

Tesis defendida por
Ludmila Hilham Palafox Silva
y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Javier Helenes Escamilla
Director del Comité

Dr. María Elena Solana Arellano
Miembro del Comité

Dr. Guillermo Eliezer Ávila Serrano
Miembro del Comité

Dr. Juan Gabriel Flores Trujillo
Miembro del Comité

M.C. Francisco Suárez Vidal
Miembro del Comité

Dr. Antonio González Fernández
Coordinador
Programa de Posgrado en Ciencias de
la Tierra

Dr. Jesús Favela Vara
Encargado del despacho de la
Dirección de Estudios de Posgrado

Julio 2013

CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR DE
ENSENADA



Programa de Posgrado en Ciencias
en Ciencias de la Tierra

Registro palinológico en sedimentos laminados de la cuenca La Paz, Baja
California Sur y su relación con cambios paleoceanográficos y paleoclimáticos.

Tesis
que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
Maestro en Ciencias

Presenta:
Ludmila Hilham Palafox Silva

Ensenada, Baja California, México
2013

Resumen de la tesis de Ludmila Hilham Palafox Silva, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ciencias de la Tierra con orientación en Geología.

Registro palinológico en sedimentos laminados de la cuenca La Paz, Baja California Sur y su relación con cambios paleoceanográficos y paleoclimáticos.

Resumen aprobado por:

Dr. Javier Helenes Escamilla

El conocimiento de los conjuntos de palinomorfos marinos y continentales ayuda a interpretar las condiciones paleoambientales locales. En este estudio se documentan e interpretan los conjuntos de palinomorfos, con énfasis en los dinoflagelados a fin de identificar cambios oceanográficos y climáticos durante los últimos ~4,206 años en Cuenca La Paz, sur del Golfo de California. Para alcanzar este objetivo, se analizaron 50 muestras de núcleo de sedimentos marinos laminados extraídos de esta cuenca. La cronología del núcleo se obtuvo por medio de ^{14}C , las muestras se procesaron con la técnica palinológica convencional, sin oxidación y las preparaciones se analizaron al microscopio óptico.

Se identificaron 4 grupos de palinomorfos continentales, el más abundante fue el grupo Bisacados, seguido por Gram/Cheno-Am y por último Esporas, sugiriendo que el transporte desde áreas continentales se relaciona principalmente con la lluvia. Se observan quistes de 42 especies de dinoflagelados, correspondientes a 18 géneros. Los géneros de dinoflagelados con mayor diversidad son *Brigantedinium* (9 especies) e *Impagidinium* (6 especies). El género más abundante de dinoflagelados heterótrofos es *Brigantedinium*, mientras que entre los autótrofos el más abundante es *Spiniferites*. La diversidad de dinoflagelados en Cuenca La Paz se compone principalmente de especies cosmopolitas, indicando mezcla de masas de aguas cálidas y frías en la cuenca.

Los cambios en las abundancias relativas de palinomorfos marinos y continentales, y la diversidad de dinoflagelados están relacionados con la productividad marina y precipitación pluvial asociadas con modelos climáticos locales. Nuestros datos permiten interpretar cuatro intervalos caracterizados por diferentes condiciones climáticas y oceanográficas en Cuenca La Paz. Estos intervalos son de más joven a más antiguo: Intervalo D Frío (907 a 1800 años Cal) con mayor productividad marina y poca diversidad de dinoflagelados; Intervalo C Cálido (-1332 a 907 años Cal) con mayor precipitación pluvial y diversidades medias a altas de dinoflagelados; Intervalo B Templado (-1829 a -1332 años Cal) con alta productividad marina, y diversidad media de dinoflagelados, y finalmente Intervalo A Tibio (-2400 a -1829 años Cal) con cambios drásticos, pero predominancia de precipitación pluvial y diversidades medias de dinoflagelados.

Palabras clave: **sedimentos laminados, dinoflagelados, paleoceanografía, Golfo de California.**

Abstract of the thesis presented by Ludmila Hilham Palafox Silva, as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Earth Sciences with orientation in Geology.

Palynological record in laminated sediments of the La Paz basin, Baja California Sur and its relationship with paleoclimatic and paleoceanographic changes

Abstract approved by

Dr. Javier Helenes Escamilla

Knowledge on the assemblages of marine and continental palynomorphs helps in the interpretation of local paleoenvironmental conditions. This study documents and presents the interpretation of the palynomorph assemblages, with emphasis on dinoflagellates, to identify oceanographic and climatic changes in the last ~4,206 years in Cuenca La Paz, southern Gulf of California. To reach this goal, 50 core samples of marine laminated sediments taken from this basin were analyzed. The chronological model for the core was obtained with ^{14}C , samples were processed by the conventional palynological methods without oxidation, and the preparations were analyzed with an optical microscope.

Four groups of continental palynomorphs are observed, with the most abundant being Bisaccates, followed by Gram/Cheno-Am and finally Spores, suggesting that transport from the nearby continental areas is mainly related to rain. There are 42 taxa of dinoflagellate cysts, assigned to 18 genera. The most diverse dinoflagellate genera are *Brigantedinium* (9 species) and *Impagidinium* (6 species). The most abundant heterotrophic genus is *Brigantedinium*, while among the autotrophs is *Spiniferites*. Diversity of dinoflagellates is composed mostly by cosmopolitan species, indicating a mixture of warm and cold surface currents in the basin.

Changes in relative abundances of marine and continental palynomorphs and dinoflagellate diversity, are related to marine productivity and rainfall associated to climatic models in the area. Our data allow recognition of four intervals characterized by different climatic and oceanographic conditions in La Paz Basin. These intervals are, from younger to older: Cold Interval D (907 to 1800 years Cal) with high marine productivity and low dinoflagellate diversity; Hot Interval C (-1332 to 907 years Cal) with high rainfall and high to medium dinoflagellate diversities; Temperate Interval B (-1829 to -1332 years cal) with high marine productivity and medium dinoflagellate diversity, and finally Warm Interval A (-2400 to -1829 years Cal) with predominance of rainfall, drastic changes in marine productivity and medium dinoflagellate diversity.

Key Words: laminated sediments, dinoflagellates, paleoceanography, Gulf of California.

Dedicatoria

A mis padres, Héctor Palafox Méndez y Luzmila Silva Arteaga, a ti papá por tus consejos de vida, por tu cariño, por darme el ejemplo de trabajo y disciplina, a ti mamá, por tu inmenso cariño, por ser mi fortaleza y mi compañera en todo momento, a los dos los amo.

A mi hermano, Jousin Palafox Silva por la inteligencia que admiro en él y por inculcarme la curiosidad de conocer más allá de las cosas.

A mi madrina María Eugenia Jiménez, por su cariño, por formar parte de mi familia, por hacerme sentir siempre su apoyo incondicional, comprensión y por permanecer memorablemente en mi vida.

A mi primo Donovan Loera Silva, por su buena disposición para ayudarme cuando lo necesito y por regalarme siempre una sonrisa.

Agradecimientos

Al proyecto 155995 del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico que me brindó durante el periodo de la maestría.

Al Dr. Javier Helenes Escamilla, por su invaluable asesoría para la realización de este trabajo, por estar siempre con la mejor disposición para resolver todas mis dudas, por mostrarme a la Palinología como una ciencia multidisciplinaria y por enseñarme a ver el lado divertido de las cosas.

A los miembros del Comité de Tesis: Dra. María Elena Solana Arrellano; Dr. Guillermo Eliezer Ávila Serrano, Dr. Juan Gabriel Flores Trujillo, M.C. Francisco Suárez Vidal, a todos ellos muchas gracias por sus consejos y comentarios que aportaron a este trabajo, los cuales fueron de gran importancia.

A mis compañeros y amigos: Adrián Misael León Sánchez por el gran apoyo en la obtención de datos y por estar siempre dispuesto a escucharme; a Armando Calderón por el apoyo con el programa Matlab; a Salvador García, Mario Fuentes y Oc. Gabriel Rendón, a todos ellos gracias por su valiosa amistad y por las pláticas tan amenas que pasamos juntos.

A la Oc. Edna Collins, por el apoyo en la preparación de los montajes de las muestras y por su colaboración en varias muestras para contar esporas de *Lycopodium*.

Al L.C.C. José de Jesús Mojarro Bermúdez, por el apoyo en el mantenimiento del equipo de cómputo del laboratorio de Palinología.

A la diseñadora gráfica María Elizabeth Catalina Bautista Pérez, por ayudarme en la edición de las fotos tomadas con el microscopio y por acompañarme en algunos desvelos cafeteros, gracias amiga.

Contenido

RESUMEN.....	I
ABSTRACT.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
CONTENIDO.....	V
LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE TABLAS.....	IX
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	5
1.2 Objetivos.....	7
1.2.1 Objetivo general.....	7
1.2.2 Objetivos específicos.....	7
1.3 Hipótesis.....	7
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.....	8
2.1 Área de estudio.....	8
2.2 Obtención del núcleo.....	9
2.3 Corte de losas.....	13
2.4 Técnica palinológica.....	13
2.5 Análisis palinológico.....	14
2.5.1 Palinomorfos continentales.....	14
2.5.2 Palinomorfos marinos.....	16
2.5.3 Especies indeterminadas.....	18
2.6 Análisis estadístico.....	18
2.6.1 Tamaño mínimo de la muestra.....	18
2.7 Abundancia absoluta.....	20
2.8 Abundancia relativa.....	22
2.9 Índice de diversidad.....	23
2.10 Análisis de Agrupamiento.....	23
2.11 Componentes principales.....	24
2.12 Registros paleoclimáticos.....	24
CAPÍTULO 3. RESULTADOS.....	26
3.1 Análisis palinológico.....	26
3.2 Abundancia absoluta general (Concentraciones de especímenes por gramo de sedimento).....	28
3.3 Abundancia absoluta (Concentraciones) de dinoflagelados.....	30
3.4 Abundancias relativas (Porcentajes) de palinomorfos marinos y continentales.....	34
3.5 Índice de Diversidad Shannon (H').....	35
3.6 Distribución biogeográfica de quistes.....	40
3.7 Relación de concentraciones con variables paleoclimáticas.....	42
3.8 Componentes principales.....	49
CAPÍTULO 4. DISCUSIÓN.....	52
4.1 Abundancias de Palinomorfos, diversidad de dinoflagelados y su relación con precipitación pluvial y aporte de terrígenos.....	52
4.1.1 Palinomorfos Marinos.....	53
4.1.2 Diversidad de Dinoflagelados y Estabilidad Ambiental Marina.....	55

4.1.3 Palinomorfos Continentales	57
4.2 Composición Taxonómica de Conjuntos de Dinoflagelados y Distribución Biogeográfica.....	61
4.3 Dinoflagelados Peridinales y Gonyaulacales y Productividad Marina.....	63
CONCLUSIONES.....	68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
ANEXOS	75

Lista de figuras

Figura		Página
1	Mapa del Golfo de California, dividido en cinco principales regiones (Lavín y Marinone, 2003): ZB: Zona de la Boca; ZS: Zona Sur; ZA: Zona del Archipiélago y AG: Alto Golfo. En detalle, mapa de localización de Cuenca La Paz y núcleo BAP94-9K, con la batimetría en metros. Modificado de Banda-Bermúdez, (2002, p. 11).	10
2	Tamaño mínimo de muestra, calculado a partir del conteo de 6 láminas en las muestras 1, 50 y 91 del núcleo BAP94-9K. La línea que corta al eje de las abscisas en el número 20 indica el fin de la primera lámina. a: Número acumulado de morfotipos de palinomorfos en general indicado sobre las líneas. b: Números mostrados a la izquierda de la línea gris indican la cantidad acumulada de especies de dinoflagelados (SpD), y los números a la derecha indican porcentaje de confianza.	19
3	Error calculado del número de esporas de <i>Lycopodium</i> en las tabletas.	21
4	Dendrograma mediante el método de Ward en modo R, de las 50 muestras del núcleo BAP94-9K.	27
5	Concentraciones (pal/g) de Palinomorfos Totales, Continentales y Marinos. Los números en los diferentes niveles del núcleo representan las concentraciones que rebasan la escala del eje de las abscisas.	29
6	Concentraciones de quistes de dinoflagelados heterótrofos: BRIGSP (<i>Brigantedinium</i> sp.) BRIGC (<i>Brigantedinium cariacense</i>), BRIGS (<i>Brigantedinium simplex</i>), BRIGG (<i>Brigantedinium grande</i>), BRIGI (<i>Brigantedinium irregulare</i>), BRIGSG (<i>Brigantedinium</i> sp. granulado?), QCON (<i>Quinquecuspis concreta</i>), LEUJ (<i>Lejeunecysta</i>), SNEP (<i>Selenopemphix nephroides</i>) y VOTS (<i>Votadinium spinosum</i>).	31
7	Concentraciones de quistes de dinoflagelados autótrofos: BITES (<i>Bitectatodinium spongium</i>), IMPSP (<i>Impagidinium</i> sp.), IMPP (<i>Impagidinium pacificum</i>) IMMPP (<i>Impagidinium sphaericum</i>), SSSP (<i>Spiniferites</i> sp.), SRAM (<i>Spiniferites ramosus</i>), SBULL (<i>Spiniferites bulloideus</i>), ACHOSP (<i>Achomosphaera</i> sp.).	33
8	A la izquierda se muestra el índice de Shannon para dinoflagelados. A la derecha se muestra la relación M/C (Marinos/Continentales) por muestra.	35
9	Abundancia relativa de los grupos morfo-ecológicos de Palinomorfos Continentales: Gram/Cheno-Am, Esporas, Otros polenes y Bisacado.	36

10	Abundancia relativa de Palinomorfos Marinos, incluyendo: Dinos (quistes de dinoflagelados), ACRI (acritarcas), TIF (testas internas de foraminíferos), COPE (copépodos), TIN (tintinomorfos) y ESC (escolecodontes).	39
11	Distribución biogeográfica de ciertas especies de dinoflagelados observadas en el núcleo: a) Abundancia relativa, b) Concentraciones y c) %Te, %Ti y PPSN. Distribución de especies: Templado a frío (color azul marino), Templado a subtropical (color azul claro), Templado a tropical (color morado), Tropical a subtropical (color rojo) y Cosmopolita (color verde).	41
12	Concentraciones de palinomorfos continentales comparadas con índices paleoclimáticos indirectos.	43
13	Concentraciones de dinoflagelados Autótrofos y Heterótrofos comparadas con índices paleoclimáticos indirectos: P/C = índice Peridinales/Copepodos; %Te = indica aporte continental; Opalo Biogenico = indica principalmente diatomeas; Ba/Al = indica paleoproductividad; %Ti = indica precipitación y escorrentía, y PPSN = indica surgencias en el GC.	46
14	Componentes principales de los conjuntos totales de palinomorfos continentales y marinos.	50
15	Componentes principales de los conjuntos de quistes de dinoflagelados.	51

Lista de tablas

Tabla		Página
1	Cronología basada en ^{14}C del núcleo BAP94-9k (Bernal Franco, 2001).	11
2	Muestras analizadas del núcleo BAP94-9K y su respectiva cronología en años calendario.	12
3	Grupos morfo-ecológicos de palinomorfos continentales.	15
4	Abreviaciones del nombre de las especies encontradas en el núcleo BAP94-9K.	17
5	Distribución biogeográfica de especies de dinoflagelados indicadoras de climas templado a frío y tropical a subtropical. (A) indica taxón Autótrofo, (H) indica taxón Heterótrofo.	40
6	Matriz de correlación entre las variables paleoambientales. PPSN (Precipitación en Sierra Nevada), Ob (Ópalo biogénico), %Te (Terrígenos) y %Ti (Titanio). Los valores sombreados con gris son significativos ($p < 0.10$).	42
7	Valores de correlación paramétrica (Pearson) de concentraciones de los conjuntos de Palinomorfos Totales (PALIS TOT.), Continentales (CONT.), Marinos (MAR), Gonyaulacales (GONY), Perdiniales (PERI), <i>Quinquecuspis concreta</i> + <i>Selenopemphix nephroides</i> + <i>Leujeunecysta</i> sp. (QLS) en relación con registros paleoclimáticos. Los valores sombreados con gris son significativos ($p < 0.10$).	45
8	Valores de correlación paramétrica (Pearson) de Marinos/Continentales (M/C) en relación con registros paleoclimáticos. Los valores sombreados con gris son significativos ($p < 0.10$).	48

Capítulo 1

Introducción

La preservación de sedimentos laminados o varvados en las cuencas sedimentarias se debe a la falta de bioturbación y condiciones de hipoxia ($O_2 < 0.2$ ml/l) en las aguas del fondo marino. Estas condiciones son comunes en las aguas intermedias del Golfo de California (GC) y en la Cuenca de La Paz (CLP) se encuentran entre los 300 y 800 m de profundidad. En esta cuenca, las aguas profundas del GC están bloqueadas por un umbral batimétrico, que consiste en una barrera topográfica sobre el fondo marino la cual permite que los sedimentos marinos no estén bioturbados. Los sedimentos laminados formados en estas condiciones presentan una alternancia cíclica de láminas claras y oscuras. Las láminas oscuras están dominadas por material terrígeno, regulado principalmente por aporte pluvial, mientras que en la láminas claras el aporte biogénico es más evidente y la alternancia de láminas es cíclica (Baumgartner y Christensen, 1978; Kemp y Baldauf, 1993; Sancetta, 1996; Molina-Cruz, 2002).

Oceanográficamente, el GC se divide en cinco regiones: 1) zona de la boca; 2) zona sur; 3) zona del archipiélago; 4) zona norte, y 5) alto Golfo de California. La CLP se encuentra en la zona sur del GC (Lavín y Marinone, 2003). Esta zona abarca desde una línea imaginaria transversal como límite inferior que va de Cabo San Lucas a El Dorado Sinaloa, hasta los umbrales San Esteban (~400 m de profundidad) y San Lorenzo (430 m de profundidad) localizados al sur de las dos más grandes islas de México (Tiburón y Ángel de la Guarda), además la zona se caracteriza por la batimetría profunda de las cuencas que la componen. El lado occidental o peninsular del GC, carece de plataforma continental, mientras que en el lado oriental o continental, la extensión de la plataforma es de hasta 30 km de ancho (Lavín, *et al.*, 1997).

El viento en el GC tiene un marcado comportamiento estacional, producto de cambios de los centros de presión atmosférica hacia el norte y sur, los efectos de estos vientos son aumentados por las cadenas montañosas en ambos lados del GC, en otoño, invierno y primavera el viento sopla del NW con velocidad de 8-12 m/s, mientras que en verano sopla del SE con velocidad <5 m/s, siguiendo el comportamiento de los vientos, las corrientes superficiales también tienen un ciclo estacional con flujo predominante hacia el norte en verano-otoño y hacia el sur en invierno-primavera, estas corrientes están asociadas a surgencias costeras, de tal manera que la productividad orgánica es más importante en primavera en el lado continental (Lavín y Marinone, 2003).

En la zona sur del GC, se han reconocido al menos cinco masas de agua del GC, estas son: Superficial Tropical (ST), Corriente de California (CC), Subsuperficial Subtropical (SS), Intermedia del Pacífico (IP) y Profunda del Pacífico (PP). Para este estudio, son muy importantes las interacciones entre la ST, CC y SS (Torres-Orozco, 1993; Lavín y Marinone, 2003). La interacción entre las masas superficiales determina la productividad orgánica, mientras que las características de la SS definen la zona mínima de oxígeno y la consecuente preservación de la materia orgánica y laminación de sedimentos (Cepeda-Morales, *et al.*, 2009). En esta región, la circulación del Pacífico Nortropical es regido por corrientes ecuatoriales (Corriente norecuatorial) dominantes durante verano-otoño, siendo más en eventos del Niño, mientras que en invierno-primavera, es predominante el giro anticiclónico del Pacífico Norte con el borde oriental en la Corriente de California, el cual se intensifica en eventos de La Niña (Baumgartner y Christensen, 1985).

Las surgencias, originadas por el patrón de vientos en la zona sur del GC ocurren durante el invierno-primavera en el lado continental (a lo largo de la costa de Sonora, Sinaloa y Nayarit) y durante el verano en el lado peninsular (Roden, 1964; Álvarez-Borrego, 1983). Las del lado occidental del GC son más débiles que las del lado oriental. Como consecuencia, las occidentales son poco apreciadas en imágenes satelitales posiblemente por la debilidad de los vientos en verano (Badan

et al., 1985). Para la zona sur, las concentraciones de nutrientes de 0.4 a 0.8 mg/m³ son suficientes para sustentar importantes florecimientos planctónicos de microalgas, como los observados en imágenes satelitales durante eventos El Niño y La Niña (Espinosa–Carreón and Valdez-Holguín, 2007). Entre las microalgas que producen estos florecimientos en la región se incluyen las diatomeas, los coccolitofóridos y los dinoflagelados. Este estudio se concentra en estos últimos, los cuales poseen dos flagelos desiguales que les permiten tener movimiento, e incluyen especies autotróficas, heterotróficas y mixotróficas. Los dinoflagelados habitan en la gran mayoría de cuerpos acuáticos, pero favorecen las aguas marinas costeras y neríticas en donde sus florecimientos llegan a colorear el agua de color café o roja (“mareas rojas”). Algunas especies producen toxinas y son responsables de mortandad masiva de peces y amenazas contra la salud humana (Suarez-Isla y Guzmán Méndez, 1998). La diversidad y eficacia de los complejos procesos tróficos de los dinoflagelados se reflejan en la distribución global y abundancia de este grupo. Sin embargo, si presentan provincialismo biogeográfico y la presencia de determinadas especies de dinoflagelados en algunos ambientes marinos depende de sus estrategias de alimentación y reproducción (Dale and Dale, 2002).

Como es normal entre este tipo de organismos, el crecimiento de los dinoflagelados autotróficos es regulado por disponibilidad de nutrientes, penetración solar y competencia con otros autótrofos, en este caso diatomeas y coccolitofóridos. Mientras que las formas heterotróficas dependen de la presencia de diatomeas y otros microorganismos en las capas superficiales para su alimentación (Jacobson y Anderson, 1986).

Aproximadamente el 15% de dinoflagelados producen quistes de resistencia con paredes de dinosporina (hipnocigotos), resistentes a procesos diagenéticos en ambientes con altos contenidos de CO₂ y con baja saturación en sílice (Rochon *et al.*, 2008). Los quistes de resistencia, se depositan en el fondo marino y en condiciones favorables pueden eclosionar para poblar la columna de agua (Bolch y Hallegraeff, 1990). Los principales factores favorables para dicha eclosión son la

concentración de nutrientes, duración del día, temperatura e intensidad de luz. Aparentemente, estos factores se combinan con sedimentación y turbulencia, o variaciones en las componentes de velocidad de las masas de agua (Margalef, 1978). Es razonable suponer que esta combinación de factores sea importante, ya que al igual que los dinoflagelados, los nutrientes son móviles en la columna de agua y están sujetos al transporte de corrientes superficiales y de fondo. Algunos datos experimentales sugieren que limitaciones en las cantidades de fósforo y/o nitrógeno inducen la reproducción sexual y promueven el enquistamiento en algunas especies (Figuerola y Bravo, 2005). No se ha comprobado en detalle que en condiciones naturales esta limitación produzca el mismo efecto (Godhe *et al.*, 2001). Sin embargo, se ha documentado una relación directa entre aumentos de concentración de estos nutrientes y abundancia de dinoflagelados tanto planctónicos como enquistados (Peña-Manjarrez *et al.*, 2001; 2005).

Los quistes de resistencia producidos por los dinoflagelados actuales, son muy estudiados (Head, 1996; Martínez-Hernández y Hernández-Campos, 1991; de Vernal, *et al.*, 1997 ; Banda-Bermúdez, 2002; Marret and Zonneveld, 2003; Peña-Manjarrez, *et al.*, 2005; Fensome, *et al.*, 2008; Pospelova, *et al.*, 2008; Ribeiro y Amorim, 2008; Vásquez-Bedoya, *et al.*, 2008; Flores-Trujillo, 2009; Limoges, *et al.*, 2010) debido a su potencial como indicadores indirectos de parámetros de la superficie del mar tales como: temperatura, salinidad y productividad. Por lo tanto, la preservación y estudio de estos quistes ayuda a reconstruir paleoambientes y proporciona información útil para interpretar las condiciones paleoceanográficas (Banda-Bermúdez, 2002; Flores-Trujillo, 2009). Sin embargo, su interpretación puede ser complicada pues las condiciones químicas y los procesos tafonómicos en los sedimentos pueden afectar la asociación de quistes (Rochon *et al.*, 2008).

