

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



---

**Programa de Posgrado en Ciencias  
en Ciencias de la Tierra con orientación en  
Geociencias Ambientales**

---

**100 años de Dinoflagelados y cambios Paleoceanográficos en  
Cuenca Magdalena, Baja California Sur**

Tesis

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

Presenta:

**José Rigel Castañeda Quezada**

Ensenada, Baja California, México  
2016

Tesis defendida por

**José Rigel Castañeda Quezada**

y aprobada por el siguiente Comité

---

**Dr. Javier Helenes Escamilla**  
Director de Tesis

**Dr. Juan Carlos Herguera García**

**Dra. María Clara Arteaga Uribe**



---

**Dr. Juan García Abdeslem**  
Coordinador del Posgrado en Ciencias de la Tierra

---

**Dra. Rufina Hernández Martínez**  
Directora de Estudios de Posgrado

## Resumen en español

---

Resumen de la tesis que presenta **José Rigel Castañeda Quezada** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ciencias de la Tierra con orientación en Geociencias Ambientales.

### **100 años de Dinoflagelados y cambios Paleoceanográficos en Cuenca Magdalena, Baja California Sur**

Resumen aprobado por:

---

Dr. Javier Helenes Escamilla  
Director de Tesis

Se presenta parte de la reconstrucción histórica de las condiciones oceanográficas y climáticas del margen del Pacífico en Baja California Sur, en los últimos 100 años. Esta reconstrucción se basa en variaciones de dinoflagelados y otros palinomorfos en sedimentos marinos laminados y su relación con cambios ambientales. Se analizaron 51 muestras de un núcleo tomado de la Cuenca Magdalena, Baja California Sur, que representan sedimentación de 1909 a 2009. Esta cuenca de fondo anóxico está influenciada desde el norte por la Corriente de California de aguas templadas y desde el sur por la Corriente Norecuatorial de aguas cálidas. Se comparan los cambios en las abundancias y composición taxonómica de los conjuntos palinológicos con registros regionales instrumentales e Índices de Surgencias Costeras (ISC; NOAA), Temperatura Superficial del Mar (ITSM; GISTEMP) y lluvia (CICESE-peaccBC). Los resultados confirman la influencia oceanográfica mixta en la cuenca, y reflejan el calentamiento de la TSM, sugiriendo una tropicalización regional más aguda desde ~1990. También se documenta una correlación significativa de dinoflagelados heterótrofos con la ITSM (0.6-0.7) y en menor grado (0.4-0.5) con el ISC, evidenciando la posición de la cuenca a ~60 km de la costa. En particular el dinoflagelado *Selenopemphix*, presenta una correlación (0.54) con la ITSM y (0.52) con el ISC. Otros heterótrofos marinos como los copépodos también muestran correlación (0.71) con la ITSM. Los dinoflagelados autótrofos se relacionan significativamente, casi por igual con la ITSM (0.37) y con el índice de SC (0.42). Por otra parte, las concentraciones de polen y esporas presentan una relación significativa (-0.30 a -0.52) con la ITSM y el polen de angiospermas no presenta correlación con la lluvia en la región. Estas relaciones se confirman con los resultados de análisis factorial (AF) y componentes principales (CP), lo cual indica la importancia de las neblinas costeras provocadas por los eventos de surgencia para la humectación de la biota en un ambiente desértico como el de Baja California Sur. Resultados de AF y CP sugieren una relación del polen de gimnospermas y las esporas con la lluvia.

**Palabras clave:** Dinoflagelados heterótrofos, Surgencias costeras, Dinoflagelados autótrofos, Temperatura superficial del mar, Calentamiento actual.

## Resumen en inglés

---

Abstract of the thesis presented by **José Rigel Castañeda Quezada** as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Earth Science with orientation in Environmental Geoscience.

### **100 years of Dinoflagellates and Paleoceanographic changes in Basin Magdalena, Baja California Sur**

Abstract approved by:

---

Dr. Javier Helenes Escamilla  
Thesis Director

Part of the oceanographic and climatic reconstruction of the Pacific margin of Baja California Sur, from 1909 to 2009 is presented here. This reconstruction is based on the changes shown by the dinoflagellates and other palynomorphs from 51 samples from a core taken in the Magdalena Basin. The anoxic bottom of this basin contains laminated sediments, and is influenced by the cool northern waters of the California Current and southern warm waters of the Norequatorial Current. Changes in taxonomic composition and abundances of the palynological assemblages are compared to regional measurement records and Indexes of Coastal Upwelling (CUI; NOAA), Sea Surface Temperature (SSTI; GISTEMP) and rainfall (CICESE-peaccBC). Results illustrate the mixed regional oceanographic characteristics, and reflect the SST warming, suggesting a stronger regional tropicalization from ~1990. Results show significant correlations of heterotrophic dinoflagellates with SSTI (0.6-0.7) and in minor degree with CUI (0.4-0.5), verifying the position of the basin at 60 km from the shore. In particular, the dinoflagellate *Selenopemphix* presents (0.54) correlation with SSTI, and (0.52) with CUI. Other heterotrophic marine palynomorphs like the copepods, also show a correlation (0.71) with SSTI. Autotrophic dinoflagellates are correlated significantly almost equally to SSTI (0.37) and to CUI (0.42). In addition, concentrations of pollen and spores show a significant correlation (-0.30 a -0.52) with SSTI, while angiosperm pollen does not present any significant correlation to regional rainfall. These relations are confirmed by results from factorial analyses (FA) and principal components (PC), indicating the importance that upwelling related coastal fog has to provide humidity to desert regions like those in Baja California Sur. Results from FA and PC suggest a relation of gymnosperm and spores to rainfall.

**Keywords:** Heterotrophic dinoflagellates, Coastal upwelling, Autotrophic dinoflagellates, Sea surface temperature, Current warming.

## Agradecimientos

---

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. En especial al programa de posgrado de la División de Ciencias de la Tierra.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por darme el beneficio económico de manutención y colegiatura, a través de la beca que me fue otorgada (338057).

A los integrantes del comité de tesis, por colaborar activamente sobre mi formación y sobre mi trabajo.

A la técnico del laboratorio de micropaleontología del departamento de Geología, Oc. Edna Collins, colaborando siempre y apoyando al presente trabajo.

Al Ing. Juvenal A. León Robles, por su ayuda en la programación del contador de teclas.

A mis compañeros de laboratorio por el enorme esfuerzo para colaborar y sacar el trabajo.

Al Dr. Javier Helenes y Martha González, no solo el resguardo académico, sino el humano.

## Tabla de contenido

---

<b>Resumen en español</b> .....	<b>ii</b>
<b>Resumen en inglés</b> .....	<b>iii</b>
<b>Agradecimientos</b> .....	<b>iv</b>
<b>Lista de figuras</b> .....	<b>vii</b>
<b>Lista de tablas</b> .....	<b>ix</b>
<b>Capítulo 1. Introducción</b> .....	<b>1</b>
1.1 Sedimentos laminados .....	1
1.2 Dinoflagelados.....	2
1.3 Hipótesis y objetivos .....	4
1.3.1 Hipótesis.....	4
1.3.2 Objetivo.....	5
1.4 Antecedentes .....	5
1.4.1 Dinoflagelados y el clima.....	5
1.4.2 Características oceanográficas regionales .....	7
1.4.3 Surgencias y temperatura superficial del mar .....	8
<b>Capítulo 2. Materiales y Métodos</b> .....	<b>12</b>
2.1 Características del núcleo extraído .....	12
2.2 Procesamiento palinológico .....	16
2.3 Análisis microscópico .....	17
2.4 Evaluación estadística .....	18
2.4.1 Abundancia absoluta.....	19
2.5 Comparación de resultados .....	19
2.5.1 Índices regionales climáticos.....	20
2.5.2 Análisis multivariado .....	21
<b>Capítulo 3. Resultados</b> .....	<b>22</b>
3.1 Análisis palinológico .....	22
3.2 Comparación de resultados y análisis estadístico.....	24
3.3 Abundancia absoluta.....	25

3.3.1 Palinomorfos totales .....	25
3.3.2 Palinomorfos continentales .....	26
3.3.3 Palinomorfos marinos .....	27
3.3.4 Dinoflagelados.....	29
3.3.5 Dinoflagelados autótrofos.....	30
3.3.6 Dinoflagelados heterótrofos .....	34
3.3.7 Copépodos .....	38
3.3.8 Palinomorfos continentales .....	39
3.3.9 Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) y El Niño Oscilación del Sur (ENOS).....	42
3.4 Análisis multivariado .....	44
3.4.1 Análisis multivariado de palinomorfos continentales.....	47
3.4.2 Análisis multivariado de dinoflagelados.....	49
<b>Capítulo 4. Discusiones .....</b>	<b>53</b>
4.1 Palinomorfos marinos y aumento en la TSM .....	53
4.2 Productividad marina y TSM .....	54
4.3 Productividad marina, ODP y ENOS .....	56
<b>Capítulo 5. Conclusiones .....</b>	<b>57</b>
<b>Literatura citada .....</b>	<b>58</b>

## Lista de figuras

---

Figura		Página
1	Batimetría y localización del núcleo MAGD09-01MC3 en cuenca Magdalena, B.C.S .....	4
2	Corrientes Oceánicas en la zona de extracción del núcleo MAGD09.....	8
3	TSM Baja California Sur .....	10
4	Promedio de temperatura media anual (1902-2011).....	11
5	Núcleo MAGD09-01MC3.....	12
6	<b>A</b> – Valores de $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ vs. profundidad de las muestras analizadas. <b>B</b> – Regresión lineal de las dataciones.....	14
7	Concentración de Palinomorfos Continentales; Marinos, e índices ambientales.....	26
8	Comparación de PM (Marinos), Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).....	28
9	Comparación de la concentración de Dinoflagelados, Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).....	29
10	Comparación de la concentración de dinoflagelados Autótrofos, Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).....	31
11	Concentración de <i>Spiniferites</i> , <i>Bitectatodinium</i> , <i>Pyxidiniopsis</i> en el núcleo MAGD09.....	32
12	Comparación de la concentración de <i>Impagidinium</i> , Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).....	33
13	Comparación de la concentración de Heterótrofos, Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).....	35
14	Concentración de <i>Brigantedinium</i> , <i>Quinquecuspis</i> , <i>Dubridinium</i> y <i>Lejeunecysta</i> en el núcleo MAGD09.....	36
15	Comparación de la concentración de <i>Selenopemphix</i> , Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).....	37
16	Comparación de la concentración de Copépodos, Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).....	38
17	Comparación de la concentración de palinomorfos Continentales, Promedio de Precipitación (PP), Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).....	40
18	Comparación de la concentración de formas del grupo de PC, Promedio de Precipitación (PP), Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).	41



19	Comparación de la concentración de <i>Selenopemphix</i> , <i>Impagidinium</i> y Copépodos, Oscilación Decadal del Pacífico (ODP).....	42
20	Comparación de Niño y la Niña Oscilación del Sur (ENOS) con la concentración de <i>Selenopemphix</i> , <i>Impagidinium</i> y Copépodos.....	43
21	Intercalación de Niño y la Niña Oscilación del Sur (ENOS), con la concentración de <i>Selenopemphix</i> , <i>Impagidinium</i> y Copépodos y Oscilación Decadal del Pacífico (ODP), marcando los intervalos donde coinciden Niña y ODP negativo y Niño con ODP positivo.....	44
22	Componentes Principales de los Palinomorfos Continentales y Marinos divididos en grupos.....	45
23	Análisis Factorial de los palinomorfos Continentales y Marinos divididos en grupos.....	46
24	Componentes Principales de las variables Continentales.....	48
25	Análisis Factorial de los palinomorfos Continentales divididos en variables.....	49
26	Componentes Principales de los dinoflagelados.....	51
27	Análisis Factorial de los dinoflagelados.....	52

## Lista de tablas

---

Tabla	Página
1 Profundidades, perfiles de $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ y edades CFSC en años calendario para las muestras analizadas por en el núcleo MAGD09-01MC3.....	13
2 Velocidad de Acumulación de Sedimentos y significancia estadística de las muestras datadas en el $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ en el núcleo MAGD09-01MC3.....	14
3 Muestras procesadas del núcleo MAGD09-01MC3 con la cronología en años calendario.....	15
4 Grupo de Palinomorfos Continentales (PC), con posible ambiente y estrategia de transporte.....	22
5 Especies heterotróficas del orden Peridiniales, encontradas en el núcleo MAGD09.....	23
6 Especies autotróficas del orden Gonyaulacales, encontradas en el núcleo MAGD09.....	24
7 Correlación entre Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM) zonal y concentraciones de Marinos, Dinoflagelados, Autótrofos y Heterótrofos.....	25
8 Correlación entre concentraciones de PC (Continetales) y PM (Marinos), Promedio de Precipitación (PP), Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice Temperatura Superficial del Mar (ITSM).....	26
9 Correlación entre concentración de PM (Marinos), Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).....	28
10 Correlación entre concentración Dinoflagelados, Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).....	30
11 Correlación entre concentración de Autótrofos vs Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).....	31
12 Correlación entre concentración de <i>Impagidinium</i> , Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).....	34
13 Correlación entre concentración de Heterótrofos, Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).....	35
14 Correlación entre concentración de <i>Selenopemphix</i> , Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).....	37
15 Correlación entre concentración de Copépodos, Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).....	39
16 Correlación entre concentración de PC (Continetales), Promedio de Precipitación (PP), Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).....	40

17	Correlación entre concentración de PC, Promedio de Precipitación (PP), Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).....	41
18	Correlación entre concentración de PC y PM separados por sus componentes, Promedio de Precipitación (PP), Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).....	44
19	Correlación entre concentración de Palinomorfos Continentales separado por sus componentes, Promedio de Precipitación (PP), Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).....	47
20	Correlación entre concentración de dinoflagelados, Promedio de Precipitación (PP), Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).....	50
21	Correlación entre el Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar Ecuatorial (EQU-24N) y Norte (24-90N).....	55

## Capítulo 1. Introducción

---

### 1.1 Sedimentos laminados

Los sedimentos marinos laminados se asocian a cuencas con aguas con concentración de oxígeno disuelto  $<0.2$  ml/l, en las cuales se preservan las láminas por falta de bio-turbación (Emery, 1954; Karpuz and Jansen, 1992; Kemp and Baldauf, 1993). El contenido biogénico de estos sedimentos es abundante ya que generalmente están relacionados con zonas de surgencia o alta productividad (Emery and Hülsemann, 1962; Calvert, 1964; Soutar *et al.*, 1981). La abundancia en el componente biogénico representa un registro de la productividad orgánica predominante, de las condiciones sedimentológicas y de las condiciones climáticas en la cuenca en donde se depositaron (Emery and Hülsemann, 1962).

El estudio detallado de este tipo de sedimentos proporciona datos importantes que ayudan a mejorar los modelos paleoclimáticos existentes y brindan la posibilidad de reconocer señales que pueden ser de utilidad en la reconstrucción de ambientes paleosedimentarios (de Vernal *et al.*, 1992a y b; Edwards, 1992; Biondi *et al.*, 1997; Olivier-Salomé, 1998; Rochon *et al.*, 1999; Bernal-Franco *et al.*, 2001, y Banda-Bermudez, 2002).

La cronoestratigrafía de los cambios en las composiciones, diversidades y abundancias del componente biogénico en estos sedimentos contribuye a la comprensión del comportamiento temporal de eventos paleoceanográficos locales y regionales (Pérez-Guzmán and Casey, 1986; Biondi *et al.*, 1997; Olivier-Salomé, 1998; Bernal-Franco *et al.*, 2001; y Banda-Bermudez, 2002). En la costa del Pacífico de México, se encuentran sedimentos laminados en cuencas oceánicas de Baja California Sur (Olivier-Salomé, 1998).

La reconstrucción de paleoclimas se ha beneficiado del estudio del contenido de dinoflagelados en sedimentos laminados. Estos organismos varían en cuanto a riqueza y abundancia reflejando cambios en parámetros ambientales tales como temperatura superficial del mar, salinidad, disponibilidad de nutrientes, e influjo de material terrígeno (de Vernal *et al.*, 1997; Dale *et al.*, 2002; Marret *et al.*, 2001; Sangiorgi *et al.*, 2002; 2003; Pospelova *et al.*, 2006).

## 1.2 Dinoflagelados

Los dinoflagelados son organismos eucariontes unicelulares, con núcleo dinocarión y dos flagelos desiguales entre sí, por lo cual se asignan a la división Dinoflagellata (Bütschli 1885; Fensome et al., 1993). Muchas especies de dinoflagelados coexisten en diferentes medios acuáticos con otros organismos como las diatomeas y cocolitofóridos, siendo uno de los principales constituyentes del fitoplancton marino eucarionte (Parsons *et al.*, 1984). Los dinoflagelados presentan diferentes estrategias tróficas, pueden ser autotróficos, heterotróficos, o mixotróficos (Schnepf and Elbrachter, 1992).

La gran mayoría de los dinoflagelados en el registro sedimentario son marinos y pertenecen a la clase dinophyceae, por presentar el núcleo dinocarión durante todas sus fases vitales. Dentro de esta clase hay 2 órdenes que incluyen a la mayoría de los representantes fósiles, estas son: gonyaulacales y peridinales, las cuales son autótrofos y heterótrofos respectivamente (Fensome *et al.*, 1996). Estos organismos se distribuyen dependiendo de la temperatura, salinidad y disponibilidad de nutrientes en el agua de mar.

Algunos dinoflagelados producen quistes de resistencia para sobrevivir cuando las condiciones no son favorables para las células vegetativas, formando semilleros para futuros florecimientos (Wall, 1971; Lewis *et al.*, 1999; McQuoid *et al.*, 2002). Actualmente hay 1,555 especies de dinoflagelados de vida libre en los océanos del mundo (Gómez, 2005) y únicamente 96 especies (6 %) producen quistes orgánicos de resistencia (Zonneveld and Pospelova, 2015). Este tipo de quiste protege al cigoto al ser depositado en los sedimentos por largos periodos de tiempo (Dale, 1976). La composición química de estos quistes incluye hidratos de carbono con una estructura única, que recibe el nombre de dinosporina. La composición de esta dinosporina corresponde a la estrategia trófica de los grupos, ya que, en los autótrofos está formada por glucanos del tipo celulosa, mientras que en los heterótrofos se compone de glicanos ricos en nitrógeno (Bogus *et al.*, 2014).

Por lo general los quistes de resistencia son abundantes en los márgenes continentales (Stover *et al.*, 1996), donde se encuentran las áreas con mayor productividad primaria. Las concentraciones de quistes de resistencia de los dinoflagelados en el sedimento están directamente relacionadas con las abundancias en su fase planctónica. Se encuentran altas concentraciones de quistes durante y después de las abundancias máximas de células móviles en la columna de agua (Matsuoka and Fukuyo, 1994;

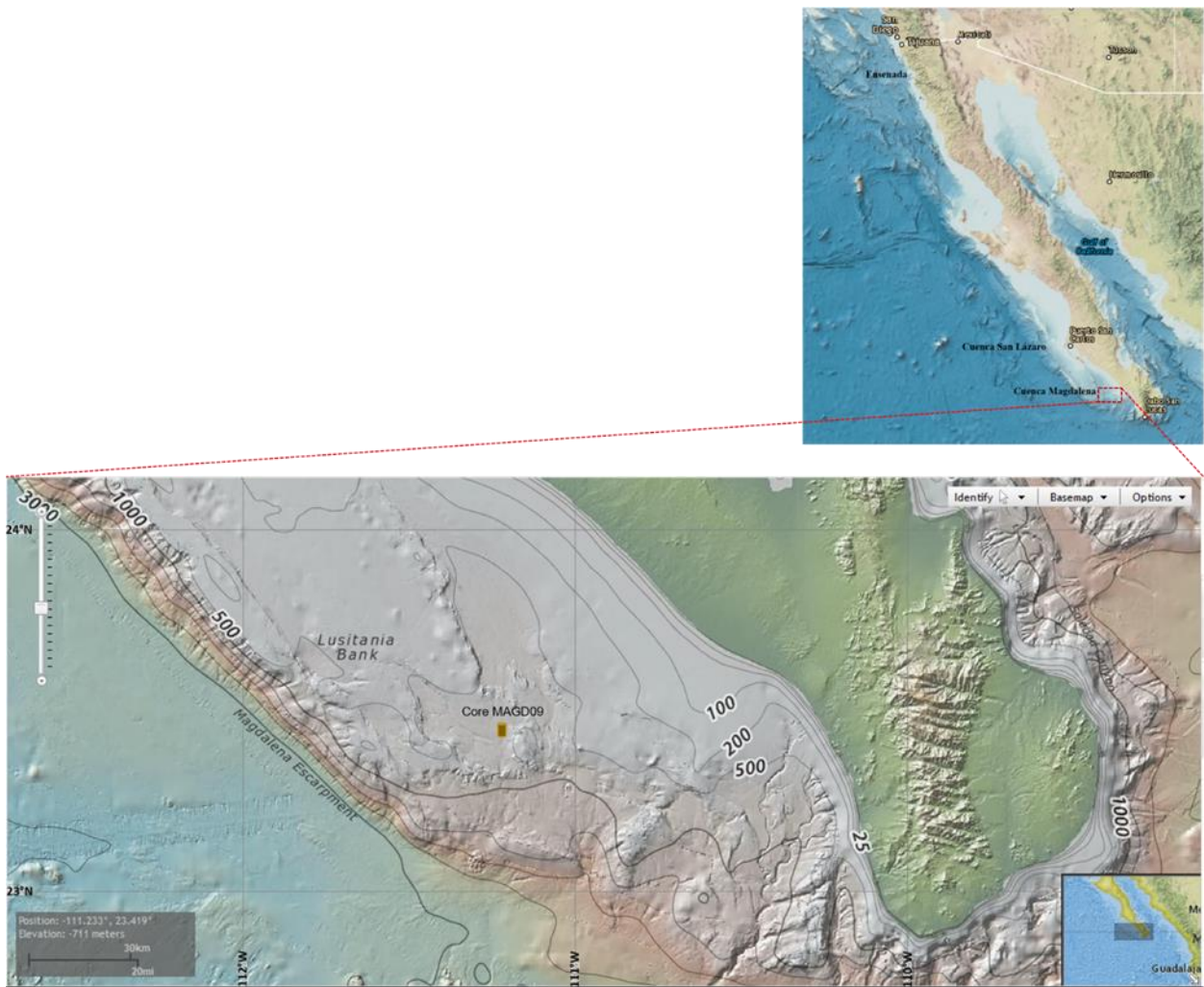
Peña-Manjarrez, *et al.*, 2001). Esta distribución posibilita la correlación entre abundancia de quistes en sedimentos y proliferación fitoplanctónica (Flores-Trujillo, 2009).

La información sobre la distribución y abundancia de quistes en los sedimentos es importante para conocer la ecología y la dinámica de dinoflagelados y con ello interpretar las condiciones paleoceanográficas y paleoambientales que influyen en sus ciclos vitales. Información satelital de productividad para el hemisferio Norte se ha relacionado con conjuntos de quistes de dinoflagelados en muestras superficiales de sedimento para deducir condiciones de producción primaria, temperatura y salinidad para los últimos 25,000 años en el Pacífico nororiental (Radi and de Vernal, 2004).

