal Quaternary Sciences*, 10: 77-82.
- Severinghaus, J.P., Sowers, T., Brook, E.J., Alley, R.B. & M.L. Bender, 1998. Timing of abrupt climate change at the end of Younger Dryas interval from thermally fractionated gases in polar ice. *Nature*, 391: 141-146.
- Signoret, M., 1980. Aspectos ecológicos del plancton de la Bahía de la Paz, Baja California. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM*, 7(2):217-248.
- Snowball, II., 1993. Mineral magnetic properties of Holocene lake sediments and soils from Karsa Valley, Lappland, Sweden, and their relevance to paleoenvironmental reconstructions. *Terra Nova*, 5:258-270.
- Sonett, C.P., 1991. Long period Solar-Terrestrial variability. U.S. National Report to IUGG, Review of Geophysics, Supplement, 90-914.

- Soutar, A. & J.D. Isaacs, 1969. Calif. Coop. *Oceanic Fish. Invest. Rep.* 13: 63-67.
- Spaulding, W. G., 1991. A middle Holocene vegetation record from the Mojave desert of North America and its paleoclimatic significance. *Quaternary Research*, 35:427-437.
- Stoner, J.S., Channel, J. E. T., Hillaire-Marcel, C., 1995. Magnetic properties of deep sea sediments off southwest Greenland: evidence for major differences between the last two glaciations. *Geology* 23 (3), 241-244.
- Stuiver, M. & H.A., Polach, 1977. Discussion: Reporting of  $^{14}\text{C}$  data. *Radiocarbon*, 19:355-363.
- Stuvier, M. & Reimer, P.J., 1993. Radiocarbon Calibration Program Rev 4.1 Beta 3. *Radiocarbon*, 35:215-230
- Stuiver, M., Reimer, P.J, Bard, E., Warren Beck, J., Burr, G.S., A.H. Konrad, Kromer, B., McCormac, G., van Der Plicht, J. & M. Spurk, 1998. Incal98 Radiocarbon Age Calibration, 24,00-0 cal BP. *Radiocarbon*, 40(3): 1041-1083.
- Thompson, R., & F. Oldfield, 1986. Environmental Magnetism. Allen and Unwin, London, UK: 227.
- Thunell, R.C, Pride, C., Tappa E., & F. Müller-Karger, 1993. Varve formation in the Gulf of California: insights from time series sediment trap sampling and remote sensing. *Quaternary Sciences Reviews*, 12:451-464.
- Thunell, R.C, Pride, C., Tappa, E. & Muller Karger, 1994. Biogenic silica fluxes and accumulation rates in the Gulf of California. *Geology*, 22:303-306.
- Thunell, R.C., 1998. Seasonal and annual variability in particle fluxes in the Gulf of California: A response to climate forcing. *Deep Sea Research I*, 45: 2059-2083.
- Torres-Orozco, E., 1993. *Análisis volumétrico de la masas de agua del Golfo de California*. Tesis de Maestría, CICESE, Ensenada Baja California, 80 pp.
- Urrutia-Fucugauchi, J, Ortega-Ramírez, J. & R. Cruz-Gatica, 1997. Rock magnetic study of Late Pleistocene-Holocene sediments from Babícora lacustrine basin, Chihuahua, northern Mexico. *Geofísica Internacional* 36(2):77-86.
- Van Devender, T. R., 1990. Late Quaternary vegetation and climate of the Chihuahuan Desert, United States and Mexico. In: J. Betancourt , T.R. Van Devender & P. S. Martin (Eds.), *Packrat Middens . The Last 40000 Years of Biotic Change*. University of Arizona Press, Tucson:104-133.
- Van Geel, B., Burman, J. & H.T. Waterbolk, 1996. Archaeological and palaeoecological indications of an abrupt climate change in The Netherlands, and evidence for climatological teleconnections around 2,650 BP. *Journal of Quaternary Science* 11: 451-460.
- Vanderaverroet, P., Averbuch, O., Deconick, J-F & H. Chamley, 1999. A record of glacial/interglacial alterations in Pleistocene sediments off New Jersey expressed by clay minerals, grain size and magnetic susceptibility data. *Marine Geology* 159: 79-92.

- Warsh, C.E., Warsh, K. L. & R.C. Staley, 1973. Nutrients and water masses at the mouth of the Gulf of California. *Deep Sea Research*, 20:561-570.
- Weinheimer A.L. & D.R. Cayan, 1997. Radiolarian assemblages from Santa Barbara Basin sediments: Recent interdecadal variability. *Paleoceanography*, 12(5):658-670.
- Welling, L.A., Piasias, N.G. & A.K. Roelofs, 1992. Radiolarian microfauna in the northern California Current System: indicators of multiple processes controlling productivity. In: Summerhayes, C.P., Prell, W.L. & K.C. Emeis (Eds.). *Upwelling Systems: Evolution Since Early Miocene. Geological Society. London. Special Publication*, 64:177-195.
- Welling, L.A. & N.G. Piasias, 1993. Seasonal trends and preservational biases of polycystine radiolaria in the northern California Current system. *Paleoceanography*, 8:351-372.
- Welling, L.A. & N.G. Piasias, 1997. Radiolarian fluxes, stocks, and population residence times in surface waters in the central equatorial Pacific. *Deep Sea Research, Part I*.
- Welling, L.A. & N.G. Piasias, 1998. How do radiolarian sediment assemblages represent surface ocean ecology in the central equatorial Pacific?. *Paleoceanography*, 13(2):131-149.
- Wignall, P.B. & A. Hallam, 1991. Biofacies, stratigraphic distribution and depositional model of British onshore Jurassic black shales. In: Tyson, R.V. & Pearson, T.H. (eds.). *Modern and Ancient Continental Shelf Anoxia. Geological Society Special Publication No. 58: 291-309.*

*APÉNDICE 1.*

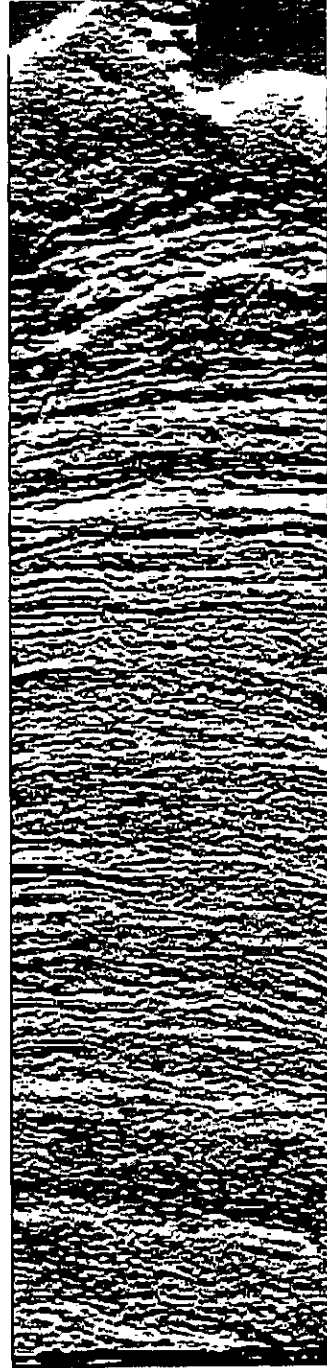
IMÁGENES DE LOS SEDIMENTOS  
LAMINADOS DEL NÚCLEO BAP96J-CP



Núcleo BAP96J-CP

Sección 1

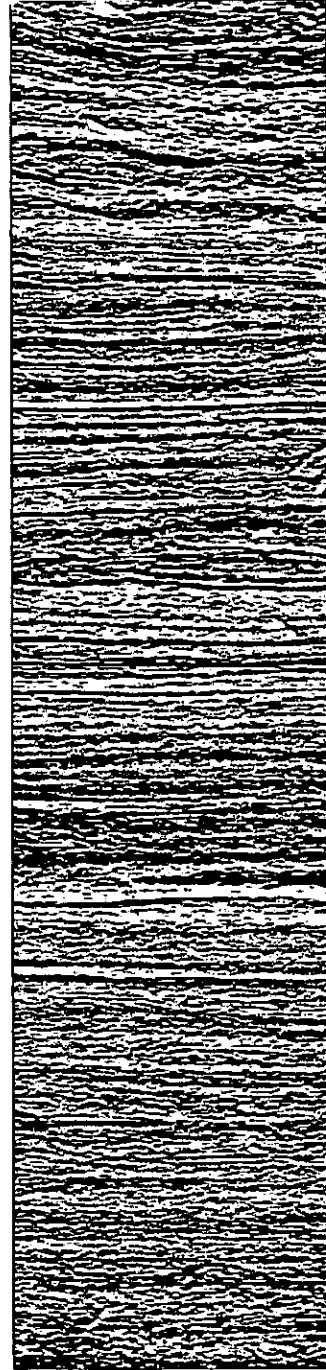
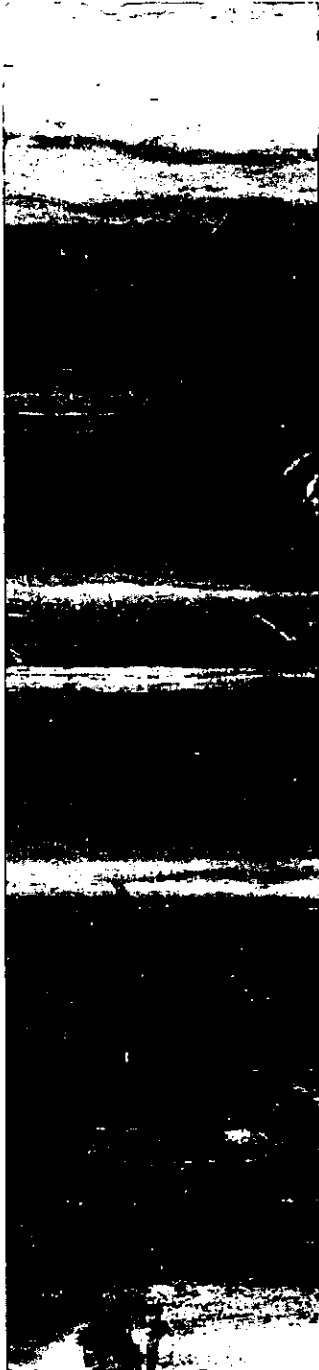
Intervalo: 0-24 cm



Núcleo BAP96J-CP

Sección 2

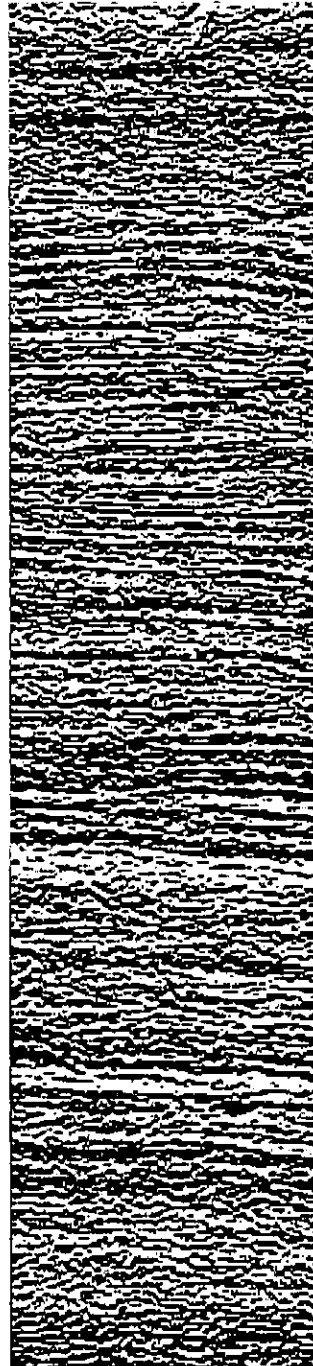
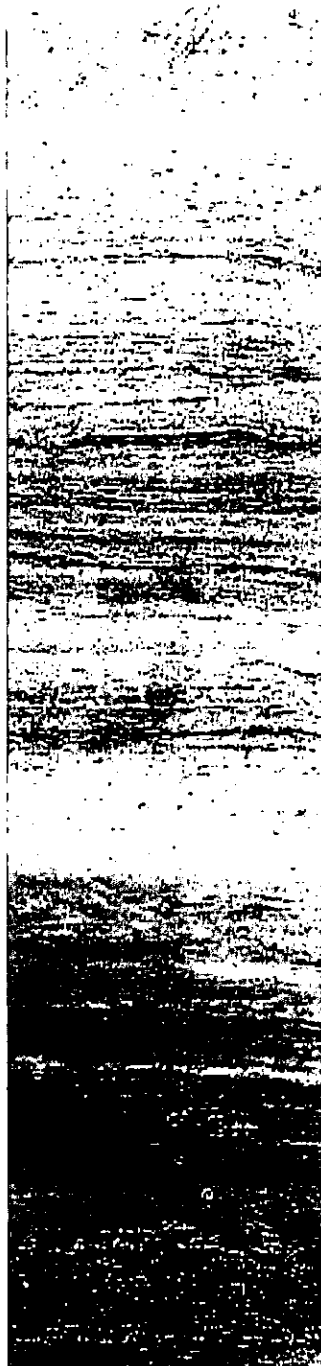
Intervalo: 24-52 cm



Núcleo BAP96J-CP

Sección 3

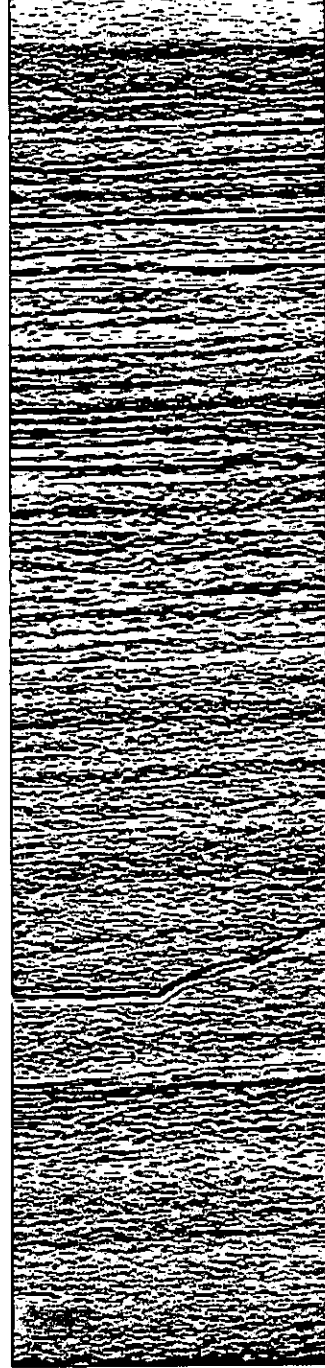
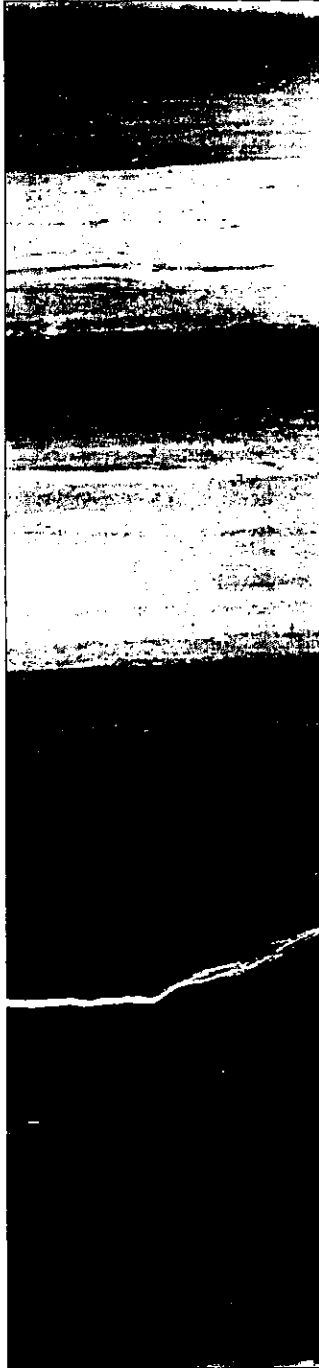
Intervalo: 52-69 cm



Núcleo BAP96J-CP

Sección 4

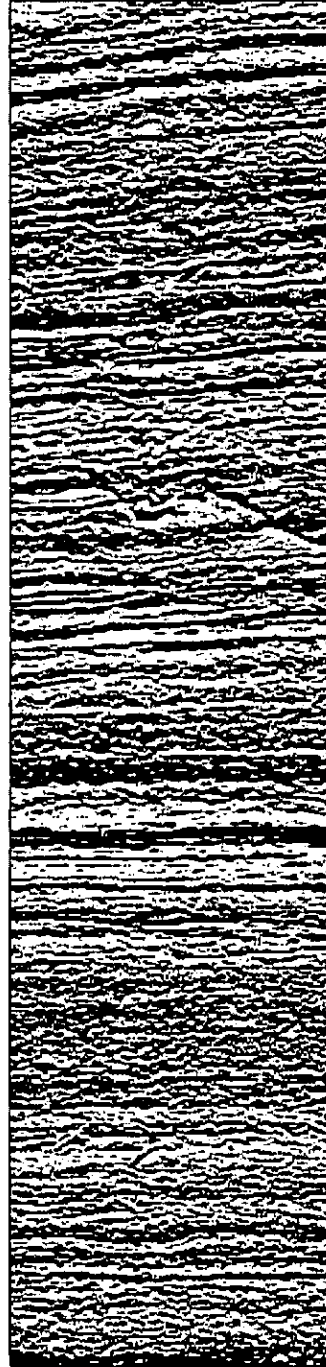
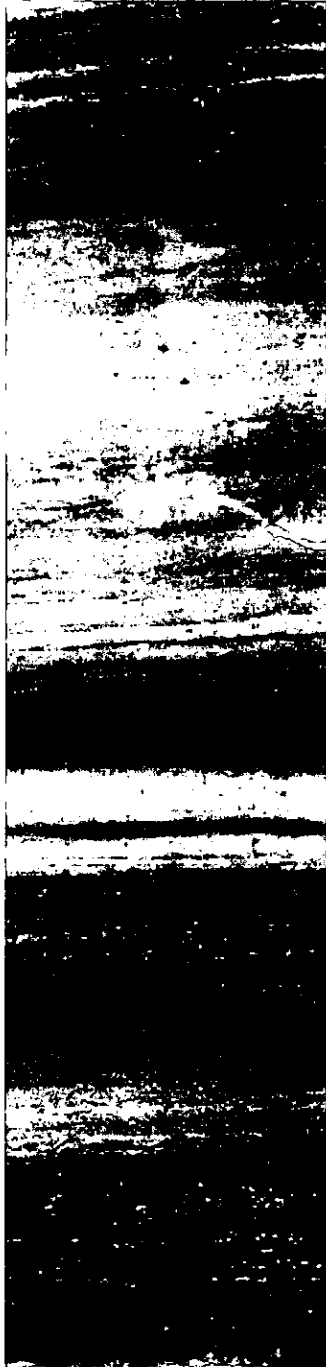
Intervalo: 69-97 cm



Núcleo BAP96J-CP

Sección 5

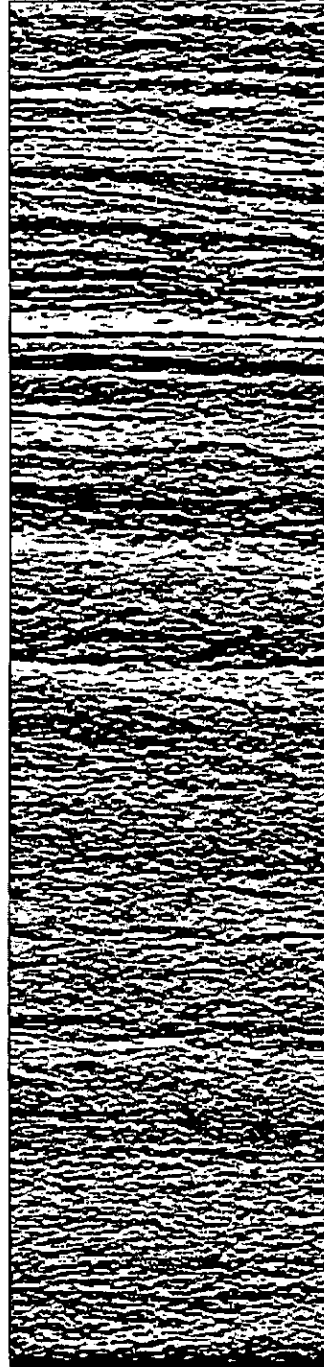
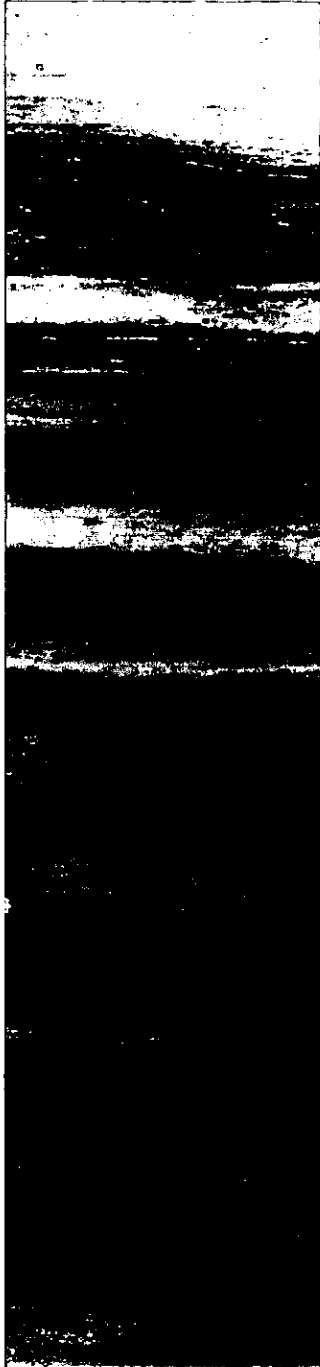
Intervalo: 97-116 cm



