

**Centro de Investigación Científica y de Educación
Superior de Ensenada, Baja California**



**Maestría en Ciencias
en Ciencias de la Tierra con orientación en Geología**

**Registro palinológico en sedimentos laminados de la cuenca San
Lázaro, Baja California sur y su relación con cambios
paleoceanográficos y paleoclimáticos de 1988 a 2009.**

Tesis

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

Presenta:

Carlos Guadalupe Serrano Mejía

Ensenada, Baja California, México

2016

Tesis defendida por

Carlos Guadalupe Serrano Mejía

y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Javier Helenes Escamilla

Director de tesis

M. en C. Francisco Suarez Vidal

Dra. Ma. Elena Solana Arellano

Dr. Antonio González Fernández

Dr. Juan Gabriel Flores Trujillo



Dr. Juan García Abdeslem

Coordinador del Posgrado en ciencias de la tierra

Dra. Rufina Hernández Martínez

Directora de Estudios de Posgrado

Carlos Guadalupe Serrano Mejía © 2016

Queda prohibida la reproducción parcial o total de esta obra sin el permiso formal y explícito del autor y director de la tesis.

Resumen de la tesis que presenta **Carlos Guadalupe Serrano Mejía** 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 San Lázaro, Baja California sur y su relación con cambios paleoceanográficos y paleoclimáticos de 1988 a 2009.

Resumen aprobado por:

Dr. Javier Helenes Escamilla
Director de tesis

Se presentan los resultados del análisis palinológico de 50 muestras del núcleo SOLE 09-01, tomado de la Cuenca San Lázaro, situada al suroeste del margen continental del lado del Pacífico de la península de Baja California. Las muestras representan sedimentación de 1998 a 2009 (años calendario), con una resolución aproximada de 4 meses. Se documentan y analizan concentraciones de palinomorfos marinos y continentales y se comparan con registros de precipitación regional, temperatura superficial del mar y los índices de surgencias, Oscilación Décadal del Pacífico (ODP) y El Niño Oscilación Austral (ENOA). Las concentraciones totales presentan un promedio de 6,588 pal / g sed, con la mayor concentración (14,692 pal/gr sed) en el intervalo de 1996 a 2004. La menor concentración (957 pal / g sed) se observa en la muestra correspondiente a ~1992. Se identificaron 41 especies de dinoflagelados y el género heterótrofo *Brigantedinium* sp. Es el más abundante (99.6%). La influencia del sistema de corriente de California se ve reflejada por la presencia constante del dinoflagelado autótrofo *Ataxodinium choane*, de distribución templada a sub-polar. Sin embargo, a partir de 1996, se registra un aumento en la presencia de las especies termofílicas *Stelladinium stellatum*, *Dubridinium caperatum*, *Votadinium calvum* y *Quinquecuspis concreta*, que reflejan la influencia del sistema de Contracorriente Norecuatorial. Este aumento coincide con un incremento en la temperatura superficial del mar (TSM) reportado en registros instrumentales. Las concentraciones de dinoflagelados heterótrofos y palinomorfos continentales están fuertemente moduladas por una combinación de ODP y ENOA. De tal manera que aumentan durante eventos Niña y condiciones de ODP negativo y disminuyen durante eventos Niño y condiciones de ODP positivo. Estas relaciones son particularmente evidentes en los eventos Niña de 1996 y Niño de 1998. En contraste, ambos tipos de palinomorfos no tienen correlación significativa con la lluvia regional. Estas condiciones indican que las surgencias aumentan la productividad marina, al llevar nutrientes a la zona fótica, mientras que aumentan la productividad continental al proveer humedad en zonas desérticas costeras.

Palabras clave: Cuenca San Lázaro, Sedimentos laminados, Dinoflagelados, Corriente de California, Contracorriente Norecuatorial.

Abstract of the thesis presented by **Carlos Guadalupe Serrano Mejía** 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 basin San Lazaro, Baja California Sur and its relationship with paleoceanographic and paleoclimatic changes from 1988 to 2009.

Abstract approved by:

Dr. Javier Helenes Escamilla
Thesis Director

We present the results from the palynological analyses of 50 samples of the core SOLE 09-01, taken from San Lazaro Basin, located to the southwest of the continental margin of the Baja California peninsula in the pacific side. The samples represent sedimentation from 1998 to 2009 AC with an approximate resolution of 4 months. We document and analyze the concentrations of marine and continental palynomorphs and compare them with regional rainfall, sea surface temperature (SST), and the indexes for coastal upwelling, Pacific Decadal Oscillation (PDO) and El Niño Southern Oscillation (ENSO). Total concentrations present a mean of 6,588 pal / g sed, with the maximum (14,692 pal /g sed) during the interval from 1996 to 2004, while the minimum concentration (957 pal /g sed) was observed in the sample corresponding to 1992.3. Of the 41 dinoflagellate species, the heterotrophic *Brigantedinium* sp. is the most abundant (99.6%). The influence of the California Current is reflected by the almost continuous presence, of the autotrophic *Ataxodinium choane*, which has been reported from temperate to sub-polar environments. However, from 1996 there is an increase in the presence of the thermophilic species *Stelladinium stellatum*, *Dubridinium caperatum*, *Votadinium calvum* y *Quinquecuspis concreta*, which reflect the influence of the tropical Northern Equatorial Counter current. This increase coincides with a reported rise in SST. The concentrations of heterotrophic dinoflagellates and continental palynomorphs are strongly modulated by a combination of ODP conditions and ENOA events. So that they reach high values during Niña events and negative ODP conditions, and they decrease during Niño events and positive ODP conditions. These relations are particularly evident in the 1996 Niña, and the 1998 Niño. In contrast, both types of palynomorphs have no significant correlation with measured regional rainfall. These conditions indicate that upwelling increases marine productivity by bringing nutrients to the photic zone, and increase continental productivity by increasing the available humidity in coastal desert regions.

Keywords: San Lazaro basin, laminated sediments, dinoflagellates, California current, North Equatorial Countercurrent.

Dedicatoria

A Emiliano, por ser un niño tan especial y enseñarme algo nuevo cada día.

A mis padres José I. Serrano Palacios y Teresa Mejía Luna, por estar siempre ahí.

A mis hermanos por su incansable cariño y ánimo.

A la memoria de Horacio Enrique Serrano Mejía, Gloria García Luna, Irving De Luna Ramírez, Roberto Montiel Hernández, Francisco Suarez Vidal y Arturo Días Magdaleno.

Agradecimientos

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por brindarme el apoyo económico durante mi estadía en el posgrado con el número de becario 306439.

Al profesor Javier Helenes Escamilla, por todas sus enseñanzas tanto académicas como de vida, por su incansable ánimo y por todo el apoyo para seguir hasta culminar este proyecto.

A los miembros que conformaron el comité de tesis, Dra. Ma. Elena Solana Arellano, por su paciencia al resolver mis dudas en la parte estadística y por sus valiosos comentarios, al M. en C. Francisco Suarez Vidal, por haber formado parte del comité y por sus valiosas aportaciones durante el comienzo de este trabajo, al Dr. Antonio Gonzales Fernández, por la disponibilidad y aporte en la culminación de este trabajo, al Dr. Juan Gabriel Flores Trujillo por su ánimo y comentarios desde que comenzó este trabajo, a Elizabeth Avilés Becerril por su gran disposición y amabilidad en la revisión del formato de este trabajo.

A los compañeros del laboratorio de palinología y micropaleontología de la división de ciencias de la tierra, Ana Cupul, Edna Collins, Enrique Correa, Felipe Duque, Lita Castañeda, Rigel Castañeda, Juan Carlos Jara y Juan Carlos Pérez.

A mi esposa Paulina Alvarado por estar siempre, en las buenas y en las malas.

Tabla de contenido

	Página
Resumen en español.....	ii
Resumen en inglés.....	iii
Dedicatorias.....	iv
Agradecimientos.....	v
Lista de figuras.....	viii
Lista de tablas.....	x
Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Hipótesis.....	4
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivo específico.....	4
Capítulo 2. Metodología.....	5
2.1 Área de estudio.....	6
2.2 Obtención del núcleo y muestras.....	7
2.3 Modelo cronológico.....	8
2.4 Procesamiento palinológico.....	10
2.5 Análisis palinológico.....	10
2.5.1 Palinomorfos continentales.....	11
2.5.2 Palinomorfos marinos.....	11
2.6 Análisis estadístico.....	15
2.6.1 Tamaño mínimo de muestra.....	15
2.7 Abundancia absoluta (Concentraciones).....	16
2.8 Componentes principales.....	17
2.8.1 Análisis factorial por componentes principales.....	17
2.9 Registros instrumentales.....	18
Capítulo 3. Resultados.....	19
3.1 Análisis palinológico.....	19
3.2 Concentraciones de palinomorfos por gramo de sedimento.....	19

3.3	Abundancia absoluta (concentraciones) de dinoflagelados.....	21
3.4	Concentraciones relacionadas con variables climáticas.....	27
3.5	Componentes principales.....	30
3.6	Análisis factorial por componentes principales.....	32
Capítulo 4. Discusión.....		34
4.1	Palinomorfos marinos.....	34
4.1.1	Dinoflagelados y TSM.....	34
4.1.2	Dinoflagelados, ENOA y ODP.....	36
4.2	Palinomorfos continentales y neblinas.....	39
Capítulo 5. Conclusiones.....		40
Literatura citada.....		41
Anexos.....		43

Lista de figuras

Figura	Página
1 Localización de la cuenca San Lázaro, principales corrientes que influyen en la cuenca, sistema de Corriente de California, Contracorriente Norecuatorial, Contracorriente sub superficial.....	2
2 Batimetría de la cuenca San Lázaro, sitio donde se obtuvo el núcleo SOLE 09-01.....	6
3 Valores de 210Pbexc vs. Profundidad de las muestras analizadas. B – Regresión lineal de las dataciones. C – Ajuste de las muestras para el análisis palinológico.....	7
4 Tamaño mínimo de muestra obtenido de las láminas 12 (a y b) y 25 (a y b).....	15
5 Concentraciones de palinomorfos totales, (CON) continentales, (MAR) marinos, (ANG) angiospermas, (GIMN) gimnospermas, (ESPO) esporas y (FUNG) fungi a lo largo del núcleo, se presenta también la relación del índice marinos / continentales (MAR/CON).....	20
6 Concentraciones totales de dinoflagelados heterótrofos (pal/g sed) con las especies más recurrentes en el núcleo. DIN HET = Dinoflagelados Heterotróficos; BRIG (Brigantedinium sp.), DUBR (Dubridinium sp.), LEJE (Lejeunecysta sp.), PROT (Protoperidinium sp.), SELE (Selenopemphyx nephroides), St. Stell. (Stelladinium stellatum).	23
7 Concentraciones totales de dinoflagelados autótrofos (pal/g sed) con las especies más recurrentes en el núcleo. Atax (Ataxodinium choane), B. spong. (Bitectatodinium spongium), SPIN (Spiniferites sp.), IMPA (Impagidinium sp.	26
8 Concentraciones totales (pal/g sed) de palinomorfos continentales (CON) y marinos (MAR) comparados con el índice marinos / continentales (MAR/CON) y con índices climáticos: índice de surgencias (Ind. Surg. 24N 113W), temperatura superficial del mar (TSM 24-90 N) y lluvia promedio anual (LLUVIA PROM ANUAL), índice enoa (INDICE ENOA), índice odp (INDICE ODP).....	29
9 Análisis de componentes principales con las concentraciones de los diferentes grupos de palinomorfos usados en este estudio, dinoflagelados heterótrofos (HET), dinoflagelados autótrofos (AUT), otros marinos (MAR), gimnospermas (Gimno), esporas (esp), angiospermas (ang), y las variables utilizadas precipitación (precip), surgencias (surg), oscilación decadal del pacífico (odp) y temperatura superficial del mar (TSM).....	31
10 Gráfico de saturaciones producto del análisis factorial por componentes principales, se compara el factor 1 con el factor 2.	33
11 Quistes de distribución geográfica templada a subtropical, DUBR (<i>Dubridinium</i> sp.), SELE (<i>Selenopemphyx nephroides</i>), B. spong. (<i>Bitectatodinium spongium</i>), St. Stell. (<i>Stelladinium stellatum</i>), T. vanc. (<i>Tuberculodinium vancampoe</i>), ANOM TSM, (Anomalías en la temperatura superficial del mar), se destacan tres periodos de incremento en la TSM, 1996, 2002 y	36

2008.....	
12 Relación gráfica entre concentraciones de palinomorfos y factores oceánicos. ANG = Angiospermas; MAR = Otros Marinos; DIN HET = Dinoflagelados Heterótrofos; SELE = <i>Selenopemphix</i> sp.; DIN AUT = Dinoflagelados autótrofos; Anom TSM = Anomalías de temperatura superficial del mar; ENOA Sem = índice del ENOA semestral y ODP Sem = índice del ODP semestral.....	38
13 Palinomorfos continentales. 1) polen bisacado, 2) periporado, 3) triporado, 4) periporado espinoso.....	43
14 Palinomorfos marinos. 1) Piezas bucales de escolecodontes, 2) testa de foraminífero.....	44
15 Quistes de dinoflagelados autótrofos. 1) <i>Ataxodinium choane</i> , 2) <i>Impagidinium patulum</i> , 3) <i>Spiniferites</i> sp. 4) <i>Impagidinium sphaericum</i>	45
16 Quistes de dinoflagelados heterótrofos. 1) <i>Brigantedinium simplex</i> , 2) <i>Brigantedinium cariaense</i> , 3) <i>Dubridinium</i> sp., 4) <i>Lejeunecysta</i> sp, 5) <i>Quinquecuspis concreta</i> , 6) <i>Selenopemphyx nephroides</i>	46

Lista de tablas

Tabla	Página
1 Resumen de la concentración de ^{210}Pb en el núcleo SOLE0901.....	8
2 Muestras estudiadas y sus edades basadas en años calendario.....	9
3 Especies identificadas de dinoflagelados heterótrofos y autótrofos y su nomenclatura utilizada en el análisis estadístico	12
4 Especies de dinoflagelados identificados en el núcleo SOLE 0-01, agrupadas según su afinidad climática.....	14
5 Matriz general de correlación paramétrica (Pearson) de las concentraciones de dinoflagelados heterótrofos (HET), dinoflagelados autótrofos (AUT), otros marinos (MAR), gimnospermas (GIMN), esporas (ESP) y angiospermas (ANG) y su relación con las variables climáticas utilizadas en este estudio. Precipitación (PREC), Surgencias (SURG), temperatura superficial del mar (TSM), Oscilación Décadal del Pacífico (ODP), índice Enoa (ENOA) ($P < 0.05$). Correlaciones significativas se resaltan en rojo, y las mayores a .5 en rojo.....	28
6 Factores obtenidos producto de la rotación varimax a la matriz de datos	32

Capítulo 1. Introducción

El estudio de sedimentos laminados preservados en cuencas hipóxicas permite realizar interpretaciones sobre las condiciones paleoecológicas y sedimentológicas ocurridas durante su sedimentación. De ahí su importancia para comprender eventos climáticos ocurridos a escala global en diferentes periodos temporales y mejorar los modelos paleoclimáticos recientes. El fondo de estas cuencas está caracterizado por la presencia de agua con niveles de oxígeno disuelto por debajo de los 0.2 ml/l (Emery y Hülsemann, 1954; Calvert, 1964; Soutar et al., 1981; Donegan y Schrader, 1982; Karpuz y Jansen, 1992; Kemp y Baldauf, 1993). Esta ausencia de oxígeno inhibe la presencia y actividad de organismos, por lo tanto, la bioturbación. Estas condiciones son idóneas para la preservación y sedimentación del componente biogénico que se deposita en el fondo de la cuenca (Emery y Hülsemann, 1962).

La cuenca San Lázaro (CSL), también conocida como cuenca Soledad, se localiza a 45 km al oeste del margen del lado del Pacífico de Baja California. Esta depresión de origen tectónico tiene aproximadamente 85 km de longitud por 35 km de ancho y una profundidad máxima de 540 m (Figura 1). Presenta un margen irregular que impide casi todo intercambio de aguas sub-superficiales a profundidades por debajo de los 100 m y hacia el sur tiene un umbral a 350 m de profundidad (Esparza-Álvarez, 2007).

La CSL está influenciada por la Corriente de California (CC) y por la Corriente Ecuatorial del Norte (CEN). La CC está compuesta por agua fría proveniente del Pacífico norte, mientras que la CEN está formada por agua cálida subtropical proveniente del sur (Figura 2). Los niveles relativamente altos de carbón orgánico que se exportan hacia el fondo de la cuenca aceleran los procesos de oxidación. Esta oxidación, aunada al aislamiento relativo de la cuenca respecto del Pacífico norte, resulta en bajos niveles de oxígeno. Estas condiciones favorecen la preservación de los sedimentos depositados anualmente con una resolución anual e interanual (Esparza-Álvarez, 2007).