Aunque la mayoría de los estudios sobre dinoflagelados en sedimentos recientes se han realizado en latitudes altas, los conjuntos actuales de dinoflagelados en sedimentos del margen Pacífico de Norte América son conocidos. Estos trabajos documentan la presencia de dinoflagelados heterotróficos durante periodos de alta productividad, mientras que las especies autotróficas son más abundantes durante las épocas de relajación de surgencias. También se han documentado las características biogeográficas de algunas especies, principalmente modificadas por la temperatura superficial del mar. Hay datos importantes en Peña-Manjarrez *et al.*, (2001; 2005); Prauss, (2002); Morquecho and Lechuga-Devéze, (2003); Radi and de Vernal, (2004; 2008); Pospelova *et al.*, (2006; 2008); Flores-Trujillo *et al.*, (2009); Vásquez -Bedoya *et al.*, (2008); Limoges *et al.*, (2010); Bonnet *et al.*, (2012); y Bringué *et al.*, (2013).

En este documento se presentan los resultados de un estudio palinológico de 51 muestras tomadas del núcleo MAGD09-01MC3, extraído a 520 m de profundidad en la cuenca Magdalena, Baja California Sur, esta región al extremo sur de la costa de Baja California Sur (24 – 21°N) se encuentra flanqueada por la parte sur de la CC de manera superficial y una contracorriente profunda en dirección al polo, esta interacción entre agua subártica y subtropical (Figura 1 y 2), al entrar en contacto con la superficie da como resultado la distribución térmica de manera heterogénea en la zona, estas zonas de transición costera de la CC favorecen la generación de giros, meandros y filamentos (Zaitsev *et al.*, 2003; 2007).

Se enfatiza el estudio de los conjuntos de dinoflagelados por su potencial como indicadores indirectos (“proxies”) de factores climáticos. La información obtenida permitirá reconstruir el clima en un periodo de 1909 a 2009, usando patrones ecológicos y dinámicos de florecimientos de dinoflagelados y con ello interpretar las condiciones paleoceanográficas y paleoambientales de la parte austral de la margen continental de Baja California.



**Figura 1.** Batimetría y localización del núcleo MAGD09-01MC3 en cuenca Magdalena, B.C.S. (Bathymetric Data Viewer (NOAA) Modo: Global Multi-Resolution Topography (GMRT) Version: 2.6, tomado el 15-06-2016.

## 1.3 Hipótesis y Objetivos

### 1.3.1 Hipótesis

La diversidad, abundancia y composición taxonómica de dinoflagelados autótrofos y heterótrofos en sedimentos laminados, está relacionada con condiciones oceanográficas y sus variaciones interanuales a decadales en el siglo XX.

### **1.3.2 Objetivo**

Ayudar a reconstruir las condiciones climáticas y oceanográficas, basado en el registro de dinoflagelados y otros palinomorfos, y su comparación con mediciones instrumentales y reconstrucciones de los índices climáticos disponibles, para el periodo de 1909-2009.

#### **Este objetivo se concreta en los siguientes objetivos específicos:**

Analizar los cambios que presentan los dinoflagelados contenidos en sedimentos de la cuenca Magdalena.

Identificar las relaciones entre las variaciones de los conjuntos de dinoflagelados con las mediciones instrumentales, y/o reconstrucciones de los índices climáticos disponibles, para el periodo de 1909-2009.

Describir los cambios que presentan los conjuntos de dinoflagelados y su relación con los cambios ambientales de los ecosistemas marinos y continentales locales, en un periodo de 1909 a 2009, con una resolución de dos años.

## **1.4 Antecedentes**

### **1.4.1 Dinoflagelados y el clima**

Los sedimentos laminados son muy útiles para estudios paleoclimáticos, por su abundante y bien preservado contenido biogénico. De tal manera que es posible obtener datos confiables acerca de los conjuntos de dinoflagelados, similares a los obtenidos por trampas de sedimentos (Bringué *et al.*, 2013). Estos datos permiten deducir factores como temperatura del mar, salinidad, producción primaria, disponibilidad de nutrientes y descargas de ríos por precipitación (de Vernal *et al.*, 1997; Marret *et al.*, 2001; Dale *et al.*, 2002; Sangiorgi *et al.*, 2002; 2003; Pospelova *et al.*, 2006).

La reconstrucción indirecta de las variaciones oceanográficas y climáticas regionales han sido abordadas desde California E.U., hasta Baja California Sur incluyendo Baja California. Se han propuesto modelos tanto por el lado del Golfo de California como del Pacífico, y con diferentes escalas temporales. La Cuenca de Santa Bárbara es una cuenca con fondo anóxico, que contiene sedimentos laminados y que ha



sido estudiada desde varios puntos de vista oceanográficos y biológicos, incluyendo los conjuntos de dinoflagelados. Muestras de núcleo representando sedimentación en Cuenca Santa Bárbara, desde 1883 hasta 1992, muestran correspondencia entre grupos de dinoflagelados autótrofos (*Spiniferites* y *Alexandrium*) y altas temperaturas superficiales del mar (Prauss, 2002). Esta misma relación ha sido reportada en muestras de trampas de sedimentos en la misma cuenca, desde mayo de 1995 hasta marzo de 1997. Estas muestras documentan la variación de los conjuntos de dinoflagelados y muestran una relación directa de taxa heterótrofas con las surgencias, y aumento de taxa autótrofas cuando se eleva la temperatura superficial del mar (Bringué *et al.*, 2013).

Durante la mayor parte del Holoceno, la dominancia de dinoflagelados heterótrofos indica alta productividad marina casi continua, con aumentos durante periodos cálidos como el Bolling/Allerod y Dansgaard-Oeschger (Pospelova *et al.*, 2006). Estos autores interpretan un aumento de dinoflagelados autótrofos durante el Holoceno tardío como un incremento de aguas cálidas en la cuenca. Además, en esta cuenca se ha documentado el aumento de taxa autótrofos, particularmente *Lingulodinium polyedrum* ("*machaerophorum*") y *Spiniferites* desde 1900, reflejando un aumento en las temperaturas superficiales del mar durante el siglo XX (Bringué *et al.*, 2014). Con un enfoque más regional, en el Pacífico noroeste, desde Oregón hasta Baja California, las especies heterótrofas también se relacionan con alta productividad marina relacionada con surgencias costeras, mientras que las formas autótrofas se asocian con aguas cálidas (Pospelova *et al.*, 2008). La proliferación de especies autótrofas en aguas cálidas también se puede deber a la dinámica de los florecimientos algales en relación con eventos de surgencias (Flores-Trujillo, 2009). En zonas altamente productivas como la costa oeste de Baja California, las diatomeas y los dinoflagelados heterótrofos proliferan en TSM bajas, porque es cuando las surgencias y la turbulencia de la capa de la superficie del mar son fuertes (Margalef, 1978). 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).

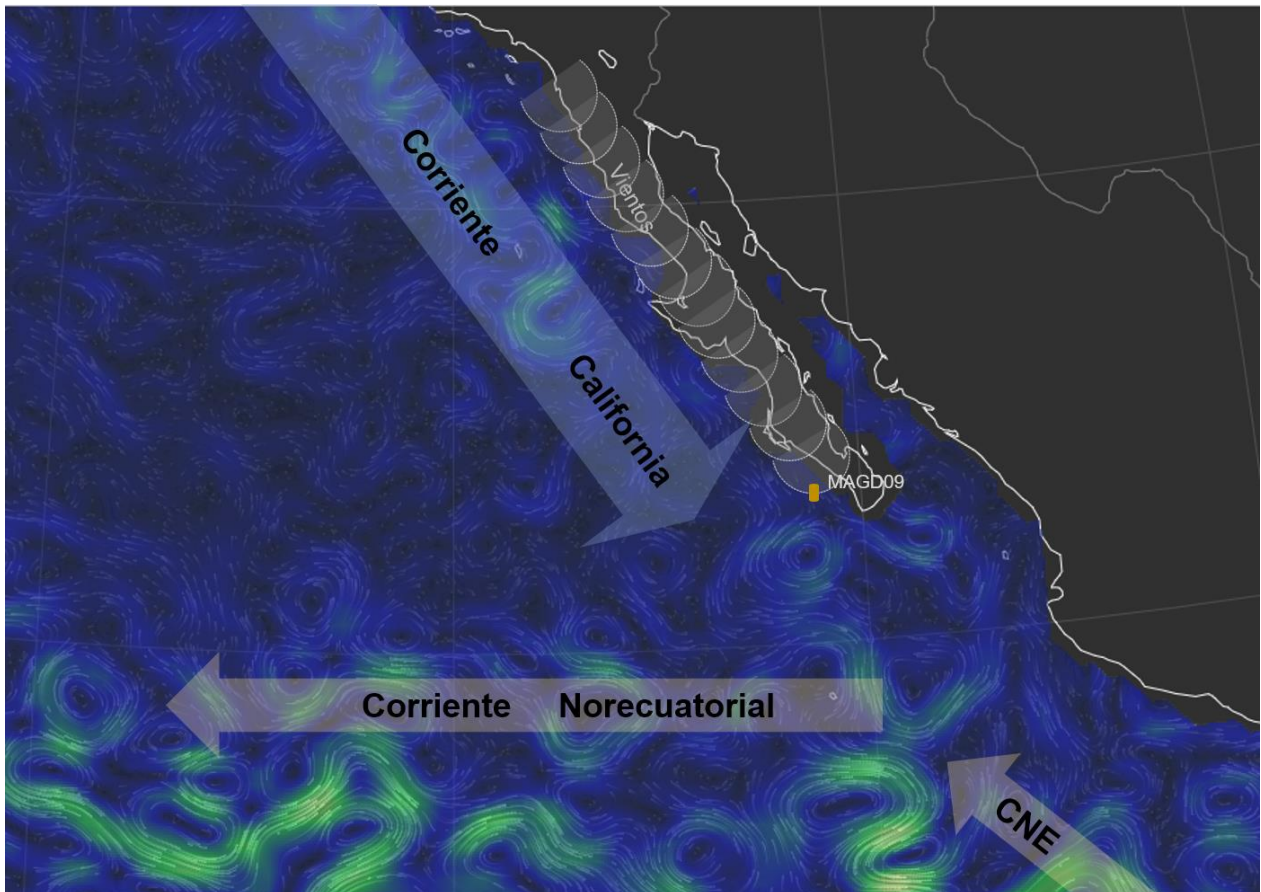
En Baja California, muestras de sedimentos superficiales y de la columna de agua de la Bahía de Todos Santos, Ensenada, durante los florecimientos de 1999 a 2000 muestran que la comunidad de dinoflagelados es dominada por la especie autótrofa *Lingulodinium polyedrum* (Peña-Manjarrez *et al.*, 2001; 2005). Más, hacia el sur, en Baja California Sur, muestras de núcleo de Cuenca San Lázaro, también conocida como Cuenca Soledad, indican que la variabilidad de diatomeas, parece seguir las oscilaciones decadales del Pacífico durante los últimos 100 años (Esparza-Álvarez *et al.*, 2007).

### 1.4.2 Características oceanográficas regionales

El margen occidental de la península de Baja California (Figura 2) se encuentra principalmente bajo la influencia de un sistema de frontera oriental, el de la Corriente de California (CC), que limita hacia el norte con la corriente de Alaska y hacia el sur con la Corriente Norecuatorial (CNE). La parte sur de la península es una región transicional entre las masas de agua templada de la CC y las masas cálidas de la CNE (Hickey, 1998; Hickey, and Royer, 2001).

La CC se desplaza del norte, desde Columbia Británica en Canadá, hasta Baja California Sur (Hickey and Royer, 2001). Estas aguas se caracterizan por temperaturas y salinidad bajas, alto contenido de nutrientes y de oxígeno disuelto. Este sistema de corrientes puede alcanzar un máximo de 300 metros de espesor, a una distancia de la costa de entre 200 y 300 km, y su dinámica de circulación está influenciada principalmente por el ancho y la forma de la plataforma continental, la topografía del fondo y el viento (Lynn and Simpson, 1987; Bograd *et al.*, 2001; Hickey and Royer, 2001).

Por el contrario, la CNE fluye desde el sureste, sus aguas tienen valores más altos de temperatura y salinidad, y concentraciones de nutrientes y contenido de oxígeno disuelto más bajos (Hickey and Royer, 2001). Esta masa de agua ecuatorial converge con el límite sur de la CC, en una región que abarca toda la costa Pacífica de Baja California Sur, desde Cabo San Lucas hasta Punta Eugenia. En esta región se ha descrito una contracorriente subsuperficial aproximadamente a 200 m de profundidad. En todo este trayecto, esta zona de convergencia se compone de remolinos, filamentos, frentes y estructuras a mesoescala, con una gran cantidad de meandros (González-Rodríguez, 2008; Espinosa-Carreón, 2005).



**Figura 2.** Corrientes Oceánicas en la zona de extracción del núcleo MAGD09 (cubo amarillo). Mostrando los vientos y las corrientes superficiales (color verde = mayor velocidad). Captura de Pantalla del Modelador [earth.nullschool.net](http://earth.nullschool.net) Copyright © 2016 Cameron Beccario tomado el 15-06-2016.

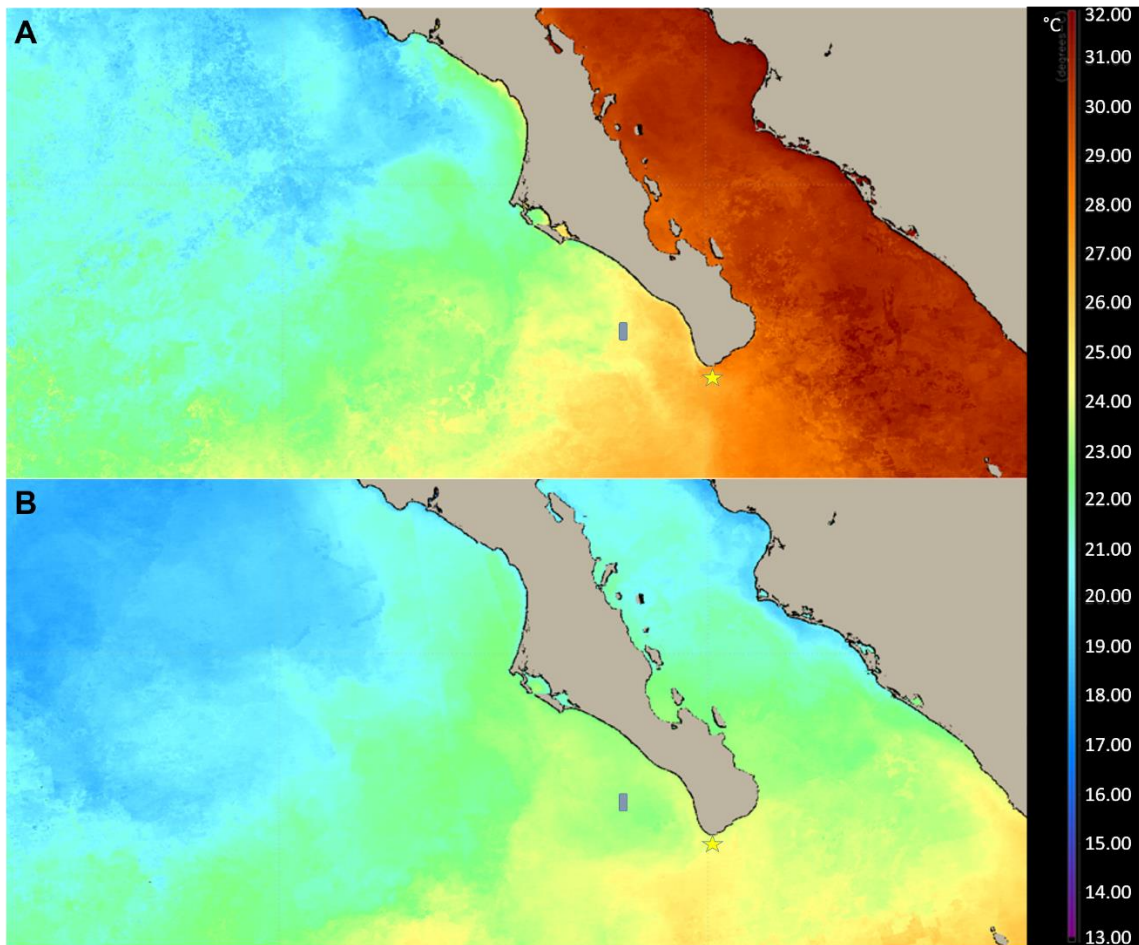
### 1.4.3 Surgencias y temperatura superficial del mar

En el Pacífico noreste, los vientos fluyen hacia el sur la mayor parte del año, intensificándose en el periodo primavera-verano, esto genera surgencias que favorecen la producción de materia orgánica por organismos fotosintetizadores (Huyer, 1983; Chelton *et al.*, 2007; Castro y Martínez, 2010). Durante todo su trayecto la CC genera zonas de surgencia intensas, como en Cabo Mendocino al norte de California, Punta Baja en Baja California. Sin embargo, es más al sur en Bahía Tortugas y Bahía Magdalena donde prevalecen zonas de surgencia con mayor permanencia (Zaitsev *et al.*, 2003; 2007; González-Rodríguez, 2008).

La intensidad de los vientos provenientes del noroeste, circulando paralelamente a la costa son más fuertes en primavera, intensificando la CC y propiciando que las surgencias costeras sean más frecuentes en este intervalo. En contraste, durante otoño e invierno los vientos bajan de intensidad, la CC se desvía hacia mar adentro aproximadamente a los 28°N (Zaitsev *et al.*, 2007; Castro y Martínez, 2010; Cervantes-Duarte, 2015) y las surgencias se relajan. A lo largo de la costa del Pacífico de Baja California Sur los vientos del norte generan el transporte de Ekman positivo durante todo el año (Sánchez and Carriquiry, 2007). La Figura 2 muestra las ondas de viento en una dirección, solo sobre la Península, permitiendo visualizar las corrientes superficiales, las cuales cambia de color de acuerdo a la velocidad, con las ondas verdes indicando las de mayor velocidad.

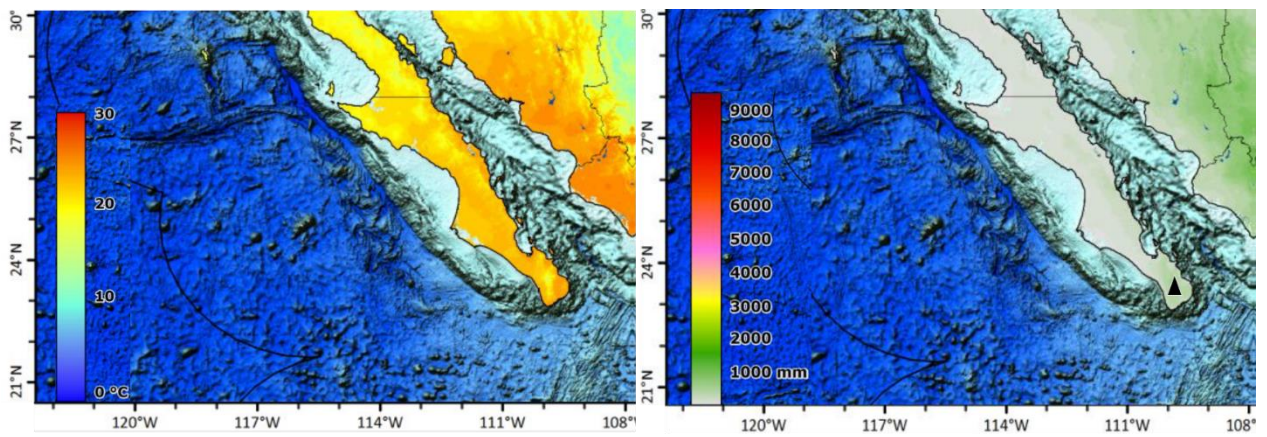
En cuanto a la TSM las siguientes imágenes satelitales del sensor MODIS-Aqua muestran el cambio de temperatura en cuanto a temporalidad (Figura 3). En la figura 3-A, se observa el promedio de julio de 2004 y en B el promedio de diciembre del mismo año. Frente a cabo San Lucas (estrella amarilla) se nota un incremento notable de temperatura en el mes de julio, en comparación con diciembre cuando hay una intrusión de aguas con menor temperatura. Sin embargo, en el sitio donde fue extraído el núcleo (rectángulo azul), la TSM no cambia tanto, presentando un promedio de 24 a 27 °C.

Son tres los factores principales en el clima seco y cálido de la región: latitud, relieve y corrientes oceánicas. La latitud determina los vientos descendentes por la zona de alta presión donde se localiza, al ser vientos frescos y secos evitan la condensación y precipitación. El relieve determina que en las zonas llanas se presenten precipitaciones anuales de 100 a 200 milímetros (mm), mientras que en las cadenas montañosas los vientos ascienden condensando el poco vapor de agua provocando precipitaciones de 400 a 600 mm anuales. Por ultimo las corrientes oceánicas enfrían el lado occidental de las costas haciendo las temperaturas más bajas que las del oriente, impidiendo a la vez que los vientos secos condensen vapor en verano (INEGI, 1995).



**Figura 3.** TSM Baja California Sur: Superior (A)TSM 1-31 julio de 2004; Inferior (B) TSM 1-31 diciembre de 2004. Productos SATMO, sensor MODIS (Aqua de 1-km) de NASA procesadas en la CONABIO.

Considerando la clasificación fisionómica y florística de la zona aunado al clima, la región está clasificada como tropical desértica a hiperdesértica (Macías *et al.*, 2014), excepto en la Sierra La Laguna en donde el clima es templado subhúmedo (INEGI, 1995). La temperatura en la parte sur de la Península de Baja California, varía entre 17.9 y 32.1 °C, con un promedio de 24.8 °C. La precipitación anual varía entre 52 mm y 176.4 mm, para diferentes estaciones en la misma región. Según valores registrados en solo tres estaciones de agosto a diciembre de 2009, la evapotranspiración llega a ser de 579.8 mm, con una humedad relativa de 68 % (Meza y Leyva, 2010). La Figura 4 muestra la temperatura media (Izquierda) y precipitación anual (Derecha) para la región, en un lapso de 1902-2011. El promedio de precipitación regional es menor a los 400 mm (Fernández-Eguiarte *et al.*, 2012), excepto en la Sierra de La Laguna (triángulo negro), en donde puede llegar hasta 600 mm anuales.



**Figura 4.** Promedio de temperatura media anual (1902-2011) imagen izquierda, Promedio de precipitación anual (1902-2011) imagen derecha. Modificado de Atlas Climático de México y Áreas Adyacentes, Fernández-Eguiarte, *et al.* 2012.

## Capítulo 2. Materiales y Métodos

---

### 2.1 Características del núcleo extraído

Se analizó el núcleo MAGD09-01MC3, el cual tiene una longitud de 35 cm, y fue extraído a 520 m de profundidad en la cuenca Magdalena, Baja California Sur, localizada en las coordenadas 23.42N 111.23W (Figura 1 y 5).



**Figura 5.** Núcleo MAGD09-01MC3

El núcleo fue colectado en octubre de 2009 en el crucero LONO09-1 Buque RV New Horizon, a cargo del Dr. William Berelson de la Universidad del Sur de California. En el mismo buque se cortaron los 5 cm superiores del núcleo. Estos 5 cm fueron submuestreados continuamente a cada milímetro.

