

**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 1967 a 1988.**

Tesis

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

Presenta:

Juan Carlos Pérez Rodríguez

Ensenada, Baja California, México
2016

Tesis defendida por

Juan Carlos Pérez Rodríguez

Y aprobada por el siguiente comité

Dr. Javier Helenes Escamilla
Director del comité

Dra. Ma. Elena Solana Arellano

Dr. Jesús Arturo Martín-Barajas



Dr. Juan García Abdeslem
Coordinador del posgrado.

Dra. Rufina Hernández Martínez
Directora de Estudios de Posgrado

Juan Carlos Pérez Rodríguez © 2016

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

Resumen de la tesis que **presenta Juan Carlos Pérez Rodríguez** 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 1965 a 1988.

Resumen aprobado por:

Dr. Javier Helenes Escamilla
Director de tesis

Se presentan los cambios anuales ocurridos en el registro palinológico desde 1967 hasta 1988 en la cuenca San Lázaro, Baja California Sur. Se observan 34 especies de dinoflagelados, con dominancia de especies heterótrofos. Los cambios en las concentraciones de dinoflagelados heterótrofos y polen de angiospermas varían simultáneamente y presentan correlaciones significativas, inversas, de media a altas con las temperaturas superficiales del mar, y directas con el índice de surgencias costeras. Además, los conjuntos de palinomorfos continentales no tienen correlación significativa con la lluvia regional. Las concentraciones de dinoflagelados heterótrofos y polen de angiospermas alcanzan valores máximos de 1973 a 1976, cuando dominaban condiciones negativas del ENOA (Niña intensa) y el ODP se encontraba en fase negativa (fría). En contraste, de 1982 a 1985, se observan los valores más bajos de dinoflagelados heterótrofos y angiospermas, cuando dominaban condiciones positivas de ENOA (Niño intenso) y el ODP estaba en fase positiva (cálida). Estas relaciones entre palinomorfos y factores climáticos indican la importancia que tienen las surgencias para explicar la productividad regional, tanto marina como continental. Esta última a través de la humectación del desierto central de Baja California, por las neblinas costeras ocasionadas por las surgencias.

Palabras claves: Dinoflagelados heterótrofos, Polen de angiospermas, Surgencias costeras, ENOA, ODP.

Abstract of the thesis presented by Juan Carlos Pérez Rodríguez 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 San Lázaro basin, Baja California Sur and its relation with paleoceanographic and paleoclimatic changes from 1965 to 1988.

Abstract approved by:

Dr. Javier Helenes Escamilla
Director de tesis

We present annual changes in the palynological record from 1967 to 1988 in San Lazaro Basin, Baja California Sur. There are 34 predominantly heterotrophic dinoflagellate species. Concentrations of heterotrophic dinoflagellates and angiosperm pollen are simultaneous, and have inverse, medium to high significant correlation with sea surface temperature and direct with the coastal upwelling. Additionally, the continental palynomorphs assemblages do not have a significant correlation to regional rainfall. The highest concentrations of heterotrophic dinoflagellates and angiosperm pollen are observed from 1973 to 1976, when conditions of the ENSO were negative (Niña) and the PDO was in a negative (cold) phase. In contrast, from 1982 to 1985 we obtained the lowest concentration values heterotrophic dinoflagellates and angiosperm pollen, when conditions of the ENSO were positive (Niño) and the PDO was in a positive (warm) phase. These relations between palynomorphs and climatic factors indicate how important the upwelling events to explain regional productivity, marine and continental are. The latter is influenced by humectation of the central Baja California desert by coastal fogs produced by upwelling events.

Keywords: Heterotrophic dinoflagellates, Angiosperm pollen, Coastal upwelling, ENSO, PDO.

Dedicatoria

A mí madre y padre Rosalba y Juan Carlos por todas sus enseñanzas, consejos y regaños. Por enseñarme a vivir con amor, respeto, paciencia, inteligencia y humildad. Son mis héroes.

A mí hermosa compañera de vida Leslie Moreno y mis adorados hijos Noah y Eliel, me han mostrado lo más hermoso y valioso de la vida "mi familia".

A mis queridos hermanos Paul, Cinthia y Christopher siempre les deberé mi ausencia pero nunca mi amor y respeto. Son mis mejores amigos.

A mis abuelitas que donde quiera que estén siempre les estaré agradecido por todo su amor y calidez inigualable. A mi abuelo Cruz Carlos por inculcarme el amor y respeto a la madre tierra y compartir tantos viajes y aventuras llenos de risas alegrías y canciones.

A todos los anteriores gracias por hacerme una mejor persona y siempre estar conmigo, los amo.

Agradecimientos

A Dios y al Universo por permitirme cumplir una meta más de mi vida. A mis padres por su apoyo incondicional en este camino. A mi esposa por su paciencia amor y apoyo durante todo este tiempo.

Al Dr. Javier Helenes Escamilla por sus consejos, apoyo y paciencia inigualable por la alegría que transmite a todos los que lo rodean, por compartir su valioso conocimiento y amistad. Gracias por su ayuda en momentos difíciles, por demostrar una gran humildad como investigador y amigo.

Gracias al Dr. Javier Helenes Escamilla y su esposa Martha Gonzales por recibirnos en su casa como parte de una gran familia multicultural, por esas tardes de conocimiento, convivencia y amistad.

A todos los miembros de mi comité la Dra. Elena Solana Arellano, Dr. Jesús Arturo Martín Barajas. Por su disponibilidad, amabilidad, atención y transmitir su conocimiento de una forma clara y concisa para obtener el mejor resultado de este estudio.

Al Centro de investigaciones Científicas y de Educación Superior de Ensenada (CICESE) y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por brindarme la oportunidad de estudiar un posgrado de excelente calidad y superarme profesionalmente.

Al CONACYT por brindarme el apoyo económico, colegiatura y manutención por medio de la beca que se me otorgo durante mis estudios de posgrado siendo el número de becario 570776 y al CICESE por el financiamiento de este proyecto con el cual pude concluir la tesis y obtener el grado de Maestro en Ciencias con orientación en Geología.

A la Oceanóloga Edna Collins por la ayuda que me brindo en la preparación y montaje de láminas. Por su alegría, amistad y consejos.

Al Ing. Juvenal Alfredo León Robles por su apoyo y conocimiento sobre Excel, que facilito el conteo y procesamiento de datos palinológicos.

Al M.C. Andrés Felipe Duque Herrera por su apoyo y conocimiento con el microscopio.

Al M.C. Carlos Serrano Mejía por su apoyo y conocimiento al comienzo del análisis palinológico para la identificación de los quistes.

Al Oceanologo Gabriel Rendón por escucharme apoyarme y brindarme su amistad.

Al Dr. Martin Ortiz por su amistad, contribución y conocimiento sobre el polen y su distribución geográfica en la Baja California.

A la Dra. María Lucila del Carmen Lares Reyes por su consejo, amistad y apoyo económico laboral en estos últimos meses, así como la facilidad de disponer de instrumental oceanográfico para mi desempeño profesional.

Al grupo de trabajo del laboratorio de Micropaleontología y palinología, gracias por compartir su tiempo y amistad y hacer tan ameno y divertido el tiempo transcurrido en Ciencias de la Tierra.

Al personal administrativo por su amabilidad paciencia y buen desempeño en todos los trámites requeridos.

Lista de Figuras

	Páginas	
1	A) Localización del Golfo de Ulloa; B) Batimetría de CSL cuenca San Lázaro en la plataforma continental de Baja California. La batimetría se obtuvo de: Universidad de California satélite Geodesy-Batimetría	8
2	Resumen conceptual de la dinámica océano-atmosfera, TSM representada con una flecha con la zona a fría de color azul y la zona cálida de color rojo. Zonas de surgencia representadas por el color azul claro, Producción primaria terrestre PPT con una flecha invertida zonas de mínima PPT, la lluvia representada por P_{LL} con símbolo de nulidad por la escasez de lluvias. Las neblinas están representadas por un ovalo irregular de color violeta, la zona de mezcla representada por anillos concéntricos de color verde. La Corriente de California (CC) es de color Azul, la Corriente Norecuatorial (CNE) es de color pardo, la Contracorriente sub-superficial (CC-sup) está indicada por flechas de color naranja, y la Corriente de Davidson (CD) está indicada por flechas de color amarillo (modificado de Reimer <i>et al.</i> , 2015).....	10
3	Radiografía de la loza estudiada del núcleo SOLE09-OIMC Cuenca San Lázaro / Soledad, la flecha verde indica la sección de 50 a 100 mm cortados y analizados en este estudio.....	11
4	A- Valores de $^{210}Pb_{exc}$ vs. Profundidad de las muestras analizadas, cada punto en la curva referido a una edad modelo con respecto a la profundidad en mm. Laboratorio de Dataciones del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM. B- Modelo de edad, ecuación de regresión lineal de las dataciones. C- Ajuste de las muestras para el análisis palinológico y la ecuación de regresión lineal para las muestras analizadas.....	13
5	Concentraciones de palinomorfos Marinos ($Esp * gr_{sed}^{-1}$) contra Edad en años calendario. Las líneas punteadas rojas indican quinquenios, como puntos de referencia. D-HET indica las concentraciones de dinoflagelados heterótrofos; D-AUT representan los dinoflagelados autótrofos, y OT-MAR representan los otros marinos heterótrofos.	25
5A	A. Relación entre los índices climáticos y las concentraciones de palinomorfos Marinos ($Esp * gr_{sed}^{-1}$) y su edad en años calendario. Las líneas punteadas rojas indican quinquenios, como puntos de referencia. D-HET indica las concentraciones de dinoflagelados heterótrofos; D-AUT representan los dinoflagelados autótrofos, y OT-MAR representan los otros marinos heterótrofos.....	26
6	Concentraciones de palinomorfos Continentales ($Esp * gr_{sed}^{-1}$) y la concentración de polen de angiospermas y gimnospermas contra Edad en años calendario. Las líneas punteadas rojas indican quinquenios, como puntos de referencia. Notar que la concentración de polen de angiospermas es un orden de magnitud mayor que el polen de gimnospermas.....	27

6A	A. Relación entre los índices climáticos y Concentraciones de polinomorfos Continentales ($\text{Esp}^* \text{gr}_{\text{sed}}^{-1}$) y la concentración de polen de angiospermas y gimnospermas contra Edad en años calendario. Las líneas punteadas rojas indican quinquenios, como puntos de referencia. Notar que la concentración de polen de angiospermas es un orden de magnitud mayor que el polen de gimnospermas.....	28
7	Índices climáticos del ENOA, TSM Y ODP, y parámetros de surgencias y precipitación de 1965 a 1990. Para datos de ENOA (<u>NOAA-ENOA</u>); Datos de Temperatura Superficial del Mar (<u>NASA-TSM</u>); Los datos de la Oscilación decadal del Pacífico (Jisao Washington-ODP); para los datos de precipitación (CICESE-peaccBC-Lluvia); Datos de surgencia costera (Laboratorio Ambiental de Pesca del Pacífico).....	29
8	Análisis (“Cluster”) de agrupamiento, en modo Q. Diagrama de árbol de 10 variables se utilizó el método de Ward’s y correlación 1-Pearson r. Se forman dos grupos, el primero representa todas las variables bióticas asociadas a la surgencia (recuadro verde), y el segundo grupo está representado por los factores climáticos restantes (recuadro rojo).....	31
9	Gráfico de sedimentación con número de componentes y porcentaje de varianza explicada.....	33
10	Circulo de correlaciones del análisis de componentes principales, el factor 1 en las abscisas (69.87%) y el factor 2 en las ordenada (19.8%).....	34
11	Análisis factorial: Factor de carga factor 1 vs factor 2, rotación: Varimax prima y extracción de los componentes principales.....	36

Lista de tablas

		Paginas
1	Concentraciones de $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ y edad de las muestras analizadas del núcleo SOLE09-01.....	14
2	Edad calculada en años calendario (A Cal) y profundidades de las muestras analizadas, representadas con la numeración del montaje de láminas para la observación al microscopio.....	15
3	Especies observadas de dinoflagelados heterótrofos y autótrofos.....	19
4	Variables y sus abreviaciones.....	21
5	Las correlaciones significativas con un nivel de significancia $p < 0.05$ se muestran de color rojo. Las negrillas resaltan las correlaciones superiores a 0.50.....	30
6	Porcentaje de Varianza explicada y el porcentaje acumulado para cada componente.....	32
7	Correlaciones entre factor y variable (Factor loadings) basado en la matriz original, Variables activas de color azul y suplementaria de color negro.....	32
8	Comunalidades basadas en las correlaciones.....	35
9	Porcentaje de Varianza explicada y el porcentaje acumulado con “Rotación Varimax” para cada factor.....	36
10	Factor de carga (Factor loading varimax) y extracción de los componentes principales, las cargas marcadas son $> .70$, Valores de la varianza explicada para el factor 1 y factor 2.....	37
11	Comunalidad de correlaciones aplicando “Rotación varimax”, extracción de componentes principales y R cuadrada múltiple. Para cada una de las variables.....	37

Tabla de contenido

	Página
Resumen en español	ii
Resumen en inglés	iii
Dedicatorias	v
Agradecimientos	vii
Lista de figuras	viii
Lista de tablas	ix
Capítulo 1. Introducción	1
1.1 Dinoflagelados.....	2
1.1.1 Dinoflagelados.....	2
1.1.2 Eventos Océano-Atmosfera.....	4
1.2 Antecedentes.....	5
1.3 Objetivos.....	6
1.3.1 Objetivo general.....	6
1.3.2 Objetivos específicos.....	6
1.4 Hipótesis.....	6
Capítulo 2. Metodología	7
2.1 Área de estudio.....	7
2.2 Obtención del núcleo y muestras.....	11
2.3 Modelo cronológico del núcleo.....	12
2.4 Procesamiento palinológico.....	16
2.5 Análisis palinológico.....	16
2.5.1 Palínomorfos continentales.....	17
2.5.2 Palínomorfos marinos.....	17
2.6 Abundancia absoluta.....	19
2.7 Análisis estadístico.....	20
2.7.1 Análisis de agrupamiento (cluster)	21
2.7.2 Componentes principales.....	22
2.7.3 Análisis factorial.....	22
2.8 Análisis Instrumental.....	22
Capítulo 3. Resultados	24
3.1 Abundancias absolutas de palinomorfos	24
3.1.1 Palinomorfos Marinos.....	24
3.1.2 Palinomorfos Continentales.....	26
3.2 Índices Climáticos.....	28
3.3 Análisis estadísticos.....	30

3.3.1 Correlaciones.....	30
3.3.2 Análisis de agrupamiento.....	30
3.3.3 Varianza explicada.....	31
3.3.4 Factor de carga.....	32
3.3.5 Gráficos de porcentaje de varianza explicada.....	33
3.3.6 Circulo de correlación.....	33
3.3.7 Comunalidades de las correlaciones.....	35
3.3.8 Análisis Factorial.....	36
Capítulo 4. Discusión	38
4.1 Alta correlación de heterótrofos marinos y angiospermas con índices climáticos.....	39
4.2 Homogeneidad y sincronización de concentraciones palinológicas.....	40
4.3 Relación entre palinomorfos continentales y neblinas costeras.....	40
4.4 Relación TSM y dinoflagelados.....	41
Capítulo 5. Conclusiones	43
Conclusiones.....	
Literatura citada	44

Capítulo 1.

Introducción

Los cambios climáticos originan respuestas físicas y biológicas en los ecosistemas marinos, que pueden ser identificados a través del estudio de los elementos litogénicos y biogénicos de sedimentos marinos (Taucher and Oschlies, 2011; Poloczanska et al., 2013). Estos elementos contienen un registro de los cambios en las características ambientales durante la depositación. Entre los componentes biogénicos, los estudios palinológicos son particularmente importantes porque contienen información sobre los ambientes tanto marinos, como continentales (Traverse, 1988).

Los componentes palinológicos marinos reflejan factores climáticos tales como: temperatura superficial del mar y disponibilidad de nutrientes; mientras que los componentes continentales dan información sobre condiciones tales como: humedad predominante, intensidad y dirección del viento. Esta versatilidad, permite usar la palinología en sedimentos marinos para reconstruir cambios paleoclimáticos en escalas desde anuales hasta de millones de años. A este respecto, los sedimentos marinos laminados son los más útiles porque normalmente contienen abundante materia orgánica bien preservada, por lo cual pueden ser excelentes indicadores de las condiciones físicas y biológicas de la columna de agua.