Núcleo BAP96J-CP

Sección 6

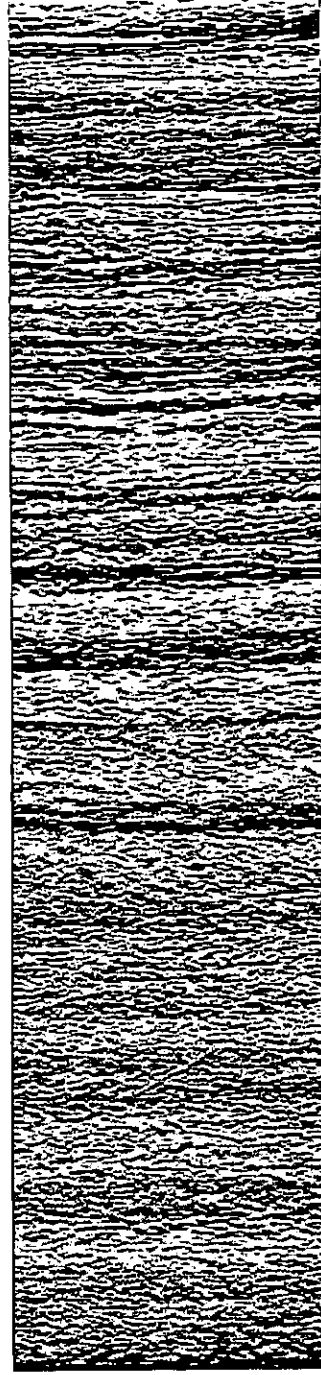
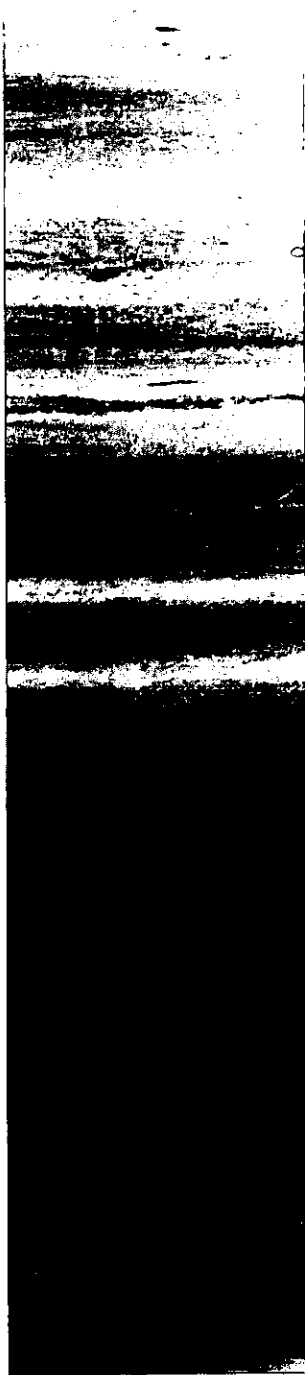
Intervalo: 116-138 cm



Núcleo BAP96J-CP

Sección 7

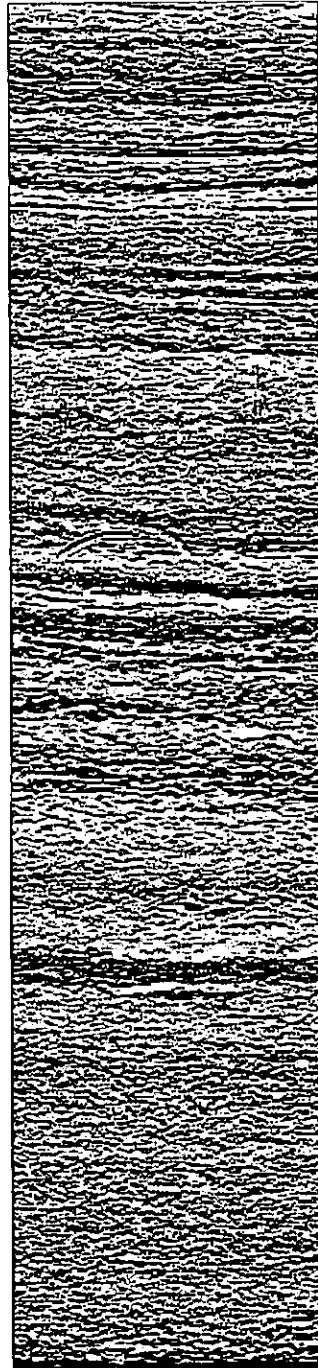
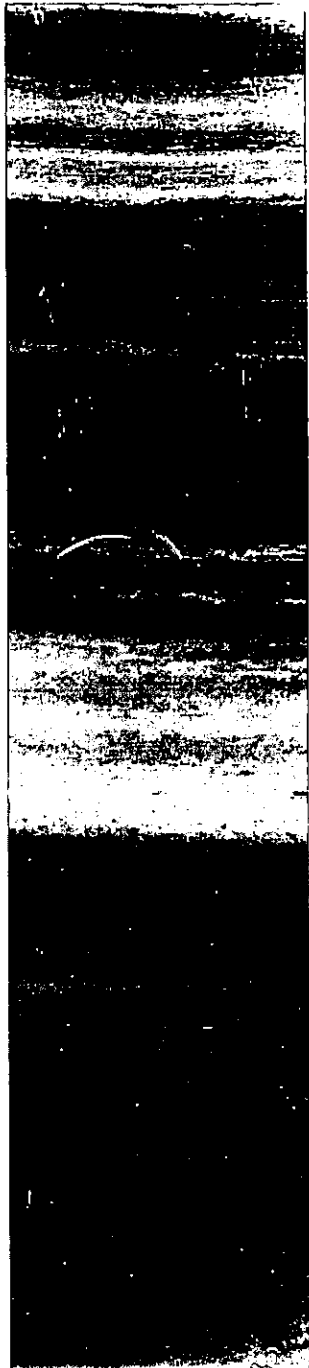
Intervalo: 138-164 cm



Núcleo BAP96J-CP

Sección 8

Intervalo: 164-189 cm

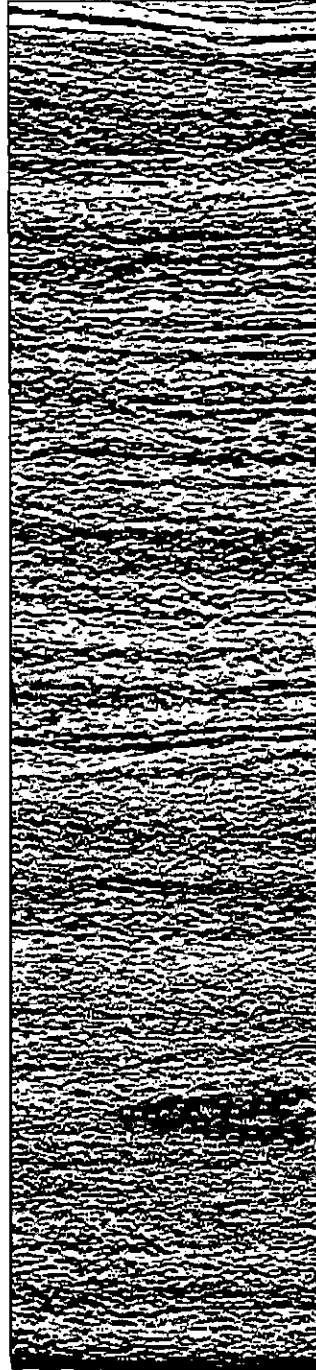




Núcleo BAP96J-CP

Sección 9

Intervalo: 189-212 cm



*APÉNDICE 2.*

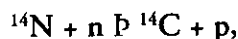
CARBONO 14

## CARBONO 14

El método de carbono 14 ( $^{14}\text{C}$ ) ha sido utilizado en diferentes campos como: la hidrobiología, las ciencias atmosféricas, la oceanografía, la geología, la paleoclimatología, la arqueología y la biomedicina.

### EL MÉTODO DE $^{14}\text{C}$

Existen tres principales isótopos de carbono que ocurren naturalmente: carbono 12 ( $^{12}\text{C}$ ) y carbono 13 ( $^{13}\text{C}$ ) -ambos estables- y  $^{14}\text{C}$  -inestable o radiométrico-. Estos isótopos están presentes en las siguientes proporciones:  $^{12}\text{C}=98.89\%$ ,  $^{13}\text{C}=1.11\%$  y  $^{14}\text{C}=0.00000000010\%$ . De aquí que un átomo de  $^{14}\text{C}$  existe en la naturaleza por cada  $10^{12}$  de átomos de  $^{12}\text{C}$  en el material vivo. El método de radiocarbono está basado en la tasa de degradación radioactiva del isótopo inestable de carbono 14 ( $^{14}\text{C}$ ), el cual se forma en la atmósfera superior por el efecto de neutrones de rayos cósmicos sobre el nitrógeno 14. La reacción es :



en donde n es un neutrón y p es un protón.

El  $^{14}\text{C}$  formado se oxida a  $^{14}\text{CO}_2$  y entra en todas las formas de vida de plantas y animales terrestres, a través de la fotosíntesis y de la cadena alimenticia. La rapidez de dispersión del  $^{14}\text{C}$  en la atmósfera ha sido demostrada por mediciones de carbono radioactivo producido a partir de una prueba de una bomba termonuclear. El  $^{14}\text{C}$  también entra en los océanos de la Tierra en un in-

tercambio atmósfera-hidrosfera y, una vez en el océano, se encuentra como carbonato disuelto (el inventario total de  $^{14}\text{C}$  se denomina "Reservorio de Intercambio de Carbono" (Aitken, 1990). Las plantas y animales utilizan carbono en las cadenas alimenticias y toman el  $^{14}\text{C}$  durante su vida. Se da un equilibrio con las concentraciones de  $^{14}\text{C}$  de la atmósfera, así que el número de átomos de  $^{14}\text{C}$  y los átomos de carbono no radioactivos permanecen aproximadamente iguales a lo largo del tiempo. Tan pronto como las plantas y los animales mueren, cesan su función metabólica de incorporar carbono y ya no hay renovación de carbono radioactivo, sólo degradación.

Libby, Anderson y Arnold (1949) fueron los primeros en descubrir que esta degradación ocurre en una tasa constante. Encontraron que, después de 5568 años, la mitad del  $^{14}\text{C}$  en la muestra original se habría degradado y después de otros 5568 años, la mitad del material restante se habría degradado sucesivamente. La vida media ( $t_{1/2}$ ) es el nombre que se le da a este valor, el cual Libby midió en  $5568 \pm 30$  años, conocido como la Vida Media de Libby. Después de 10 vidas medias hay muy poca cantidad de carbono radioactivo presente en las muestras. Entre aproximadamente 50-60000 años es alcanzado el límite de la técnica; a partir de esta frontera deben ser utilizadas otras técnicas radiométricas.

Cabe mencionar que mediciones posteriores de la Vida Media de Libby indicaron un dato más preciso, siendo la vida media de  $5730 \pm 30$  años.

Esta es conocida como la **vida media de Cambridge**<sup>1</sup>.

Cualquier material que esté compuesto por carbono puede ser fechado, por ejemplo: madera, huesos, conchas marinas, turba, polen, corales, foraminíferos, etc. En esto descansa la verdadera ventaja del método de radiocarbono, ya que es posible que sea aplicado uniformemente en todo el mundo. Los principales desarrollos del método de radiocarbono en la actualidad involucran mejoras en las técnicas de medición y alcance de las dataciones de diferentes materiales. En los últimos años, el interés principal es el desarrollo de la **Espectrometría de Aceleración de Masa (AMS)**, que es un método de conteo directo del isótopo de <sup>14</sup>C. La ventaja crucial del método AMS es el tamaño pequeño de la muestra requerida para la datación, que es del orden de miligramos.

#### CALIBRACIÓN

Las mediciones de radiocarbono se reportan siempre en términos de años antes del presente (*Before Present: BP*). Este dato está directamente basado en la proporción de radiocarbono encontrado en la muestra, el cual se calcula asumiendo que la concentración de radiocarbono en la atmósfera ha sido siempre la misma como lo fue en 1950 y que la vida media del radiocarbono es de 5568 años.

Para este propósito, “presente” se refiere a 1950, de tal manera que no se tiene que saber el año en que se hizo la medición. Por dar un ejemplo: si una muestra contiene exactamente la mitad de la

concentración de radiocarbono en comparación a un material que fue “moderno” en 1950 (fecha de referencia de Libby en el reporte de dataciones convencionales), la medición de radiocarbono reportaría 5568 años *BP*. Por dos importantes razones, esto no significa que la muestra provenga de 3619 años antes de Cristo (*Before Christ: BC*). (Aquí se debe tener en cuenta que en la escala *BC* no se tiene el año cero y pasa de 1 *BC* a 1 *AD* [*Anno Domini*]).

- La proporción de radiocarbono en la atmósfera ha variado por unos cuantos porcentajes a través del tiempo.
- La verdadera vida media del radiocarbono es de 5,730 años, no la medición original de 5.568 años.

Para saber qué significa una determinación de radiocarbono en términos de una “edad verdadera” se tiene que saber cómo ha cambiado la concentración atmosférica con el tiempo. Se han utilizado los anillos de crecimiento de los árboles como un aval del registro de radiocarbono. Muchos tipos de árboles confiablemente generan 1 anillo cada año. La madera generada en estos anillos permanece sin cambio durante la vida del árbol, siendo ésta muy útil como registro de <sup>14</sup>C en el pasado, de manera que si se tiene un árbol con una edad de 500 años, se puede medir la concentración de <sup>14</sup>C en los 500 anillos y ver que concentración corresponde a cada año calendario. Utilizando árboles muy viejos; por ejemplo, pinos de *Bristlecone* en Estados Unidos es posible hacer mediciones varios miles de años atrás. Para extender aún más este método se debe tomar en cuenta el hecho de que la anchura de los anillos varía año con año, según los patrones climáticos. Al observar estas anchuras, es posible comparar los anillos de un árbol muerto de aquellos de un árbol que continúa creciendo, en la misma región.

---

<sup>1</sup> para convertir una vida media de Libby a una edad de vida media de Cambridge, sólo se debe multiplicar por 1.03).

Al utilizar árboles muertos con edades diferentes pero sobrelapadas se puede generar una biblioteca de anillos de árboles de diferentes edades calendario. Esto se ha hecho con pinos de *Bristlecone* en Estados Unidos y troncos de robles conservados en agua en Irlanda y Alemania para proveer registros que se extienden 11,000 años atrás.

La calibración de las determinaciones de radiocarbono es un principio muy simple. Si se tiene la medición de radiocarbono de una muestra, se puede tratar de encontrar un anillo de árbol con la misma proporción de radiocarbono. Si la edad calendario de los anillos de los árboles es conocida, entonces se puede saber la edad de la muestra.

En la práctica, esto es complicado por dos factores:

- Las mediciones, tanto en los anillos como en las muestras, tienen un límite de precisión, por lo que habrá un intervalo de posibilidades en años calendario.
- Dado la forma en que ha variado la concentración de radiocarbono atmosférico, serían varios intervalos posibles.

Las edades de radiocarbono siempre deben de reportarse como "porcentajes modernos" o en años BP. Las primeras indican la proporción de átomos de radiocarbono en la muestra comparada con las muestras "modernas" en 1950. La segunda se deriva directamente de ésta, asumiendo que la vida media del radiocarbono es de 5568 años y que la cantidad de radiocarbono en la atmósfera ha sido constante.

Una vez calibrado un dato de radiocarbono debe ser expresado en términos de CalBC, CalAD o CalBP. El prefijo Cal indica que los datos son el resultado de una calibración de radiocarbono utilizando datos de anillos de árboles. Estos valo-

res deben corresponder exactamente con los años históricos normales BC y AD (*Anno Domini, in the year of our Lord, after the birth of Christ*). El término CalBP significa el número de años antes de 1950 y puede ser directamente comparado con años calendario.

#### PROGRAMAS DE CALIBRACIÓN

Hay distintos programas de calibración disponibles incluyendo los programas Windows OxCal y CALIB, los cuales corren en varias plataformas incluyendo una versión *online*.

En particular, el programa de calibración de edad CALIB (Stuvier & Reimer, 1986) está disponible desde 1986 y se ha ido modificando subsecuentemente. El programa de 1993, además de ser más refinado, incorpora nuevos datos de calibración, abarcando cerca de 22000 años calendario (~18,400 <sup>14</sup>C años).

*APÉNDICE 3.*

RADIOLARIOS (POLYCISTINOS)  
DE LA BAHÍA DE LA PAZ

## RADIOLARIOS POLYCYSTINOS DEL NÚCLEO BAP96J-CP

La intención de este apéndice, más que presentar un apartado de Sistemática formal, es dar a conocer las especies que se encontraron en los sedimentos del núcleo BAP96J-CP, ordenándolas dentro de un esquema de clasificación conocido (Nigrini & Moore, 1979; Nigrini & Lombardi, 1984). Cada una de las especies es antecedida por una clave que inicia con S para el caso de los espumelarios y N para los naselarios.

Para cada especie se incluye una o dos referencias y, en algunos casos, observaciones de rasgos morfológicos que fueron importantes para su determinación. Se incluye un glosario de las estructuras mencionadas en las descripciones.

### GLOSARIO

**Abdomen.** El tercer segmento en las tecas de naselarios multisegmentados.

**Brazos.** Proyecciones elongadas, alargadas, (generalmente 3) radiadas de un disco central subcircular en las tecas de algunos Spondodiscidae. Los brazos pueden consistir de una masa esponjosa sin estructura, o una masa esponjosa con anillos más o menos visibles.

**Cámara central.** Estructura central esférica de las tecas de varios Spongodiscidae.

**Cámara con arreglo espiral.** Anillos segmentados en espiral más o menos visibles.

**Céfalís.** El primer segmento de las tecas, el cual puede ser o no dividido en lóbulos o cámaras. El céfalís puede diferenciarse del tórax o puede estar parcial o totalmente inmerso en él.

**Cinturón.** Placas perforadas de la teca en forma circular o elipsoidal arregladas en tres planos mutuamente independientes los cuales forman la teca de los Pyloniidae.

**Coronillas polares.** Crecimiento adicional a la teca en forma de cúpula que se presentan en ambos extremos.

**Cuerno apical.** Extensión externa de la espina apical.

**Espinas.** Cualquier barra o aguja interna o externa con final libre. Pueden ser triangulares con márgenes finos o aserrados, cilíndricas, rectas o curvadas. Las **espinas radiales** son aquellas que se proyectan del centro a la periferia de la teca. La **espina apical** se localiza en la parte cefálica interna.

**Haces.** Barras finas silíceas que unen las estructuras de la teca contigua.

**Masa.** Combinación de barras anastomosadas y barras en el plano paralelo que forman la teca silícea de los polycistinos.

**Masa esponjosa.** Similar a una esponja (opuesto a reticular) masa silícea de paquetes de barras delgadas, irregulares más o menos densa, principalmente en las familias de Espumelarios

**Patagium.** Delicada masa esponjosa en algunos Spongodiscidae, la cual difiere de la teca principal porque su estructura es difusa.

**Peristoma.** Orilla o margen diferenciado en la boca del último segmento.

**Plano ecuatorial.** Plano de máxima superficie de la teca.

**Poros.** Perforaciones en las tecas de los polycistinos.

**Pyloma.** Abertura en el extremo de la teca externa de algunos Espumelarios, se extiende en un tubo o puede estar rodeada de espinas grandes.

**Retícula.** Plano perforado de la teca.

**Segmento.** Una de las secciones de la cual está compuesta la teca de los Naselarios.

**Subteca interna.** La teca más interna del conjunto de esféras internas.

**Teca cortical.** La teca más externa perforada de los Espumelarios.

**Teca lenticelíptica.** En forma de disco biconvexo.

**Tórax.** Segundo segmento de los naselarios multisegmentados.



## TAXA DETERMINADOS

### SUBCLASE RADIOLARIA MÜLLER 1858

#### ORDEN POLYCYSTINA EHRENBERG 1838, EMEND. RIEDEL 1967B

#### SUBORDEN SPUMELLARIA EHRENBERG 1875

### FAMILIA COLLOSPHAERIDAE MÜLLER 1858

- S1 *Acrosphaera murrayana* Haeckel  
*Acrosphaera murrayana* (Haeckel), Benson 1966, p. 120, lám. 2, fig. 3.  
Presenta poros muy grandes rodeados por una corona de espinas cortas.
- S6 *Actinosphaera cristata* (Haeckel)  
*Actinosphaera cristata* (Haeckel), Benson 1966, p. 127, lám. 2, figs. 8-10.  
Teca esférica simple y relativamente grande, constituida por una teca cortical esférica, en algunos especímenes se observa una pequeña subteca interna polihédrica de pared delgada. La superficie cortical es lisa o áspera, los poros son irregulares en arreglo y forma.
- S9 *Anomalacantha dentata* (Mast)  
*Heteracantha dentata* Mast, Benson 1966, p. 170, lám. 5, figs. 10-11.  
Teca pequeña, esférica, reticulada, de la cual se originan de 8-12 espinas radiales muy largas (con tres filos), con un arreglo regular. Los poros de la teca son circulares de igual tamaño, de 5 a 6 en el eje ecuatorial, rodeados por marcos hexagonales bien definidos.
- S13 *Collosphaera tuberosa* Haeckel  
*Collosphaera tuberosa* Haeckel, Nigrini 1970, p. 166, lám. 1, fig. 1.

### FAMILIA ACTINOMMIDAE HAECKEL 1862, EMEND. SANFILIPPO AND RIEDEL 1980

- S2 *Actinomma antarcticum* (Haeckel)  
*Actinomma antarcticum* (Haeckel) Nigrini 1967, p. 26, lám. 2, figs. 1a-d.
- S3 *Actinomma leptodermum* (Jørgensen)  
*Actinomma leptodermum* (Jørgensen), Nigrini & Moore 1979, p. S35, lám. 3, fig. 5.
- S4 *Actinomma medianum* Nigrini  
*Actinomma medianum* Nigrini 1967, p. 27, lám. 2, figs. 2a-b.
- S5 *Actinomma* sp Benson  
*Actinomma* sp Benson 1964, lám. 1, fig. 16.  
La estructura de la teca es generalmente delicada y presenta numerosas espinas muy cortas.
- S11 *Cladococcus cervicornis* Haeckel  
*Cladococcus cervicornis* Haeckel, Benson 1966, p. 173, lám. 6, fig. 1.
- S12 *Cladococcus stalactites* Haeckel  
*Cladococcus stalactites* Haeckel, Benson 1966, p. 173, lám. 6, figs. 2-3.