### 2.1.1 Datación del núcleo

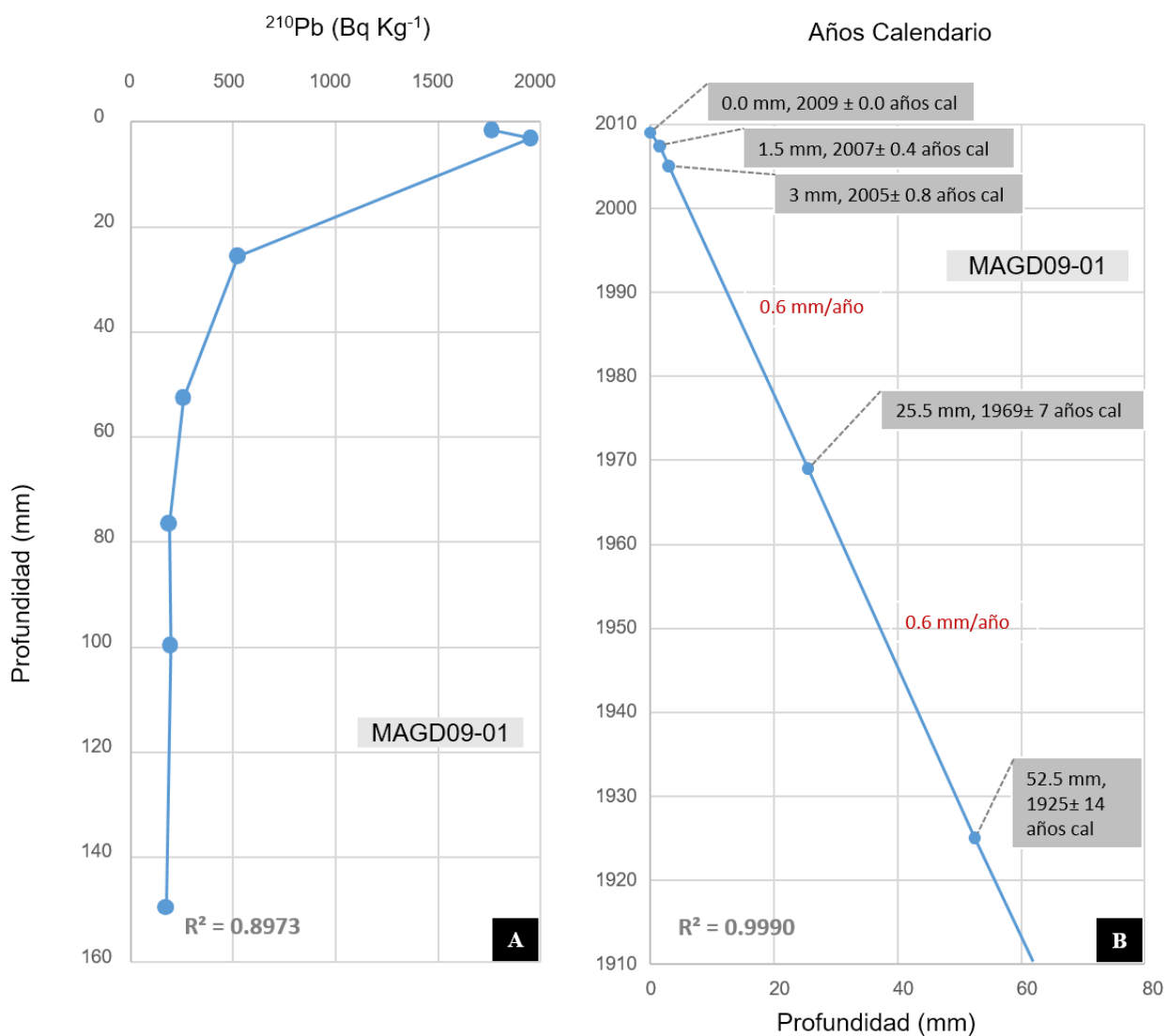
Se enviaron 7 de las 51 muestras obtenidas de los 5 cm superiores del núcleo, al Laboratorio de Dataciones del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, en Mazatlán, para ser datados por  $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ . Los resultados del modelo de edad se calcularon a partir de los resultados obtenidos con  $^{210}\text{Pb}$  y con  $^{14}\text{C}$ . Sin embargo, debido a que solo se analizaron los 5 cm superiores, se presentan aquí los datos del  $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$  (Tabla 1; Figura 6-A). El número de muestras analizadas fue limitado y mostraron un comportamiento exponencial, por lo cual se usó el modelo de Flujo Constante Sedimentación Constante (CFCS por sus siglas en inglés) y las Velocidades de Acumulación de Sedimentos (VAS) se calcularon ajustando el perfil  $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$  vs. profundidad lineal (Figura 6-B). Para calcular las incertidumbres de la edad y la VAS, se realizó una simulación Montecarlo, usando ambas actividades:  $^{210}\text{Pb}$  y  $^{226}\text{Ra}$ . El logaritmo natural de  $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$  fue aleatorizado para calcular los parámetros de regresión y las edades de la sección con 30,000 iteraciones, y para estimar estadísticamente las incertidumbres.

**Tabla 1.** Profundidades, perfiles de  $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$  y edades CFCS en años calendario para las muestras analizadas por en el núcleo MAGD09-01MC3.

<b>Muestra</b>	<b>Profundidad (mm)</b>	<b>Concentración <math>^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}</math> (Bq kg<sup>-1</sup>)</b>	<b>Edad CFCS (años cal)</b>
<i>Núcleo MAGD09-01</i>			
MAGD09-01 1-2	1.5	1762 ± 132	2007.4 ± 0.4
MAGD09-01 2-4	3.0	1953 ± 127	2005.0 ± 0.8
MAGD09-01 25-26	25.5	521 ± 35	1969 ± 7
MAGD09-01 52-53	52.5	254 ± 19	1925 ± 14

El núcleo MAGD09-01 tiene una VAS muy baja de 0.6 mm año<sup>-1</sup>, con alta significancia estadística (Tabla 2). Las incertidumbres de VAS son bajas y cercanas a 0.1 mm año<sup>-1</sup> en todos los casos. Las edades de CFCS se reportan para las secciones analizadas. Con estas dataciones, las 51 muestras analizadas representan el registro sedimentario desde 2009 hasta 1909 años calendario, con resolución de 2 años por muestra (Figura 6; Tabla 3).





**Figura 6.** **A** – Valores de  $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$  vs. profundidad de las muestras analizadas. **B** – Regresión lineal de las dataciones.

**Tabla 2.** Velocidad de Acumulación de Sedimentos y significancia estadística de las muestras datadas en el  $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$  en el núcleo MAGD09-01MC3.

Núcleo	Vel Acum Sed (mm año $^{-1}$ )	Significancia estadística (P)
MAGD09-01	0.62 ± 0.10	7.04E-06

**Tabla 3.** Muestras procesadas del núcleo MAGD09-01MC3 con la cronología en años calendario.

<b>CUENCA MAGDALENA</b>			
<b>Muestra</b>	<b>Años Calendario</b>	<b>Muestra</b>	<b>Años Calendario</b>
1	2009	26	1959
2	2007	27	1957
3	2005	28	1955
4	2003	29	1953
5	2001	30	1951
6	1999	31	1949
7	1997	32	1947
8	1995	33	1945
9	1993	34	1943
10	1991	35	1941
11	1989	36	1939
12	1987	37	1937
13	1985	38	1935
14	1983	39	1933
15	1981	40	1931
16	1979	41	1929
17	1977	42	1927
18	1975	43	1925
19	1973	44	1923
20	1971	45	1921
21	1969	46	1919
22	1967	47	1917
23	1965	48	1915
24	1963	49	1913
25	1961	50	1911
		51	1909

## 2.2 Procesamiento palinológico

Las 51 muestras ya datadas del núcleo MAGD09-01MC3 fueron procesadas mediante la Técnica de Extracción de Palinomorfos descrita en Wood *et al.*, (1996), y cumple con el procedimiento descrito a continuación:

- 1) Pesar 1 gr de sedimento seco por cada muestra
- 2) Lavar la muestra con un detergente fuerte caliente y decantar utilizando un tamiz con luz de malla de 15 micras ( $\mu\text{m}$ )
- 3) Adicionar una tableta de esporas de *Lycopodium clavatum* (Lote: 483216. Una tableta = 18 583 esporas) como marcador exótico, para calcular la abundancia absoluta de palinomorfos (Maher, 1981; Mertens *et al.*, 2009; 2012).
- 4) Añadir HCl (37.4 %) hasta cubrir la muestra y dejar reposar una hora. Este paso elimina carbonatos.
- 5) Lavar la muestra con agua destilada para neutralizar y centrifugar la muestra a 3,500 revoluciones por minuto (rpm) por 6 min.
- 6) Decantar el sobrenadante utilizando un tamiz con luz de malla de 15  $\mu\text{m}$ .
- 7) Agregar HF (48 %) hasta cubrir la muestra, mezclando para integrar la muestra con el ácido. Dejar reposar de 12- 24 hrs. Este paso elimina silicatos.
- 8) Lavar 4 veces y centrifugar a 3,500 rpm por 6 min., cuidando mantener un pH neutro.
- 9) Trasvasar a un nuevo tubo de 50 ml para concentrar la muestra centrifugando a 3,500 rpm. por 6 min.
- 10) Añadir una cantidad proporcional de politungstato de sodio (densidad 2.0) y agitar vigorosamente en "vortex" por 1 minuto, para después centrifugarlo a 3,500 rpm por 20 minutos.
- 11) Pasar el anillo de materia orgánica por una malla de 15  $\mu\text{m}$  y concentrar en un tubo de 2 ml, el cual se coloca en ultrasonido por 45 segundos y tamizar la muestra con malla de 15  $\mu\text{m}$ . No se oxidó el residuo de materia orgánica, para preservar todos los taxa de dinoflagelados (Rochon *et al.*, 1999).

Extraer de 5 a 7 gotas de residuos extraídos y montar en un cubre objetos de 25 x 50 mm con gelatina glicerizada. Sellar la muestra con resina óptica # 61 y secar con rayos ultravioleta (UV) por 10 minutos.

### 2.3 Análisis microscópico

El análisis microscópico se realizó mediante un microscopio óptico Olympus (CX31) utilizando el objetivo 20x para barridos totales en cada lámina. Para la identificación detallada a nivel de especie se utilizaron los objetivos 40X y 100X, para un aumento total de 200 a 1000X, respectivamente. Se realizaron recorridos o barridos de un extremo a otro de la lámina, cubriendo por completo la superficie con 20 a 24 barridos. Se analizaron las muestras tanto cualitativa como cuantitativamente, identificando, describiendo y contabilizando las diferentes taxa encontrados. También se realizó un registro fotográfico a través de la cámara Olympus integrada en el microscopio.

Los palinomorfos observados se agruparon en Marinos (PM) y Continentales (PC). De igual forma se contaron las esporas de los *Lycopodium clavatum*, que fueron empleadas como marcador exótico. El grupo de PC incluye granos de polen y esporas, los cuales fueron identificados solamente a nivel de grupo morfológico, debido a su significado ecológico y modo de transporte. Se toman en cuenta los siguientes rasgos: tamaño y forma del grano; forma, número y arreglo de las aperturas de la pared, y estructura y ornamentación de la superficie de la exina (Kapp *et al.*, 2000). Dentro del grupo de PM se incluyen principalmente dinoflagelados, pero también se contaron restos de escolecodontes, huevos de copépodos y palinoforaminíferos. Estos últimos taxa fueron identificados de acuerdo a su morfología, encasillándolos ecológicamente como organismos heterotróficos, también se contabilizaron restos de hongos los cuales incluyen formas marinas como continentales.

Una parte importante del grupo marino son los huevos diapáusicos de copépodos. Estas estructuras son subsféricas con diámetros mayores a 60  $\mu\text{m}$ , pared lisa, granulada, espinosa, o escabrada y abertura hemisférica (van Waveren, 1993). Los copépodos son pequeños (0.5-15 mm) crustáceos planctónicos que constituyen la mayor parte del meso-zooplancton. Se alimentan principalmente de fitoplancton, incluyendo dinoflagelados y caracterizan la productividad secundaria marina (Razouls *et al.*, 2016). Aproximadamente 50 especies de copépodos de la orden Calanoida, producen estructuras resistentes (Sichlau *et al.*, 2011), capaces de resistir periodos de dormancia durante el ciclo vital (Williams-Howze, 1998). Estas estructuras incluyen huevos diapáusicos, los cuales pueden permanecer viables hasta por 70

años en los sedimentos (Sichlau et al., 2011). Aparentemente su producción está fuertemente relacionada con señales que indican disminución en la temperatura superficial del mar (Grice and Marcus, 1981), aunque la fotoperiodicidad y disponibilidad de nutrientes también influyen en este proceso (Marcus, 1996). Alta diversidad y productividad de los copépodos están relacionadas con áreas de surgencias, tales como el Mar de Banda (Baars, 1999), en donde también se han descrito conjuntos diversos y abundantes de dinoflagelados heterótrofos (van Waveren, 1993).

Los quistes de dinoflagelados fueron identificados hasta el nivel de especie, siguiendo las convenciones taxonómicas de Fensome *et al* (2008). Se observaron forma general; relación quiste-teca; tipo de pared; forma y posición de estructuras externas; posición y forma de arqueópilo, y tabulación gonyaulacoidea, o peridinioidea. Para la identificación de dinoflagelados, se consultaron las descripciones de los holotipos. y las bases de datos en línea: [DINOFLAJ2](#) (Fensome *et al.*, 2008) y [Marum](#) (Zonneveld and Pospelova, 2015). También se usaron referencias bibliográficas adicionales tales como Rochon *et al* (1999); Matsuoka (1985; 1987; 1992), para complementar las identificaciones morfológicas y documentar el significado ecológico de cada especie.

## 2.4 Evaluación estadística

Para agilizar el conteo total de los palinomorfos y su análisis estadístico, se programó un contador de teclas en Excel Office de Microsoft 2016, con los Conteos Totales de Palinomorfos (CTP) y *Lycopodium*. Este contador genera una base de datos organizada de acuerdo al análisis microscópico. Los CTP fueron separados en un grupo de Palinomorfos Marinos y un grupo de Palinomorfos Continentales (PM y PC respectivamente). Cada grupo se desglosa progresivamente hasta quedar divididos en los siguientes taxones palinomorficos.

En el caso de PC: monocarpados, dicarpados, monoporados, tricolporado, periporado, esporas y bisacados. Mientras que el grupo PM se diferenció por las formas: huevos de copépodo, palinoforaminíferos, restos de escolecodontes, y dinoflagelados. Estos últimos a su vez se dividieron a nivel trófico en autótrofos y heterótrofos y finalmente por especie (ver detalles en el Capítulo 3. Resultados). Estos datos se analizaron estadísticamente, con técnicas multivariadas para establecer el comportamiento y comprender la relación de las diferentes variables palinomorficas (Davis and Sampson, 1986; de Vernal *et al.*, 2001; 2013).

### 2.4.1 Abundancia absoluta

Como se mencionó anteriormente, en el tratamiento palinológico se agregó una tableta de *Lycopodium* del Lote: 483216, con una concentración de  $18,583 \pm 3,820$  esporas, para obtener la concentración de palinomorfos por gramo de sedimento seco (Maher, 1981; Mertens *et al.*, 2009; 2012). Las tabletas provienen del Departamento de Geología de la Universidad de Lund, Suecia. Las concentraciones se calcularon con la formula siguiente (Benninghoff, 1962):

$$C = \frac{dc * Lt * t}{Lc * W}$$

- C= Concentración de palinomorfos \* gramo de sedimento (seco)
- dc= Conteo total de palinomorfos (CTP) por lamina
- Lt= Concentración de esporas *Lycopodium* por tableta
- Lc= Conteo total de esporas *Lycopodium* por lamina
- t= Cantidad de tabletas agregadas
- w= Peso del sedimento seco (g)

Se utilizaron las concentraciones de especímenes por gramo de sedimento (esp/g sed) para realizar los análisis estadísticos.

## 2.5 Comparación de resultados

Para identificar los cambios paleoceanográficos y paleoclimáticos que han impactado la Cuenca Magdalena en este último siglo, se usan los siguientes índices regionales climáticos (2.5.1) para el lapso de 1909 a 2009. Además, se determinó la correlación entre los datos palinológicos obtenidos y estos índices climáticos.

### 2.5.1 Índices regionales climáticos

Los datos de precipitación regional se obtuvieron de la Base de Datos Climáticos del Noroeste de México [CICESE-peaccBC](#) (2016). Promediando las 7 estaciones próximas del lado sur del Pacífico, con datos desde 1938 hasta 2008, para el año 2009 se usó el promedio de Meza y Leyva (2010). Se generó un promedio de precipitación bianual con un lapso de 1938 a 2009, el cual se expresa en unidades de milímetros (mm) de precipitación bianual, en este documento este promedio se designa como promedio de Precipitación (PP).

Los datos del Índice de Surgencias Costeras (ISC) desde 1947 hasta 2009, 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. (NOOA por sus siglas en inglés, en 2016). Estos índices se basan en estimaciones de transporte de Ekman considerando la presión superficial y los vientos (Bakun, 1990) y 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 generar un Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM) desde 1900 hasta 2009, se extrajeron datos del [GISS Análisis de la Temperatura Superficial \(GISTEMP\)](#) de la Administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (NASA por sus siglas en inglés, en 2016). Se usaron tres columnas de datos zonales para generar 3 distintos índices: el primero cubre una franja latitudinal desde el Ecuador hasta 24°N (EQU-24N); el segundo de 24 a 90°N (24-90N), y el tercero desde el Ecuador hasta 90°N (EQU-90N). Se calculó la correlación de estos índices con las fluctuaciones en las concentraciones de dinoflagelados. El índice del GISS combina los registros disponibles de Temperatura Superficial del Mar con mediciones de estaciones meteorológicas (Hansen *et al.*, 2010), los valores representan las anomalías y las unidades están expresadas en grados Celsius (°C) bianuales, de acuerdo a las edades de las muestras analizadas.

Por último, se buscaron datos sobre fenómenos climatológicos (huracanes) en la base de datos de la [Unisys](#) para contrastar en los resultados, además de contemplar los ciclos del [Niño y la Niña Oscilación del Sur \(ENOS\)](#) en el Conjunto Integral de Datos Internacional Océano-Atmosfera, (ENSO index, ICOADS por sus siglas en inglés, en 2016) este se basa principalmente en un promedio de las anomalías de la Temperatura Superficial del Mar en el Ecuador (20°N y S). También el Índice de Oscilación Decadal del Pacífico-ODP (PDO index, por sus siglas en inglés en 2016) tomado de la [Agencia Meteorológica de Japón](#), considera las proyecciones de las anomalías de TSM medias mensuales en sus primeros vectores

en el Pacífico Norte (20°N). Ambos índices se expresan en grados Celsius (°C) y se tomaron los valores anuales de 1909 a 2009.

### **2.5.2 Análisis multivariado**

Se generaron matrices de correlación paramétrica de Pearson ( $r$ ) con un índice de significancia de  $p < 0.0500$ , entre las abundancias absolutas de los diversos grupos de especies de palinomorfos, y los índices climáticos mencionados en el apartado 2.5.1. Estas correlaciones evalúan el grado de relación que los valores de las variables tienen entre sí.

Se aplicaron dos pruebas multivariadas para reducir la cantidad de datos perdiendo la menor cantidad de información y detectar la estructura en la relación de las variables: el Análisis de Componentes Principales & Clasificación (ACP&C) la cual genera nuevos componentes a partir de una combinación lineal de las variables originales, siendo independientes entre sí, y el Análisis Factorial (AF) el cual genera grupos homogéneos de variables que están correlacionadas entre sí, a partir de variables independientes. En ambos se procesaron los datos obtenidos de las abundancias absolutas de palinomorfos y los valores climáticos usando el software Statistica (StatSoft-Dell), en su versión 12.5. Estos métodos se aplican para reducir el número de variables por analizar y detectar la estructura de la base de datos (Hartman, 1976). Específicamente el AF busca la corroboración de los resultados obtenidos en el ACP&C de manera independiente.



## Capítulo 3. Resultados

### 3.1 Análisis palinológico

El análisis palinológico realizado a las 51 láminas correspondientes a los 5 cm superiores del núcleo MAGD09-01MC3 extraído de la cuenca Magdalena, Baja California Sur, reveló la presencia de los siguientes grupos palinológicos continentales (PC), marinos (PM), y restos de hongos los cuales incluyen formas marinas como continentales. El grupo PC representa múltiples estrategias de dispersión de los granos de polen y esporas, lo que nos habla de un probable ambiente de procedencia y forma de dispersión, por lo cual aquí se clasifican como lo muestra la Tabla 4.

**Tabla 4.** Grupo de Palinomorfos Continentales (PC), con posible ambiente y estrategia de transporte.

Grupo morfológico	Ambiente	Estrategia de transporte
Monoporados	Semiáridos	Escorrentía y viento
Dicolpados, tricolporado, periporado	Mayor humedad y diversidad	Escorrentía y viento
Bisacados	Zonas húmedas altas	Viento
Esporas	Mayor humedad	Escorrentía

Se identificaron 43 taxas del grupo PM, incluyendo las 40 especies de quistes dinoflagelados, pertenecientes a 17 generos de dos ordenes: peridiniales (heterótrofos) y gonyaulacales (autotróficos) mostradas en las tablas 5 y 6.

**Tabla 5.** Especies heterotróficas del orden Peridinales, encontradas en el núcleo MAGD09.

Género	Especie
<i>Quinquecuspis</i>	<i>concreta</i> (Reid 1977) Harland 1977.
<i>Lejeunecysta</i>	<i>oliva</i> (Reid 1977) Turon and Londeix 1988; <i>psuchra</i> Matsuoka, 1987.
<i>Votadinium</i>	<i>calvum</i> Reid 1977.
<i>Selenopemphix</i>	<i>nephroides</i> (Benedek 1972) Benedek and Sarjeant, 1981; <i>undulata</i> Verleye et al., 2011; <i>quanta</i> (Bradford 1975) Matsuoka 1985; <i>brevispinosum</i> Head et al. 1989.
<i>Dubridinium</i>	<i>caperatum?</i> Reid 1977.
<i>Protoperidinium</i>	<i>americanum</i> (Gran and Braarud) Balech 1974.
<i>Stelladinium</i>	<i>stellatum</i> (Wall) Reid 1977.
<i>Echinidinium</i>	<i>delicatum</i> (Zonneveld 1997) Head 2003; <i>granulatum</i> Zonneveld 1997; <i>zonneveldiae</i> Head 2003.
<i>Islandinium</i>	<i>minutum</i> (Harland and Reid in Harland et al., 1980) Head et al., 2001; <i>cezare</i> (de Vernal et al., 1989 in Rochon et al., 1999) Radi et al., 2013.
<i>Brigantedinium</i>	<i>irregularare</i> Matsuoka, 1987; <i>asymmetricum</i> Matsuoka, 1987; <i>simplex</i> Wall, 1965; <i>cariacoense</i> Wall, 1967; <i>auranteum</i> Reid, 1977; <i>majusculum</i> Reid, 1977; <i>grande</i> Reid, 1977.