La margen continental occidental de Baja California se caracteriza por una alta productividad primaria marina debida a la presencia de surgencias. Durante estos eventos, la advección de aguas frías del fondo llegan a la superficie cargadas de nutrientes y generan condiciones óptimas para los florecimientos fitoplanctónicos (Soutar & Isaacs, 1974) dominados por diatomeas y dinoflagelados.

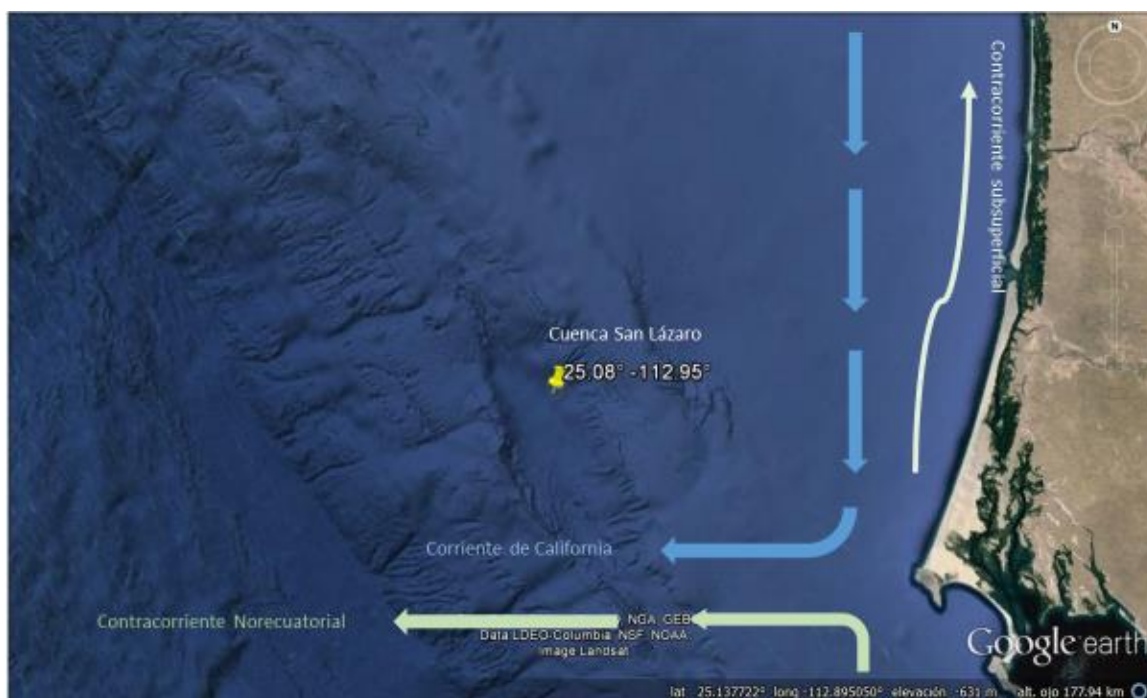


Figura 1. Localización de la cuenca San Lázaro, principales corrientes que influyen en la cuenca, sistema de Corriente de California (CC), Contracorriente Norecuatorial (CEN), Contracorriente subsuperficial.

Los dinoflagelados son protistas unicelulares que se encuentran en la mayoría de los ambientes acuáticos. Muchos géneros son sensibles a cambios en la salinidad y disponibilidad de nutrientes, mientras que otros se distribuyen solo en ciertas zonas oceánicas, por lo que su distribución geográfica es un indicador de condiciones ambientales (Moldowan & Talyzina, 1998). Este grupo constituye un elemento importante de la productividad primaria y secundaria en los ecosistemas marinos. Del total de especies, más del 50% son especies autótrofas o fotosintéticas, el resto se divide en especies heterótrofas, parasíticas y algunas formas mixotróficas (Rochon *et al* 2008).

La complejidad trófica de este taxón se refleja en su ecología, por lo que es de esperarse que las especies fotosintéticas aparezcan y se distribuyan en la columna de agua siguiendo los ciclos de surgencias (Margalef 1978), mientras que las especies heterótrofas siguen un patrón especializado debido a que han desarrollado estrategias específicas para la obtención de alimento (Smayda y Reynolds, 2001, 2003).

Los dinoflagelados proliferan por reproducción asexual y muchas especies incluyen en su ciclo de vida una fase sexual (Spector, 1984), que suele ocurrir al final de un florecimiento algal. El planocigoto de algunas especies forma un quiste cubierto por dinosporina y constituye un quiste de resistencia o

hipnocigoto. El quiste puede llegar al fondo de la columna de agua, depositándose en los sedimentos (Anderson, 1998).

Los hipnocigotos requieren cumplir con un período obligatorio de latencia o dormancia que varía entre dos semanas y cinco meses. Esta etapa consiste en la suspensión del crecimiento por inhibición endógena y corresponde a un período de maduración durante el cual no puede germinar este quiste, incluso cuando las condiciones de crecimiento para la célula vegetativa sean las óptimas (Anderson, 1998; Anderson et al., 1982)

Los quistes de resistencia de dinoflagelados forman un taxón importante dentro de la diversidad biogénica preservada en sedimentos laminados marinos. Son de interés debido a su potencial como indicadores indirectos de parámetros superficiales del mar como: temperatura superficial, salinidad y productividad.

1.1 Antecedentes

Los conjuntos de quistes de dinoflagelados están relacionados con las condiciones oceanográficas predominantes. A este efecto, se han realizado estudios paleoecológicos y paleoceanográficos interpretando conjuntos de quistes de dinoflagelados en sedimentos del Holoceno en muchas partes del mundo. Este tipo de estudios se han reportado del Circulo Ártico (Mudie, 1992), la Península Antártica (Leventer et al., 1996), el Océano Atlántico (McCarthy et al., 2000; de Vernal et al., 1992a y b; Edwards, 1992a y b; Edwards et al., 1991; Harland, 1994; Zippi, 1992 y Rochon et al, 1999; Mudie et al., 2002), el Mar Mediterráneo (Morzadec-Kerfourn, 1992a), las márgenes occidental y austral de África (Morzadec-Kerfourn, 1992b; Holzwarth et al., 2007; Joyce et al., 2005), el Mar de Arabia (Zonneveld y Brummer, 2000); el Mar de China (Shaozhi et al., 1993), la margen sureste de Australia (McMinn, 1992; Marret y de Vernal, 1997), alrededor de Japón (Matsuoka, 1985, 1987, 1992 y 1994), el sureste del Océano Pacífico (Verleye y Louwye, 2010) y el noreste del Océano Pacífico (Mudie et al., 2002; Prauss, 2002; Radi y de Vernal, 2004; Pospelova y Pedersen, 2006, Pospelova et al., 2006, 2008).

Localmente, la presencia de quistes y su relación con variables físico-químicas de las aguas superficiales ha sido estudiada en sedimentos superficiales en el Pacífico Mexicano y el Golfo de California (Cross et al., 1966; Martínez-Hernández y Hernández-Campos, 1991; Peña-Manjarrez et al., 2001 y 2005; Banda-

Bermúdez, 2002; Morquecho y Lechuga-Devéze, 2003; Kielt, 2006, Vásquez-Bedoya et al., 2008; Flores-Trujillo, 2009; Flores-Trujillo et al., 2009; Limoges et al., 2010; Price et al., 2013). En este estudio estudiaremos los conjuntos palinológicos, con énfasis en los dinoflagelados, contenidos en sedimentos laminados de CSL, a fin de comprobar la relación de estos con factores climáticos y oceanográficos regionales.

1.2 Hipótesis

La diversidad y abundancia de quistes de dinoflagelados autótrofos y heterótrofos está relacionada con eventos interanuales y decadales, que influyen en la estructura trófica del ecosistema oceánico.

1.3 Objetivos

Describir y documentar el contenido de palinomorfos preservados en sedimentos de la cuenca San Lázaro, depositados entre los años 1988 a 2009.

1.3.1 Objetivo general

Determinar la relación entre los cambios anuales en los conjuntos de dinoflagelados del fondo de cuenca San Lázaro y cambios en los parámetros climáticos y oceanográficos que predominan en la región de 1988 a 2009.

1.3.2. Objetivo específico

Documentar los cambios palinológicos contenidos en sedimentos laminados de la cuenca San Lázaro.

Describir las variaciones de estos conjuntos palinológicos y como se relacionan con parámetros como la temperatura superficial del mar, precipitación pluvial e índices de surgencias.

Determinar cómo responden los conjuntos de dinoflagelados, tanto autótrofos y heterótrofos a dichas variaciones regionales, con resolución anual.

Determinar la relación de esta variabilidad con forzamientos de escala interanual como eventos del Niño y la Niña (ENOA) y la Oscilación Décadal del Pacífico (ODP).

Capítulo 2. Metodología

2.1 Área de estudio

La cuenca San Lázaro (CSL, Figura 2), localizada a 25°.08 N, 112°.95 W, está ubicada al oeste del margen continental de la península de Baja California del lado del pacífico, se trata de una cuenca semi cerrada que yace en la zona de convergencia de la corriente fría de California (Figura 2) y la corriente cálida Norecuatorial (Esparza-Álvarez *et al.*, 2007). Se encuentra influenciada por aguas de origen subártico y subecuatorial, la influencia de cada una de estas masas de agua está determinado por cambios climáticos estacionales, anuales y decadales a nivel regional hasta nivel de mesoescala.

La CSL recibe tres masas de agua (Figura 1) pertenecientes al sistema de la Corriente de California. La CC, la contracorriente subsuperficial y la corriente de Davidson, la cual es una contracorriente costera que fluye hacia el norte (Hickey, 1971). La CC es una masa de agua con movimiento hacia el sureste durante todo el año, transporta agua relativamente fría y de baja salinidad hasta latitudes más bajas, y aproximadamente a los 23° N, se mezcla con la CEN. Durante primavera - verano, el flujo más intenso de agua de la CC se dirige hacia el ecuador; mientras que la contra corriente costera, que se mueve hacia los polos aparece en otoño – invierno (Hickey, 1971)

A lo largo de la CC, durante la primavera y verano los vientos predominantes cercanos a la costa de Norteamérica tienen sentido norte – noroeste, favoreciendo la generación de eventos de surgencias. Estos eventos llevan hacia la superficie masas de aguas con características propias de la Contra Corriente Costera, es decir, con porcentajes de salinidad superiores al 34% y con temperaturas por debajo de los 20°C. La frecuencia con la que las surgencias se presentan está ligada con la intensidad de los vientos a lo largo del año.

Mediciones de la temperatura superficial del mar (TSM) en la cuenca indican un mínimo de 16.1°C y un máximo de 30.6°C. Durante la primavera y principios de verano es cuando se presentan las temperaturas más frías en la zona, con un rango de 17.1°C a 24.6°C respectivamente. Mientras que las temperaturas máximas se presentan durante el otoño, de 24.7°C a 29.6°C (Esparza, 2007)

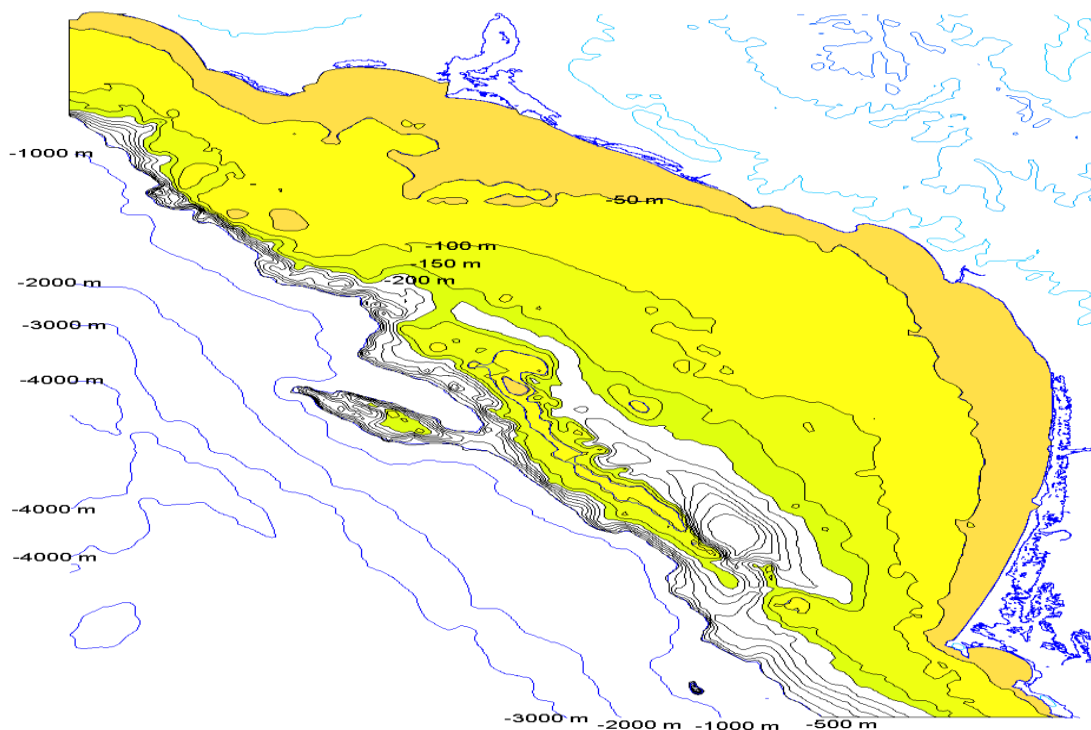


Figura 2. Batimetría de la cuenca San Lázaro (CSL), tomado de Ramírez-Rodríguez *et al.* (2010).

2.2 Obtención del núcleo y muestras

El núcleo estudiado es el LONO SOLE09-OIMC3, de 36.5 cm de longitud. Fue colectado en octubre del 2009 a bordo del crucero LONO09-1 del Buque RV New Horizon. La expedición estuvo a cargo del Dr. William Berelson, de la Universidad del Sur de California. Los 10 cm superiores del núcleo fueron cortados a bordo del barco con un pistón de pedal para obtener 100 muestras de un milímetro de espesor. Los 26.5 cm inferiores se traspasaron a un tubo de PVC que se cerró herméticamente para ser llevado al laboratorio de Oceanografía Geológica (OG) de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) donde se mantuvieron en refrigeración para su posterior sub muestreo.

2.3. Modelo Cronológico

El modelo cronológico del núcleo se calculó con los resultados obtenidos con ^{210}Pb y con ^{14}C . Se enviaron 8 muestras de los 10 cm superiores del núcleo, al Laboratorio de Dataciones del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM en Mazatlán, para ser datados por $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$. Los resultados del modelo de edad se calcularon a partir de los resultados obtenidos con ^{210}Pb y con ^{14}C . Sin embargo, debido a que solo se analizaron los 10 cm superiores, solo se presentan aquí los datos del $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ (Figura 3 A; Tabla 1). Puesto que el número de muestras analizadas fue limitado y los perfiles de núcleos fueron exponenciales, se usó el modelo de Flujo Constante Sedimentación Constante ("CFCS" por sus siglas en inglés) y las Velocidades de Acumulación de Sedimentos (VAS) se calcularon con una regresión lineal del perfil $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ vs. Profundidad (Figura 6B). Para calcular las incertidumbres de la edad y la VAS, se realizó una simulación Montecarlo, usándose ambas actividades: ^{210}Pb y ^{226}Ra . El logaritmo natural de $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ fue aleatorizado para calcular los parámetros de regresión y las edades de la sección con 300,000 iteraciones, y para estimar estadísticamente las incertidumbres.

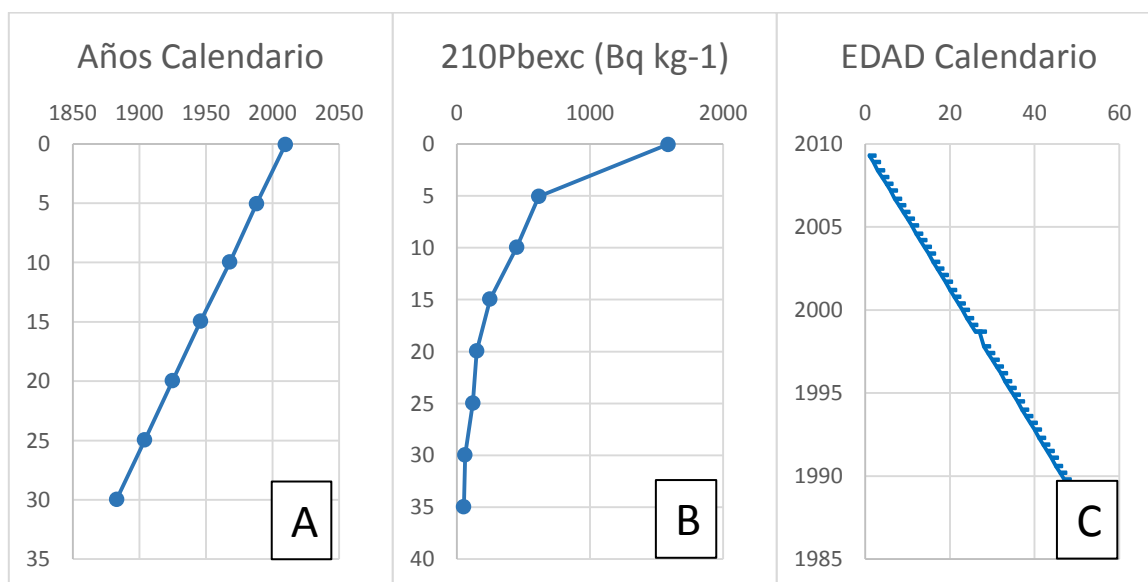


Figura 3. **A** – Valores de $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ vs. Profundidad de las muestras analizadas. **B** – Regresión lineal de las dataciones. **C** – Ajuste de las muestras para el análisis palinológico.