- S20 *Doryconthidium* sp cf. *D. hexactis*  
*Doryconthidium* sp cf. *D. hexactis* (Vinassa de Regny) Benson 1966, p. 146, lám. 3, fig. 12.
- S21 *Druppatractus variabilis* Dumitrică  
*Druppatractus variabilis* Dumitrică 1972, p. 883, lám. 6, fig. 4, lám. 20, figs. 6-7.
- S22 *Echinomma delicatum* (Dogiel)  
*Echinomma delicatum* (Dogiel), Benson 1966, p. 166, lám. 5, figs. 3-4; Moore 1974, p. 5, lám. 2, fig. 5.
- S23 *Echinomma* spp
- S32 *Hexacontium enthacanthum* Jörgensen  
*Hexacontium enthacanthum* Jörgensen, Nigrini & Moore 1979, p. S45, lám. 5, figs. 1a-b.  
 Presenta tres tecas. La teca cortical generalmente es esférica, puede tener una superficie lisa o presentar pequeñas espinas cónicas; poros casi del mismo tamaño de forma subpoligonal, subelípticos o subcirculares con arreglo de subregular (hexagonal) a irregular, con o sin marcos poligonales. Generalmente se pueden contar de 8 a 9 en el eje ecuatorial. Se caracteriza por presentar seis espinas mutuamente perpendiculares que se originan en las esquinas de la teca interna suboctahedral, todas ellas con casi la misma longitud y grosor.
- S33 *Hexacontium heterocantha* (Popofsky)  
*Hexacontium heterocantha* (Popofsky), Benson 1966, p. 156, lám. 4, figs. 6-7.  
 Similar a *H. enthacanthum*, sin embargo en *H. heterocantha* los poros generalmente son más grandes, por lo que en el eje ecuatorial se pueden distinguir de 5 a 6 únicamente; además, la estructura de la teca cortical es un poco más robusta en esta especie.
- S34 *Hexacontium heracliti* (Haeckel)  
*Hexacontium heracliti* (Haeckel), Benson 1966, p. 158, lám. 4, figs. 8-10.  
 Similar a *H. heterocantha*, pero presenta una estructura general mucho más robusta y con espinas más cortas. Poros muy grande e irregulares, en el eje ecuatorial se pueden observar de 5 a 6 de diferentes tamaños.
- S35 *Hexacontium laevigatum* Haeckel  
*Hexacontium laevigatum* Haeckel, Benson 1966, p. 153, lám. 4, figs. 4 y 15; Nigrini & Moore 1979, p. S47, lám. 5, figs. 2a-b.  
 Esta especie, en comparación con *H. enthacanthum* se caracteriza porque la superficie de la teca cortical es generalmente más lisa y su diámetro es menor; además, en la teca cortical presenta numerosos poros pequeños casi circulares (regulares en tamaño y forma).
- S37 *Hexastylus triaxonius* Haeckel  
*Hexastylus triaxonius* Haeckel, Benson 1966, p. 139, lám. 3, figs. 6-7.
- S54 *Plegmosphaera pachyplegma* Haeckel  
*Plegmosphaera pachyplegma* Haeckel, Boltovskoy 1997, fig. 15.53.  
 La superficie de la teca está cubierta por una malla esponjosa que es más densa en la perifería que en parte central.

- S57 *Prunopyle antarctica* Dreyer  
*Prunopyle antarctica* Dreyer, Riedel 1958, p. 225, lám. 1, figs. 7 y 8.
- S71 *Spongosphaera streptacantha* Haeckel  
*Spongosphaera streptacantha* Haeckel, Boltovskoy 1997, fig. 15-59.
- S76 *Stylocontarium bispiculum* Popofsky  
*Stylocontarium bispiculum* Popofsky, Benson 1966, p. 141, lám. 3, figs. 8-11.
- S79 *Styptosphaera spumacea* Haeckel  
*Styptosphaera spumacea* Haeckel, Boltovskoy 1997, fig. 15.50.  
 La teca es una masa irregular esponjosa, sin cavidad central.
- S80 *Thecosphaera* spp  
*Thecosphaera* spp, Benson 1966, p. 132, lám. 2, figs. 11-13.
- S83 *Xiphatractus cronos* (Haeckel)  
*Xiphatractus cronos* (Haeckel), Benson 1966, p. 182, lám. 7, figs. 12-13.
- S84 *Xiphatractus pluto* (Haeckel)  
*Xiphatractus pluto* (Haeckel), Benson 1966, p. 184, lám. 7, figs. 14-17.

#### FAMILIA COCCODISCIDAE HAECKEL 1862, EMEND. SANFILIPPO & RIEDEL 1980

- S15 *Cypassis irregularis* Nigrini  
*Cypassis irregularis* Nigrini 1968, p. 53, lám. 1, figs. 2a-c.  
 Es parecida a *Didymocyrtis tetrathalamus*, pero la teca cortical es mucho más abierta y la malla o retícula es irregular. Los especímenes completamente desarrollados presentan manto.
- S19 *Didymocyrtis tetrathalamus* (Haeckel)  
*Ommatartus tetrathalamus* (Haeckel), Riedel & Sanfilippo, 1971, p. 1588, lám. 1C, figs. 5-7.  
 Teca cortical de cilíndrica a elipsooidal, dividida por una constricción ecuatorial conspicua. Poros subcirculares a subangulares sin un arreglo definido. La superficie es rugosa y espinosa. Algunas veces se pueden observar “coronillas polares” hemisféricas o cónicas, soportadas por 12 espinas. Las “coronillas” son, generalmente, más delicadas que la teca cortical con poros más pequeños y una superficie más lisa.

En este estudio fue complicado distinguir los diferentes géneros de la familia LITHELIIDAE, debido a su similitud en la estructura general, por lo que se hizo una breve síntesis de los rasgos más importantes que se consideraron para su determinación taxonómica (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características morfológicas de 4 géneros de la familia Litheliidae consideradas para su determinación taxonómica en este estudio.

<i>Larcopyle</i>	<i>Larcospira</i>	<i>Pylospira</i>	<i>Tholospira</i>
Teca reticular elipsoidal distinguible, menos alargada que en el género <i>Larcospira</i>	Teca reticular elipsoidal alargada.	Teca reticular esférica o ligeramente elipsoidal.	Teca reticular similar a la del género <i>Pylospira</i> .
Espiral cerrada que hace que el centro tenga una apariencia más densa.	Espiral abierta que se abre hacia la periferia.	Espiral abierta.	Espiral abierta.
Contorno por lo general liso o con espinas cortas.	Contorno generalmente accidentado con espinas largas.	Contorno accidentado con espinas de diferentes tamaños.	Contorno accidentado con espinas de diferentes tamaños, se diferencia de <i>Pylospira</i> por ser más delicada.

#### FAMILIA LITHELIIDAE HAECKEL 1862

Teca reticular elipsoidal, esférica o lenticular. Presenta un arreglo espiral, parcial o total.

S40 *Larcopyle bütschlii* Dreyer

*Larcopyle bütschlii* Dreyer, Nigrini & Lombardi 1984, p. S89, lám 13, figs. 1a-b.

Teca grande elipsoidal con un contorno irregular; la superficie presenta espinas cónicas cortas continuas hacia el interior como haces. La estructura interna es una espiral. Los poros son desiguales en forma e irregulares en tamaño. Se puede observar en uno de los polos un grupo de espinas cortas (pyloma).

S41 *Larcopyle* sp A

Esta especie presenta una estructura espiral muy similar a *L. bütschlii* pero sin pyloma. Benson (1966), la ubica como *Phorticium pylonium* (lám. 17, fig. 2).

S42 *Larcopyle* sp B

S43 *Larcopyle* sp.

S44 *Larcospira quadrangula* Haeckel

*Larcospira quadrangula* Haeckel, Benson 1966, p. 266, lám. 18, figs. 7-8. Molina-Cruz 1977, p. 335, lám.3, fig. 3.

La teca cortical presenta una superficie "accidentada". El perímetro del plano lateral es ligeramente cuadrangular con cuatro esquinas redondeadas. Se caracteriza por dos espirales abiertas que tienen el mismo origen. Los poros de la retícula de la teca pueden ser iguales o desiguales, de forma subpoligonal separados por finas barras. Las espinas son cortas, cónicas y finas y se encuentran dispersas en la superficie de la teca.

- S45 *Larcospira* spp
- S46 *Lithelius minor* Jörgensen  
*Lithelius minor* Jörgensen, Nigrini & Moore 1979, p. S135, lám. 17, figs. 3,4a-b.  
 Teca de elipsoidal a esférica con arreglo regular a subregular, subcircular a subpoligonal. Hay generalmente, menos de cuatro enrollamientos (espirales o subtecas). En la superficie se pueden observar numerosas espinas radiales muy finas.
- S47 *Lithelius nautiloides* Popofsky  
*Lithelius nautiloides* Popofsky, Nigrini & Lombardi 1984, p. S97, lám14, figs. 2a-b.  
 Teca subesférica con superficie espinosa. Los enrollamientos de la espiral se incrementan en amplitud hacia la parte externa y están penetrados por numerosas barras radiales, las cuales se extienden como espinas radiales sobre la superficie de la teca.
- S48 *Lithelius obscurus* Popofsky  
*Lithelius obscurus* Popofsky, Moore 1974, p. 13, lám. 6, figs. 4,6  
 Los enrollamientos en la espiral al parecer son más cerrados, por lo que el centro es más denso.
- S49 *Lithelius solaris* Haeckel  
*Lithelius solaris* Haeckel, Moore 1974, p. 13, lám. 5, fig. 7  
 Se diferencia de *L. nautiloides* porque las espirales son más abiertas.
- S50 *Lithelius* sp A  
 Equivalente a *Lithelius* sp A en Moore (1974).
- S59 *Pylospira octopyle* Haeckel  
*Pylospira octopyle* Haeckel, Moore 1974, p. 14, S27, lám. 15, figs 8-10.  
 Teca con periferia elipsoidal con superficie espinosa, compuesta por una serie de cámaras con arreglo espiral soportadas por numerosos haces radiales, los cuales se extienden hacia el margen externo de la teca. Presenta poros subcirculares irregulares en tamaño forma y dsitribución.
- S60 *Pylospira* spp
- S62 *Spirema melonia* Haeckel  
*Spirema melonia* Haeckel, Moore 1974, p. 14, S28, lám. 5, fig. 11.
- S82 *Tholospira* spp  
 Teca cortical simple con un arreglo espiral.

FAMILIA SPONGODISCIDAE HAECKEL 1862, EMEND. RIEDEL 1967B

- S7 *Amphiropalum ypsilon* Haeckel.  
*Amphiropalum ypsilon* Haeckel, Nigrini 1967, p. 35, lám. 3, figs. 3 a-d.
- S10 *Circodiscus microporus* (Stöhr)  
*Circodiscus microporus* (Stöhr), Nigrini & Lombardi 1984, p.S73, lám. 10, fig. 3.

- S16 *Dictyocoryne profunda* Ehrenberg  
*Dictyocoryne profunda* Ehrenberg, Nigrini & Moore 1979, p. S87, lám.12, fig. 1.  
 Brazos de aproximadamente el mismo tamaño y equidistantes en forma de trébol.
- S17 *Dictyocoryne truncatum* (Ehrenberg)  
*Dictyocoryne truncatum* (Ehrenberg), Nigrini & Moore 1979, p.S89, lám12, figs. 2a-b.  
 Teca con tres brazos amplios esponjosos, dispuestos bilateralmente, generalmente presentan un patagium esponjoso entre ellos. Los brazos son angostos proximalmente, haciéndose más amplios y más gruesos y elípticos distalmente. En especímenes sin patagium los brazos tienen un margen definido, en aquellos con patagium el margen es indefinido, frecuentemente aparecen sumergidos en él, algunas veces los brazos aparecen sólo como áreas oscuras triangulares.
- S18 *Dictyocoryne sp* Benson  
*Dictyocoryne sp* Benson 1964, lám. 6, fig.2.
- S24 *Euchitonia elegans* (Ehrenberg)  
*Euchitonia elegans* (Ehrenberg), Benson 1966, p. 230, lám. 14, fig. 1; Nigrini & Moore 1979, p. S83, lám. 11, figs. 1a-b.  
 Similar a *Euchitonia furcata*, pero difiere en la forma de su brazos. En *E. elegans* los brazos son angostos, haciéndose gradualmente más finos distalmente y algunas veces se observan 1 ó 2 espinas cortas terminales. El ángulo entre el par de brazos de *E. elegans* generalmente es más pequeño que en *E. furcata*. El patagium puede estar o no presente.
- S25 *Euchitonia furcata* Ehrenberg  
*Euchitonia furcata* Ehrenberg, Nigrini & Moore 1979, p. S85, lám 11, figs. 2a-b.  
 Teca con tres brazos de aproximadamente igual longitud. Los brazos se incrementan en amplitud hacia la parte distal y presentan una terminación irregularmente redondeada o chata, algunas veces con 1 a 3 espinas terminales. Los brazos pares forman el ángulo más pequeño opuesto al brazo impar y frecuentemente ligeramente curvados hacia otro. El patagium puede estar o no presente.
- S26 *Euchitonia triangulum* (Ehrenberg)  
*Euchitonia triangulum* (Ehrenberg) Benson 1966, p. 226, lám.12, fig. 7.  
 Esta especie es muy similar a *D. Truncatum*. Se diferencia de ésta porque los brazos no son equidistantes, son amplios proximalmente con terminaciones gruesas, característicamente con 1 a 5 o más espinas terminales cónicas o piramidales bien desarrolladas.
- S27 *Euchitonia sp*  
*Euchitonia mülleri* Haeckel, Benson 1966, p. 232, lám. 14, figs. 3-4.
- S38 *Hymeniastrum euclidis* Haeckel  
*Hymeniastrum euclidis* Haeckel, Nigrini 1970, p. 168, lám. 2, fig. 4.  
 Teca con tres brazos de aproximadamente igual tamaño y forma, separados por ángulos iguales. Los brazos son muy angostos, proximalmente aumentando su grosor gradualmente hasta terminar en estructuras similares a bulbos, ocasionalmente con espinas terminales.
- S39 *Hymeniastrum spp*  
*Hymeniastrum spp*, Nigrini & Lombardi 1984, p. S61, lám. 8, figs. 2a-b.

- S55 *Porodiscus* sp A  
*Porodiscus* sp A., Nigrini & Moore 1979, p. S107, lám. 14, figs. 1, 2a-b.  
 La teca es un disco engrosado en la parte central y consecuentemente opaco. Los anillos (segundo y tercero) son claramente distinguibles. Frecuentemente las cámaras tienen una disposición en espiral más que en anillos concéntricos. Los poros son de aproximadamente las mismas dimensiones. Las cámaras no se amplían hacia la periferia. Espinas en forma de agujas parecen extenderse desde el margen de la teca.
- S56 *Porodiscus* (?) sp B  
*Ommatodiscus* sp, Benson 1966, p. 210, lám. 10, fig. 4; Nigrini & Moore 1979, p. S109, lám. 14, figs. 3-4.  
 Esta especie es similar a *Porodiscus* sp A, pero se diferencia porque las cámaras concéntricas son irregulares y tienen una apariencia discontinua y anillos ondulados. Presenta numerosos poros subcirculares que se hacen más pequeños hacia el margen de la teca.
- S63 *Spongaster tetras* Ehrenberg *irregulares* Nigrini  
*Spongaster tetras* Ehrenberg *irregulares* Nigrini, Nigrini & Moore 1979, p. S95, lám. 13, fig. 2.  
 Teca aproximadamente rectangular, irregular, esponjosa. Básicamente similar a *S. tetras tetras*, excepto porque la teca es menos regular, los ángulos entre los brazos son desiguales, el contorno es un rectángulo alargado más que un cuadrado.
- S64 *Spongaster tetras tetras* Ehrenberg  
*Spongaster tetras tetras* Ehrenberg, Nigrini & Moore 1979, p. S93, lám. 13, fig. 1.  
 El contorno de la teca es rectangular con esquinas redondeadas, una malla esponjosa densa define cuatro brazos equidistantes en forma de pera que se originan desde el centro.
- S65 *Spongocore puella* Haeckel  
*Spongocore puella* Haeckel, Nigrini 1970, p. 168, lám. 2, fig. 3.  
 Teca esponjosa cilíndrica con o sin espinas proyectadas y manto, frecuentemente presenta dos ligeras constricciones.
- S66 *Spongodiscus resurgens* Ehrenberg  
*Spongodiscus resurgens* Ehrenberg, Boltovskoy 1997, fig. 15.64  
 Teca en forma de disco con una estructura no discernible. Sin espinas en los márgenes o en la superficie del disco.
- S67 *Spongodiscus americanus* Kozlova  
*Spongodiscus americanus* Kozlova, Sanfilippo & Riedel 1980, p. 524,, lám. 11, figs. 9-13.
- S68 *Spongodiscus biconcavus* (Haeckel)  
*Spongodiscus biconcavus* (Haeckel), Benson, 1964, lám. 1, fig. 42.
- S69 *Spongodiscus* sp
- S70 *Spongopyle osculosa* Dreyer  
*Spongopyle osculosa* Dreyer, Benson 1966, p. 215, lám. 11, figs. 2-3; Nigrini & Moore 1979, p. S115, lám. 15, fig. 1.  
 Similar a *S. resurgens*, excepto por la presencia de un *pyloma* tubular sobre el margen.

- S72 *Spongotrochus glacialis* Popofsky  
*Spongotrochus glacialis* Popofsky, Nigrini & Lombardi 1984, p. S79, lám. 11, fig. 2.  
 Teca discoidal biconvexa conformada por un disco espinoso de estructura esponjosa. Presenta numerosas espinas aciculares o agudas de diferentes longitudes alrededor de su circunferencia y sobre la superficie en la mayoría de los especímenes. La teca tiene una superficie irregular con poros circulares de tamaño variable.
- S73 *Spongotrochus* sp
- S74 *Spongurus* sp Petrushevskaya  
*Spongurus* sp Petrushevskaya, Nigrini & Moore 1979, p. S67, lám. 8, fig. 4.
- S75 *Stylochlamydidium asteriscus* Haeckel  
*Stylochlamydidium asteriscus* Haeckel, Nigrini & Moore 1979, p. S113, lám. 14, fig. 5.  
 La teca es un disco biconvexo. Presenta anillos concéntricos que rodean una cámara central, separando la teca de un sistema de 4 a 7 bandas porosas que incrementan su amplitud hacia el margen de ésta. Los poros son subcirculares, uniformemente espaciados y aproximadamente del mismo tamaño. Presenta espinas radiales características, similares a agujas. La estructura central puede ser claramente visible u opacada por una malla esponjosa.
- S77 *Stylodictya aculeata* Jörgensen  
*Stylodictya aculeata* Jörgensen, Nigrini & Lombardi 1984, p. S69, lám. 10, figs. 1a-b.  
 La estructura de la teca es muy irregular. Es un disco aplanado y no engrosado en la parte central, con anillos concéntricos claramente definidos que en la parte más interna tienen forma de roseta.
- S78 *Stylodictya validispina* Jörgensen  
*Stylodictya validispina* Jörgensen, Nigrini & Lombardi 1984, p. S71, lám. 10, fig. 2.  
 Similar a *S. aculeata*, excepto que todos los anillos son circulares a subcirculares. El centro puede ser engrosado (oscuro) y generalmente presenta espinas marginales.

#### FAMILIA PHACODISCIDAE HAECKEL 1881

- S28 *Heliodiscus asteriscus* Haeckel  
*Heliodiscus asteriscus* Haeckel, Benson 1966, p. 200, lám. 9, fig. 3.  
 Teca externa lenticular con poros circulares arreglados regularmente. De 8 a 15 espinas radiales en el plano ecuatorial.
- S29 *Heliodiscus echiniscus* Haeckel  
*Heliodiscus echiniscus* Haeckel, Benson, 1966, p. 200, lám. 9, fig. 4.
- S30 *Heliodiscus minus*
- S31 *Heliosphaera radiata* Popofsky  
*Heliosphaera radiata* Popofsky, Benson 1966, p. 160, lám. 5, figs. 1-2.
- S61 *Sethodiscus macrococcus* Haeckel  
*Sethodiscus macrococcus* Haeckel, Boltovskoy 1997, fig. 15.79.  
 Similar a *Heliodiscus asteriscus*, pero sin espinas radiales.



## FAMILIA PYLONIIDAE HAECKEL 1881

S36 *Hexapyle dodecantha* Haeckel  
*Hexapyle dodecantha* Haeckel, Benson 1966, p. 275, lám. 18, figs. 14-16

S51 *Octopyle stenozona* Haeckel  
*Octopyle stenozona* Haeckel, Benson 1966, p. 251, lám. 16, figs. 3-4.

S52 *Phorticium clevei* (Jørgensen)  
*Phorticium clevei* (Jørgensen)

S53 *Phorticium pylonium* Haeckel  
*Phorticium pylonium* Haeckel, Benson 1966, p. 252, lám. 17, fig. 1.

S58 *Pylonium* sp

S28 *Pylonium* sp, Benson 1966, p. 250, lám. 16, fig. 12.

S81 *Tetrapyle octacantha* Haeckel  
*Tetrapyle octacantha* Haeckel, Benson 1966, p. 245, lám. 15, figs. 3-10.  
Teca elipsoidal conformada por el arreglo de tres sistemas de cinturones reticulados, aproximadamente concéntricos. El contorno de la teca generalmente es elipsoidal pero varía de subcircular a subcuadrado. Los sistemas de cinturones están unidos entre sí por varias barras de aproximadamente igual longitud. La mayoría de las tecas se observan incompletas, presentando por lo general sólo el cinturón transversal interno. Los poros de los cinturones con desiguales en tamaño, con arreglo irregular a subregular y de diferentes formas (subcirculares o subpoligonales).

## FAMILIA THOLONIIDAE HAECKEL 1887

S8 *Amphitholus acanthometra* Haeckel  
*Amphitholus acanthometra* Haeckel, Benson 1966, p. 258, lám. 17, figs. 4-7.

S14 *Cubotholus regularis* Haeckel  
*Cubotholus regularis* Haeckel, Benson 1966, p. 260, lám. 17, fig. 8

## SUBORDEN NASSELARIA EHRENBERG 1875

### FAMILIA PTEROCORYTHIDAE HAECKEL 1881 EMEND. RIEDEL 1967 B, EMEND. MOORE 1972

N85 *Anthocrytidium ophirens* (Ehrenberg)  
*Anthocrytidium ophirens* (Ehrenberg), Benson 1966, p. 472, lám. 32, figs. 6-9; Nigrini & Moore 1979, p. N67, lám. 25, fig. 1

N87 *Anthocrytidium zanguebaricum* (Ehrenberg)  
*Anthocrytidium zanguebaricum* (Ehrenberg) Nigrini & Moore 1979, N69, lám 25, fig. 2.

- N108 *Lamprocyclus maritalis maritalis* Haeckel  
*Lamprocyclus maritalis maritalis* Haeckel, Nigrini & Moore 1979, p. N75, lám. 25, fig. 4.
- N109 *Lamprocyclus maritalis* Haeckel *polypora* Nigrini  
*Lamprocyclus maritalis* Haeckel *polypora* Nigrini, Nigrini & Moore 1979, p. N77, lám. 25, fig. 5  
 Esta especie tiene un peristoma bien definido a diferencia de *L. maritalis maritalis*.
- N110 *Lamprocyclus maritalis* Haeckel *ventricosa* Nigrini  
*Lamprocyclus maritalis* Haeckel *ventricosa* Nigrini, Nigrini & Moore 1979, p. N79, lám. 25, fig. 6.
- N 111 *Lamprocyrtis nigrinae* (Caulet)  
*Lamprocyrtis nigrinae* (Caulet), Nigrini & Moore 1979, p. N81, lám. 25, fig. 7.
- N136 *Pterocorys hertwigii* (Haeckel)  
*Pterocorys hertwigii* (Haeckel), Nigrini & Moore 1979, p. N85, lám 25, fig. 9.
- N137 *Pterocorys minithorax* (Nigrini)  
*Pterocorys minithorax* (Nigrini), Nigrini & Moore 1979, p. N87, lám. 25, fig. 10.
- N138 *Pterocorys zancleus* (Müller)  
*Pterocorys zancleus* (Müller), Nigrini & Moore 1979, p. N89, lám. 25, figs. 11a-b.
- N144 *Stichopilium bicorne* Haeckel  
*Stichopilium bicorne* Haeckel, Benson 1966, p. 422, lám. 29, figs. 1-2; Nigrini & Moore 1979, p. N91, lám. 26, figs. 1a-b.
- N146 *Theocorythium trachelium trachelium* (Ehrenberg)  
*Theocorythium trachelium trachelium* (Ehrenberg), Nigrini & Moore 1979, p. N93, lám. 26, fig. 2.