**Tabla 6.** Especies autotróficas del orden Gonyaulacales, encontradas en el núcleo MAGD09.

Género	Especie
<i>Impagidinium</i>	<i>sphaericum</i> (Wall 1967) Lentin and Williams 1981; <i>aculeatum</i> (Wall 1967) Lentin and Williams 1981; <i>patulum</i> (Wall 1967) Stover and Evitt 1978; <i>strialatum</i> (Wall 1967) Stover and Evitt 1978; <i>paradoxum</i> (Wall 1967) Stover and Evitt 1978; <i>pallidum</i> Bujak 1984; <i>plicatum</i> Versteegh and Zevenboom 1995.
<i>Spiniferites</i>	<i>ramosus</i> (Ehrenberg 1838) Mantell 1854; <i>bentorii</i> (Rossignol 1964) Wall and Dale 1970.
<i>Ataxodinium</i>	<i>choane</i> Reid 1974.
<i>Bitectatodinium</i>	<i>tepiense</i> Wilson 1973; <i>spongium</i> (Zonneveld) Zonneveld and Jurkschat 1998.
<i>Pyxidinopsis</i>	<i>psilata</i> Wall and Dale 1973; <i>reticulata</i> (McMinn et Sun 1994) Marret and de Vernal 1997.
<i>Operculodinium</i>	<i>centrocarpum</i> sensu Wall and Dale 1966; <i>israelianum</i> (Rossignol 1962) Wall 1967.
<i>Polysphaeridium</i>	<i>zohari</i> (Rossignol 1962) Bujak et al. 1980

### 3.2 Comparación de resultados y análisis estadístico

La correlación entre las diferentes zonas (EQU-24N, 24-90N y EQU-90N) del ITSM y las concentraciones de PM, así como las concentraciones de dinoflagelados totales (Dinoflagelados) y la división de estos en Autótrofos y Heterótrofos, resultó alta para las tres zonas. Las correlaciones mostraron los valores más altos (Tabla 7) para la zona 24-90N, por lo cual es la que se usó como ITSM en la graficación, correlación

y análisis estadístico en toda la investigación. La correlación entre la zona EQU-24N y Autótrofos no fue significativa.

**Tabla 7.** Correlación entre Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM) zonal y concentraciones de Palinomorfos Marinos, Dinoflagelados, Autótrofos y Heterótrofos.

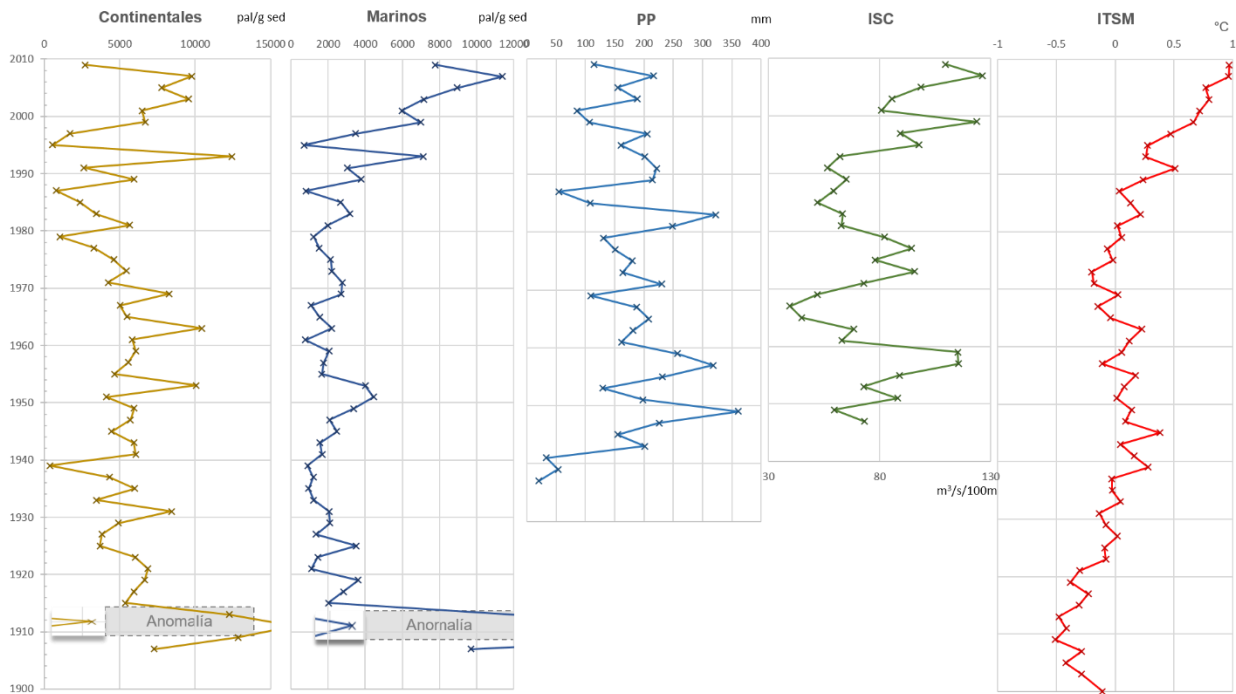
Variable	Correlación ITSM vs M/D/A/H Correlaciones marcadas en rojo son significativas a $p < .05000$ N=48		
	EQU-24N	24-90N	EQU-90N
Marinos	0.599880	0.744173	0.718110
Dinoflagelados	0.578231	0.768422	0.722157
Autótrofos	0.264055	0.370696	0.341382
Heterótrofos	0.579322	0.769605	0.723364

### 3.3 Abundancia absoluta

#### 3.3.1 Palinomorfos totales

La figura (7) muestra las variaciones de concentraciones de palinomorfos en la parte estudiada del núcleo (1909-2009). El grupo de PC muestra un rango de concentraciones de 376 a 12,457 palinomorfos por gramo de sedimento (pal/g sed), mientras las concentraciones del grupo de PM, varían de 704 a 11,368 pal/g sed. La variación de los grupos es irregular a través del tiempo, pero es posible observar cambios sincrónicos de PC en todo el núcleo, coincidiendo con valores bajos en las muestras correspondientes a los años 1939, 1979, 1987, y 1995, y valores altos en 1999, 2005, y 2007.

Las muestras correspondientes a los años 1909, 1911 y 1913 presentan anomalías en cuanto a la recuperación de palinomorfos y *Lycopodium*, lo que aparentemente causó falsos niveles de concentraciones. Debido a la incertidumbre con respecto a sus concentraciones, estas muestras fueron eliminadas en los análisis estadísticos. El año 1907 se analizó adicionalmente para verificar el margen de anomalías, pero de igual forma no está considerado para ningún análisis estadístico en el presente trabajo.



**Figura 7.** Concentración de Palinomorfos Continentales, Marinos, e índices ambientales. PP = Promedio de Precipitación; ISC = Índice de Surgencia Costera, ITSM = Índice de Temperatura Superficial del Mar.

**Tabla 8.** Correlación entre concentraciones de PC (Continental) y PM (Marinos), Promedio de Precipitación (PP), Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice Temperatura Superficial del Mar (ITSM).

Variable	Correlación Continental/Marinos/PP/ISC/ITSM			
	Marinos	PP	ISC	ITSM
Continental	0.505499	0.096293	0.031470	0.190127
Marinos	1.000000	-0.102487	0.456982	0.744173

Correlaciones marcadas en rojo son significativas a  $p < .05000$

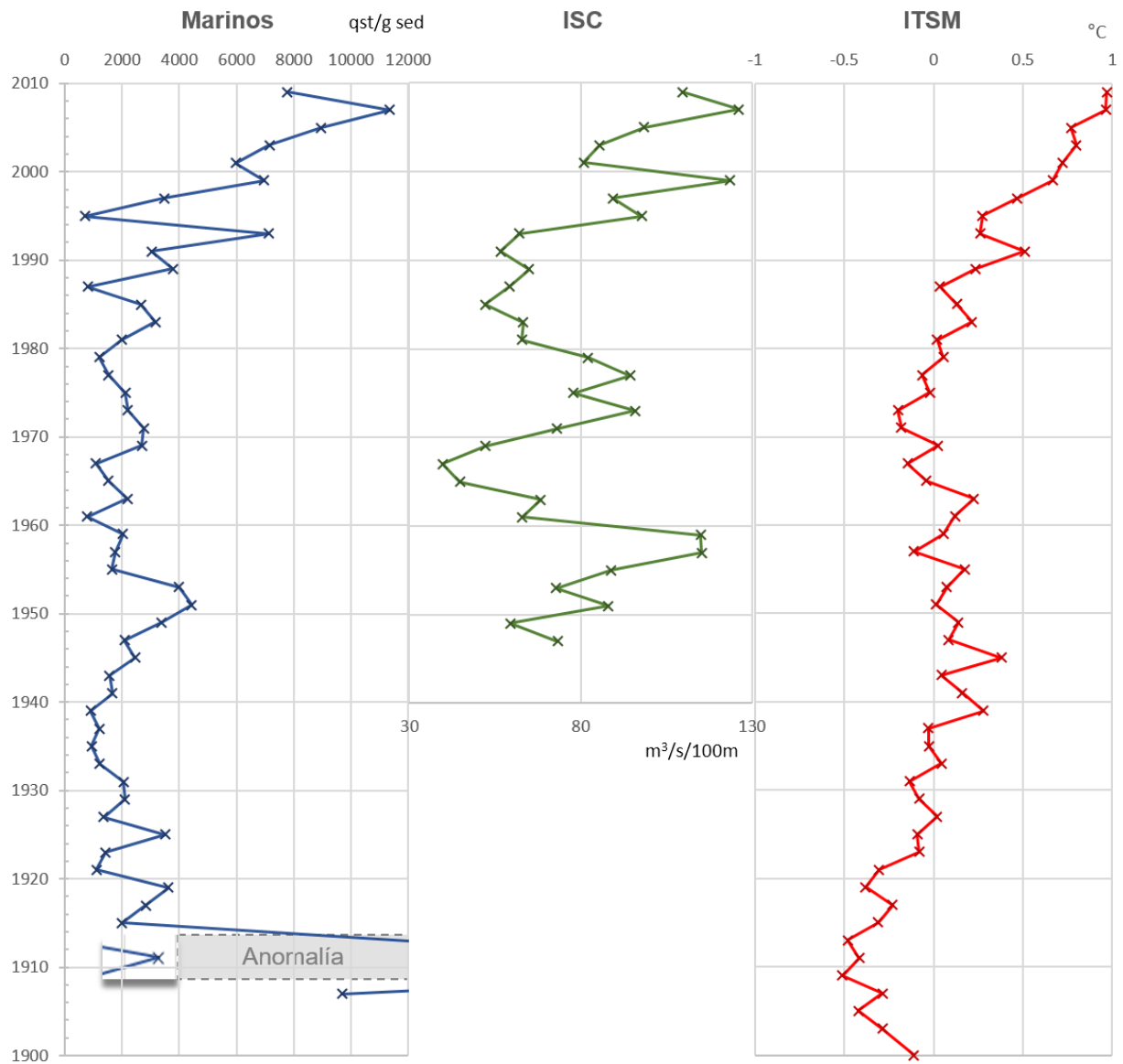
### 3.3.2 Palinomorfos continentales

Las concentraciones de PC presentan una correlación significativa (0.50) con PM, mientras que los PM tienen correlación con ITSM (0.74) y con ISC (0.45). El Promedio PP no presentó correlación significativa con los PC ni PM (Tabla 8). No es posible atribuir por completo el incremento de PC al aumento de precipitación anual de la zona, lo más probable es que los vientos y la escorrentía por tormentas y huracanes contribuyan en el transporte hacia la cuenca.

Para tratar de aclarar si hay una relación entre los PC, el PP y huracanes, se revisaron datos en el sitio [Unisys](#). Se ha reportado la presencia de huracanes que impactaron con mayor fuerza Baja California Sur desde 1960 a 2009 y se observa un aporte en el promedio de precipitación de la región, de un 20-80 por ciento anual (Latorre y Penilla, 1988; Farfán *et al.*, 2013), aunque estos promedios siguen siendo bajos (200-390 mm anuales). Habiendo fuertes incrementos de PC en 1953 a 1969, 1981, 1993. Mientras que, en el año 1997, 2009 prevalecen los PM. En conclusión, no se distingue una relación entre las trayectorias de los huracanes y el aumento en los PC.

### **3.3.3 Palinomorfos marinos**

Como se mencionó anteriormente, este grupo PM incluye quistes de dinoflagelados, huevos de copépodos, palinoforaminíferos y escolecodontes. La figura (8) muestra que hasta 1990, las concentraciones del grupo PM son casi homogéneas, variando de 1,000 a 4,000 pal/g sed. Sin embargo, son excepcionales los incrementos en 1993 (7,120 pal/g sed) y de 1999 a 2009, cuando alcanzan un máximo de 11,368 pal/g sed en 2007. También se muestra la equiparación con los ISC y de ITSM, donde se aprecia la similitud particularmente en los últimos 20 años. Las correlaciones significativas entre los valores de PM y los índices mencionados se muestran en la Tabla (9), con valores de (0.45) con el ISC, y (0.74) con el ITSM.



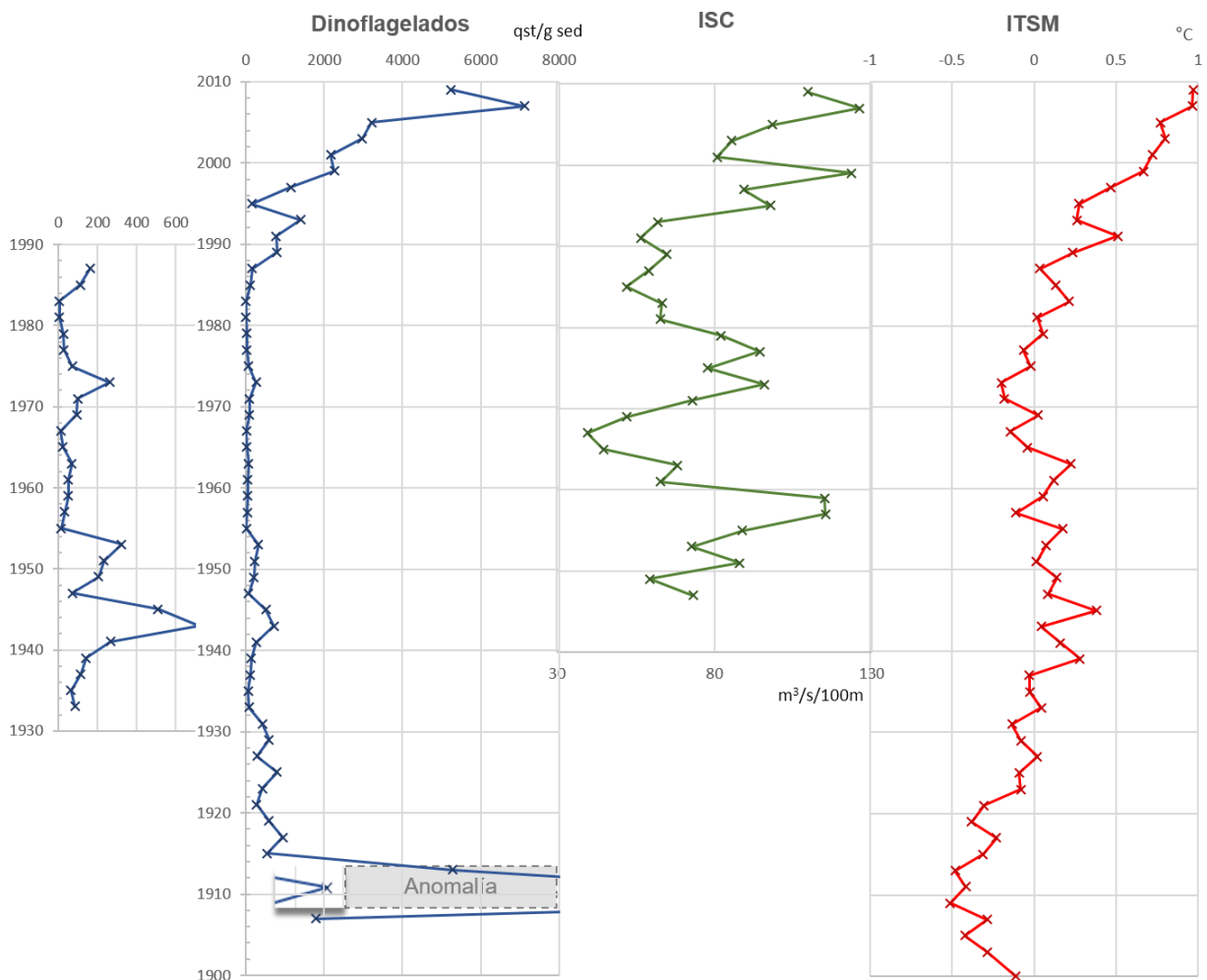
**Figura 8.** Comparación de PM (Marinos), Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).

**Tabla 9.** Correlación entre concentración de PM (Marinos), Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).

Correlación Marinos vs ISC/ITSM		
Correlaciones marcadas en rojo son significativas a $p < .05000$		
	N=32	N=48
Variable	ISC	ITSM
Marinos	0.456982	0.744173

### 3.3.4 Dinoflagelados

Los Dinoflagelados muestran (Tabla 10) una correlación significativa más alta con el ITSM (0.76), que con el ISC (0.53). Nuevamente, las concentraciones de dinoflagelados se mantuvieron en un rango homogéneo, entre 20 y 700 qst/g sed) en casi todo el núcleo, con el menor valor en 1981 con solo 6 qst/g sed. Sin embargo, se observan incrementos aproximadamente a partir de 1990 y hasta 2007 donde se registró el valor más alto con 7,117 qst/g sed. El incremento en la concentración en las dos últimas décadas estudiadas, impide apreciar los cambios de concentración en la columna de dinoflagelados (Figura 9) en el intervalo de 1930 a 1990, por lo cual se incluye una columna con una escala diferente de las concentraciones en esos años. Esta columna con escala alterna permite apreciar que si hay cierta sincronización entre las concentraciones de dinoflagelados y el ITSM.



**Figura 9.** Comparación de la concentración de Dinoflagelados, Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).



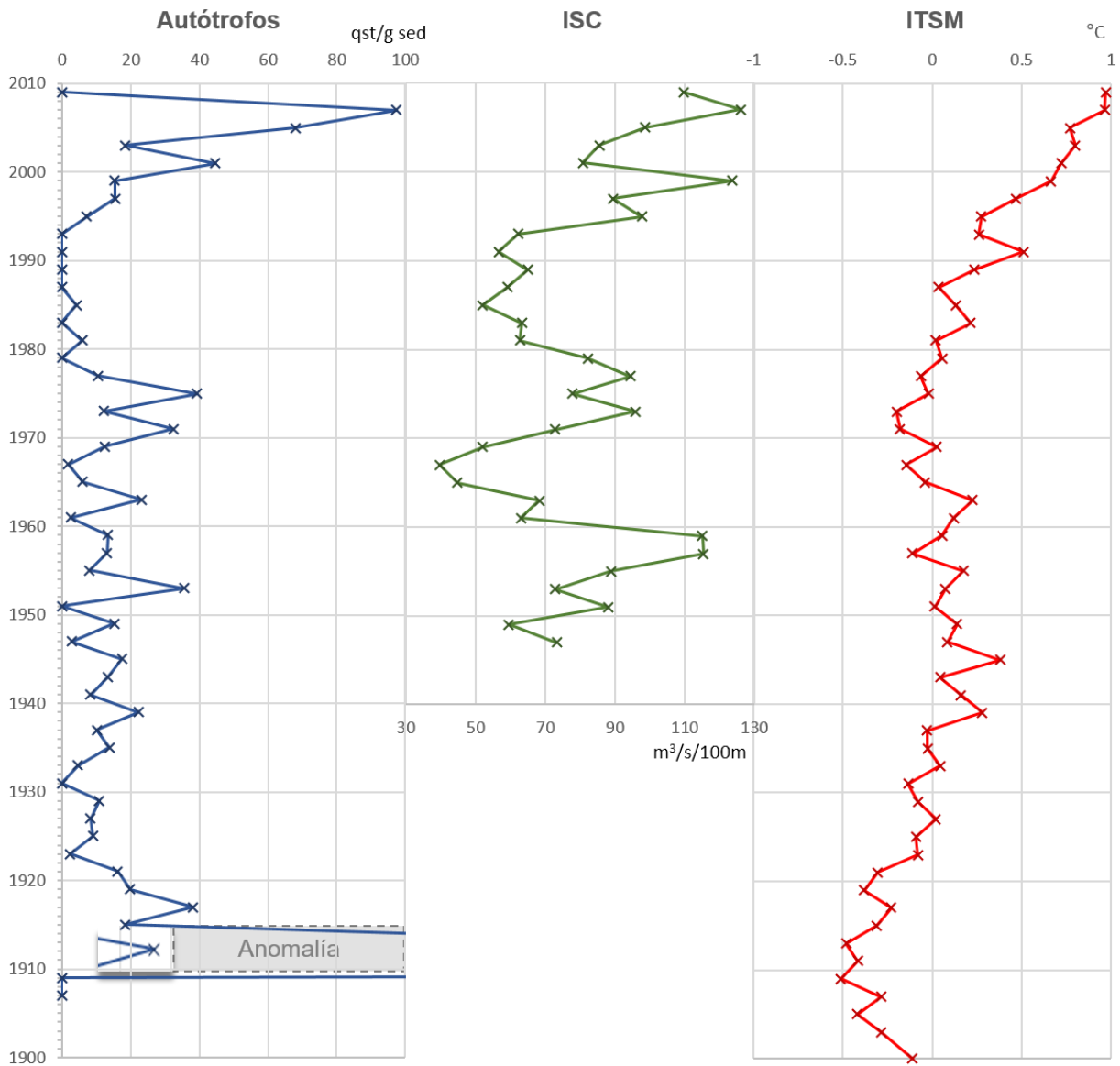
**Tabla 10.** Correlación entre concentración Dinoflagelados, Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).

Variable	Correlación Dinoflagelados vs ISC/ITSM	
	ISC N=32	ITSM N=48
Dinoflagelados	0.533814	0.768422

### 3.3.5 Dinoflagelados autótrofos

Los dinoflagelados se subdividieron por su estrategia trófica en autótrofos y heterótrofos. Los autótrofos incluyen 7 géneros: *Impagidinium*, *Spiniferites*, *Bitectatodinium*, *Pyxidinospis*, *Ataxodinium*, *Operculodinium*, y *Polysphaeridium*. En las muestras donde fueron encontrados, las concentraciones tuvieron valores por debajo de los 40 qst/g sed (Figura 10), de 1987 a 1993 no se encontraron quistes autótrofos y se observaron incrementos solo en tres muestras, las correspondientes a: 2001 (44 qst/g sed) y 2005 (68 qst/g sed) y 2007 (97 qst/g sed). La correlación con los índices ambientales (Tabla 11) fue significativa con el ITSM (0.37) y ligeramente más alta con el ISC (0.42).

De los siete géneros autotróficos encontrados en el núcleo, cuatro se presentaron consistentemente en las muestras, estos son: *Impagidinium*, *Spiniferites*, *Bitectatodinium* y *Pyxidinospis* (Figura 11). Mientras que los tres restantes, *Ataxodinium*, *Operculodinium* y *Polysphaeridium*, aparecieron esporádicamente y con concentraciones bajas, entre 2 y 5 qst/g sed para *Polysphaeridium* en 3 muestras; *Operculodinium*, 2-5 qst/g sed en 8 muestras, y *Ataxodinium*, 2-5 qst/g sed en 5 muestras.



**Figura 10.** Comparación de la concentración de dinoflagelados Autótrofos, Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).