Los sedimentos laminados se encuentran en cuencas hipóxicas, o anóxicas, con niveles de oxígeno disuelto por debajo de los 0.2 ml/l (Emery y Hulsemann, 1962; Calvert, 1964; Soutar *et al.*, 1981; Donegan y Schrader, 1982; Karpuz y Jansen, 1992; Kemp y Baldauf, 1993). La carencia de oxígeno disuelto inhibe la actividad bentónica (Kemp, 1996; 2003), lo que resulta en un registro detallado de las condiciones oceanográficas dominantes durante la depositación. Se han usado sedimentos laminados en diferentes regiones del mundo para estudios océano-climáticos de alta resolución temporal (Caniupán *et al.*, 2009, Behl y Kennett, 1996; Kemp, 2003; Van Geen *et al.*, 2003; Vargas *et al.*, 2007). En la costa oeste de Baja California, se localizan varias cuencas anóxicas que contienen registros sedimentarios laminados de alta resolución, una de ellas es Cuenca San Lázaro (CSL).

La CSL, también conocida como Cuenca Soledad, se localiza en la margen continental occidental de la Península de Baja California, 45 km al oeste de la costa de Baja California Sur (Esparza-Álvarez, 2007), cerca del límite entre la Corriente de California (CC) y la Corriente Nor-Ecuatorial (CEN). Debido a esta localización, el registro sedimentario de esta cuenca tiene la influencia tanto aguas subárticas, como ecuatoriales.

La CSL está formada por una depresión de origen tectónico que tiene aproximadamente 85 km de longitud por 35 km de ancho, y una profundidad máxima de 540 m. Presenta un margen irregular que impide casi todo intercambio de aguas sub-superficiales por debajo de los 100 m, con una entrada a 350 m de profundidad (Esparza-Álvarez *et al.*, 2007).

El dominio de las masas de agua subártica (CC) o ecuatorial (CEN) en la región está determinado por cambios climáticos estacionales, anuales y decadales a nivel regional y de mesoescala. La CC está compuesta por agua fría y de baja salinidad proveniente del Pacífico sub-ártico norte, mientras que la CNE está formada por agua subtropical cálida de alta salinidad proveniente del sur. Las masas de agua de la CSL son afectadas por las surgencias que se presentan desde Punta Abreojos hasta Cabo San Lucas, donde los afloramientos más intensos se observan durante los meses de primavera.

1.1 Dinoflagelados

Los dinoflagelados son considerados microalgas unicelulares y son componentes importantes del plancton tanto de aguas continentales como marinas. Presentan una gran diversidad morfológica y funcional, muchas formas son libres, pero algunos forman colonias o pseudocolonias (Gómez *et al.*, 2011). La mayoría son costeros, pero algunos se distribuyen solo en zonas oceánicas y su distribución geográfica es un indicador de condiciones ambientales (Moldowan y Talyzina, 1998). Los dinoflagelados pueden tener cloroplastos, por lo cual son fotoautótrofos, muchos son mixótrofos y aproximadamente un 50% son heterótrofos obligados, es decir son fagótrofos o parásitos osmótrofos. Junto con las diatomeas, son uno de los grupos

más diversos y abundantes del fitoplancton marino (Gómez *et al.*, 2011). La complejidad trófica de los dinoflagelados se refleja en su ecología. Por lo que es de esperarse que las especies fotosintéticas se distribuyan en la columna de agua siguiendo los ciclos de surgencias. Mientras que las especies heterótrofas siguen un patrón especializado debido a que han desarrollado estrategias específicas para la obtención de alimento (Margalef, 1978).

Los dinoflagelados se reproducen asexualmente, pero en una etapa de su ciclo de vida presentan reproducción sexual, que regularmente ocurre al final de un florecimiento algal. El planocigoto formado puede llegar al fondo de la columna de agua, depositándose en los sedimentos y constituyendo un hipnocigoto, el cual ocasionalmente se reviste de un quiste de resistencia formado por dinosporina (Anderson, 1998). Los hipnocigotos requieren cumplir con un periodo 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 periodo de maduración durante el cual no puede germinar, incluso cuando las condiciones de crecimiento para la célula vegetativa sean las óptimas (Anderson, 1998; Anderson *et al.*, 1982).

De las 2377 especies vivientes de dinoflagelados marinos (Gómez, 2012), solo 97 producen quistes de resistencia fosilizables, como parte de su ciclo de vida (Zonneveld and Pospelova, 2015). Estos quistes se depositan en los sedimentos marinos formando un inóculo para futuros florecimientos algales (Seguel *et al.*, 2011). Los quistes resistentes de dinoflagelados forman una parte importante dentro de la diversidad biogénica preservada en sedimentos laminados marinos. Estos quistes son de interés debido a su potencial como indicadores indirectos de parámetros superficiales del mar, como temperatura superficial, salinidad y productividad.

1.1.2 Eventos Océano-Atmosfera.

Los eventos climáticos extremos de escala global están asociados a interacciones inestables entre el océano y la atmósfera (Maturana *et al.*, 2004). Eventos de escala sinóptica atmosférica como El Niño-Oscilación Austral (ENOA) de escala interanual (Reimer *et al.*, 2015), oscilan entre una fase cálida (El Niño) y una fase fría (La Niña). Estas fases se manifiestan principalmente por

cambios anormales de la temperatura superficial del mar (TSM) en el océano Pacífico ecuatorial central y oriental.

Los cambios del ENOA alteran significativamente los patrones climáticos regionales y globales (Maturana *et al.*, 2004). Influyen en el ciclo del carbono y afectan tanto a los ecosistemas marinos, como a los terrestres a lo largo de la costa del Pacífico en América del Norte (Reimer *et al.*, 2015). En los ecosistemas marinos, las anomalías positivas de TSM (Niño) se asocian al hundimiento de la termoclina y reducción de las surgencias costeras, mientras que las anomalías negativas de TSM (Niña) se asocian a la elevación de la termoclina y el fortalecimiento de las surgencias (Maturana *et al.*, 2004). En las costas del Pacífico de Baja California Sur, se ha documentado la relación directa de las surgencias con la productividad marina primaria de 2003 a 2015 (Ortiz-Aumada, 2015).

Las fases del ENOA también influyen en el ecosistema continental regional, ya que como en muchos climas costeros áridos, las corrientes marinas originan eventos de vaporización de agua marina. Esto es común en los sistemas limítrofes orientales como en la Península de Baja California, Perú y Chile. La TSM afecta la humedad relativa atmosférica regional, generando neblinas costeras cuando el agua fría llega a la superficie del mar y se pone en contacto con el aire seco y caliente de la costa. Este gradiente térmico influye en los vientos costeros que favorecen a la surgencia regional, la cual a su vez forma neblinas costeras por advección. En Baja California, estas neblinas proporcionan humedad en la costa y tierra dentro, contribuyendo a la productividad primaria en tierra (Reimer *et al.*, 2015).

1.2 Antecedentes

La composición taxonómica, diversidad y abundancia de los conjuntos de quistes de resistencia de dinoflagelados están relacionados con las condiciones oceanográficas predominantes. A este efecto, se han realizado estudios paleoecológicos y paleoceanográficos documentando las características de conjuntos de dinoflagelados en sedimentos del Holoceno en muchas partes del mundo. Resultados de estos estudios se han reportado para el círculo 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 dinoflagelados y su relación con variables fisicoquímicas de las aguas superficiales ha sido estudiada en sedimentos superficiales en el Pacífico Mexicano y Golfo de California (Cross *et al.*, 1966; Martínez-Hernández y Hernández-Campos, 1991; Pena-Manjarrez *et al.*, 2001 y 2005; Banda-Bermúdez, 2002; Morquecho y Lechuga-Deveze, 2003;; Pospelova *et al.*, 2006, 2008;; Flores-Trujillo *et al.*, 2009; Limoges *et al.*, 2010; Price *et al.*, 2013). Principalmente se han relacionado los dinoflagelados heterótrofos con la disponibilidad de nutrientes y la presencia y abundancia de ciertas especies autótrofas de acuerdo a la TSM.

Aquí se presentan los resultados del análisis palinológico de 50 muestras del núcleo SOLE09-OIMC3, extraído de cuenca San Lázaro. Se muestran en particular los conjuntos de dinoflagelados, para confirmar su potencial como indicadores indirectos de condiciones oceanográficas. Aunque también se reportan los conjuntos de polen y esporas continentales, y su relación con las condiciones climáticas regionales.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Determinar la relación entre el contenido palinológico de los sedimentos laminados en la cuenca San Lázaro (CSL) y los parámetros oceanográficos y climáticos regionales, a escala interanual y decadal.

1.3.2 Objetivos Particulares

- Analizar los cambios anuales de las concentraciones de los conjuntos de palinomorfos marinos y continentales desde 1967 hasta 1988.
- Demostrar la relación que presenta esta variabilidad con los parámetros climáticos y oceánicos locales.
- Detectar su relación con los forzamientos regionales interanuales como El Niño y La Niña (ENOA) y eventos decadales como la Oscilación Decadal del Pacífico (ODP).

1.4 Hipótesis

Las concentraciones de dinoflagelados y polen están relacionadas con eventos interanuales y decadales como El Niño y la Oscilación Decadal del Pacífico.

Capítulo 2

Metodología

2.1 Área de estudio

La CSL (25°.08 N, 112°.95 W) está incluida en el Golfo de Ulloa (Figura 1), el cual limita al norte con Punta Eugenia (28° N 115°300 W) y al sur con Bahía Magdalena (25° N 111°300 W). La temperatura superficial del mar (TSM) medida en la cuenca varía de 16.1°C a 30.6°C. Las temperaturas más bajas se presentan durante mediados de primavera y principios de verano, con un rango de 17.1°C a 24.6°C respectivamente. Mientras que durante el otoño las temperaturas máximas varían de 24.7°C a 29.6°C. (Esparza-Álvarez, 2007).

El Golfo de Ulloa (Figura 1) tiene altos niveles de productividad primaria, por lo que se considera un centro de actividad biológica (Lluch-Belda, 1999; González-Rodríguez *et al.*, 2012). Las corrientes marinas en esta región se caracterizan por la presencia de meandros, remolinos y una zona de transición costera (ZTC). En esta zona, se presentan largos filamentos asociados a corrientes de chorro que contribuyen al transporte de oxígeno y nutrientes en la zona fótica y aumentan la productividad primaria neta (González-Rodríguez *et al.*, 2012)

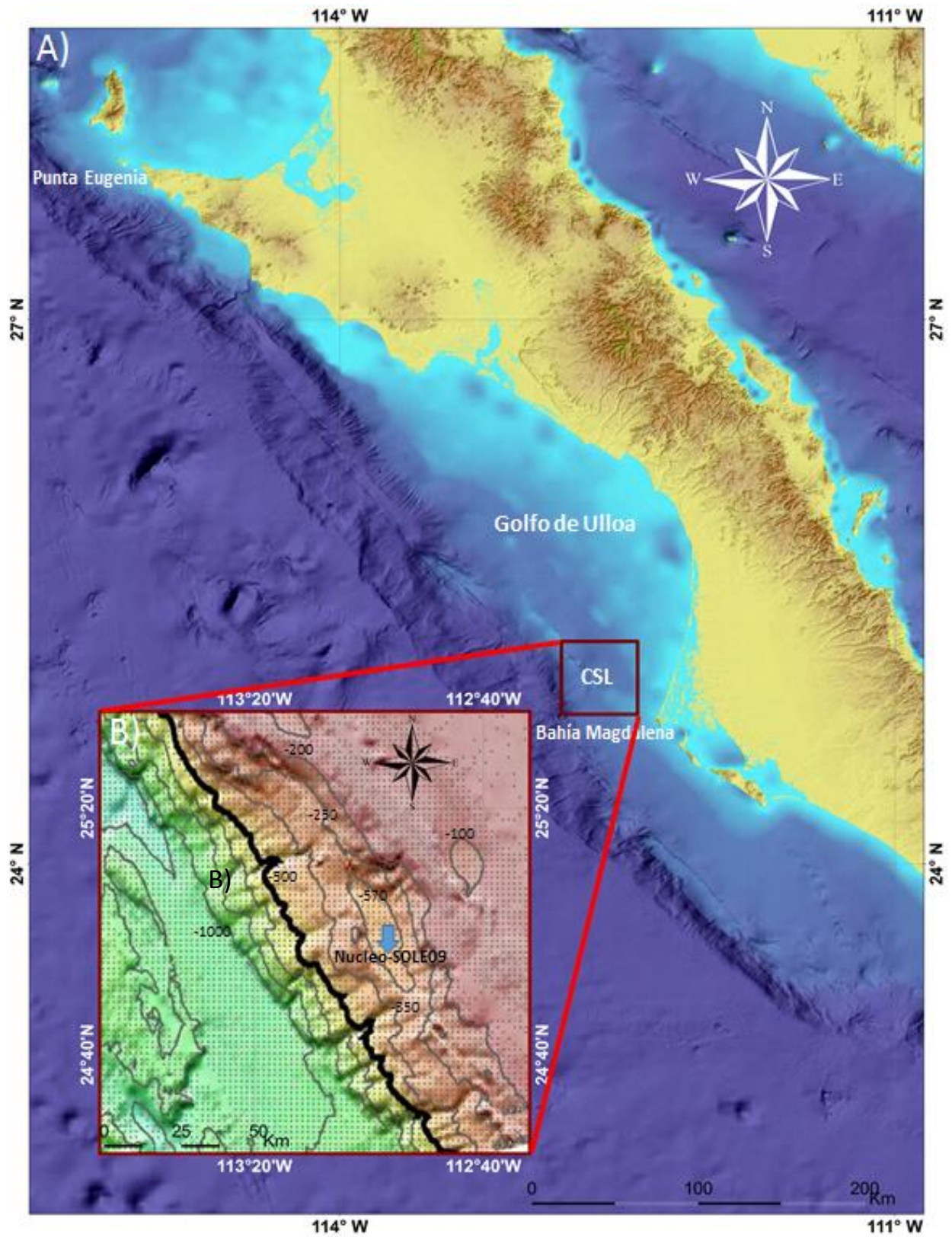


Figura 1. A) Localización del Golfo de Ulloa; B) Batimetría de CSL cuenca San Lázaro en la plataforma continental de Baja California. La batimetría se obtuvo de: ([Universidad de California satélite Geodesy-Batimetría](#))

La dinámica oceánica regional está dominada por tres masas de agua pertenecientes al Sistema de la Corriente de California, estas son: la corriente de California (CC), la contracorriente subsuperficial (CC-sup) y la corriente de Davidson (CD), la cual se sugiere como una contracorriente costera (Hickey, 1998). La Corriente de California (CC) fluye hacia el sur y modifica la temperatura, salinidad, oxígeno y contenido de nutrientes de las masas de agua cercanas a la costa. Su expresión en la superficie se intensifica en primavera-verano, cuando los frentes de agua subtropicales débiles se encuentran con los frentes subárticos en la entrada sur del Golfo de California (Durazo *et al.*, 2005)

En la costa de Norteamérica, los vientos predominantes tienen una dirección norte-noreste en primavera-verano, contribuyendo a eventos de surgencia costera. Las masas de agua que llegan a la superficie tienen características de la CC, con salinidad superior a 34‰, y temperatura por debajo de 20°C. Las frecuencias máximas en las surgencias están relacionadas directamente con la intensidad de los vientos a lo largo del año (Esparza-Álvarez, 2007).

En la península de Baja California, la variabilidad estacional de la TSM costera, influye en la Producción Primaria Terrestre (PPT) bruta, tanto de norte a sur, como de occidente a oriente (Figura 2). Los ecosistemas áridos, terrestres están influenciados por la entrada de vapor de agua desde el océano, debido a un gradiente de presiones atmosféricas de escala sinóptica y cambios en la TSM. La variabilidad interanual de la PPT bruta, parece estar explicada por el forzamiento ENOA (Reimer *et al.*, 2015).