Se obtuvo una velocidad de sedimentación de 0.236 ± 0.011 cm/año, con un registro sedimentario de 2009.5 a 1853 años, con resolución de 4 meses por muestra en los primeros 10 cm del núcleo (2009.5 a 1967.5) y con una resolución de 4.2 años en las muestras inferiores a los 10 cm del núcleo (1967.5 a 1853.1) (Tabla 1).

Tabla 1. Resumen de la concentración de ^{210}Pb en el núcleo SOLE09-01.

Muestra	Profundidad Muestreada (cm)	Concentración $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ (Bq kg^{-1})	Edad CFCS (D.C.)
SOLE09-01 0-1	0.05	1587 ± 96	2009.58 ± 0.01
SOLE09-01 50-51	5.05	616 ± 37	1988 ± 1
SOLE09-01 99-100	9.95	450 ± 28	1968 ± 2
SOLE09-01 150	14.95	250 ± 17	1946 ± 3
SOLE09-01 200	19.95	150 ± 12	1925 ± 4
SOLE09-01 250	24.95	121 ± 8	1904 ± 5
SOLE09-01 300	29.95	62 ± 4	1883 ± 6
SOLE09-01 350	34.95	53 ± 4 *	
* Base ^{210}Pb			

Tabla 2. Muestras estudiadas y sus edades basadas en años calendario

Prof. Muestra (mm)	EDAD (A. Cal.)	Prof. Muestra (mm)	EDAD (A. Cal.)
0-1	2009.3	25-26	1998.7
1-2	2008.9	27-28	1997.8
2-3	2008.4	28-29	1997.4
3-4	2008.0	29-30	1997.0
4-5	2007.6	30-31	1996.6
5-6	2007.2	31-32	1996.2
6-7	2006.7	32-33	1995.7
7-8	2006.3	33-34	1995.3
8-9	2005.9	34-35	1994.9
9-10	2005.5	35-36	1994.5
10-11	2005.1	36-37	1994.0
11-12	2004.6	37-38	1993.6
12-13	2004.2	38-39	1993.2
13-14	2003.8	39-40	1992.8
14-15	2003.4	40-41	1992.3
15-16	2002.9	41-42	1991.9
16-17	2002.5	42-43	1991.5
17-18	2002.1	43-44	1991.1
18-19	2001.7	44-45	1990.6
19-20	2001.2	45-46	1990.2
20-21	2000.8	46-47	1989.8
21-22	2000.4	47-48	1989.4
22-23	2000.0	48-49	1988.9
23-24	1999.5	49-50	1988.5
24-25	1999.1	50-51	1988.1

2.4 Procesamiento palinológico

Para la obtención de palinomorfos, se procesaron 50 muestras de los 10 cm superiores que corresponden al intervalo de 1988 a 2009. Las muestras fueron preparadas de acuerdo a la técnica descrita por Wood *et al.* (1996), incluyendo los pasos siguientes:

- 1.- Liofilizar las muestras por 24 horas a una temperatura de 58°C
- 2.- Obtener el peso seco de la muestra analizada.
- 3.- Agregar una tableta de esporas de *Lycopodium clavatum* (Batch 483216, con 18583 esporas por tableta y $S = \pm 3820$) como marcador exótico. Este marcador sirve para estimar la abundancia absoluta de palinomorfos por gramo de sedimento (Stockmarr, 1971)
- 4.- Atacar con ácido clorhídrico (HCL 10%) frío, para eliminar carbonatos y con ácido fluorhídrico (HFL 40%) para eliminar silicatos. Lavar varias veces con agua destilada para neutralizar el residuo.
- 5.- Agregar una solución de politungstato de sodio (ge. = 2) para separar el sobrenadante por medio de centrifugación durante 20 min.
- 6.- Tamizar el residuo con mallas de 15 μ - 125 μ m. Montar el residuo en portaobjetos de 24 x 50 mm, fijándolos con resina foto sensitiva.

2.5 Análisis palinológico

El análisis cualitativo y cuantitativo de las 50 muestras se realizó con un microscopio óptico Leitz weslar, usado los objetivos de 20x para barridos totales, para la identificación a nivel de especie se utilizaron objetivos de 40x, 60x y 100x. También se cuantificaron las esporas de *Lycopodium clavatum* en cada muestra.

Los quistes de dinoflagelados se identificaron a nivel de especie siguiendo las convenciones propuestas por Fensome *et al.* (2008) y la clave de identificación de quistes de dinoflagelados recientes propuesta por Zonneveld y Pospelova (2015).

2.5.1 Palinomorfos continentales

La identificación de los palinomorfos continentales se realizó a nivel de grupo morfológico de los granos de polen y esporas, sin llegar a nivel de especie. Se agruparon en morfotipos, tomándose en cuenta la forma del grano, número y posición de aperturas, ornamentación y estructura de la pared de exina. Los grupos usados en los análisis estadísticos y la interpretación ambiental son: polen de angiospermas, polen de gimnospermas y esporas.

Estas características nos permiten identificar el ambiente y tipo de dispersión de los granos, los cuales pueden ser transportados por viento (anemófilos). Estos pólenes se caracterizan por presentar formas con estructuras que facilitan su flotabilidad en el aire. Este tipo de polen lo producen las gimnospermas y no se encuentra cerca de la región. Creemos que fue llevado por vientos y flotando sobre las corrientes costeras, desde el norte. Los pólenes transportados por insectos (entomófilos) y vertebrados (zoófilos) presentan paredes con filamentos y pueden tener paredes con propiedades adhesivas que faciliten su transporte por polinizadores. Estos tipos de polen son producidos por las plantas angiospermas que son comunes en los biomas desérticos, de la región cercana a Cuenca San Lázaro.

2.5.2 Palinomorfos marinos

Se identificaron 44 taxa de palinomorfos marinos, de los cuales, 41 corresponden a quistes de dinoflagelados que representan 21 géneros. Los otros palinomorfos marinos incluyen formas heterotróficas y se clasificaron dentro de tres grupos basándonos solo en sus caracteres morfotípicos y se agruparon como: escolecodontes, copépodos y testas internas de foraminíferos, o palinoforaminíferos.

Los géneros de dinoflagelados más abundantes en este estudio son *Brigantedinium* e *Impagidinium*, con siete y cuatro especies respectivamente. En la Tabla 3 se presentan todas las taxa identificadas, con las abreviaciones utilizadas para los análisis estadísticos.

Las especies de dinoflagelados identificadas en este estudio también fueron agrupadas de acuerdo a su afinidad climática (tabla 4), quedando distribuidos con las siguientes afinidades: templado a frío, templadas a subtropical, templado a tropical, tropical a subtropical y cosmopolita, la clasificación se realizó utilizando la guía de determinación de quistes de dinoflagelados modernos por Zonneveld et al. (2015).

Tabla 3. Especies identificada de dinoflagelados heterótrofos y autótrofos y su nomenclatura utilizada en el análisis estadístico

Orden	Género	Especie	Nomenclatura de quiste
Peridinales (Taylor, 1980)	<i>Brigantedinium</i> (Wall 1977)	<i>assymmetricum</i> Matsuoka, 1987	<i>Brig assym</i>
		<i>cariacoense</i> (Wall, 1967)	<i>Brig caria</i>
		<i>grande</i> Matsuoka, 1987	<i>Brig gran</i>
		<i>irregulare</i> Matsuoka, 1987	<i>Brig irre</i>
		<i>majusculum</i> Reid, 1977	<i>Brig maju</i>
		<i>simplex</i> Wall, 1965	<i>Brig simp</i>
		sp.	<i>Brig sp</i>
	<i>Dubridinium</i> (Reid 1977)	<i>caperatum</i> Reid, 1977	<i>Dubri cap</i>
	<i>Quinquecuspis</i> (Reid 1977)	<i>concreta</i> (Reid, 1977)	<i>Quinq conq</i>
	<i>Lejeunecysta</i> (Artzener & dorhofer 1978)	<i>oliva</i> (Reid 1977)	<i>Leje oliv</i>
		<i>psuchra</i> Matsuoka, 1987	<i>Leje psuc</i>
		<i>sabrina</i> (Reid 1977)	<i>Leje sabr</i>
	<i>Protoperidinium</i> (Bergh 1881)	<i>americanum</i> (Gran & Braarud, 1935)	<i>Prot amer</i>
		sp.	<i>Prot sp</i>
	<i>Selenopemphyx</i> (Benedek 1972)	<i>quanta</i> (Bradford, 1975)	<i>Sele quan</i>
		<i>nephroides</i> Benedek, 1972	<i>Sele neph</i>
	<i>Stelladinium</i> (Reid 1977)	<i>stellatum</i> (Wall and Dale, 1968)	<i>Stell stel</i>

	<i>Trinovantedinium</i> (Reid 1977)	<i>applanatum</i> (Bradford, 1977)	<i>Trino appla</i>
	<i>Votadinium</i> (Reid 1977)	<i>calvum</i> Reid, 1977	<i>Vota calv</i>
		<i>spinosum</i> Reid, 1977	<i>Vota spin</i>
	<i>Xandarodinium</i> (Reid 1977)	<i>xanthum</i> Reid, 1977	<i>Xand xant</i>
Gonyaulacales (Taylor 1980)	<i>Ataxodinium</i> Reid, 1974	<i>choane</i> Reid, 1974	<i>Atax choa</i>
	<i>Bitectatodinium</i> Wilson, 1973	<i>spongium</i> (Zonneveld, 1997)	<i>Bite espo</i>
		<i>tepikiense</i> Wilson, 1973	<i>Bite tepi</i>
	<i>Dallela</i> McMinn and Sun Xuekun, 1994	<i>chathamensis</i> McMinn and Sun Xuekun, 1994	<i>Dall chat</i>
	<i>Impagidinium</i> Stover & Evitt, 1978	<i>aculeatum</i> (Wall, 1967)	<i>Impa acul</i>
		<i>patulum</i> (Wall, 1967)	<i>Impa patu</i>
		<i>sphaericum</i> (Wall, 1967)	<i>Impa spha</i>
		sp.	<i>Impa sp</i>
	<i>Lingulodinium</i> Wall, 1967	sp.	<i>Ling sp</i>
	<i>Nematosphaeropsis</i> Deflandre & Cookson, 1955	<i>labyrinthus</i> (Ostenfeld, 1903)	<i>Nema laby</i>
	<i>Operculodinium</i> Wall, 1967	<i>centrocarpum</i> (Deflandre and Cookson, 1955)	<i>Oper cent</i>
	<i>Pyxidinopsis</i> Habib, 1976	<i>reticulata</i> McMinn and Sun Xuekun, 1994	<i>Pyxi reti</i>
	<i>Polykrikos</i> Bütschli, 1873	sp.	<i>Poly sp</i>
	<i>Polysphaeridium</i> Davey and Williams, 1966	<i>zoharyi</i> (Rossignol, 1962)	<i>Poly zoha</i>
	<i>Spiniferites</i> Mantell, 1850	<i>delicatus</i> Reid, 1974	<i>Spin deli</i>
		<i>membranaceus</i> (Rossignol, 1964)	<i>Spin memb</i>
		<i>ramosus</i> (Ehrenberg, 1838)	<i>Spin ramo</i>
sp.		<i>Spin sp</i>	
<i>Tuberculodinium</i> Wall, 1967	<i>vancampoae</i> (Rossignol, 1962)	<i>Tube vanc</i>	
Gymnodiniales (Apstein 1909)	<i>Gymnodinium</i> Stein, 1878	sp.	<i>Gymn sp</i>

Tabla 4. Especies de dinoflagelados identificados en el núcleo SOLE 0-01, agrupadas según su afinidad climática.

Templado a frio	Templado a subtropical	Templado a tropical	Tropical a subtropical	Cosmopolita
<i>Atax choa</i>	<i>Dubri cap</i>	<i>Dal chat</i>	<i>Bite spo</i>	<i>Brig assym</i>
<i>Bite tepi</i>	<i>Leje oliv</i>	<i>Gimn sp</i>	<i>Poly zoha</i>	<i>Brig cari</i>
<i>Xand xant</i>	<i>Leje sabr</i>	<i>Impa acul</i>	<i>Spin deli</i>	<i>Brig gran</i>
	<i>Leje sp</i>	<i>Impa patu</i>	<i>Stell stel</i>	<i>Brig irre</i>
	<i>Prot amer</i>	<i>Impa sp</i>	<i>Tube vanc</i>	<i>Brig maju</i>
	<i>Prot sp</i>	<i>Ling sp</i>		<i>Brig simp</i>
	<i>Spin memb</i>	<i>Polyk sp</i>		<i>Brig sp</i>
	<i>Sele quan</i>	<i>Quin conc</i>		<i>Impa spha</i>
	<i>Selen neph</i>			<i>Nema laby</i>
	<i>Vota calv</i>			<i>Oper cent</i>
	<i>Vota spin</i>			<i>Pyxi reti</i>
				<i>Spin ramo</i>
				<i>Spin sp</i>
				<i>Trino appla</i>

Algunos especímenes solo se identificaron a nivel de género dado que no se observaban las características propias de la especie. Por ejemplo, especímenes de *Spiniferites* cubiertos de materia orgánica, lo cual impide observar en detalle la tabulación y las terminaciones de los procesos. Lo mismo ocurrió con algunos especímenes del género *Impagidinium*, de tal manera que no se puede observar ni la tabulación completa, ni las dimensiones totales del quiste como para asignarlos a alguna especie. Para el género *Brigantedinium*, la falta de arqueópilo definido y apariencia del ectofragma, fueron caracteres usados para agruparlos a nivel de género.

2.6 Análisis estadístico

2.6.1 Tamaño mínimo de muestra

Se contabilizó el número total de palinomorfos, continentales y marinos, identificando las especies de dinoflagelados en 4 láminas, para determinar el número mínimo de láminas que permitan identificar todas las especies y el número de palinomorfos contenidos en ellas. Estas láminas corresponden a 2 réplicas de muestras. Se contabilizaron las muestras de los intervalos 12 (a y b) y 25 (a), graficando los resultados de las especies encontradas por barrido. A partir del barrido número 15, se alcanzó el número máximo de especies nuevas, con 19. Por lo tanto, la curva de acumulación de especies por barrido se normalizó conforme avanzamos en los recorridos, en la réplica de la lámina 11-12, es decir la muestra b, la curva de acumulación se normalizó en el barrido 20. (Figura 3)

Para la muestra 25, la curva de acumulación de especies se normalizó en el barrido número 23, encontrándose un total de 20 especies nuevas. Por lo tanto, se determinó que con 20 barridos por lámina es suficiente para llegar al máximo número de especies nuevas por muestra (Figura 3).