**Tabla 11.** Correlación entre concentración de Autótrofos, Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).

Correlación Autótrofos vs ISC/ITSM		
Correlaciones marcadas en rojo son significativas a $p < .05000$		
	N=32	N=48
Variable	ISC	ITSM
Autótrofos	0.421489	0.370696

El género *Spiniferites*, fue encontrado en 15 muestras, con concentraciones de 2 a 14 qst/g sed, teniendo sus mayores concentraciones en 1963 y 2001; *Bitectatodinium*, fue encontrado en 12 muestras, con concentraciones de 2 a 68 qst/g sed en 2005, y *Pyxidinospis*, con concentraciones de 2 a 19 qst/g sed, apareció en nueve muestras, siendo el año de 2007 el cual presento la mayor concentración de quistes de 20 qst/g sed (Figura 11).

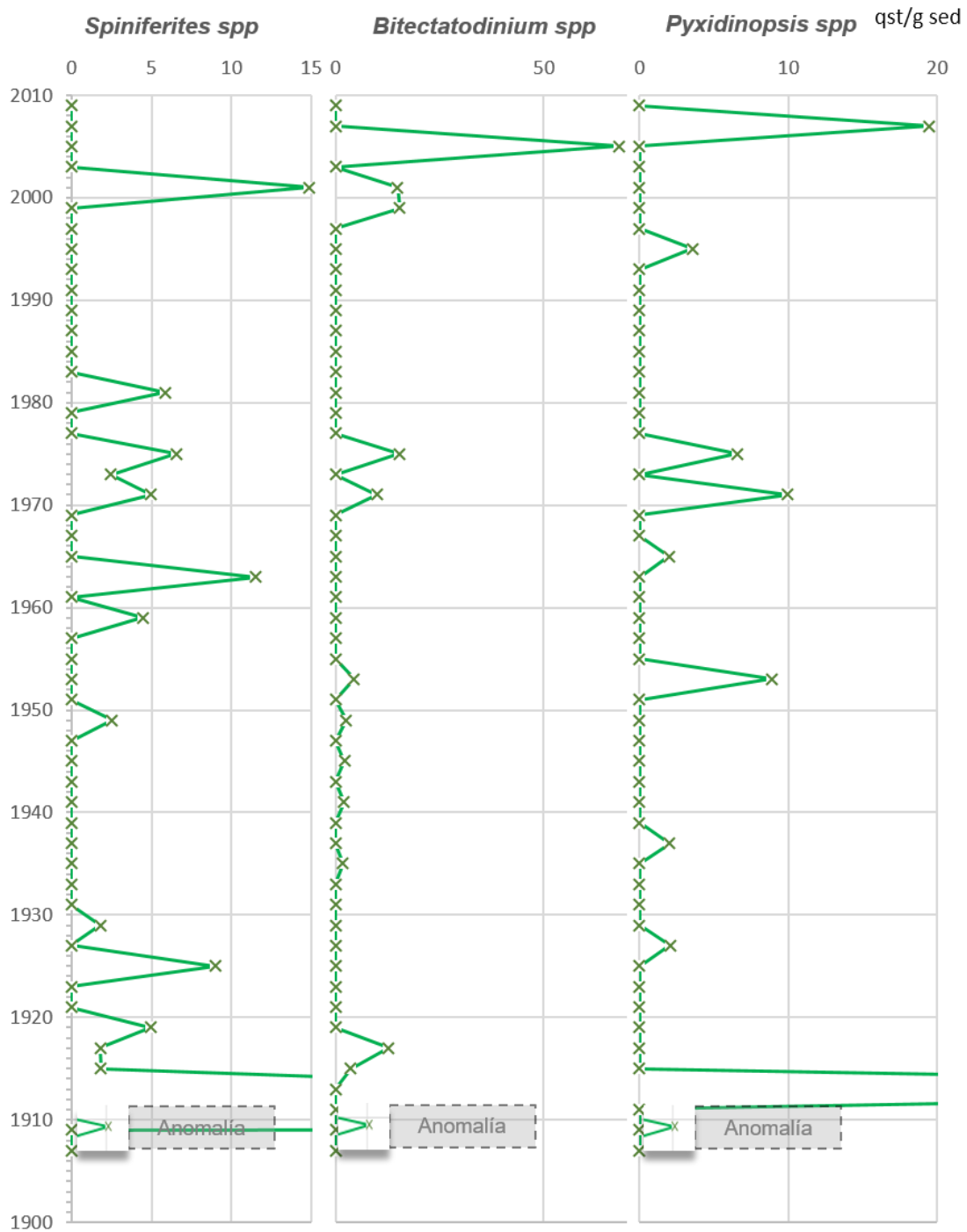
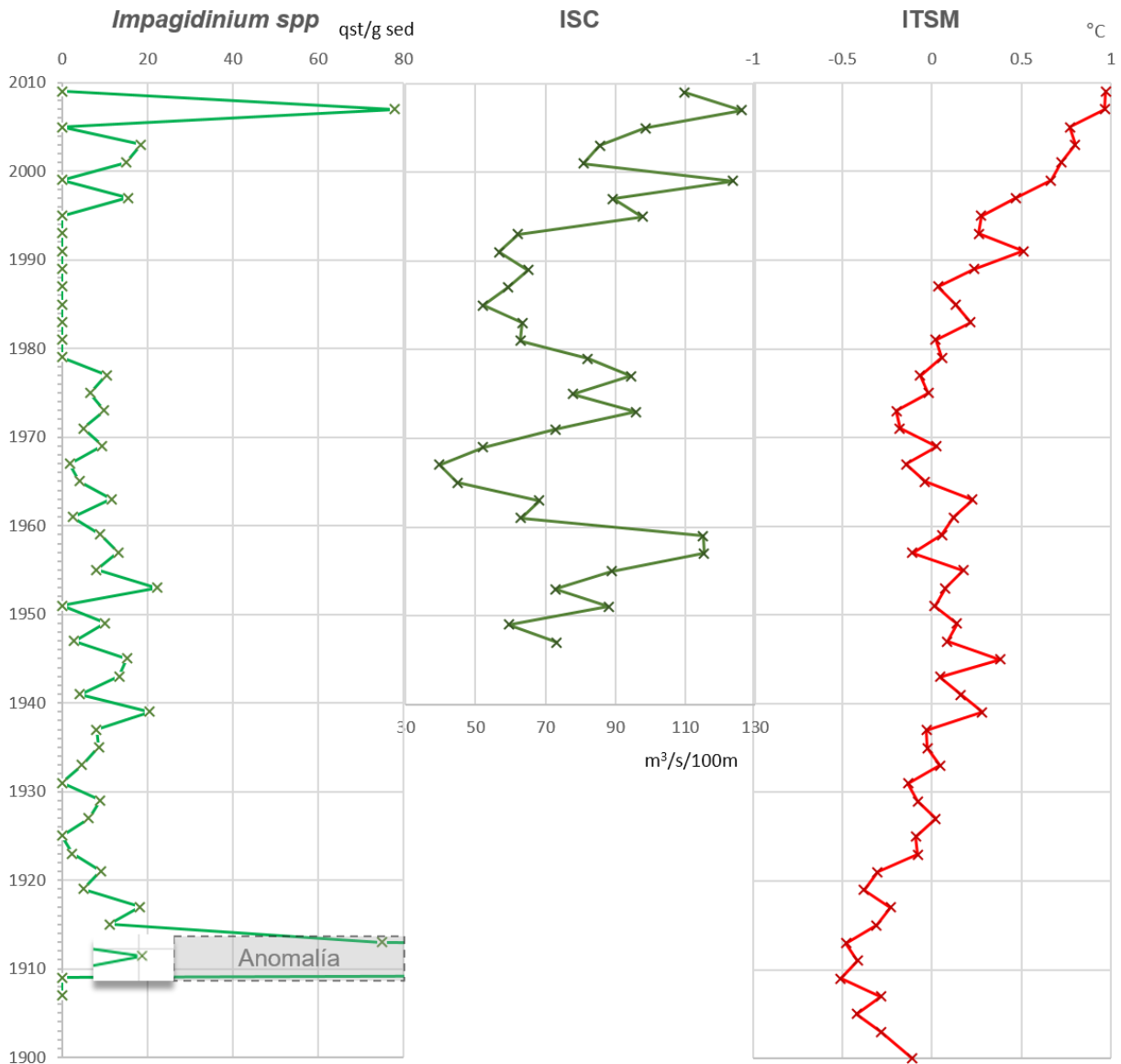


Figura 11. Concentración de *Spiniferites*., *Bitectatodinium* y *Pyxidinospis* en el núcleo MAGD09.

El caso de *Impagidinium* es particular, pues se observa en 35 muestras, con un rango de 10 a 40 qst/g sed, a excepción del año 2007 donde presenta una concentración de 78 qst/g sed. Además, se observa un periodo de desaparición desde 1979 hasta 1995 (Figura 12). Al mismo tiempo, sus concentraciones tienen una aparente sincronía con los índices climáticos, y muestran una correlación (Tabla 12) con el ISC (0.40) y ligeramente menor con el ITSM (0.31).



**Figura 12.** Comparación de la concentración de *Impagidinium*, Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).

**Tabla 12.** Correlación entre concentración de *Impagidinium*, Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).

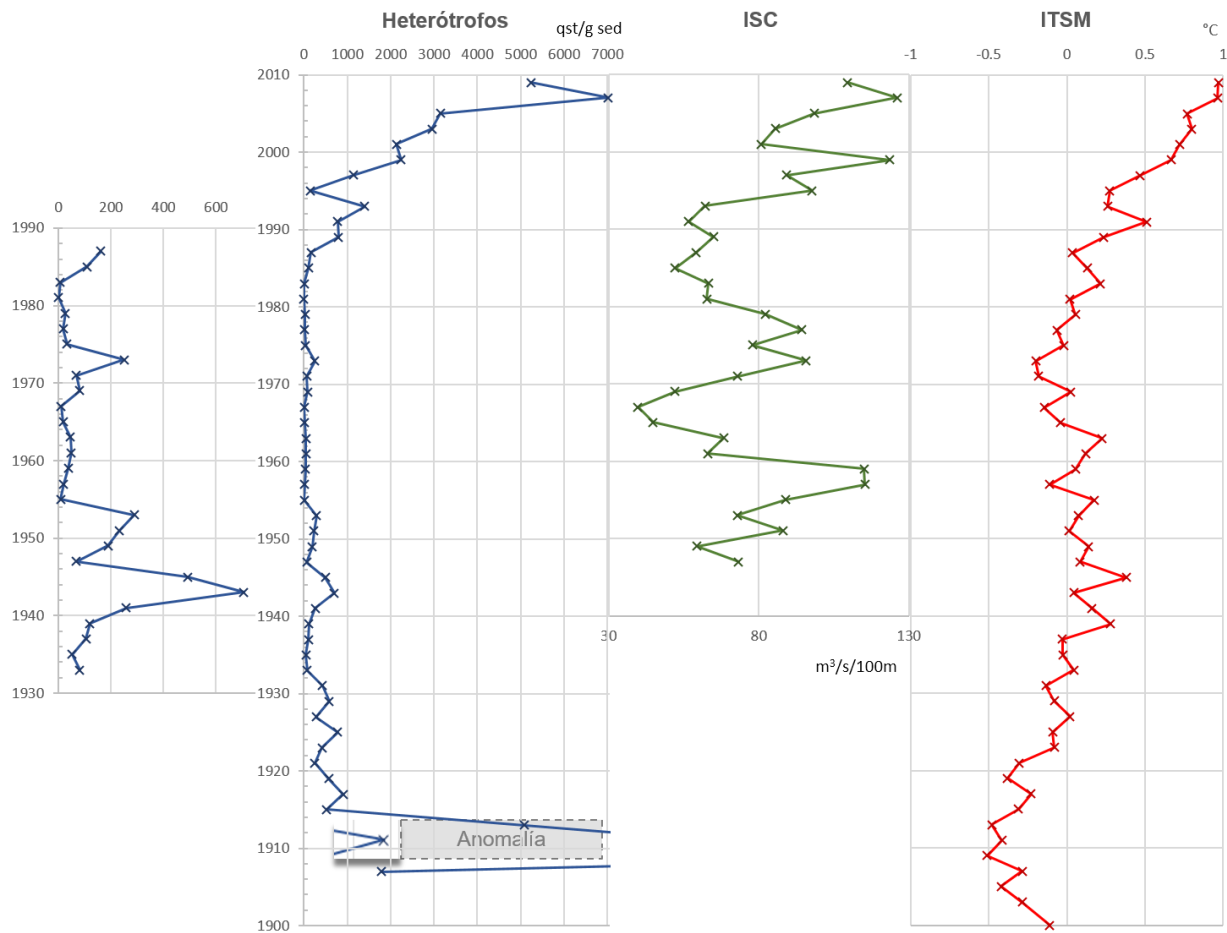
Variable	Correlación <i>Impagidinium</i> vs ISC/ITSM	
	ISC	ITSM
<i>Impagidinium spp</i>	0.404830	0.315591

Correlaciones marcadas en rojo son significativas a  $p < .05000$

### 3.3.6 Dinoflagelados heterótrofos

Los dinoflagelados heterótrofos se observan en todas las muestras, con la única excepción del año 1981, por lo que representan el componente más importante en las concentraciones de dinoflagelados totales. Sus concentraciones varían de 20 a 900 qst/g sed, pero a partir de 1993 (1,399 qst/g sed) hay incrementos en las concentraciones de heterótrofos, en el año de 1999 se alcanzan los 2,244 qst y para 2005 se llega a los 3,145 qst, alcanzando su máximo nivel en 2007 con 7,019 qst/g sed (Figura 13). Las correlaciones entre dinoflagelados heterótrofos y los índices climáticos (Tabla 13) fueron mayor que en el caso de los autótrofos, tiene un valor de 0.76 con el ITSM y de 0.53 con el ISC. Para apreciar los cambios de concentración en la columna de dinoflagelados heterótrofos (Figura 13) en el intervalo de 1930 a 1990, se incluye una columna con una escala diferente de las concentraciones en esos años, debido al incremento en la concentración a partir de 1993.

De los diez géneros heterotróficos observados (Figura 13), la mitad mantuvieron fuerte presencia durante todo el núcleo, estos son: *Brigantedinium*, *Selenopemphix*, *Lejeunecysta*, *Quinquecuspis* y *Dubridinium* (Figura 14). El resto de los heterótrofos, solo se encontraron en algunas de las muestras. *Echinidinium* se observa en 15 muestras, con un rango de 2 a 92 qst/g sed; *Islandinium*, se encontró en 6 muestras, con concentraciones de 2 a 77 qst/g sed; *Protoberidinium*, apareció en 10 muestras con concentraciones de 2 a 18 qst/g sed, y finalmente *Votadinium*, y *Stelladinium*, solo fueron encontradas en una muestra.



**Figura 13.** Comparación de la concentración de Heterótrofos, Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).

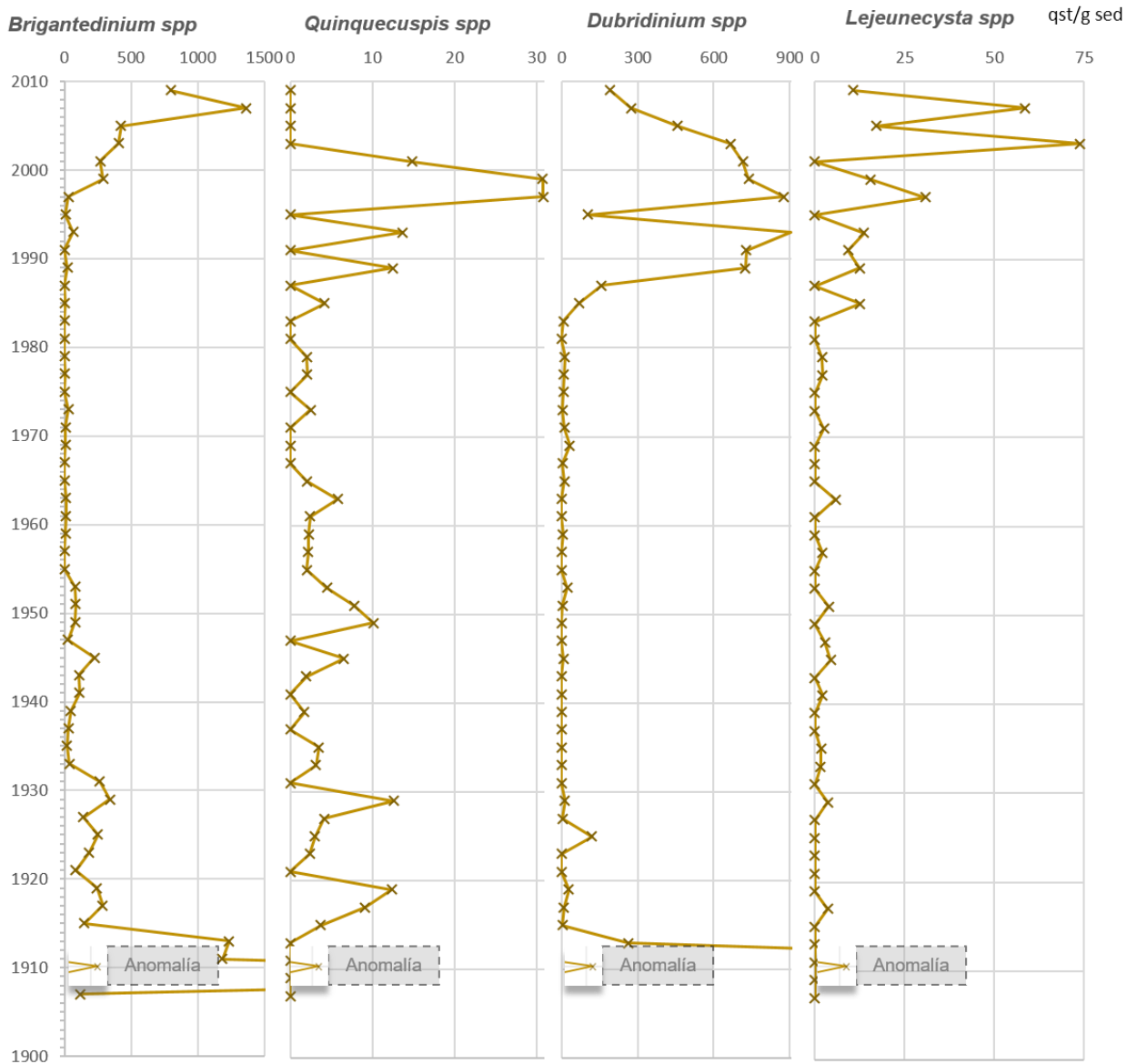
**Tabla 13.** Correlación entre concentración de Heterótrofos, Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).

Variable	Correlación Heterótrofos vs ISC/ITSM	
	ISC	ITSM
Heterótrofos	0.532559	0.769605

Correlaciones marcadas en rojo son significativas a  $p < .05000$   
 N=32      N=48

El género más observado fue *Brigantedinium*, pues estuvo presente en 45 muestras, y su rango en concentraciones varió de 30 a 100 qst/g sed. Este género tuvo concentraciones mayores a partir de 1999 (292 qst), hasta alcanzar su máximo en 2007 con 1,364 qst/g sed. Otro género comúnmente encontrado en las muestras analizadas, fue *Quinquecuspis*, estuvo presente en 33 de ellas y sus concentraciones

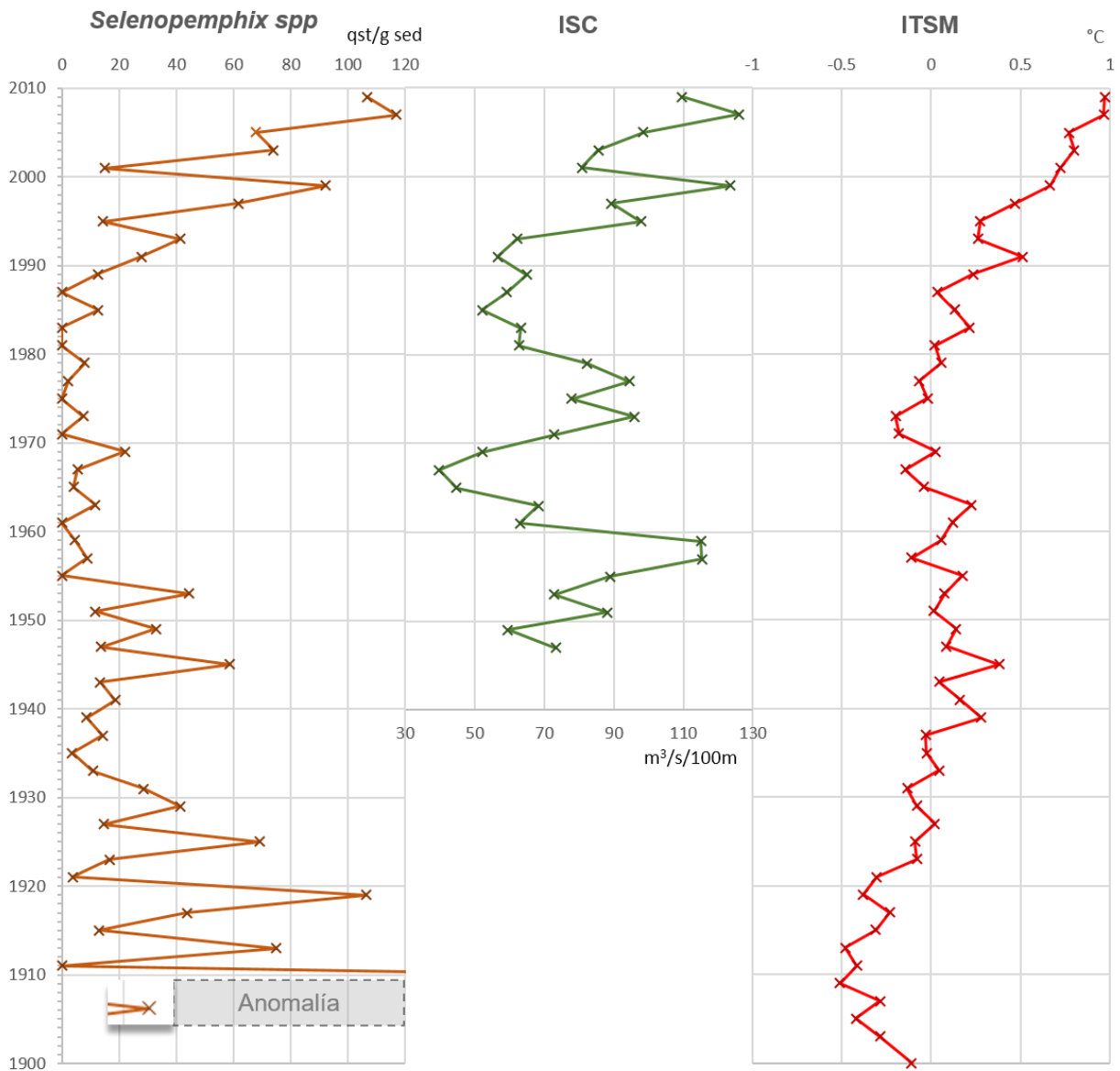
variaron de 2-30 qst/g sed. *Dubridinium*, también se encontró en 35 muestras y tuvo un rango de 2 a 905 qst/g sed. Por último, el género *Lejeunecysta*, se encontró en 27 muestras y presentó abundancias de 2 a 73 qst/g sed (Figura 14).