La información sobre la distribución y abundancia de quistes en los sedimentos es importante para conocer la ecología y la dinámica de los florecimientos de muchas especies de dinoflagelados y con ello interpretar las condiciones paleoceanográficas y paleoambientales que influyen en estos florecimientos. Por ejemplo, la información satelital de productividad para

hemisferio Norte se ha relacionado con conjuntos de quistes de dinoflagelados en muestras superficiales de sedimento para deducir condiciones de producción primaria, temperatura y salinidad para los últimos 2,5000 años en el Pacífico nororiental (Radi y Vernal 2004).

Los conjuntos actuales de dinoflagelados en sedimentos del Golfo de California son variables. Sin embargo, sus tanatocoenosis son afectadas por los parámetros sedimentológicos locales. De tal manera que los patrones de distribución general de quistes sugieren que la velocidad de sedimentación así como la textura de los sedimentos controla la distribución y cantidad de quistes a lo largo del golfo y en zonas de surgencias, aparentemente sin relación con la batimetría y distancia a la costa (Martínez-Hernández y Hernández-Campos, 1991).

La información obtenida permitirá mejorar nuestro conocimiento sobre la ecología y dinámica de florecimientos de dinoflagelados y con ello interpretar las condiciones paleoceanográficas y paleoambientales de la Cuenca de La Paz. Los registros de dinoflagelados obtenidos en este estudio, se compararán con series de tiempo publicadas, las cuales representan la variabilidad de factores climáticos y oceánicos en la región con el fin de comparar correlaciones.

1.1 Antecedentes

La distribución de dinoflagelados en el GC ha sido moderadamente estudiada (Martínez-Hernández y Hernández-Campos, 1991; Banda-Bermúdez, 2002; Morquecho-Escamilla y Lechuga-Devéze, 2003; Pospelova, et al., 2008; Vázquez-Bedoya, et al., 2008; Morquecho, *et al.*, 2009; Flores-Trujillo, 2009; Limoges *et al*, 2010; Price, *et al.*, 2013). De acuerdo con estudios palinológicos de muestras de sedimento superficial de Bahía de La Paz, la distancia a la costa y la productividad relacionada con surgencias han sido los principales moduladores de la distribución regional de quistes de Orden Gonyaulacales, Peridinales y Gymnodinales (Limoges *et al*, 2010).

En la zona sur del GC son más escasos los estudios de quistes de dinoflagelados en muestras de sedimentos laminados (Banda-Bermúdez, 2002; Flores-Trujillo, 2009). En este tipo de muestras Flores-Trujillo (2009) reportó 19 especies de quistes de dinoflagelados de la orden Gonyaulacales (generalmente fotosintéticos) y Peridinales (principalmente heterotróficos). Aparentemente, la variabilidad en las concentraciones de estos órdenes se vincula con condiciones similares a El Niño y La Niña, las cuales modulan vientos del noroeste y surgencias. También este autor realizó análisis de correlación y de componentes principales en núcleos de Cuenca Pescadero, mostrando que las concentraciones de palinomorfos estuvieron relacionadas con la productividad primaria en la columna de agua, cambios en precipitación pluvial (PP), influencia de terrígenos y temperatura superficial del mar (TSM). Además las concentraciones se relacionan con vientos del noroeste (VNO) propiciando surgencias y por consecuencia incremento en palinomorfos marinos. En contraste estos disminuyen en periodos con mayor precipitación pluvial (Flores-Trujillo, 2009).

En la CLP se analizó un núcleo (Banda-Bermúdez, 2002) de sedimentos marinos laminados para determinar si existe una relación entre cambios climáticos y la variación en las abundancias de las tanatocenosis de palinomorfos marinos y terrestres en los últimos 1365 años. Ese estudio reporta quistes del género *Spiniferites* como el más común de los palinomorfos marinos observados. A escala mundial, este género presenta una distribución actual de ambiente nerítico interno a externo con tendencia a ser más abundante en aguas tropicales. Banda-Bermúdez (2002) también estableció varios intervalos palinológicos y señaló la coincidencia de intervalos con mayor abundancia de palinomorfos marinos e intervalos con menor abundancia. El periodo del Calentamiento Medieval (~900-1300) coincidió con una dominancia de *S. ramosus*, esta autora asoció la abundancia a condiciones de mayor precipitación y temperatura en el área. En contraste, el intervalo con menor abundancia de palinomorfos marinos coincide con la Pequeña Edad de Hielo (~1300-1800). Estas observaciones indican que los conjuntos palinológicos están relacionados con cambios climáticos y oceanográficos globales reflejados en esta región.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Documentar los cambios en el contenido palinológico del registro sedimentario de la CLP, Baja California Sur, así como precisar la cronología de dichos cambios y su correlación con los parámetros oceanográficos regionales medidos. Estos datos permitirán aclarar si los cambios responden a forzamientos oceanográficos y climáticos. Además, se pueden usar para identificar eventos a escalas de centenas de años, durante los últimos ~4,206 años.

1.2.2 Objetivos específicos

Describir las variaciones de los conjuntos palinológicos y su relación con las características paleoceanográficas y paleoclimáticas en la CLP durante los últimos 4,206 años.

Mostrar que la tanatocenosis dominada por taxa Gonyaulacales indica la influencia y variabilidad de procesos oceánicos y climáticos de origen tropical y subtropical. Mientras que la tanatocenosis dominada por Peridinales indica la influencia de procesos oceánicos y climáticos del Pacífico norte.

1.3 Hipótesis

Los conjuntos palinológicos en general reflejan características climáticas y oceanográficas del área de aporte sedimentario de la CLP. Los dinoflagelados en particular son indicadores indirectos de la temperatura superficial del mar y la productividad primaria en el pasado en la CLP.

Capítulo 2

Metodología

2.1 Área de estudio

La cuenca de La Paz es una depresión localizada en el margen sur-occidental del Golfo de California, al este de la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México; aproximadamente a los 24° 23' de latitud Norte y 110° 4' de longitud Oeste (Figura 1).

La variabilidad climática y oceánica en CLP a escalas de tiempo interanuales e interdecadales, puede explicarse por una mezcla de dos forzamientos, el primero proveniente del sur, representado por El Niño Oscilación del Sur (ENSO) asociado con la precipitación pluvial de verano, temperatura superficial del mar y nivel del mar. El segundo forzamiento proviene del norte y es la Oscilación Decadal del Pacífico Norte (ODP), el cual está asociado a los vientos y afecta en menor grado a la temperatura y precipitación (Bernal-Franco, 2001).

El ciclo anual de la temperatura superficial del mar en la CLP presenta dos estaciones definidas que coinciden con los vientos estacionales. Durante el invierno-primavera las aguas se enfrían (21-24°) y durante verano-otoño se registran las temperaturas más cálidas (27-31°; Bernal-Franco, 2001). Además, las salinidades varían entre 34.5 a 34.8 ppm alcanzando un máximo de 35 (Lavín y Marinone, 2003). Las lluvias dominantes en ambos márgenes del Bajo Golfo (continental y peninsular) se producen en verano (Agosto-Septiembre), cuando hay un transporte de humedad desde el SE (Salinas-Zavala, *et al.*, 1990) y las temperaturas superficiales del agua sobrepasan los 28 ° (Bernal-Franco, 2001).

2.2 Obtención del núcleo

El núcleo kasten BAP94-9K con longitud de 1.76 m, fue colectado en la parte media de la cuenca a una profundidad de 745 m (Figura 1), en el buque oceanográfico El Puma, administrado por el Instituto de Ciencias de Mar y Limonología de la UNAM. El núcleo consta de cuatro cajas, las cuales se radiografiaron en escala de grises, para determinar las laminaciones. Después, se submuestreó el núcleo a escala centimétrica para un total de 173 muestras, de las cuales se analizaron las muestras con números nones, sumando un total de 50, pues constituían la parte media superior del núcleo, representando los últimos 4,206 años.

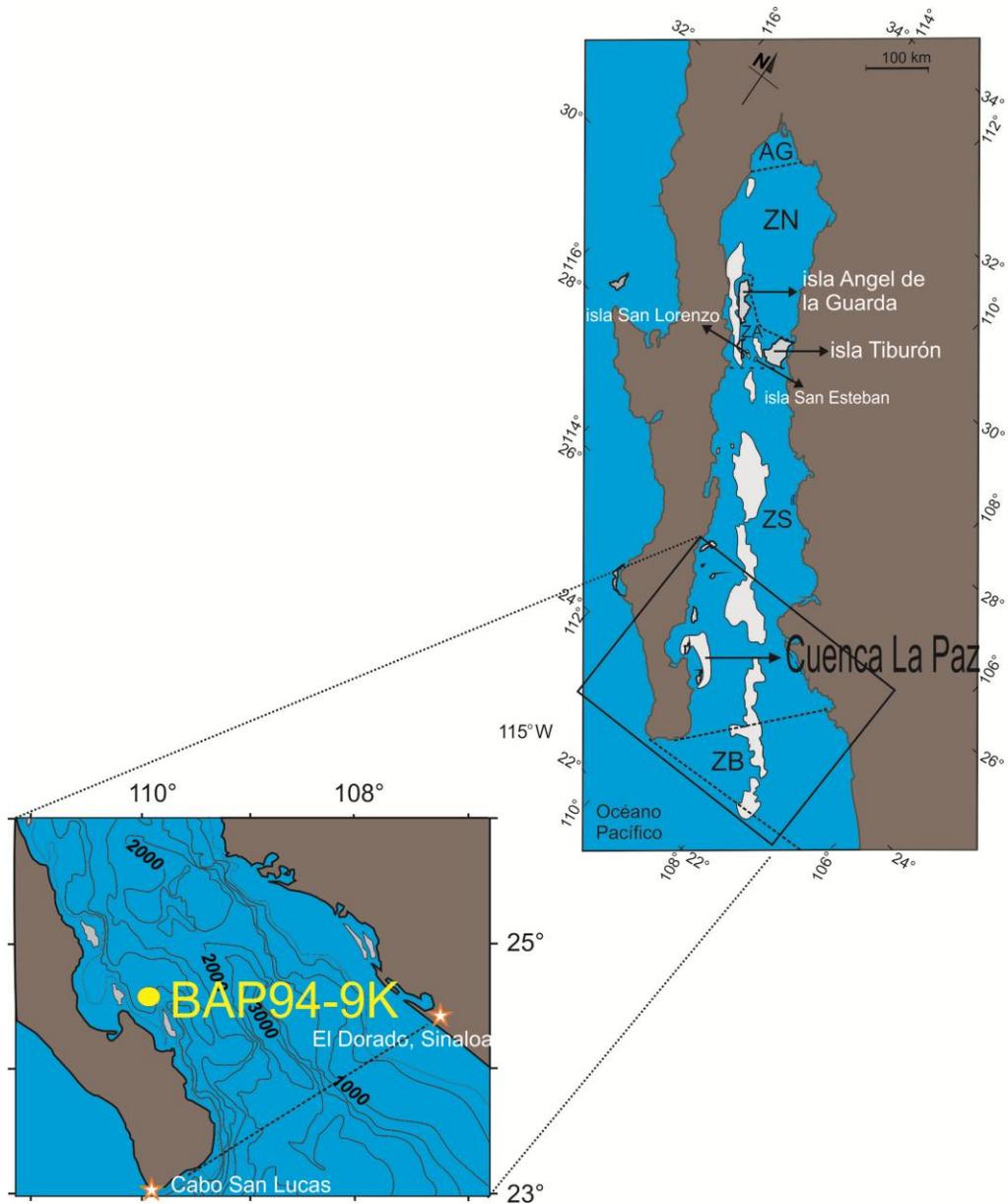


Figura 1. Mapa del Golfo de California, dividido en cinco principales regiones (Lavín y Marinone, 2003): ZB (Zona de la Boca); ZS (Zona Sur); ZA (Zona del Archipiélago) y AG (Alto Golfo). En detalle, mapa de localización de Cuenca La Paz y núcleo BAP94-9K, con la batimetría en metros. Modificado de Banda-Bermúdez, (2002, p. 11).

La cronología del núcleo fue proporcionada por el Dr. Juan Gabriel Flores Trujillo del Laboratorio de Palinología de la división de Ciencias de la Tierra del CICESE. Esta cronología fue recalculada a partir de dos velocidades de sedimentación 0.23 y 0.33 mm/a, la primera utilizada para el intervalo de las muestras 1-74 y la segunda para el intervalo de las muestras 75-99 (Tabla 1). La determinación original de la cronología se basa en 3 fechas de radiocarbono (Tabla 1). Los análisis se realizaron en la Universidad de Boulder, Colorado (INSTAAR-AMS Radiocarbon Research Laboratory), usando una vida media de 5,568 años y con error analítico de 35 a 50 años. Las edades fueron corregidas por un reservorio de 680 años y por las tablas de calibración de Stuiver *et al.* (1998). Se corrigieron las profundidades con el fin de excluir a las turbiditas del modelo de edad, una vez corregidas las edades se elaboró un ajuste lineal ($r=0.999$; Bernal-Franco, 2001). Con base en este modelo se calcularon las fechas de las muestras y después se transformaron a años calendario. De acuerdo a la descripción geocronología, la resolución de muestreo es de aproximadamente 42 años/cm, lo que da un total de 7,560 años para todo el núcleo (Tabla 2).

Tabla 1. Cronología basada en ^{14}C del núcleo BAP94-9k (Bernal Franco, 2001).

Muestra	Profundidad [cm]	Edad ^{14}C	Velocidad de sedimentación [mm/año]	Edad corregida si R=680 años	Velocidad de sedimentación [mm/año]
8 – 10	7.88	107 ± 45		1460	
75 – 76	73	385 ± 35	0.23	1417	0.23
119	116	515 ± 50	0.33	3165	0.25

Tabla 2. Muestras analizadas del núcleo BAP94-9K y su respectiva cronología en años calendario.

Muestra	Edad en años calendario	Muestra	Edad en años calendario
1	1774	51	-298
3	1689	53	-388
5	1636	55	-476
7	1527	57	-560
9	1433	59	-657
11	1353	61	-753
13	1283	63	-839
15	1209	65	-917
17	1123	67	-1009
19	1039	69	-1096
21	977	71	-1184
23	908	73	-1284
25	840	75	-1388
27	783	77	-1491
29	711	79	-1579
31	623	81	-1659
33	530	83	-1735
35	435	85	-1829
37	359	87	-1899
39	272	89	-1983
41	194	91	-2057
43	110	93	-2155
45	3	95	-2232
47	-98	97	-2309
49	-204	99	-2384

2.3 Corte de losas

Para determinar el número y espesor de las láminas se realizaron copias en acetatos de radiografías de rayos X del núcleo, las cuales posteriormente fueron utilizadas como guía para el corte e identificación de las láminas. El espesor de los intervalos vario de 2 a 16 mm con una media de 10 mm y se analizaron un total 50 muestras, de las cuales se prepararon de 2 a 3 réplicas para determinar el tamaño mínimo de muestra.

2.4 Técnica palinológica

Los resultados obtenidos por Banda-Bermúdez (2002) son válidos y ayudan a conocer cambios en las composiciones y abundancias de los conjuntos palinológicos en el área. Desafortunadamente, el procesamiento palinológico de las muestras analizadas en este estudio, incluyó oxidación de la materia orgánica para eliminar material amorfo que impedía el análisis de los palinomorfos. Esta oxidación pudo haber eliminado algunos de los quistes heterotróficos, los cuales parecen ser más susceptibles a disolución por oxidación (Kodrans-Nsiah et al., 2008; Zonneveld et al., 2008). En el presente estudio no se han oxidado las muestras durante el procesamiento para evitar posibles pérdidas de taxa. Además los resultados de este estudio ayudarán a complementar y comparar los resultados obtenidos por Banda-Bermúdez (2002) para comprobar la diferencia en metodología de preparación (sin oxidación).

La técnica palinológica utilizada para la obtención de palinomorfos fue la descrita por Wood *et al.* (1996), realizada de la siguiente manera:

- 1) Las muestras se liofilizaron a una temperatura de 58° C por 24 horas.
- 2) Se registró el peso seco de la muestra analizada.
- 3) Se agregó una concentración conocida de tabletas de *Lycopodium clavatum* (Lote # 483216 con 18583 esporas por tableta y $S = \pm 3,820$) como

marcadores con la finalidad de obtener la abundancia absoluta de los palinomorfos por gramo de sedimento (Stockmarr, 1971).

4) Se añadió ácido clorhídrico (HCl, 10%) frío, con el propósito de eliminar carbonatos así como el ácido fluorhídrico (HF, 40%) frío, para eliminar silicatos, seguido de varios lavados con agua destilada para neutralizar.

5) Se separó el sobrenadante con politungstato de sodio (g.e.=2) y se centrifugó por 20 min.

6) Se tamizó la fracción 15 μ - 125 μ para realizar el montaje de las muestras en portaobjetos de 24 x 50 mm con gelatina glicerizada.

2.5 Análisis palinológico

El análisis cualitativo y cuantitativo se realizó por medio de un microscopio óptico Leitz utilizando el objetivo 20x para barridos totales en cada lámina, mientras que para la identificación a nivel de especie se utilizaron los objetivos 40x, 65x y 100x. Se registró el número de palinomorfos por especie y/o morfotipo en cada montaje, así como el número total de esporas de *Lycopodium clavatum*.

Los quistes de dinoflagelados fueron identificados hasta el nivel de especie, siguiendo las convenciones de Fensome *et al.* (2008). Los granos de polen fueron identificados solamente a nivel de grupo morfológico, y a continuación se describen los morfotipos donde se incluyen estos dos grupos.

2.5.1 Palinomorfos continentales

La identificación de los palinomorfos continentales se realizó en base a las características morfológicas de granos de polen y esporas presentes en el núcleo. Sin embargo, estos palinomorfos se agrupan para reflejar su significado ecológico, como se indica en la Tabla 3.

Tabla 3. Grupos morfo-ecológicos de palinomorfos continentales.

Palinomorfos continentales	
Familia y/o Grupo Morfo- Ecológico	Esporas (transportadas por lluvia)
	Polen Bisacado (bisacados, transportados por viento)
	Graminae (monoporados) y Chenopodiaceae- Amarantaceae (poliporados) (indican ambientes semi-áridos)
	Otros pólenes: Tricolporado, Tricolpado, Periporado espinoso, Tricolporado espinoso, Triporado, Tetraporado, Inaperturado, Tetracolpado espinoso, Stephanocolpado, Monocolpado, Tetraporado, Pentaporado. (Indican mayor diversidad, o generalmente más humedad)

Estas características son importantes ya que pueden indicar la producción y forma de dispersión del palinomorfo. Por ejemplo, muchas formas de polen anemófilos tienen paredes modificadas para mejorar su flotabilidad en el aire, mientras que los tipos de pólenes zoófilos tienen filamentos o recubrimientos adhesivos con el fin de mejorar la diseminación de varios pólenes por un organismo. Los pólenes y las esporas están entre los microfósiles mejor preservados porque el material (esporopolenina) de la pared (exina) es marcadamente resistente a degradaciones químicas y biológicas. Los rasgos morfológicos para identificar al polen fueron:

- El tamaño y forma del grano.
- La forma, número y arreglo de las aperturas de la pared.
- La estructura y ornamentación de la superficie de exina (Ronald, *et al.*, 2000).

La diversidad del polen, especialmente la de las angiospermas, pueden ser usada para determinar secuencias estratigráficas, estableciendo correlaciones entre lugares geográficamente separados y para hacer reconstrucciones paleoambientales (Jarzen and Nichols, 1996).

2.5.2 Palinomorfos marinos

En las 50 muestras analizadas, se reconocieron 47 taxa de palinomorfos marinos. Entre estos se observaron quistes de 42 especies de dinoflagelados, correspondientes a 3 familias y 18 géneros. Además, las muestras incluyen una clasificación aparte a otros palinomorfos como: Escolecodontes, Copépodos, testas de Foraminíferos, Acritarcas y Tintinomorfos. Todos estos grupos solo se identificaron como grupos morfológicos y cada uno de ellos tiene un significado ecológico ligeramente diferente. Por ejemplo, los escolecodontes, copépodos y foraminíferos representan organismos heterotróficos, mientras que las acritarcas y tintinomorfos probablemente representan organismos algáceos, probablemente fotosintéticos.

Los géneros de dinoflagelados que se observaron con mayor diversidad son *Brigantedinium* e *Impagidinium* con 9 y 6 especies respectivamente. En este documento se hará referencia a las especies con abreviaciones para cada especie (Tabla 4), con el fin de facilitar las discusiones.

Tabla 4. Abreviaciones del nombre de las especies encontradas en el núcleo BAP94-9K.

Quiste		Abreviación
Género	Especie	
Orden Peridiniales		
<i>Brigantedinium</i>	sp.	<i>BRIGSP</i>
	<i>cariacoense</i>	<i>BRIGC</i>
	<i>simplex</i>	<i>BRIGS</i>
	<i>grande</i>	<i>BRIGG</i>
	<i>asymmetricum</i>	<i>BRIGAS</i>
	<i>aureanteum</i>	<i>BRIGA</i>
	<i>irregulare</i>	<i>BRIGI</i>
	<i>majusculum</i>	<i>BRIGM</i>
	<i>sp granulado?</i>	<i>BRIGSG</i>
<i>Quinquecuspis</i>	<i>concreta</i>	<i>QCON</i>
<i>Leujeunecysta</i>	sp.	<i>LEUJ</i>
<i>Selenopemphix</i>	<i>nephroides</i>	<i>SNEP</i>
<i>Votadinium</i>	<i>spinosum</i>	<i>VOTS</i>
<i>Echinidinium</i>	sp.	<i>ECHSP</i>
	<i>aculeatum</i>	<i>ECHA</i>
	<i>delicatum</i>	<i>ECHD</i>
	<i>granulatum</i>	<i>ECHG</i>
	<i>transparantum</i>	<i>ECHT</i>
<i>Xandarodinium sp.</i>	sp.	<i>XAND</i>
Orden Gonyaulacales		
<i>Bitectatodinium</i>	sp.	<i>BITESP</i>
	<i>spongium</i>	<i>BITES</i>
	<i>tepikiense</i>	<i>BITET</i>
<i>Impagidinium</i>	sp.	<i>IMPSP</i>
	<i>pacificum</i>	<i>IMPP</i>
	<i>patulum</i>	<i>IMPPT</i>
	<i>sphaericum</i>	<i>IMPSPH</i>
	<i>strialatum</i>	<i>IMPST</i>
	<i>velorum</i>	<i>IMPV</i>
<i>Spiniferites</i>	sp.	<i>SSSP</i>
	<i>ramosus</i>	<i>SRAM</i>
	<i>bulloideus</i>	<i>SBULL</i>
	<i>mirabilis</i>	<i>SMIR</i>
	<i>pseudofurcatus</i>	<i>SSSF</i>
<i>Operculodinium</i>	<i>centrocarpum</i>	<i>OCEN</i>
<i>Tuberculodinium</i>	<i>vancampoae</i>	<i>TUBV</i>
<i>Achomosphaera</i>	sp.	<i>ACHOSP</i>

<i>Tectatodinium</i>	sp	TECSP
<i>Polysphaeridium</i>	sp.	POLYS
<i>Nematosphaeropsis</i>	<i>labyrinthea</i>	NEML
Orden Gymnodiniales		
<i>Gymnodinium</i>	<i>catenatum</i>	GYMC
	<i>nolleri</i>	GYMN
<i>Polykrikos</i>	<i>schwartzii</i>	POLSW

2.5.3 Especies indeterminadas

Varios especímenes se identificaron como *Spiniferites* sp., por carecer de suficientes aspectos morfológicos bien definidos, pues presentaban deformación en los procesos o cuerpo central lo cual dificultaba determinar el diámetro total, longitud y terminación de los procesos.