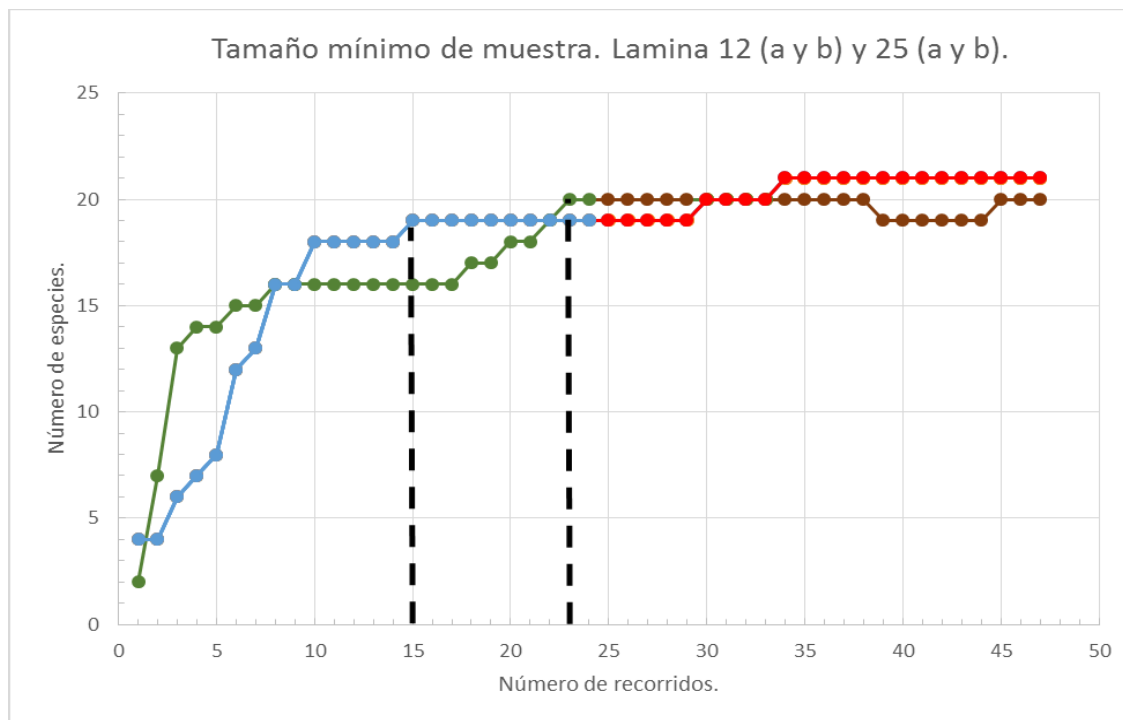


Figura 4. Tamaño mínimo de muestra obtenido de las láminas 12 (a y b) y 25 (a y b)

2.7 Abundancia absoluta (Concentraciones)

El cálculo de la abundancia absoluta, o concentraciones se realizó con el método de marcadores exóticos (Stockmarr, 1971), el cual consiste en agregar una tableta de *Lycopodium* con un número conocido de esporas a un peso conocido de la muestra previo al tratamiento químico. Una vez procesada y montada la muestra, se procedió a contabilizar el número total de palinomorfos y el de marcadores exóticos, para determinar el número de especímenes contenidos en la muestra por gramo de sedimento. Con los números totales de esporas *Lycopodium* contadas, se calcularon las concentraciones y los errores en las concentraciones de dinoflagelados. El lote de tabletas con esporas de *Lycopodium* se adquirió del departamento de geología de la universidad de Lund, Suecia. El número de lote es el 483216, cuya media es de 18, 583 esporas por tableta. Para el cálculo de la abundancia absoluta se utilizó la siguiente fórmula propuesta por Benningoff, (1962).

$$C = dc * Lt * t / Lc * w \quad (1)$$

Donde:

$C =$ Número de palinomorfos por gramo de sedimento seco.

$dc =$ Número de palinomorfos contados.

$Lt =$ Número de esporas de *Lycopodium* por tableta.

$Lc =$ Número de esporas de *Lycopodium* contadas.

$w =$ Peso de sedimento seco en gramos.

El resultado de usar esta ecuación proporciona la cantidad de palinomorfos por gramo de sedimento (pal/g sed) por muestra, los cuales fueron graficados.

2.8 Análisis de componentes principales

Se realizó un análisis de componentes principales usando el programa Statistica7 (Statsoft, 2005) para los conjuntos de palinomorfos, se realizaron correlaciones entre los diferentes conjuntos de palinomorfos y las variables climáticas obtenidas mediante registros instrumentales con el fin de comprobar numéricamente si existe una asociación entre ellas. El análisis de componentes principales permite transformar nuestro conjunto de variables originales, en este caso las especies de dinoflagelados heterótrofos y autótrofos, palinomorfos marinos y continentales, en un nuevo conjunto de variables o componentes, resultado de la combinación lineal de las variables originales, sin que ocurra una pérdida considerable de información (Guisande, 2013).

2.8.1 Análisis factorial por componentes principales

Se realizó un análisis factorial por componentes principales usando el programa Statistica (Statsoft, 2005) con los conjuntos de palinomorfos y las variables climáticas usadas en este estudio. Este análisis es un método inverso al de componentes principales, ya que es una combinación lineal de variables reducidas en un conjunto de pocos factores, los cuales buscan explicar de manera satisfactoria todas las variables de las que, previamente se tiene conocimiento.

2.9 Registros instrumentales

Los resultados se compararon con datos obtenidos por medio de registros instrumentales, índices de precipitación de sitios cercanos a la cuenca San Lázaro, índices de surgencias, índices de anomalías del niño oscilación austral (ENOA).

Los índices de anomalías mensuales para surgencias se obtuvieron en la página electrónica de NOAA paleoclimatology

<https://www.pfeg.noaa.gov/products/PFEL/modeled/indices/upwelling/upwelling.html>

Los registros de temperatura superficial del mar (TSM) se obtuvieron del sitio:

http://data.giss.nasa.gov/gistemp/tabledata_v3/ZonAnn.Ts+dSST.txt

En el sitio de la base de datos climáticos del noroeste de México (<http://peac-bc.cicese.mx/datosclim/dcbc.php#>) donde se obtuvieron los índices de precipitación pluvial tomados en estaciones cercanas a la cuenca.

En el sitio <http://research.jisao.washington.edu/pdo/PDO.latest> se obtuvieron los índices de la oscilación decadal del Pacífico.

En el sitio http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml se obtuvieron los índices del niño oscilación austral.

Capítulo 3. Resultados

La concentración total de palinomorfos marinos (23,228 pal / g sed) fue menor que la de los continentales (75,757 pal /g sed), las concentraciones máximas se dieron en la parte media del núcleo 1996 (1,197 pal / g sed) y 2002 (7,748 pal /g sed), y parte superior 2005 (3,154 pal /g sed) y 2006 (1,951 pal / g sed). De entre los dinoflagelados heterótrofos, el género *Brigantedinium*, sigue la misma tendencia de concentración con respecto a la concentración total de palinomorfos marinos. Se trata de un género común, cosmopolita hallado en el 91% de las muestras estudiadas, y que en muchas localidades llega a constituir el 99% de las asociaciones de quistes (Zonneveld et al., 2013).

3.1 Análisis palinológico

Se recuperaron 44 taxa de palinomorfos marinos (dinoflagelados, palinoforaminíferos, escolecodontes, copépodos) y 6 de continentales (polen y esporas). Se observaron 41 especies de dinoflagelados. Los palinomorfos continentales solo se identificaron por su morfología y se incluyeron dentro de los siguientes grupos morfológicos: polen bisacado, monoclapado, monoporados, periporados, tricolporados, triporados y esporas.

3.2 Concentraciones de palinomorfos por gramo de sedimento

Las abundancias absolutas de palinomorfos mostradas en la figura 5 se expresan como número de palinomorfos por gramo de sedimento (pal/g sed), e incluyen palinomorfos continentales (CON) y marinos (MAR), la edad se muestra en años calendario (AC). Considerando las diferencias en los modos de distribución de polen, los palinomorfos continentales están subdivididos en angiospermas (ANG) que se distribuyen principalmente por animales y escorrentía y gimnospermas (GIMN) distribuidos por acción eólica. Los palinomorfos marinos están subdivididos por afinidad taxonómica en dinoflagelados (DIN TOT) y otros palinomorfos marinos (OTR MAR).

Las series de palinomorfos totales (TOTALES), CON Y MAR presentan tendencias similares en cuanto al aumento y disminución en sus concentraciones a lo largo del núcleo. La concentración de palinomorfos

terrestres es mayor respecto de los marinos a lo largo del núcleo. Esto es un reflejo de la gran cantidad de granos de polen que cada planta vascular (continental) produce para asegurar la reproducción; mientras que en el caso de los dinoflagelados solo producen un quiste por cada pareja de células vegetativas. Las concentraciones totales presentan un promedio de 6,588 pal/g sed, siendo la parte media del núcleo, (~ 1996 a 2004), donde se presenta la mayor concentración de palinomorfos con 14,692 pal/g sed (~ 1996.2), mientras que la menor concentración fue de 957 pal/g sed (~ 1992.3). El Índice MAR/CON se calculó con la formula siguiente: $\text{Ind MAR/CON} = \frac{\text{Conc. Marinos}}{\text{Conc. Marinos} + \text{Conc. Continentales}}$. Este índice indica el aumento relativo de los palinomorfos marinos relacionado principalmente con la mayor productividad marina y abundancia de dinoflagelados termófilos en el intervalo de 2004 a 2008.

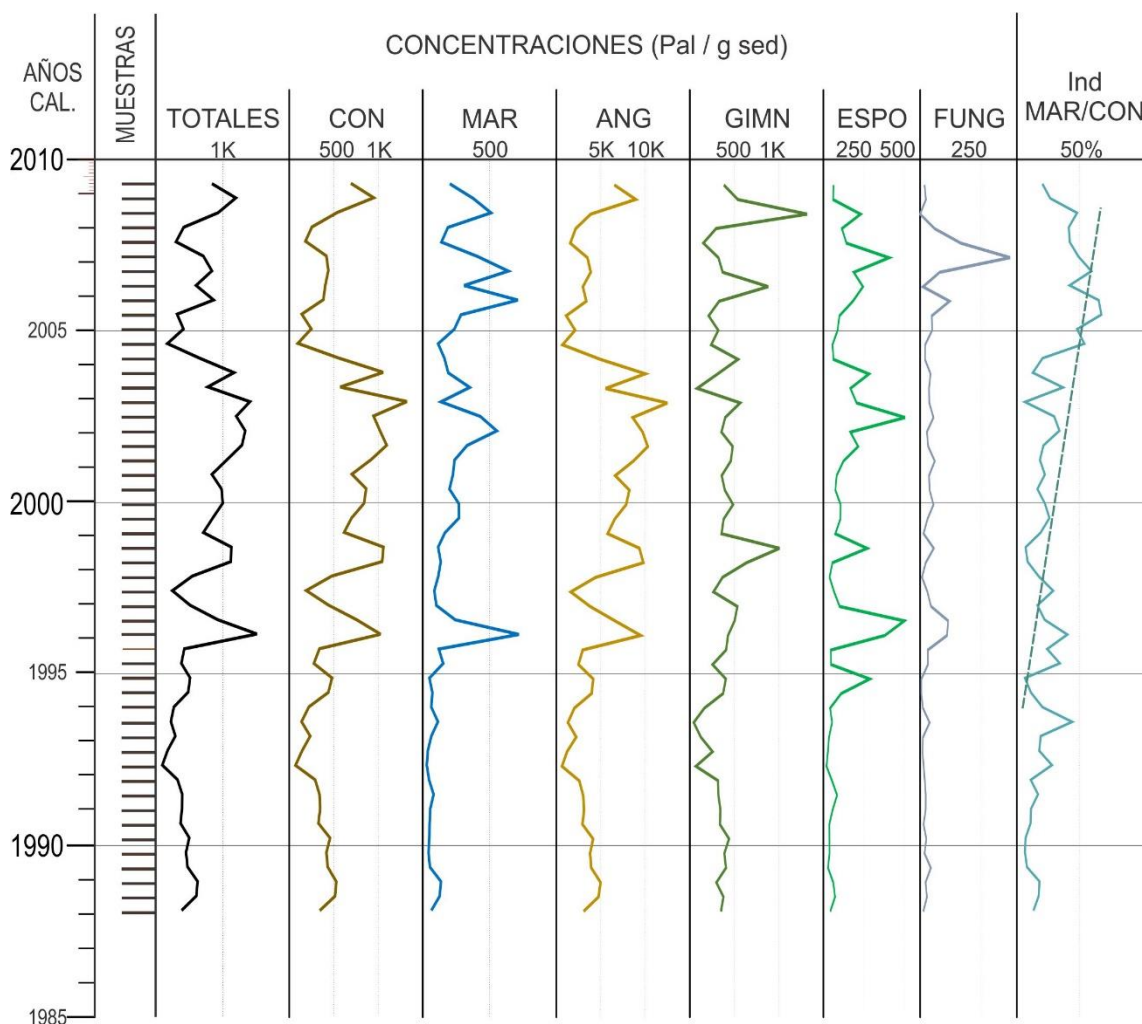


Figura 5. Concentraciones de palinomorfos totales, (CON) continentales, (MAR) marinos, (ANG) angiospermas, (GIMN) gimnospermas, (ESPO) esporas y (FUNG) fungi a lo largo del núcleo, se presenta también la relación del índice marinos / continentales (MAR/CON).

3.3 Abundancia absoluta de dinoflagelados

Los quistes de dinoflagelados heterótrofos más abundantes en todo el núcleo pertenecen al género *Brigantedinium*, con un promedio de 99.6 quistes/g sed, siendo la muestra 15 (~2004) la que más abundancia presenta, con 321 quistes/g sed, seguida por la muestra 12 (~2005) que presenta una abundancia de 262 quistes/g sed. La menor abundancia se registró en la muestra 4 (~2008), con 7 quistes/g sed. La figura 5 muestra las concentraciones totales de dinoflagelados heterótrofos (pal/g sed) con las especies más recurrentes en el núcleo. A continuación, se mencionan los taxones heterótrofos más abundantes y sus ocurrencias en el núcleo.

Brigantedinium sp. Es el género más abundante en todo el núcleo con una abundancia promedio de 99.6 quistes/g sed.

Dubridinium sp. Su presencia fue uniforme a lo largo del núcleo y es el segundo género más abundante. Presenta un promedio de 22.6 quistes/g sed, siendo la muestra 13 (2003) la que mayor cantidad presentó con 79 quistes/g sed.

Selenopemphix nephroides presenta una concentración promedio de 6.1 quistes/g sed. La muestra 9 (2005) presentó la mayor abundancia con 30 quistes/g sed, mientras que el otro pico de abundancia se encuentra en la muestra 38 (1993) con 19 quistes/g sed.

Protoperidinium sp. Presentó una abundancia promedio de 3.7 quistes/g sed. A lo largo del núcleo, la muestra 14 (2003) y la muestra 19 (2001) presentaron las mayores abundancias en todo el núcleo con 23 quistes/g sed.

Brigantedinium simplex. Tiene una abundancia promedio de 3.4 quistes/g, presentando dos picos de abundancias en la parte superior del núcleo, muestra 2 (2008) con 16 quistes/g sed y la muestra 19 (2001) con 14 quistes/g sed.

Brigantedinium cariacense. La abundancia promedio es de 2.8 quistes/g. La máxima concentración se encuentra en la parte inferior del núcleo (1988) con 90 quistes/g sed.

Dubridinium sp. Su abundancia promedio fue de 22.6 quistes/g sed, siendo el intervalo que comprende de los años 2004 a 1999 donde se registran las concentraciones máximas, con 79 quistes/g sed (2003) y 53 quistes/g sed (2002). La menor abundancia se registró en las partes superior e inferior del núcleo.

Lejeunecysta psuchra. No fue significativa a lo largo del núcleo, presentó una abundancia promedio de 0.1 quistes/g sed.

Lejeunecysta sp. Su presencia fue relativamente baja, la abundancia promedio fue de 1.7 quistes/g sed y su mayor concentración se observa en la parte superior del núcleo con 11 quistes/g sed (2008).

Protopteridinium sp. La abundancia promedio es de 3.7 quistes/g sed y estuvo presente a lo largo del núcleo, excepto por un intervalo comprendido de 1995 a 1993, donde no se registró.

Protopteridinium americanum. Su presencia fue relativamente baja, tuvo una abundancia promedio de 0.4 quistes/g sed y no hay registro durante el intervalo comprendido entre 1994 a 1988.

Quinquescuspis concreta. Su abundancia promedio fue de 2.7 quistes/g sed. La mayor concentración es de 8 quistes/g sed (2008) y no hay presencia durante el intervalo comprendido entre los años 1992 y 1989.

Selenopemphix quanta. Su abundancia promedio no es significativa a lo largo del núcleo, 0.2 quistes/g sed, su mayor concentración es de 6 quistes/g sed (2004).

Selenopemphix nephroides. Se presentó a lo largo del núcleo con una abundancia promedio de 6.2 quistes/g sed y la mayor concentración es de 30 quistes/g sed (2005).

Stelladinium stellatum. Su concentración promedio fue baja, 0.5 quistes/g sed. Sin embargo, se presentó durante la mitad del núcleo, la máxima concentración fue de 5 quistes/g sed (2003).

Votadinium calvum. Su concentración promedio es de 0.7 quistes/g sed. Se presentó en la parte basal del núcleo, mientras que en el intervalo comprendido entre el 2004 y 2000 no se registró, apareciendo nuevamente del 2000 al 1989.

Votadinium spinosum. Su concentración promedio es de 1.6 quistes/g sed. Las mayores concentraciones son de 9 (2000) y 10 quistes/g sed (1999). No se tiene registro durante el intervalo comprendido entre

1994 y 1991. Aunque presenta concentraciones promedio bajas en general, se encuentra bien representada en el núcleo.