**Figura 14.** Concentración de *Brigantedinium*, *Quinquecuspis*, *Dubridinium* y *Lejeunecysta* en el núcleo MAGD09.

El género *Selenopemphix*, también se observa consistentemente en 43 muestras, solo está ausente en las muestras correspondientes a los años 1911, 1955, 1961, 1971, 1975, 1981, 1983 y 1987. Este género presenta concentraciones regulares de 10 a 40 qst/g sed (Figura 15), con ligeros aumentos en las muestras correspondientes a los años 1919, 1925, 1945, 1993 y 1999 donde alcanza hasta 92 qst, una fuerte caída en 2001 (12 qst) y nivel máximo en 2007 (116 qst/g sed). La Tabla 14 muestra las

correlaciones significativas de *Selenopemphix* con los índices ITSM (0.54) y ISC (0.52), lo cual indica su relevancia dentro de los dinoflagelados heterótrofos.



**Figura 15.** Comparación de la concentración de *Selenopemphix*, Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).

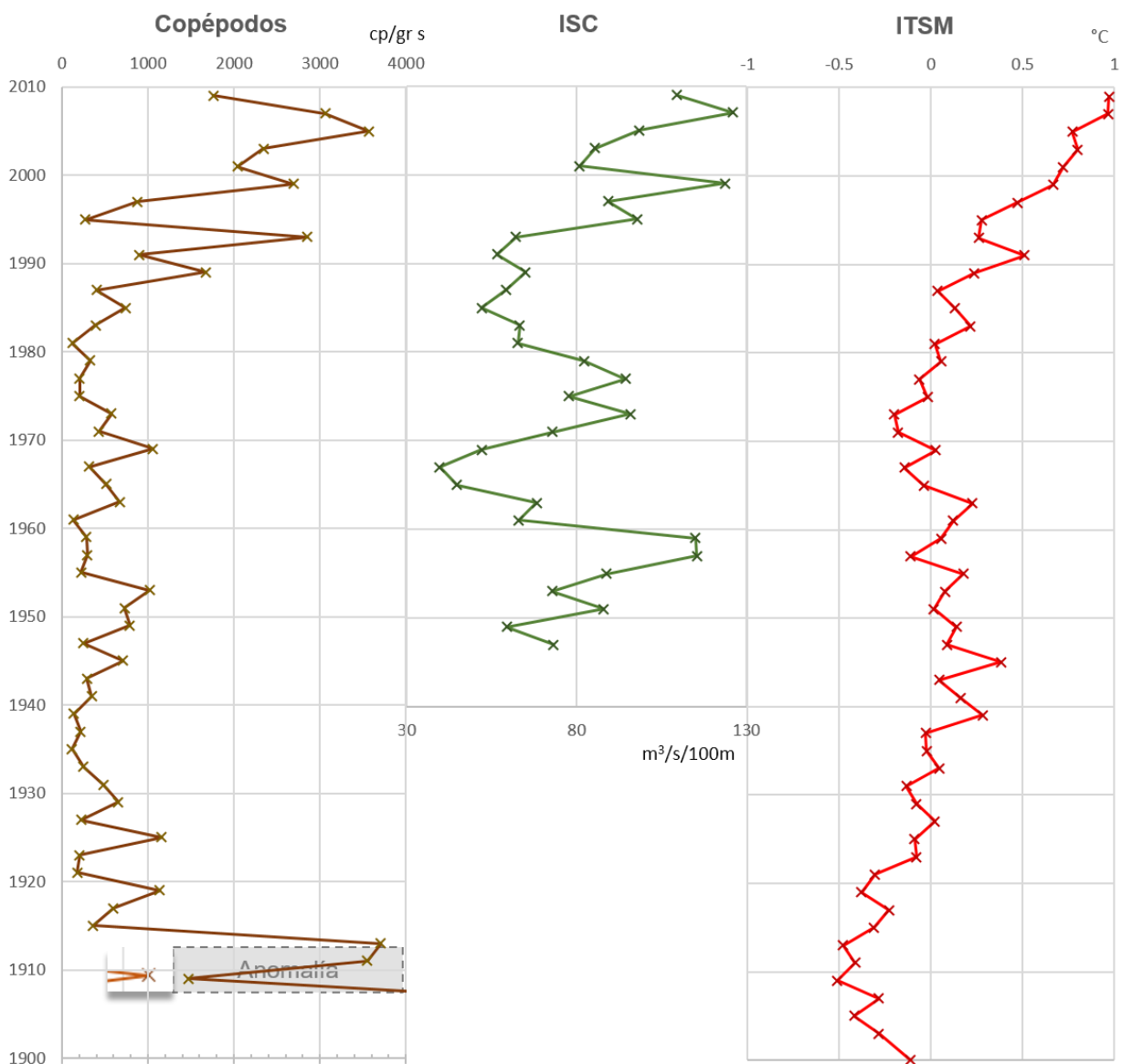
**Tabla 14.** Correlación entre concentración de *Selenopemphix*, Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).

Correlación <i>Selenopemphix</i> vs ISC/ITSM			
Correlaciones marcadas en rojo son significativas a $p < .05000$			
		N=32	N=48
Variable	ISC	ITSM	
<i>Selenopemphix spp</i>	0.523495	0.540832	



### 3.3.7 Copépodos

Dentro del grupo PM hay otros organismos que se incluyen por su presencia constante en todas las muestras. En particular, los huevos diapáusicos de copépodos representan un factor relevante en la señal que muestra este grupo (Figura 16). Además de mostrar (Tabla 15) fuerte correlación con ITSM (0.71), mientras que con el ISC tiene una correlación menor (0.34) que es marginalmente significativa (0.056), por lo que debe ser afectado por ambos parámetros ambientales.



**Figura 16.** Comparación de la concentración de Copépodos, Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).

**Tabla 15.** Correlación entre concentración de Copéodos, Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).

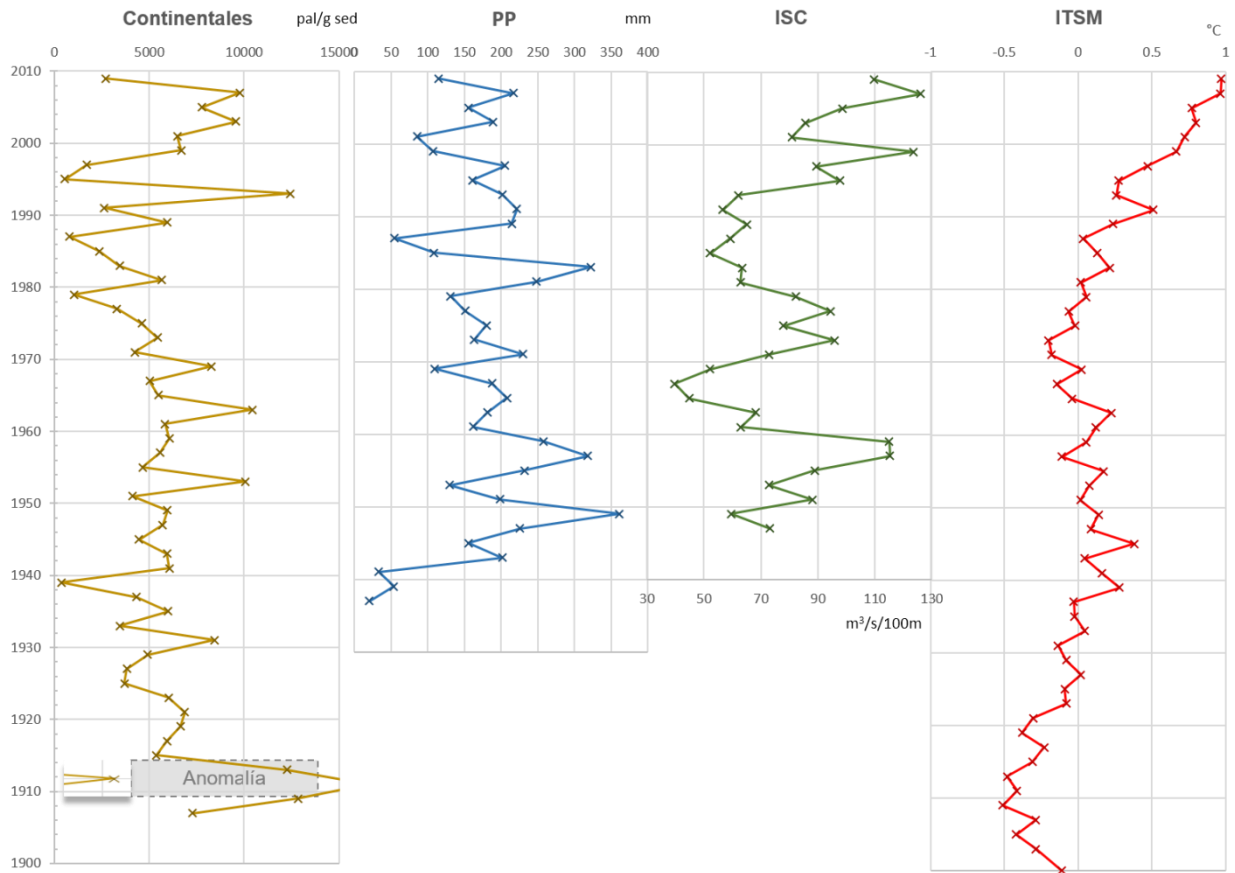
Variable	Correlación Copéodos vs ISC/ITSM	
	ISC	ITSM
Copéodos	.3406	.7106
	p=.056	p=.000

Correlaciones marcadas en rojo son significativas a  $p < .05000$   
N=32    N=48

### 3.3.8 Palinomorfos continentales

Con lo que respecta al grupo de Palinomorfos Continentales (Continentales) tuvo sus valores de concentración más bajos en los años 1939, 1979, 1987, 1995, cuando variaron de 376 a 1,025 granos de polen por gramo de sedimento (pol/g sed). Los años con valores altos fueron 1931, 1953, 1963, 1969, 1981, 1999, 2001, 2003, 2005 y 2007, cuando fluctuaron de 8,446 a 10,425 pol/g sed, alcanzando su máximo en 1993 con 12,457 pol/g sed (Figura 17).

La correlación de los PC con los índices climáticos ISC e ITSM, y con el promedio de precipitación bianual (PP) son bajas y no significativas (Tabla 16), estas son: con la precipitación (PP)  $R = 0.16$ ; con los índices ISC  $R = 0.03$ , y con el ITSM  $R = 0.10$ . Considerando estas correlaciones no significativas, se procedió a evaluar separando en grupos morfológicos, estos son; gimnospermas (polen bisacado); angiospermas (monocolpados, dicolpados, monoporados, tricolporado, periporado) y esporas en general. Los grupos morfológicos correspondieron significativamente con las variables ambientales: ITSM con gimnospermas de manera inversa con  $(-0.31)$ ; con esporas  $(-0.37)$ ; con los monoporados (gramíneas)  $(0.30)$ ; con dicolpados  $(0.25)$  y con periporados  $(0.39)$ . Finalmente, las esporas se correlacionaron con el PP con  $0.36$  (Tabla 17), esto podría significar que los grupos morfológicos están respondiendo a las variaciones en las anomalías del ITSM.



**Figura 17.** Comparación de la concentración de polinórfos Continentales, Promedio de Precipitación (PP), Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).

**Tabla 16.** Correlación entre concentración de PC (Continental), Promedio de Precipitación (PP), Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).

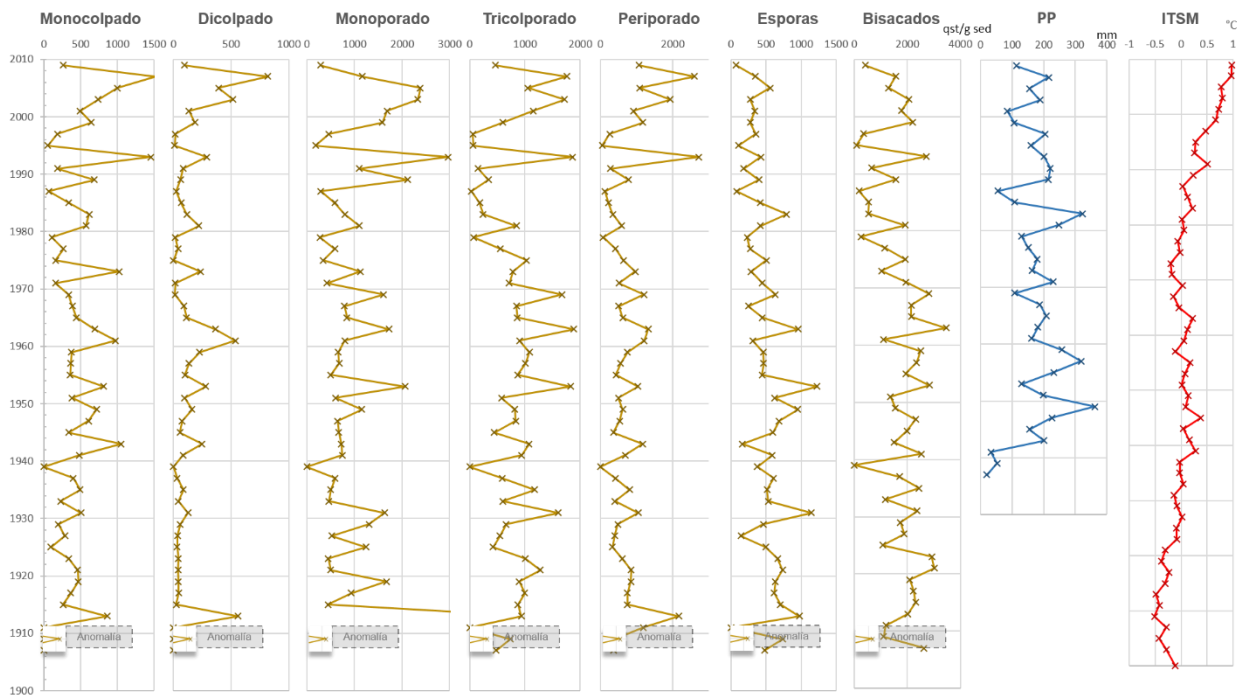
Variable	Correlación Continentales vs PP/ISC/ITSM		
	PP	ISC	ITSM
Continental	0.169521	0.031470	0.100536

Correlaciones marcadas en rojo son significativas a  $p < .05000$   
 N=37      N=32      N=48

**Tabla 17.** Correlación entre concentración de PC, Promedio de Precipitación (PP), Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).

Variable	Correlación Gimno/Esp/Angio vs PP/ISC/ITSM		
	PP	ISC	ITSM
Bisacados	0.176687	-0.068030	-0.317176
Esporas	0.367363	-0.216590	-0.376958
Monoporados	-0.053156	-0.090499	0.305738
Tricolporado	0.044503	0.053806	-0.005995
Monocolpado	0.149617	0.130479	0.362898
Dicolpado	0.079853	0.292744	0.520593
Periporado	-0.042685	0.220656	0.392745

Las gráficas correspondientes a las componentes morfológicas de las gimnospermas y angiospermas pueden observarse en la Figura 18, junto a los índices climáticos con los que probó su correlación.

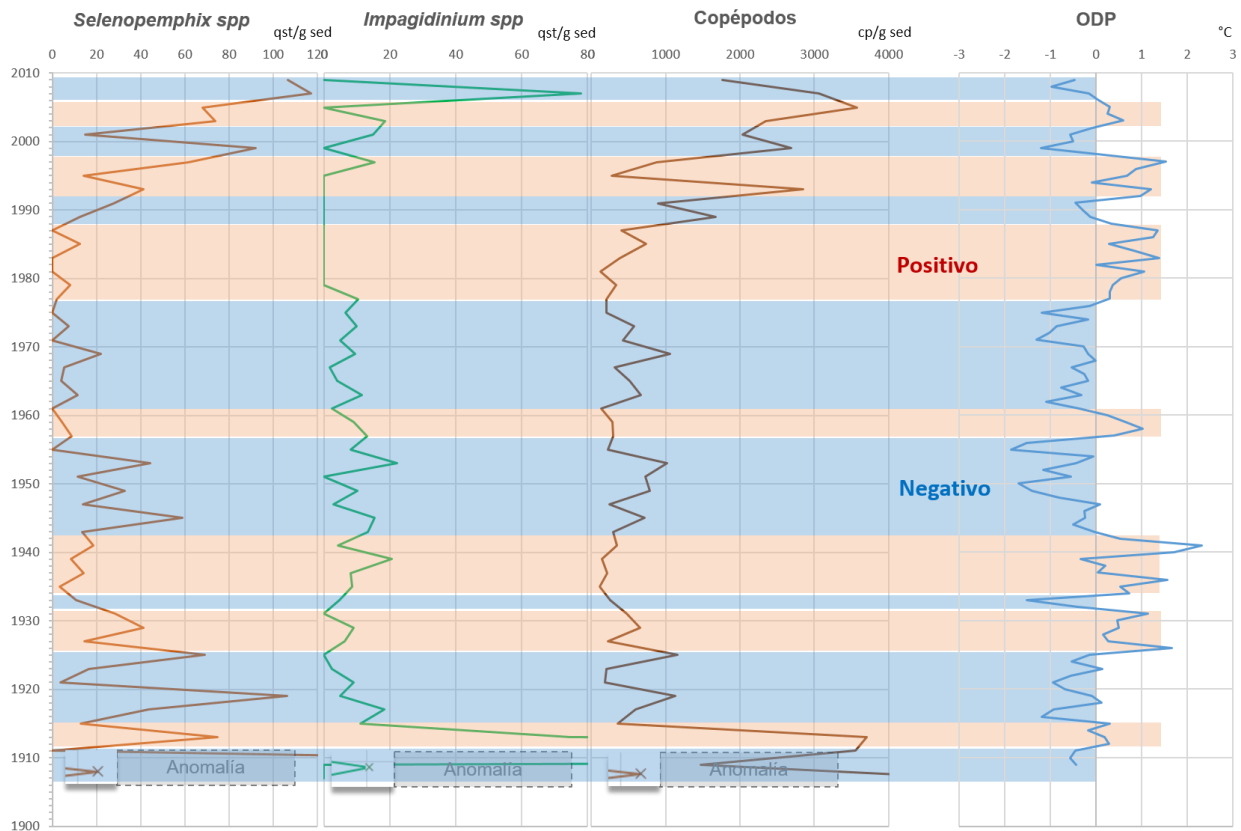


**Figura 18.** Comparación de la concentración de formas del grupo de PC, Promedio de Precipitación (PP), Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).

### 3.3.9 Oscilación Decadal del pacífico (ODP) y El Niño Oscilación del Sur (ENOS)

Las comparaciones entre los índices de la Oscilación Decadal del pacífico (ODP) y del Niño Oscilación del Sur (ENOS), mostraron relación con las taxa *Selenopemphix*, *Impagidinium* y los huevos de copépodos.

La figura 19 muestra como los ciclos del ODP son determinantes en las variaciones de abundancia de las taxa *Selenopemphix*, *Impagidinium* y copépodos, habiendo aumentos en las concentraciones cuando el ODP es negativo (frio = azul) y disminuyendo cuando el ODP es positivo (cálido = rosa). Habiendo incrementos en los periodos negativos: 1915 a 1925; 1943 a 1955; 1960 a 1970; 1990 a 1993; 1997 a 1999 y 2003 a 2007. Y fuertes descensos en los periodos positivos: 1927 a 1943; 1960; 1975 a 1987; 1995, 2001 y 2005.

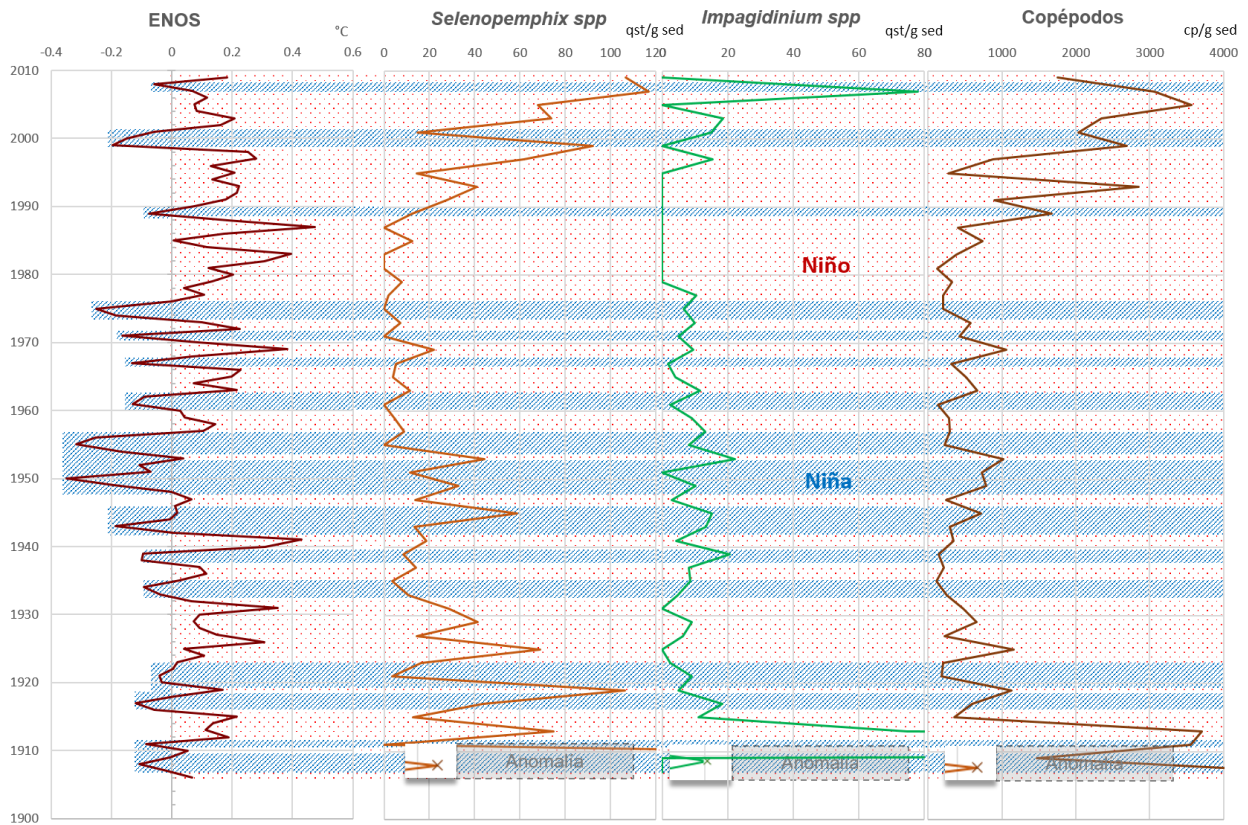


**Figura 19.** Comparación de la concentración de *Selenopemphix*, *Impagidinium* y Copépodos, Oscilación Decadal del Pacífico (ODP).