Algunos especímenes se identificaron como *Brigantedinium* sp. granulado? pues aunque tiene forma esférica, además de color y textura de la pared similar a otras especies de este género, no se aprecia un arqueópilo definido, además el cuerpo estaba doblado con algunos pliegues y gránulos.

2.6 Análisis estadístico

2.6.1 Tamaño mínimo de la muestra

Con el propósito de determinar el número mínimo de láminas descriptivas del contenido total de palinomorfos incluidos en el núcleo, se procedió a contabilizar el total de palinomorfos y el total de especies de dinoflagelados en 6 láminas, correspondientes a 2 réplicas de 3 muestras. Las muestras seleccionadas fueron 1, 50 y 91, con el fin de abarcar la mayor parte de la longitud del núcleo. Los resultados se graficaron en un diagrama de dispersión donde el eje de las abscisas está representado por el número de recorridos que se llevan a cabo bajo el microscopio para abarcar el área total de la lámina, mientras que el eje de las ordenadas representa el número acumulado de morfotipos. Los recorridos de 1 a

20 corresponden a la primera lámina según la muestra y los recorridos 21 a 40 a su réplica. La figura 2(a) muestra la tendencia casi asintótica en las curvas para las tres muestras (1, 50 y 91) con 35, 22 y 26 morfotipos respectivamente. Lo mismo sucede en la figura 2(b) donde se repite este comportamiento (muestras 1 y 50) con un nivel de confianza de 92% y 94% respectivamente. Sin embargo, para la muestra 91 la curva no alcanzó a estabilizarse por completo, aunque obtuvo un buen nivel de confianza estadística (89%). Por lo tanto una lámina es suficiente para el tamaño mínimo de muestra por la tendencia casi asintótica de las curvas, con respecto al número acumulado de morfotipos o especies de dinoflagelados para las tres muestras. Es decir, aunque se aumentara el número de recorridos, la cantidad de especies de dinoflagelados ya no aumentaría (Figura 2). Para los conteos finales, se observaron bajo el microscopio 50 láminas correspondientes a la misma cantidad de muestras. Sin embargo, en 14 de estas se necesitó analizarse una réplica, ya que no alcanzaban el 95% de nivel de confianza estadístico

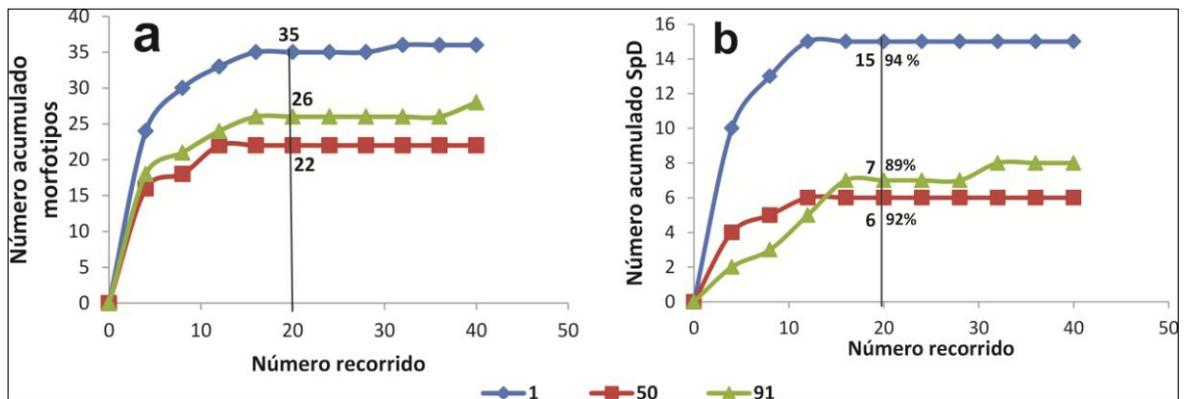


Figura 2. Tamaño mínimo de muestra, calculado a partir del conteo de 6 láminas en las muestras 1, 50 y 91 del núcleo BAP94-9K. La línea que corta al eje de las abscisas en el número 20 indica el fin de la primera lámina. a: Número acumulado de morfotipos de palinomorfos en general indicado sobre las líneas. b: Números mostrados a la izquierda de la línea gris indican la cantidad acumulada de especies de dinoflagelados (SpD), y los números a la derecha indican porcentaje de confianza.

2.7 Abundancia absoluta

El método de marcadores exóticos (Stockmarr, 1971) incluye el agregar un número determinado de granos de polen, o esporas identificados y previamente contados a un peso conocido de la muestra al inicio del tratamiento químico. Una vez procesada la muestra y registrados cuantitativamente tanto los palinomorfos, como los marcadores exóticos se pueden determinar el número de especímenes de la muestra por gramo de sedimento. Con el número total de esporas de *Lycopodium* se calcula la concentración y el error de los conteos de dinoflagelados (Stockmarr, 1971).

Las tabletas con esporas de *Lycopodium* se adquirieron del Departamento de Geología de la Universidad de Lund, Suecia, el frasco con tabletas que corresponde al lote (483216), el cual tiene la media y desviación estándar en base a 5 tabletas, calculando el número de esporas para una tableta se obtuvo un resultado de 18,583 esporas de *Lycopodium* por tableta.

Se aplicó la siguiente fórmula (Benninghoff, 1962) para el cálculo de la abundancia absoluta:

$$C = \frac{dc * Lt * t}{Lc * w} \quad (1)$$

Donde:

<i>C</i>	Número de palinomorfos por gramo de sedimento seco.
<i>dc</i>	Número de palinomorfos contados.
<i>Lt</i>	Número de esporas de <i>Lycopodium</i> por tableta.
<i>Lc</i>	Número de esporas de <i>Lycopodium</i> contadas.
<i>t</i>	Número de tabletas agregadas a la muestra.
<i>w</i>	Peso de sedimento seco en gramos.

El resultado de la fórmula 1 proporcionó la cantidad de palinomorfos por gramo de sedimento por muestra. Los resultados junto con la cronoestratigrafía se graficaron en el programa Matlab (Moler, 2008).

Se calculó el error total del número de esporas en las tabletas, dado por la siguiente ecuación (Stockmarr, 1971):

$$e = \sqrt{e_1^2 + e_2^2 + e_3^2}$$

Donde:

e_1	Error en el número de esporas de tabletas marcadoras
$e_2 = \frac{\sqrt{\text{Quistes contados}}}{\text{Quistes contados}}$	Error en los quistes de dinoflagelados contados
$e_3 = \frac{\sqrt{\text{Esporas contadas}}}{\text{Esporas contadas}}$	Error en el número de esporas contadas

Se aprecian errores bajos de 0.06 (muestra 1), 0.07 (muestra 50) y 0.11 (muestra 91), lo cual significa que el análisis es estadísticamente significativo (Figura 3).

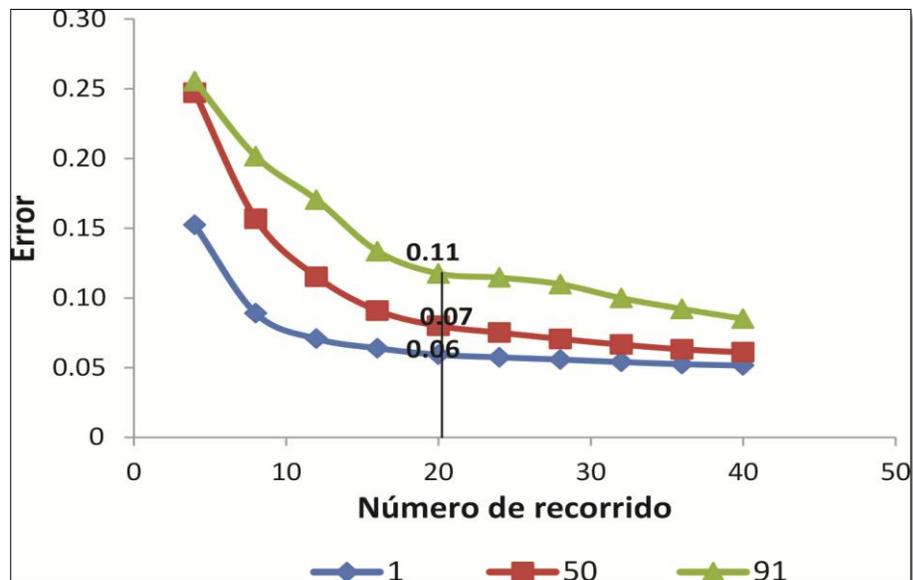


Figura 3. Error calculado del número de esporas de *Lycopodium* en las tabletas.

Se elaboraron matrices de correlación paramétrica de Pearson (r) entre las variables paleoambientales y análisis de componentes principales para las especies de dinoflagelados totales (Gonyaulacales y Peridinales), así como para Palinomorfos Totales para resumir el número de variables en base a su varianza común y facilitar la interpretación (Morales-Vallejo,2012).

2.8 Abundancia relativa

El porcentaje de abundancia relativa se estimó a partir del conteo del palinormorfos en cada muestra por 100 entre el número total de palinormorfos de la muestra. También se calculó la relación M/C expresada en porcentaje, a partir de la siguiente fórmula:

$$\frac{M}{C} = \left(\frac{\text{Total de Marinos}}{\text{Total de Marinos} + \text{Total de Continentales}} \right) * 100 \quad (2)$$

Los resultados se presentan en diagramas de ocurrencia en donde el eje de las ordenadas representa los niveles estratigráficos representados por las muestras del núcleo y el eje de las abscisas representa la frecuencia relativa de palinormorfos. Los diagramas se generaron por medio de un programa en Matlab (Moler, 2008).

2.9 Índice de diversidad

Para describir la estructura de la comunidad en cada uno de los niveles o muestras del núcleo, se utilizó el índice de diversidad de Shannon, el cual se define como:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i \quad (3)$$

Donde:

- S Número de especies por muestra
 p_i Proporción de organismos de la especie respecto al total de organismos (abundancia relativa)

Los rangos utilizados para medir el grado de diversidad son de 0 a 5, es decir a mayor valor de índice, este indicará mayor biodiversidad del ecosistema. Se calculó el índice de diversidad para los dinoflagelados, para determinar qué partes del núcleo presentaban mayor estabilidad ambiental. El índice de diversidad se obtuvo mediante el programa Past (Hammer, *et al.*, 2009).

2.10 Análisis de Agrupamiento

Se realizó un análisis de agrupamiento (Dendrograma) modo R (Figura 4), con programa Past (Hammer, *et al.*, 2009) por el método de Ward utilizando distancias euclidianas, tomando en cuenta los diferentes grupos palinológicos (Periporado, Monoporado, Espora, Bisacados, Otros pólenes, Escolecodontes (ESC), Testas Internas de Foraminíferos (TIF), Copépodos (COPE), Tintinomorfos (TINT), Acritarcas (ACRI), Perdinidinales (PERI) y Gonyulacales (GONY).

2.11 Componentes principales

El análisis de componentes principales (ACP) es una técnica estadística utilizada cuando el interés es conocer que variables en el conjunto original podrían formar subconjuntos coherentes y relativamente independientes unos de otros. Los factores resultantes reflejarán los procesos que han creado alta correlación entre las variables (Solana-Arellano, 2011).

Se realizó un análisis de componentes principales (factor R) de los conjuntos palinológicos, utilizando la matriz de covarianza (Wallace and Dickinson, 1972). Además se realizaron matrices de correlación entre los diferentes grupos palinológicos y las variables paleoclimáticas para comprobar numéricamente la asociación entre variables, usando el software STATISTICA7 (StatSoft, 2005).

2.12 Registros paleoclimáticos

Para comparar el registro temporal de las concentraciones de los conjuntos de palinomorfos Continentales y Marinos, se realizó una búsqueda en el sitio de la NOAA Paleoclimatology en el cual se encontró el siguiente parámetro:

-Precipitación Pluvial en la Sierra Nevada (PPSN) E.U.A. (Hughes y Graumlich, 1996)

Este índice está directamente correlacionado con la productividad regional en el Golfo de California, como respuesta a la Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) y a la El Niño Oscilación Austral (ENOA), por lo tanto aumentos de Precipitación en Sierra Nevada (fase húmeda) se relacionan con vientos del noroeste en el Golfo de California (Flores-Trujillo *et al.* 2009). La fase húmeda pertenece a los valores del índice por arriba de la media (20) y la fase seca a los valores por debajo de la media. Este índice de precipitación se usa porque no hay

series de tiempo disponibles con mediciones de la productividad primaria marina, que cubran todo el intervalo estudiado.

También se compararon los resultados con las siguientes series de tiempo reportadas en la región:

-De CLP (Bernal-Franco, 2001), se utilizó el % Opalo biogénico (Ob) como indicador de productividad marina y el % Terrígenos (Te), considerado a partir de los sedimentos biogénicos (Ópalo biogénico + Calcita + Carbono orgánico), como el complemento para el 100%. Este %Te se utilizó como indicador de aporte de material continental.

De Cuenca Alfonso, en la Bahía de La Paz (Pérez-Cruz, 2013) se usaron:

-El %Titanio (Ti), el cual proviene de minerales alóctonos acarreados por precipitación pluvial, incluidas inundaciones repentinas asociadas a huracanes (Silverberg, *et al.*, 2007), por lo que se ha utilizado como índice de aporte terrígenos al sedimento marino (Barron, *et al.*, 2002). De esta misma área, también se usó la razón Bario/Aluminio (Ba/Al), la cual se ha usado como indicador indirecto de paleoproduktividad debido a la incorporación de Ba a lo largo de la columna de agua por el fitoplancton (Pérez-Cruz, 2013).

Capítulo 3

Resultados

3.1 Análisis palinológico

En el análisis de agrupamiento (Figura 4), los grupos conformados con base en las muestras son:

- 1: (Muestra 17). Esta muestra está representada principalmente por *Spiniferites*.
- 2: (Muestras 63, 71, 75, 49, 57, 25, 99, 35, 31, 33, 39, 43, 97, 87, 89, 51, 41, 69, 91, 53).
- 3: (Muestras 59, 3, 13, 73, 37, 65, 67, 83, 79, 81, 19, 61, 23, 55, 7, 27, 9, 29, 47).
- 4: (Muestras 77, 11, 45, 15, 85, 1, 5, 21, 93, 95).

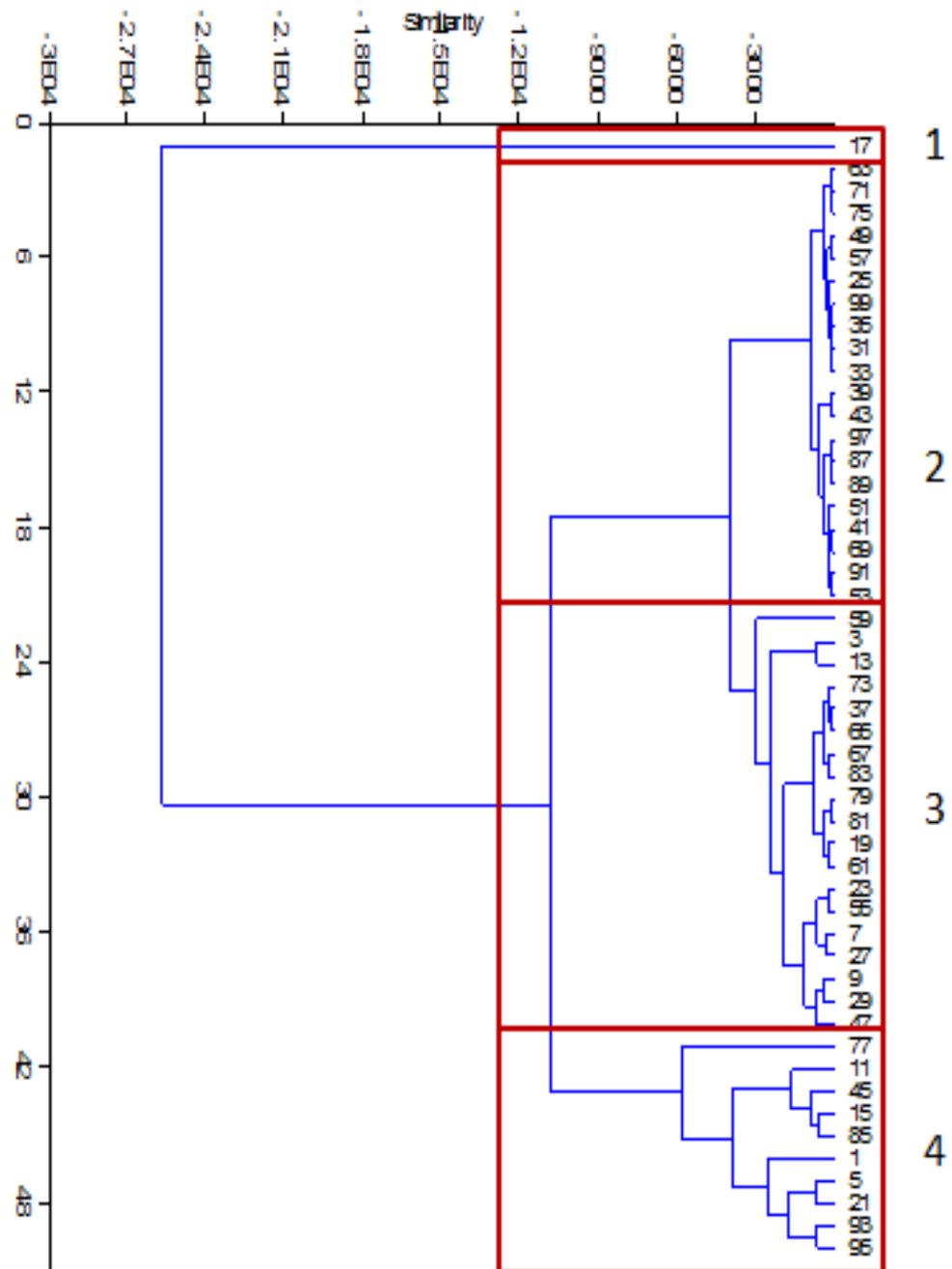


Figura 4. Dendrograma mediante el método de Ward en modo R, de las 50 muestras del núcleo BAP94-9K.

3.2 Abundancia absoluta general (Concentraciones de especímenes por gramo de sedimento)

En general las abundancias de los tres tipos de palinomorfos (Totales, Continentales y Marinos) presentan abundancias con promedios de 2,430 pal/g y 2,542 pal/g en los ciclos basales. A continuación hay una disminución en la parte media para las tres series, en la parte media del núcleo con un promedio de 1,083 pal/g y finalmente hay un aumento en los ciclos más recientes, los cuales presentan un promedio de 3,488 pal/g y 4,711 pal/g.

La serie completa de palinomorfos totales presenta una media de 3,498 pal/g. Los años con mayores concentraciones de palinomorfos son 1774 (12,652 pal/g), 1123 (25,629 pal/g) y 1491 (17,278 pal/g), pertenecientes a las partes superiores e inferiores del núcleo, mientras que la muestra 63 presenta el valor mínimo de la serie con 257 pal/g.

Las concentraciones mínimas de palinomorfos Totales coinciden con concentraciones bajas tanto de continentales como de marinos. Este comportamiento es más evidente en la parte media a excepción de la muestra 45 (5,000 pal/g). Las concentraciones más elevadas de palinomorfos coinciden con concentraciones altas de marinos y continentales (años 1774, 3, -1491, -2155 y -2232) presentes a lo largo del núcleo. Sin embargo, en la muestra 17, la concentración de continentales (824 cont/g) es inferior al valor de la media (968 cont/g).

La abundancia de Marinos con respecto a los Continentales es mayor en todo el intervalo cronoestratigráfico. Sin embargo, en la muestra 59 (-656 años Cal) la relación es inversa, pues los continentales (3,120 cont/g) dominan sobre los marinos con 1,605 mar/g. Las concentraciones de continentales en todo el núcleo, varían de 27 a 3,261 cont/g.

En general la relación entre Continentales y Marinos es proporcional ya que a medida que aumentan los continentales, lo mismo sucede con los marinos, lo cual se aprecia en las partes superior e inferior (Figura 5).

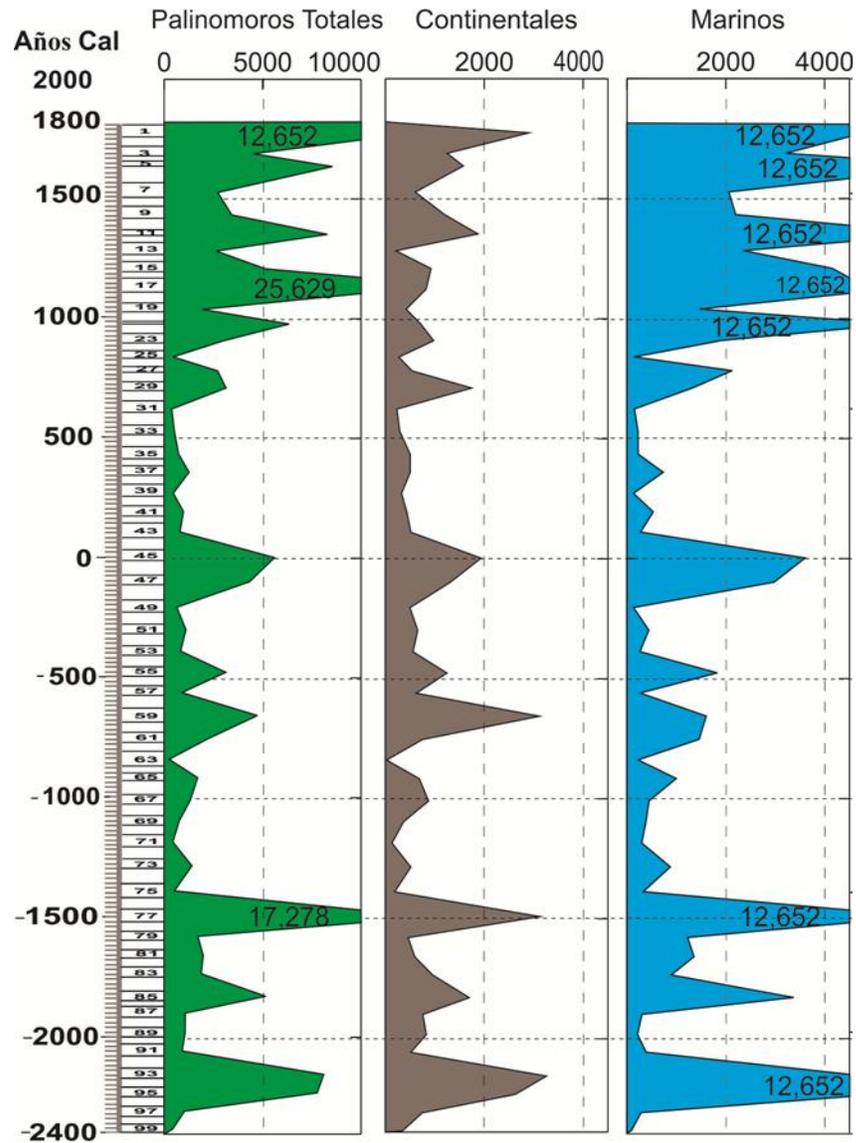


Figura 5. Concentraciones (pal/g) de Palinomorfos Totales, Continentales y Marinos. Los números en los diferentes niveles del núcleo representan las concentraciones que rebasan la escala del eje de las abscisas.

3.3 Abundancia absoluta (Concentraciones) de dinoflagelados

En cuanto a las concentraciones de dinoflagelados heterótrofos (Figura 6), el patrón general en las nueve series (excluyendo a BRIGSP), es una abundancia cercana o mayor a 50 quistes/g en la parte inferior, disminuyendo a 14 quistes/g en la parte media del núcleo, para finalmente aumentar a más de 50 quistes/g en la parte superior. A continuación se describen las distribuciones de las especies más importantes en orden de abundancia.

BRIGSP: es la especie más abundante a lo largo de todo el núcleo. Este taxón presenta una abundancia promedio de 350 quistes/g, un máximo de 2,359 quistes/g (muestra 1=1774 años Cal) y mínimo de 2 quistes/g (muestra 49= -204 años Cal). En general se observan dos intervalos con abundancias superiores a 1,000 quistes/g en la parte inferior, seguido por un intervalo de poca abundancia a lo largo de la parte media, excepto por el aumento a 700 quistes/g (muestra 47= -98 años Cal), finalizando en un intervalo de abundancia mayor a 1,000 quistes/g en la zona superior.