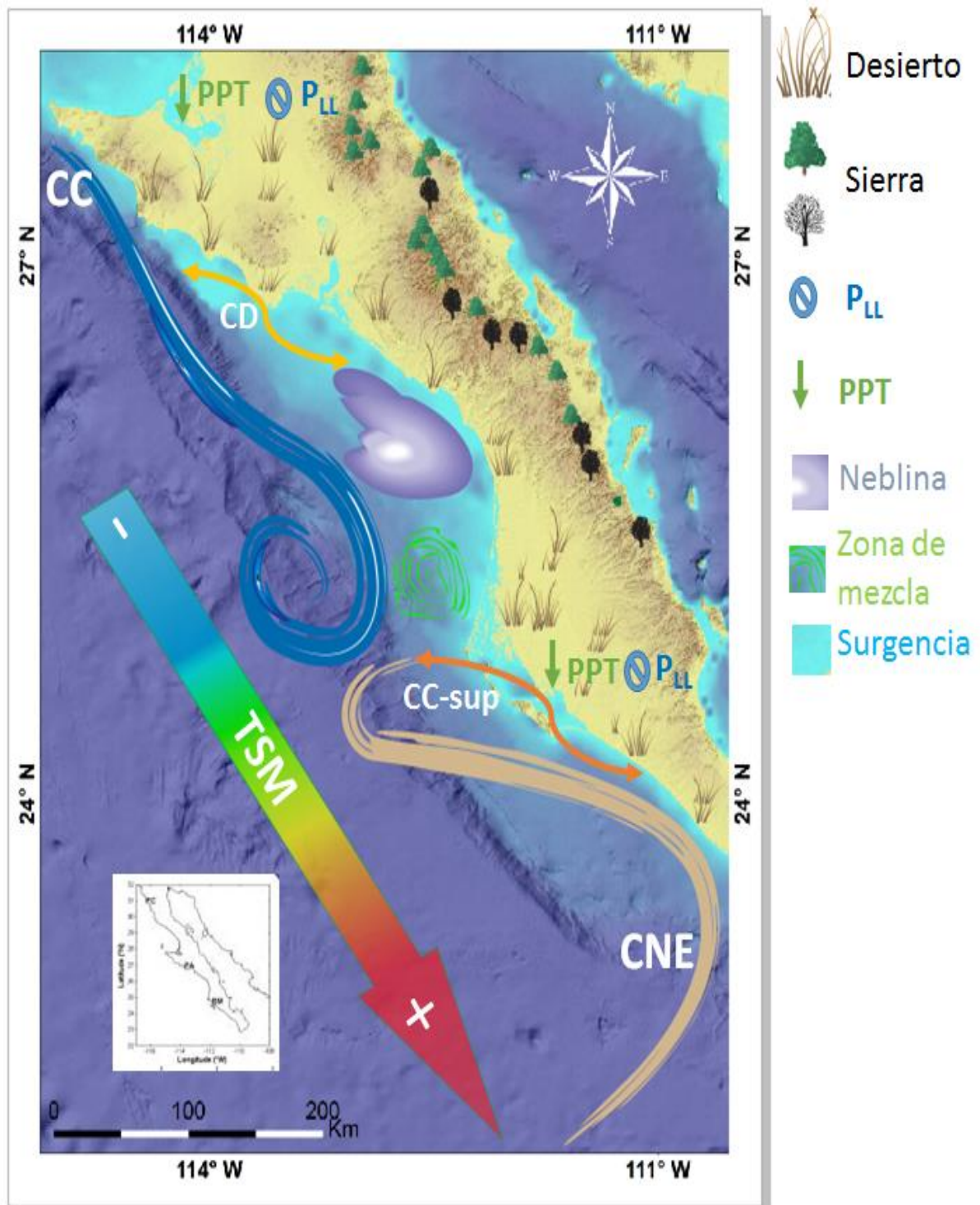


Figura 2. Resumen conceptual de la dinámica océano-atmósfera, TSM representada con una flecha con la zona a fría de color azul y la zona cálida de color rojo. Zonas de surgencia representadas por el color azul claro, Producción primaria terrestre PPT con una flecha invertida zonas de mínima PPT, la lluvia representada por P_{LL} con símbolo de nulidad por la escasez de lluvias. Las neblinas están representadas por un ovalo irregular de color violeta, la zona de mezcla representada por anillos concéntricos de color verde. La Corriente de California (CC) es de color Azul, la Corriente Norecuatorial (CNE) es de color pardo, la Contracorriente sub-superficial (CC-sup) está indicada por flechas de color naranja, y la Corriente de Davidson (CD) está indicada por flechas de color amarillo (modificado de Reimer *et al.*, 2015).

2.2 Obtención del núcleo y muestras

El núcleo SOLE09-OIMC3 (Figura 3) tiene 36.5 cm de longitud y se colectó en octubre del 2009 durante el crucero LONO09-1 del buque RV New Horizon, a cargo del Dr. William Berelson, de la Universidad del Sur de California. Los 10 cm superiores del núcleo fueron cortados milímetro a milímetro a bordo del barco, con un pistón de pedal para obtener 100 muestras de un milímetro de espesor. Posteriormente las muestras se llevaron al laboratorio de Oceanografía Geológica (OG) de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC).

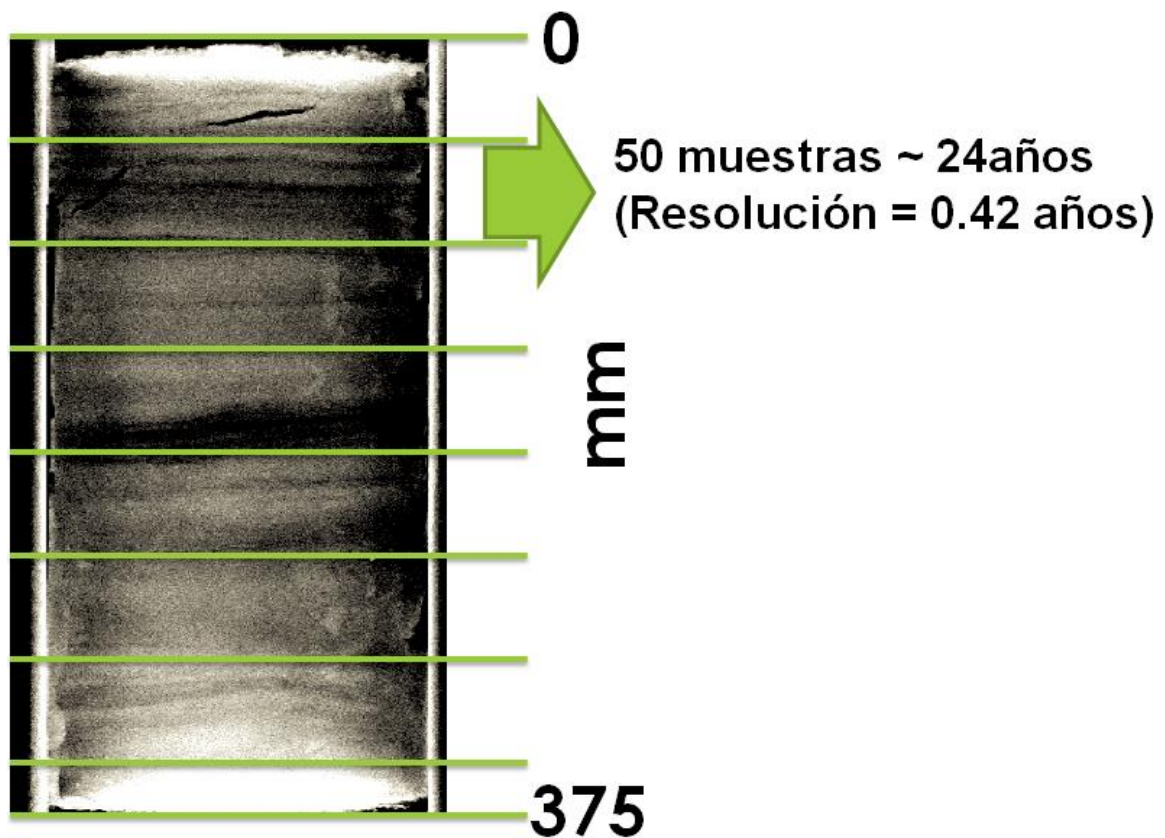


Figura 3. Radiografía de la loza estudiada del núcleo SOLE09-OIMC Cuenca San Lázaro / Soledad, la flecha verde indica la sección de 50 a 100 mm cortados y analizados en este estudio.

2.3 Modelo Cronológico del núcleo

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 4 A; Tabla 1). Se analizaron 8 muestras en el intervalo estudiado y la Figura 4 A presenta los valores de $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ vs Profundidad de las muestras analizadas. En esta figura se observa un comportamiento exponencial, donde la mayor concentración de $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ se encuentra en los primeros 100 mm del núcleo, por lo cual se usó el modelo de Flujo Constante Sedimentación Constante ("CFCS" por sus siglas en inglés). Las velocidades de acumulación de sedimentos (VAS) se calcularon con una regresión lineal del perfil de edades $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ contra la profundidad (Figura 4 B). 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 también para estimar estadísticamente las incertidumbres. Se obtuvo una velocidad de sedimentación de 0.236 ± 0.011 cm/año, con alta significancia estadística ($1.34\text{E-}08$). (Figura 4 B) Se obtuvo una velocidad de sedimentación de 0.2365 cm/año, con alta significancia estadística $r= 0.9995$, y la ecuación de regresión lineal de la (Figura 4 C) corresponde a la profundidad de 50 a 100 mm.

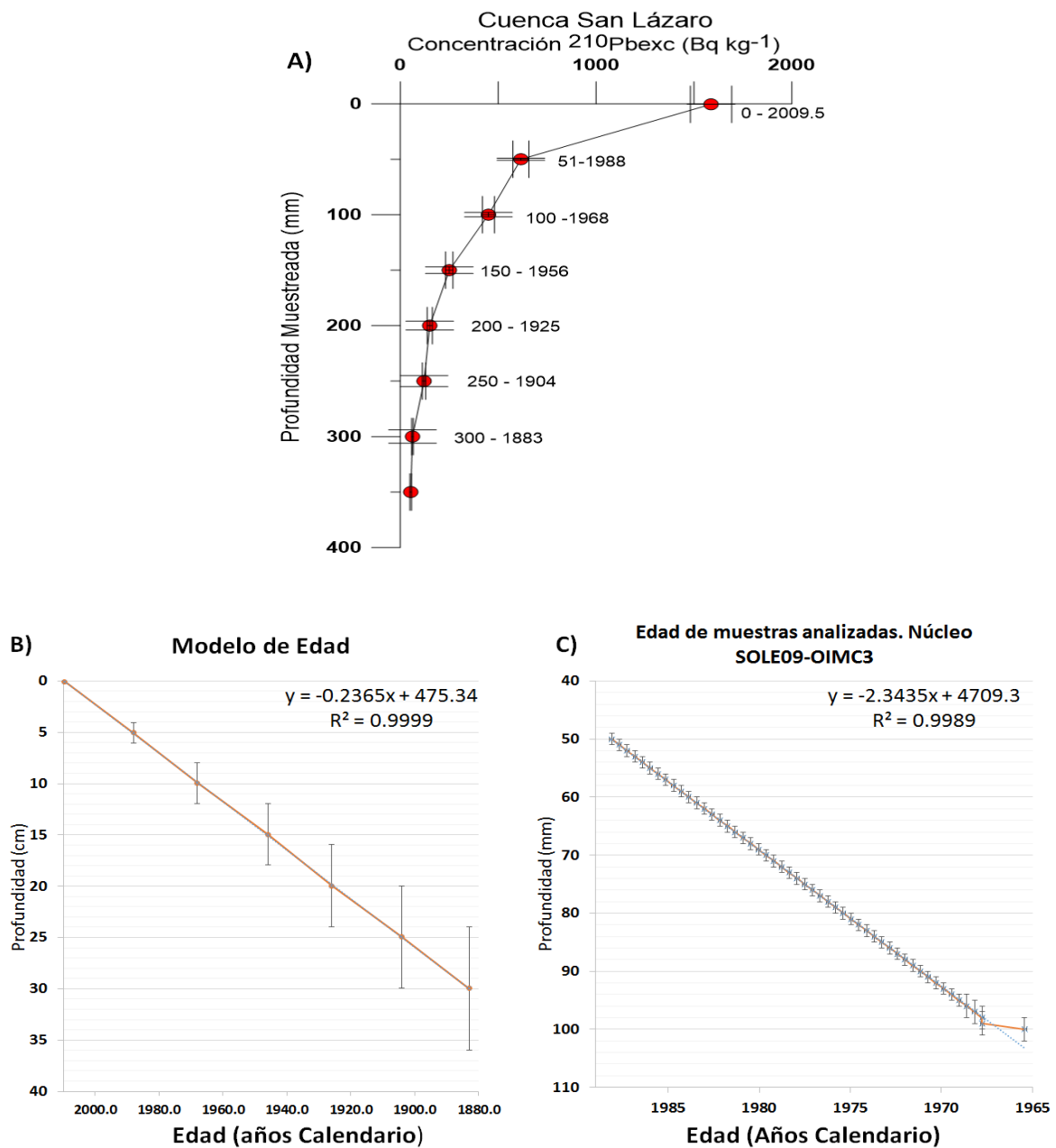


Figura 4. **A** – Valores de $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ vs. Profundidad de las muestras analizadas, cada punto en la curva referido a una edad modelo con respecto a la profundidad en mm. Laboratorio de Dataciones del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM. **B** – Modelo de edad, ecuación de regresión lineal de las dataciones. **C** – Ajuste de las muestras para el análisis palinológico y la ecuación de regresión lineal para las muestras analizadas.

Con estas dataciones, el núcleo representa el registro sedimentario desde 2009.5 a 1883 años calendario, con resolución de aproximadamente 4 meses por muestra en los 10 cm superiores

(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 1883.1).

Tabla 1 Concentraciones de $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ y edad de las muestras analizadas del 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 *	
<i>* Base ^{210}Pb</i>			

Se seleccionaron 50 muestras de los 10 cm superiores del núcleo, con una resolución promedio de 4 meses aproximadamente por muestra y que corresponden al intervalo de edades de 1967 a 1988 (Tabla 2). Estas muestras fueron procesadas y analizadas palinológicamente para este estudio.

Tabla 2 Edad calculada en años calendario (A Cal) y profundidades de las muestras analizadas, representadas con la numeración del montaje de láminas para la observación al microscopio.

No. Lámina	EDAD (A Cal)	No. Lámina	EDAD (A Cal)
1	1988.3	26	1977.7
2	1987.9	27	1977.3
3	1987.5	28	1976.9
4	1987.0	29	1976.4
5	1986.6	30	1976.0
6	1986.2	31	1975.6
7	1985.8	32	1975.2
8	1985.3	33	1974.7
9	1984.9	34	1974.3
10	1984.5	35	1973.9
11	1984.1	36	1973.5
12	1983.6	37	1973.1
13	1983.2	38	1972.6
14	1982.8	39	1972.2
15	1982.4	40	1971.8
16	1982.0	41	1971.4
17	1981.5	42	1970.9
18	1981.1	43	1970.5
19	1980.7	44	1970.1
20	1980.3	45	1969.7
21	1979.8	46	1969.2
22	1979.4	47	1968.8
23	1979.0	48	1968.4
24	1978.6	49	1968.0
25	1978.1	50	1967.5

2.4 Procesamiento Palinológico

Las muestras se procesaron mediante la técnica estándar (Wood *et al.*, 1996). El procesamiento palinológico incluye 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* (Lote 483216, con 18583 esporas por tableta y $S = \pm 3820$) como marcador exótico. Para estimar la abundancia absoluta de palinomorfos por gramo de sedimento (Stockmarr, 1971).
 - 4.- Eliminar carbonatos agregando ácido clorhídrico (HCL 10%) frío.
 - 5.- Disgregar y eliminar silicatos con ácido fluorhídrico (HFL 40%). Después se neutraliza el residuo lavando varias veces con agua destilada.
 - 6.- Separar la materia orgánica más ligera mezclando solución de politungstato de sodio (g.e. = 2) y separando el sobrenadante por centrifugación durante 20 min.
- Para evitar destruir algunos taxa que pudieran afectar las interpretaciones paleoecológicas, se elimina la oxidación del material durante el procesamiento (Rochon *et al.*, 1999).
- 7.- Tamizar el residuo con luz de malla de 15 μ a 125 μ m.
 - 8.- Montar el residuo en un portaobjetos de 24 x 50 mm, fijándolos con resina foto sensitiva o glicerina, para ser observadas al microscopio.

2.5 Análisis Palinológico

Las muestras se analizaron cuantitativa y cualitativamente con un microscopio óptico de luz transmitida para identificar y contabilizar los diferentes taxa de palinomorfos observados. Los taxa encontrados se registraron y se documentaron por medio de microscopia fotográfica con un microscopio óptico Leitz weslar, usando los objetivos de 20x para barridos totales. Para la identificación a nivel de género y especie se utilizaron objetivos de 40x, 60x y 100x. Se cuantificaron las esporas de *Lycopodium clavatum* a lo largo de cada barrido en todas las muestras. Posteriormente se determinó el tamaño mínimo de muestra para contabilizar cuando menos el 90% de las especies. Los dinoflagelados se identificaron a nivel de género y especie siguiendo las convenciones propuestas por Fensome *et al.* (2008) y la clave de identificación propuesta por Zonneveld y Pospelova (2015). Mientras que los granos de polen y esporas solo se identificaron por afinidad ecológica y de transporte.

2.5.1 Palínomorfos continentales

La identificación de palinomorfos continentales se llevó a cabo a nivel de grupo general de angiospermas y gimnospermas. Las angiospermas se clasificaron en morfotipos, tomando en cuenta la forma del grano, posición y cantidad de aperturas, posición y cantidad de poros, ornamentación y estructura de la pared en la exina e intina y vesículas. Este grupo incluye las formas de polen siguientes: periporados, triporados, tricolporados, tricolpados, tetracolporados, stephanocolporados, monoporados, monocolpados, dicolporados e inaperturados. El grupo de gimnospermas incluye el polen bisacado. Estas características ayudan a identificar en general el ambiente de proveniencia y tipo de dispersión de los granos.