#### FAMILIA ARTOSTROBIIDAE RIEDEL 1967A, EMEND. FOREMAN 1973.

- N89 *Botryostrobos auritus-australis* (Ehrenberg)  
*Botryostrobos auritus-australis* (Ehrenberg), Nigrini & Moore 1979, p. 101, lám. 27, figs. 2a-d.  
 Teca cilíndrica multisegmentada. Céfalos hemisférico con poros semicirculares pequeños. Se distingue por presentar un tubo apical bien desarrollado (formando un ángulo de 45 °) y una espina apical semejante a un cuerno.
- N142 *Spirocyrtis gyroscalaris* Nigrini  
*Spirocyrtis gyroscalaris* Nigrini, Benson 1966, p. 523, lám 35, figs. 14-15  
 Teca cónica o subcónica multisegmentada (6 a 7 segmentos). La porción central es cilíndrica. Presenta una espina apical corta y recta. Poros subredondeados.
- N143 *Spirocyrtis scalaris* Haeckel  
*Spirocyrtis scalaris* Haeckel, Benson 1966, p. 523, lám. 35, figs. 16-17.  
 Esta especie se diferencia de *S. gyroscalaris* por presentar poros cuadrados o rectangulares arreglados en líneas transversales.

FAMILIA PLAGONIIDAE HAECKEL 1887 EMEND. RIEDEL 1967B

- N85 *Amphiplecta cylindrocephala* Dumitrică  
*Amphiplecta cylindrocephala* Dumitrică 1972, p. 836, lám. 24, figs. 4-5.  
Se distingue claramente el céfalís y el tórax. El céfalís es largo y cilíndrico.
- N88 *Arachnocorys umbellifera* Haeckel  
*Arachnocorys umbellifera* Haeckel, Benson 1966, p. 375, lám. 24, figs. 20-21.
- N90 *Calocyclus monumentum* Haeckel  
*Calocyclus monumentum* Haeckel, Benson 1966, p. 457, lám. 31, figs. 2-3.
- N107 *Helotholus histicosa* Jörgensen  
*Helotholus histicosa* Jörgensen, Benson 1966, p. 459, lám. 31, figs. 4-8.  
Teca en forma de red con base redondeada. Se diferencia de *L. quadricuspis* por presentar poros muy grandes.
- N112 *Lampromitra quadricuspis* Haeckel  
*Lampromitra quadricuspis* Haeckel, Benson 1966, p. 455, lám. 30, fig. 11, lám. 31, fig. 1  
Teca en forma de red. Céfalís monocornis y tórax muy abierto. Los poros distalmente se hacen más grandes.
- N117 *Lithomelissa hystrix* Jörgensen  
*Lithomelissa hystrix* Jörgensen, Benson 1966, p. 363, lám. 24, figs. 6-9.
- N118 *Lithomelissa thoracites* Haeckel  
*Lithomelissa thoracites* Haeckel, Benson 1966, p. 366, lám. 24, figs. 10-12
- N122 *Lophophaenoma* sp. aff. *L. witjazii* Petrushevskaya  
*Lophophaenoma* sp. aff. *L. witjazii* Petrushevskaya, Benson 1966, p. 373, lám. 24, fig. 19.  
Se caracteriza por presentar varios cuernos en el céfalís. El cuello es conspicuo y separa el céfalís del tórax. Éste es amplio y liso.
- N124 *Peridium longispinum* Jörgensen  
*Peridium* sp, Benson 1966, p. 362, lám. 24, figs. 4-5.  
La diferencia entre esta especie y *P. spinites* es que los poros del céfalís de *P. longispinum* son largos y circulares, mientras que en *P. spinites* son rudimentarios e irregulares.
- N125 *Peridium spinites* Haeckel  
*Peridium spinites* Haeckel, Benson 1966, p. 359, lám. 23, fig. 27, lám. 24, figs. 1-3.
- N129 *Psilomelissa* sp cf. *P. galatea* Ehrenberg  
*Psilomelissa* sp cf. *P. galatea* Ehrenberg, Benson 1966, p. 371, lám. 24, figs. 16-17.
- N139 *Sethophormis aurelia* Boltovskoy, 1997.
- N140 *Sethophormis pentalactis* Haeckel  
*Sethophormis pentalactis* Haeckel, Renz 1974, p. 795, lám. 18, figs. 18a-b.
- N141 *Sethophormis* sp

FAMILIA TRISSOCYCLIDAE HAECKEL 1881, EMEND. GOLL 1968.

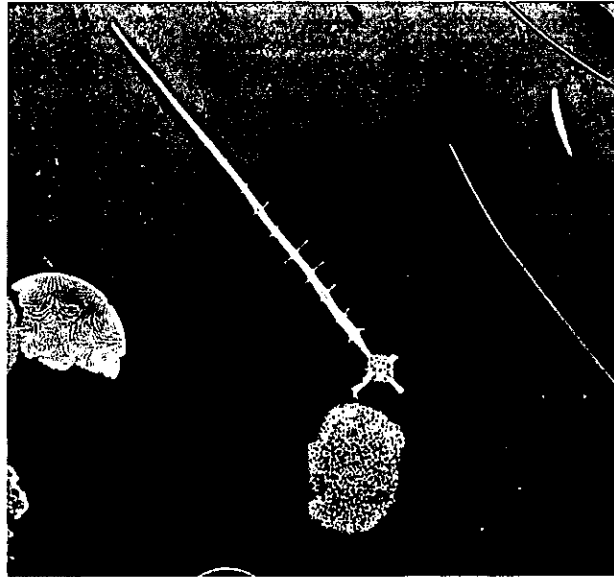
- N92 *Ceratospyris perforata*
- N94 *Clathrocircus stapedius* Haeckel  
*Clathrocircus stapedius* Haeckel, Benson 1966, p. 307, lám. 21, figs. 11-13.
- N106 *Gyraffospyris angulata* (Haeckel)  
*Gyraffospyris angulata* (Haeckel), Nigrini & Moore 1979, p. N11, lám. 19, figs. 2a-d, 3a-b.  
Teca dividida en dos por una barra o anillo sagital.
- N115 *Liriospiris reticulata* (Ehrenberg)  
*Liriospiris reticulata* (Ehrenberg), Nigrini & Moore 1979, p. N13, lám. 19, figs. 4a-b.
- N121 *Lophospyris pentagona pentagona* (Ehrenberg) emend. Goll  
*Lophospyris pentagona pentagona* (Ehrenberg) emend. Goll, Nigrini & Moore 1979, p. N15, lám. 19, fig. 5  
Se distingue por presentar grandes poros de forma poligonal.
- N123 *Nephrodictyum renilla* (Haeckel)  
*Nephrodictyum renilla* (Haeckel), Renz 1974, p. 794, lám. 19, fig. 6.
- N126 *Phormospyris stabilis* (Goll) *capoi* Goll  
*Phormospyris stabilis* (Goll) *capoi* Goll 1976, p. 392, lám. 5, figs. 1-2.  
Céfalis bilobulado. Poros reticulares, subcirculares e iguales en tamaño. Presenta una espina apical y un par de espinas simétricamente bilaterales.
- N127 *Phormospyris stabilis* (Goll) *scaphipes* (Haeckel)  
*Phormospyris stabilis* (Goll) *scaphipes* (Haeckel), Nigrini & Moore 1979, p. N19, lám. 20, figs. 2a-d.
- N128 *Phormospyris stabilis stabilis* (Goll)  
*Phormospyris stabilis stabilis* (Goll), Goll 1976, p. 390, láms. 1 y 2, figs. 7-14.  
A diferencia de *P. stabilis capoi*, esta especie no presenta espinas y el tórax es cónico.
- N148 *Tholospyris devexa* Goll  
*Tholospyris devexa* Goll 1969, p. 326, lám. 57, figs 9,10, 13, 14.
- N149 *Tholospyris kantiana* (Haeckel)  
*Tholospyris kantiana* (Haeckel), Benson, 1966, p. 366, lám 23, figs. 10-12.
- N150 *Tholospyris procera*  
*Tholospyris procera* Goll, Nigrini & Moore 1979, p. 21, lám. 20, figs. 3a-b.
- N152 *Zigocircus productus* (Hertwig)  
*Zigocircus productus* (Hertwig), Benson 1966, p. 288, lám. 19, figs. 14-15.  
Teca en forma de anillo. El contorno es ovoide y se pueden observar espinas.

FAMILIA THEOPERIDAE HAECKEL 1881, EMEND. RIEDEL 1967B

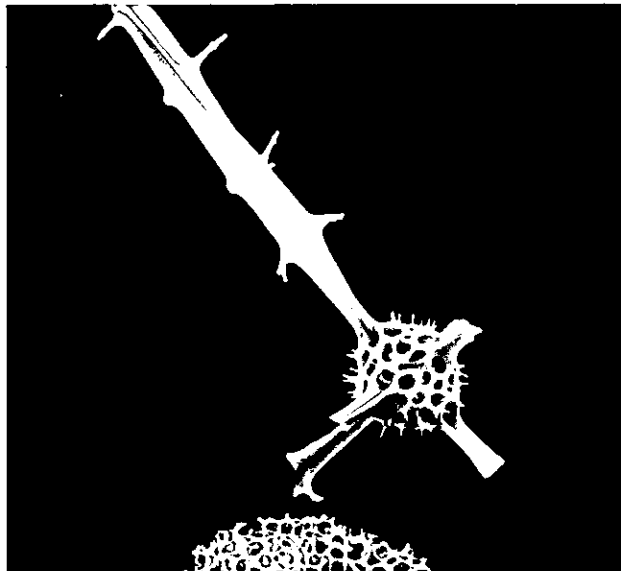
- N91 *Callimitra emmae* Haeckel  
*Callimitra emmae* Haeckel, Benson 1966, p. 390, lám. 25, fig. 12.
- N97 *Cornutella profunda* Ehrenberg  
*Cornutella profunda* Ehrenberg, Benson 1966, p. 430, lám. 29, figs. 7-8.
- N93 *Cladosecenium* sp cf. *C. tricolpum* (Haeckel)  
*Cladosecenium* sp cf. *C. tricolpum* (Haeckel), Benson 1966, p. 387, lám. 25, figs. 10-11.
- N96 *Clathrocanium* sp cf. *C. coronatum* Popofsky  
*Clathrocanium* sp cf. *C. coronatum* Popofsky, Benson 1966, p. 394, lám. 26, figs. 1-2
- N95 *Clathrocorys murrayi* Haeckel  
*Clathrocorys murrayi* Haeckel, Benson 1966, p. 391, lám. 25, figs. 13-15.
- N98 *Dictyophimus infabricatus* Nigrini  
*Dictyophimus infabricatus* Nigrini, Nigrini & Moore 1979, p. N37, lám. 22, fig. 5.
- N100 *Dictyophimus platycephalus* Haeckel  
*Dictyophimus platycephalus* Haeckel, Benson 1966, p. 385, lám. 25, figs. 7-9.
- N99 *Dictyophimus* sp cf. *D. tripus*, Haeckel  
*Dictyophimus* sp cf. *D. tripus*, Haeckel, Benson 1966, p. 380, lám. 25, figs. 2-3.
- N101 *Euceryphalus cervus* (Ehrenberg)  
*Euceryphalus cervus* (Ehrenberg), Benson 1966, p. 447, lám. 30, figs. 3-5.
- N102 *Euceryphalus* sp Benson  
*Euceryphalus* sp, Benson 1966, p. 450, lám. 30, figs.6-7.
- N103 *Eucyrtidium hexagonatum* Haeckel  
*Eucyrtidium hexagonatum* Haeckel, Nigrini & Moore 1979, p. N63, lám. 24, figs. 4a-b.
- N104 *Eucyrtidium hexastichum* (Haeckel)  
*Eucyrtidium hexastichum* (Haeckel), Renz 1974, p. 792, lám. 16, fig. 6.
- N105 *Eucyrtidium infundibulum* (Haeckel)  
*Eucyrtidium infundibulum* (Haeckel), Benson 1966, p. 502, lám. 34, figs. 10-12.
- N113 *Lipmanella dictyoceras* (Haeckel)  
*Lipmanella dictyoceras* (Haeckel), Benson 1966, p. 417, lám.28, figs. 8-10.
- N114 *Lipmanella tribranchiata* Dumitrică  
*Lipmanella tribranchiata* Dumitrică 1972, p. 840, lám. 25, figs. 3-5.

- N116 *Litharachnium tentorium* Haeckel  
*Litharachnium tentorium* Haeckel, Benson 1966, p. 427, lám. 29, figs. 5-6.
- N119 *Lithostrobos hexagonalis* Haeckel  
*Lithostrobos hexagonalis* Haeckel, Benson 1966, p. 508, lám. 35, figs. 1-2.  
Teca cónica o cilíndrica. El céfalos es pequeño y presenta dos cuernos. Los poros del tórax son subcirculares. Se distingue por presentar espinas que se proyectan desde el contorno de cada segmento.
- N120 *Lophocorys polycantha* Popofsky  
*Lophocorys polycantha* Popofsky, Benson 1966, p. 494, lám. 34, figs. 1-3.
- N130 *Pseudodyctiophimus gracilipes* (Bailey)  
*Pseudodyctiophimus gracilipes* (Bailey), Benson 1966, p. 382, lám. 25, figs. 4-6.
- N131 *Pterocanium bicorne* Haeckel  
*Pterocanium bicorne* Haeckel, Renz 1974, p. 795, lám. 17, fig. 6.  
Céfalos con dos espinas largas separado del tórax por un cambio en el contorno. El tórax es subpiramidal con poros subpoligonales. Se diferencia de *Dictyophimus infabricatus* porque tiene un peristoma bien definido.
- N132 *Pterocanium cf. elegans* (Haeckel)  
*Pterocanium cf. elegans* (Haeckel), Benson 1966, p. 403, lám. 27, figs. 1-2.
- N133 *Pterocanium praetextum* (Ehrenberg) *eucolpum* Haeckel  
*Pterocanium praetextum* (Ehrenberg) *eucolpum* Haeckel, Nigrini & Moore 1979, p. N43, lám. 23, fig. 3.
- N134 *Pterocanium praetextum praetextum* (Ehrenberg)  
*Pterocanium praetextum praetextum* (Ehrenberg), Nigrini & Moore 1979, p. N41, lám. 23, fig. 2.  
Esta especie se distingue de *P. praetextum eucolpum* porque los pies son paralelos al tórax.
- N135 *Pterocanium trilobum* (Haeckel)  
*Pterocanium trilobum* (Haeckel), Nigrini & Moore 1979, p. N45, lám. 23, figs. 4a-c.  
Se caracteriza por presentar una espina apical que es al menos tres veces el tamaño del céfalos.
- N145 *Theocalyptra bicornis* (Popofsky)  
*Theocalyptra bicornis* (Popofsky), Nigrini & Moore 1979, p. N. 53, lám. 24, fig. 1
- N147 *Theopilium tricostatum* Haeckel  
*Theopilium tricostatum* Haeckel, Benson 1966, p. 444, lám. 30, figs. 1-2.
- N151 *Verticillata hexacantha* Popofsky  
*Verticillata hexacantha* Popofsky, Benson 1966, p. 397, lám. 26, fig. 3.