BRIGSG: no es significativo a lo largo del núcleo, excepto por un intervalo de abundancia alta con 1,533 quistes/g (1983 a -1388 años).

QCON: presenta una concentración media de 13 quistes/g. Su distribución general es similar al resto de las especies, con concentración relativamente alta de 50 quistes /g en la parte inferior, seguido por una concentración baja (2 quistes/g) hasta presentar un ligero aumento (37 quistes/g) en la parte media. Continúa con variaciones representadas principalmente por valores superiores a 50 quistes/g en la parte superior, para concluir con un aumento máximo a 150 quistes/g.

SNEP: la concentración media es 6 quistes/g. En general las concentraciones de este taxón son bajas (< 50 quistes/ g) en las partes inferiores,

seguido por una concentración mínima de 3 quistes/g a lo largo del núcleo, para volver a aumentar ligeramente a 35 quistes/g en la parte superior.

BRIGI y VOTS: no son significativas a lo largo del núcleo pues solo presentan 30 quistes/g (parte superior) y 34 quistes/g (parte inferior).

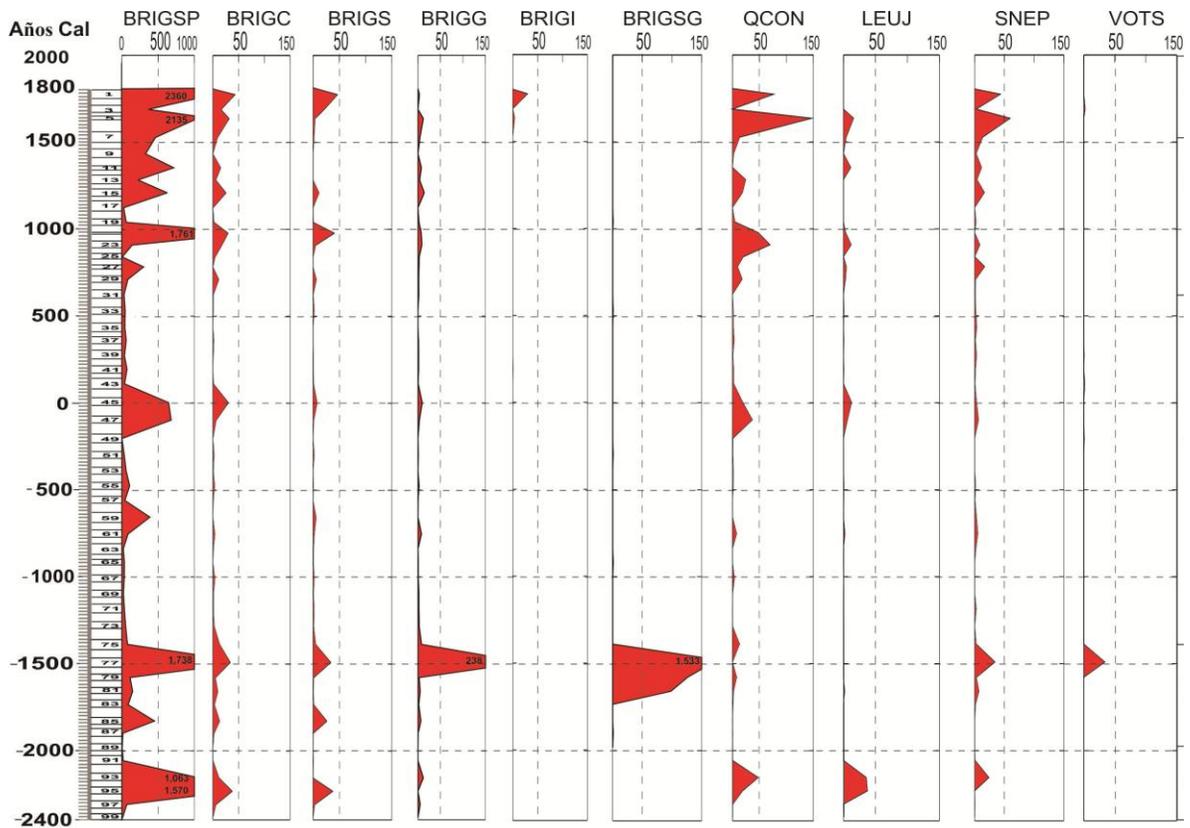


Figura 6. Concentraciones de quistes de dinoflagelados heterótrofos: **BRIGSP** (*Brigantedinium* sp.) **BRIGC** (*Brigantedinium cariacense*), **BRIGS** (*Brigantedinium simplex*), **BRIGG** (*Brigantedinium grande*), **BRIGI** (*Brigantedinium irregulare*), **BRIGSG** (*Brigantedinium* sp. granulado?), **QCON** (*Quinquecuspis concreta*), **LEUJ** (*Lejeunecysta*), **SNEP** (*Selenopemphix nephroides*) y **VOTS** (*Votadinium spinosum*).

Con respecto a las distribuciones de los dinoflagelados autótrofos (Figura 7), las características más importantes de sus distribuciones son las siguientes. De las ocho series, la especie más abundante es SSSP con una concentración media de 352 quistes/g y la menos abundante es SBULL con 2 quistes/g de concentración media.

BITES: presenta dos incrementos en concentración de 18 quistes/g y de 34 quistes/g en la parte inferior. A lo largo de la parte media se observa una recuperación muy baja (1 quistes/g), pero vuelve a incrementarse (77 quistes/g) en la parte superior. Esta especie es la tercera más dominante del grupo de Autótrofos.

IMPSP: presenta dos pulsos de 37 quistes/g y 68 quistes/g en la parte inferior, otro pulso en la parte media con 35 quistes/g y 66 quistes/g en la parte superior.

IMPP: concentraciones casi constantes a lo largo del núcleo con valores bajos (5 a 18 quistes/g) y un máximo de 43 quistes/g en la parte media.

IMPSPH: la mayor recuperación se localiza en la parte inferior del núcleo, con un máximo de 68 quistes/g.

SSSP: en general presenta valores bajos en la parte inferior, con dos pulsos de 12 y 46 quistes/g en la parte basal. Continúa sin recuperación, hasta alcanzar 176 quistes/g en la parte media y vuelve a tener una recuperación máxima en la parte superior del núcleo con 17,155 quistes/g.

SRAM: presenta dos pulsos en la parte inferior del núcleo, el primero con valores que fluctúan de 1 a 47 quistes /g y el segundo con valores entre 1 a 93 quistes/ g. En la parte media del núcleo, se observan fluctuaciones de 14 a 130 quistes/g, para finalizar con un máximo de recuperación 2,423 quistes/g en la parte superior. Esta especie es la más dominante del grupo de Autótrofos.

SBULL: presenta concentración baja (< 30quistes/g) a lo largo del núcleo. Incluso en la parte superior la concentración fue nula.

ACHOSP: también presenta baja recuperación en casi todo el núcleo, pero presenta una recuperación alta de 3,865 quistes/g en la parte superior. Esta especie es la segunda dominante del grupo de Autótrofos.

SSSP y SRAM: se presentan valores medios (50 quistes/g) a altos (180 quistes/g) en las partes inferiores y media. Además estas especies presentan el máximo de recuperación (>2400 quistes/g) la parte superficial (Figura 7).

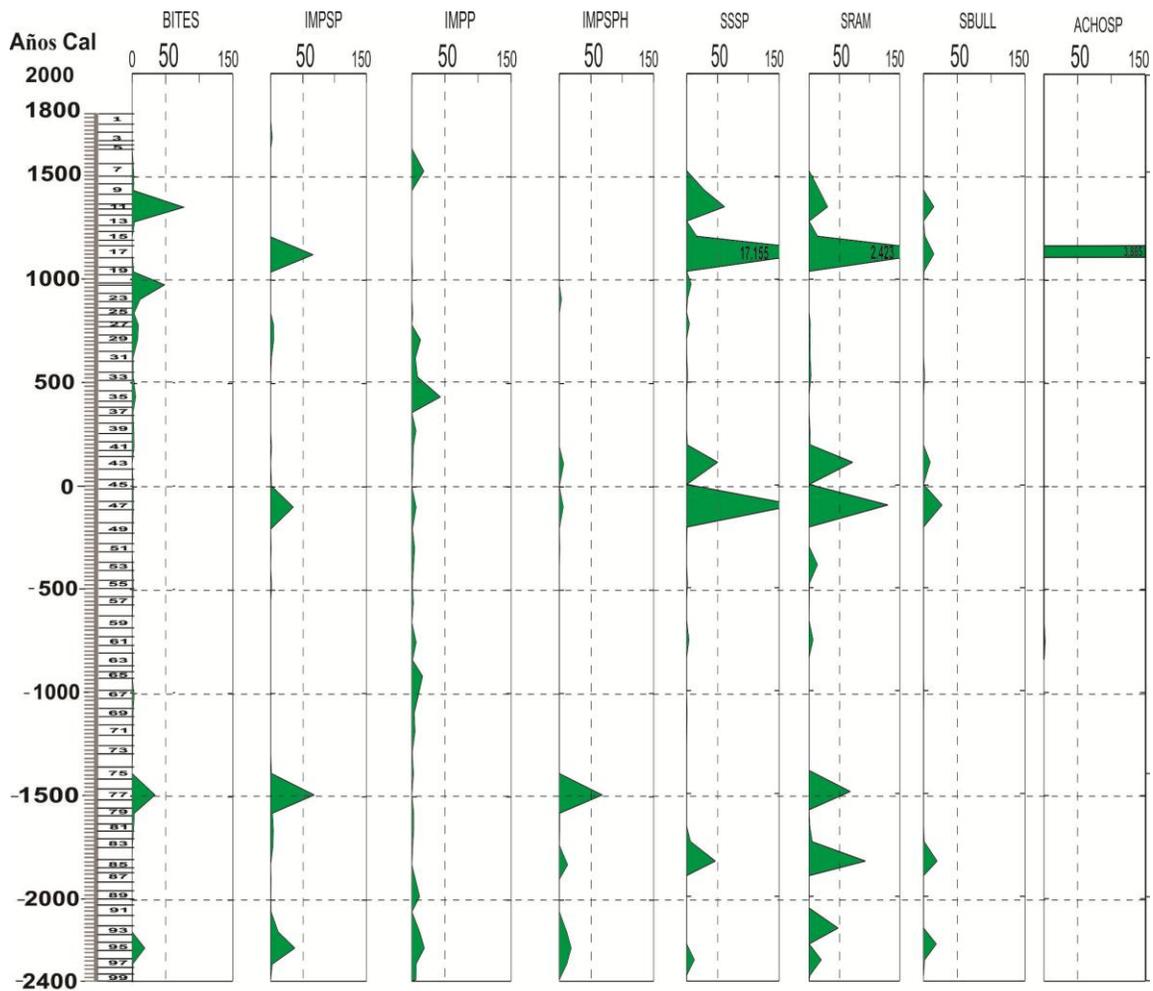


Figura 7. Concentraciones de quistes de dinoflagelados autótrofos: BITES (*Bitectatodinium spongium*), IMPSP (*Impagidinium* sp.), IMPP (*Impagidinium pacificum*) IMMPH (*Impagidinium sphaericum*), SSSP (*Spiniferites* sp.), SRAM (*Spiniferites ramosus*), SBULL (*Spiniferites bulloideus*), ACHOSP (*Achomosphaera* sp.).

3.4 Abundancias relativas (Porcentajes) de palinomorfos marinos y continentales

Con base en los patrones de abundancia relativa de los palinomorfos, se dividió la secuencia del núcleo en cuatro ciclos (Figura 8). Estos ciclos se definen con base en las abundancias de palinomorfos Continentales y Marinos, los resultados del análisis de agrupamiento y los índices de diversidad de los conjuntos de dinoflagelados. Los ciclos definidos aquí, comprenden los siguientes años calendario: ciclo A (-2400 a -1829), ciclo B (-829 a -1332), ciclo C (-1332 a 907), ciclo D (907 a 1800).

En este análisis se identificaron palinomorfos Continentales y Marinos (Figura 8) y en general las muestras contienen más Marinos (72%) que Continentales (28%). El porcentaje de abundancia promedio para los continentales es del 43%. Los continentales presentan una ciclicidad semejante, pero inversa a la de los Marinos (Figura 8) presentando una mínima de 3% (parte superior) y una máxima de 79% (partes inferiores). El patrón general a lo largo del núcleo es una abundancia promedio de 34% (parte inferior), para después volver a aumentar a 47% (parte media) y finalmente una disminución del 20% en la parte superior (Figura 8).

Por otro lado la abundancia relativa de marinos presenta en general un porcentaje que oscila entre 40% y 80% con una abundancia mínima del 20% en la parte inferior y una máxima del 97% en la parte superior. Esta serie presenta una abundancia alta (70%) en partes basales y parte media. Disminuye a menos del 50% hacia la parte superior y finalmente aumenta hasta un 80% en la parte superficial (Figura 8).

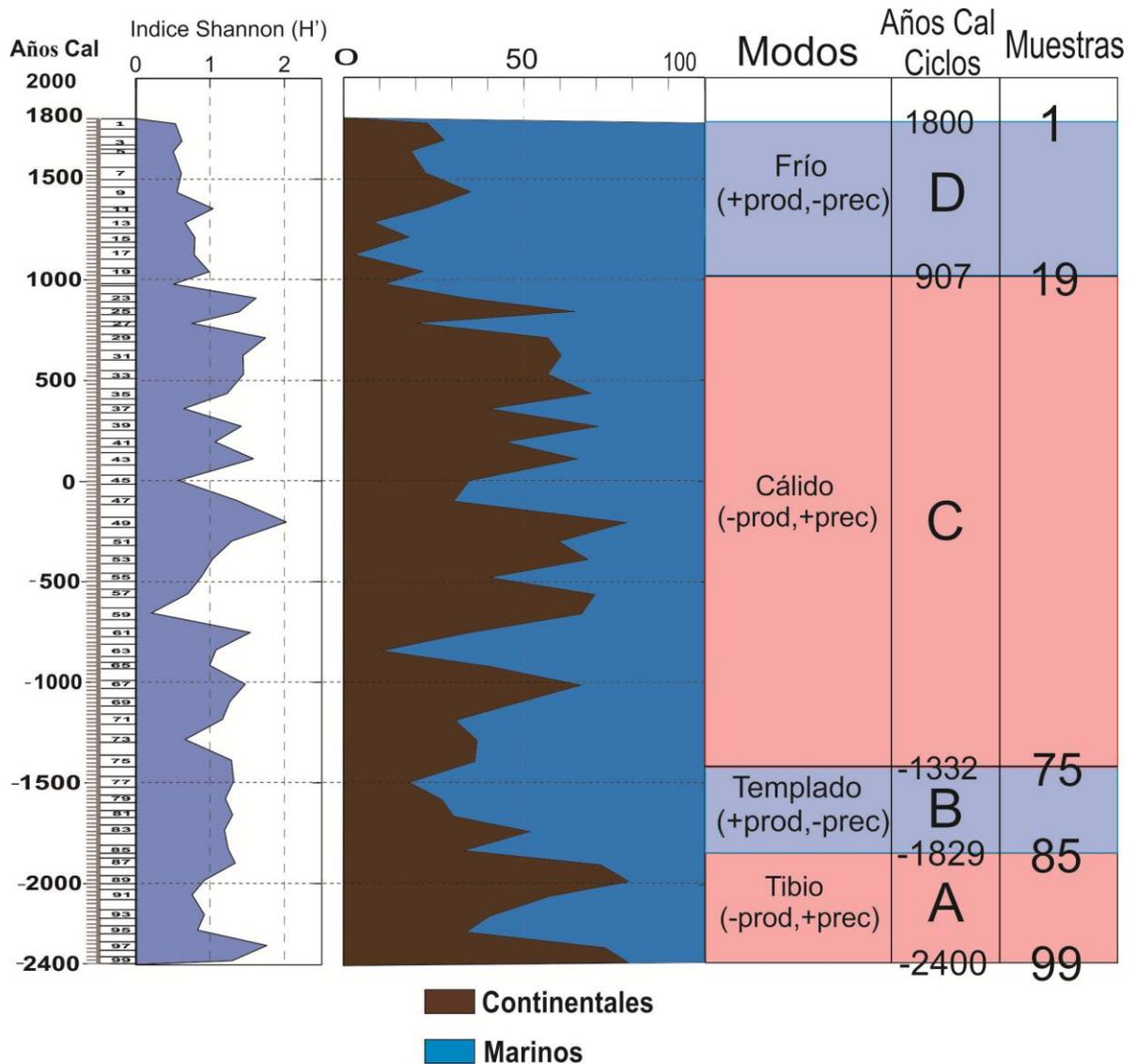


Figura 8. A la izquierda se muestra el índice de Shannon para dinoflagelados. A la derecha se muestra la relación M/C (Marinos/Continentales) por muestra.

3.5 Índice de Diversidad Shannon (H')

Este índice de diversidad (Figura 8) presenta un comportamiento cíclico a lo largo del núcleo, oscilando entre 0.2 y 2, con un índice promedio de 1. El promedio del valor de este índice en la parte inferior es el mayor (1.21), mientras que en la parte superficial del núcleo tiene el menor valor promedio (0.57).

Con respecto a los grupos morfo-ecológicos de palinomorfos continentales, la serie más abundante es la de Bisacados (Figura 9). Sin embargo, puesto que la identificación de este grupo solo se realizó en base a la morfología general no se pueden diferenciar los bisacados que posiblemente provinieron de diferentes áreas y su análisis deberá hacerse con mayor detalle morfológico para ser usado en algún modelo ecológico.

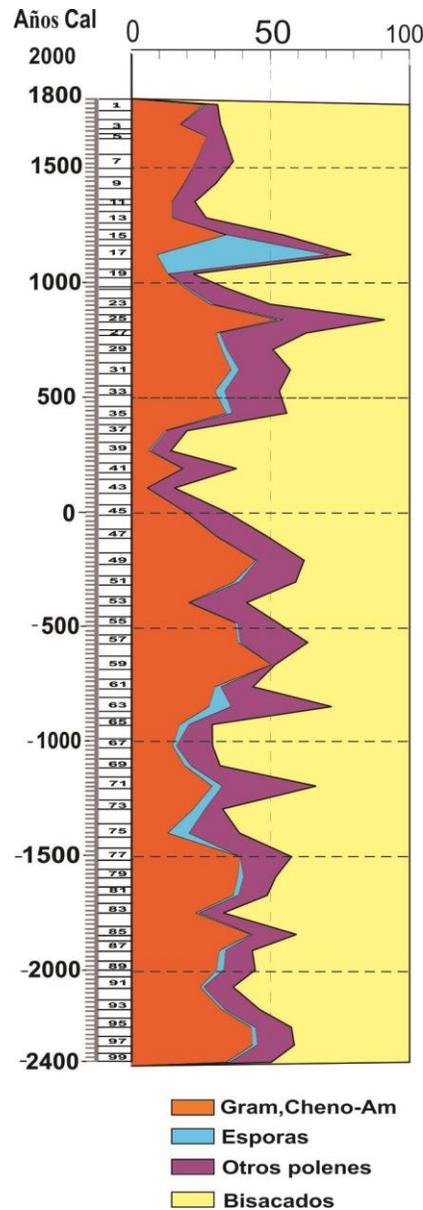


Figura 9. Abundancia relativa de los grupos morfo-ecológicos de Palinomorfos Continentales: Gram/Cheno-Am, Esporas, Otros polenes y Bisacado.

El grupo Gram/Cheno-Am es el más abundantes (respecto a Esporas y Otros pólenes), con un porcentaje de abundancia promedio de 30%, un mínimo de 6% (parte media) y un máximo de 53% (parte superior), mientras que las Esporas es el grupo morfo-ecológico menos abundante con un porcentaje de abundancia promedio de 3% y un máximo de 62% (parte superior).

El patrón general de Gram/Cheno-Am, es una abundancia menor o igual a 40% a lo largo del núcleo, sin embargo se presenta una disminución de 5% en la parte media, posteriormente aumenta a 30% en la parte superior.

Para el grupo Otros pólenes su porcentaje de abundancia promedio es 15% con un mínimo de 1% (parte media) y un máximo de 36% (parte superior). El patrón general para este grupo es abundancia baja del 12 % (parte inferior), seguido por un incremento al 35% en la parte media y superior, para finalmente disminuir en la superficie a un 12% (Figura 9).

En cuanto a las abundancias relativas de Palinomorfos Marinos con respecto a ellos mismos, el porcentaje promedio de Dinos es de 23% con un mínimo de 5 % y un máximo de 95%, ambos en la parte superficial (Figura 10). El patrón general de Dinos presenta una abundancia de 50% en la parte inferior del núcleo. En seguida una disminución hasta el 20 % en la parte inferior de la zona media del núcleo. Vuelve un ligero aumento al finalizar la parte media con 35%, seguido por una abundancia generalmente baja (20%) en la parte superior, excepto por un frecuencia alta de 95% en esta misma zona. Finalmente termina con una disminución del 20% en la parte más superficial.

ACRI: porcentaje promedio es 2%, con un máximo de 5% en la parte más superficial. El patrón general presenta valores bajos de abundancia relativa (2%) en todo el núcleo.

TIF: porcentaje promedio es 12%, con un mínimo de 1% y un máximo de 58% en la parte superior. El patrón general presenta valores bajos de abundancia

relativa (12%) en la parte inferior, seguido por un máximo de 58% en la parte media. Después se observa un valor bajo de 10% desde la parte media a la parte superior, excepto por dos intervalos altos (40%) en esta última zona.

COPE: porcentaje promedio es 22%, con un mínimo de 0.4% en la parte superior y un máximo de 40% en la parte media. El patrón general es de 30%, casi constante a lo largo del núcleo.

TIN: porcentaje promedio es 5%, con un mínimo de 0.12% en parte superior y máximo de 18% en parte inferior del núcleo. El patrón general es aproximadamente del 10%, casi constante a lo largo del núcleo.

ESC: porcentaje promedio es 37%, con un mínimo de 3% en la parte superior y un máximo de 67% en la parte media. El patrón general es de abundancia media (50%) en la parte inferior. Se observa un ligero aumento al 70% en parte media, seguido de una leve disminución al 50% en la parte superior. Esta serie termina con una disminución al 35% en la parte más superficial (Figura 10).

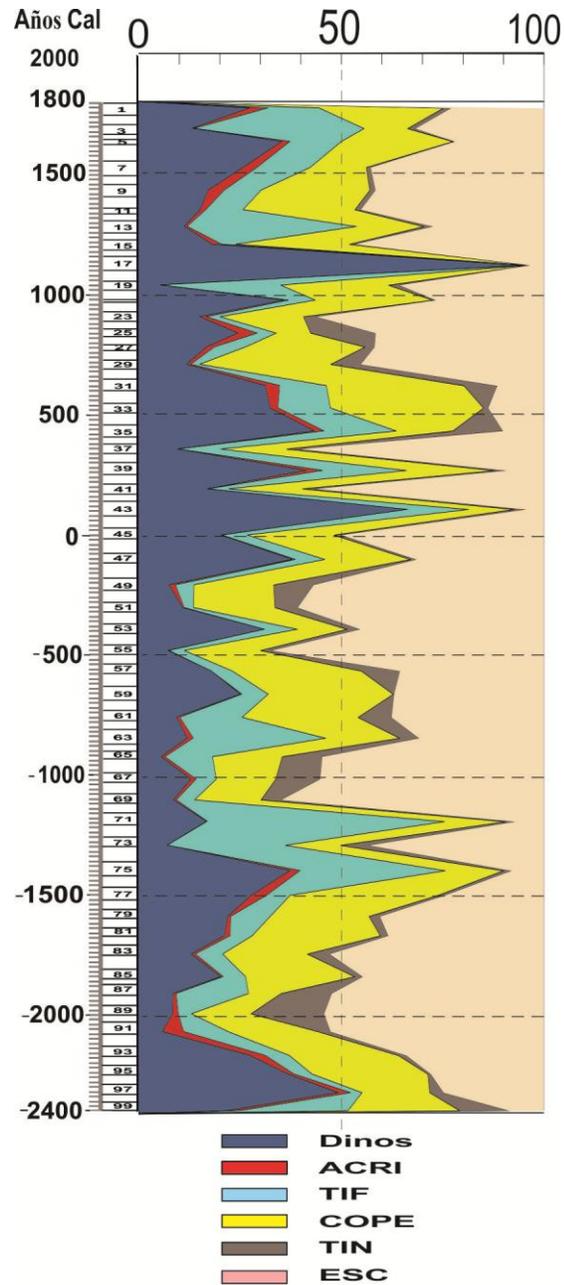


Figura 10. Abundancia relativa de Palinomorfos Marinos, incluyendo: Dinos (quistes de dinoflagelados), ACRI (acritarcas), TIF (testas internas de foraminíferos), COPE (copéodos), TIN (tintinomorfos) y ESC (escolecodontes).