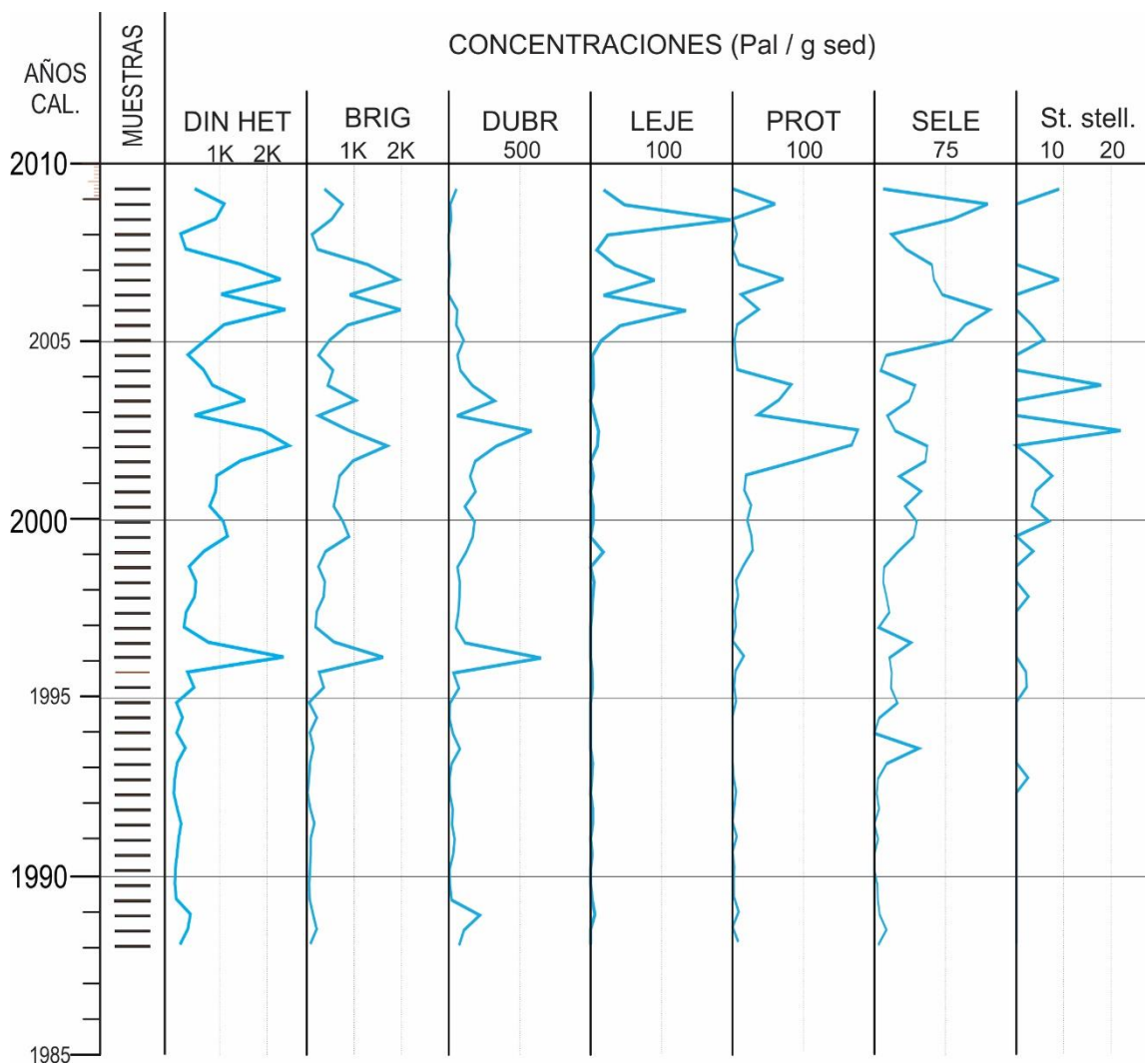


Figura 6. Concentraciones totales de dinoflagelados heterótrofos (pal/g sed) con las especies más recurrentes en el núcleo. DIN HET = Dinoflagelados Heterotróficos; BRIG (*Brigantedinium* sp.), DUBR (*Dubridinium* sp.), LEJE (*Lejeunecysta* sp.), PROT (*Protoberidinium* sp.), SELE (*Selenopemphix nephroides*), St. Stell. (*Stelladinium stellatum*).

De los dinoflagelados autótrofos encontrados, la especie más abundante en el núcleo es *Ataxodinium choane*, con una concentración media de 4.1 quistes/g sed, seguida de *Bitectatodinium spongium* (1.4 quistes/ quistes/g sed) y finalmente *Impagidinium aculeatum* (1.3 quistes/g sed). La figura 6 muestra las

concentraciones totales de dinoflagelados autótrofos (pal/g sed) con las especies más recurrentes en el núcleo.

A continuación se describen los taxones autótrofos de acuerdo a su nivel de abundancia y ocurrencia en el núcleo.

Ataxodinium choane. Es la especie más abundante, con una concentración promedio de 4.1 quistes/g sed. La parte superior del núcleo presenta una abundancia máxima de 10 quistes/g sed (1997) y la parte inferior con 12 quistes/g sed (1989).

Bitectatodinium spongium. La segunda especie más abundante con una concentración promedio de 1.4 quistes/g sed. Las mayores concentraciones se encuentran en la parte superior del núcleo, con 7 quistes/g sed (2008), mientras que las partes media e inferior del núcleo tienen ocurrencias bajas con 1 a 2 quistes.

Bitectatodinium tepikiense. Presenta una concentración promedio de 0.3 quistes/g sed y valores bajos en general. Los mayores registros se encuentran en la parte superior del núcleo con 3 quistes/g sed (2008 y 2007).

Gymnodinium sp. Su concentración promedio es de 0.1 quistes/g, solo se presenta en 2 intervalos del núcleo, con valores de 1 quistes/g sed (2008) y un valor máximo de 3 quistes/g sed (2005).

Impagidinium sp. La concentración promedio es de 0.7 quistes/g. Su máximo es de 5 quistes/g sed (2004), aunque presenta valores bajos, su presencia es constante en todo el núcleo.

Impagidinium aculeatum. Tiene una concentración promedio de 1.3 quistes/g sed. El máximo registro es de 5 quistes/g sed (1999). A partir de este año, el registro es constante hasta la parte final del núcleo, donde se repite de nuevo el máximo de concentración, 5 quistes/g sed (1988).

Impagidinium patulum. Su concentración promedio es baja 0.6 quistes/g sed. Tiene valores bajos pero constantes desde la parte media del núcleo hasta la parte final. La mayor concentración es de 4 quistes/g sed (2000).

Impagidinium sphaericum. Concentración promedio baja de 0.4 quistes/g sed. Presenta dos intervalos de máxima concentración, 5 quistes/g sed (1997) y 3 quistes/g sed (1989).

Lingulodinium sp. Su concentración promedio es baja, 0.4 quistes/g sed. El máximo es de 6 quistes/g sed (2006).

Operculodinium centrocarpum. Con una recuperación promedio de 1.1 quistes/g sed. Su concentración máxima es de 6 quistes/g sed (2006) y 5 quistes/g sed (1997), aunque su registro es bajo, se encuentra casi en la totalidad del núcleo.

Pyxidinopsis reticulata. Tiene una concentración promedio baja, 0.6 quistes/g sed. Las mayores concentraciones son de 4 quistes/g sed (2005) y se presenta nuevamente en tres intervalos (1997, 1995 y 1994).

Spiniferites ramosus. Concentración promedio baja, 0.4 quistes/g sed. Se encuentra de manera constante a partir del año 2000 con concentraciones de 1 a 2 quistes/g sed.

Spiniferites sp. Concentración promedio de 1.1 quistes/g sed. Se encuentra en la totalidad del núcleo a excepción del intervalo de 1995 a 1993, cuando no se registró.

Tuberculodinium vancampoeae. Baja concentración a lo largo del núcleo, se presentó con regularidad desde el 2000 al 2008, pero no se observa de 1992 a 2000.

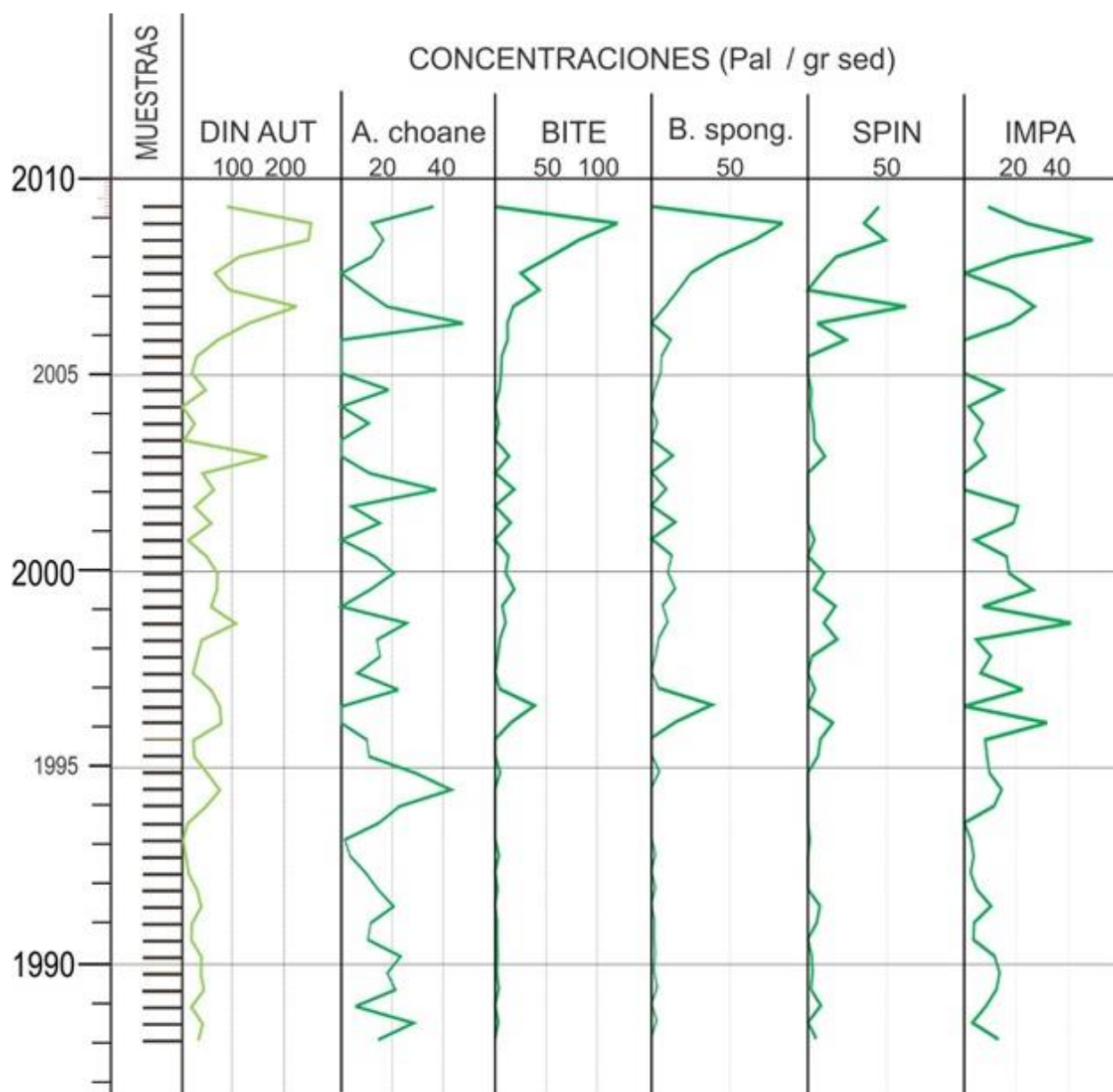


Figura 7. Concentraciones totales de dinoflagelados autótrofos (pal/g sed) con las especies más recurrentes en el núcleo. A. choane (*Ataxodinium choane*), B. spong. (*Bitectatodinium spongium*), SPIN (*Spiniferites* sp.), IMPA (*Impagidinium* sp.)

3.4 Concentraciones relacionadas con variables climáticas

La Tabla 5 muestra las correlaciones de los valores obtenidos de las concentraciones de polinomorfo marinos y continentales con variables climáticas obtenidas de registros instrumentales, las cuales incluyen la temperatura superficial del mar (TSM), y los índices de precipitación (PRECIP), surgencias (SURG) y de la Oscilación Décadal del Pacífico (ODP).

Se determinó el coeficiente de correlación de Pearson de las concentraciones de polinomorfo entre sí y con los factores climáticos (Tabla 5) se toma como significativa una correlación de 0.30, de entre los factores climáticos, solamente el índice de surgencias (SURG) y la temperatura superficial del mar (TSM) presentan una correlación significativa (0.42 $p=0.00$) y positiva, recalando el vínculo existente entre ambos factores. El índice de precipitación (PRECI) presenta correlaciones significativas, bajas y negativas con los grupos marinos (MAR) (-0.38 $p=0.00$) y angiospermas (ANG) (-0.38 $p=0.00$), estas relaciones sugieren que, en esta región árida, la precipitación no juega un papel muy importante en la productividad primaria en la zona, aunque sí parece afectar a los procesos de aporte de terrígenos a la cuenca. El índice de la ODP no mostró correlación alguna con ninguno de los grupos polinológicos e índices utilizados,

En contraste, casi todos los grupos de polinomorfo presentaron correlaciones entre sí. Las correlaciones más altas se observan entre MAR y los continentales ANG (0.95 $p=0.00$), ESP (0.50 $p=0.00$) y GIM (0.43 $p=0.00$), lo cual indica que las concentraciones de ambos grupos están controladas por los mismos factores ambientales. Esta interpretación también se apoya en la correlación significativa de los heterótrofos (HET) con esporas (ESP) (0.55 $p=0.00$) y angiospermas (ANG) (0.44 $p=0.001$), además de los autótrofos (AUT) con gimnospermas (GIM) (0.57 $p=0.00$)

Los heterótrofos (HET) se correlacionan significativamente con el índice de surgencias (SURG) (0.35 $p=0.011$) y la temperatura superficial del mar (TSM) (0.36 $p=0.010$), pero los AUT solo tienen correlación con el índice SURG (0.55), estas correlaciones señalan la importancia que la temperatura superficial del mar y las surgencias tienen en la proliferación y dominancia de los dinoflagelados. Además, puede explicar los cambios de concentraciones de especies con necesidades térmicas definidas. Por otro lado, el grupo otros marinos (MAR) solo presenta una correlación media y negativa (-0.39 $p=0.005$) con el índice de precipitación (PRECI)

Tabla 5. Matriz general de correlación paramétrica (Pearson) de las concentraciones de dinoflagelados heterótrofos (HET), dinoflagelados autótrofos (AUT), otros marinos (MAR), gimnospermas (GIMN), esporas (ESP) y angiospermas (ANG) y su relación con las variables climáticas utilizadas en este estudio. Precipitación (PREC), Surgencias (SURG), temperatura superficial del mar (TSM), Oscilación Décadal del Pacífico (ODP), índice Enoa (ENOA) ($P < 0.05$). Correlaciones significativas se resaltan en rojo, y las mayores a .5 en rojo.