2.5.2 Palínomorfos Marinos

Se identificaron 40 taxa de palinomorfos marinos de los cuales 37 corresponden a especies de 20 géneros de dinoflagelados (Tabla 3), pertenecientes a cuatro familias: Peridiniaceae, Polykrikaceae, Gonyaulacaceae y Gymnodiniaceae. Además de los dinoflagelados, en el grupo de palinomorfos marinos se incluyen taxa heterótrofos identificados a niveles taxonómicos más altos, con base en su morfología y representan una misma estrategia trófica, agrupándose por sus características morfológicas como “Otros Marinos”, e incluyen: escolecodontes, palinoforaminíferos y copépodos.

Entre los dinoflagelados heterótrofos, los géneros con mayores concentraciones son: *Brigantedinium*, *Dubridinium*, *Echinidinium* y *Votadinium*. Los cuatro géneros de dinoflagelados autótrofos que presentaron las mayores concentraciones son: *Ataxiodinium*, *Operculodinium*, *Impagidinium* y *Spiniferites*. Algunos especímenes solo se clasificaron a nivel de género debido a que las características morfológicas de la especie no se observaban con claridad. Esto se debió a que estaban fragmentados, o cubiertos por materia orgánica.

Tabla 3 Especies observadas de dinoflagelados heterótrofos y autótrofos.

ESPECIES			
Peridinales (Heterótrofos)		Gonyaulacales (Autótrofos)	
<i>Brigantedinium Simplex</i> Wall, 1965b	<i>Lejeunecysta Sabrina</i> Reid, 1977	<i>Impagidinium Plicatum</i> Versteegh, 1995	<i>Operculodinium janduchenei</i> Wall, 1967
<i>Brigantedinium cariaeoense</i> Wall 1967	<i>Lejeunecysta oliva</i> Reid, 1977	<i>Impagidinium striatum</i> Wall, 1967	<i>Operculodinium Centrocarpum</i> Deflandre y Cookson, 1955
<i>Brigantedinium grande</i> Matsuoka, 1987	<i>Trinovantedinium applanatum</i> Reid, 1977	<i>Impagidinium patulum</i> Wall 1967	<i>Pyxidinoopsis psilata</i> Wall et al., 1973
<i>Brigantedinium asymmetricum</i> Matsuoka, 1987	<i>Quinquecuspidata concreta</i> Reid, 1977	<i>Impagidinium sphaericum</i> Wall 1967	<i>Pyxidinoopsis reticulata</i> McMinn y Sun Xuekum, 1994
<i>Bitectatodinium spongium</i> Zonneveld 1997	<i>Protooperidinium americanum</i> Bergh 1881a	<i>Impagidinium aculeatum</i> Wall, 1967	<i>Ataxiodinium choane</i> Reid, 1974
<i>Bitectatodinium tepikiense</i> Wilson 1973	<i>Selenopemphix nephroides</i> Benedek, 1972	<i>Impagidinium paradoxum</i> Wall 1967	<i>Gymnodinium trapeziforme</i> Bolch, 2007
<i>Stelladinium robustum</i> Zonneveld 1997	<i>Votadinium carvum</i> Reid, 1977	<i>Spiniferites ramosus</i> Ehrenberg, 1838	<i>Gymnodinium microreticulatum</i> Hallegraef 1999
<i>Stelladinium stellatum</i> Wall y Dale, 1968	<i>Echinidinium delicatum</i> Zonneveld 1997	<i>Spiniferites bentorii</i> Rossignol, 1964	<i>Spiniferites hyperacanthus</i> Deflandre y Cookson, 1955

2.6 Abundancia absoluta

Las abundancias absolutas se calcularon con marcadores exóticos (Stockmarr, 1971). A este fin, se agrega 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 palinómorfos y el de esporas *Lycopodium*, para determinar el número de especímenes 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 483216 tiene una media es de 18,583 esporas por tableta, y se adquirió del departamento de geología de la universidad de Lund, Suecia. Para el cálculo de la abundancia absoluta se utilizó la siguiente fórmula propuesta por Benninghoff, (1962).

$$(1) C = \left(\frac{dc \times Lt \times t}{Lc \times w} \right)$$

Donde:

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

$dc =$ Número de palínomorfos contados.

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

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

$t =$ Cantidad de tabletas agregadas a la muestra (1).

$w =$ Peso de sedimento seco en gramos.

Esta ecuación proporciona la cantidad de palinomorfos por gramo de sedimento por muestra. Estos resultados fueron graficados junto con la cronología del núcleo.

2.8 Análisis Estadísticos

Se usaron técnicas estadísticas multivariadas de agrupamiento, componentes principales y análisis factorial para reducir el número de datos. Esto con la finalidad de investigar las estructuras latentes y establecer relaciones entre todas las variables bióticas observadas y las climáticas obtenidas en la literatura. Todos los análisis estadísticos se realizaron con concentraciones de especímenes por gramo de sedimento ($\text{Esp} \cdot \text{gr sed}^{-1}$).

2.8.1 Análisis de agrupamiento (cluster).

Para detectar la similitud en la composición de los conjuntos de dinoflagelados en las muestras y su relación con los índices climáticos, se utilizó el análisis jerárquico de agrupamiento aglomerativo a partir de una matriz de distancias euclidiana, genera de la matriz de datos con valores de concentración ($ESP \cdot gr_{sed}^{-1}$) (“cluster análisis”). Se utilizó el método de Ward’s y r 1-Pearson, en el programa “Statistica7-Staoft”, versión 2005. La matriz fue reducida a cinco variables que son: Dinoflagelados Heterótrofos, Dinoflagelados Autótrofos, Otros Marinos, Polen de Angiospermas, y Polen de Gimnospermas (Tabla 4). También se incluyeron dos variables ambientales y tres índices climáticos: Lluvia, Surgencia Costera, Temperatura superficial del mar, El Niño Oscilación Austral y Oscilación Decadal del Pacífico.. Es importante mencionar que para cada variable e índice ambiental y climático se trataron los datos para ajustarlos a la misma frecuencia de la serie de tiempo del núcleo. Para la lluvia se usaron los promedios anuales en cinco estaciones localizadas alrededor del Golfo de Ulloa. De estos datos se obtuvo un solo valor regional del promedio anual de lluvia ajustado a la serie de tiempo para este estudio. En el caso del índice de Surgencia se obtuvieron datos mensuales y se calculó el promedio anual para la región de los $24^{\circ} N$ $116^{\circ} W$. En los índices de ENOA, TSM y ODP se obtuvieron datos de las anomalías de temperatura mensuales en grados Celsius de la región de $90^{\circ} N$ a $24^{\circ} N$ y de EQ a $24^{\circ} N$. Se obtuvieron promedios anuales que ajustaran con la serie de tiempo de los resultados palinológicos obtenidos.

Tabla 4. Variables y sus abreviaciones

VARIABLES	ABREVIACIONES
PALINOMORFOS CONTINENTALES Y MARINOS	
Gimnospermas	GIM
Angiospermas	ANG
Escolecodontos, Foraminíferos y Copépodos	OT-MAR
Dinoflagelados Heterótrofos	D-HET
Dinoflagelados Autótrofos	D-AUT
ÍNDICES CLIMATICOS	
Lluvia	LLUV
Surgencia Costera	SURG
El Niño Oscilación Austral	ENOA
Temperatura Superficial del Mar	TSM
Oscilación Decadal del Pacífico	ODP

2.8.2 Análisis de Componentes Principales

En el análisis de componentes principales se realizaron correlaciones entre los diferentes conjuntos de palinomorfos y las variables climáticas obtenidas mediante registros instrumentales (Tabla 3). Se busca probar si existe una asociación estadísticamente significativa entre ellas e investigar cuales variables climáticas modulan el incremento o decremento de los conjuntos palinológicos. Los resultados obtenidos se compararon con los reportados por otros autores (Esparza-Álvarez *et al.*, 2007), ([Serrano-Mejía](#), 2016) y ([Castañeda-Quezada](#), 2016) Se buscó establecer un modelo de variabilidad climática y oceánica de escala interanual para esta región.

2.8.3 Análisis Factorial

Es la técnica estadística multivariada que nos permite la reducción de variables y generar una matriz de correlaciones que explique la relación que existe entre ellas en términos de factores (bióticos y abióticos) y los factores no observados que modulan su relación. Las variables observadas se modelan como combinaciones lineales de factores y se incluye las expresiones de error (p) usando el programa (Statistica7 de Statsoft 2005).

2.9 Registros instrumentales

Los resultados se compararon con datos obtenidos por medio de registros instrumentales regionales. Estos son los valores de precipitación de sitios cercanos a la cuenca San Lázaro, además de los índices de surgencia costera, anomalías de El niño oscilación austral (ENOA), anomalías de la Temperatura Superficial del Mar (TSM), y de la Oscilación Décadal del Pacífico (ODP).

Los datos de precipitación regional se obtuvieron de la Base de Datos Climáticos del Noroeste de México [CICESE-peaccBC](#). Promediando las estaciones próximas del lado del Pacífico y con datos desde 1967 hasta 1988, se generó un índice de precipitación anual que corresponde a las edades de las muestras analizadas.

Los valores del Índice de Surgencias Costeras (ISC) desde 1967 hasta 1988, localizados en 24 °N 113°W, se obtuvieron de la base de datos del [Laboratorio Ambiental de Pesca del Pacífico](#) de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los E. U. A. (NOAA por sus siglas en inglés). Estos índices se basan en estimaciones de transporte de Ekman considerando la presión superficial y el viento (Bakun, 1990). Se expresa en unidades de metros cúbicos por segundo por cada 100 metros de costa, lo que equivale a toneladas métricas /s/100 m de la costa ($m^3/s/100m$) bianual.

Para el Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM) desde 1967 hasta 1988, se extrajeron valores del "[GISS Análisis de la Temperatura Superficial \(GISTEMP\)](#)", de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA por sus siglas en inglés). Se usaron los datos zonales que cubren una franja latitudinal de 24 a 90 °N (24-90N). El índice del GISS combina los registros disponibles de TSM con mediciones de estaciones meteorológicas (Hansen *et al.*, 2010), los valores representan las anomalías y las unidades están expresadas en grados *Celsius* (°C) anuales, de acuerdo a la edad de las muestras analizadas.

Las anomalías del ENOA se obtuvieron en la base de datos de NOAA (NOAA-Índice ENOA). La anomalía climática se define como la diferencia en más (+) o en menos (-) temperatura, presión, etc, que se observa en un lugar respecto a sus condiciones normales desde el punto de vista climático (NOAA, 2009), los valores bajos corresponden a condiciones Niña, y los valores altos a El Niño.

Las series de tiempo de la temperatura superficial del mar (TSM) ([Nasa- TSM](#)) por anomalías de la TSM derivadas de mediciones en el Pacífico Norte a los 24° de latitud norte para el intervalo 1965 a 1988, por la serie calculada para el intervalo 1951 a 1980 con base en mediciones de isótopos de oxígeno ($\delta^{18}O$) realizadas en corales de las islas Clipperton del Pacífico tropical (Linsley *et al.*, 2000).

Para graficar el índice de anomalías de la Oscilación Decadal del Pacífico se usó la base de datos de la universidad de Washington ([JISAQ-ODP](#)), la cual contiene valores estandarizados estadísticamente para el índice del PDO generados a partir de anomalías mensuales de TSM en el Océano Pacífico Norte. Las anomalías de la TSM media global mensual se eliminan para separar la variabilidad estacional de cualquier señal de "calentamiento global" que puede estar presente en los datos (Zhang *et al.*, 1997).

Capítulo 3

Resultados

3.1 Abundancias absolutas de palinomorfos

3.1.1 Palinomorfos Marinos

La concentración promedio de los taxa marinos en las muestras estudiadas (Figura 5) es 7,806.07 (Esp/gr_{sed}). Todas las variables tienen comportamientos similares y presentan cambios casi simultáneos, en particular las concentraciones de Marinos son casi iguales a las de D-HET y OT-MAR (ver tabla 3 para acrónimos). En general, se observa un aumento gradual desde ~1971, hasta alcanzar las máximas concentraciones de D-HET en 1976 (promedio = 2,413.43; máxima = 1,0862.43 Esp/gr_{sed}). La variable OT-MAR tiene un promedio = 5,305.32; y máximo = 1,8175.70 Esp/gr_{sed}). Las concentraciones de los D-AUT son muy bajas con respecto a los D-HET y OT-MAR. Sin embargo, las concentraciones máximas de OT-MAR también se observan de 1974 a 1975 (promedio = 87.31; máxima = 724.16 Esp/gr_{sed}). A partir de 1975 hay una disminución gradual hasta las concentraciones más bajas de 1983 a 1986.

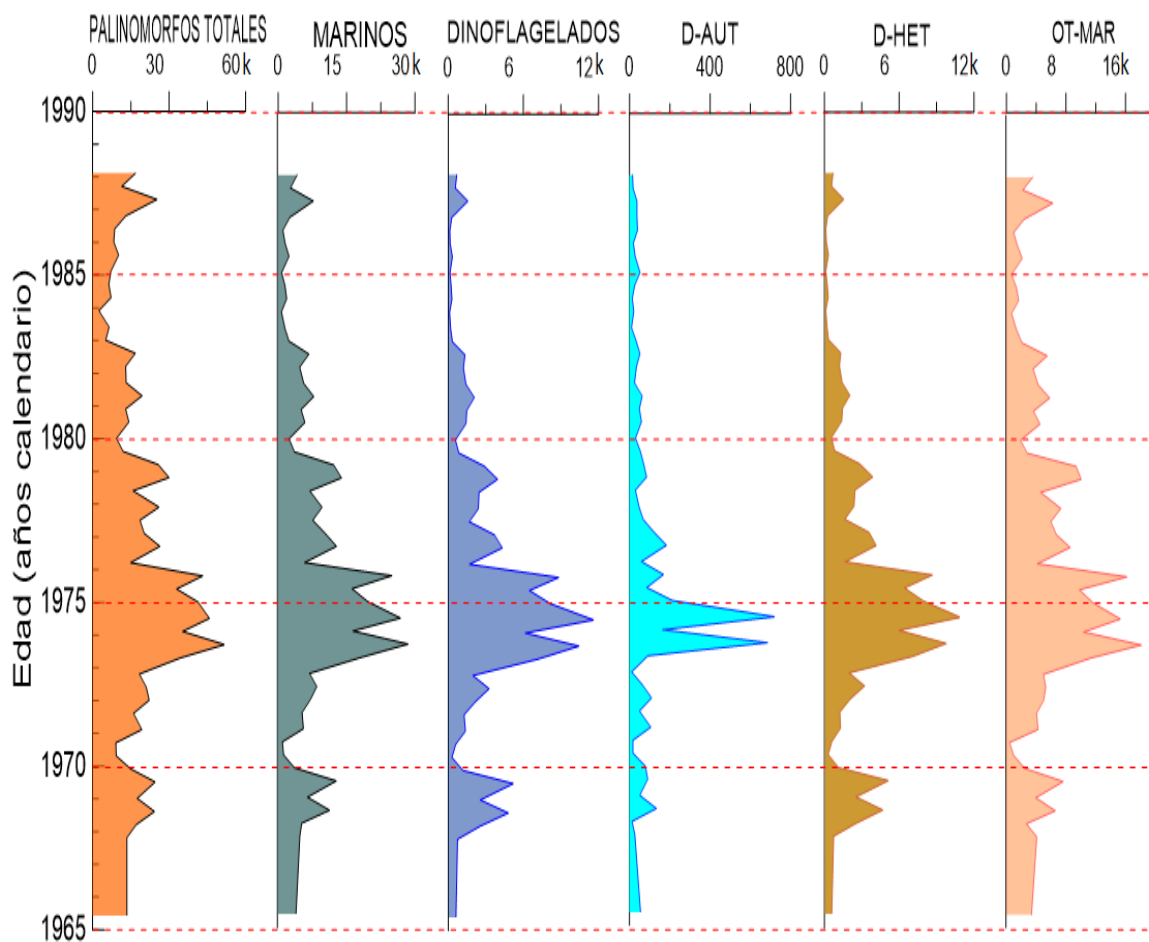


Figura 5. Concentraciones de palinomorfos Marinos ($\text{Esp} \cdot \text{gr}_{\text{sed}}^{-1}$) contra Edad en años calendario. Las líneas punteadas rojas indican quinquenios, como puntos de referencia. D-HET indica las concentraciones de dinoflagelados heterótrofos; D-AUT representan los dinoflagelados autótrofos, y OT-MAR representan los otros marinos heterótrofos.