## Familia Collosphaeridae

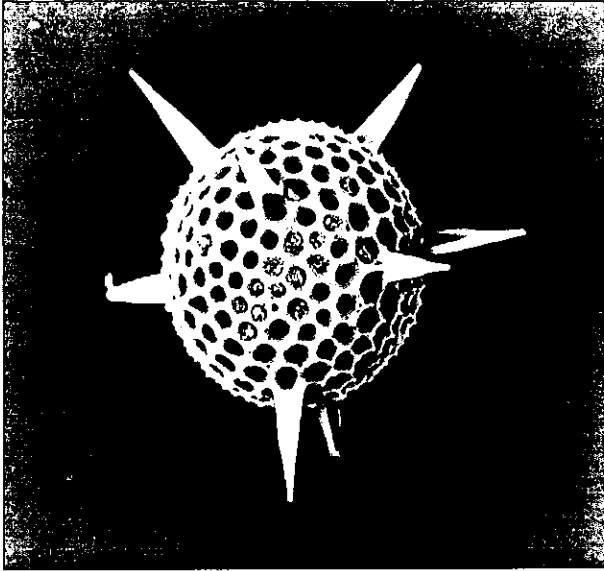


*Anomalacantha dentata* 100X

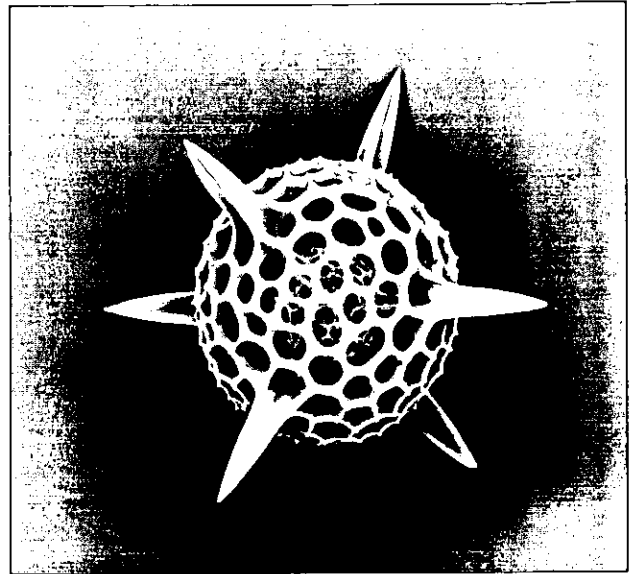


*Anomalacantha dentata* 400X

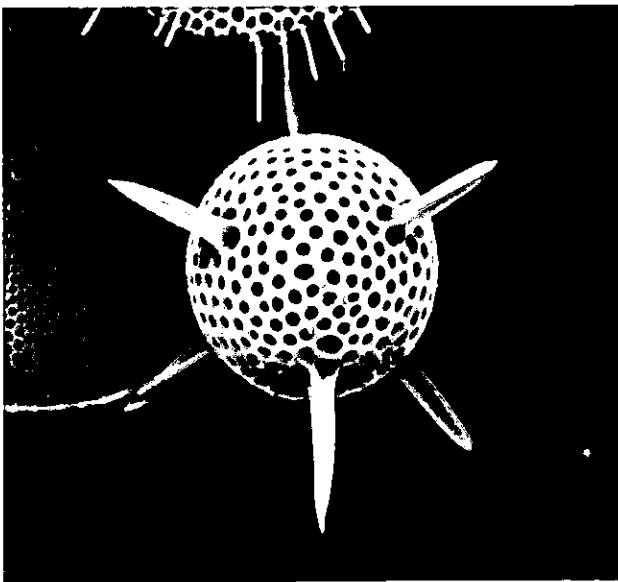
Familia Actinommiidae



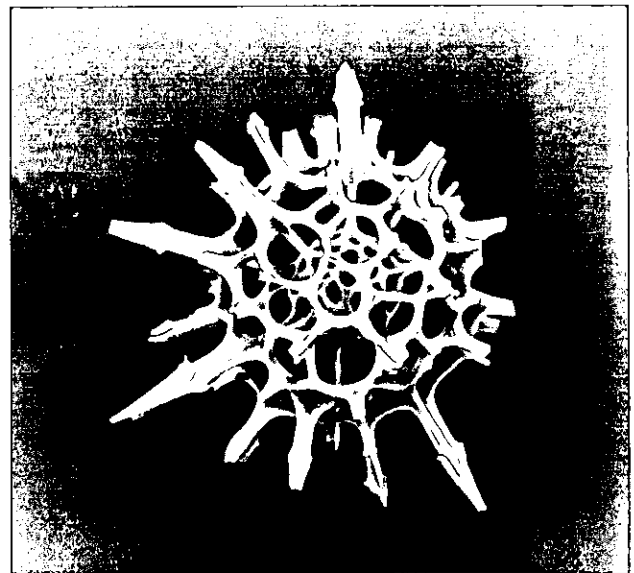
*Echinomma delicatum* 370X



*Hexacontium enthacanthum* 360X

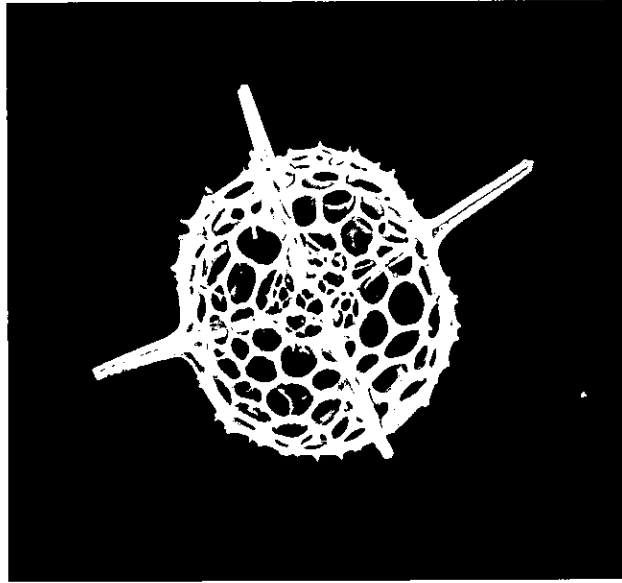


*Hexacontium laevigatum* 390X

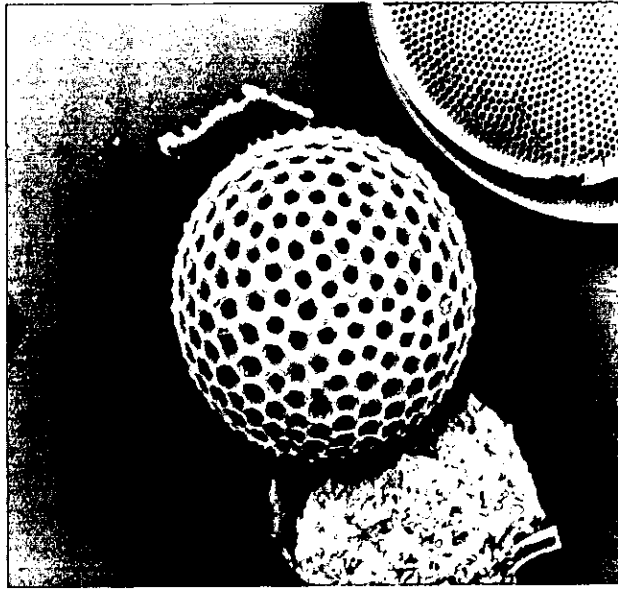


*Prunopyle antarctica* 440X



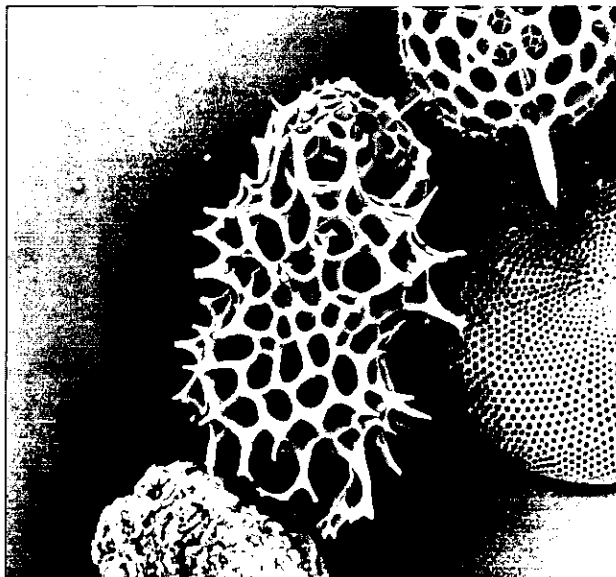


*Stylacontarium bispiculum* 350X



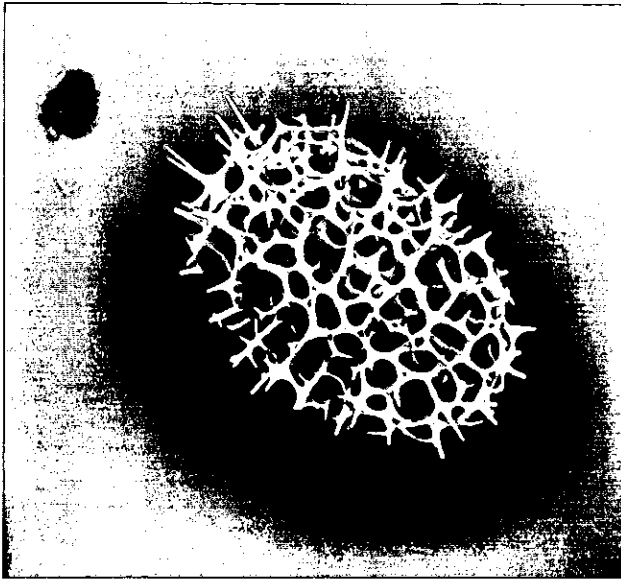
*Thecosphaera* sp

## Familia Coccodiscidae

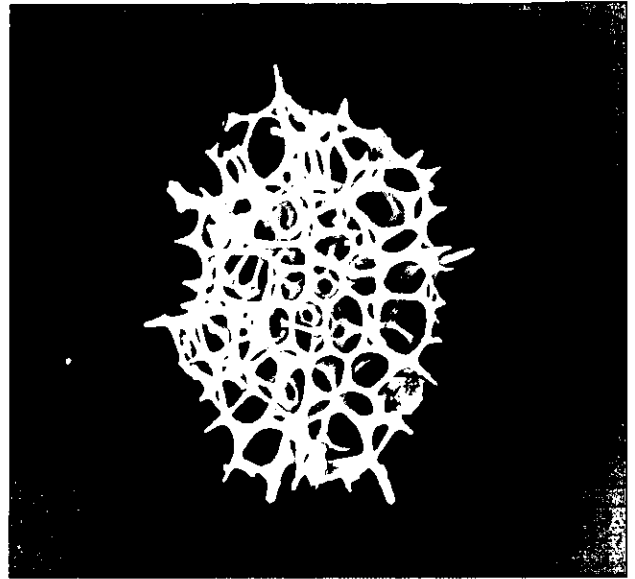


*Didymocyrtis tetralthalamus* 320X

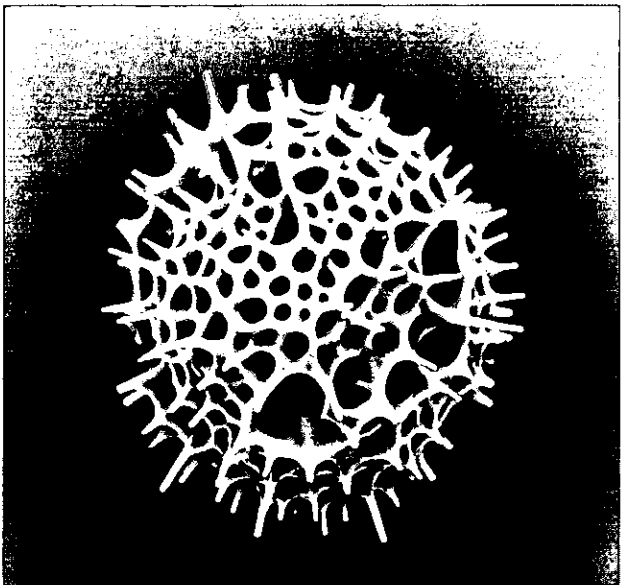
Familia Litheliidae



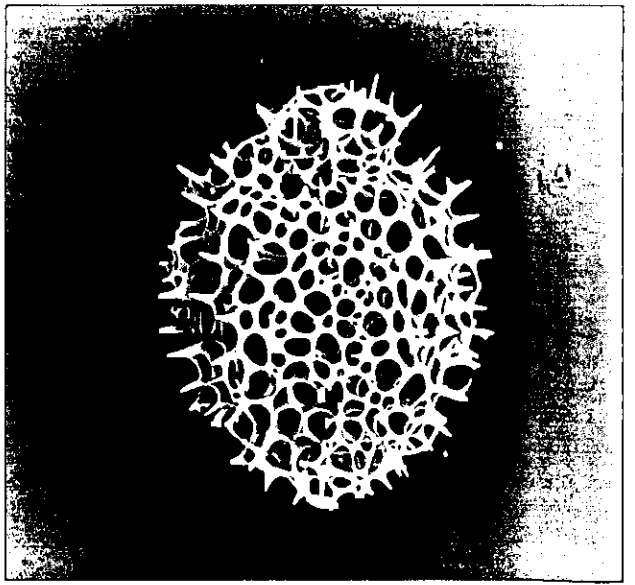
*Larcopyle butschlii* 330X



*Larcospira* sp 370X

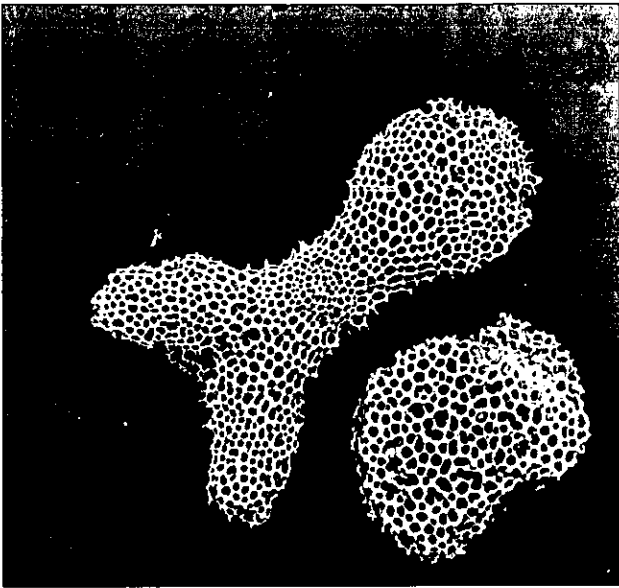


*Pylospira octopyle* 500X

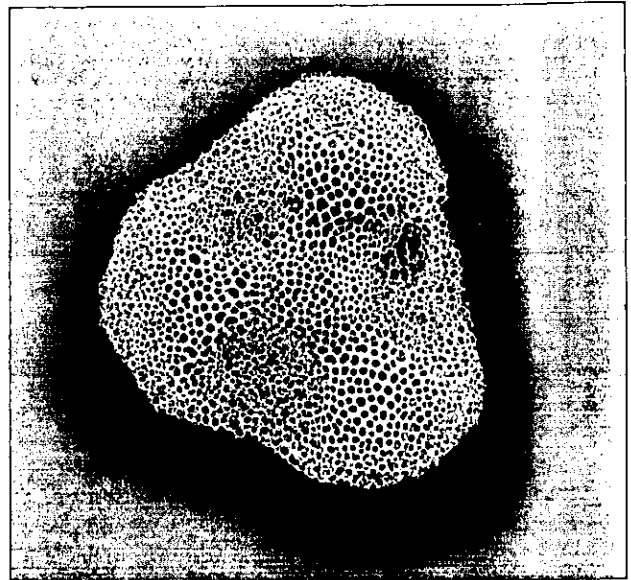


*Pylospira* sp 340X

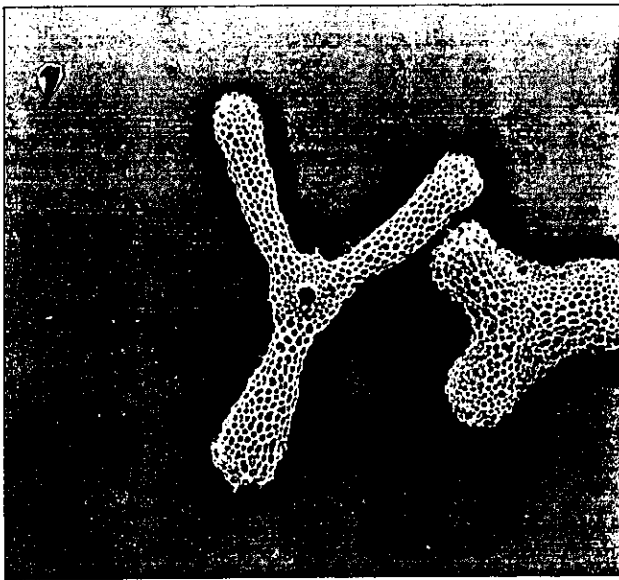
## Familia Spongodiscidae



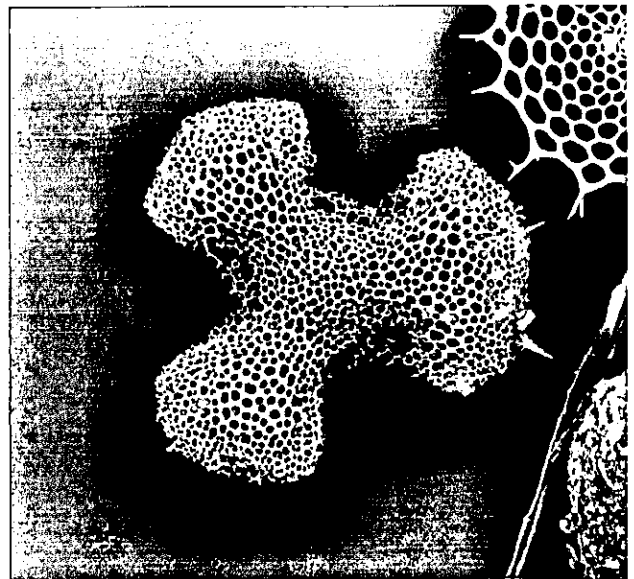
*Amphipalium ypsilon* 200X



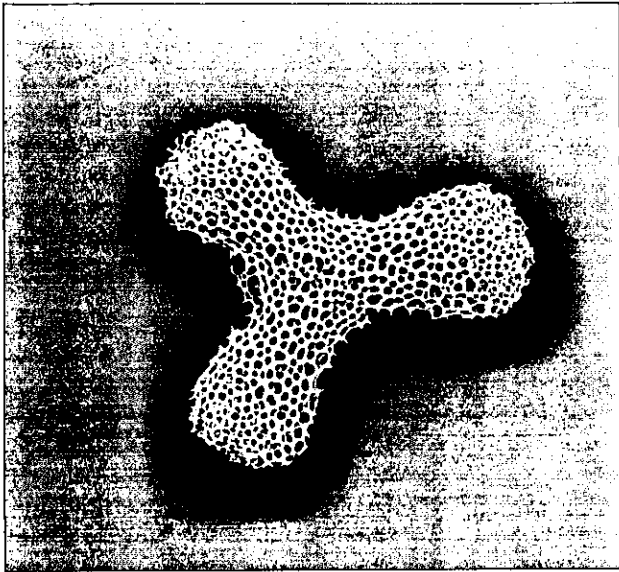
*Dictyocoryne truncatum* 200X



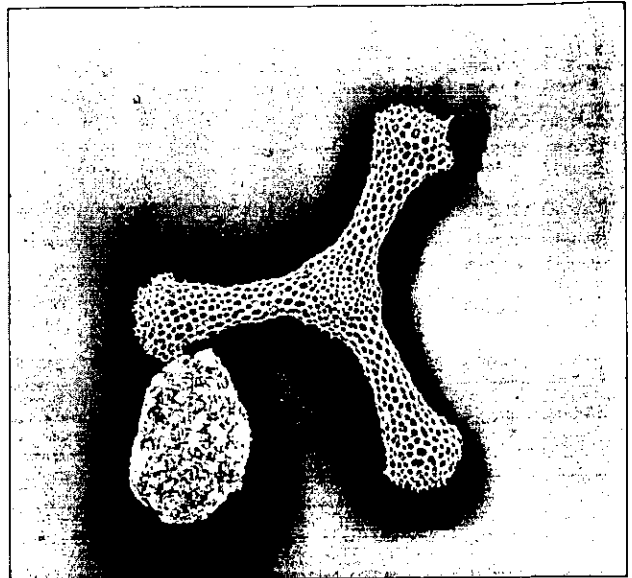
*Euchitonia furcata* 145X



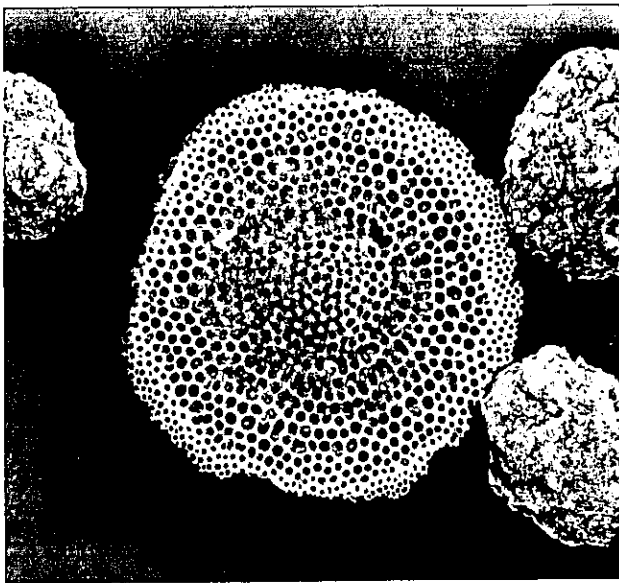
*Euchitonia triangulum* 200X