	HET	AUT	MAR	GIMN	ESP	ANG	PREC	SURG	TSM	ODP	ENOA
HET	1.00 P=---										
AUT	.35 P=.011	1.00 P=---									
MAR	.46 P=.001	.083 P=.56	1.00 P=---								
GIMN	.11 P=.42	.57 P=.00	.43 P=.002	1.00 P=---							
ESP	.55 P=.00	.28 P=.048	.50 P=.000	.31 P=.25	1.00 P=---						
ANG	.44 P=.00	.14 P=.33	.95 P=.000	.39 P=.00	.34 P=.015	1.00 P=---					
PREC	-.25 P=.07	-.00 P=.99	-.39 P=.00	-.14 P=.32	-.17 P=.22	-.39 P=.00	1.00 P=---				
SURG	.35 P=.011	.55 P=.00	.12 P=.38	.34 P=.01	.33 P=.01	.12 P=.39	-.14 P=.32	1.00 P=---			
TSM	.36 P=.010	.061 P=.67	.21 P=.14	0.15 P=.29	0.25 P=.07	.19 P=.18	.18 P=.19	.42 P=.00	1.00 P=---		
ODP	.05 P=.74	-.01 P=.97	.13 P=.37	-.04 P=.76	-.09 P=.55	.16 P=.26	0.13 P=.38	.01 P=.93	-0.29 P=.03	1.00 P=---	
ENOA	-.14 P=.30	-.30 P=.03	-.20 P=.14	-.20 P=.15	-.05 P=.72	-.25 P=.07	.68 P=.00	-.25 P=.06	.21 P=.12	-.01 P=.89	1.00 P=---

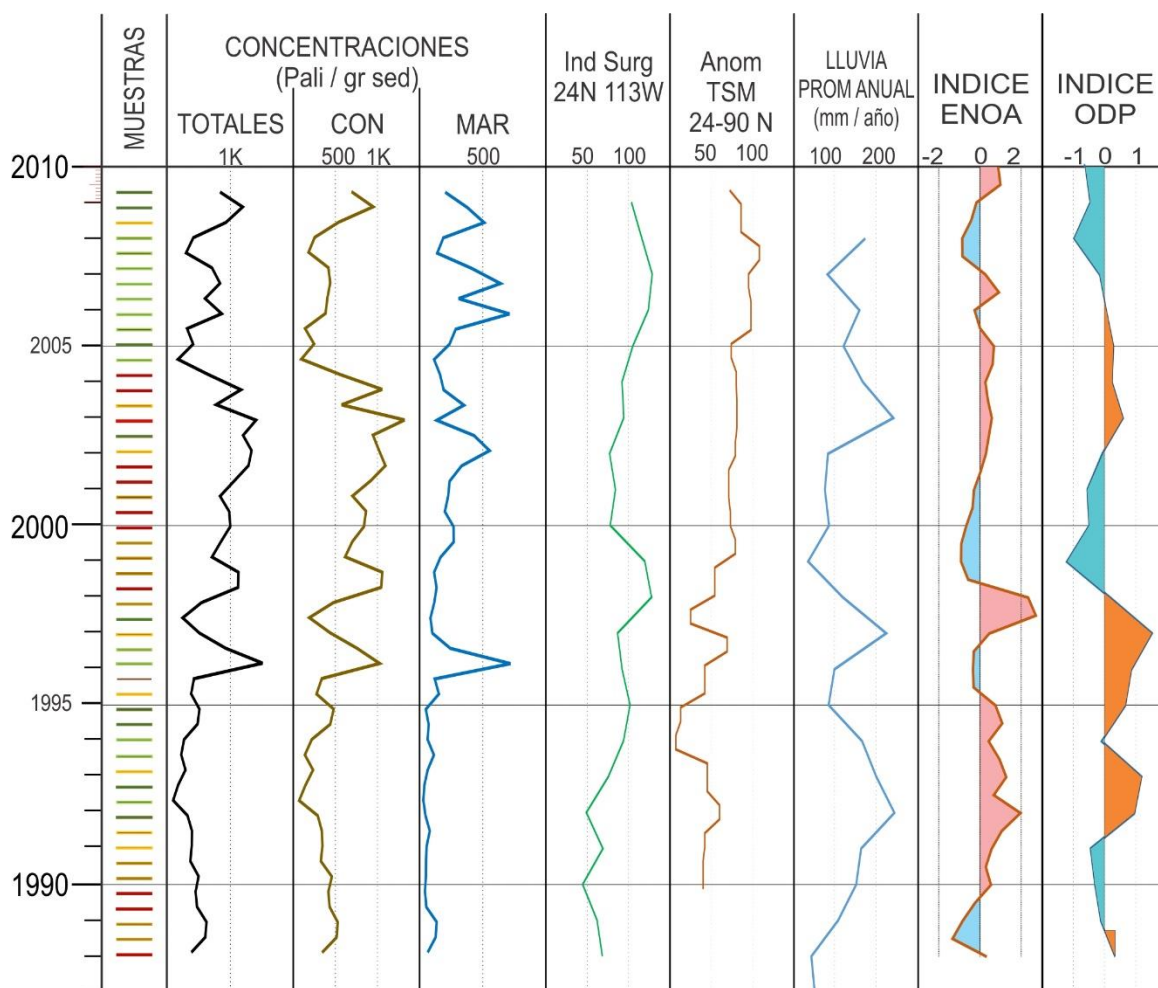


Figura 8. Concentraciones totales (pal/g sed) de palinomorfos continentales (CON) y marinos (MAR) comparados con el índice marinos / continentales (MAR/CON) y con índices climáticos: índice de surgencias (Ind. Surg. 24N 113W), temperatura superficial del mar (TSM 24-90 N) y lluvia promedio anual (LLUVIA PROM ANUAL), índice enoa (INDICE ENOA), índice odp (INDICE ODP)

3.5 Componentes principales

El análisis de componentes principales es una técnica estadística exploratoria que nos permite reducir un conjunto original de variables en otro conjunto similar, resultado de la combinación lineal de las primeras variables (Guisande, 2013). En nuestros datos, la matriz de concentraciones de palinomorfos marinos y continentales, junto con las variables climáticas utilizadas en este estudio, da una varianza total del 71.28% donde, el componente principal 1 explica el 50.53% de esta varianza, mientras que el componente principal 2 explica el 20.75%.

El índice de SURG es el factor climático que más afecta a las variables bióticas AUT (0.55 $p=.00$) y GIM (0.34 $p=.01$). Además, en el mismo componente estas variables presentan una correlación no significativa y negativa (-0.14 $p=.32$) con el índice de precipitación. Este último, aunque se encuentra dentro del primer componente, no está asociado a ninguno de los factores, por lo que no está modulando ninguna de las variables bióticas. El índice de TSM se afecta directamente con HET y ESP y parece afectar también, aunque no tan directamente a ANG y MAR.

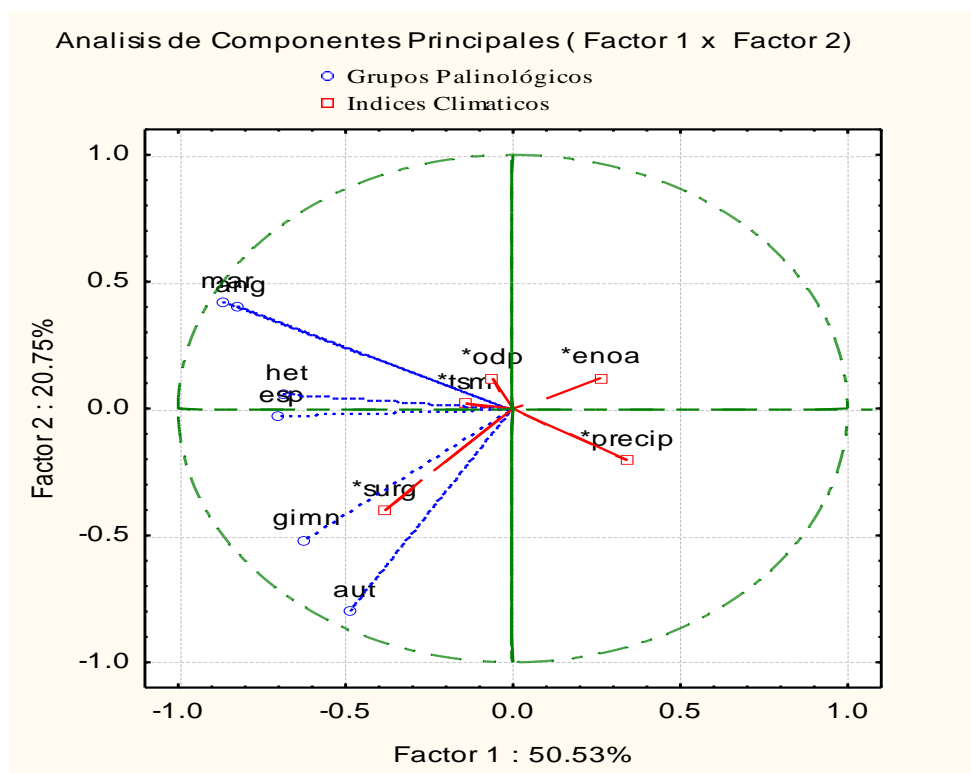


Figura 9. Análisis de componentes principales con las concentraciones de los diferentes grupos de palinomorfos usados en este estudio, dinoflagelados heterótrofos (HET), dinoflagelados autótrofos (AUT), otros marinos (MAR), gimnospermas (Gimno), esporas (esp), angiospermas (ang), y las variables utilizadas precipitación (precip), surgencias (surg), oscilación décadal del pacifico (odp), temperatura superficial del mar (tsm) e índice enoa (enoa).

El componente principal 1 está compuesto por el conjunto AUT exclusivamente, relacionado de manera significativa (0.58) con el grupo GIM y en con el índice SURG (0.55), mientras que con el índice de precipitación no tiene correlación.

El componente principal 2 está compuesto por los conjuntos de HET, MAR, ANG y ESP. El grupo HET se correlaciona de manera positiva con los grupos MAR (0.46) y con ANG (0.44) respectivamente. En este CP 2, los grupos bióticos mencionados están siendo explicados por el índice de anomalías TSM y están menos relacionados con la PRECI, SURG y ODP.

Los índices de SURG y TSM parecen ser los moduladores más importantes, mientras que la PRECI y el índice ODP no parecen afectar a los conjuntos palinológicos.

3.6 Análisis factorial por componentes principales

El análisis factorial se basa en la combinación lineal de un conjunto reducido de factores comunes (Guisande, 2013), se realizó con las concentraciones de AUT, MAR, CONT, más los índices climáticos TSM, PRECIP, SURG, ODP y ENOA. En este análisis se toma como significativa una correlación > 0.60 , con la finalidad de incluir conjuntos cuyo valor se encuentra dentro de este rango, y explican de manera satisfactoria la relación entre los factores elegidos, en este caso se tomara el factor 1 y 2 como resultado de rotar la matriz de correlación original y hacer el análisis factorial por extracción de componentes principales (tabla 6).

Factor 1. Conformado por el conjunto MAR ($r=0.95$) y ANG ($r=0.91$)

Factor 2. Conformado por los conjuntos AUT ($r=0.87$), el índice SURG ($r=0.79$) y GIM (0.61).

Factor 3. Conformado por el índice ENOA ($r=-0.85$) y el de TSM ($r=-0.59$).

Tabla 6. Factores obtenidos producto de la rotación varimax a la matriz de datos.

Variables	Factor 1	Factor 2	Factor 3
HET	0.595836	0.379612	-0.025789
AUT	0.009221	0.875098	0.134920
MAR	0.959265	0.039716	0.103052
GIMN	0.329586	0.616474	0.057114
ESP	0.573933	0.419946	-0.130444
ANG	0.911665	0.028797	0.163300
PRECIP	-0.404993	-0.032676	-0.706698
SURG	0.076301	0.790092	0.092137
TSM	0.225772	0.203391	-0.592563
ODP	0.101718	-0.188282	0.212525
ENOA	-0.129710	-0.261078	-0.858849
Prop. Var. Tot.	0.253858	0.203545	0.156206

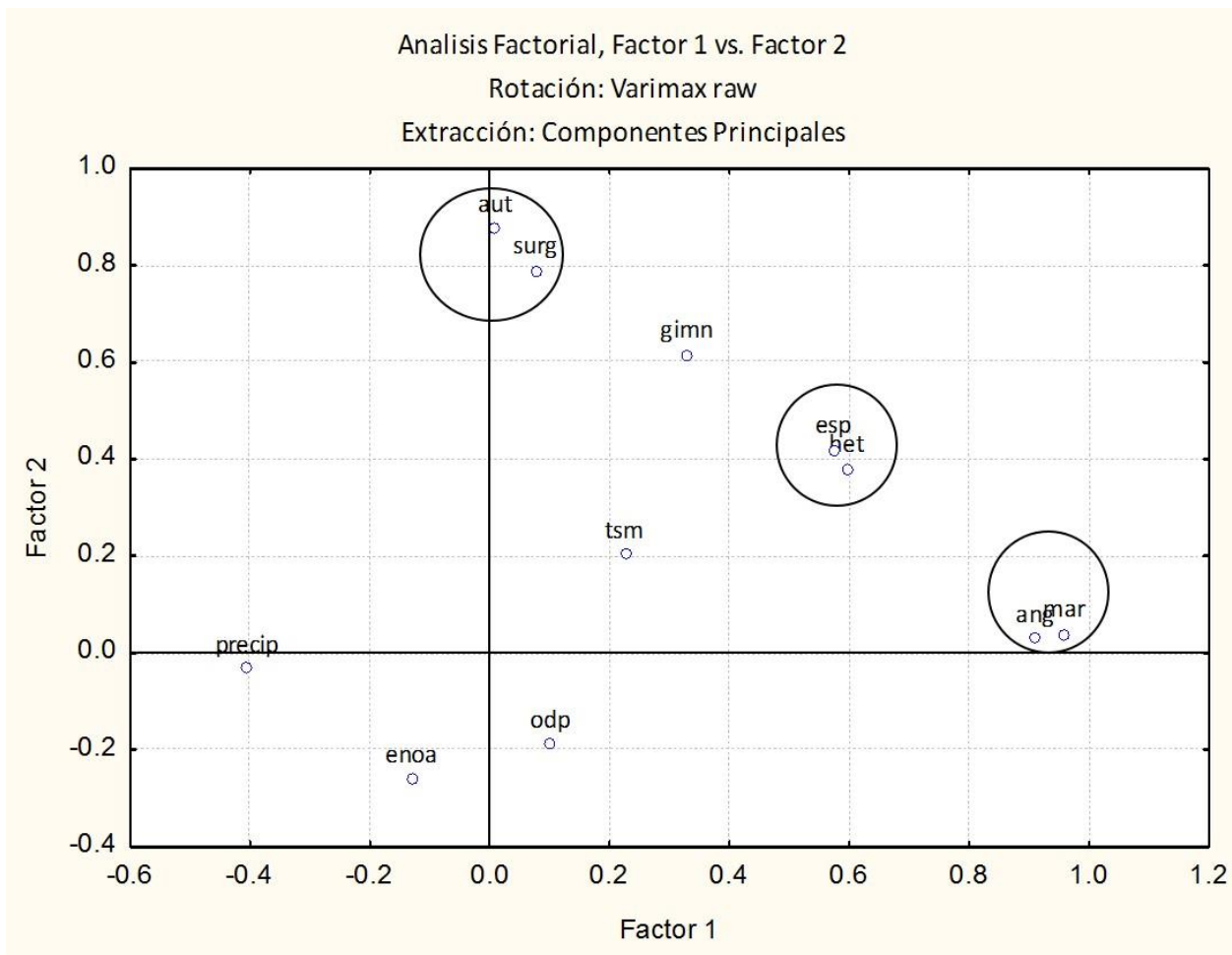


Figura 10. Gráfico de saturaciones producto del análisis factorial por componentes principales, se compara el factor 1 con el factor 2.

En el gráfico de saturaciones observamos que el factor 1 se encuentra el conjunto formado por los MAR con el valor más alto (0.95), y el grupo de ANG (0.91), otro grupo formado, con valores más bajos son las ESP (0.57) y HET (0.59), parece ser que están más relacionados con la TSM, aunque tienen un valor relativamente alto (0.62) respecto a los otros grupos, parece que no están siendo moduladas por ninguno de los índices climáticos utilizados en este estudio.

El índice de ODP, no está relacionado con ninguna de las variables, ni modula directamente ninguno de los factores con los que se comparó, dado su valor negativo (-0.83) y su lejanía con respecto del grupo de variables. Por otro lado, la TSM también está alejada, pero con valor positivo. El índice enoa tampoco parece estar modulando ninguno de los conjuntos palinológicos.

Capítulo 4. Discusión

En este estudio se determinan las características de los conjuntos palinológicos. Se incluyen palinomorfos marinos y continentales. Estos conjuntos se comparan con registros de factores oceanográficos y climáticos que los han afectado, de 1988 a 2009, para identificar la respuesta de los palinomorfos a dichos factores. Los cambios observados en los conjuntos palinológicos indican una relación multifactorial con los parámetros climáticos con los que se comparan y es posible detectar el incremento de taxones tropicales a subtropicales hacia el final del núcleo, siguiendo la tendencia de aumento en la TSM.

Las concentraciones de ambos grupos de palinomorfos parecen estar sincronizadas y altamente correlacionadas (0.95, Tabla 3). Esta relación estrecha indica que están influenciadas en la mayoría de los casos por la misma combinación de factores, incluyendo TSM y surgencias. Estas relaciones se explican más adelante.

4.1 Palinomorfos marinos

4.1.1 Dinoflagelados y TSM

Dada la posición geográfica de la cuenca San Lázaro, esta se considera se sitúa en una importante zona de transición de templada a subtropical (Bograd et al., 2000). Los conjuntos de dinoflagelados reflejan esta condición de zona transicional, por medio de su relación con la TSM predominante en la región y sus cambios en los últimos 20 años. Por un lado, la presencia casi continua de *Ataxodinium* indica la dominancia de la CC (18.5°). Esta especie habita ambientes de templados a sub-polares (Zonneveld et al., 2013) y tolera rangos de temperatura que van de -0.2° a 28.4°C de invierno a primavera y 36.6° a 38.5°C en verano. Sin embargo, a partir de 1996 se registra un cambio en la TSM, coincidiendo con el aumento de ciertos taxones heterótrofos con afinidad de tropical a templado, los cuales presentaron máximos de concentración en la parte superior del núcleo (Figura 10).