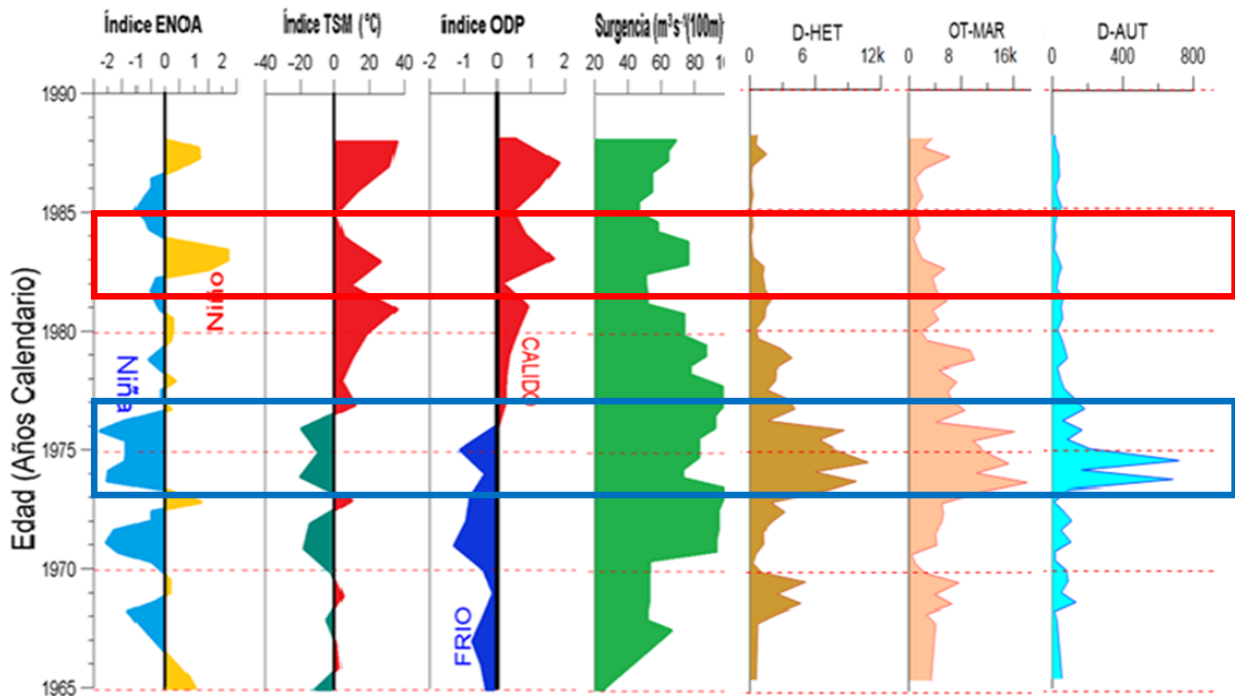


Figura 5A. Relación entre los índices climáticos y las concentraciones de palinomorfos Marinos ($\text{Esp} \cdot \text{gr}_{\text{sed}}^{-1}$) y su edad en años calendario. Las líneas punteadas rojas indican quinquenios, como puntos de referencia. D-HET indica las concentraciones de dinoflagelados heterótrofos; D-AUT representan los dinoflagelados autótrofos, y OT-MAR representan los otros marinos heterótrofos.

3.1.2 Palinomorfos Continentales

El promedio de concentración del total de taxa continentales en las muestras estudiadas (Figura 6) es 11,051.17 ($\text{Esp}/\text{gr}_{\text{sed}}$), mayor que el de marinos. Esta dominancia del grupo de los continentales en concentración se debe probablemente al gran número de granos de polen que produce cada planta, el cual es mayor al número de estructuras que producen los organismos marinos, en especial los dinoflagelados. El grupo de mayor abundancia de los palinomorfos continentales fue el polen de angiospermas (ANG) (Promedio = 10,265.47; Máxima = 21,994.12 $\text{Esp}/\text{gr}_{\text{sed}}$), que representan el matorral costero y la biota desértica en las cercanías de Cuenca San Lázaro. Mientras que las gimnospermas (GIM) que son transportadas por vientos y representan bosques de coníferas tienen concentraciones menores, probablemente por no haber este tipo de biota en las cercanías. Como en el caso de los palinomorfos marinos, las máximas concentraciones se observan en 1973 a 1975; y bajas concentraciones de 1983 a 1985. Los Continentales tienen un comportamiento similar al de Angiospermas y presentan cambios casi simultáneos. En general, en estas dos columnas, como en el caso de los palinomorfos marinos, se observa un aumento gradual de 1971, hasta alcanzar las máximas concentraciones de 1973 a 1976.

Posteriormente hay una disminución gradual hasta las concentraciones más bajas de 1983 a 1986 y otro aumento gradual de 1986 a 1988. Por otro lado, las gimnospermas presentaron concentraciones mucho menores (Promedio = 785.70; Máxima = 1949.29 Esp/gr_{sed}), y su comportamiento es diferente, aunque también presentan concentraciones mínimas en el intervalo de 1983 a 1984, casi coincidente con el resto de los continentales.

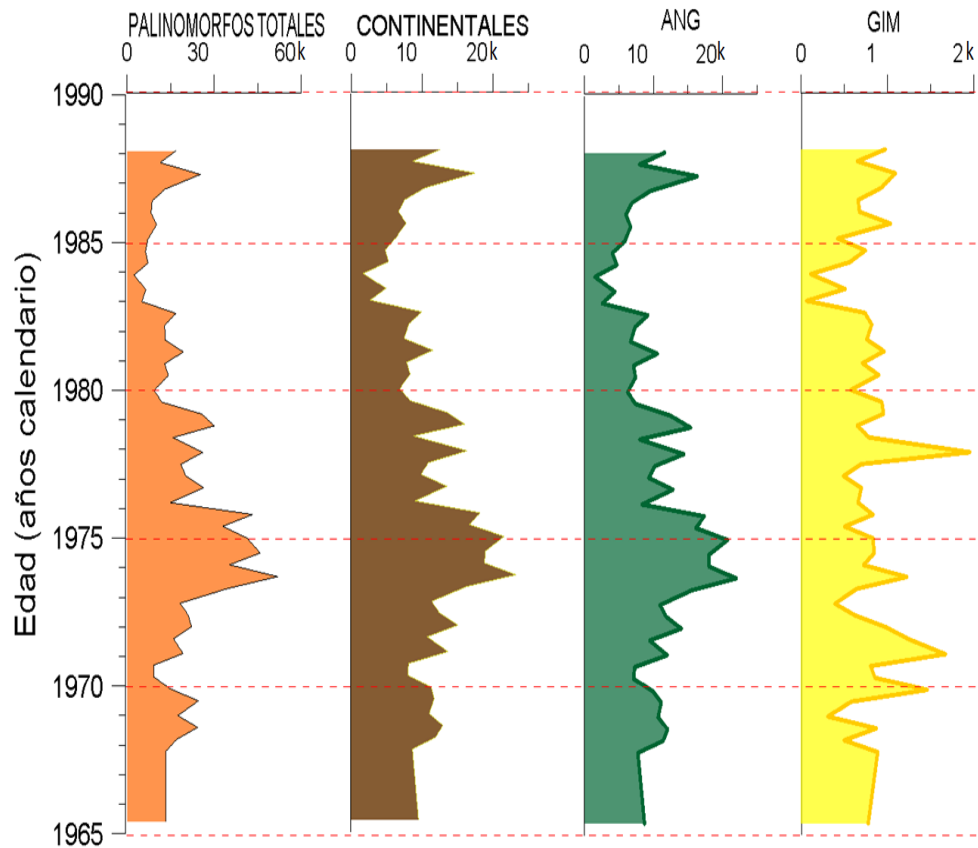


Figura 6 Concentraciones de palinomorfos Continentales (Esp*gr_{sed}⁻¹) y la concentración de polen de angiospermas y gimnospermas contra Edad en años calendario. Las líneas punteadas rojas indican quinquenios, como puntos de referencia. Notar que la concentración de polen de angiospermas es un orden de magnitud mayor que el polen de gimnospermas.

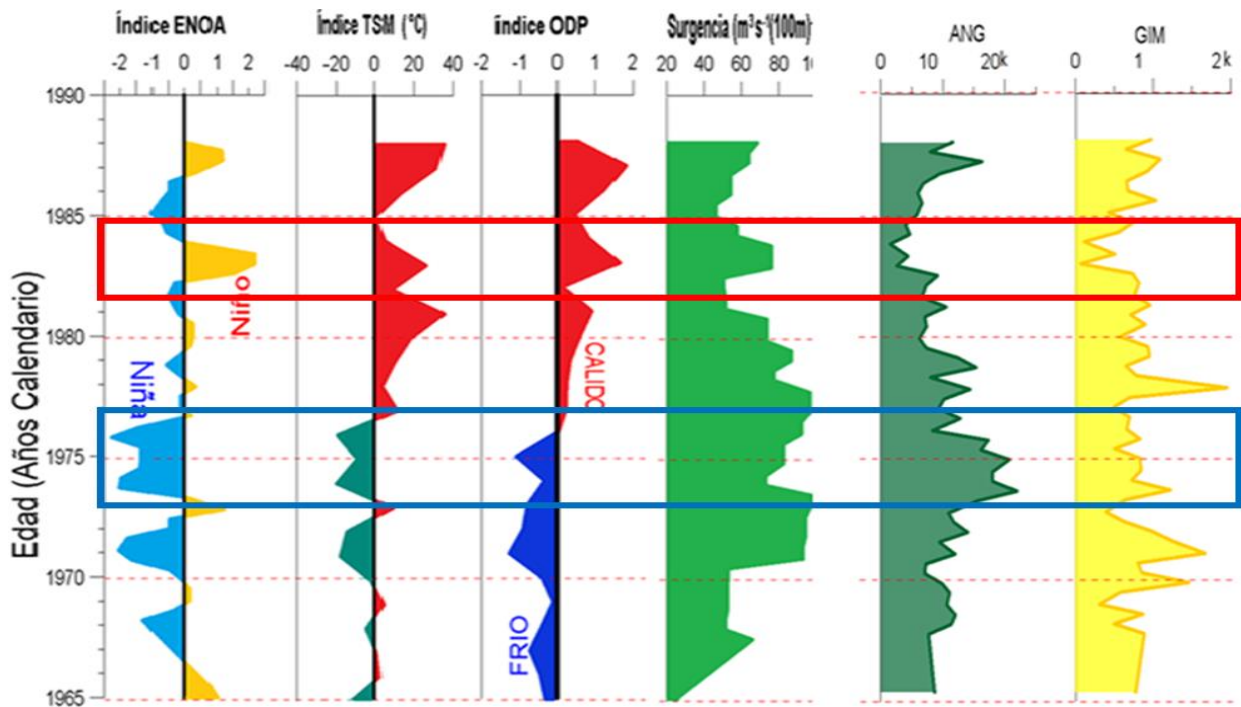


Figura 6A Relación entre los índices climáticos y Concentraciones de polinórfos Continentales ($\text{Esp} \cdot \text{gr}_{\text{sed}}^{-1}$) y la concentración de polen de angiospermas y gimnospermas contra Edad en años calendario. Las líneas punteadas rojas indican quinquennios, como puntos de referencia. Notar que la concentración de polen de angiospermas es un orden de magnitud mayor que el polen de gimnospermas.

3.2 Índices Climáticos

Las series de tiempo obtenidas de los índices climáticos (Figura 7) son coherentes y están coordinadas entre sí, especialmente las de ENOA, TSM, lluvia y ODP. Los valores de surgencia representan el volumen de agua sub-superficial que surge a la superficie en la línea de costa 100m mar adentro, no parecen armonizar con el resto de las variables climáticas. El intervalo analizado se puede subdividir en dos épocas caracterizadas por la fase del ODP registrada. De 1965 a 1976, el ODP se encontraba en fase fría y se registraron anomalías negativas de ENOA. Estas anomalías están caracterizadas por disminución de la TSM y de lluvia, lo que es típico de eventos La Niña. Un evento Niña fue especialmente intenso y de alta duración, y se registró de 1973 a 1976. Otros eventos similares en este intervalo son, uno mediano en 1971 y uno débil en 1968. Durante estos eventos también hay valores bajos de lluvia.

De 1976 a 1988 el índice ODP cambió a fase cálida. En esta época, se observan aumentos generales en la TSM y lluvia regional. En 1983, el índice de ENOA indica un evento El Niño intenso, mientras que en 1987 hubo otro de mediana intensidad. La lluvia refleja el evento intenso de 1983, pero no el de 1987.

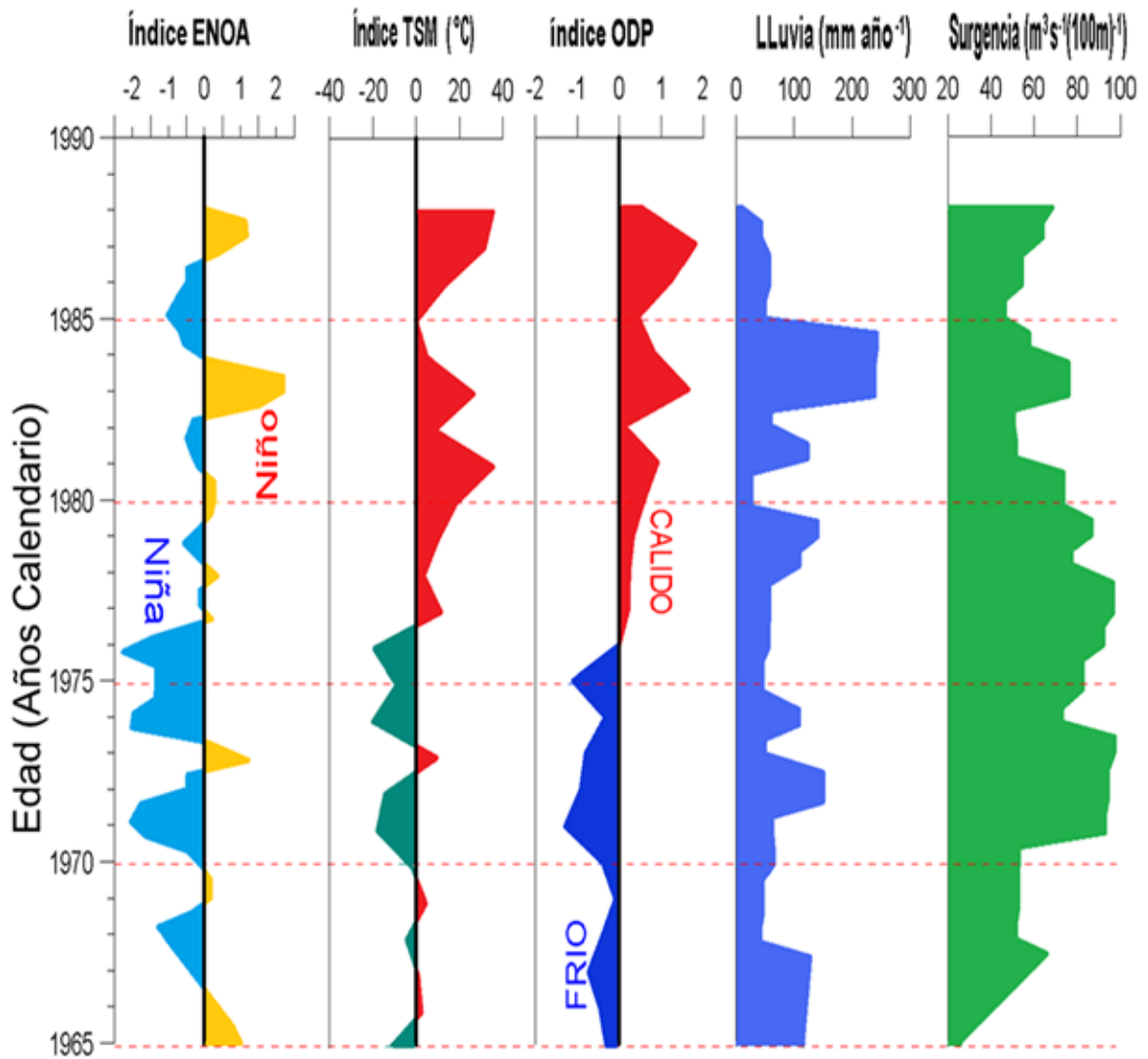


Figura 7. Índices climáticos del ENOA, TSM Y ODP, y parámetros de surgencias y precipitación de 1965 a 1990. Para datos de ENOA ([NOAA-ENOA](#)); Datos de Temperatura Superficial del Mar ([NASA-TSM](#)); Los datos de la Oscilación decadal del Pacífico (Jisao Washington-ODP); para los datos de precipitación ([CICESE-peaccBC-LLuvia](#)); Datos de surgencia costera (Laboratorio Ambiental de Pesca del Pacífico).