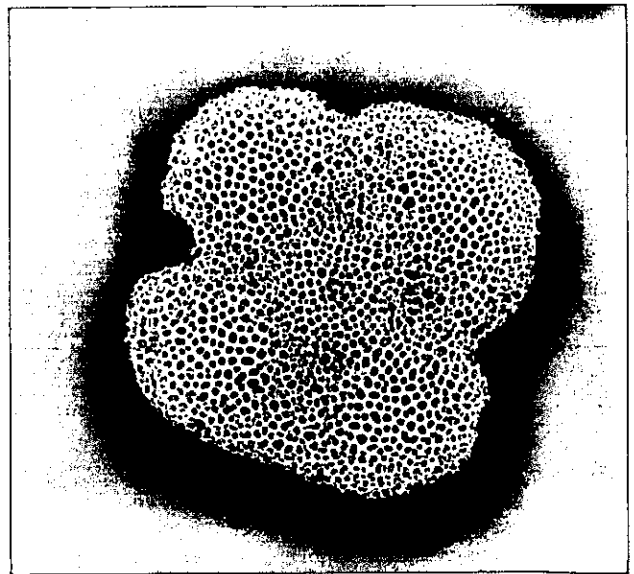
*Euchitonia* sp 220X



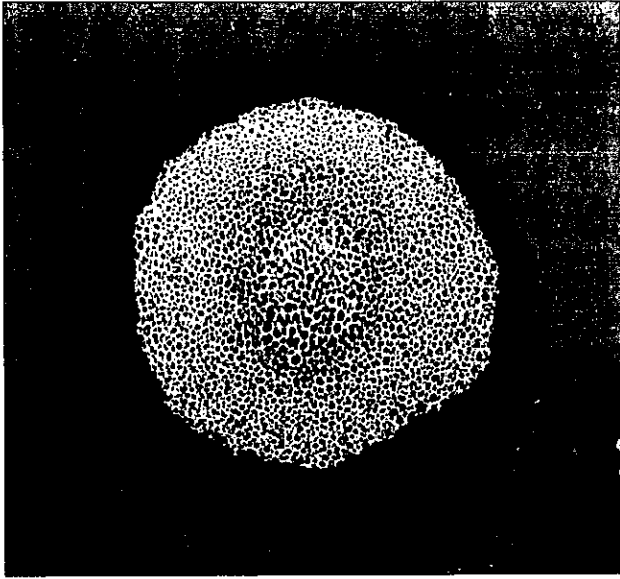
*Hymeniastrum euclidis* 180X



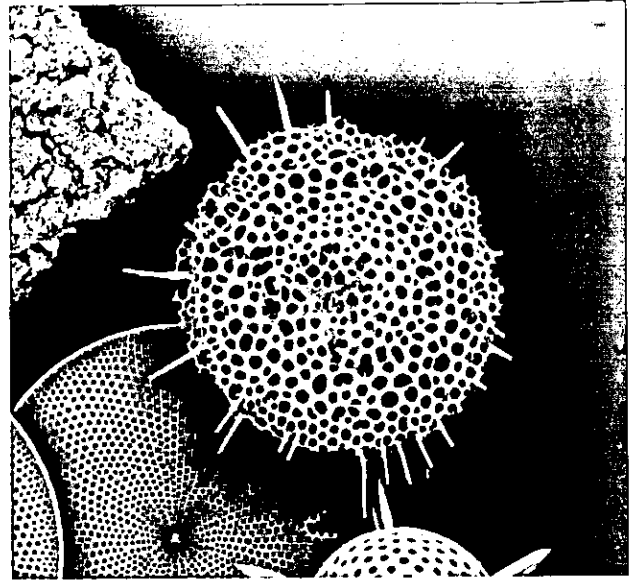
*Porodiscus* sp B 240X



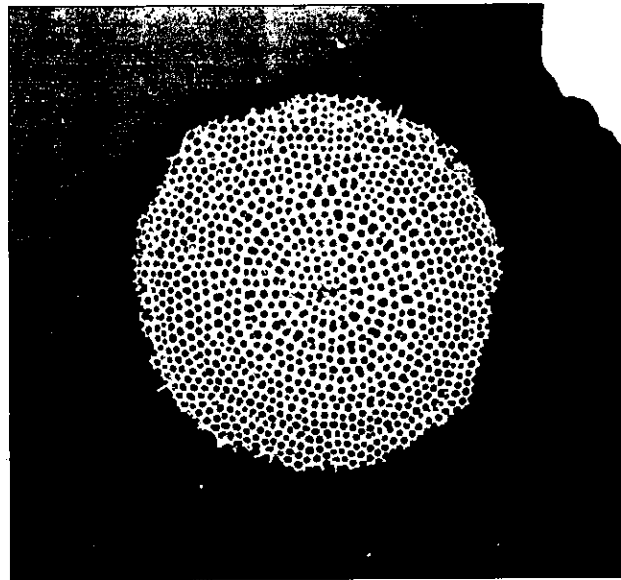
*Spongaster tetras tetras* 190X



*Spongodiscus americanus* 190X

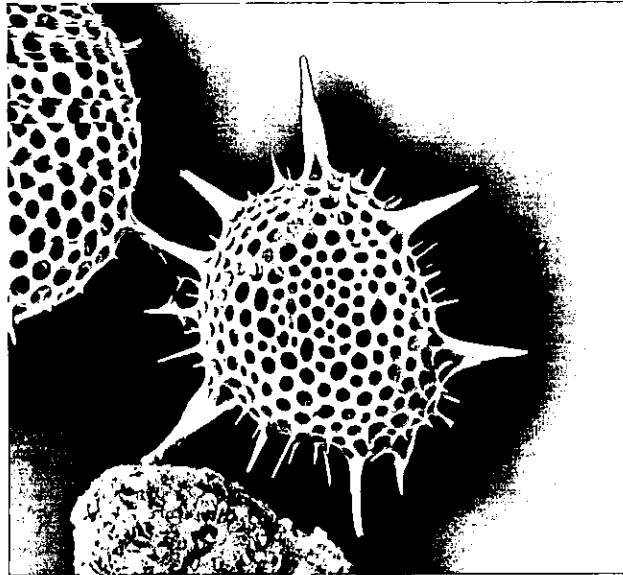


*Spongotrochus glacialis* 310X

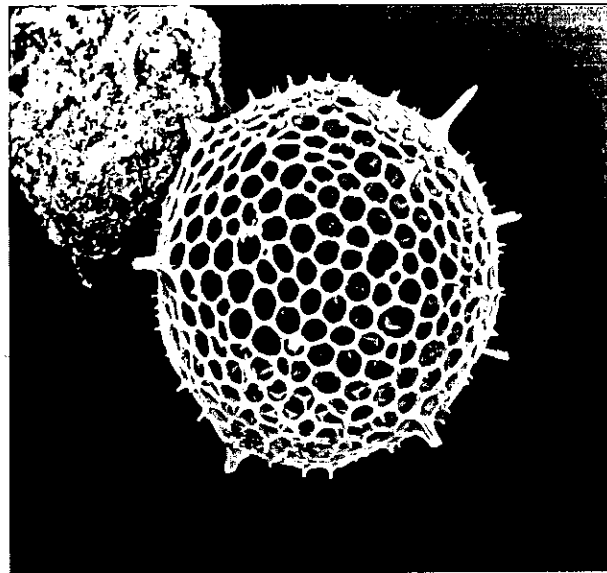


*Stylodictya aculeata* 310X

## Familia Phacodiscidae

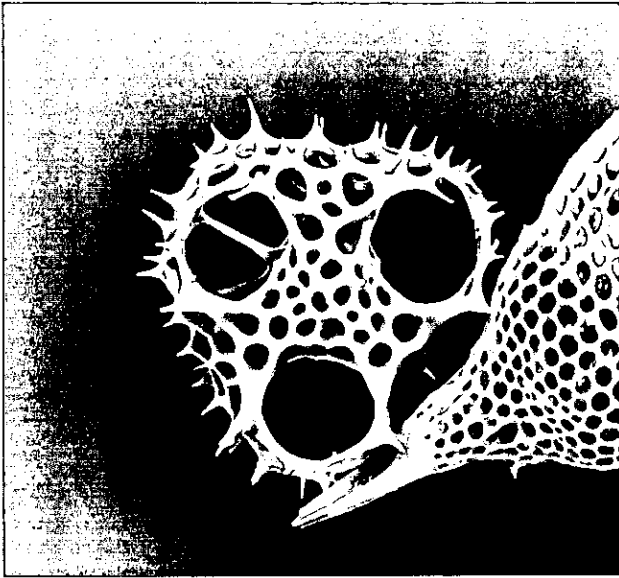


*Heliodiscus echiniscus* 300X

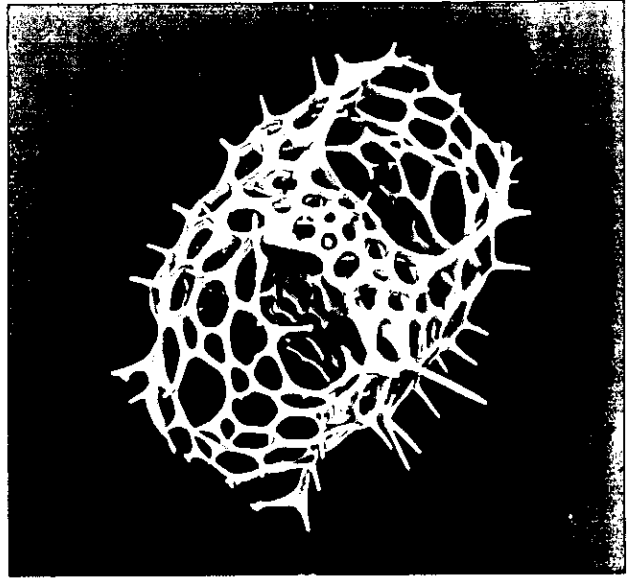


*Heliosphaera radiata* 360X

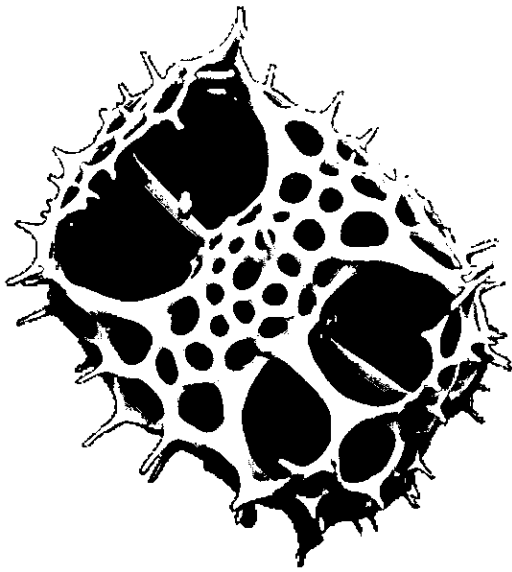
## Familia Pylonidae



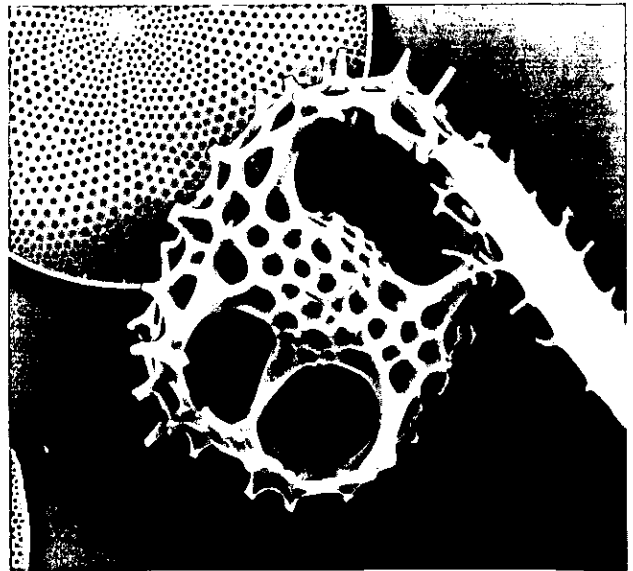
*Hexapyle dodecantha* 350X



*Tetrapyle octacantha* 410X



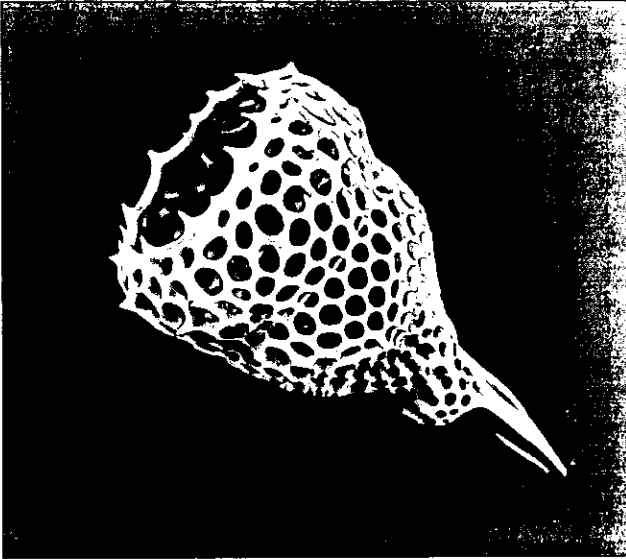
*Tetrapyle octacantha* 320X



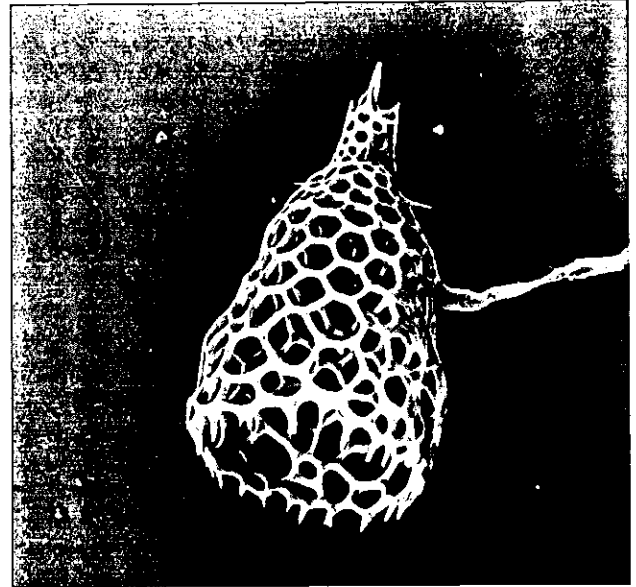
*Tetrapyle octacantha* 300X



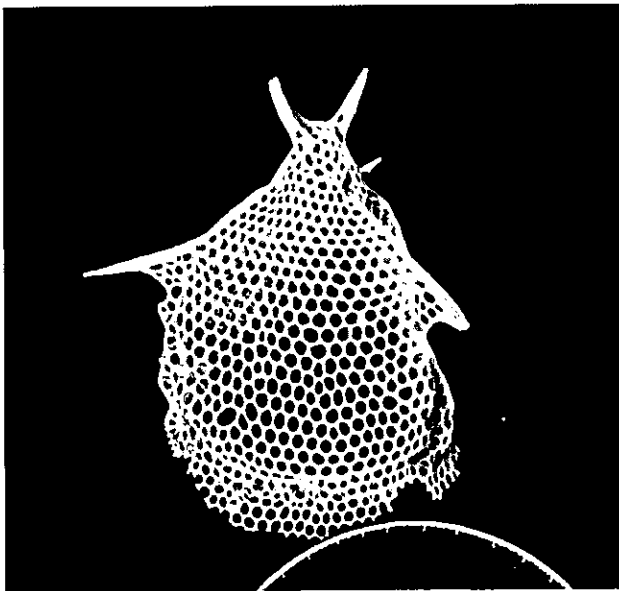
Familia Pterocorythidaedae



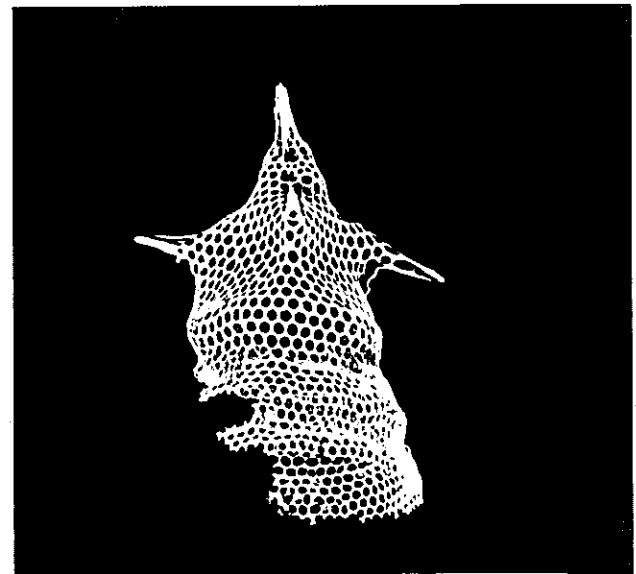
*Lamprocyclas maritalis maritalis* 350X



*Lamprocyrtis nigrinae* 310X

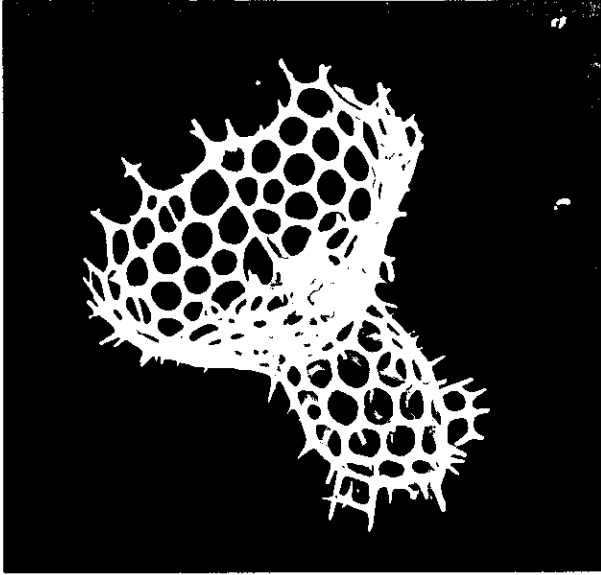


*Stichopilium bicorne* 390X

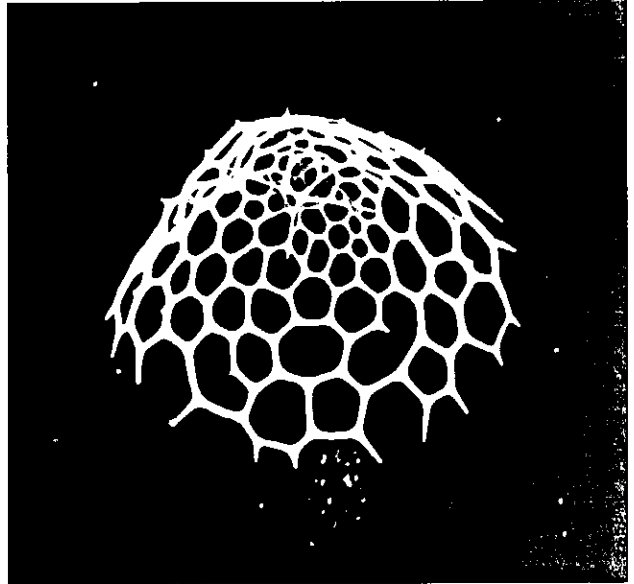


*Stichopilium bicorne* 300X

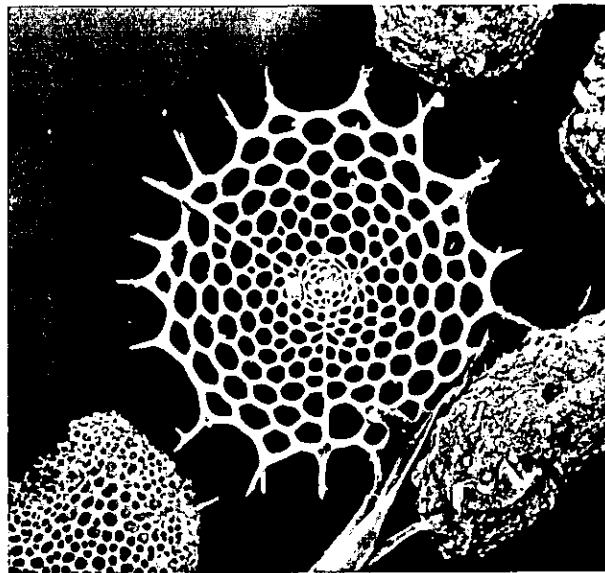
Familia Plagoniidae



*Amphiplecta cylindrocephala* 410X