Por otro lado, el análisis de componentes principales incluye dentro del componente principal 1 (50.53% de la varianza explicada) a los AUT, que son modulados por los índices de SURG y la TSM. Entre los AUT se encuentran especies de afinidades cálidas como *Bitectatodinium spongium* y *Dalella chathamensis*, las

cuales representan la influencia de la corriente Norecuatorial, y se presentan más comúnmente a partir del año 1996 y hasta la parte superior del núcleo. Además, el dinoflagelado heterótrofo *Stelladinium stellatum*, que habita predominantemente regiones tropicales (Zonneveld et al., 2013), se observa por primera vez en 1992, se hace común de 1999 a 2006 y es abundante de 2002 a 2004. Esta presencia coincide con una fase cálida, o positiva de la ODP. La suma de concentraciones otros taxones heterótrofos, cálidos aumenta hacia la parte superior del núcleo, después de 1997 (Figura 7). Estas formas son los heterótrofos: *Dubridinium*, *Votadinium calvum* y *Quinquecuspis concreta*; además de los autótrofos: *Bitectatodinium spongium* y *Dalella chathamensis*. Esta misma figura muestra que las anomalías de la TSM están por encima de 0.50°C a partir de 1996, cuando los dinoflagelados autótrofos en general, aumentan sus concentraciones. En resumen, los conjuntos de dinoflagelados expresan cambios en la TSM, reflejando el incremento en el índice de temperatura superficial del mar registrado por la NASA (Gistemp team, 2016).

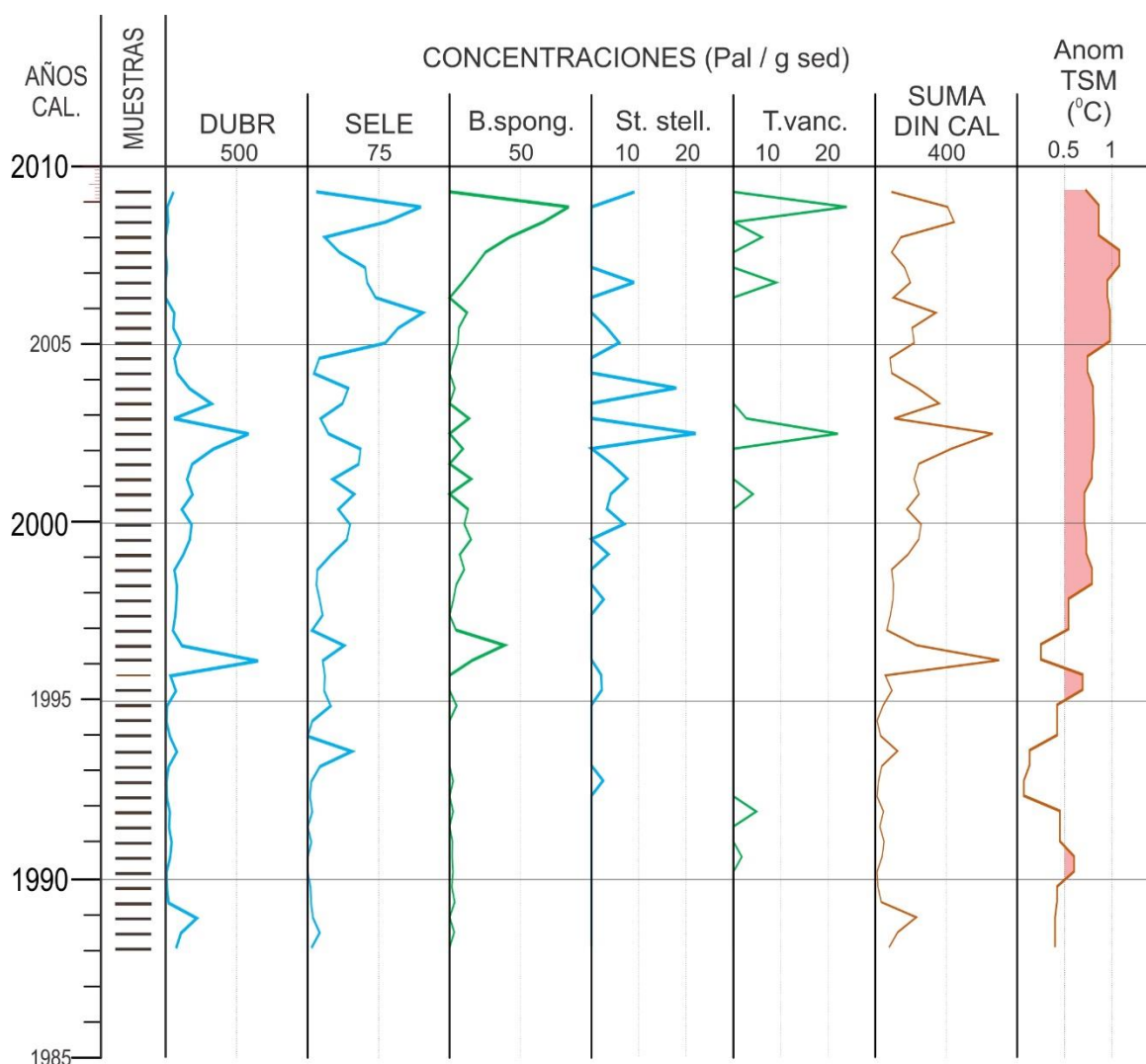


Figura 11. Quistes de distribución geográfica templada a subtropical DUBR (*Dubridinium* sp.), SELE (*Selenopemphyx nephroides*), B. spong. (*Bitectatodinium spongium*), St. Stell. (*Stelladinium stellatum*), T. vanc. (*Tuberculodinium vancampoe*), ANOM TSM, (Anomalías en la temperatura superficial del mar), se destacan los tres periodos de incremento de estas formas, correspondientes con los incrementos en la TSM, 1996, 2002 y 2008.

4.1.2 Dinoflagelados, ENOA y ODP

Se observa una relación directa entre aumentos en las concentraciones de dinoflagelados heterótrofos y anomalías negativas del ENOA, o eventos Niña (Figura 11), particularmente en las muestras correspondientes al año 1996 y 2006. Durante el intervalo de 2007 a 2009, las altas concentraciones de heterótrofos coinciden con la fase negativa del ODP y la persistencia de condiciones La Niña. También se ve un aumento de autótrofos, en particular el género *Impagidinium*, en condiciones La Niña y anomalías

negativas del PDO, como en el intervalo 1998-2001 y particularmente en el intervalo de 2006 a 2009 (Figura 11).

El grupo de otros marinos que incluye formas heterotróficas, presenta tres periodos de concentraciones máximas en el núcleo: uno importante en la parte inferior en 1996, seguido de un periodo de relativa estabilidad; un segundo periodo de valores medianos en 2002 y finalmente un intervalo de mayor duración en la parte superior del núcleo, de 2006 a 2009. Estos aumentos también se sincronizan con anomalías negativas del ODP y condiciones La Niña. Por lo tanto, se concluye que las concentraciones y la composición taxonómica de los conjuntos de dinoflagelados, tanto autótrofos y heterótrofos en el núcleo, están directamente relacionadas con la combinación de condiciones negativas del ODP y eventos la Niña. Esto implica que son moduladas por la temperatura superficial del mar y el índice de surgencias, como sugieren sus correlaciones de 0.35 y 0.36 respectivamente.

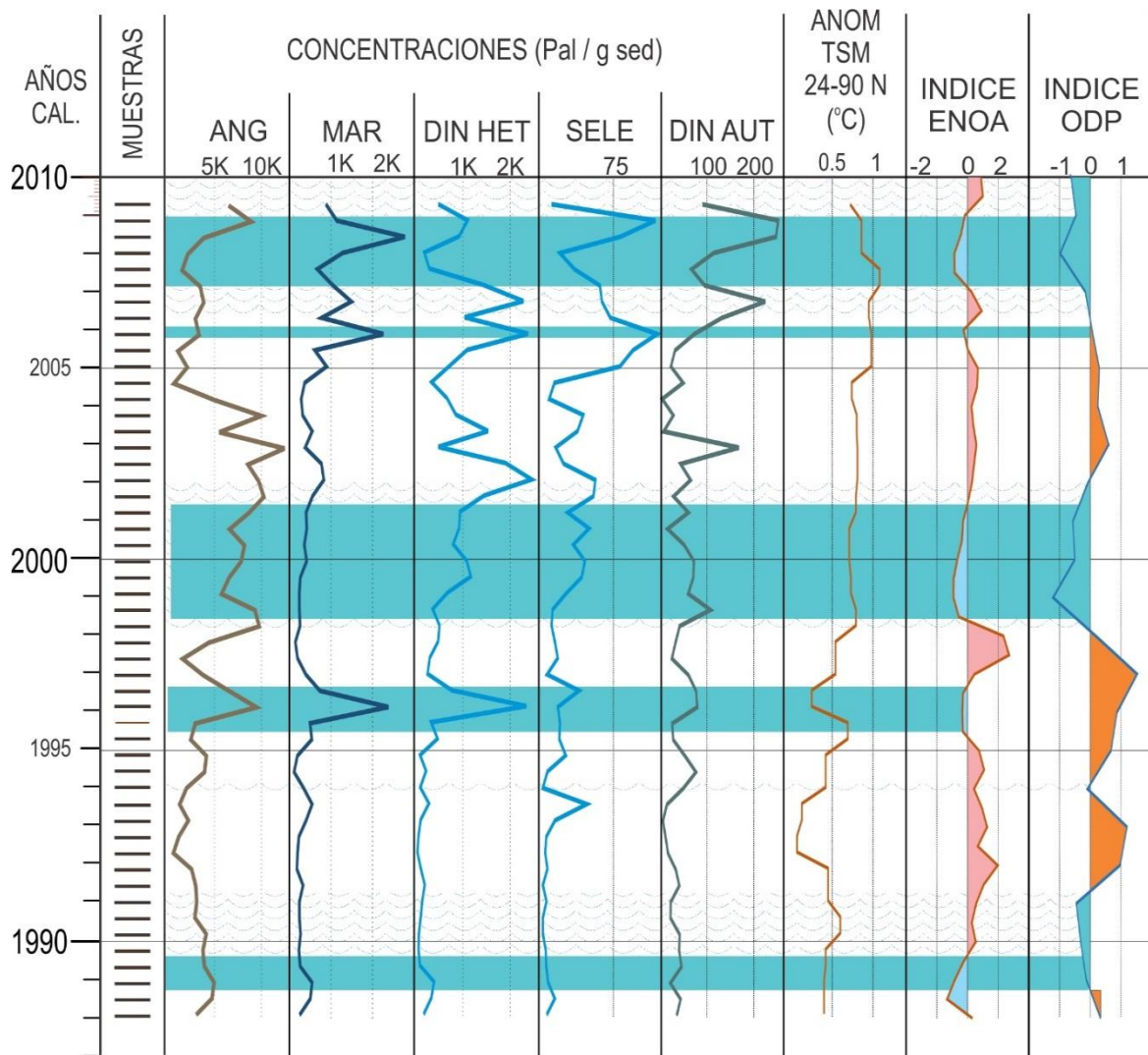


Figura 12. Relación gráfica entre concentraciones de palinomorfos y factores oceánicos. ANG = Angiospermas; MAR = Otros Marinos; DIN HET = Dinoflagelados Heterótrofos; SELE = *Selenopemphix* sp.; DIN AUT = Dinoflagelados autótrofos; Anom TSM = Anomalías de temperatura superficial del mar; ENOA Sem = índice del ENOA semestral y ODP Sem = índice del ODP semestral.

El componente principal 2 (20.72% de la varianza explicada) queda conformado por dinoflagelados heterótrofos y el conjunto de otros marinos, copépodos, palinoforaminíferos y escolecodontes. Este segundo componente es la señal de productividad en la cuenca, ya que las mayores abundancias de estos taxa heterótrofos se dan cuando ocurren eventos de surgencias que nutren la cuenca San Lázaro se distribuyen desde punta Abre Ojos hasta cabo San Lucas. Debido a este régimen, los afloramientos más intensos que se presentan en cuenca San Lázaro se registran en los meses de primavera (Esparza - Álvarez, 2007). Por lo tanto, hay proliferación de dinoflagelados heterótrofos, entre otros taxa que proliferan siguiendo el modelo de surgencias como diatomeas y foraminíferos.

4.2 Palinomorfos continentales y neblinas

Los palinomorfos continentales fueron más abundantes con respecto a los marinos en este estudio. Solamente se presentaron dos intervalos donde hubo poca recuperación, uno en la parte superior, de 2004 a 2008 y el otro en la parte inferior, de 1991 a 1995. El polen de angiospermas, que es transportado principalmente por escorrentía, alcanza las mayores concentraciones. El polen de gimnospermas, que es transportado por viento y depositado a varios kilómetros de la planta productora, fue el segundo menos abundante, alcanzando concentraciones muy bajas (44.16 pal/g sed, 1993.6) Las mayores abundancias del grupo angiospermas se dieron en la porción media del núcleo, de 1996 a 2003. Mientras, las gimnospermas se incrementaron ligeramente a partir de 2006 y fueron poco abundantes en la parte inferior del núcleo.

La mayoría de las angiospermas representan formas herbáceas y arbustivas, con ciclo de vida anual, bianual o perenne (Medrano, 2004). Son elementos florísticos propios de un matorral xerófilo, un tipo de vegetación muy común en lugares con condiciones áridas, como es gran parte de las zonas bajas de la península de Baja California (Rzedowski, 1972b). El promedio de lluvia en esta región es de 110.25 mm/año. Las plantas que generan grandes cantidades de polen y semillas son típicas de ambientes áridos, o de sitios que experimentan una sucesión en la vegetación original (Gelin, et al, 2003).

La presencia constante de angiospermas en todo el núcleo se debe al aporte constante de material del continente hacia el océano producto del transporte por viento, y no tanto por la precipitación. Su relación con este índice se expresa como una correlación significativa, pero negativa (-0.62). La porción media de la Península de Baja California está bajo un régimen de aridez hidrológica, por lo cual las lluvias no constituyen un factor que module la productividad. Sin embargo, las tormentas de verano son comunes en esa región, representando precipitación media de corto plazo que sí podría ser un factor en el transporte del material terrígeno. Además, las condiciones de surgencia producen neblinas costeras, las cuales suplen la lluvia y modulan la productividad primaria neta en el sitio, (Reimer et al., 2015). La falta de correlación entre la precipitación regional y las variables palinológicas indica que, en estas regiones áridas, las neblinas costeras causadas por las surgencias marinas son más importantes que las escasas lluvias (promedio < 135 mm/año) como método de humectación (PeaccBC, 2016)

Capítulo 5. Conclusiones

Los conjuntos de dinoflagelados incluyen taxa de afinidades templadas y subtropicales, lo cual confirma que la Cuenca San Lázaro se sitúa en una zona de transición subtropical. La presencia casi continua de *Ataxodinium choane* señala la influencia templada de la corriente de California y las repetidas presencias de especies termofílicas evidencia la influencia esporádica, pero creciente de la CNE.

Cambios en los conjuntos de dinoflagelados reflejan un aumento en la temperatura superficial del mar desde 1996 hasta 2008. Este aumento se ve expresado por el aumento de los dinoflagelados de climas tropicales *Dallella chathamensis*, *Bitectatodinium spongium*, *Tuberculodinium vancampoe*, *Dubridinium* spp., *Selenopemphix nephroides* y *Stelladinium stellatum*. Estas especies representan la influencia de la corriente Norecuatorial y muestran una correlación significativa con los valores de la temperatura superficial del mar.

Las concentraciones de dinoflagelados se correlacionan principalmente con la TSM y SURG. Los dinoflagelados autótrofos están siendo modulados principalmente por las surgencias, mientras que los dinoflagelados heterótrofos son modulados por las surgencias y la temperatura superficial del mar.

La productividad marina y continental son moduladas por SURG, las cuales aportan nutrientes en el ámbito marino y humedad en el ambiente continental. La precipitación, siendo escasa en esta zona árida, no juega un papel importante en la productividad continental. La humectación continental se lleva a cabo principalmente por las neblinas costeras que dependen de las diferencias de temperatura entre el agua fría y la atmósfera caliente.

Un estudio taxonómico, hasta nivel de especie realizado para el grupo de palinomorfos continentales, permitirá realizar mejores reconstrucciones e interpretaciones de los procesos de transporte y aporte de polen del continente hacia el océano.