3.3 Análisis estadísticos

La Tabla 5 muestra los valores de correlación Pearson entre las variables palinológicas y los índices climáticos. Los valores significativos están resaltados en rojo. Estas relaciones también son evidentes en las concentraciones de polinomorfo marinos (Figura 5) y continentales (Figura 6). Como se mencionó anteriormente, los máximos de concentración que se presentan en los años de 1973 a 1976, corresponde a valores negativos en las anomalías de TSM y ENOA (Figura 7) y reflejan un evento Niña. Por otro lado, las mínimas concentraciones se presentan de 1983 a 1986 y corresponden a valores positivos los cuales indican evento Niño.

3.3.1 Correlaciones

Tabla 5. Las correlaciones significativas con un nivel de significancia $p < 0.05$ se muestran de color rojo. Las negrillas resaltan las correlaciones superiores a 0.50

	GIM	ANG	OT-MAR	D-HET	D-AUT	LLUV	SURG	ENOA	TSM	ODP
GIM	1.00									
ANG	0.37	1.00								
OT-MAR	0.20	0.88	1.00							
D-HET	0.07	0.84	0.94	1.00						
D-AUT	0.19	0.63	0.75	0.79	1.00					
LLUV	-0.33	-0.39	-0.22	-0.23	-0.11	1.00				
SURG	0.15	0.39	0.46	0.38	0.27	0.06	1.00			
ENOA	-0.29	-0.40	-0.37	-0.43	-0.38	0.26	-0.13	1.00		
TSM	-0.12	-0.38	-0.30	-0.38	-0.29	0.08	-0.22	0.53	1.00	
ODP	-0.19	-0.55	-0.49	-0.53	-0.39	0.22	-0.39	0.48	0.81	1.00

3.3.2 Análisis de agrupamiento

En el diagrama de agrupamiento se observan claramente dos grupos. El primero está indicado por el recuadro de color verde, en donde se observa una relación directa entre palinomorfos marinos, continentales y la surgencia costera. Esta relación indica el aporte de nutrientes a la zona fótica marina y humedad en forma de vapor de agua tierra dentro. El segundo grupo, señalado por el recuadro de color rojo, está asociado a cambios en la temperatura regional y global que promueve los cambios de presión atmosférica aumentando la dinámica océano atmosfera regional.

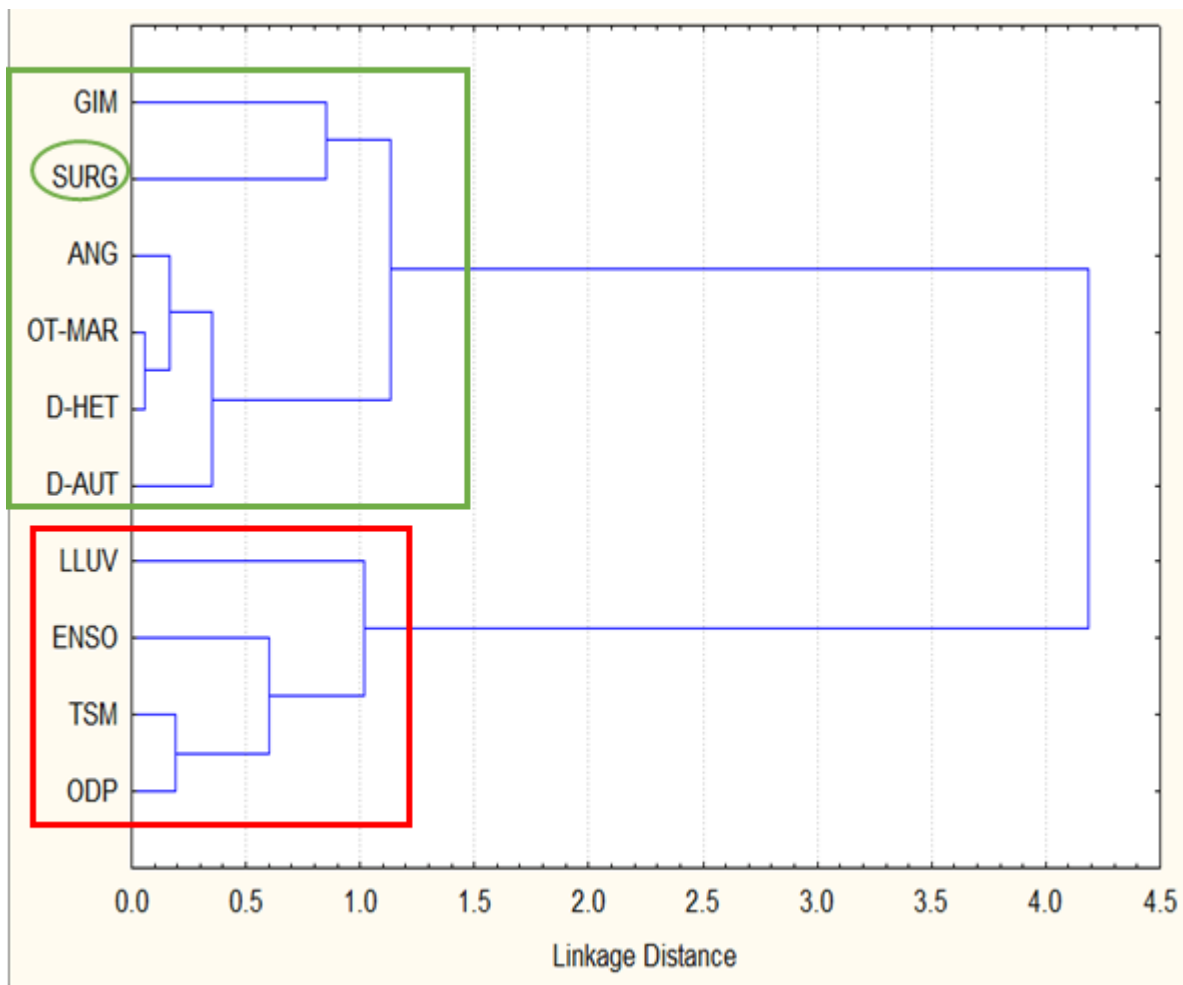


Figura 8 Análisis (“Cluster”) de agrupamiento, en modo Q. Diagrama de árbol de 10 variables se utilizó el método de Ward’s y correlación 1-Pearson r. Se forman dos grupos, el primero representa todas las variables bióticas asociadas a la surgencia (recuadro verde), y el segundo grupo está representado por los factores climáticos restantes (recuadro rojo).

3.3.3 Varianza explicada

En la (Tabla 6) se muestran las varianzas explicadas para cada componente. Esta tabla presenta un valor propio o raíz característica de la matriz del coeficiente de correlación de la matriz.

Tabla 6. Porcentaje de Varianza explicada y el porcentaje acumulado para cada componente.

	Componente 1	Componente 2
% de varianza explica	69.87	19.85
% Acumulado	69.8705	89.7159

En la (Tabla 7) se presentan los vectores asociados para cada variable, para posteriormente generar una combinación lineal (“factor loadings”) que proviene de las variables originales que proporcionan los componentes principales o factores y que explica la relación estadísticamente significativa que presenta la matriz estudiada.

3.3.4 Factor de carga

Tabla 7. Correlaciones entre factor y variable (Factor loadings) basado en la matriz original, Variables activas de color azul y suplementaria de color negro.

	Factor 1	Factor 2
GIM	-0.300651	0.948996
ANG	-0.920017	0.129020
OT-MAR	-0.964037	-0.096368
D-HET	-0.952125	-0.234705
D-AUT	-0.848997	-0.103234
*LLUV	0.282577	-0.283081
*SURG	-0.411950	0.028319
*ENOA	0.443054	-0.149024
*TSM	0.368353	-0.011674
*ODP	0.538260	-0.040299

3.3.5 Gráficos de porcentaje de varianza explicada

Con respecto a los resultados obtenidos en el análisis de componentes principales a la matriz de correlación. Y el porcentaje de varianza explicada que presenta cada componente para las variables activas (Figura 9). Podemos decidir cuantos componentes o factores retener para nuestro estudio. Con este criterio se decidió retener los dos primeros ya que explican el 69.87% y el 19.85% respectivamente, de la varianza y permiten una representación gráfica de dos dimensiones.

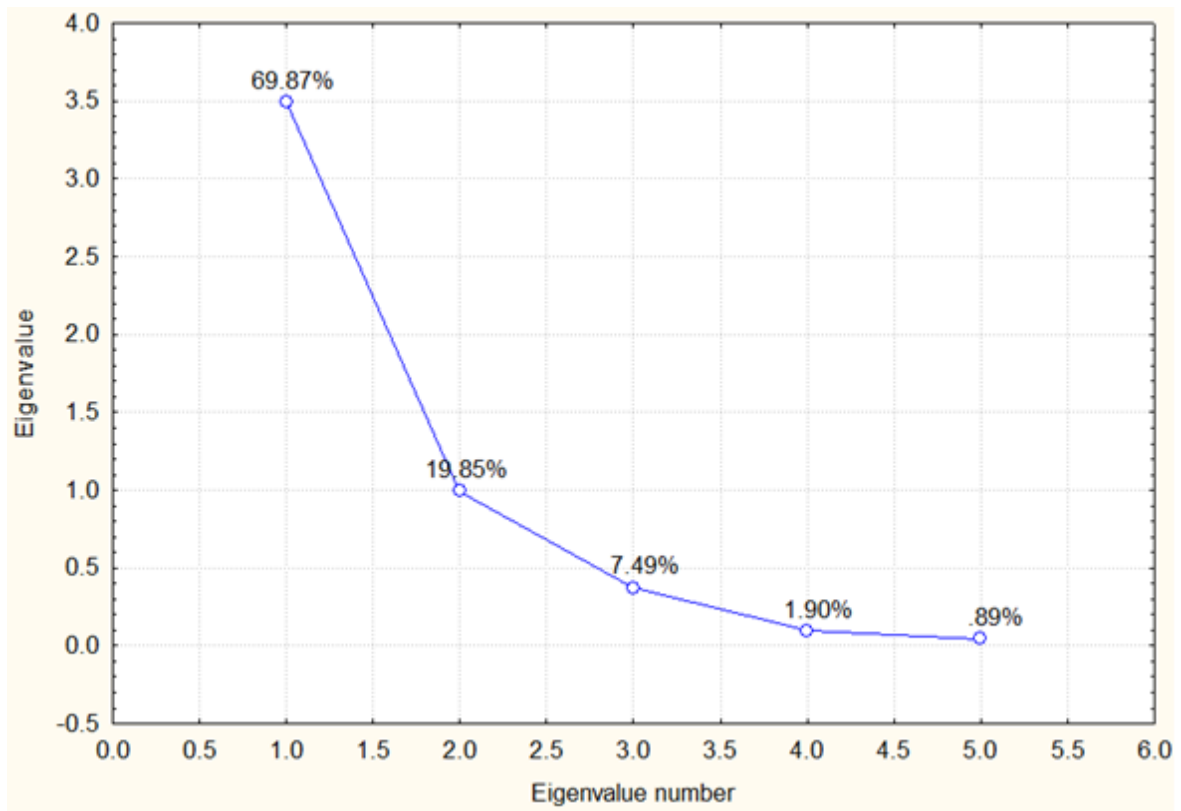


Figura 9. Gráfico de sedimentación con número de componentes y porcentaje de varianza explicada.

3.3.6 Círculo de correlación

Como los factores no son directamente observables, su denominación aunque subjetiva, se basa en la combinación lineal (“factor loading”) con las variables originales. La carga del factor o componente es la correlación que existe entre una variable original y un factor, obtenido por combinación lineal de las variables originales. En el círculo de correlación (Figura 10) se puede observar como las variables activas, o palinológicas (ANG, D-HET, OT-MAR y D-AUT) están correlacionadas directamente con la variable suplementaria, o climática (*SURG), la cual es inversamente proporcional a la TSM. Mientras que las variables climáticas, o suplementarias (*TSM, *ENOA, *ODP y *LLUV) muestran comportamiento inverso a las variables palinológicas y directo entre sí. El factor 1 con el 69.87% de varianza está sujeto a los cambios de temperatura y el factor 2 con el 19.85% está sujeto al aporte de nutrientes marinos y humedad continental que genera la surgencia costera.

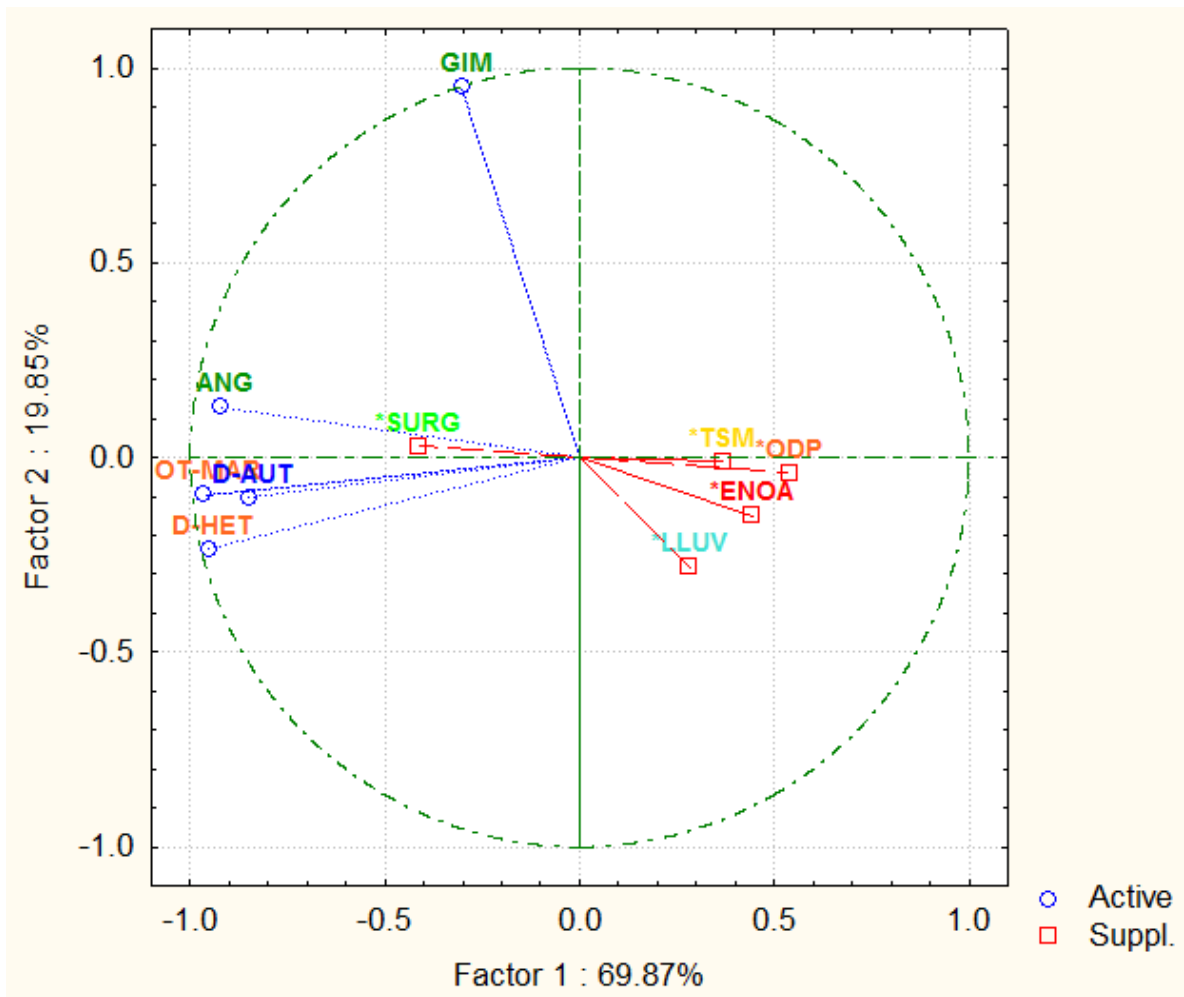


Figura 10. Círculo de correlaciones del análisis de componentes principales, el factor 1 en las abscisas (69.87%) y el factor 2 en las ordenadas (19.8%).

3.3.7 Comunalidades de las correlaciones

Las comunalidad, o coseno de la correlación (Tabla 8) es un valor que se obtiene para cada una de las variables originales, sumando las cargas de los factores retenidos con las variables para las que se calcula y expresa la proporción de varianza de las variables explicadas.

Tabla 8. Comunalidades basadas en las correlaciones.