3.6 Distribución biogeográfica de quistes

Las especies de clima cosmopolita (Tabla 5) son las que presentan mayor frecuencia y abundancia relativa a lo largo de núcleo con 93% (Figura 11a) y las de menor abundancia son las de clima templado a frío (1%). Las partes inferior y superior son las que presentan mayor concentración de los cinco tipos de climas, en contraste con la parte media la cual presenta la menor concentración de estas categorías junto a la predominancia de valores altos (> 60%) en terrígenos en CLP (Figura 11c).

Tabla 5. Distribución biogeográfica de especies de dinoflagelados indicadoras de climas templado a frío y tropical a subtropical. (A) indica taxón Autótrofo, (H) indica taxón Heterótrofo.

Distribución Biogeográfica				
Templado a frío	Templado a subtropical	Templado a tropical	Tropical a Subtropical	Cosmopolitas
BITET (A)	SNEP(H)	QCON(H)	ECHD (H)	BRIGSP(H)
IMPSPH (A)	VOTS(A)	ECHA(A)	ECHG (H)	BRIGC(H)
OCEN (A)	POLSW(H)	XAND(A)	ECHE (H)	BRIGS(H)
		IMPST(A)	TECSP (A)	BRIGG(H)
		IMPV(A)	POLYS (A)	BRIGAS(H)
		SBULL(A)	GYMC (A)	BRIGA(H)
		SMIR(A)	BITES (A)	BRIGI(H)
				BRIGM(H)
				BRIGSG(H)
				SRAM(A)

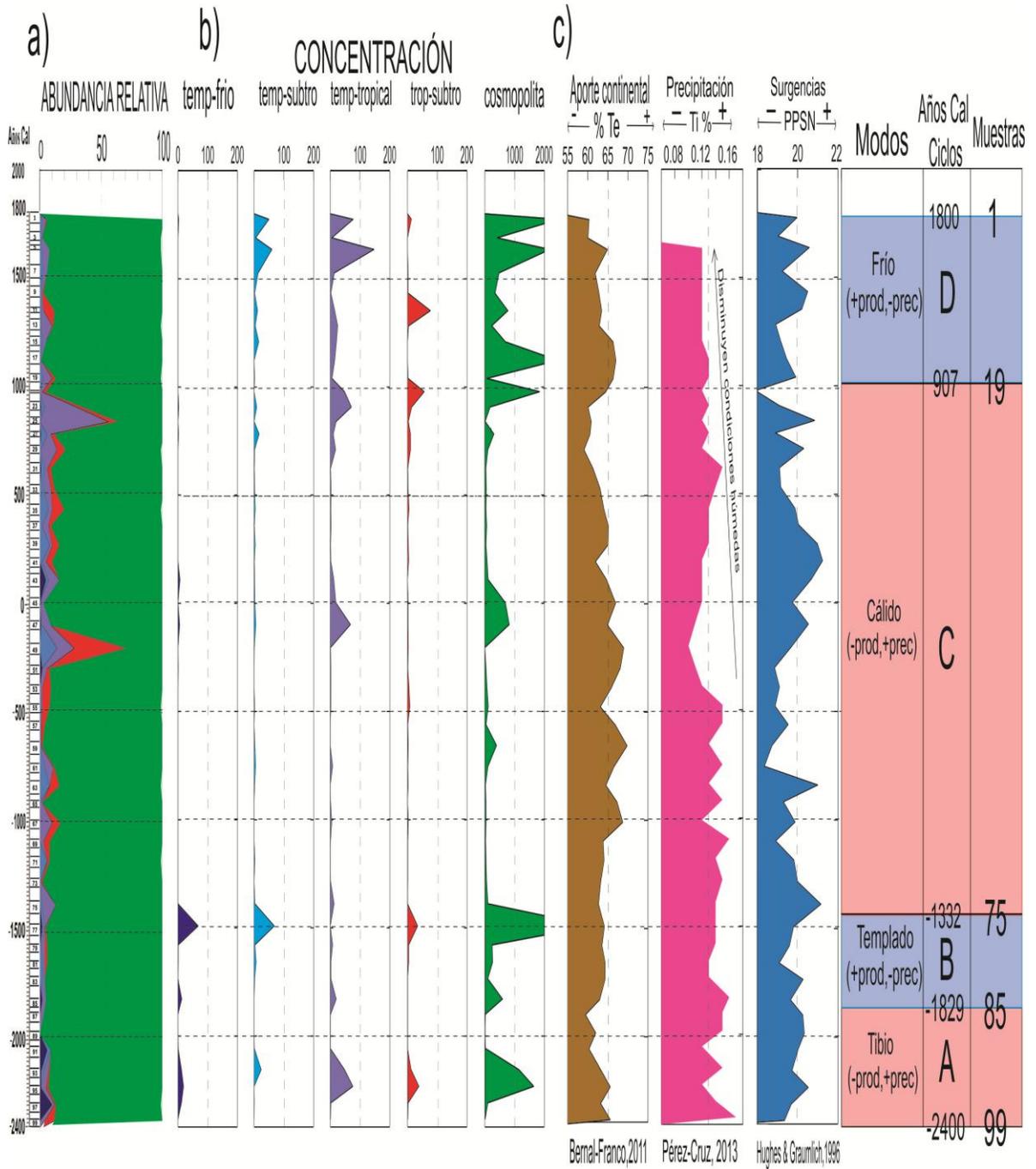


Figura 11. Distribución biogeográfica de ciertas especies de dinoflagelados observadas en el núcleo: a) Abundancia relativa, b) Concentraciones y c) %Te, %Ti y PPSN. Distribución de especies: Templado a frío (color azul marino), Templado a subtropical (color azul claro), Templado a tropical (color morado), Tropical a subtropical (color rojo) y Cosmopolita (color verde).

3.7 Relación de concentraciones con variables paleoclimáticas

La matriz de correlación realizada entre las variables ambientales (Tabla 6), arrojó lo siguiente:

Solo dos de estas variables están relacionadas entre sí, en particular el % Ob en CLP, tiene una correlación negativa significativa (-0.26) con %Ti (influjo de terrígenos en Cuenca Alfonso). Esta relación se aprecia en la tendencia que tienen ambas variables, pues el Ob tiende a aumentar hacia la parte superior del núcleo, mientras %Ti tiende a disminuir en el mismo sentido (Figura 12). Además, Ba/Al tiene correlación significativa con los parámetros %Te y %Ti, indicadores del aporte de terrígenos, por lo cual interpretamos que la presencia de Ba/Al está relacionada también con este aporte y no solamente con la productividad marina.

Tabla 6. Matriz de correlación entre las variables paleoambientales. PPSN (Precipitación en Sierra Nevada), Ob (Ópalo biogénico), %Te (Terrígenos) y %Ti (Titanio). Los valores sombreados con gris son significativos ($p < 0.10$).

	PPSN	Ob	%Te	%Ti (=Terr)	Ba/Al (Prod Mar)
PPSN	1				
Ob	-0.03	1			
%Te	-0.19	-0.00	1		
%Ti	-0.14	-0.26	0.14	1	
Ba/Al	0.08	0.03	0.52	0.35	1

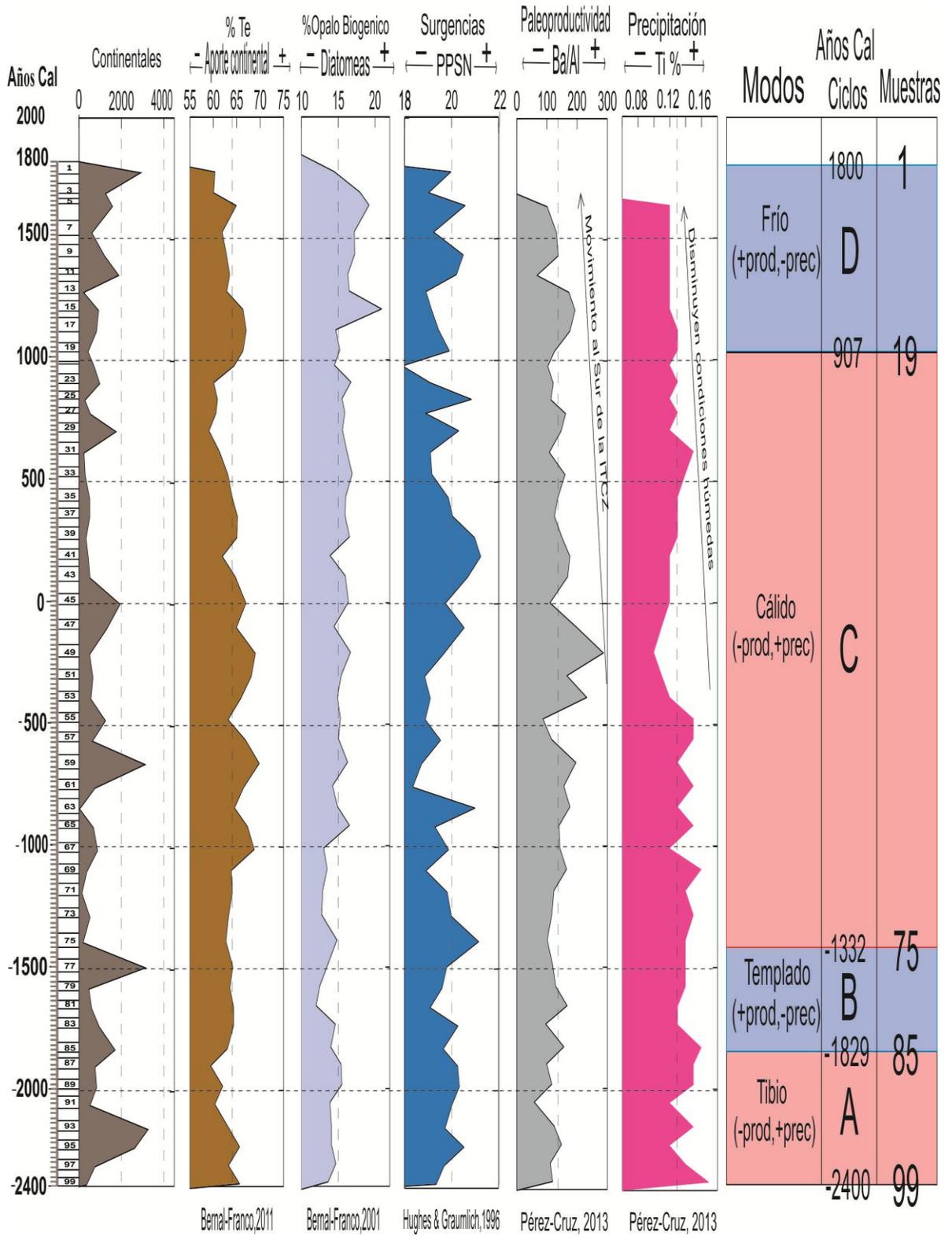


Figura 12. Concentraciones de palinomorfos continentales comparadas con índices paleoclimáticos indirectos.

En la matriz general (Tabla 7), con base en las concentraciones observadas de los diferentes grupos palinológicos en las muestras estudiadas, todos los grupos de Palinomorfos están correlacionados significativamente entre ellos y la correlación más alta (0.98) es entre Palinomorfos Totales y Marinos. Estas relaciones indican que hay un factor principal que afecta las abundancias de todos los grupos de Palinomorfos en una forma significativa y muy parecida. Los cambios de Continentales son obviamente controlados por el aporte de terrígenos (precipitación pluvial en la región), mientras que los cambios en los Marinos están relacionados con la mayor productividad primaria en las zonas costeras de CLP y el transporte de material desde la plataforma hasta la parte batial en donde se tomó el núcleo.

De las correlaciones entre factores ambientales y palinomorfos, el grupo Continentales solo obtiene correlaciones negativas aunque bajas con %Ti (-0.25) y con Ba/Al (-0.21) de Cuenca Alfonso (Tabla 7). Estas correlaciones sugieren que los procesos del aporte de terrígenos en esta última cuenca son diferentes al de CLP.

También se obtuvieron las correlaciones de *Quinquecuspis concreta*, *Selenopemphix nephroides* y *Leujeunecysta* sp. combinadas en una variable denominada: QLS. Estas tres especies son claramente heterótrofas y aumentan en la parte inferior y superior del núcleo (Figura. 6), en forma similar. Se separan del grupo de heterótrofos *Brigantedinium* spp. porque de estos últimos no se conoce su afinidad biológica con certeza y parecen representar un grupo heterogéneo que pudiera incluir formas mixotróficas, lo cual está sugerido por su falta de correlación significativa con los parámetros climáticos. QLS muestra correlaciones positivas significativas con Ob (0.26), debido a su relación con la productividad marina primaria. Aunque QLS está relacionado directamente con los Peridinales (0.68), estos últimos solo están correlacionados negativamente con los parámetros de Cuenca Alfonso, de la misma forma que QLS. Además los dinoflagelados Gonyaulacales no tienen ninguna correlación significativa con los índices paleoambientales (Tabla 7).

Tabla 7. Valores de correlación paramétrica (Pearson) de concentraciones de los conjuntos de Palinomorfos Totales (PALIS TOT.), Continentales (CONT.), Marinos (MAR), Gonyaulacales (GONY), Perdiniales (PERI), *Quinquecuspis concreta* + *Selenopemphix nephroides* + *Leujeunecysta* sp. (QLS) en relación con registros paleoclimáticos. Los valores sombreados con gris son significativos ($p < 0.10$).

MATRIZ GENERAL											
	PALITOT	CONT	MAR	GONY	PERI	QLS	PPSN	Ob	%Te	%Ti (=Terr)	Ba/Al (Prod Mar)
PALITOT	1						-0.06	0.00	0.08	-0.23	-0.14
CONT	0.59	1					-0.00	0.01	0.04	-0.25	-0.21
MAR	0.98	0.45	1				-0.07	0.00	0.08	-0.20	-0.11
GONY	0.69	-0.01	0.77	1			-0.04	-0.05	0.17	0.01	0.12
PERI	0.62	0.69	0.55	-0.06	1		-0.00	0.03	-0.04	-0.31	-0.28
QLS	0.37	0.47	0.32	-0.07	0.68	1	0.07	0.26	-0.13	-0.27	-0.23

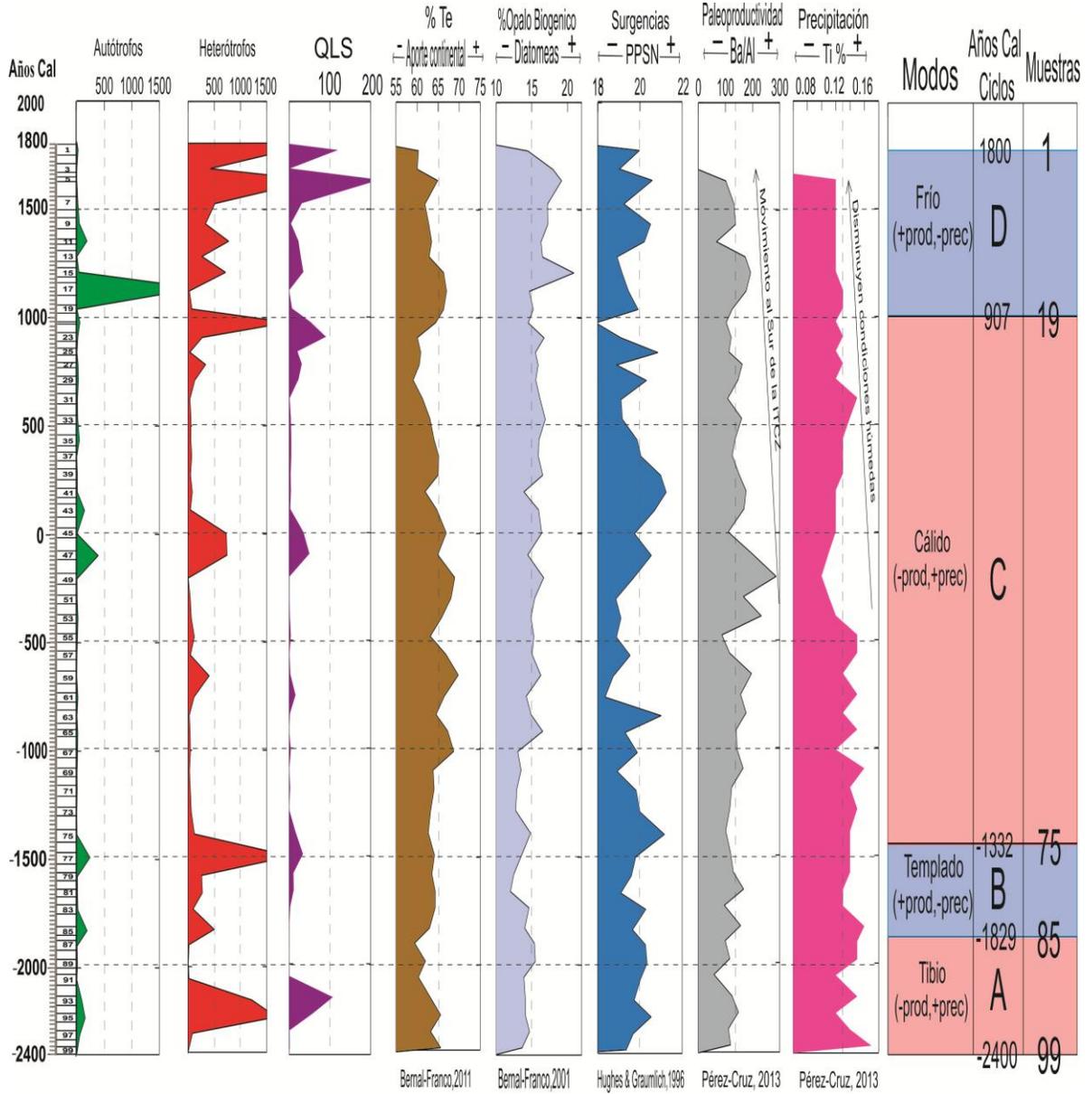


Figura 13. Concentraciones de dinoflagelados Autótrofos y Heterótrofos comparadas con índices paleoclimáticos indirectos: P/C = índice Peridinales/Copepodos; %Te = indica aporte continental; Opalo Biogenico = indica principalmente diatomeas; Ba/Al = indica paleoproductividad; %Ti = indica precipitación y escorrentía, y PPSN = indica surgencias en el GC.

La correlación paramétrica de la relación M/C por ciclos con los índices paleoclimáticos (Tabla 8) proporciona la siguiente información:

Se presenta correlaciones significativas positivas en casi todos los ciclos (excepto D) entre CONT y MAR con los valores más altos (0.95 y 0.97) en los ciclos A y B respectivamente.

Ciclo D: se presenta solo correlación positiva entre CONT y PPSN (0.49).

Ciclo C: se presenta correlación positiva de %Te con CONT (0.32) y negativamente con PPSN (-0.31).

Ciclo B: se presenta correlación positiva (0.88) entre PPSN y Ob.

Tabla 8. Valores de correlación paramétrica (Pearson) de Marinos/Continetales (M/C) en relación con registros paleoclimáticos. Los valores sombreados con gris son significativos ($p < 0.10$).

Correlación paramétrica (Pearson) para M/C					
CICLO D					
	CONT	MAR	PPSN	Ob	%Te
CONT	1				
MAR	0.20	1			
PPSN	0.49	0.07	1		
Ob	-0.08	-0.36	0.16	1	
%Te	-0.38	0.40	0.07	0.06	1
CICLO C					
CONT	1				
MAR	0.65	1			
PPSN	-0.28	-0.20	1		
Ob	0.19	0.07	-0.09	1	
%Te	0.32	0.05	-0.31	0.07	1
CICLO B					
CONT	1				
MAR	0.95	1			
PPSN	0.26	0.12	1		
Ob	0.40	0.16	0.88	1	
%Te	-0.01	0.12	0.07	-0.11	1
CICLO A					
CONT	1				
MAR	0.97	1			
PPSN	0.21	0.26	1		
Ob	-0.21	-0.34	0.51	1	
%Te	0.36	0.45	-0.30	-0.55	1

3.8 Componentes principales

El análisis de componentes principales de las concentraciones de los conjuntos de continentales y marinos (Figura 14), muestran dos componentes principales (CPI y CPII) con una varianza acumulada del 97%. El componente principal I (CPI) explica el 82% de la varianza total, el componente principal II (CPII) explica el 15% de la varianza total.

El componente principal I (CPI) se compone exclusivamente por el conjunto de dinoflagelados AUTO con correlación alta (>0.5) positiva de 1. Este conjunto AUTO se ve reflejado en la amplitud con un pico extremo de 23,000 cel/g en la muestra 17 (1123 años cal) que a su vez está relacionado con un porcentaje bajo (14%) de Ópalo Biogénico y un porcentaje alto (67%) de Terrígenos.

El componentes principal II (CPII) está conformado por los conjuntos HETE, COPE y ESC con altas correlaciones positivas de 0.5, 0.6 y 0.5 respectivamente. Estos tres conjuntos se ven reflejados en la gráfica de amplitud, con mayores concentraciones en los ciclos A (-2384 a -2057años) y B (-1983 a -1388años), seguido por bajas concentraciones en ciclo C (-1284 a 530 años) y volviendo a incrementar en la parte superior de los ciclos D y E (Figura 14).

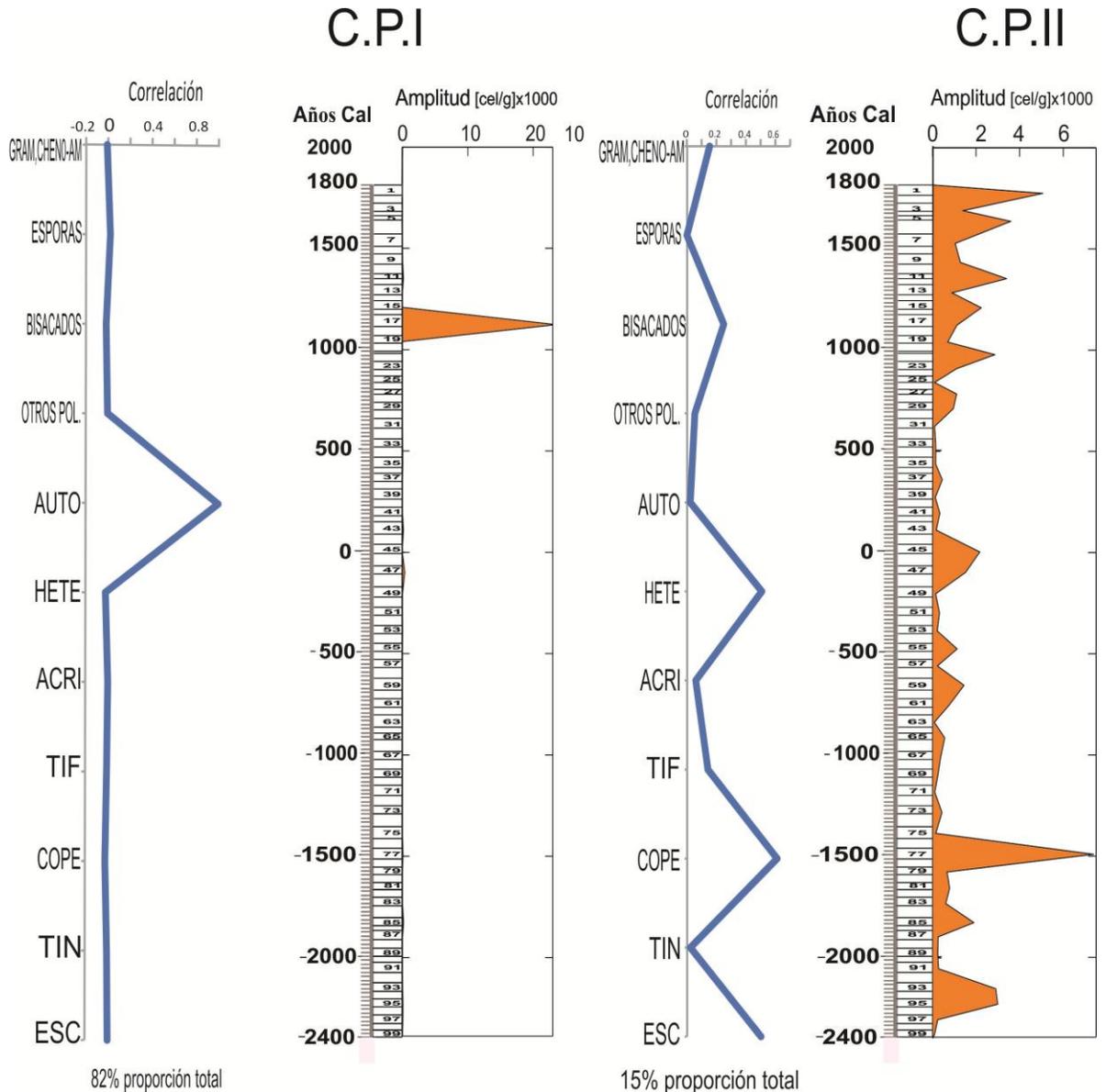


Figura 14. Componentes principales de los conjuntos totales de palinomorfos continentales y marinos.