Literatura citada

- Anderson, G. R. (1998). Inference of phylogeny and taxonomy within the Didymozoidae (Digenea) from the second internal transcribed spacer (ITS2) of ribosomal DNA. *Systematic Parasitology*, 41(2), 87-94.
- Biondi, F., Gershunov, A., & Cayan, D. R. (2001). North Pacific decadal climate variability since 1661. *Journal of Climate*, 14(1), 5-10.
- Caniupán, M., Villaseñor, T., Pantoja, S., Lange, C. B., Vargas, G., Muñoz, P., & Salamanca, M. (2009). Temporal changes in phytoplankton productivity over the last ~ 200 years recorded from Mejillones Bay laminated sediments. *Revista Chilena De Historia Natural*, 82(1), 83-96.
- Emery, K. O., & Hülsemann, J. (1961). The relationships of sediments, life and water in a marine basin. *Deep Sea Research (1953)*, 8(3-4), 165-180
- Esparza-Álvarez, M. A., Herguera-García, J. C., Lange, C. B. (2007). Last century patterns of sea surface temperatures and diatom (>38µm) variability in the southern California current. *Marine Micropaleontology*. 64(2): 18-35
- Esparza-Álvarez, M. A. (2007). Variabilidad decadal de las diatomeas en los sedimentos laminados de la Cuenca de San Lázaro en el Sur de la Corriente de California: El Último Siglo. Tesis de Doctorado. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, 277 pp.
- Flores-Trujillo, J.G. (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. 105 pp.
- Gistemp Team, 2016: *GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP)*. NASA Goddard Institute for Space Studies. Consultado de: <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/>.
- Gomez, F., Moreira, D., & Lopez-Garcia, P. (2011). Advances on the study of dinoflagellates (Dinophyceae) with the molecular phylogeny. *Hidrobiologica*, 21(3), 343-364.
- Kemp, A. E. (1996). Laminated sediments as palaeo-indicators. *Geological Society, London, Special Publications*, 116(1), vii-xii.
- Kemp, A. E. (2003). Evidence for abrupt climate changes in annually laminated marine sediments. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 361(1810), 1851-1870.
- Margalef, R. (1978). Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanologica acta*, 1(4), 493-509.
- Morzadec-Kerfourdn, M. T. (1992). Estuarine dinoflagellate cyst among oceanicsemblages of Pleistocene deep-sea sediments from the West African margin and their paleoenvironmental significance. En: Head, M. J. y Wrenn, J. H. (eds). Neogene and quaternary dinoflagellate cyst and acritarchs. American Association of Stratigraphic Palynologist Foundation. Dallas. 133-146 pp.

- Moldowan, J. M., & Talyzina, N. M. (1998). Biogeochemical evidence for dinoflagellate ancestors in the Early Cambrian. *Science*, 281(5380), 1168-1170.
- PeaccBC, (2016). Base de datos climáticos del noroeste de México. Consultado el 7 de septiembre del 2016, de <http://peac-bc.cicese.mx/datosclim/dcbc.php>
- Reimer, J. J., Vargas, R., Rivas, D., Gaxiola-Castro, G., Hernandez-Ayon, J. M., & Lara-Lara, R. (2015). Sea surface temperature influence on terrestrial gross primary production along the Southern California Current. *PLoS ONE*, 10(4), e0125177. Consultado de: <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0125177>
- Rochon, A., Eynaud, F., & de Vernal, A. (2008). Dinocysts as tracers of hydrographical conditions and productivity along the ocean margins: Introduction. *Marine Micropaleontology*, 68(1), 1-5.
- Rodríguez, M. R., Agüero, G. D. L. C., Aída, E., Monroy, M., De La Peña, M. Á. O., Díaz, G. P., & La, P. (2010) Estudio Sobre La Caracterización Socioeconómica Y Pesquera Del Área Del Golfo De Ulloa, Baja California Sur.
- Seguel, M., Sfeir, A., González, J., Díaz, P., Molinet, C., & Labra, G. (2011). Quistes de dinoflagelados en sedimentos marinos del sur de Chile con énfasis en *Alexandrium catenella* y *Protoceratium reticulatum*. *Ciencia y Tecnología del Mar*, 34(1-2), 5-17.
- Wood, G. D., Gabriel, A. M., & Lawson, J. C. (1996). Palynological techniques-processing and microscopy. *Palynology: principles and applications*, 1, 29-50.
- Zonneveld, KAF and Pospelova V. (2015). A determination key for modern dinoflagellate cysts. *Palynology* 39 (3), 387-409.
- Zonneveld, K. A., Marret, F., Versteegh, G. J., Bogus, K., Bonnet, S., Bouimtarhan, I., & Esper, O. (2013). Atlas of modern dinoflagellate cyst distribution based on 2405 data points. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 191, 1-197.

Anexos

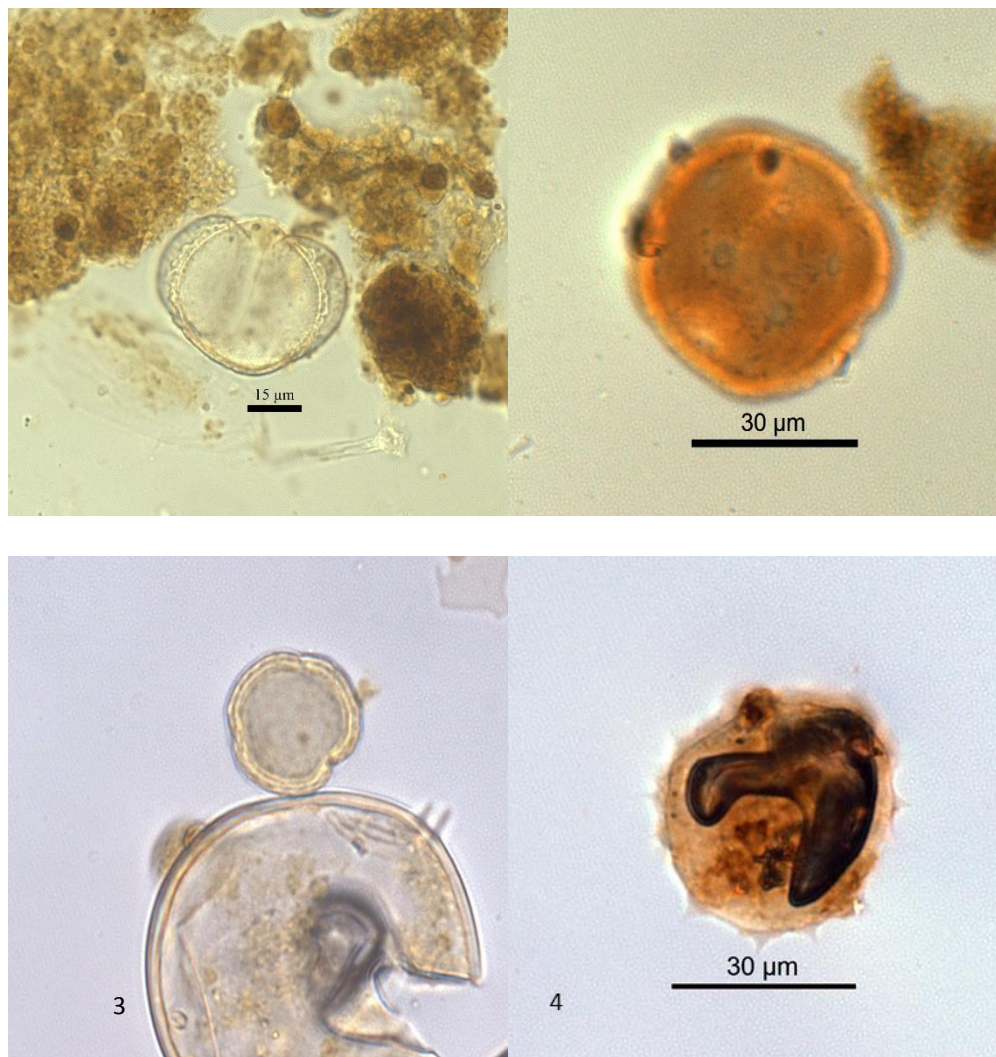


Figura 13. Palinomorfos continentales. 1) polen bisacado, 2) periporado, 3) triporado, 4) periporado espinoso.

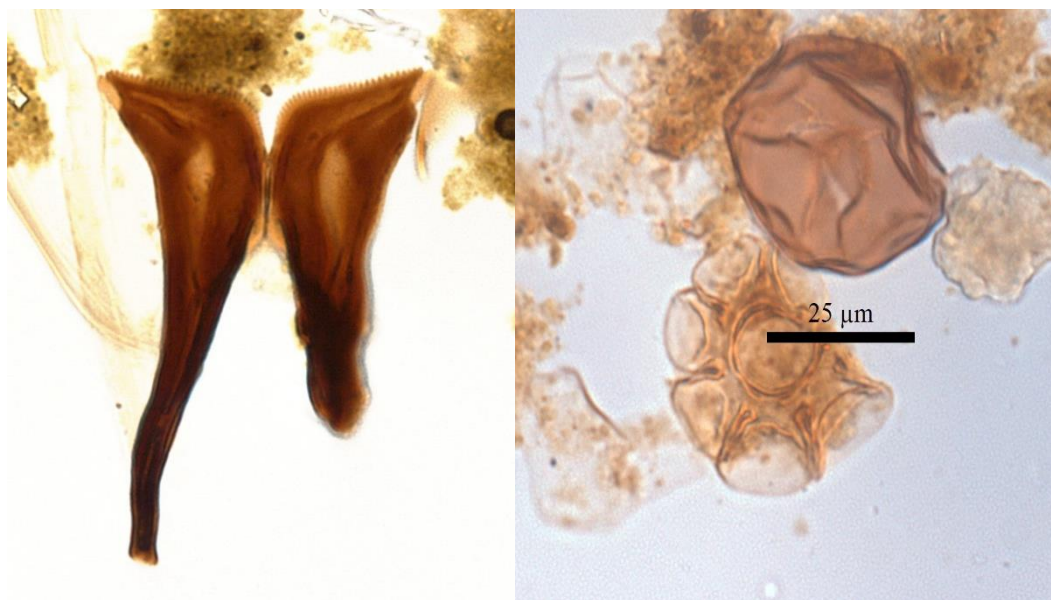


Figura 14. Palinomorfos marinos. 1) Piezas bucales de escolecodontes, 2) testa de foraminífero.

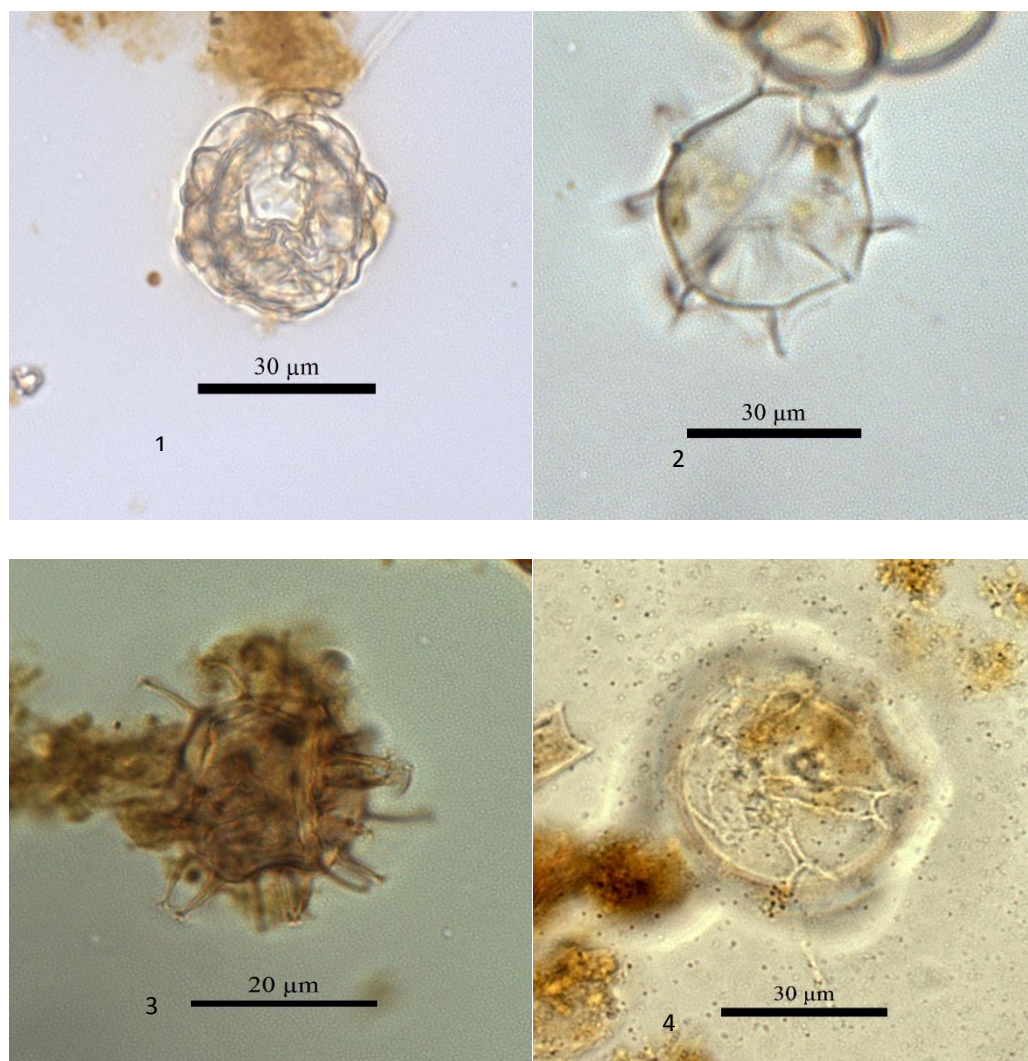


Figura 15. Quistes de dinoflagelados autótrofos. 1) *Ataxodinium choane*, 2) *Impagidinium patulum*, 3) *Spiniferites* sp. 4) *Impagidinium sphaericum*.

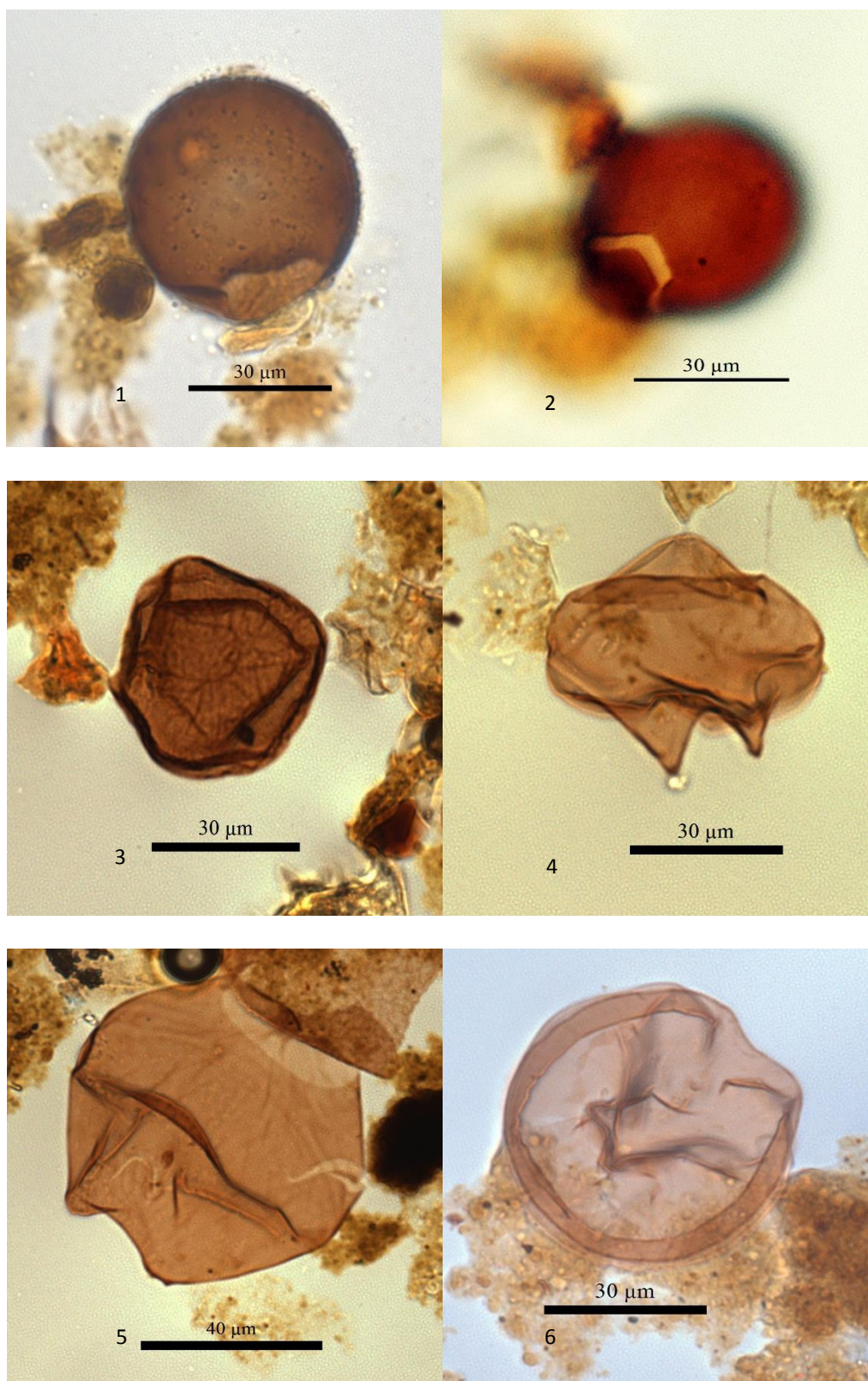


Figura 16. Quistes de dinoflagelados heterótrofos. 1) *Brigantedinium simplex*, 2) *Brigantedinium cariaeoense*, 3) *Dubridinium* sp., 4) *Lejeunecysta* sp., 5) *Quinquecuspis concreta*, 6) *Selenopemphyx nephroides*.