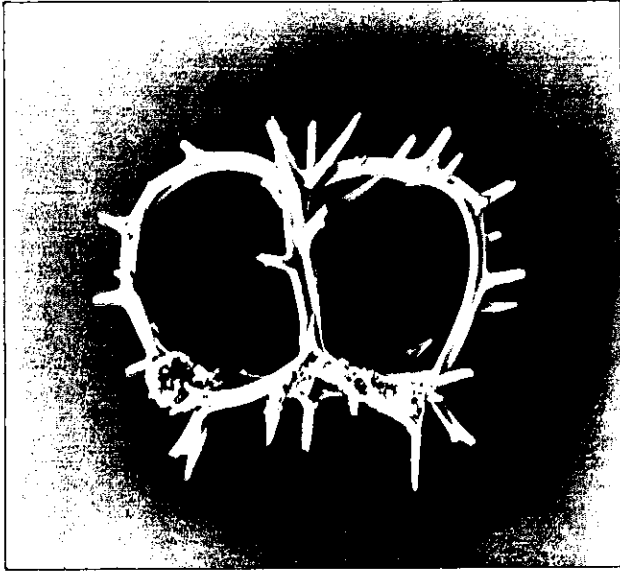


*Helotholus histricosa* 270X

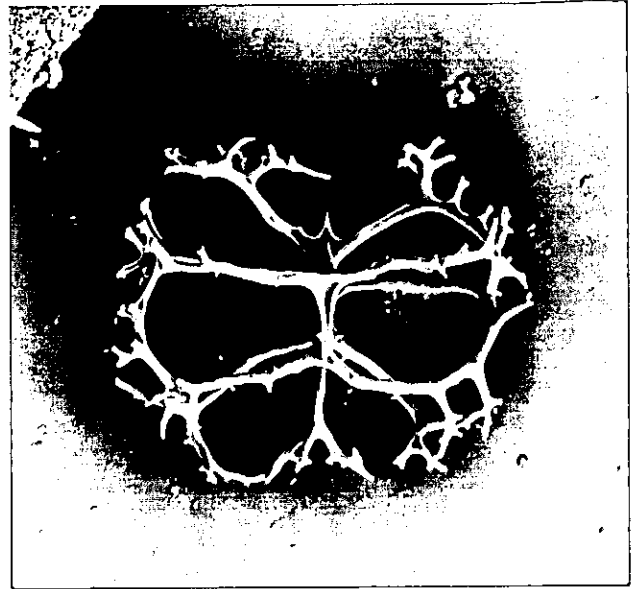


*Lampromitra quadricuspis* 240X

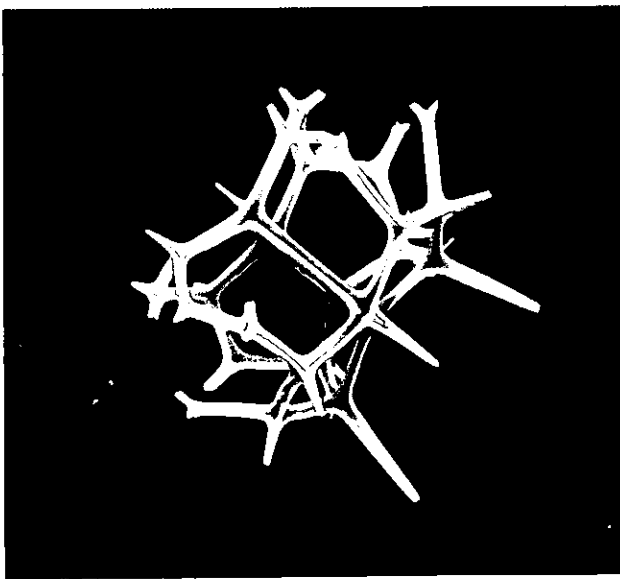
Familia Trissocyclidae



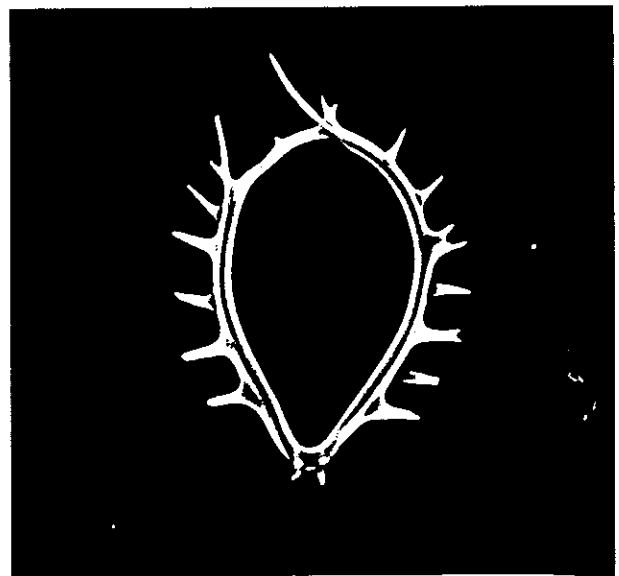
*Gyraffospyris angulata* 360X



*Liriospiris reticulata* 200X

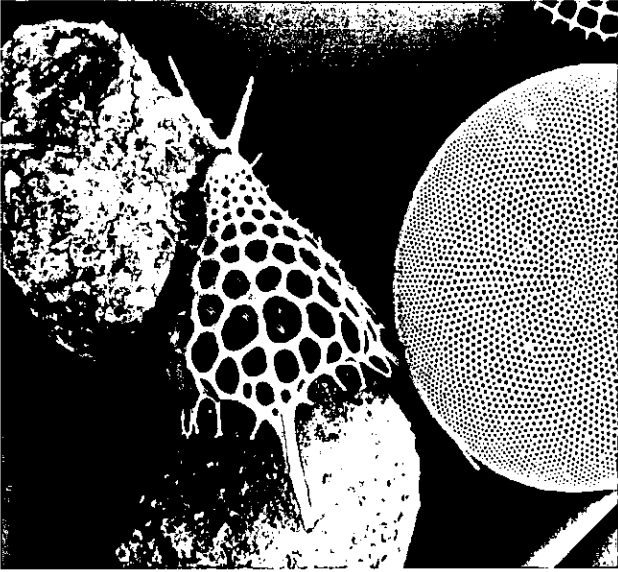


*Lophospyris pentagona pentagona* 400X

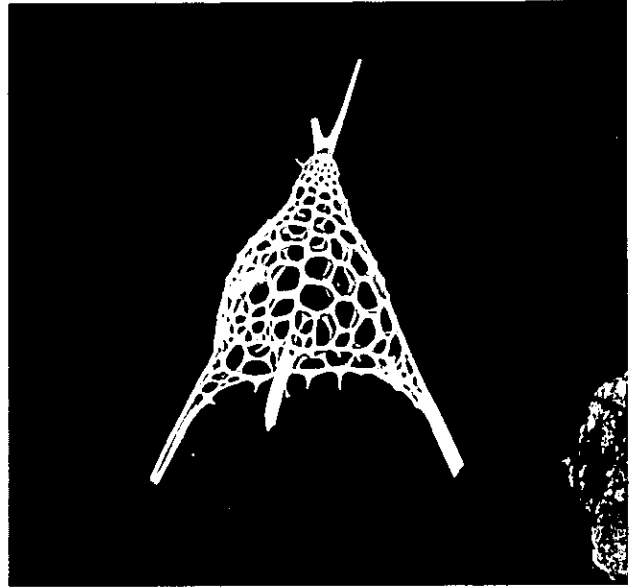


*Zigocircus productus* 290X

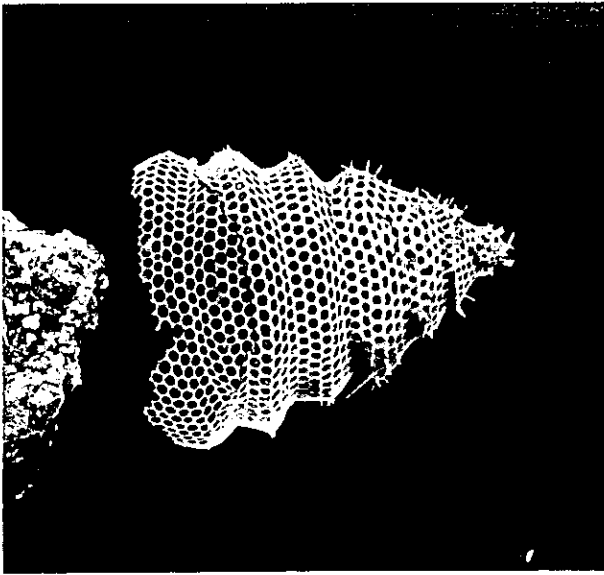
## Theoperidae



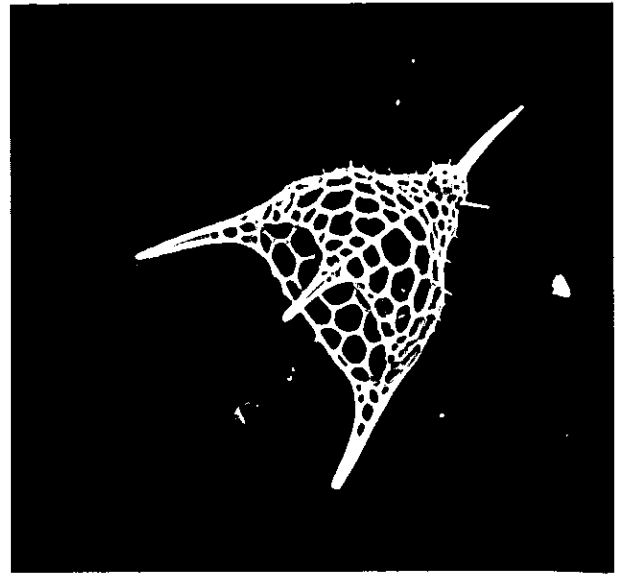
*Dictyophimus infabricatus*



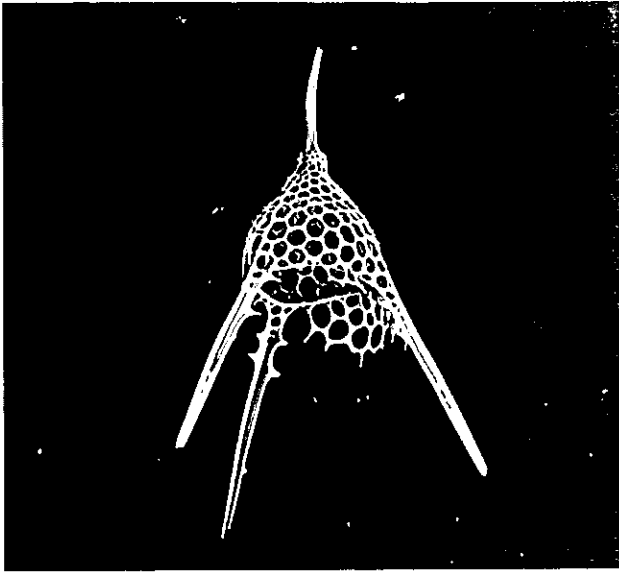
*Dictyophimus infabricatus* 250X



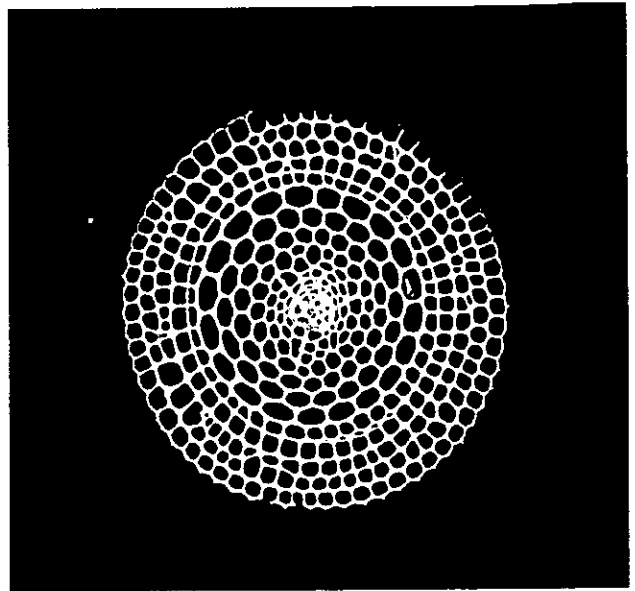
*Lithostrobus hexagonalis* 220X



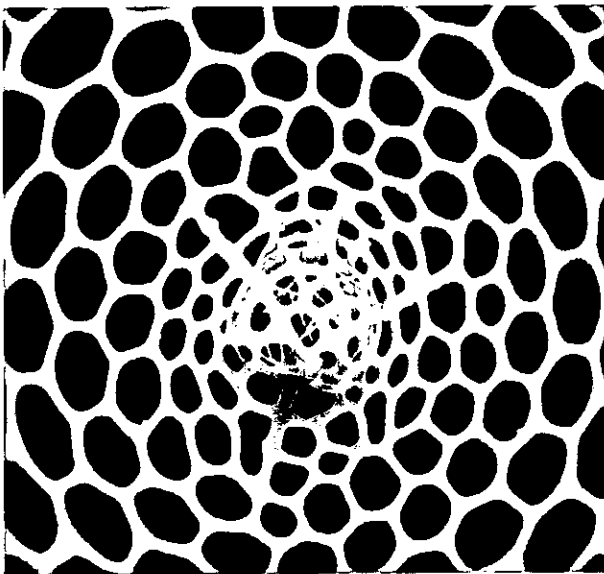
*Pterocanium trilobum* 300X



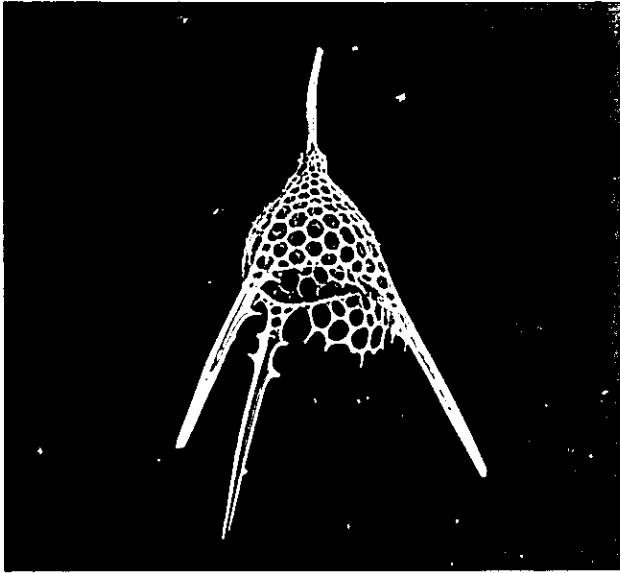
*Pterocanium trilobum* 200X



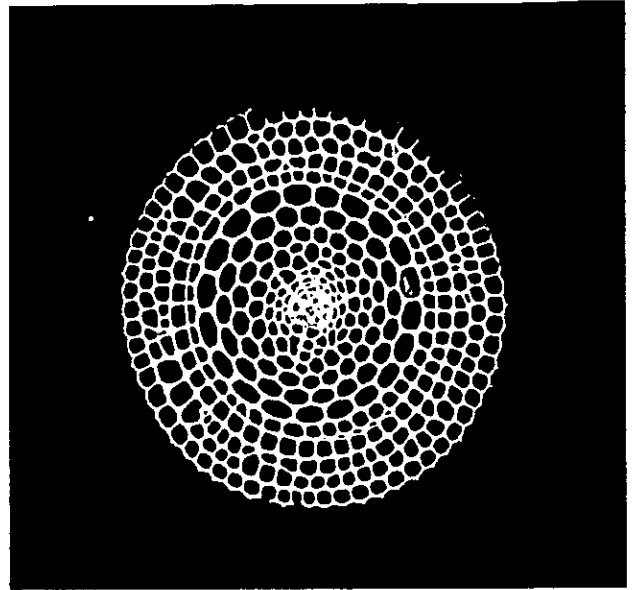
*Theopilium tricostatum* 300X



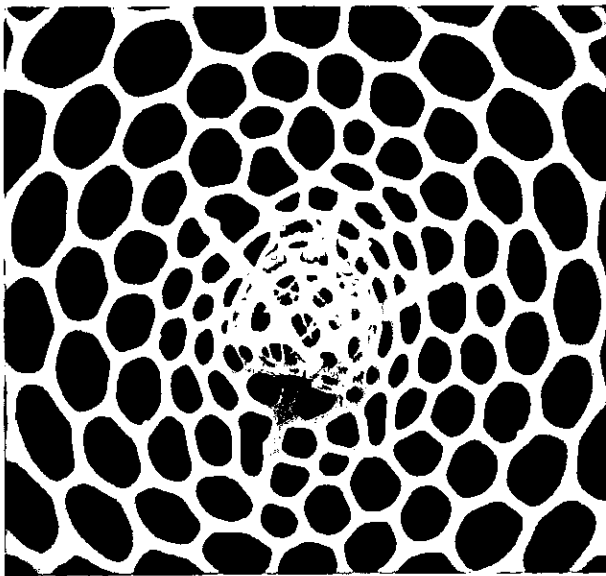
*Theopilium tricostatum* 1000X



*Pterocanium trilobum* 200X



*Theopilium tricostatum* 300X

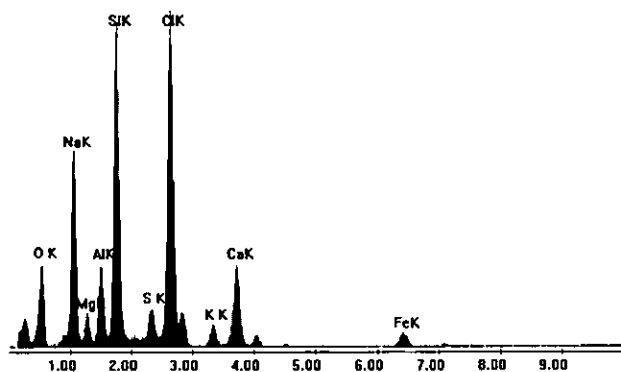


*Theopilium tricostatum* 1000X

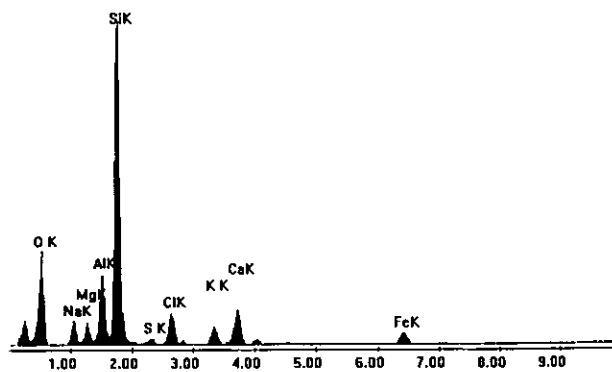
*APÉNDICE 4.*

ESPECTROS DE LOS MICROANÁLISIS POR RAYOS X,  
DE LA COMPOSICIÓN ELEMENTAL DE LOS SEDIMENTOS  
LAMINADOS DEL NÚCLEO **BAP96J-CP**