Los intervalos en el ENOS son claros cuando los ciclos tienen mayor duración temporal (Figura 20) Los periodos fríos (Niña) en líneas azul, se relacionan con incrementos en las concentraciones de las taxa

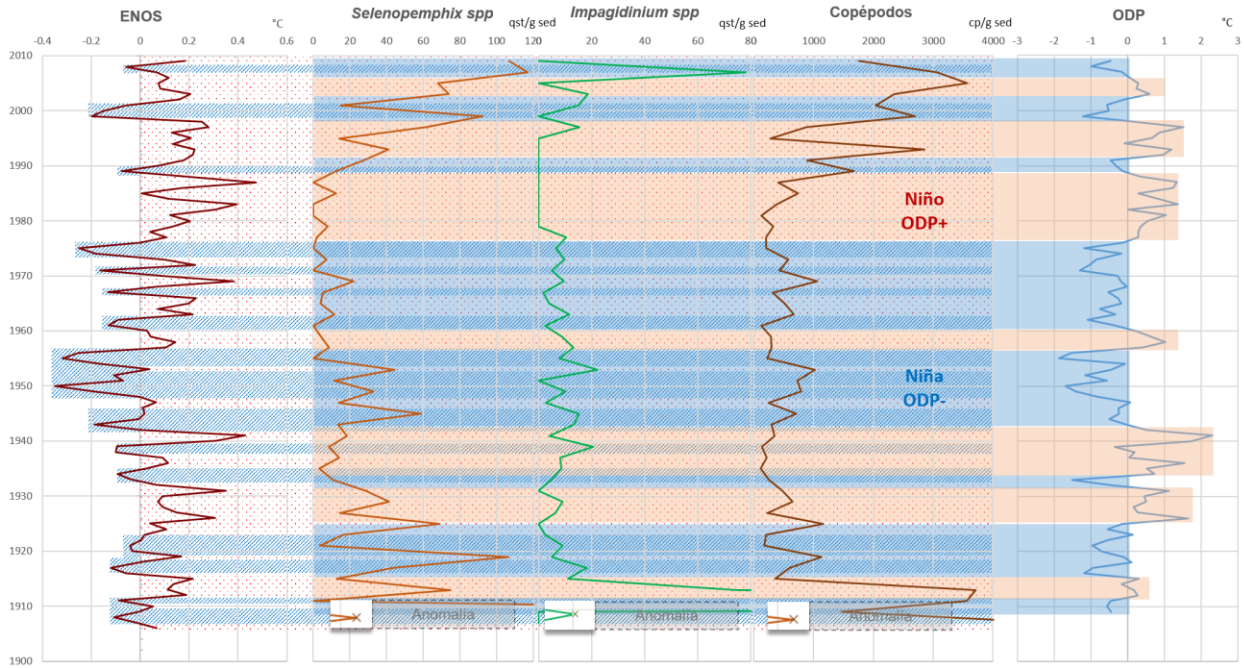
*Selenopemphix*, *Impagidinium* y copépodos. Siendo evidentes en los periodos de 1915 a 1918; 1920 a 1922; 1938 a 1939; 1948 a 1956; 1960 a 1962; 1989; 1998 a 2001 y 2007.

Los periodos cálidos (Niño) son mostrados en puntos rosa y muestran relación con un descenso en la concentración de las taxa en los lapsos: 1912 a 1915; 1924 a 1930; 1935 a 1936; 1940 a 1941; 1945 a 1947; 1957 a 1959; 1963 a 1966; 1968 a 1970; 1977 a 1988; .1990 a 1997; 2002 a 2007 y 2009.



**Figura 20.** Comparación de Niño y la Niña Oscilación del Sur (ENOS) con la concentración de *Selenopemphix*, *Impagidinium* y Copépodos.

Al intercalar los valores del ENOS con el ODP se detectan las zonas de coincidencia climática fría, Niña con ODP negativo (líneas y azul), y cálido (Niño) con ODP positivo (puntos y rosa). La figura 21 muestra como los intervalos fortifican los ciclos, generando periodos de incremento en la concentración de taxa (Niña, ODP-) en 1916 a 1918; 1933 a 1935; 1942 a 1940; 1948 a 1956; 1967; 1971; 1975; 1989; 1998 a 2001 y 2008. Y cálido (Niño, ODP+) para 1924 a 1930; 1936; 1940 a 1941; 1957 a 1959; 1977 a 1988; 1990 a 1998; 2002 a 2007 y 2009.



**Figura 21.** Intercalación de Niño y la Niña Oscilación del Sur (ENOS), con la concentración de *Selenopemphix*, *Impagidinium* y Copépodos y Oscilación Decadal del Pacífico (ODP), marcando los intervalos donde coinciden Niña y ODP negativo y Niño con ODP positivo.

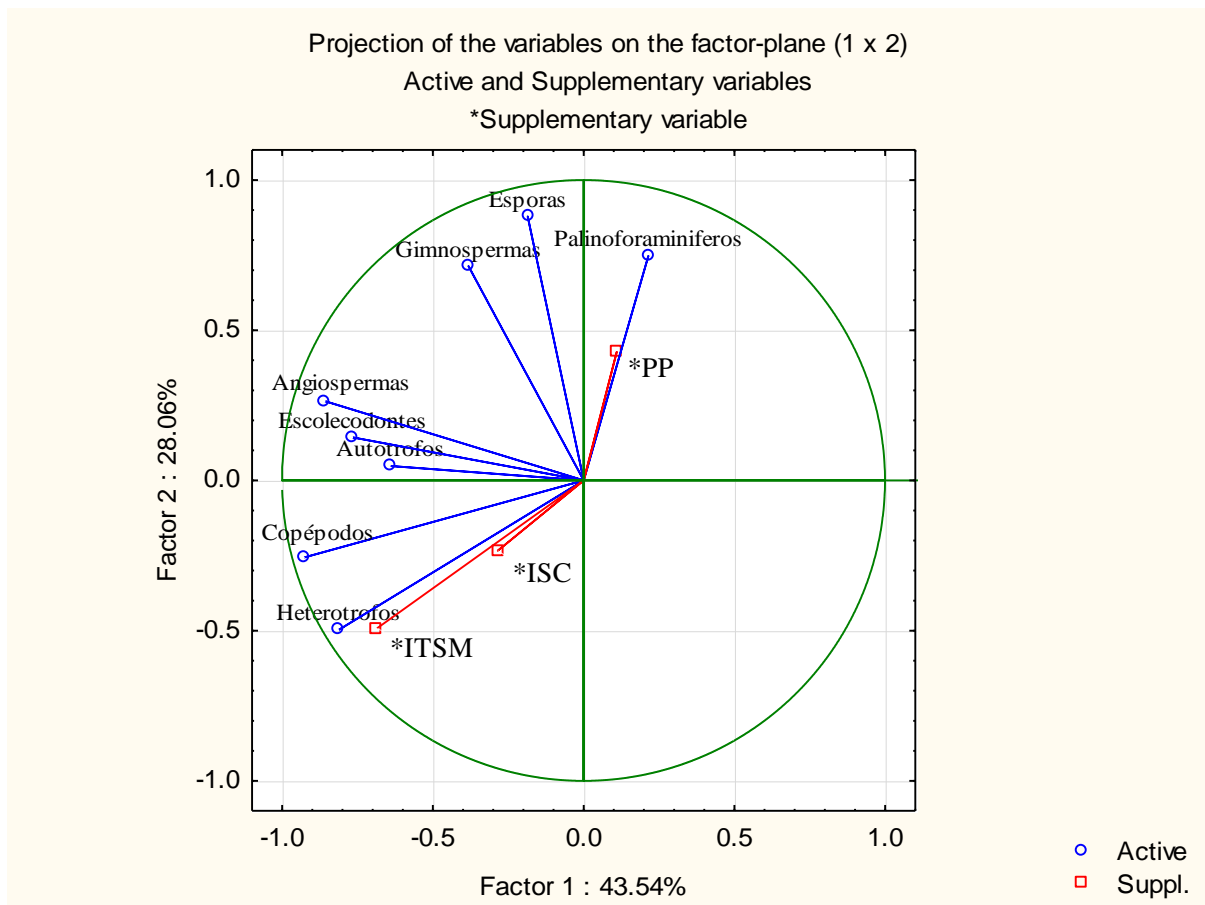
**3.4 Análisis multivariado**

Para realizar el análisis de componentes principales (ACP), primero se generó una matriz de datos (Tabla 18) formada con las variables: abundancias absolutas de Esporas, Angiospermas (monocolpados, dicolpados, monoporados, tricolporado, periporado); Gimnospermas (bisacados); Copépodos; Escolocodontes, Palinoforaminíferos; Dinoflagelados Autótrofos, y Dinoflagelados Heterótrofos.

**Tabla 18.** Correlación entre concentración de PC y PM separados por sus componentes, Promedio de Precipitación (PP), Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).

Variable	Correlación Total vs PP/ISC/ITSM		
	PP	ISC	ITSM
Esporas	0.367363	-0.216590	-0.226161
Angiospermas	0.013541	0.095923	0.378175
Gimnospermas	0.176687	-0.068030	-0.171405
Copépodos	-0.229782	0.340607	0.710600
Escolocodontes	-0.032155	0.044205	0.440749
Palinoforaminíferos	0.486566	-0.052319	-0.433471
Autótrofos	-0.053870	0.421489	0.370696
Heterótrofos	-0.186695	0.532559	0.769605

La figura 22 muestra la proyección de las variables en sus dos componentes principales. Por un lado, las abundancias de angiospermas, escolecodontes, dinoflagelados autótrofos, copépodos, dinoflagelados heterótrofos están más relacionadas las variables ambientales del ITSM y las surgencias (ISC). Mientras que gimnospermas, esporas, palinoforaminíferos se relacionan con el promedio de precipitación (PP). Los índices ISC e ITSM están muy relacionados y determinan un peso alto con las variables en el primer componente. Sin embargo, la relación de las variables en el segundo componente y su aparente relación con el PP es evaluado nuevamente por análisis factorial, que se presenta más abajo.

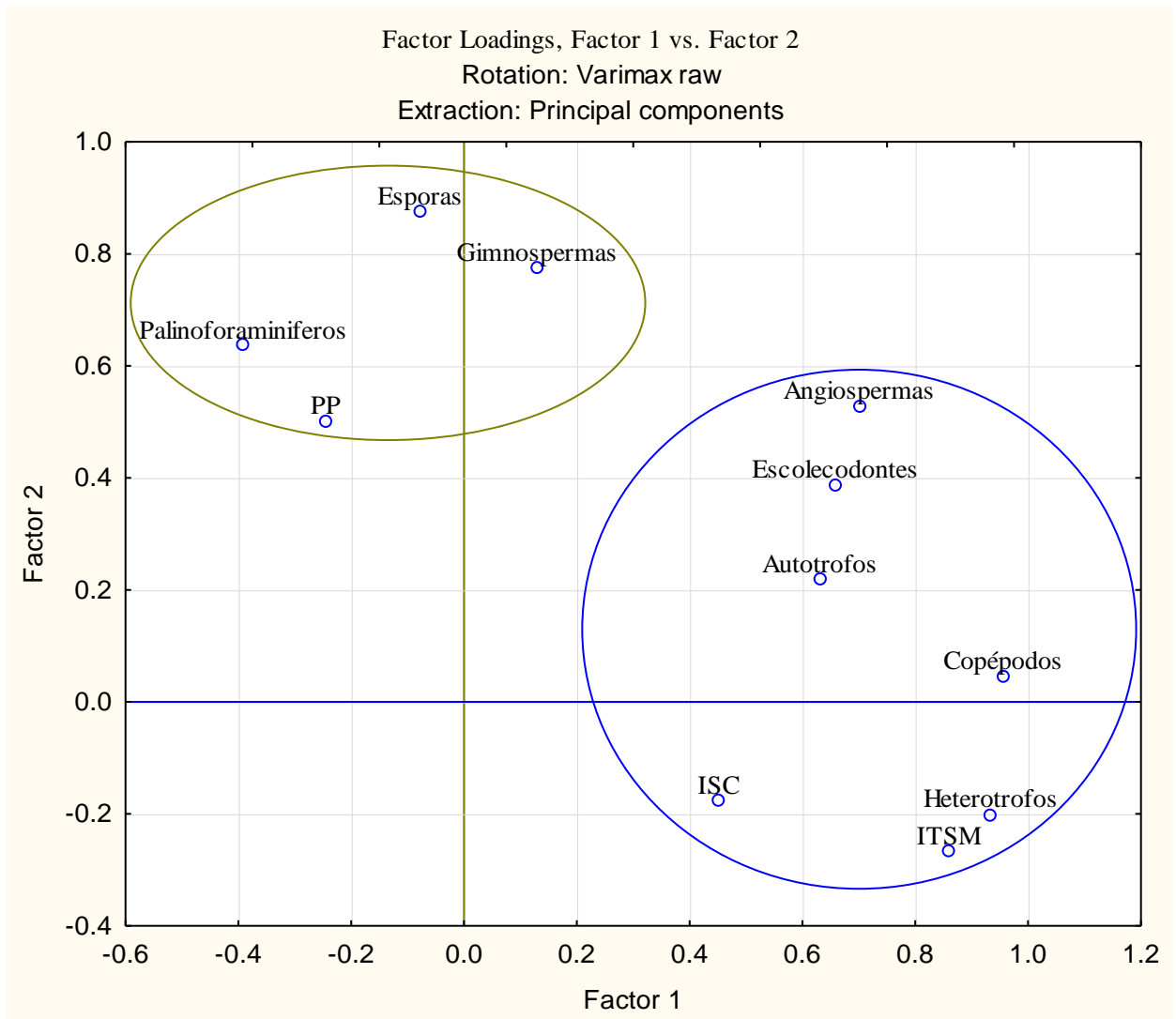


**Figura 22.** Componentes Principales de los Palinomorfos Continentales y Marinos divididos en grupos. Se muestran los componentes 1 y 2 con las variables suplementarias, o índices ambientales: Promedio de Precipitación - PP; Índice de Surgencia Costera – ISC, e Índice de Temperatura Superficial del Mar - ITSM).

El análisis factorial (AF) con la misma matriz de PC y PM, muestra un orden de agrupación similar que el ACP, englobando en el factor 1 las: angiospermas, escolecodontes, dinoflagelados autótrofos, copépodos, dinoflagelados heterótrofos y los índices TSM e ISC. En el factor 2 se unen las variables: gimnospermas, esporas, palinoforaminíferos y el PP (Figura 23). Estos resultados confirman la



agrupación del ACP donde, el ITSM e ISC se relacionan con las abundancias de estos grupos en el primer factor; mientras que el PP se agrupa en el segundo factor. Para apreciar con mayor claridad la influencia en este complicado modelo conjunto, las variables bióticas se separaron para su evaluación independiente por variables continentales y marinas.



**Figura 23.** Análisis Factorial de los palinomorfos Continentales y Marinos divididos en grupos, la figura muestra los factores 1 y 2 principales con las variables ambientales (PP – ISC – ITSM).

### 3.4.1 Análisis multivariado de palinomorfos continentales

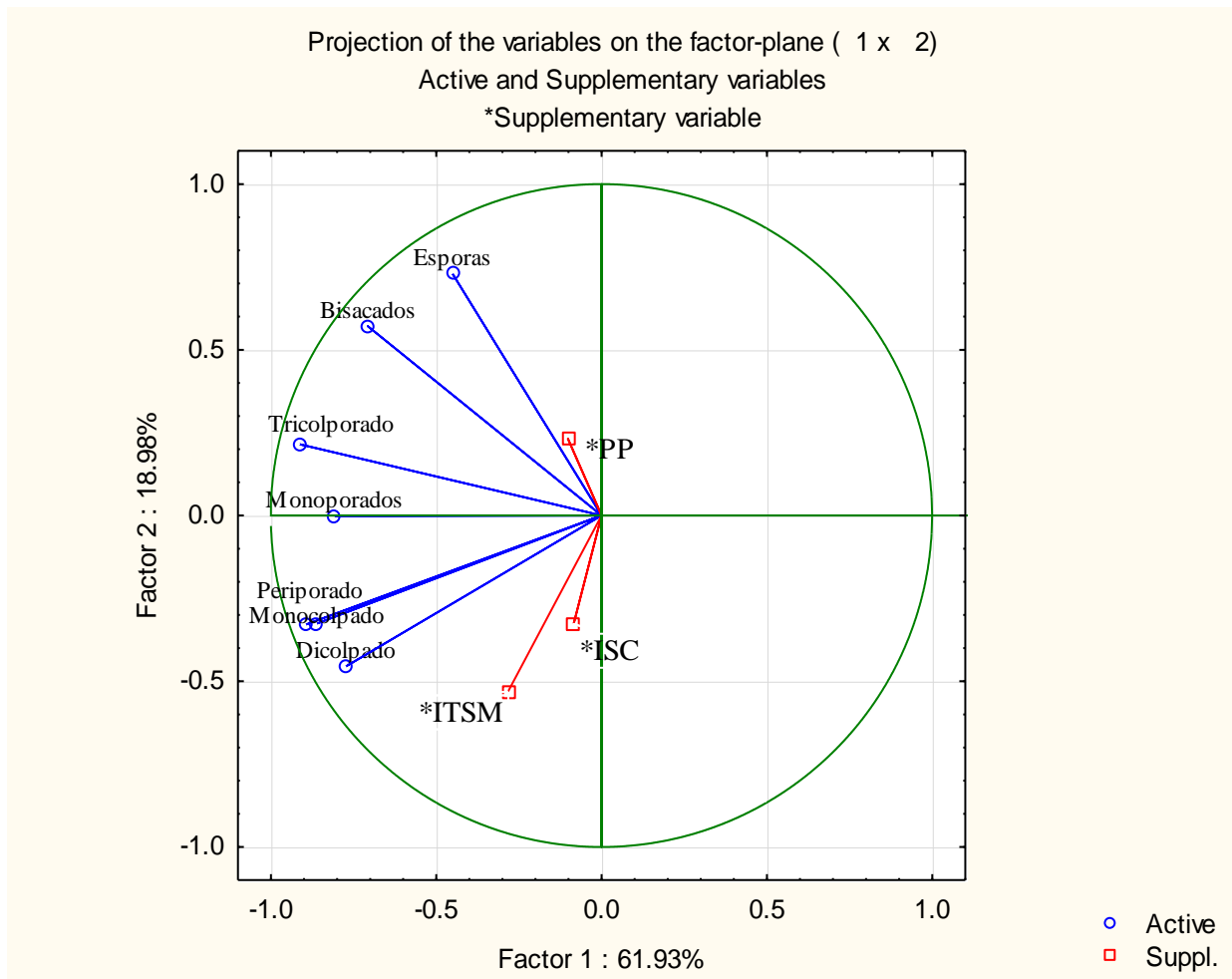
Para el segundo ACP, se generó una segunda matriz de variables bióticas, tomando en cuenta únicamente las variables continentales, estas fueron organizadas como: bisacados; esporas; monoporados; tricolporados; monocolpados; dicolpados, y periporados. En esta matriz solo se correlacionaron de manera significativa y positiva las esporas con el promedio de lluvia (0.36), y los representantes de las angiospermas: monoporados (0.30), monocolpados (0.36), dicolpados (0.52), y periporados (0.39) con el ISC. Mientras que se correlacionaron significativamente, pero de manera negativa, los bisacados (-0.31) y las esporas (-0.37) con el ITSM (Tabla 19).

**Tabla 19.** Correlación entre concentración de Palinomorfos Continentales separado por sus componentes, Promedio de Precipitación (PP), Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).

Variable	Correlación Bi/Es/Mo/Tri/Mo/Di/Pe vs PP/ISC/ITSM		
	PP N=37	ISC N=32	ITSM N=48
Bisacados	0.176687	-0.068030	-0.317176
Esporas	0.367363	-0.216590	-0.376958
Monoporados	-0.053156	-0.090499	0.305738
Tricolporado	0.044503	0.053806	-0.005995
Monocolpado	0.149617	0.130479	0.362898
Dicolpado	0.079853	0.292744	0.520593
Periporado	-0.042685	0.220656	0.392745

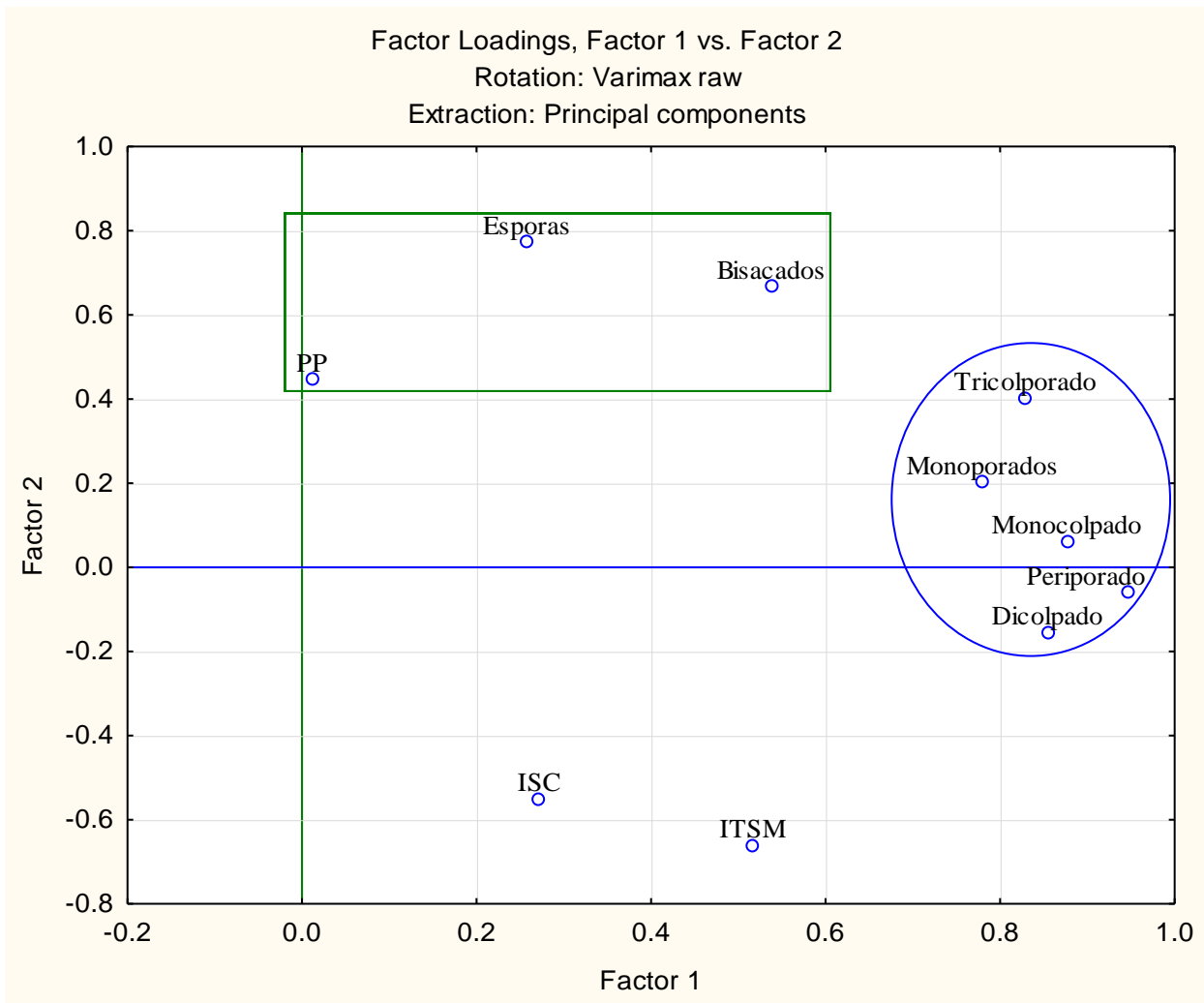
Las variables se agruparon en tres conjuntos sobre los ejes de los componentes principales (Figura 24). Los periporados, dicolpados y monocolpados siguieron una trayectoria en común. Este grupo de morfologías de polen representan plantas angiospermas que forman parte de las biotas del desierto, o cercanas a las costas. Mientras que los tricolporados y monoporados son producidos por pastos y cereales que tienden a desarrollarse en campos más lejanos. Finalmente, las esporas y los bisacados (pinos y encinos) tienden a crecer en zonas altas, y/o con mayor precipitación. Considerando esta posible distribución vegetal, se puede interpretar que el componente 1 agrupa polen proveniente de zonas aledañas hasta el valle de Magdalena, con un clima desértico a semidesértico. Mientras que el componente 2 representa vegetación proveniente de una distancia mayor, probablemente la Sierra de La Laguna, en donde se encuentran coníferas (bisacados), además de helechos y musgos (esporas) con acceso a mayor humedad.