	Desde Factor 1	Desde Factor 2
GIM	0.090391	0.990984
ANG	0.846430	0.863076
OT-MAR	0.929367	0.938654
D-HET	0.906543	0.961629
D-AUT	0.720796	0.731453
*LLUV	0.079850	0.159984
*SURG	0.169703	0.170505
*ENOA	0.196297	0.218505
*TSM	0.135684	0.135820
*ODP	0.289724	0.291348

En la (Figura 11) se realizó la “Rotación Varimax” con el fin de facilitar la interpretación del significado de los factores seleccionados y se lleva a cabo una rotación ortogonal. El objetivo de la rotación Varimax es conseguir que la correlación de cada una de las variables sea lo más próxima a 1 con sólo uno de los factores y próxima a cero con todos los demás. Se observa el agrupamiento de las variables hacia el factor 2 que están explicadas estadísticamente por la surgencia. El factor 1 aparentemente esta explicado por la temperatura.

Tabla 9. Porcentaje de Varianza explicada y el porcentaje acumulado con “Rotación Varimax” para cada factor

	Factor 1	Factor 2
% de varianza explica	47.66207	47.66207
% Acumulado	13.54656	61.20863

3.3.8 Análisis Factorial

El análisis factorial (Figura 11) simplifica la representación de las variables en dos dimensiones y muestra que las variables bióticas están relacionadas con las surgencias costeras que proporcionan las condiciones idóneas para la vida marina y la humedad requerida para las plantas vasculares tierra dentro, donde sus correlaciones son cercanas a 1 en todas las variables para un solo factor.

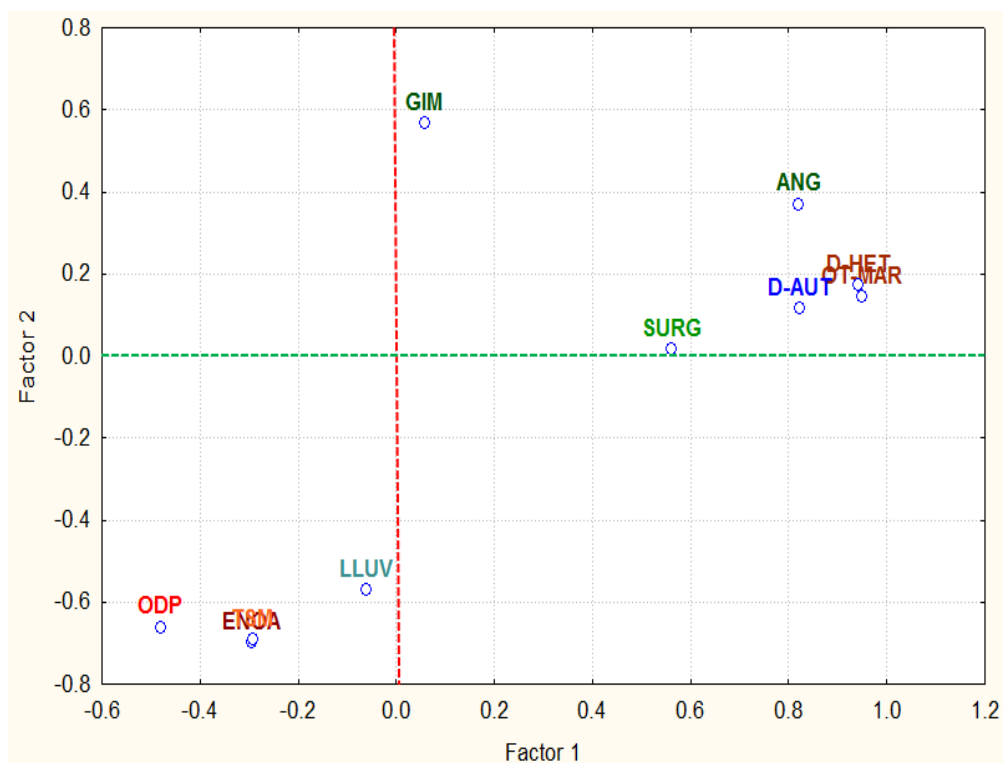


Figura 11 Análisis factorial: Factor de carga factor 1 vs factor 2, rotación: Varimax prima y extracción de los componentes principales.

Tabla 9. Factor de carga (Factor loading varimax) y extracción de los componentes principales, las cargas marcadas son > .70, Valores de la varianza explicada para el factor 1 y factor 2.

	Factor 1	Facto 2
GIM	0.057729	0.567371
ANG	0.820882	0.370019
OT-MAR	0.950900	0.144558
D-HET	0.941851	0.174212
D-AUT	0.822338	0.117147
*LLUV	-0.061396	-0.571862
*SURG	0.562872	0.015036
*ENOA	-0.294114	-0.698536
*TSM	-0.292558	-0.690849
*ODP	-0.479838	-0.661019
Varianza explicada	3.867646	2.253217

Tabla 10. Comunalidad de correlaciones aplicando “Rotación varimax”, extracción de componentes principales y R cuadrada múltiple. Para cada una de las variables.

	Desde factor 1	Desde factor 2	R ² Múltiple
GIM	.003	.325	.492
ANG	.673	.810	.856
OT-MAR	.904	.925	.935
D-HET	.887	.917	.941
D-AUT	.676	.689	.676
*LLUV	.003	.330	.344
*SURG	.316	.317	.346
*ENOA	.086	.574	.425
*TSM	.085	.562	.732
*ODP	.230	.667	.757

Capítulo 4

Discusión

El objetivo primordial de este estudio es determinar la relación que existe entre los conjuntos de palinomorfos y los cambios oceanográficos y climáticos regionales. Gracias a la alta resolución del muestreo (~0.5 años), esta relación se detecta a escala interanual y decadal en la cuenca San Lázaro. Los quistes de dinoflagelados y otros palinomorfos marinos y continentales son indicadores indirectos de cambios climáticos estacionales. Los palinomorfos marinos son sensibles a los cambios en temperatura superficial del mar y condiciones de surgencia; mientras que las concentraciones de polen y esporas reflejan las condiciones de temperatura y humedad continentales.

Los resultados más importantes en este estudio resaltan tres aspectos de la relación bioclimática. 1) Muestran primero la alta correlación entre las concentraciones de palinomorfos marinos heterótrofos y angiospermas, con los índices de ENOA, ODP, y TSM. 2) En seguida, exhiben homogeneidad y sincronización de los cambios de concentraciones en casi todos los conjuntos de palinomorfos. Esta sincronización evidencia la fuerte relación entre los palinomorfos marinos, especialmente los HET y OTR MAR, con las condiciones del TSM, ENOA y ODP. 3) También se observa la relación entre los palinomorfos continentales, especialmente las ANG, con las neblinas costeras (surgencias) y su desconexión con el índice de lluvias. Finalmente, 4) muestran la escasa relación entre la TSM y las especies termofílicas de dinoflagelados como son: especies calidas (*Stelladinium ssp.*, *Dubridinium spp.*, *Selenopemphix nephroides.*, *Quinquecuspis concreta.*, *Gymnodinium nolleri/microreticulatum.*, *Lejeunecysta oliva*). Especies frías *Ataxodinium ssp.*, *Islandinium minutum*.

4.1 Alta correlación de heterótrofos marinos y angiospermas con índices climáticos

La alta correlación estadística y semejanza gráfica que observamos entre las concentraciones de los palinomorfos marinos heterótrofos (D-HET y OT-MAR) y el polen de angiospermas (ANG), con los índices ENOA y ODP, se explica porque la combinación de lluvia, surgencias, ENOA, TSM y ODP modulan y controlan las abundancias de los distintos taxa marinos y algunos continentales. La influencia de los factores climáticos es particularmente evidente (Figura 5) en los valores máximos de concentración de taxas en el intervalo 1973 a 1976 (Niña y ODP negativo) y en los mínimos de 1983 a 1986, que corresponden a condiciones El Niño y el ODP positivo. Estos intervalos representan dos de los eventos Niña y Niño más intensos del siglo 20. Estas relaciones también se reflejan en los análisis de componentes principales (Figura 10) y factorial (Figura 11), donde las surgencias están relacionadas directamente con las abundancias de OT-MAR, D-HET y ANG.

Los dinoflagelados Gonyaulacales autótrofos (D-AUT) y gimnospermas (GIM) presentan correlaciones significativas, aunque medias con los índices ENOA TSM y ODP (Figura 10,11). La relación entre D-AUT y factores climáticos también se apoya en resultados de componentes principales. Los D-AUT no siguen el mismo patrón de abundancia que los D-HET (Figura 5) y solo presentan valores altos de 1974 a 1975, durante el evento Niña intenso y de larga duración, en condiciones negativas del ODP. Estos organismos no proliferan tanto durante las surgencias intensas, pues las diatomeas son más prolíficas. Mientras que los heterótrofos se alimentan de diatomeas o de cualquier otra forma autotrófica.

En relación a los palinomorfos continentales, en especial los ANG (Figura 6), tienen un comportamiento similar al de los palinomorfos marinos heterótrofos y presentan cambios casi simultáneos con estos. Ambos están relacionados estadísticamente con intervalos fríos de TSM y negativos del ENOA y ODP (Figura 7). Los ANG también presentan concentraciones bajas de 1983 a 1986, coincidentes con valores altos de TSM y condiciones positivas de ENOA y ODP.

4.2 Homogeneidad y sincronización de concentraciones palinológicas

Los resultados que muestran la homogeneidad y sincronización en los cambios de las concentraciones de palinomorfos marinos y continentales, indican que de 1965 a 1988 en cuenca San Lázaro, las comunidades biológicas representadas por estos palinomorfos responden en forma simultánea a un factor, o combinación de factores climáticos, tanto en el mar como en el continente. Las correlaciones estadísticas (Tabla 5) muestran valores significativos de medios a altos de todos los grupos marinos con los índices climáticos. Aunque los valores del índice de surgencias costeras están directamente relacionadas con la productividad primaria (Ortiz-Ahumada, 2015), estos valores representan principalmente la clorofila en los primeros 100 m a lo ancho de la costa. Debido a que la CSL está localizada a ~60 kilómetros de la costa, también es afectada por otros factores climáticos que se reflejan en los índices de ENOA y ODP, y no coincide exactamente con la serie de tiempo de las surgencias. Entre los palinomorfos continentales, las angiospermas (ANG) muestran un promedio de correlación más alta (>0.43) con que la surgencia que con la lluvia (-0.39). La excepción a esta homogeneidad son las gimnospermas (GIM), las cuales presentan una correlación negativa ligeramente más fuerte con la lluvia (-0.33), que con los índices marinos (SURG, ENOA, TSM y ODP), por lo cual, las gráficas de su comportamiento son diferentes. En el siguiente inciso se explican las posibles causas de esta diferencia de comportamiento.

4.3 Relación entre palinomorfos continentales y neblinas costeras

El aporte de palinomorfos continentales y terrígenos en esta región proviene en su mayoría de zonas áridas y semiáridas donde las lluvias son muy escasas y la temperatura terrestre es muy alta, por lo que el diferencial térmico cerca de la costa genera el aumento de los vientos locales, formando surgencias costeras de masas de agua subsuperficial de baja temperatura. Esto genera neblinas costeras que proporcionan la humedad necesaria para la producción primaria continental árida y semiárida.

Un gran porcentaje de la variabilidad en radiación absorbida por los organismos fotosintéticos (fPAR, por sus siglas en inglés) a lo largo de la Península de Baja California se puede explicar por cambios en la TSM. Valores mayores de fPAR están asociados con TSM más frías y explican los eventos de neblinas costeras o “capa marina”. Estos eventos se presentan cuando el vapor de agua entra en la atmosfera debido a la condensación que genera el cambio de temperatura. Esta fuente de humedad es muy importante para la productividad primaria terrestre a lo largo de la costa de la zona desértica de Baja California. En la región de la CC, la surgencia disminuye la TSM y genera valores altos de productividad primaria marina por disponibilidad de nutrientes, y también genera productividad terrestre debido a la humedad que proporciona la neblina costera (Reimer *et al.*, 2015).

4.4 Relación TSM y dinoflagelados

Las muestras estudiadas contienen quistes de las siguientes especies indicadoras de climas fríos (< 20°C): *Ataxodinium* ssp. e *Islandinium minutum*. También se observan taxa de aguas cálidas, tales como: *Stelladinium* ssp., *Dubridinium* spp., *Selenopemphix nephroides*, *Quinquecuspis concreta*, *Gymnodinium nolleri/microreticulatum* y *Lejeunecysta oliva*. Esta mezcla indica la naturaleza mixta de las aguas en la CSL. No obstante, la presencia casi continua de *Ataxodinium choane* indica la fuerte influencia de la CC. Nuestros datos indican una menor cantidad de especies indicadoras de ambientes cálidos (>20°C) en la parte superior del núcleo, de 1983-1988, intervalo que coincide con aumento de la TSM. Las abundancias de especies cálidas también aumentan cuando hay eventos de Niña en combinación con condiciones negativas del ODP.

Aunque el intervalo estudiado en CSL es muy corto para evaluar cambios decadales o centenarios. Nuestros resultados no coinciden con la reconstrucción indirecta de las variaciones oceanográficas y climáticas regionales que han sido propuestas en la cuenca Santa Barbara del sur de California, Estados Unidos. En esa cuenca, se ha documentado el aumento de taxa autotróficos, desde 1900, reflejando un aumento en las temperaturas superficiales del mar

durante el siglo XX (Bringué et al., 2014). Muestras de núcleo representando sedimentación en esta misma cuenca desde 1883 hasta 1992, muestran correspondencia entre grupos de dinoflagelados autótrofos (*Spiniferites* y *Alexandrium*) y altas temperaturas superficiales del mar (Prauss, 2002).

Es probable que la influencia subtropical que tiene la CSL afecté la distribución de taxa termófilos de tal manera que responden más marcadamente a los eventos de surgencias. En zonas altamente productivas como la costa oeste de Baja California, las diatomeas y los dinoflagelados heterótrofos proliferan en TSM bajas (Margalef, 1978). La variabilidad de diatomeas en muestras de núcleo en la CSL, indica una relación directa con las oscilaciones decadales del Pacífico durante los últimos 100 años (Esparza-Álvarez et al., 2007). Cuando las surgencias disminuyen, la turbulencia, los nutrientes y las diatomeas también disminuyen, mientras que la TSM y la estratificación de las capas superiores aumentan. En estas condiciones, los dinoflagelados autótrofos pueden competir exitosamente con las diatomeas y tienden a ser más abundantes (Alonso-Rodríguez and Ochoa, 2004). No obstante, esta relación no implica que los AUT proliferen en eventos Niño, cuando hay aumento en la TSM, solo que proliferan en las etapas tardías de los eventos Niña.

Capítulo 5

Conclusiones

Se demuestra una alta correlación entre las concentraciones de palinomorfos marinos heterotróficos y angiospermas, con los índices de ENOA, ODP y TSM. Los cambios en las concentraciones de palinomorfos marinos heterótrofos y polen de angiospermas, están moduladas por la misma combinación de factores climáticos. Los palinomorfos alcanzan concentraciones altas durante eventos Niña intensos, en fase fría del ODP; mientras que las concentraciones disminuyen durante eventos El Niño intensos y en fase cálida del ODP.

Los resultados muestran la homogeneidad y sincronización de los cambios en casi todos los conjuntos de palinomorfos, indicando que son afectados por la misma combinación de factores climáticos. El factor climático predominante son las surgencias que proveen de nutrientes al fitoplancton marino y humedad al desierto, lo que favorece la productividad de las angiospermas.

Se observó una relación directa entre las surgencias, los palinomorfos continentales y las neblinas costeras. Se observó la desconexión de los palinomorfos continentales y las lluvias. En las zonas áridas de Baja California, las surgencias costeras afectan a los organismos marinos y a los terrestres. Los organismos marinos son beneficiados por el aumento en la disponibilidad de nutrientes durante las surgencias, mientras que las angiospermas se humectan por las neblinas relacionadas directamente con las surgencias.

Hay una relación estrecha entre las condiciones oceanográficas mixtas de CSL y la combinación de tolerancias térmicas de las especies de dinoflagelados observados. Pero la presencia casi continua de especies de aguas frías (*Ataxodinium*) indica claramente el predominio de la CC.

Estos resultados palinológicos (Figura 5, 6 y 7) y los cambios en los índices ENOA, TSM y ODP, indican que en Cuenca San Lázaro, durante el intervalo estudiado, los taxa marinos heterótrofos y el polen de angiospermas tienden a disminuir por estar acoplados a la caída de las surgencias en el área de estudio.