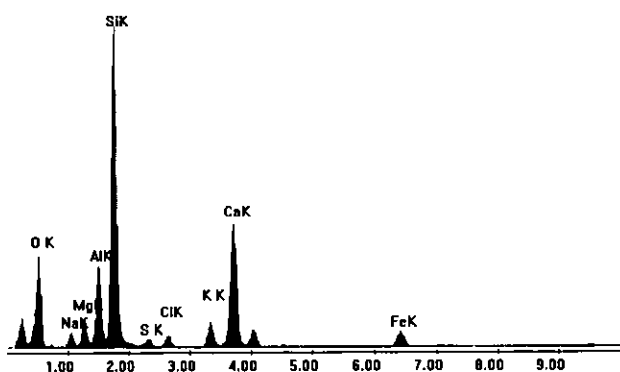
BAP96J - CP1-7.2-7.5



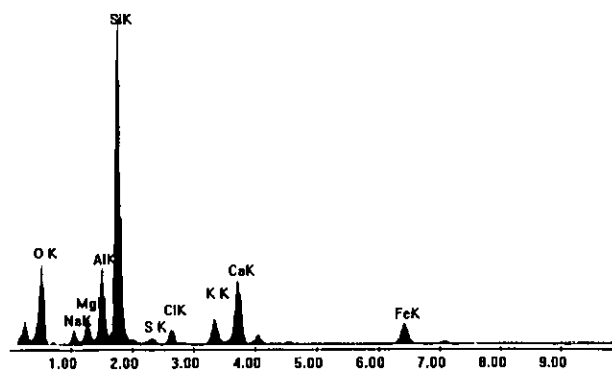
BAP96J - CP2-7.5-7.8



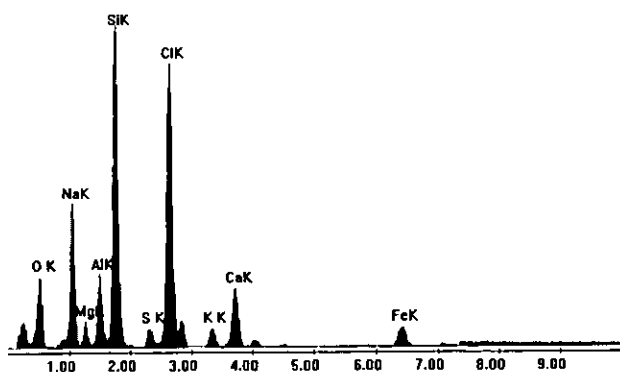
BAP96J - CP3-23.4-23.7



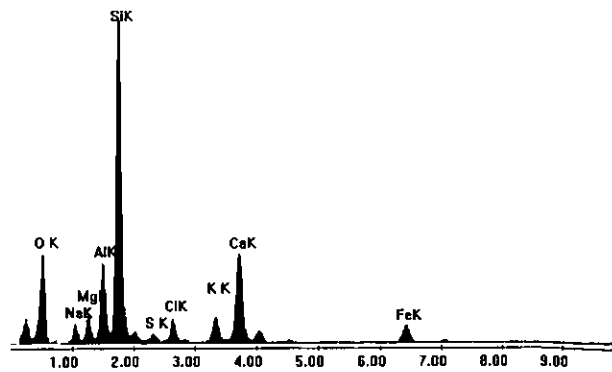
BAP96J - CP4-23.7-24.0



BAP96J - CP5-38.4-38.6

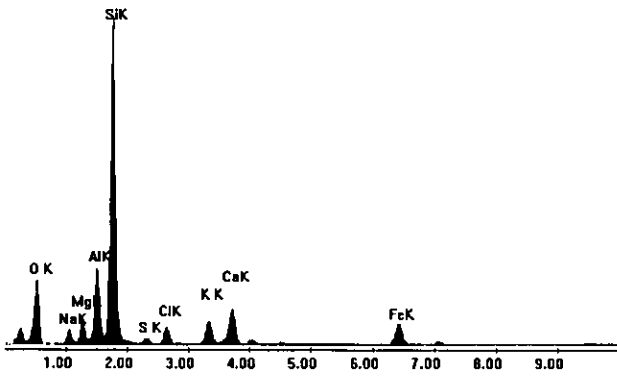


BAP96J - CP6-38.6-39.0

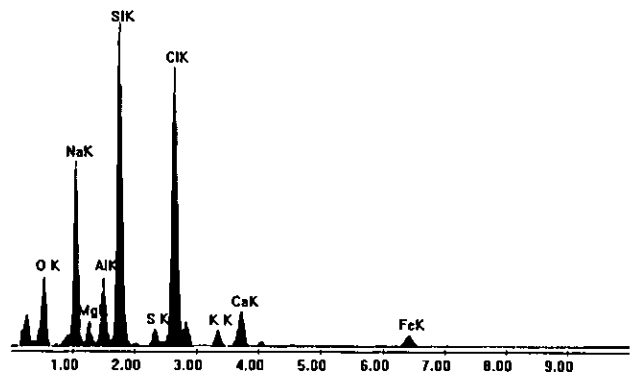




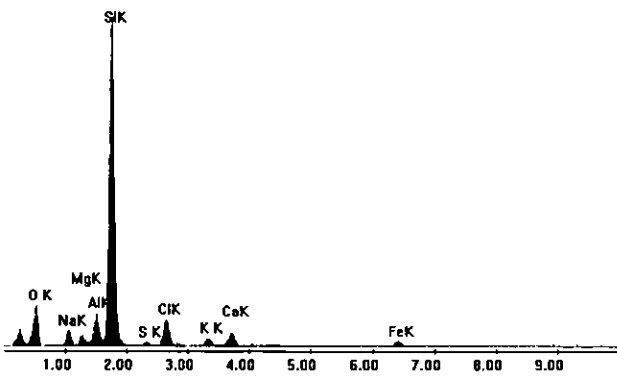
BAP96J - CP7-47.7-48.0



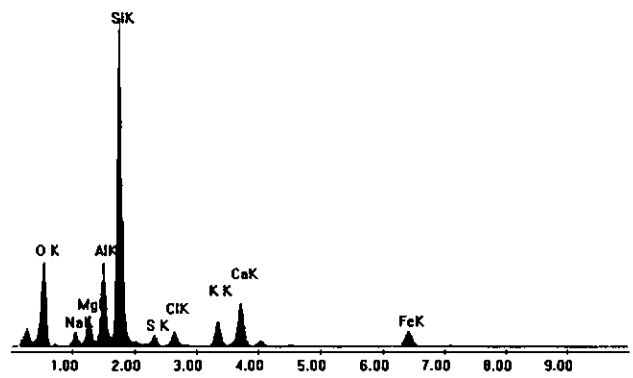
BAP96J - CP8-48.0-48.2



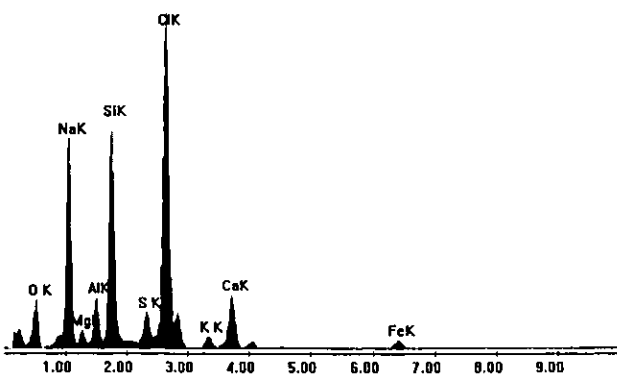
BAP96J - CP9-62.7-69.2



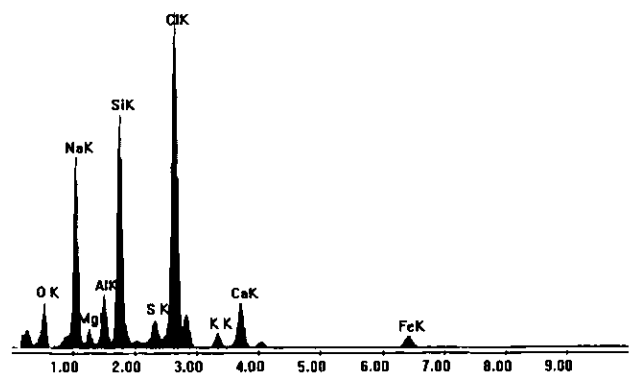
BAP96J - CP10-63.0-63.3



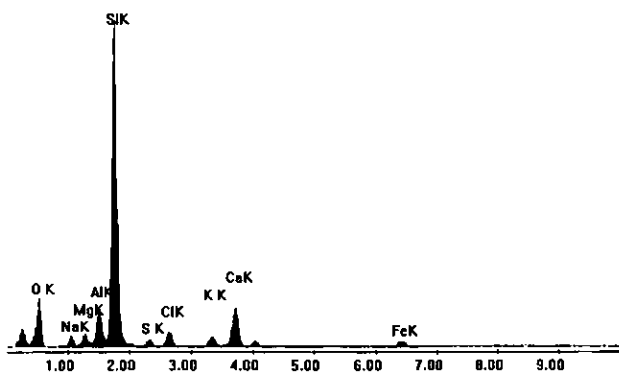
BAP96J - CP11-66.7-66.9



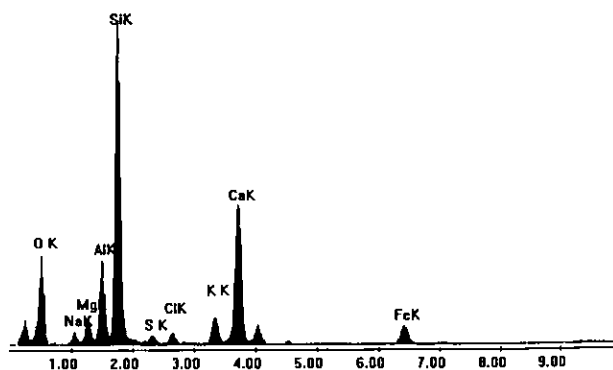
BAP96J - CP12-67.0-67.2



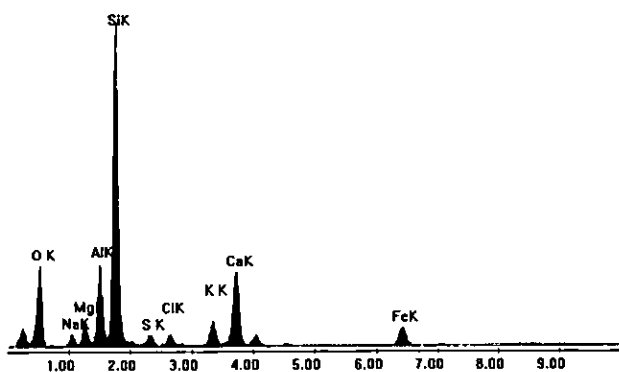
BAP96J - CP13-76.5-76.7



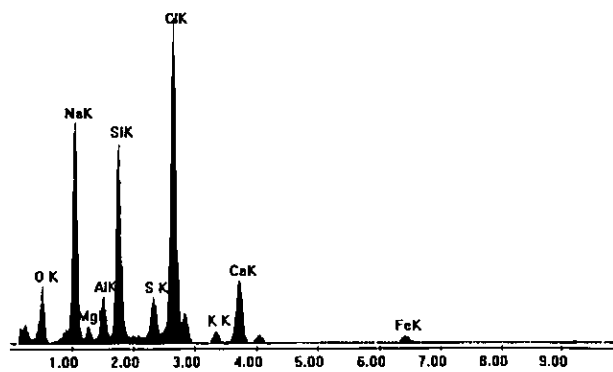
BAP96J - CP14-76.9-77.2



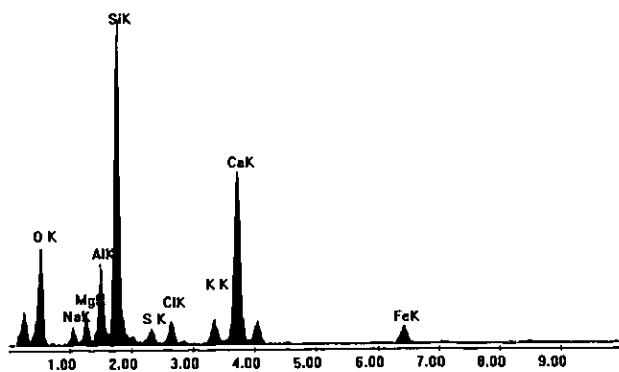
BAP96J - CP15-93.1-93.3



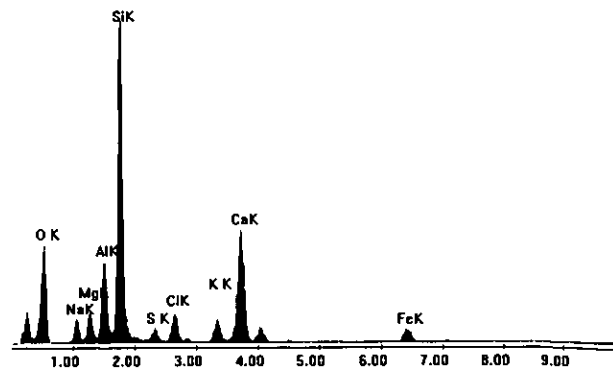
BAP96J - CP16-93.3-93.7



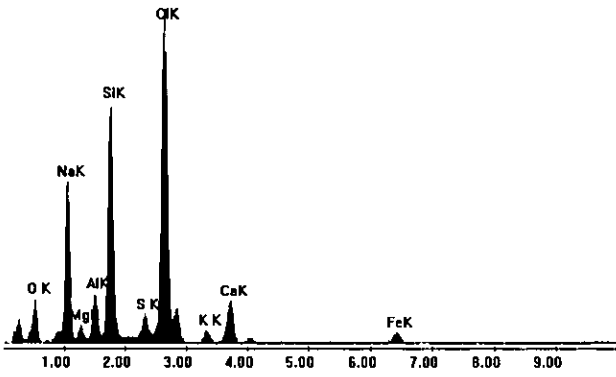
BAP96J - CP17-108.9-109.1



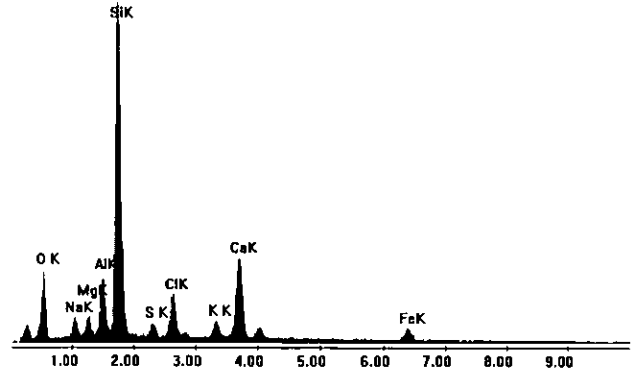
BAP96J - CP19-109.5-109.8



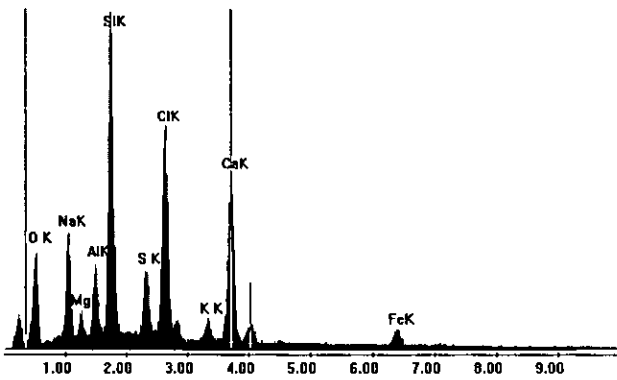
BAP96J - CP20-109.8-110.1



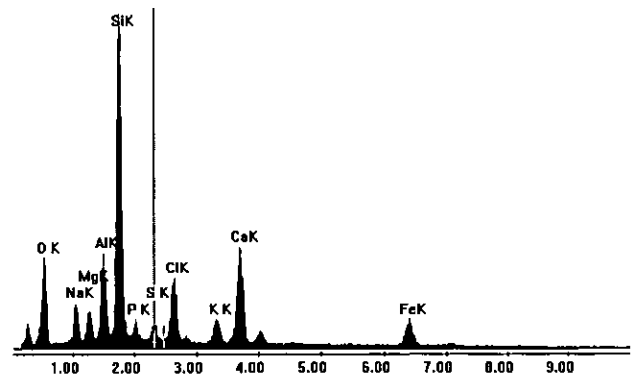
BAP96J - CP21-12.7-121.9



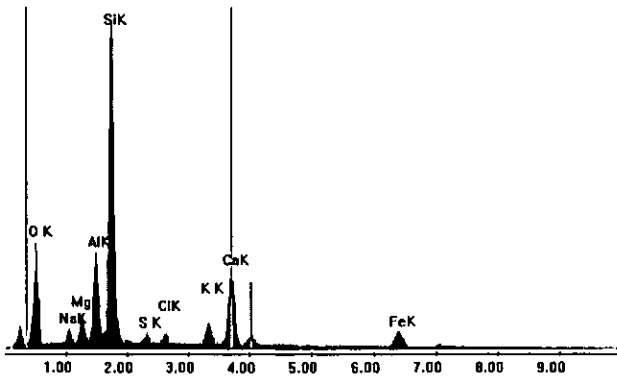
BAP96J - CP22-122.2-122.5



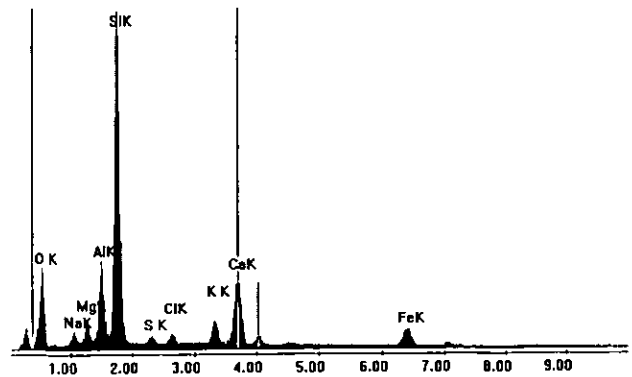
BAP96J - CP23-145.5-145.8



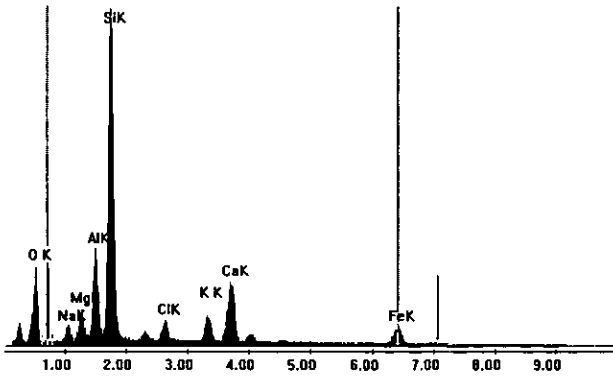
BAP96J - CP24-152.8-153.1



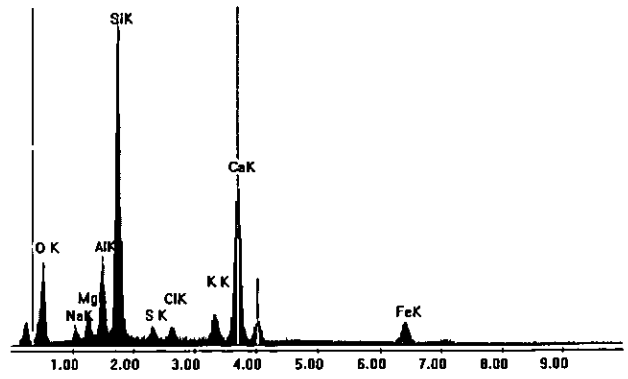
BAP96J - CP25-160.1-160.3



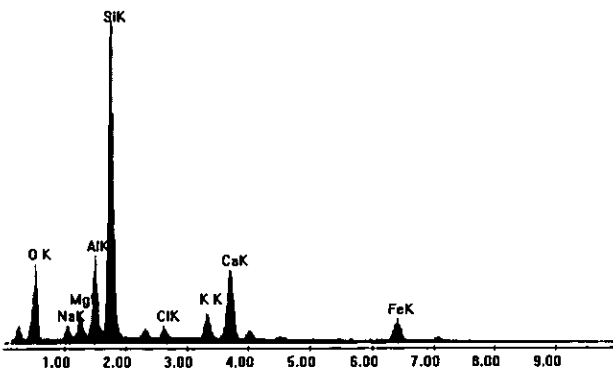
BAP96J - CP26-160.65-160.9



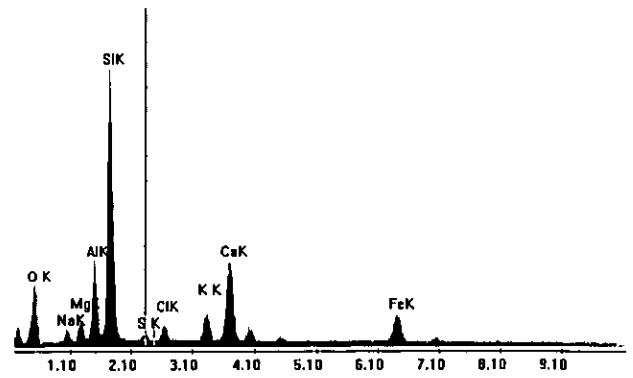
BAP96J - CP27-161.6-162



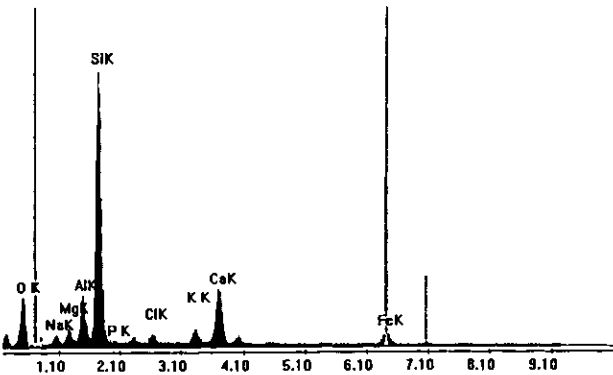
BAP96J - CP28-170.1-170.4



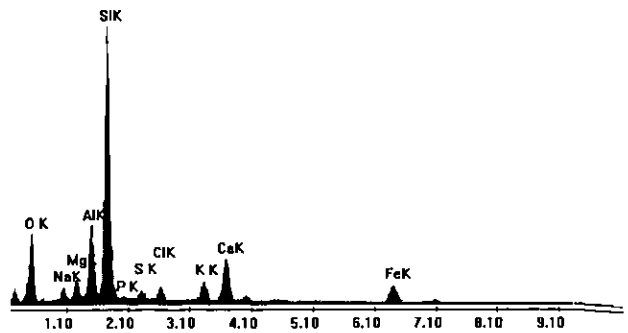
BAP96J - CP29-170.7-171



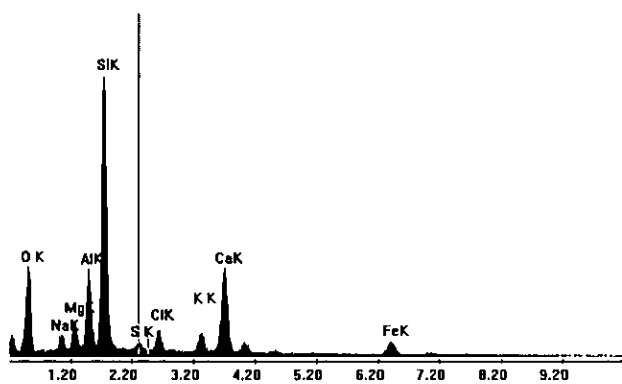
BAP96J - CP30-181.1-181.5



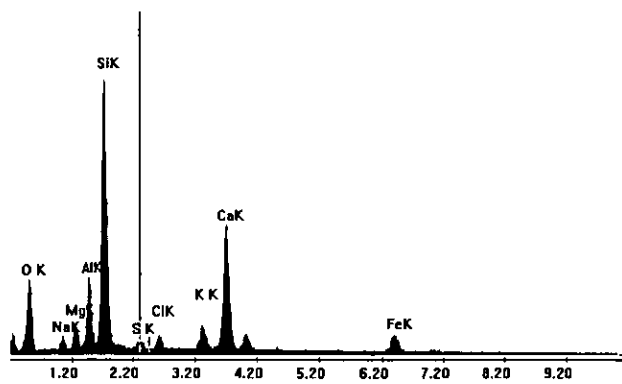
BAP96J - CP31-181.7-182



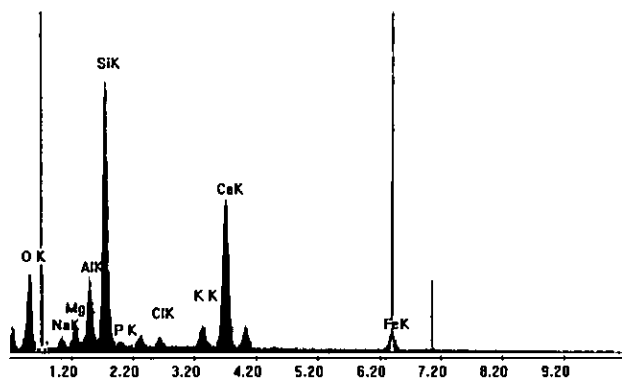
BAP96J - CP32-192.6-192.9



BAP96J - CP33-201.5-201.8



BAP96J - CP35-207.1-207.5



*APÉNDICE 5.*

DIATOMEAS DEL NÚCLEO BAP96J-CP

## DIATOMEAS

Este apéndice contiene el análisis de las diatomeas llevado a cabo por el Dr. John Barron, investigador del *U.S. Geological Survey* en Menlo Park California. él estudió las diatomeas del núcleo BAP96J-CP en el intervalo de 114 a 140 cm, en total 27 muestras cada centímetro.

Los resultados, aunque puntuales, se incluyen en este trabajo porque se consideran como un apoyo a la interpretación realizada con base en los radiolarios polycistinos, acerca de las condiciones ambientales de la Bahía durante el Holoceno medio.

Las muestras sedimentarias fueron tratadas químicamente con HCl y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> para eliminar la materia orgánica y el CaCO<sub>3</sub>. Posteriormente, las muestras fueron neutralizadas mediante sucesivos lavados con agua bidestilada. El montaje se realizó por decantación al azar para obtener una distribución homogénea de la muestra sobre el portaobjetos. En la mayoría de las muestras se contaron las diatomeas en 10 transectos de 22 mm de longitud, aunque, en algunos casos, si el número de diatomeas era mayor de 300, se contaron menos transectos. El número de aumentos empleado fue de 500x.

Los resultados se comparan con los registros de algunas especies de radiolarios en los mismos intervalos.

Los taxa encontradas se muestran en la Tabla A1. La especie más abundante y consistente en este

intervalo fue *Azpeitia nodulifer* (en promedio 38%) y en menor proporción se encontraron: *Cyclotella stylorum* (11%), *Paralia sulcata* (9%) y *Chaetoceros* spp. (6%). *A. nodulifer* fue descrita por Round (1967) como una especie abundante en la región sur del Golfo de California, asociada con aguas del Pacífico Ecuatorial, así como, Guillard & Kilham (1977). La dominancia de esta especie se explica porque es una especie asociada dentro del conjunto de diatomeas, así como lo es el radiolario *Tetrapyle ocatacantha* indica la presencia del Agua Superficial Ecuatorial en la Bahía de la Paz. Al graficar los porcentajes de estas dos especies se observa que su comportamiento es concurrente o bien que son complementarias (Fig. 4.10).

Por otra parte, la presencia de esporas de *Chaetoceros* spp. y *P. sulcata* indican condiciones de alta productividad y zonas de surgencias (Donegan & Schrader, 1982; Barcena & Abrantes, 1998). Se graficaron sus abundancias relativas y se compararon con los porcentajes de dos especies de radiolarios indicadores de alta productividad: *Hexacanthium enthacanthum* y *Pylospira octopyle*; se mostraron similitudes en algunos eventos como se observa en la figura A.1.

En síntesis, se puede decir que la dominancia de especímenes de *Azpeitia nodulifer* hace más evidente la presencia de masas de agua subtropicales a la Bahía de la Paz, como son el Agua Superficial Ecuatorial y el Agua del Golfo de California.

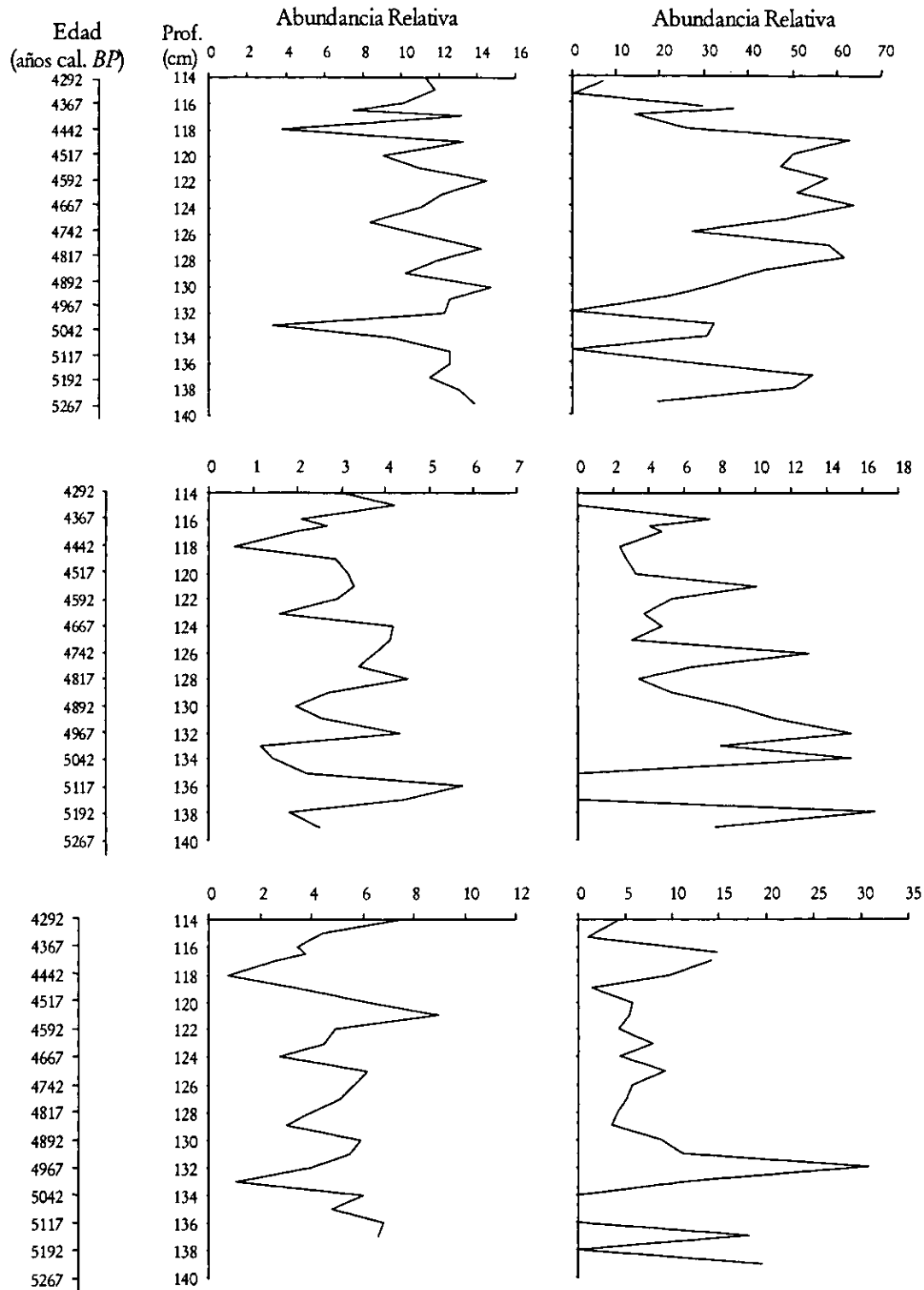


Figura A.1 Abundancia relativa de las especies de microfósiles silíceos contra la edad (años BP) y la profundidad (cm), en el núcleo BAP96J-CP. Especies relacionadas con ambientes subtropicales: a) *Tetrapyle octacantha*\* y b) *Azpeitia nodulifer*\*\*. Especies asociadas a condiciones de alta productividad: c) *Pylospira octopyle*\*, d) *Chaetoceros*\*\* (sporas), e) *Hexacantium entbacanthum*\* y, f) *Paralia sulcata*\*\*. Notación: \*radiolarios, \*\*diatomeas.



Tabla A.1. Abundancias relativas de las especies de diatomeas en el núcleo BAP96J-CP en el intervalo entre 114 y 140 cm (Barron, com. pers.) Especies planctónicas (\*), especies bentónicas (-) y especie ticoplanctónica (+).

Niveles	<i>Aspetitia nodulifer</i> *	<i>Chaetoceros</i> spp. (esporas) *	<i>Coccinodiscus radiatus</i> *	<i>Cyclotella sylvorum</i> *	<i>Hemidiscus cuneiformis</i> *	<i>Melosira</i> sp. *	<i>Paralia sulcata</i> +	<i>Fragilariopsis doliolus</i> *	<i>Rhizolenia bergonii</i> *	<i>Thalassionema nitzschoides</i>	<i>Thalassiosira</i> spp. *	<i>Thalassiothrix longissima</i> *	<i>Triceratium favus</i> -	Otras especies bentónicas	<i>Incertae sedis</i>	Total	# de transectos	# de diat/transsecto
114-115	46.2	0	15.4	15.4	0	0	15.4	0	0	7.7	0	0	0	0	0	6.5	10	0.7
115-116	28.6	0	0	21.4	0	0	14.3	0	0	7.1	0	0	0	21.4	7.1	14	10	1.4
116-116.5	26.4	7.5	3.8	18.9	0	0	7.5	0	11.3	0	1.9	3.8	18.9	0	26.5	10	2.6	
116.5-117	36.7	4.1	4.1	20.4	0	0	16.3	0	0	2	0	0	12.2	4.1	24.5	10	2.5	
117-118	14.3	4.8	4.8	14.3	0	0	14.3	0	14.3	11.9	0	7.1	0	9.5	4.8	21	10	2.1
118-119	25.8	2.4	9.7	10.5	0	0.8	9.7	0	12.9	2.4	0	1.6	0.8	21	2.4	124	10	12.4
119-120	62.7	2.8	2.8	7	0	0	1.4	0	9.9	2.8	0	0.7	0	8.5	1.4	142	10	14.2
120-121	50	3.3	2.5	10.8	0	0	5.8	0	10.8	2.9	0	0.4	0	10	3.3	120	10	12
121-122	47.4	10.1	1.8	15.6	0	0	5.5	0.5	5.2	1.8	0.9	0.5	0	8.6	2.1	327	8	40.9
122-123	57.7	5.3	0.3	8	0	0.3	4.3	0	8.3	2.2	2	0.2	0	9.3	2	300	9	33.3
123-124	51	3.8	2.6	12.2	0	0	8	0.3	5.4	2.9	1	0.6	0	8.3	3.8	312	10	31.2
124-125	63.7	4.8	1.6	5.8	0.3	0	4.5	0	4.2	1.5	0.6	0.6	0	8.7	3.6	309.5	6	51.6
125-126	48.1	3.1	6.2	7.8	1.6	0	9.3	0	3.1	2.3	0	1.6	0	9.3	7.8	64.5	10	6.5
126-127	27.4	13	4.3	15.9	0	0	5.8	0	5.8	9.4	1.4	3.2	0	9.4	4.3	138.5	10	13.8
127-128	58.3	6.4	2.3	14.6	0	0.6	5.2	0	2.9	1.2	0	0.3	0	6.4	1.7	171.5	10	17.1
128-129	61.4	3.5	1	9.6	0.3	0.3	4.2	0	4.2	0.8	0.6	0	0	11.5	2.6	312.5	6	52.1
129-130	43.6	5.3	0.9	11.6	0.9	0	3.6	0.4	13.3	4.4	0	0	0	8.9	7.1	112.5	10	11.2
130-131	33.1	8.8	4.2	3.8	0	0	8.8	0	10.5	4	2.9	2.1	0	16.8	5	238.5	10	23.9
131-132	22.2	11.1	0	11.1	0	0	11.1	0	22.2	0	0	0	0	22.2	0	9	10	0.9
132-133	0	15.4	0	0	0	0	30.8	0	0	7.7	0	0	0	30.8	15.4	6.5	10	0.7
133-134	32.3	8.1	4	2	0	0	12.1	0	8.1	4	0	5.1	0	22.2	2	49.5	10	5
134-135	30.8	15.4	0	15.4	0	0	0	0	15.4	7.7	0	0	0	15.4	0	6.5	10	0.7
135-136	0	0	0	0	0	66.7	0	0	33.3	0	0	0	0	0	0	3	10	0.3
136-137	25	0	0	25	0	0	0	0	25	25	0	0	0	0	0	4	10	0.4
137-138	54.5	0	0	9.1	0	0	18.2	0	0	4.5	0	0	0	13.6	0	22	10	2.2
138-139	50	16.7	0	0	0	16.7	0	0	0	0	0	0	0	16.7	0	6	10	0.6
139-140	19.6	7.8	0	15.7	0	7.8	19.6	0	11.8	2	0	0	0	11.8	3.9	25.5	10	2.5