El análisis de componentes principales de las concentraciones de los conjuntos de dinoflagelados (Figura 15), muestran dos componentes principales (CPI y CPII) con una varianza acumulada del 100%. El componente principal I (CPI) explica el 94% de la varianza total, el componente principal II (CPII) explica el 6% de la varianza total.

El componente principal I (CPI) está conformado principalmente por *Spiniferites* spp. con correlación alta negativa de -0.98 y por *Achomosphaera* sp. con una correlación baja negativa (-0.19). Estos dos géneros se ven reflejados en la amplitud del CPI por un pico de abundancia extrema en la muestra 17 (1123 años cal) relacionado en el mismo nivel estratigráfico con un decremento en ópalo biogénico (14%), con un índice de 138 cercano a la media de Ba/Al y con un porcentaje superior a la media (0.13%) en Ti.

El componentes principal II (CPII) está constituido por *Brigantedinium* spp., con alta correlación positiva (1.00), esto se proyecta en la amplitud del mismo componente donde la tendencia que presenta con respecto a la profundidad es muy similar a la gráfica de Heterótrofos (Figura 15).

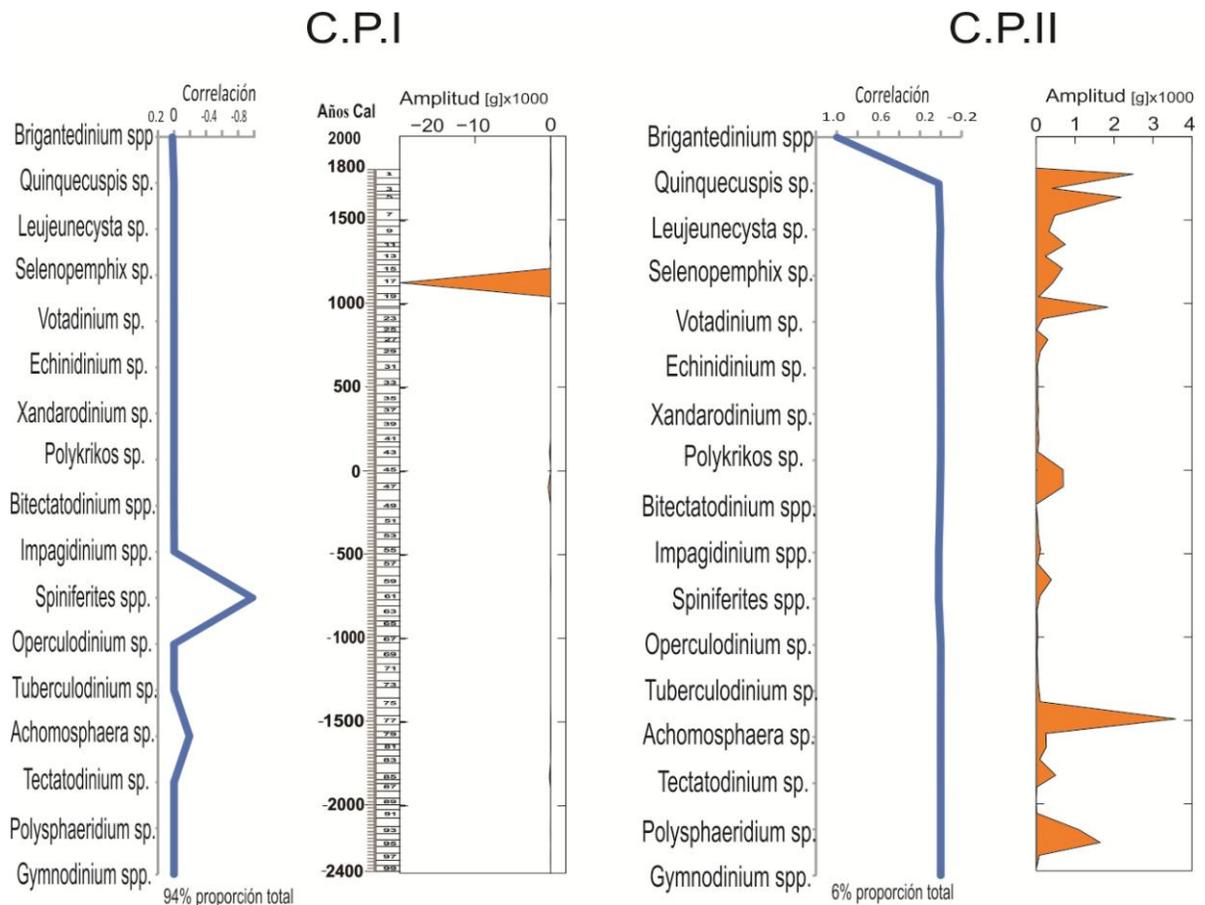


Figura 15. Componentes principales de los conjuntos de quistes de dinoflagelados.

Capítulo 4

Discusión

El objetivo principal de este estudio es documentar que los conjuntos palinológicos en general, reflejan características climáticas y oceanográficas en el área de la CLP y que pueden usarse para construir un modelo de cambios climáticos/oceánicos en la región. Otro objetivo es el demostrar que los dinoflagelados en particular son indicadores indirectos de condiciones oceanográficas en el pasado en la CLP. Los resultados obtenidos aquí se relacionan con cuatro aspectos importantes climáticos-oceanográficos, que son: 1) abundancia de palinomorfos, diversidad de dinoflagelados y su relación con precipitación pluvial y aporte de terrígenos; 2) Composición taxonómica de dinoflagelados y distribución biogeográfica, y por último 3) Dinoflagelados Peridiniales y Gonyaulacales y productividad marina. A continuación se presentan las características más importantes de estos aspectos.

4.1 Abundancias de Palinomorfos, diversidad de dinoflagelados y su relación con precipitación pluvial y aporte de terrígenos.

Los cambios en las abundancias de palinomorfos observados en las muestras, se relacionan directamente con el aporte de material proveniente del continente y de las áreas más someras de la cuenca. La recuperación de palinomorfos en CLP, como en muchas cuencas marinas, se relaciona con dos factores principales, estos son: aporte de terrígenos y productividad marina. Primero, la abundancia de Palinomorfos Continentales es influenciada por el aporte fluvial y la escorrentía. Mientras que la abundancia de Palinomorfos Marinos se relaciona principalmente con la productividad marina en las zonas costeras y el transporte desde las partes someras hasta las más profundas de la cuenca. La importancia de estos factores ha cambiado con el tiempo en CLP, por lo que no se tiene una correlación significativa entre las concentraciones y los parámetros climáticos en todo el núcleo. Sin embargo, en algunos periodos, la combinación de

los factores si es reconocible en las concentraciones de palinomorfos, lo cual se refleja en los ciclos que proponemos.

4.1.1 Palinomorfos Marinos

Los resultados indican que en CLP, hay menor productividad marina y aporte de terrígenos que en Cuenca Pescadero. Las mayores concentraciones de Palinomorfos Totales fueron en la parte superior del núcleo, en donde son muy superiores a los valores reportados en Cuenca Pescadero para el mismo intervalo cronoestratigráfico. Este intervalo corresponde a muestras 1 y 7, las cuales tienen concentraciones promedio de 9,000 pal/g y 4,000 pal/g respectivamente para Cuenca Pescadero, sin embargo en el aspecto general la concentración media de Palinomorfos Totales en CLP es 3,498 pal/g (Figura. 5), representando casi la mitad de la media de Palinomorfos Totales en Cuenca Pescadero, la cual fue de 8,036 pal/g (Flores-Trujillo,2009).

La diferencia en recuperación media de palinomorfos entre CLP y Cuenca Pescadero, se puede explicar por dos razones. Primero, el aporte de Palinomorfos Continentales es mayor por la influencia de ríos importantes del estado de Sinaloa contribuyendo a Cuenca Pescadero. Además, hay más Palinomorfos Marinos porque Pescadero está situada en una zona de alta productividad marina (Flores-Trujillo,2009) debido a las intensas surgencias costeras estacionales en invierno-primavera (Badán-Dágon., *et al*, 1985). Esto muestra que tal diferencia depende de las condiciones climáticas y oceanográficas en la región, como el patrón de vientos y el volumen de la precipitación pluvial.

Sin embargo, ambas áreas comparten algunas características, específicamente durante los años 1774 a 1527 (muestras 1 a 7) en CLP, cuando se observa un paralelismo en la ciclicidad de los Palinomorfos Continentales. Durante este intervalo, ambas concentraciones aumentan y disminuyen en sincronía. La misma relación se observa en la concentración de Palinomorfos Marinos, cuyas

ciclicidades presentan el mismo comportamiento en ambos núcleos. Sin embargo, hubo una diferencia en la concentración máxima para este intervalo, en cuenca Pescadero se registró una concentración de 11,000 quistes/g (1774 a 1527 años), mientras que en Cuenca la Paz se registró 9,580 quistes/g, confirmando una vez más las condiciones de mayor productividad en Cuenca Pescadero.

Las abundancias relativas (%) de Palinomorfos Continentales y Marinos, indican predominancia de la productividad marina en la cuenca. La media del porcentaje de abundancia relativa de Palinomorfos Marinos en este estudio superó por más del doble a la media del porcentaje de Palinomorfos Continentales (Figura 8). Las bajas abundancias relativas de Palinomorfos Continentales en CLP se explican por las condiciones áridas del sur de Baja California (Limoges, *et al.*, 2010). Una excepción a esta regla general, se observa en el ciclo C, en el cual, en términos generales la alta abundancia de Palinomorfos Continentales diluye la abundancia de Palinomorfos Marinos. Estas condiciones están relacionadas con un aumento del %Ti indicando mayor precipitación pluvial en la región, probablemente provocada por el movimiento hacia el norte de la zona de convergencia intertropical del pacífico (ITCZ; Pérez-Cruz, 2013). Como se mencionó anteriormente, los resultados del estudio de muestras del BAP94-9C de la misma CLP (Banda-Bermudez, 2002), no presentan las mismas relaciones. Aquellos resultados indican una relación inversa ya que los palinomorfos marinos fueron menos abundantes y variados que los palinomorfos continentales. Esta desigualdad de, estos resultados probablemente se derive por la diferencia en la metodología empleada en ambos análisis, explicada anteriormente.

Otras evidencias, tales como las testas internas de foraminíferos (TIF) también indican menor productividad marina somera en CLP. La presencia abundante de TIF se ha relacionado con zonas someras de alta productividad a lo largo del Golfo de California (Pheler, 1964), debido probablemente a las surgencias. En contraste, hay una disminución en abundancia hacia zonas más profundas (>500m). La abundancia relativa promedio de TIF fue 13% a lo largo del núcleo en este estudio, valor dentro del rango (10 a 30%) reportado para la misma

cuenca (Banda-Bermudez, 2002). Sin embargo, en Cuenca Pescadero Flores-Trujillo (2009), reportó un porcentaje mayor (45%), lo cual significa que hay una disminución de TIF en CLP probablemente por la disminución de productividad marina primaria comparada con la de Cuenca Pescadero antes mencionada.

4.1.2 Diversidad de Dinoflagelados y Estabilidad Ambiental Marina

Se ha encontrado una relación directa entre valores altos de diversidad y estabilidad ambiental (Proulx *et al.*, 2010; Cleland, 2012). Además, la diversidad de los conjuntos de dinoflagelados está relacionada con la provincia biogeográfica. De tal manera que en aguas cálidas, estos conjuntos tienden a ser más diversos y a contener más taxa autótrofos, o gonyaulacoideos (Mudie and Harland, 1996). En CLP, la diversidad observada de dinoflagelados es generalmente alta, lo cual sugiere estabilidad ambiental y combinación de afinidades biogeográficas en el área ya que las especies reportadas pertenecían a cinco tipos de ambientes desde condiciones frías a cosmopolitas (Figura 11), siendo esta última categoría la predominante .

En las muestras estudiadas de CLP, se reconocieron un total de 42 especies de dinoflagelados, de las cuales 20 especies pertenecen al orden Gonyaulacales, 19 especies al orden Peridinales y solo 3 especies al orden Gymnodinales. El valor más alto del índice de diversidad de Shannon de dinoflagelados en CLP, se obtuvo en la parte media del núcleo (muestra 49). Sin embargo, considerando ciclos completos, la diversidad promedio fue más alta y homogénea en la parte inferior del núcleo estudiado (Figura 8). En cuanto a los géneros, a lo largo del núcleo, *Brigantedinium* spp. fue el que presentó mayor diversidad (Tabla 4). Esta observación no se reportó en el estudio del núcleo de caja BAP94-9C (Banda-Bermudez, 2002) también de Cuenca La Paz. Los resultados de aquel estudio indican que *Spiniferites* spp. fue el género con mayor diversidad. Esta discrepancia pudo haber sido por la diferencia en las técnicas de preparación, ya que se empleó

oxidación en las muestras de Banda-Bermudez (2002), lo cual probablemente eliminó la mayoría de las especies del orden Peridiniales, las cuales son sensibles a la oxidación.

En comparación, en Cuenca Pescadero, localizada en el extremo sureste del GC y cercana al área de estudio, solo se han reportado 22 especies de quistes (Flores-Trujillo, 2009), siendo los Peridiniales el orden más diverso (11 especies), seguido por Gonyaulacales (9 especies) y Gymnodiniales (2 especies). Esta predominancia de peridinioideos ha sido relacionada con condiciones de surgencia y alta productividad en el margen occidental del GC (Vázquez-Bedoya *et al.*, 2008; Flores-Trujillo, 2009), en donde predominan los Peridiniales. Además conteos de quistes de dinoflagelados del Atlántico y Mar del Norte sugieren que una diversidad superior a 25 quistes se considera alta (Reid, 1977), por lo anterior se puede asumir que la diversidad en CLP fue alta.

En muestras superficiales del Golfo de Tehuantepec se han reportado 23 especies de quistes autótrofos y heterótrofos, entre los cuales *Brigantedinium* spp., *P. zoharyi* y *Bitectatodinium spongium* fueron los taxa dominantes y aparentemente representan condiciones tropicales (Vasquez-Bedoya., *et al.*, 2008). En contraste, los conjuntos de dinoflagelados de condiciones templadas en la región se han reportado de muestras de núcleo de Cuenca Santa Bárbara. En esta cuenca, la Corriente de California es dominante y la diversidad total de quistes reportada es de 23 especies y muestra valores relativamente altos (índice Bradfor and Wall, 1984 = 90 a 95) durante intervalos cálidos (Prauss, 2002). La diversidad en Cuenca Santa Barbara, alcanza sus valores máximos al inicio de intervalos de calentamiento regional, cuando era más probable que hubiera una influencia un poco más fuerte de corrientes cálidas, no cuando la corriente fría era la única que actuaba en la cuenca. Considerando estos datos, es la alta diversidad de los conjuntos de dinoflagelados en Cuenca la Paz se debe probablemente a la influencia combinada de las corrientes frías y cálidas en esa región.

4.1.3 Palinomorfos Continentales

La presencia de palinomorfos Continentales en ambientes marinos se debe principalmente al transporte por agua. La distancia que viaja el polen de las plantas anemófilas (transportadas por viento) desde la planta fuente, es variable entre especies y depende de la magnitud y dirección de los vientos, altura de la planta y densidad de la vegetación de cobertura (Jarzen and Nichols, 1996). La mayoría de los granos de pólen caen muy cerca de la planta productora, pero el pólen de los árboles altos como las coníferas se dispersa más lejos que el polen de plantas como los arbustos y hierbas debido a que estos se encuentran más cerca del sustrato. Aproximadamente el 95% del polen se dispersa dentro de un radio de un kilómetro de distancia de la planta productora. (Traverse, 2007).

Por lo tanto la presencia de granos de polen en muestras tomadas en ambientes marinos a varios kilómetros de la costa, representan en su mayoría, transporte por escorrentía. Apoyando este modelo, se ha encontrado una correlación positiva entre el influjo de terrígenos y la precipitación regional en cuenca Santa Bárbara (Prauss, 2002) y se observa una relación similar en CLP (Figura 12). Estas condiciones también se reflejan en los conjuntos de Palinomorfos Continentales, los cuales presentan una correlación significativa y positiva con el aporte de terrígenos en CLP, particularmente en el ciclo C (Tabla 8; Figura 12).

Dentro de los Palinomorfos Continentales, el grupo de polen bisacado es el más abundante y provienen de coníferas como *Pinus*. Estos granos de pólen son producidos abundantemente, son resistentes debido a la esporopolenina de la pared (Traverse, 2007) y son los que se transportan más lejos por aire, debido a su morfología y a la altura de la planta productora. Por tal motivo, los bisacados fueron lo palinomorfos continentales más abundantes en el presente estudio (Figura 9). Sin embargo, no se consideran en las interpretaciones paleoecológicas en este estudio, porque su presencia puede deberse a la acción eólica, o a la escorrentía relacionada con la precipitación pluvial regional. Los bisacados en muestras

marinas de CLP tienen una abundancia apenas superior al 30% (Banda-Bermúdez, 2002). Mientras que en Cuenca Santa Bárbara los bisacados dominan con un 50% de la abundancia total (Heusser, 1978). Esta presencia más abundante en Santa Bárbara, esta probablemente relacionada con la mayor precipitación pluvial de esa región, comparada con la de la región de La Paz, B.C.S.

Estas condiciones áridas a semiáridas también se relacionan con el segundo grupo de Palinomorfos Continentales más abundante en el núcleo estudiado. Este grupo más abundante fue Gram/Cheno-Am (Figura 9) y también está compuesto por plantas anemófilas. Sin embargo, estas plantas son arbustos, herbáceos, o árboles pequeños, indicativas de ambientes áridos (Gelin, et al, 2003). Sus abundancias en el núcleo presentan cambios relativamente menores, con tendencia a aumentar hacia la base del núcleo y a disminuir hacia la cima (Figura 9), con un porcentaje promedio de 27%. Este grupo de palinomorfos continentales también es dominante en estudios realizados dentro de la cuenca y área de La Paz, en donde se ha reportado un máximo de 25% (Banda- Bermúdez 2002), es decir en ambos estudios el porcentaje fue muy similar, indicando que el área circundante de la CLP está influenciada por condiciones áridas.

Los cambios de abundancia del grupo Gram/Cheno-Am se han interpretado como un reflejo del cambios de las lluvias de verano (Cross *et al.*, 1966). El polen de este tipo de plantas procede de pastizales, y las posibles fuentes locales están la planicie de la región de la Paz y el valle San Juan de los Planes, este último localizado a 20 metros sobre el nivel del mar. Además, la Bahía de La Paz está rodeada por una región desértica donde afloran principalmente tobas silíceas y no presenta descargas fluviales importantes. En consecuencia, se puede asumir que el aporte terrígeno es altamente silíceo y está controlado por el acarreo pluvial y eólico. La temporada anual de lluvias se presenta en dos épocas: de julio a octubre (Verano) y de noviembre a febrero (Invierno). Siendo las lluvias de verano las de mayor volumen de precipitación (Molina-Cruz, 2002). La tendencia a disminuir que presentaron las Gram/Cheno-Am a partir de la muestra 43 (Figura 9) está relacionada directamente con la disminución reportada en el registro de %Ti (Figura

12), el cual representa precipitación (Pérez-Cruz, 2013). Esta correlación se interpreta como un periodo con condiciones de baja humedad las cuales son similares a las condiciones presentadas por eventos de la Niña. Como consecuencia hay un menor aporte de Gram/Cheno-Am hacia la CLP.

Todas estas características nos permiten interpretar cambios oceanográficos y climáticos regionales, siguiendo el modelo de Bernal-Franco (2001), en el cual la combinación de los forzamientos: ENOA y ODP, puede explicar la variabilidad climática y oceánica para la CLP. Dicho modelo propone un Modo Cálido (baja productividad) asociado a la fase positiva del ODP, condiciones El Niño y un aumento en la precipitación pluvial. Por otro lado, el Modo Frío (alta productividad) se asocia a la fase negativa del ODP, condiciones La Niña y una disminución en la precipitación pluvial. Debido a la resolución aproximada de 40 años para cada muestra, no se pueden apreciar los efectos de ENOA/ODP para el núcleo de CLP. Sin embargo, se interpretan periodos con eventos recurrentes de Modo Frío o Modo Cálido según el modelo de Bernal-Franco (2001). A continuación se explican las características de los ciclos reconocidos aquí.

Ciclo D (907 a 1800 años Cal) - Modo Frío:

Se caracteriza por las mayores abundancias relativas de Marinos, junto con la menor diversidad de dinoflagelados (Figura 8), producidas por poco aporte de material terrígeno y condiciones marinas eutróficas, indicando poca precipitación y alta productividad marina con dominancia de dinoflagelados heterótrofos (Figura 13). Este ciclo representa un periodo con predominancia de fases negativas del ODP y de condiciones La Niña, lo cual resulta en alta productividad marina y poca precipitación. Además, este ciclo presenta correlación significativa y positiva de PPSN con CONT (Tabla 8). Para este ciclo se ha reportado en la zona central del GC, un aumento de abundancia relativa de la diatomea *Azpeitia noduifera*, con un máximo (70%) en el año 950 Cal (Barron, *et al.*, 2012), lo cual se podría interpretar como un aumento en la productividad primaria marina

Ciclo C (-1332 a 907 años Cal) - Modo Cálido:

Se caracteriza por las mayores abundancias relativas de Continentales, en combinación con diversidades medias a altas de dinoflagelados (Figura 8), producidas por el mayor aporte desde el continente y condiciones marinas mesotróficas y relativamente estables. Este ciclo representa un periodo de productividad marina relativamente baja y mucha precipitación. Se explican por la predominancia de fases positivas del ODP y de condiciones El Niño. Este ciclo presenta correlación positiva y significativa de CONT con MAR y TE y significativa y negativa entre TE y PPSN (Tabla 8), lo cual apoya el modelo de aumento en la precipitación pluvial en la región. Barron *et al.* (2012), reportó puntualmente (años 50,200, 330,850,-50) para la zona central del GC, disminuciones en abundancia relativa (10%) de diatomea *Azpeitia noduifera*, infiriéndose una disminución en la productividad primaria, la cual es característica del Modo Cálido.

Ciclos B (-1829 a -1332 años Cal) - Modo Templado:

Se caracteriza por abundancias relativas altas de Marinos, junto con diversidad media de dinoflagelados (Figura 8), producidas por poco aporte de material terrígeno y condiciones marinas eutróficas, indicando poca precipitación y alta productividad marina. Este ciclo representa un periodo con predominancia de fases negativas del ODP y de condiciones La Niña, lo cual genera alta productividad y poca precipitación. Además se presenta una correlación alta positiva entre PPSN y Ob (Tabla 8). Este ciclo se denomina Templado porque no tiene las características completas del ciclo Frío (D).