Literatura citada

- Alonso-Rodríguez, R., and Ochoa, J.L. 2004. Hydrology of winter-spring “red tides” in Bahía de Mazatlan, Sinaloa, México. *Harmful Algae* 3(2), 163-171.
- Anderson, G.R., Barker, S.C. 1998. Inference of Phylogeny and Taxonomy within the Didymozoidae (Digenia) from the second internal transcribed spacer (ITS2) of ribosomal DNA. *Systematic Parasitology*. October 1998, Volume 41, Issue 2, pp 87-94.
- Anderson, R. M., D. M. Gordon, M. J. Crawley, and M. P. Hassell. 1982. Variability in the abundance of animal and plant species. *Nature*, (Lond.) 296:243-248.
- Banda-Bermudez, 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. Ensenada, B.C. 88 pp.
- Bakun, A. 1990. Global climate change and intensification of coastal ocean upwelling. *Science*, 247(4939), 198-201.
- Behl, R.J., Kennett, J.P. 1996. Brief interstadial events in the Santa Barbara basin, NE Pacific, during the past 60 kyr. *Nature*, 379, 243 – 246, (18 January 1996); doi:10.1038/379243a0.
- Benninghoff, W.S. 1962. Calculation of pollen and spores density in sediment by addition of exotic pollen in unknown quantities. *Pollen Spores*,. 4, 332-333.
- Biondi, F., Gershunov, A., Cayan, D. 2001. North Pacific Decadal Climate Variability since 1661.
- Bringué, M., Pospelova, V., and Field, D. 2014. High resolution sedimentary record of dinoflagellate cysts reflects decadal variability and 20th century warming in the Santa Barbara Basin. *Quaternary Science Reviews*, 105, 86-10.
- Calvert, S.E. 1964. Factors affecting distribution of laminated sediments in the Gulf of California, En: T.H. van Andel y G. Shor (Eds.). The marine geology of the Gulf of California. *American Association of Petroleum Geologist, Memoir No. 3*. p 311-330.
- 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. *Rev. Chil. Hist. Nat.* v.82, n.1.
- Cross, B.E. 1966. *J.Chem.Soc.*, C.501-504.
- CICESE-peaccBC; (2016). Base de datos climáticos del noroeste de México. Recuperado el 2 de agosto e 2016 de: <http://peac-bc.cicese.mx/datosclim/dcbc.php>
- Donegan, D. y Schrader, J.H. 1982. Biogenic and abiogenic components of laminated hemipelagic sediments in the central Gulf of California. *Marine Geology*, vol. 48, p 215-237.

- Durazo, R.; Gaxiola-Castro, G., Lavaniegos, B.E., Castro-Valdéz, R., Gómez-Valdés, J. & Mascarenhas Jr., A.S. 2005. Oceanographic conditions west of the Baja California coast, 2002–2003: a weak El Niño and subarctic water enhancement. *Ciencias Marinas*, 31, 3, 537–552, 0185-3880.
- de Vernal, A. and Mudie, P. J. 1992a. Pliocene and quaternary dinoflagellate cyst stratigraphy in the Labrador sea: Paleoenvironmental implications. En: Head, M. J. y Wrenn, J. H. (Eds). Neogene and Quaternary Dinoflagellate Cyst and Acritarchs. *American Association of Stratigraphic Palynologist Foundation*. Dallas. 329-346.
- de Vernal, A., Mudie, P. J., Harland, R., Morzadec-Kerfourn, M. T., Turon, J.-L., and Wrenn, J. H. 1992b. Quaternary organic-walled dinoflagellate cysts of the North Atlantic ocean and adjacent seas: Ecostratigraphy and biostratigraphy. En: Head, M. J. y Wrenn, J. H. (Eds). Neogene and Quaternary Dinoflagellate Cyst and Acritarchs. *American Association of Stratigraphic Palynologist Foundation*. Dallas. 289-328.
- Edwards, L., and Andrew, V. 1992. Distribution of selected dinoflagellate cysts in modern marine sediments. En Head, M. J. y Wrenn, J. H. (eds). Neogene and Quaternary Dinoflagellate Cyst and Acritarchs. *American Association of Stratigraphic Palynologist Foundation*. Dallas. p 259-288
- Emery, K.O. y J, Hülsemann. 1962. The relationship of sediments, life and waters in a marine basin. *Deep Sea Research*. (8):165-180 p.
- 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 p.
- 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, División de Oceanología. 3-11 pp.
- Fensome, R.A., Mac, Era R.A. and Williams, G.L. 2008: DINOFLAJ2, Version 1. *American Association of Stratigraphic Palynologists, Data Series no. 1*, 941.
- 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, División de Ciencias de la Tierra. 105 pp.
- González-Rodríguez, E., Trasviña-Castro, A., Gaxiola-Castro, G., Zamudio, L., and Cervantes-Duarte, R. 2012. Net primary productivity, upwelling and coastal currents in the Gulf of Ulloa, Baja California, México. *Ocean Science*, 8(4), 703-711.
- Gómez, F., Moreira, D., López-García, P. 2011. Advances on the study of dinoflagellates (Dinophyceae) with the molecular phylogeny. *Hidrobiológica* vol. 21, no. 3, 2011, pp. 343-364.
- Gómez, F. 2012. A quantitative review of the lifestyle, habitat and trophic diversity of dinoflagellates (Dinoflagellata, Alveolata). *Systematics and Biodiversity*, 10 (3), 267-275.

- Harland, R. 1994. Dinoflagellate cysts from the Glacial/Postglacial transition in the northeast Atlantic Ocean. *Palaeontology*, 37 (1994) 263–283.
- Hickey, B.M. 1998. Coastal Oceanography of western North America from the tip of Baja California to Vancouver Island Coastal Segment (8,E). En: A.R. Robinson y Kenneth H. Brink (ed). *The Sea*. Vol. II. Chapter 12, p 345-395.
- Holzwarth, U et al. (2007): Distribution of organic-walled dinoflagellate cysts in shelf surface sediments of the Benguela upwelling system in relationship to environmental conditions. *Marine Micropaleontology*, 64(1-2), 91-119.
- Karpuz, N. and Jansen, E. 1992. A High-resolution diatom record of the last deglaciation from the Norwegian Sea: Documentation of rapid climatic changes. *Paleoceanography*. 7(4): 499-520.
- Kemp, A.E.S. and Baldauf, J.G. 1993. Vast Neogene laminated diatom marne deposits from the Eastern Equatorial Pacific Ocean. *Nature*. 362 (6416):141-144.
- Kemp, A.E.S. 1996. Laminated sediments as palaeo-indicators. En: Kemp AES (ed) *Palaeoclimatology and palaeoceanography from laminated sediments: vii-xii*. *Geological Society*, Special Publication 116. The Geological Society London, London, United Kingdom.
- Kemp, A.E.S. 2003. Evidence for abrupt climate changes in annually laminated marine sediments. *Philosophical Transactions the Royal Society* 1851-1870.

[Laboratorio Ambiental de Pesca del Pacífico. Recuperado el 15 de julio 2016](#)

- Linsley, L. Ren, R.B. Dunbar, S.S. Howe El Niño Southern Oscillation (ENSO) and decadal-scale climate variability at 10° N in the eastern Pacific from 1893 to 1994: A coral-based reconstruction from Clipperton Atoll *Paleoceanography*, 15 (2000), pp. 322–335
- Leventer, A., Domack, E.W., Ishman, S.E., Brachfeld, S.A., McClennen, C.E. y Manley, P. 1996. Productivity cycles of 200-300 years in the Antarctic Peninsula region understanding linkages among the sun, atmosphere, oceans, sea ice and biota. *Geol. Soc. Am. Bul.*, 108: 1626-1644.
- 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), 104-123.
- Martinez-Hernandez y Hernandez- Campos 1991. Distribución de quistes de dinoflagelados y acritarcas en sedimentos holocénicos del Golfo de California. Universidad Autónoma de México, Instituto de Geología, p132.
- Matsuoka, K. 1985. Organic-walled dinoflagellate cysts from in surface sediments of Nagasaki Bay and Senzaki Bay, West Japan. *Bulletin of the Faculty of Liberal Arts. Nagasaki University. Natural Science*. 28: 21-115.
- Matsuoka, K. 1987. Organic-walled dinoflagellate cysts from in surface sediments of Akkeshi Bay and Lake Sarona, North Japan. *Bulletin of the Faculty of Liberal Arts. Nagasaki University. Natural Science*. 28: 35-123.

- Matsuoka, K. 1992. Species diversity of modern dinoflagellate cysts in surface sediments around the Japanese islands. In: Head, M.J. and J.H. Wrenn (eds.). *Neogene and Quaternary dinoflagellate cysts and acritarchs*, 33-53. AASP Foundation.
- Matsuoka, K., and Fukuyo, Y., 1994. Geographical Distribution of the Toxin Dinoflagellate *Gymnodinium catenatum* Graham in Japanese Coastal Waters. *Botanica Marina*. 37: 495-503.
- McCarthy, S.A., Laws, E.A., Estabrooks, W.A., J.H., Bailey-Brock y E.A., Kay. 2000. Intra-annual variability in Hawaiian shallow-water, soft-bottom macrobenthic communities adjacent to a eutrophic estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 50: 245-258.
- Marret, F., de Vernal, A., Benderra, F., and Harland, R. 2001. Late Quaternary sea-surface conditions at DSDP Hole 594 in the southwest Pacific Ocean based on dinoflagellate cyst assemblages. *Journal of Quaternary Science*, 16(7), 739-751.
- Margalef, R. 1978. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanol. Acta* 1: 493-509.
- Maturana, J., Bello, M., & Manley, M. (2004). Antecedentes históricos y descripción del fenómeno El Niño, Oscilación del Sur. *Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile*, Departamento de Oceanografía, 1-15.
- McMinn, A. 1992. Neogene dinoflagellate distribution in the Eastern Indian Ocean. From leg 123, Site 765. In proceedings of the Ocean Drilling program, Scientific Result, Leg 12 F.M Gradstein et al. (eds) College Station, Texas: Ocean Drilling Program, 429-41.
- Morzadec-Kerfourdn, M. T. 1992. Estuarine dinoflagellate cyst among oceanic assemblages 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, M. J., Talyzina, M, N. 1998. Biochemical Evidence for Dinoflagellate Ancestors in the Early Cambrian. *Science*. Vol. 281 1168-1170.
- Morquecho, L., and Lechuga-Devéze, C. H., 2003. Dinoflagellate Cysts in Recent Sediments from Bahía Concepción, Gulf of California. *Botanica Marina*. 46(2): 132-141.
- Mudie, P.J., 1992. Circum-arctic Quaternary and Neogene marine palynofloras: paleoecology and statistical analysis. In: M.J. Head and L.FI. Wrenn (Editors), *Neogene and Quaternary Dinoflagellate Cysts and Acritarchs*. Am. Assoc. Stratigr. Palynol. Found. Dallas, TX, pp. 347-390.
- Mudie, P.J., Rochon, A., Levac, E. 2002. Palynological record of red tide-producing species in Canada: past trends and implications for the future, *Palaeogeog. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 180: 151-186.
- Ortiz-Ahumada, J. C. 2015. Variación espacial y temporal de la biomasa y producción fitoplanctónica frente a Cabo San Lázaro y Cabo San Lucas, B. C. S. Tesis de Maestría en Ciencias, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. p 49.

- Price, R.I. Alfaro, K.J. Brown, M.D. Flannigan, R.A. Fleming, E.H. Hogg, M.P. Girardin, T. Lakusta, M. Johnston, D.W. McKenney, J.H. Pedlar, T. Stratton, R.N. Sturrock, I.D. Thompson, J.A. Trofymow, L.A. Venier 2013. Anticipating the consequences of climate change for Canada's boreal forest ecosystems *Environ. Rev.*, 21 (2013), pp. 322–365.
- Prauss G. 2002. Freuds problem mit dem Unbewufsten, in *Persktiven der transzendentalphilosophie* (Hg. R. Hilttscher, A. Georgi), Freiburg. München.
- Peña-Manjarrez, J. L., Gaxiola-Castro, G., Helenes-Escamilla, J., Orellana-Cepeda, E., 2001. Cysts of *Lingulodinium polyedrum*, red tide producing organism in the Todos Santos Bay (winter-spring, 2000). *Ciencias Marinas*. 27(4): 543-558.
- Poloczanska, E.S., Brown, C.J., Sydeman, W.J., Kiessling, W., Schoeman, D.S., P.J., Moore, Brander, K., Bruno, J.F., Buckley, L.B., Burrows, M.T., Duarte, C.M., Halpern, B.S., Holding, J., Kappel, C.V., O'Connor, M.I., Pandolfi, J.M., Parmesan, C., Schwing, F., Thompson S.A., Richardson A.J. 2013. Global imprint of climate change on marine life. *Nature Climate Change*. 3, 919–925.
- Pospelova, V., Pedersen, T. F., and de Vernal, A. 2006. Dinoflagellate cysts as indicators of climatic and oceanographic changes during the past 40 kyr in the Santa Barbara Basin, southern California. *Paleoceanography*. 21 (2).
- Pospelova, V., de Vernal, A., and Pedersen, T. F. 2008. Distribution of dinoflagellate cysts in surface sediments from the northeastern Pacific Ocean (43-25° N) in relation to sea-surface temperature, salinity, productivity and coastal upwelling. *Marine Micropaleontology*, 68(1), 21-48.
- Radi, T., y 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 Paleobotanic and Palynology*, 128, 81-2) 169.
- Reimer, J. J., Vargas, R., Rivas, D., Gaxiola-Castro, G., Hernandez-Ayon, J. M., and Lara-Lara, R. 2015. Sea surface temperature influence on terrestrial gross primary production along the southern California Current. *PLoS ONE*, 10(4). Public Library of Science.
- Rochon, A., Eynaud, F., Vernal, A. 2008. Dinocysts as tracers of hydrographical conditions and productivity along the ocean margins: Introduction. Elsevier. *Marine Micropaleontology*. v.68. p.1-5.
- Shaozhi, M. y Harland, R. 1993. Quaternary organic-walled dinoflagellate Cysts from the South China sea an their paleoclimatic significance. *Palynology* 17:47-65. Dallas.
- 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*. *Cienc. Tecnol. Mar*, 34 (1-2).
- Soutar, A., S.R. Jonson, S.R., and Baumgartner, T.R.. (1981). In Search of modern analogs to the Monterey Formation. En: *The Monterey Formation and Related Siliceous Rocks of California. The Western Equatorial Pacific: mixing rate vs. nutrient concentrations. Soc. of Econom. Paleont. And Mineralog.* 123-147 p.

- Stockmarr, J., 1971. Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen Spores*, v. 13, p. 615-621.
- Taucher, J., Oschlies, A. 2011. Can we predict the direction of marine primary production change under global warming. *Geophysical Research Letters*, Vol. 38, L02603, 2011.
- Traverse, A. (1988). *Paleopalynology*. (pp. 1-600).Unwin Hyman.
- Van Geen, A., Zheng, Y., Versteeg, R., Stute, M., Horneman, A., Dhar, R., Steckler, M., Gelman, A., Small, C., Ahsan, H., Graziano, J.H., Hussain, I. and Ahmed, K.M. 2003. Spatial variability of arsenic in 6000 tube wells in a 25 km² area of Bangladesh. *Water Resources Research* 39: doi: 10.1029/2002WR001617. issn: 0043-1397.
- Vargas, A.C., Martinez, A.R., Cuevas, L.A., Pavez, M.A., Cortez, C., González, H.E., Escribano, R., Daneri, G. 2007. The relative importance of microbial and classical food webs in a highly productive coastal upwelling área. *Limnol. Oceanogr.*, 52(4), 2007, 1495–1510.
- Verleye, T., Louwye, S. 2010 Dinoflagellate abundance in ODP Site 202-1233. doi:10.1594/PANGAEA.815985, *In supplement to*: Verleye, T; Louwye, S (2010): Late Quaternary environmental changes and latitudinal shifts of the Antarctic Circumpolar Current as recorded by dinoflagellate cysts from offshore Chile (41°S). *Quaternary Science Reviews*, 29(7-8), 1025-1039, doi:10.1016/j.quascirev.2010.01.009
- Wood, G. D., Gabriel, A. M., Lawson, J. C. 1996. Palynological techniques processing and microscopy. *In*: J. Jansonius & D. C. McGregor. (eds.) *Palinology: Principles and applications*. American Associations of Stratigraphic Palynologists Foundation. pp. 29-50.
- Zhang, Y., Wallace, J.M. and Battisti, D.S. (1997). ENSO-like interdecadal variability: 1900-93. *Journal of Climate*, 10, 1004-1020.
- Zippi, P.A. 1992. Dinoflagellate cyst stratigraphy and climate fluctuations in the 50astern North Atlantic during the last 150,000 years en: M.J. Head, J.H. Wrenn (Eds.), *Neogene and Quaternary dinoflagellate cysts and acritarchs*. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, Dallas, 1992, pp. 55–68.
- Zonneveld, K.A.F., and Pospelova, V. 2015. A determination key for modern dinoflagellate cysts. *Palynology*, 39(3), 387-409.