Ciclo A (-2400 a -1829 años Cal) - Modo Tibio:

Se caracteriza por cambios drásticos en las abundancias relativas de Continentales y Marinos, pero con predominancia de Continentales y diversidades medias de dinoflagelados (Figura 8), producidas por mayor aporte desde continente y condiciones marinas mesotróficas y cambiantes. Este ciclo representa un periodo con cambios en productividad marina de baja a media y precipitación de media a alta (Figura 12). Se explican por la predominancia ligera de fases positivas del ODP y de condiciones El Niño. Presenta correlación positiva y significativa de CONT con

MAR (Tabla 8), apoyando el modelo de aumento en la precipitación pluvial en la región. Este ciclo se denomina Tibio porque no tiene las características completas del ciclo Cálido (C).

4.2 Composición Taxonómica de Conjuntos de Dinoflagelados y Distribución Biogeográfica

Los cambios en la composición taxonómica de los conjuntos de dinoflagelados en CLP indican cambios oceanográficos y climáticos marcados. La distribución de los conjuntos de quistes depende de parámetros oceanográficos como: salinidad, temperatura, cobertura de hielo, distancia a la costa y productividad primaria (Taylor, 1987; Matzouka, 1985; Pospelova, et al., 2008).

En CLP se detecta una importante influencia tropical, mezclada con influencia de la Corriente de California. La presencia de formas gonyaulacoideas se ha relacionado con masas de agua tropicales en la región. Durante el verano en la parte central y oriental del GC se han identificado más del 80% de quistes de dinoflagelados con afinidad tropical, indicando una influencia importante de la corriente del Pacífico Tropical Oriental durante esa estación (Martínez-Hernández y Hernández-Campos, 1991). En contraste, en cuenca Santa Bárbara, se reportan generalmente más especies templadas, pero las altas proporciones relativas de *Spiniferites* se relacionan con altas temperaturas del agua superficial, característica de intervalos cálidos en el registro cronológico (Prauss, 2002).

La mayoría de los quistes identificados a lo largo del núcleo en CLP son especies cosmopolitas (Figura 11; Tabla 5), indicando continuidad en las condiciones oceanográficas. Los resultados obtenidos indican que SSSP e IMPSP fueron los taxa Gonyaulacoideos más recurrentes y abundantes (Figura 7), relacionados con la importante influencia tropical en la cuenca. Esta observación concuerda con el reporte de Banda Bermúdez (2002) en la misma Cuenca de la Paz y otros reportes que indican a los dinoflagelados

Gonyaulacoideos como dominantes en la zona sur del golfo de California, siendo representados principalmente por los géneros *Spiniferites* (15 a 20%) y *Achomosphaera* (11-18%) (Mudie and Harland, 1996).

Para interpretar la señal biogeográfica de los dinoflagelados en CLP, aquí se ignora a *Spiniferites* y *Achomosphaera* con respecto a la distribución biogeográfica en el intervalo de la muestra 17 (1123 años) pues ambas presentaron concentraciones muy altas en esta muestra, las cuales obscurecen la señal de las otras especies. Estas concentraciones se consideran como un evento extraordinario, el cual se explicará más adelante.

Las especies Cosmopolitas (Figura 11) están representadas por: BRIGSP, BRIGC, BRIGS, BRIGG, BRIGAS, BRIGA, BRIGI, BRIGM, BRIGSG y SRAM (Tabla 5). De entre estas formas abundantes, BRIGSP ha sido reportada en muestras de sedimentos superficiales en el Pacífico noreste (43-25°N) y asociada a surgencias activas con alta productividad (Pospelova, *et al.*, 2008; Vázquez-Bedoya, 2008), por lo tanto se puede inferir que los ciclos (A, B, D y E) fueron los de mayor productividad. Estos intervalos con pulsos de concentraciones de cosmopolitas están caracterizados por eventos de surgencias más comunes durante periodos de poca precipitación pluvial (Figura 11c). Las condiciones de menor precipitación pluvial están relacionadas con el aumento de surgencias (mayor productividad marina) como respuesta a una intensificación de los vientos, respondiendo a un forzamiento de tipo templado. Esta relación inversa está indicada por la correlación significativa y negativa entre %Ti y Ob (Tabla 6).

En contraste el ciclo C, contiene una abundancia relativa mayor de especies de clima tropical-subtropical, representadas por: ECHD, ECHG, ECHT, TECSP, POLYS, GYMC y BITES. Esta última especie ha sido asociada a masas de agua cálidas y a ambientes con bajos niveles de nutrientes (Pospelova, *et al.*, 2008; Limoges, *et al.*, 2010; Vasquez-Bedoya, *et al.*, 2008). Además, este ciclo se caracteriza por baja abundancia de SNEP (Figura 6), la cual ha sido asociada a

ambientes fríos (Pospelova, *et al.*, 2008). Con base en estos datos se puede inferir que el ciclo C representa condiciones húmedas y tropicales en la región.

4.3 Dinoflagelados Peridiniales y Gonyaulacales y Productividad Marina

La composición de los conjuntos de dinoflagelados indica una alternancia de condiciones templadas y secas con mayor productividad marina y condiciones cálidas y húmedas con poca productividad marina. En la región sur del GC, se registra poca productividad primaria durante eventos cálidos, o El Niño Oscilación Austral (ENOA; Santamaría del Angel, *et al.*, 1994) cuando se registran altas temperaturas superficiales, la termoclina es más profunda y la productividad primaria disminuye por menor disponibilidad de nutrientes en zona eufótica (Chávez, *et al.*, 2002). Además, esta región también es afectada por la Oscilación Decadal del Pacífico (ODP), derivada de las anomalías de temperatura superficial del mar en el Pacífico Norte (Espinosa-Carreón and Valdez-Holguín, 2007). Esta productividad también se ve afectada por la combinación de los forzamientos: ENOA y ODP, según el modelo propuesto por Bernal-Franco (2001) explicado anteriormente.

Con base en la distribución promedio de clorofila, el Golfo de California puede dividirse en tres zonas: oligotrófica (boca del golfo), mesotrófica (parte central) y eutrófica (región costera y parte norte del golfo). En condiciones El Niño la termoclina se hunde, aumentando la temperatura superficial por lo tanto las surgencias transportan agua cálida y baja en nutrientes. De forma inversa en condiciones la Niña, la termoclina se eleva y las surgencias transportan agua rica en nutrientes a la superficie (Espinosa-Carreón and Valdez-Holguín, 2007). En la zona central y sur del Golfo, la producción de fitoplancton está modulada por vientos y giros de mesoescala (Douglas, *et al.*, 2007). En esta región, estos giros se extienden a profundidades de 1,000 m (Martínez and Allen, 2004 a,b) y cuando son

anticiclónicos, transportan nutrientes y plancton de la parte occidental a la parte oriental, es decir, del continente a la península de Baja California (Douglas, *et al.*, 2007).

La distribución general de Dinos (Figura 10) está prácticamente representada por la especie *Brigantedinium* sp (BRIGSP), la cual fue abundante y constante a lo largo del núcleo. Esta especie está relacionada con eventos de surgencia (Pospelova, *et al.*, 2008), por lo que se puede inferir que representa ciclos de mayor productividad (A, B, D y E) caracterizados por condiciones en las cuales eran más comunes los giros ciclónicos, promoviendo eventos de surgencia (Douglas, *et al.*, 2007). En comparación, como se mencionó antes, el ciclo C representa condiciones húmedas, tropicales con poca productividad marina en la región.

Con respecto a la abundancia absoluta de Peridinales, en general las mayores concentraciones de formas Peridinales coincidieron con un Modo Frío asociado a condiciones secas, disminución en la precipitación y aumento en la productividad primaria probablemente generada por giros ciclónicos de las corrientes superficiales. En las muestras de CLP, se registró un promedio de concentración de 433 quistes/g. En comparación, en Cuenca Pescadero las formas Peridinales alcanzan un valor promedio más bajo (306 quistes/g) que el reportado en este estudio. Para el intervalo de 1283 a 1774 años Cal, que es correlacionable entre CLP y Cuenca Pescadero, la abundancia en CLP es de 1,491 quistes/g (Figura 14) y en ambos sitios *Brigantedinium* spp. fue la forma dominante. Esto indica un intervalo de alta productividad en la región. Este intervalo, que coincide parcialmente con la llamada Pequeña Edad del Hielo (PEH) de 1550 a 1700 años Cal (Demecocal *et al.*, 2000) y referida al avance glacial más reciente (Jones y Briffa, 2001). En este intervalo se reporta un aumento de la productividad en el bajo GC (Bernal-Franco, 2001) y una sequía severa entre los años 1572 y 1593 (DeMenocal, 2001). Este periodo contiene dos pulsos importantes de Peridinales reportados aquí en el ciclo D (Figura 13). Por lo tanto, durante el ciclo D y el otro

pulso en los ciclos B, predominaba el Modo Frío a Templado con condiciones secas (Figura 13).

Respecto a las formas Gonyaulacales en CLP se reportó un valor de concentración media de 12 quistes/ g, abundancia mucho menor a la registrada en Cuenca Pescadero con 111 quistes/g (Flores-Trujillo, 2009). De forma puntual la concentración de Autótrofos en el ciclo D, de 23,520 quistes/g (representado por *Spiniferites* spp.) en el intervalo de 1088 a 1159 años Cal (Figura 13), coincidió con la máxima abundancia relativa de esporas y con una abundancia relativa baja de Gram, Cheno-Am (Figura 9) reportadas en este estudio. Estas abundancias indican la presencia de un evento fuerte de escorrentía el cual transportó material terrígeno hasta la cuenca. Para este mismo intervalo se presentó una de vientos débiles del noroeste, según la serie de PPSN (Figura 13), permitiendo la estratificación de la columna de agua (Flores-Trujillo, 2009) y con ello una disminución en la productividad marina.

Comparando las primeras 21 muestras (1800 a 930 años Cal) del presente estudio con las muestras de Banda-Bermúdez (2002) pertenecientes a la cuenca de La Paz, también se documentó un pico extremo de *Spiniferites* spp. (3,800 quistes/g) para el mismo intervalo cronológico, aunado a porcentajes bajos de Gram, Cheno-Am y porcentajes altos de esporas (Figura 9). Estos valores coinciden con el denominado Periodo de Calentamiento Medieval (PCM), ubicado aproximadamente de ~900 a ~1300 años Cal (Demecocal *et al.*, 2000). En ese periodo, las temperaturas globales eran 0.5 a 1°C más cálidas que la temperatura actual, este calentamiento se reflejó principalmente en el Hemisferio Norte (Mann, *et al.*, 1999). Para la CLP, Bernal-Franco (2001) reportó un porcentaje bajo de Ópalo Biogénico (Figura 13), con lo cual se interpreta que la concentración extrema de *Spiniferites* spp. ocurrió en una fase en general negativa del ODP documentada durante el PCM y coincidiendo con periodos prolongados de sequía y baja precipitación en el oeste y centro de Norte América (MacDonald and Case, 2005; Banda-Bermúdez, 2002). Sin embargo, el alto % Ti en este periodo en Cuenca Alfonso (Pérez-Cruz, 2013) corrobora que este evento fue anómalo durante

condiciones de sequía, es decir, aunque el ODP estaba en fase negativa (Modo Frío), ocurrió un evento de fuerte precipitación asociado a un Modo Cálido el cual aportó nutrientes a la cuenca, aunque permitió la estratificación de la columna de agua dejando penetrar la luz solar y con ello la proliferación de *Spiniferites* spp., pero no de diatomeas ni dinoflagelados peridinioideos. De cualquier forma, hubo un exceso en el aporte de material continental (esporas) y marino somero (*Spiniferites* spp.) proveniente de la plataforma continental depositando en la cuenca sedimentos alóctonos.

A grandes rasgos, se puede hablar de una ciclicidad del paleoclima a lo largo del núcleo que se pueden observar con los aumentos de concentración de peridiniales, principalmente las especies QLS, las cuales se correlacionan positiva y significativamente con Ob (Tabla 7). Las mayores abundancias de estas especies corresponden a Modos Fríos y Templado con condiciones secas, favorecedoras de aumento en la productividad y disminución de la precipitación pluvial (ciclos D, B y A). Mientras que disminuyen en condiciones húmedas, o Modo Cálido, principalmente en el ciclo C (Figura 13), cuando hay un aumento en la precipitación pluvial, mayor aporte de terrígenos y aguas pobres en nutrientes (Bernal-Franco (2001).

El análisis de componentes principales y de correlación en Palinomorfos Totales se realizó como una técnica exploratoria con el fin de separar las especies con respecto a sus covarianza y como consecuencia visualizar grupos correlacionados entre sí. Este análisis agrupó en el CP1 al conjunto con mayor covariabilidad AUTO, representado por *Spiniferites* spp. Además, el CP11, constituido por el conjunto HETE y COPE (Figura 14) representa la señal de productividad pues tanto los HETE y COPE son grupos constantemente presentes en el plancton. Los COPE son un grupo de crustáceos incluyen 8,500 especies, pertenecientes en su gran mayoría ambientes marinos. Generalmente son planctónicos, se alimentan de fitoplancton, estos crustáceos tienen la capacidad de incubar sus huevos en sacos, estos sacos permanecen unidos a la hembras para después eclosionar en una larva (Asturnatura, 2013), no obstante debido la baja

abundancia relativa promedio (12%) de COPE reportada en este trabajo (Figura 10), es de considerarse a el conjunto HETE como el grupo que refleja más fidedignamente la productividad primaria.

El CP1 de los conjuntos de quistes agrupó a *Spiniferites* spp. y *Achomosphaera* sp. como los géneros con mayor covariabilidad (94%) con respecto a los demás (Figura 15). Esto contrasta con los resultados de Cuenca Pescadero (Flores- Trujillo, 2009), en donde el CP1 está constituido casi exclusivamente por *G. catenatum* explicando el 55% de la varianza total. Según ese autor, esta relación se atribuye a periodos de estratificación del agua, cuando *G. catenatum* tiene la habilidad de migrar verticalmente, lo cual le permite florecer. En tanto el CPII estuvo compuesto por BRIGSPP, indicando condiciones de productividad alta. Estas diferencias resaltan la complejidad de las condiciones oceanográficas de dos cuencas localizadas en el sur del Golfo de California.

Conclusiones

La concentración de Palinomorfos Totales en CLP es menor con respecto a la reportada en Cuenca Pescadero, debido al mayor aporte de terrígenos y productividad marina en esta última cuenca.

El porcentaje de abundancia de palinomorfos marinos en este estudio supera por más del doble al porcentaje de palinomorfos continentales.

Las condiciones áridas en el sur de Baja California, explican las bajas abundancias de Palinomorfos Continentales en Cuenca la Paz.

La mayor diversidad de los quistes identificados para el núcleo en CLP se compone principalmente por especies cosmopolitas, indicando estabilidad ambiental y mezcla de masas de aguas cálidas y frías en la cuenca.

En la CLP, se han presentado pulsos de productividad relacionados con cambios en las condiciones climáticas y oceanográficas en los últimos 4,206 años. Las abundancias relativas de Palinomorfos Continentales y Marinos, además de la Diversidad de Dinoflagelados, comparadas con las series de indicadores paleoambientales indirectos, parecen estar moduladas por: Modos Cálidos, Modos Fríos y dilución por terrígenos. Se reconocen 4 intervalos, que son:

Ciclo D (907 a 1800 años Cal) - Modo Frío. Abundancias relativas altas de MAR y poca diversidad de dinoflagelados.

Ciclo C (-1332 a 907 años Cal) - Modo Cálido. Abundancias relativas altas de CONT y diversidades medias a altas de dinoflagelados.

Ciclos B (-1829 a -1332 años Cal) - Modo Templado. Abundancias relativas altas de MAR y diversidad media de dinoflagelados.

Ciclo A (-2400 a -1829 años Cal) - Modo Tibio. Cambios drásticos en las abundancias relativas de CONT y MAR, con predominancia de CONT y diversidades medias de dinoflagelados.

Se presentó un pulso extremo de concentración correspondiente a la especie *Spiniferites* sp. coincidente con el Periodo Cálido Medieval, donde las condiciones fueron secas, y se consideró esta abundancia extrema de concentración como un evento aislado, probablemente de precipitación torrencial, la cual acarrió material terrígeno representado por esporas y al mismo tiempo nutrientes a la cuenca.

Referencias bibliográficas

Asturnatura (2013) <http://www.asturnatura.com/articulos/artropodos/copepod.php>

Badan, A., Koblinsky, C. J. and Baumgartner, T. (1985). Spring and summer in the Gulf of California: observations of surface thermal patterns. *Oceanología Acta*, 8(1), 13-225.

Banda, L. (2002). Dinoflagelados y paleoclimatología de sedimentos marinos laminados en la parte sur del Golfo de California. (Tesis de Maestría) Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, México.

Baumgartner, T.R., Christensen, N. (1978). An improved cross-correlation technique for cross-dating varve series taken from different sediment coring sites within a small study area. *Ciencias Marinas*, 5(1), 119-136.

Baumgartner, T.R., Christensen, N. (1985). Coupling of the gulf of California to large-scale interannual climatic variability. *Journal of marine research*, 43, 825-848.

Barron, J.A., Metcalfe, S. E., Addison J.A. (2012). Response of the North American monsoon to regional changes in ocean surface temperature. *Paleoceanography*, 27, 1-17. doi: 10.1029/2011PA002235.

Barron, J.A., Bukry, D., Bischoff, J. L. (2002). A 2,000-Year long record of climate from the Gulf of California. En: West, G.J., Blomquist, N. L. (eds). *Proceedings of the Nineteenth Annual Pacific Climate Workshop*. 11-21.

Bernal, G.R. (2001). Registro paleoceanográfico en los sedimentos laminados de la cuenca de La Paz, margen occidental del bajo golfo de California. (Tesis de Doctorado) Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, México.

Bolch, C.J., Hallegraef, G.M. (1990). Dinoflagellate cysts in recent marine sediments from Tasmania, Australia. *Botánica Marina*, 33, 173-192.

Cleland, E. (2012). Biodiversity and Ecosystem Stability. *Nature Education Knowledge* 3(10),14. Recuperado 17 junio de: <http://www.nature.com/scitable/knowledge/library/biodiversity-and-ecosystem-stability-17059965>.

Dale, B. (1976). Cyst formation, sedimentation and preservation, factors affecting dinoflagellates assemblages in recent sediments from Tromdhimsfjord, Norway. *Review of Paleobotany and Palynology*, 22, 39-60.

Dale, B., Dale, A.L., and Jansen, J.H.F. (2002). Dinoflagellate cysts as environmental indicators in surface sediments from the Congo deep-sea fan and adjacent regions. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 185 (3–4), 309–338. doi: 10.1016/S0031-0182(02)00380-2.

De Vernal, A., A., A. Rochon, A., Turon, J.L., Matthiessen. (1997). Organic-walled dinoflagellate cysts: palinological tracers of sea-surface conditions in middle to high latitude marine environments. *GEOBIOS*, 30, 905-920.

Figueroa, R.I., Bravo, I. (2005). Sexual reproduction and two different encystment strategies of *Lingulodinium polyedrum* (Dinophyceae) in culture. *Journal Phycology*, 41, 370–379.

Flores, J. (2009). Registro palinológico en sedimentos laminados de la parte sur del Golfo de California y su relación con cambios paleoceanográficos y paleoclimáticos. (Tesis de Doctorado) Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, México.

Gelin, Z., Mosyakin, S. and Clemants, S. (2003). *Chenopodiaceae*, Flora of China, 5, 351-414.

Godhe, A., Otta, S. K., Rehnstam-Holm, A.S., Karunasagar, I. and Karunasagar, I. (2001). Polymerase chain reaction in detection of *Gymnodinium mikimotoi* and *Alexandrium minutum* in field samples from southwest India. *Marine Biotechnology*, 3, 152–162.

Head, M.J. (1996). Modern dioflagellates cysts and their biological affinities. En: J. and McGregor, D.C. (eds.), *Palynology: Principles and applications*. American association of stratigraphic Palynologists Foundation, 3, 1197-1248.

Hughes, M. K. and Graumlich, L. J. (1996). Climatic variations and forcing mechanisms of the last 2000 years. Multi-millennial dendroclimatic studies from the western United States. *NATO ASI Series*, 141, 109-124.

Jacobson, D. M. and Anderson, D. M. (1986). Thecate heterotrophic dinoflagellates: feeding behavior and mechanism. *Journal Phycology*, 22, 249-258.

Jarzen, D.M., Nichols, D.J. (1996). Pollen. In: J. and McGregor, D.C. (eds.), *Palynology: Principles and applications*. American association of stratigraphic Palynologists Foundation, 1, 261-291.

Jones, P. D. and Briffa, K.R. (2001). The “Little ice age”: local and global perspectives. *Climatic Change*, 48: 5-8. Recuperado 17 junio de: <http://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1005670904293>.

Kemp, A.E.S., Bauldauf, J.G. (1993). Vast Neogene laminated diatom marine deposits from the Eastern Equatorial Pacific Ocean. *Nature*, 362 (6416), 141-144.

- Lavín, M.F., Beier, E. y Badan, A. (1997). Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: Escalas estacional e interanual. *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*. Unión Geofísica Mexicana, Monografía, 3, 141-171.
- Lavín, M.F., Marinone, S.G. (2003). An overview of the physical oceanography of the gulf of California. En: Fuentes, V., Sheinbaum, J., Ochoa, J.L. (ed). *Nonlinear processes in geophysical fluid dynamics*. Kuwer Academic Publishers, Dordrecht, 173-204.
- Ledu, D., Rochon, A., de Vernal, A. and St-Onge, G. (2008). Palynological Evidence of Holocene Climate Oscillations in the Eastern Arctic: a possible shift in the Arctic Oscillation at millennial time scale. *Revue canadienne des sciences de la Terre*, 45, 1363-1375.
- Limoges, A., Kieft, J.F., Radi, T., Ruíz, A. and de Vernal, A. (2010). Dinoflagellate cyst distribution in surface sediments along the south-western Mexican coast (14.76° N to 24.75°N). *Marine Micropaleontology*, 76(3-4), 104-123.
- Margalef, R. (1978). Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanologica Acta*, 1 (4), 493–509.
- Martínez, E., Hernández, H.E. (1991). Distribución de quistes de dinoflagelados y acritarcas en sedimentos holocénicos del golfo de California. *Paleontología Mexicana*, 57, 1-133.
- Molina, A., Pérez, L. y Monreal, M.A. (2002). Laminated sediments in Bay of La Paz, Gulf of California: a depositional cycle regulated by pluvial flux. *Sedimentology*, 49(6):1401-1410. doi:10.1046/j.1365-3091.2002.00505.x
- Morquecho, L., Lechuga, C.H. (2003). Dinoflagellate cyst in recent sediments from Bahía Concepcion, Gulf of California. *Botanica Marina*, 46, 132-141.
- Morquecho, L., Gongora, D.T, Okolodkov Y.B. (2009). Cyst-theca relationships of Gonyaulacales and Peridinales (Dinophyceae) from Bahía Concepcion, Gulf of California. *Acta Botanica Mexicana*, 88, 9-29.
- Mudie, P.J. and Harland, R. (1996). Aquatic Quaternary. In: J. and McGregor, D.C. (eds.), *Palynology: Principles and applications*. American association of stratigraphic Palynologists Foundation, 2, 843-877.
- Pérez, L. (2013). Hydrological changes and paleoproductivity in the Gulf of California during middle and late Holocene and their relationship with ITCZ and north American Monsoon variability. *Quaternary Research*, 79, 138-151.

Phleger, F.B. (1964). Patterns of living benthonic foraminifera, Gulf of California. In: Van Andel, T.H., and Shor, G.G. (eds.), *Marine Geology of the Gulf of California, a symposium*. American Association of Petroleum Geologist Memoir, 3, 377-394.

Price, A. M., Mertens, K. N., Pospelova, V., Pederson, T.F., Ganeshram, R. S. (2013). Late Quaternary climatic and oceanographic changes in the Northeast Pacific as recorded by dinoflagellates cysts from Guaymas Basin, Gulf of California (Mexico). *Paleoceanography*, 28, 1-13. doi: 10.1002/palo.20019.

Proulx, R., Wirth C., Voigt W., Weigelt A., Roscher C., *et al.* (2010). Diversity Promotes Temporal Stability across Levels of Ecosystem Organization in Experimental Grasslands. *PLoS ONE* 5,(10): e13382. doi:10.1371/journal.pone.0013382.

Radi, T., de Vernal, A. (2004). Dinocyst distribution in surface sediments from the northeastern Pacific margin (40–60°N) in relation to hydrographic conditions, productivity and upwelling. *Review of palaeobotany and palynology*, 128(1-2), 169-193. doi: 10.1016/S0034-6667(03)00118-0.

Ribeiro, S., Amorin, A. (2008). Environmental drivers of temporal succession in recent dinoflagellate cyst assemblages from a coastal site in the North-East Atlantic, Lisbon Bay, Portugal. *Marine Micropaleontology*, 68, 156-178.

Rochon, A., Eynaud, F., de Vernal, A. (2008). Dinocyst as tracers of hydrographical conditions and productivity along the oceans margins: Introduction. *Marine Micropaleontology*, 68 (1-2) ,1-5. doi: 10.1016/j.marmicro.2008.04.001.

Salinas, C., Leyva, A., Luch, D., Díaz, E. (1990). Distribución geográfica y variabilidad climática de los regimos pluviométricos en Baja California Sur, México. *Atmosfera*, 3, 217-237.

Solana, M.E. (2012). Estadística III. Recuperada 23 junio de: <ftp://ftp.cicese.mx>.

Suarez, B., Guzmán, L. 1998. Floraciones de algas nocivas, mareas rojas y toxinas marinas. Instituto de Ciencias Biomédicas Universidad de Chile. Recuperada de: <http://www.ifop.cl>.

Silverberg, N., Shumilin, E., Aguirre, F., Rodriguez, A.P. and Sapozhnikovb, D. (2007). The impact of hurricanes on sedimenting particulate matter in the semi-arid Bahía de La Paz, Gulf of California. *Continental Shelf Research*, 27, 2513-2522.

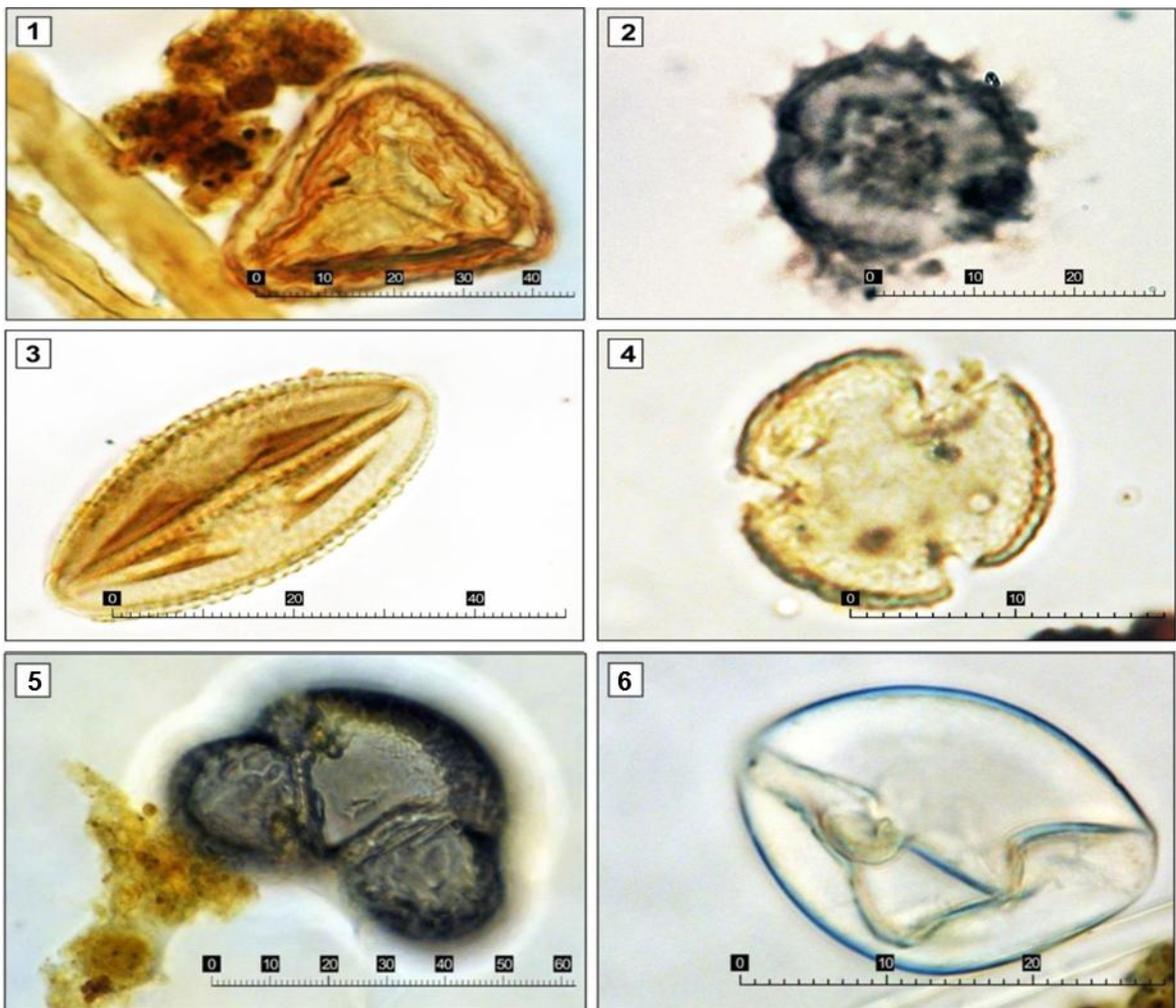
Taylor, F.J.R. (1987). The biology of dinoflagellates. *Botanical Monographs*, 21, 1-758.

Torres Orozco, E. (1993), Análisis volumétrico de las masas de agua del Golfo de California. (Tesis de Maestría) Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, México.

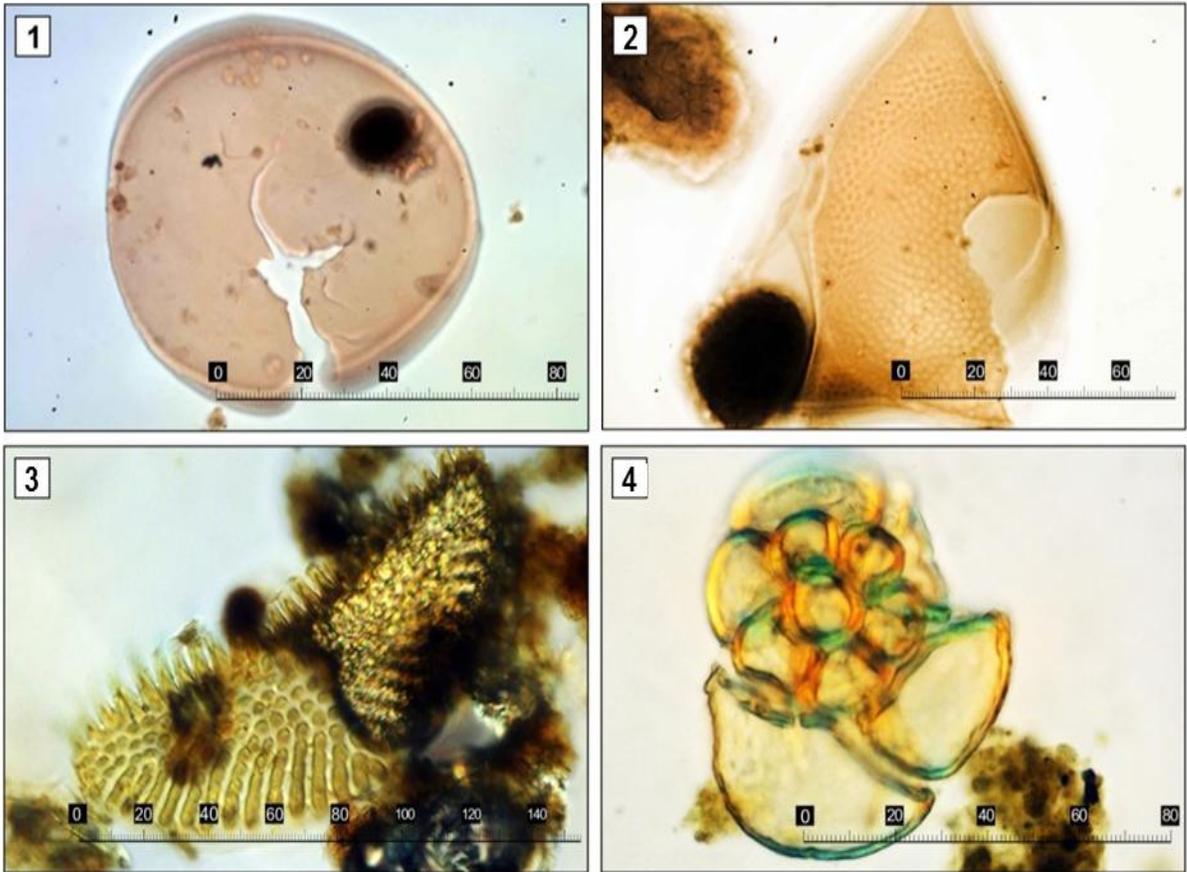
Traverse, A. (2007). *Paleopalynology*, 2nd Ed., Dordrecht, Springer.

Wallace, J. M., Dickinson, R. E. (1972). Empirical Orthogonal Representation of Time Series in the Frequency Domain, Part I: Theoretical Considerations. *Journal of Applied Meteorology*.11(6), 887-892.

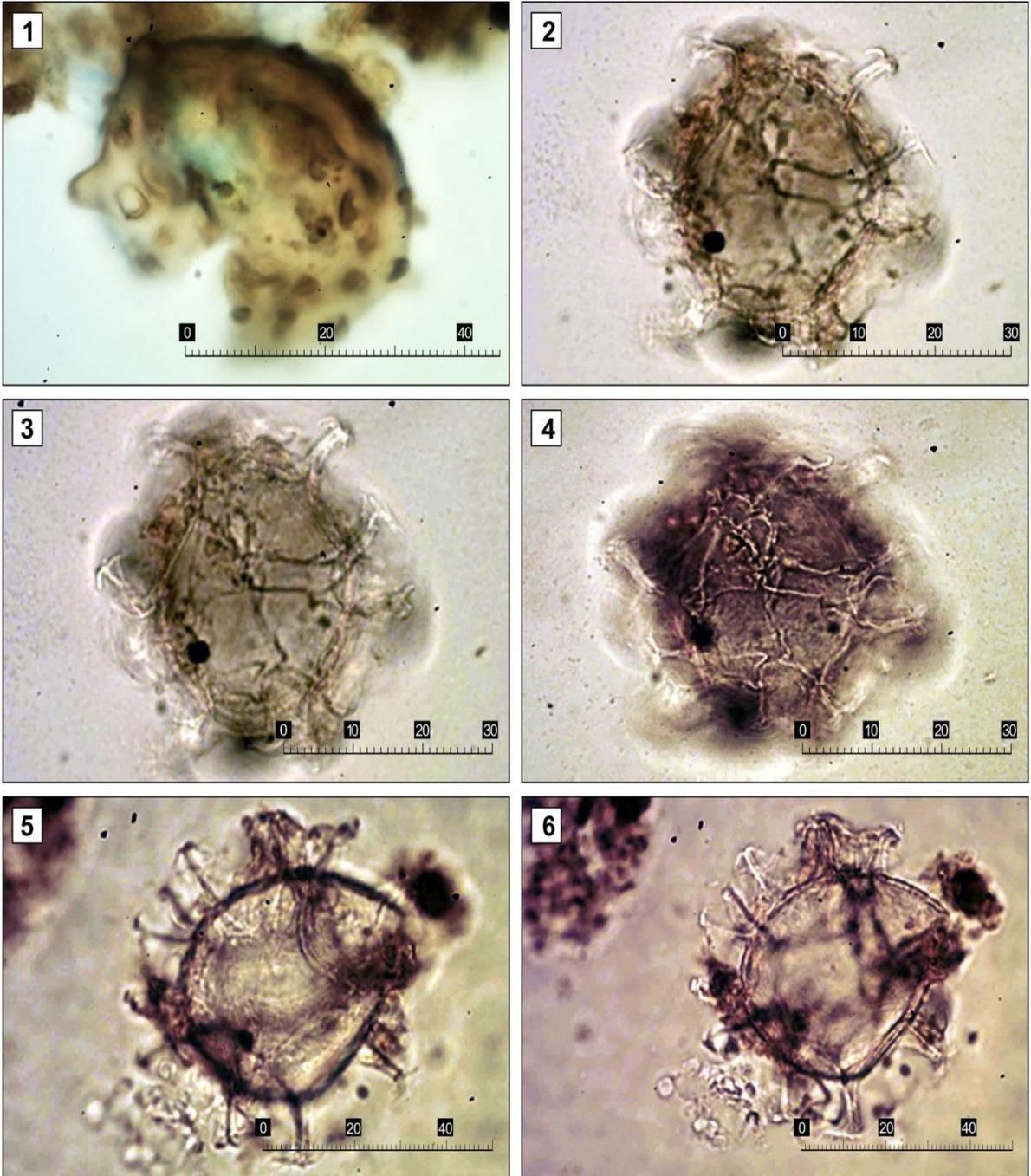
Anexos



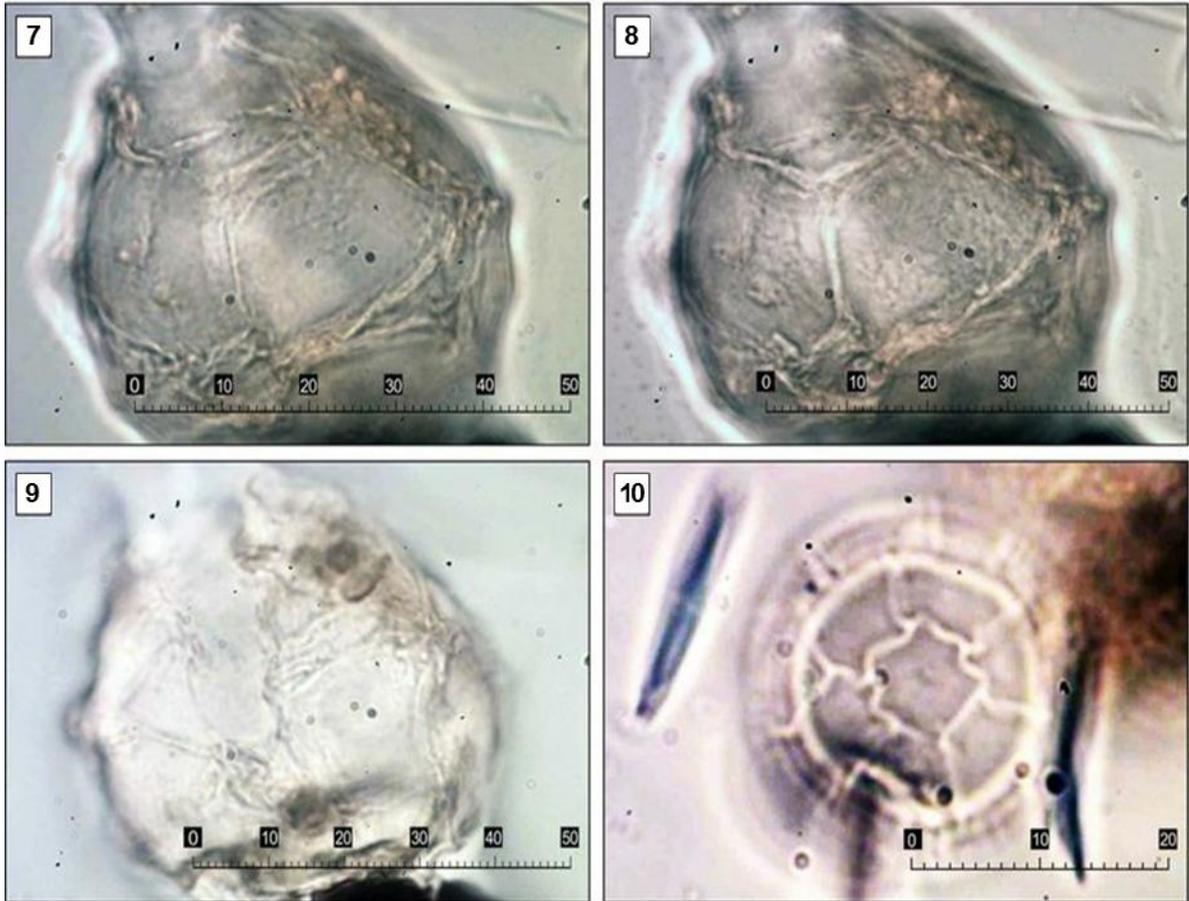
Palinomorfos Continentales. 1) Espora; 2) *P. tricolporado* espinoso; 3) *P. tricolpado*; 4) *P. tricolpado* vista polar; 5) Bisacado; 6) *P. monoporado*.



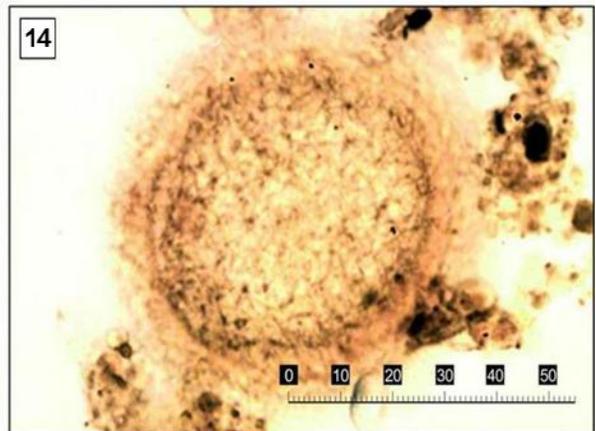
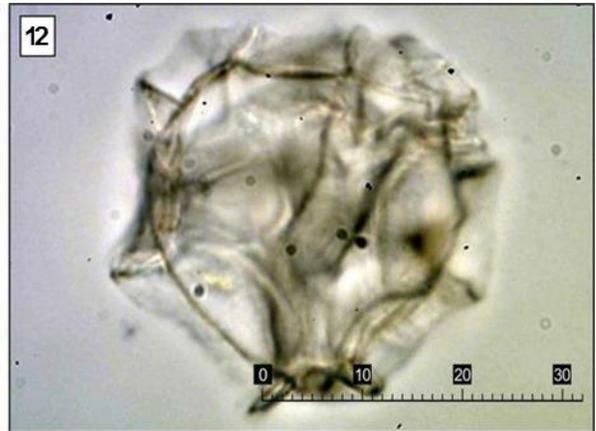
Palinomorfos Marinos. 1) Leiosphaeridia; 2) Tintinomorfo; 3) Acritarca; 4) Testa interna de foraminífero (TIF).



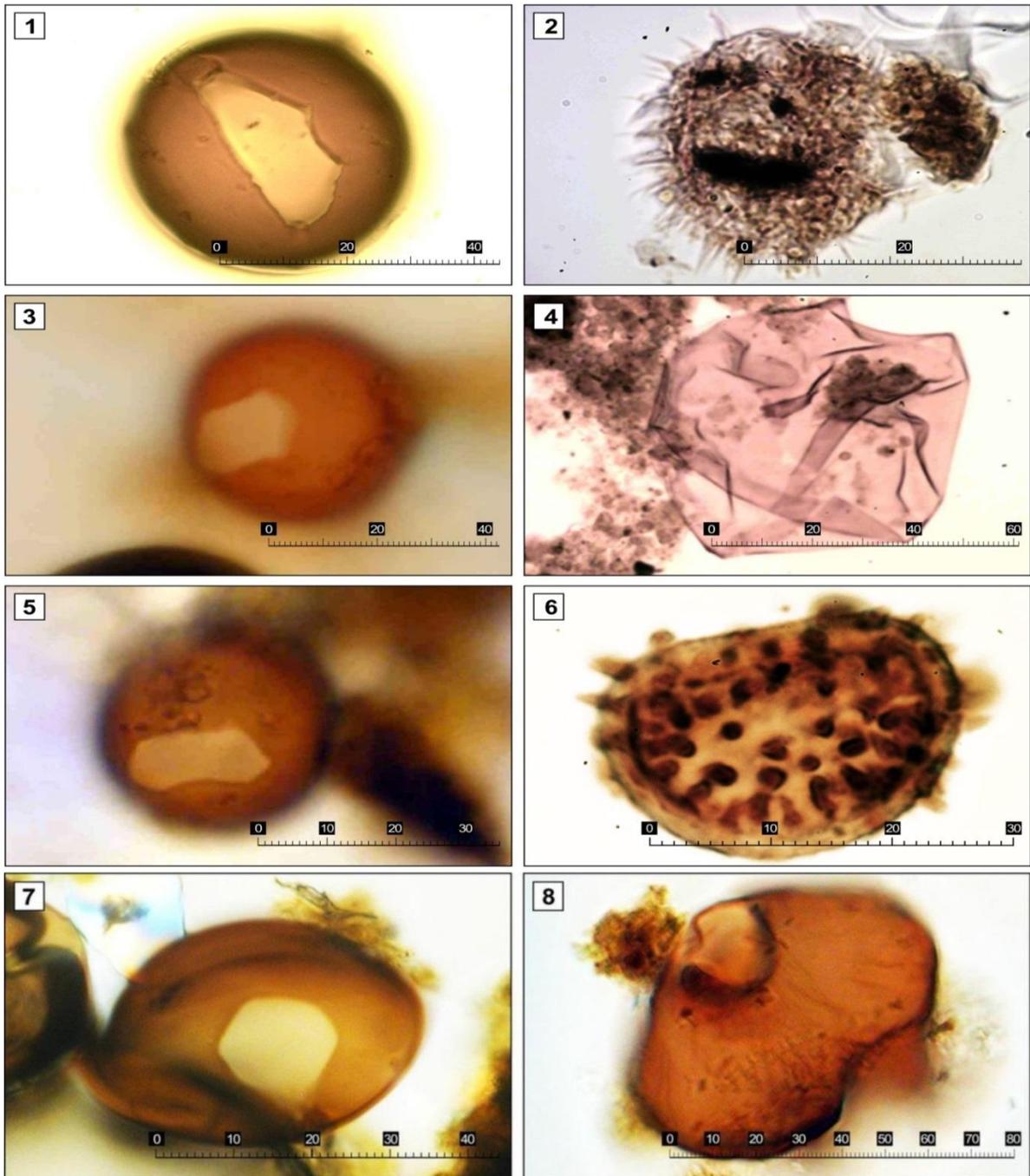
Quistes de dinoflagelados autótrofos. 1) *Tuberculodinium vancampoeae*, foco medio; 2) *Spiniferites* sp., foco medio; 3) *Spiniferites* sp., foco alto; 4) *Spiniferites* sp., foco bajo; 5) *Spiniferites ramosus*, foco bajo; 6) *Spiniferites ramosus*, foco medio.



Quistes de dinoflagelados autótrofos. 7) *Impagidinium sphaericum*, foco medio; 8) *Impagidinium sphaericum*, foco alto; 9) *Impagidinium sphaericum*, foco bajo; 10) *Impagidinium pacificum*, foco alto.



Quistes de dinoflagelados autótrofos. 11) *Impagidinium pacificum*, foco bajo; 12) *Impagidinium aculeatum*, foco medio; 13) *Impagidinium aculeatum*, foco alto; 14) *Bitectatodinium spongium*, foco alto.



Dinoflagelados heterótrofos. 1) *Brigantedinium majusculum*; 2) *Echinidinium cf. granulatum*; 3) *Brigantedinium grande*; 4) *Leujeunecysta* sp. 5) *Brigantedinium irregulare*; 6) *Echinidinium* sp.; 7) *Brigantedinium auranteum*; 8) *Quinquecuspis concreta*.