Las variables ambientales, en especial el ITSM parece influir tanto positiva como negativamente en la producción y deposición del polen de plantas establecidas cerca de la costa; mientras que las esporas y bisacados parecen responder a la lluvia. En esta región, las surgencias parecen influir en la producción de polen en las zonas cercanas desérticas y carecen de impacto relevante con las esporas y polen de gimnospermas.



**Figura 24.** Componentes Principales de las variables Continentales, la figura muestra los componentes 1 y 2 con las variables suplementarias (índices ambientales- Promedio de Precipitación - PP), Índice de Surgencia Costera – ISC, e Índice de Temperatura Superficial del Mar - ITSM).

El segundo AF resultó en el mismo orden de agrupación que presentó el ACP, pues conglomeró a monocolpados, periporados y dicolpados en el eje del factor 1. Mientras que los monoporados y tricolporados, están agrupados de manera adyacente, alejándose hacia el eje del factor 2 donde se localizan esporas y bisacados (Figura 25). Estas relaciones confirman la interpretación que se estableció para el ACP.



**Figura 25.** Análisis Factorial de los palinomorfos Continentales divididos en variables, la figura muestra los factores 1 y 2 principales con los índices ambientales (PP – ISC – ITSM).

### 3.4.2 Análisis multivariado de dinoflagelados

También se realizaron ACP y AF para dinoflagelados. Se seleccionaron los 9 géneros de dinoflagelados que tuvieron las concentraciones más elevadas y presencia constante en las muestras analizadas. Estos géneros están representados como variables para su interpretación en la matriz de correlación de la Tabla 20. Representado a los dinoflagelados autótrofos se encuentran: *Impagidinium*; *Spiniferites*; *Bitectatodinium*, y *Pyxidinospis*. Mientras que por los heterótrofos están: *Brigantedinium*; *Selenopemphix*; *Lejeunecysta*; *Quinquecuspis*, y *Dubridinium*.

El índice de TSM presentó valores significativos con *Brigantedinium* (0.77), *Lejeunecysta* (0.66), *Dubridinium* (0.63), *Selenopemphix* (0.54), *Impagidinium* (0.31), y *Bitectatodinium* (0.30). El índice de

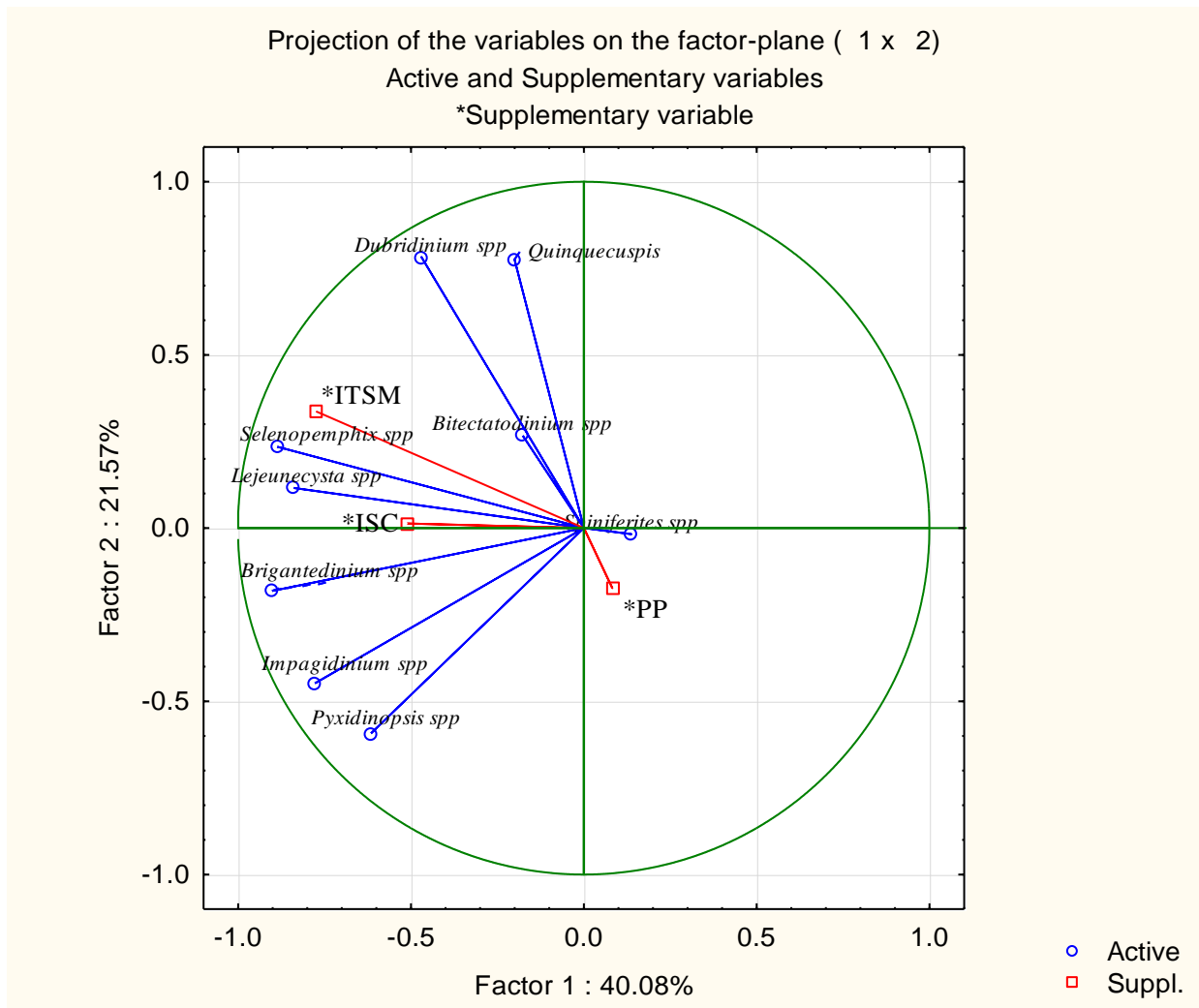
surgencias costeras mostró correlación con *Brigantedinium* (0.54), *Selenopemphix* (0.52) y con *Impagidinium* (0.40). El promedio bianual de lluvia no se correlacionó de manera significativa con ninguno de los géneros.

**Tabla 20.** Correlación entre concentración de dinoflagelados, Promedio de Precipitación (PP), Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar (ITSM).

Variable	Correlación Im/Sp/Bi/Py/Br/Se/Le/Qu/Du vs PP/ISC/ITSM Correlaciones marcadas en rojo son significativas a $p < .05000$		
	PP N=37	ISC N=32	ITSM N=48
<i>Impagidinium spp</i>	0.092676	0.404830	0.315591
<i>Spiniferites spp</i>	-0.056121	-0.035427	0.012194
<i>Bitectatodinium spp</i>	-0.171136	0.207151	0.304963
<i>Pyxidinopsis spp</i>	0.036611	0.263843	0.163628
<i>Brigantedinium spp</i>	-0.123137	0.542622	0.774699
<i>Selenopemphix spp</i>	-0.168263	0.523495	0.540832
<i>Lejeunecysta spp</i>	-0.009224	0.329759	0.665058
<i>Quinquecuspis</i>	-0.092495	0.191504	0.257251
<i>Dubridinium spp</i>	-0.175676	0.123376	0.630771

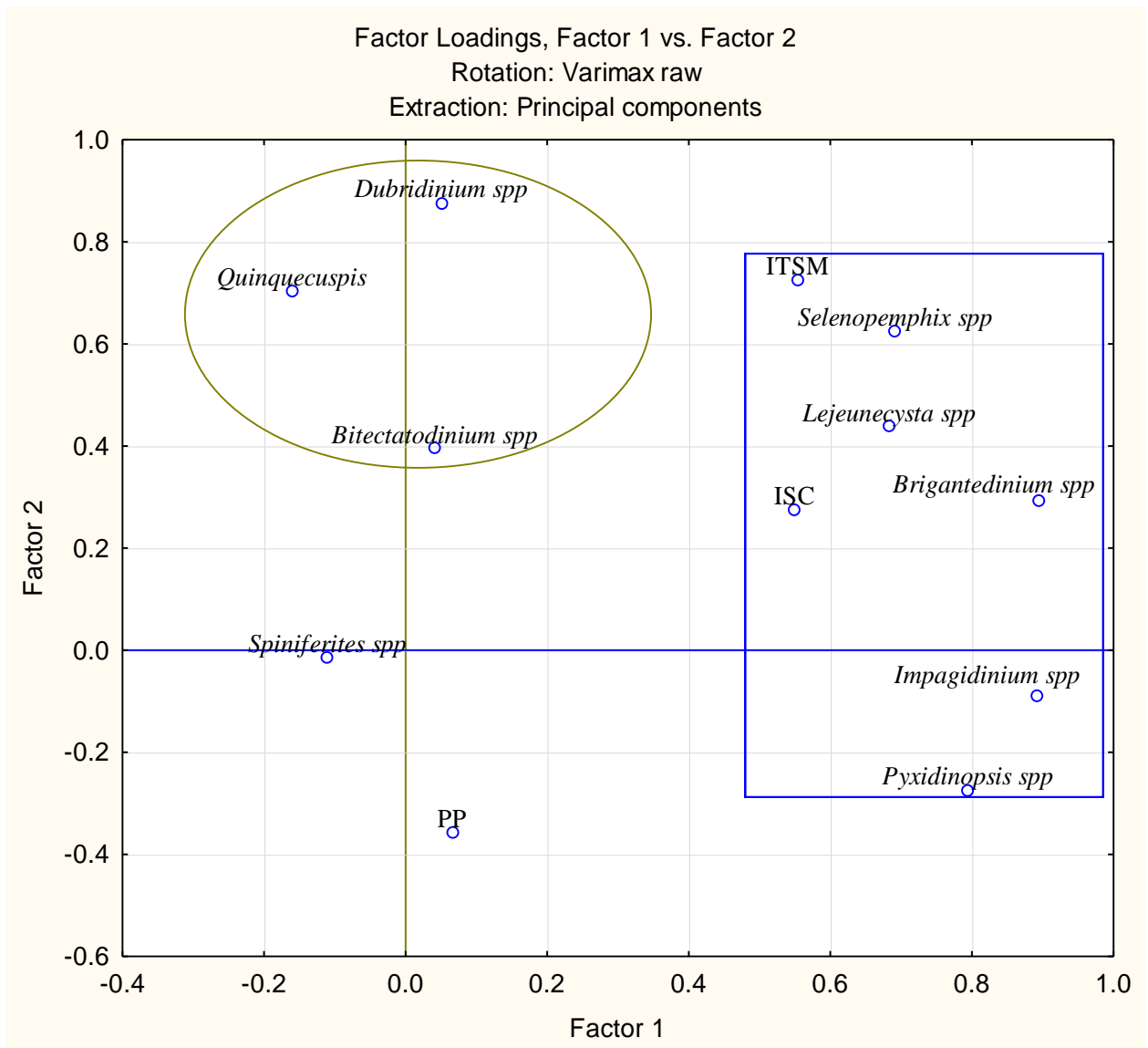
En el gráfico del ACP (Figura 26), los dinoflagelados mostraron el siguiente comportamiento: los heterótrofos *Selenopemphix*, *Lejeunecysta*, *Brigantedinium* y el autótrofo *Impagidinium* siguieron el eje del componente 1, junto con las variables ambientales del ISC e ITSM. Estos géneros heterótrofos son propios de regiones costeras, donde hay variabilidad interanual en el estado trófico de las aguas superiores. Mientras que el autótrofo *Impagidinium* habita zonas de costa fuera y se extiende hasta las partes centrales de los océanos (Zonneveld *et al.*, 2013; Zonneveld and Pospelova, 2015). Otro autótrofo que se presentó comúnmente en las muestras estudiadas es *Spiniferites*, el cual también es propio de zonas costeras y variables, pero su abundancia se ha relacionado con temperaturas más altas (Prauss, 2002; Bringué *et al.*, 2014).

Los géneros que se alinean en el componente 2 son los heterótrofos *Dubridinium* y *Quinquecuspis*, y el autótrofo *Bitectatodinium*. Estos taxa están relacionados con regiones estrictamente costeras, con surgencias activas, donde la temperatura superficial del mar varía de 10.7 a 29,8 ° C, siendo géneros relacionados a condiciones más cálidas, incluso tropicales. Este también es el caso de *Pyxidinopsis* el cual parece intermedio de los dos componentes principales (Zonneveld *et al.*, 2013; Zonneveld and Pospelova, 2015).



**Figura 26.** Componentes Principales de los dinoflagelados, el diagrama muestra los componentes 1 y 2 con las variables suplementarias, o índices ambientales: Promedio de Precipitación - PP; Índice de Surgencia Costera – ISC, e Índice de Temperatura Superficial del Mar - ITSM.

Por último, el AF de los dinoflagelados (Figura 27) muestra el agrupamiento de los heterótrofos *Selenopemphix*, *Lejeunecysta*, *Brigantedinium* y los autótrofos *Impagidinium* y *Pyxidinopsis* y su fuerte relación en el factor 1. Este factor 1 representa la productividad marina, como lo indica el ISC. A su vez, es claro el ajuste de los heterótrofos *Dubridinium* y *Quinquecuspis*, y el autótrofo *Bictatodinium* en el factor 2, el cual representa a la TSM. Nuevamente el género autótrofo *Spiniferites* resultó inconcluso, pues muestra relación hasta un 4º factor.



**Figura 27.** Análisis Factorial de dinoflagelados, la figura muestra los factores 1 y 2 con los índices ambientales: Promedio de Precipitación - PP; Índice de Surgencia Costera – ISC, e Índice de Temperatura Superficial del Mar - ITSM.

## Capítulo 4. Discusiones

---

El Sistema de la Corriente de California es una de las más estudiadas del mundo, pero los datos de la región al sur de los 24-21°N son limitados. Sin embargo, existen trabajos que ayudan a comprender la modulación de la productividad primaria en la zona de surgencia subtropical del Golfo de Ulloa (González-Rodríguez *et al.*, 2012), o las concentraciones de nutrientes en la capa eufótica y su relación con la TSM y productividad primaria a los 24.5 °N (Cervantes-Duarte *et al.*, 2015) y los estudios que abordan la dinámica en las condiciones oceanográficas en Bahía Magdalena (Zaitsev *et al.*, 2003; 2007; 2014). Estos trabajos otorgan una aproximación al rango de complejidad oceánica de esta región para entender la relación entre productividad marina, TSM y la dinámica oceanográfica que son necesarios para contrastar los resultados presentados en el presente trabajo.

### 4.1 Palinomorfos marinos y aumento en la TSM

Coincidiendo con un incremento en las anomalías del ITSM, las concentraciones de PM, incluyendo dinoflagelados heterótrofos y autótrofos, se incrementan considerablemente a partir de la década de los 1990. Algunos de ellos desde finales de los 80's, al igual que los nueve géneros seleccionados (*Impagidinium*, *Spiniferites*, *Bitectatodinium*, *Pyxidinopsis*, *Brigantedinium*, *Selenopemphix*, *Lejeunecysta*, *Quinquecuspis* y *Dubridinium*) mencionados anteriormente. Esta respuesta de la abundancia de PM a los incrementos en la temperatura superficial, están también indicados por los resultados del ACP y AF. Estos resultados muestran el agrupamiento de un primer conjunto incluyendo a *Selenopemphix*, *Lejeunecysta* e *Impagidinium*, que al parecer está respondiendo a la productividad primaria, pues no está restringido por la temperatura, los géneros que recaen en este grupo han sido encontrados en un rango de aguas de entre los 0 °C a 29.8 °C. El segundo grupo incluye *Bitectatodinium* y *Pyxidinopsis*, los cuales han sido relacionados con aguas cálidas con TSM de 10.7 a 29,8 ° C, este grupo al parecer si manifiesta mayor dependencia de la temperatura subsuperficial y por ende la TSM (Zonneveld *et al.*, 2013; Zonneveld and Pospelova, 2015).

Ambos grupos están caracterizados por ser géneros que se concentran en regiones costeras, con la excepción de *Impagidinium* y *Pyxidinopsis* que también son encontrados en partes centrales de los océanos, donde principalmente las zonas de surgencia cuentan con variabilidad trófica interanual, habiendo condiciones eutróficas durante la surgencia activa que favorecen a géneros como *Dubridinium* y *Quinquecuspis*, y oligotrófica cuando la surgencia está ausente (Zonneveld *et al.*, 2013; Zonneveld and Pospelova, 2015).



La dominancia de dinoflagelados heterótrofos ha sido relacionada con la productividad primaria durante la mayor parte del Holoceno, dónde también se han reportado aumentos de dinoflagelados autotróficos en los periodos cálidos en la cuenca de Santa Bárbara California (Pospelova *et al.*, 2006). Este aumento de taxa autotróficas específicamente *Lingulodinium polyedrum* (“*machaerophorum*”) y *Spiniferites* se ha documentado desde 1900, reflejando un aumento en las temperaturas superficiales del mar durante el siglo XX (Bringué *et al.*, 2014).

Para comparar la presencia de especies termófilas en zonas al norte, pero más cercanas a la Cuenca Magdalena se consultaron resultados de trabajos en proceso de la Cuenca Soledad, localizada aproximadamente a los 25°N (Serrano-Mejía, 2016, comunicación personal; Pérez-Rodríguez, 2016, comunicación personal). En esa cuenca se reporta la presencia de los taxa termófilos: *Bitectatodinium*, *Pyxidinoopsis psilata*, *Dubridinium*, *Stelladinium stellatum*, *Quinquecuspis concreta*, *Operculodinium israelianum*, *Polysphaeridium zoharyi*, *Impagidinium aculeatum* y *Lejeunecysta oliva* en un lapso de 1965 a 2009. Además, también reportan un aumento hacia la parte final del periodo mencionado, lo cual respalda un posible incremento en la temperatura del mar y por consiguiente la tropicalización de las aguas en esta región.

## 4.2 Productividad marina y TSM

También se compararon las concentraciones de dinoflagelados autótrofos y heterótrofos entre Cuenca Soledad y Cuenca Magdalena, para determinar la influencia de la Corriente de California (CC) y su repercusión en las surgencias. Los datos observados para el mismo lapso temporal de 1965-2009, muestran que la concentración de heterótrofos en Cuenca Soledad fue de 156,419 qst/g sed, en comparación con Cuenca Magdalena 27,768 qst/g sed. Para los autótrofos fue de 7,377 qst/g sed, en Cuenca Soledad, comparados con 391 qst/g sed en Cuenca Magdalena. Por lo tanto, las condiciones más cercanas a la Corriente de California, incrementan por 5 las concentraciones para el caso de los heterótrofos y para los autótrofos 18 veces más esa concentración.

Estos resultados pueden usarse para explicar la correlación positiva entre los ITSM e ISC. Se ha registrado que en la zona eufótica (40 m) la disponibilidad de nitratos y fosfatos está correlacionada indirectamente con la TSM, por la fertilización durante la surgencias (eventos fríos). Al estar disponibles los nutrientes aumenta la clorofila-a y la productividad primaria neta (PPN) en comparación con periodos cálidos (Cervantes-Duarte *et al.* 2015). En la Corriente de California (CC) se ha generalizado que, al haber un aumento en la surgencia, hay un aumento en clorofila-a y PPN (Kahru *et al.*, 2009). En la tabla 19 se

muestra como al incursionar aguas frías de la Corriente de California, representadas por TSM/24-90N, el ISC afecta la TSM disminuyendo la temperatura, correspondiéndose directamente. Sin embargo, al disminuir la fuerza de los vientos y desviarse la CC, las aguas más cálidas, representadas por TSM/EQU-24N, avanzan neutralizando el efecto de enfriamiento, al igual que la correlación entre TSM y surgencia.

**Tabla 21.** Correlación entre el Índice de Surgencia Costera (ISC) e Índice de Temperatura Superficial del Mar Ecuatorial (EQU-24N) y Norte (24-90N).

Correlación ISC vs ITSMEQU-24/ITSM24-90 Correlaciones marcadas en rojo son significativas a $p < .05000$ N=32		
Variable	TSM/EQU-24N	TSM/24-90N
ISC	.2719	.4359
	p=.132	p=.013

Al incrementarse la temperatura causa un descenso en los niveles de clorofila-a y PPN, calentando las aguas sobre todo en las costas, pero en la zona de estudio ocurre un desplazamiento del fitoplancton a la parte oceánica, minimizando el impacto en el aumento de TSM (Ortiz-Ahumada, 2015; Cervantes-Duarte *et al.* 2015). Ya se ha propuesto implementar la TSM satelital o TSM más los vientos como un indicador de surgencia y productividad marina primaria (Demarcq and Faure., 2000; Benazzouz *et al.*, 2014; Cropper *et al.*, 2014; Ismail *et al.*, 2015).

Recientemente se realizó la comparación de imágenes satelitales de dos transectos de la costa hasta los 300 km mar adentro, para evaluar Clorofila satelital ( $Chl_{sat}$ ) y temperatura superficial del mar (TSM). Estos transectos se localizan, uno frente a Cabo San Lázaro y otro frente a Cabo San Lucas. La zona costera de Cabo San Lázaro presentó valores más altos de  $Chl_{sat}$  que la de Cabo San Lucas. Sin embargo, en la zona oceánica los valores fueron a menudo mayores en Cabo San Lucas que en Cabo San Lázaro debido a la separación de la Corriente de California de la península (Ortiz-Ahumada, 2015), la Cuenca Magdalena se localiza a una distancia aproximada de 60 km de la costa, ello podría explicar la correlación mayor entre las concentraciones de quistes de dinoflagelados y el ITSM comparado con el valor del ISC, ya que el ISC representa una medición aledaña a la costa.

Otro punto importante de los dinoflagelados autótrofos y heterótrofos, es que presentan correlaciones significativas con dos de los tres índices climáticos empleados (tanto el ITSM como el ISC). En especial

entre las concentraciones de quistes heterótrofos y el ITSM (0.76). De entre los grupos mencionados, resaltan los géneros *Selenopemphix*, *Impagidinium* y los huevos diapáusicos de copépodos, ya que además de guardar una relación estrecha con los índices ISC, ITSM, ODP y ENOS, son abundantes y están presentes en casi todas las muestras estudiadas. Esta persistencia y abundancia en el análisis de las muestras y su relación con los diferentes índices mencionados, señala a las tres taxa como excelentes biomarcadores paleoecológicos, los cuales pueden ser empleados individualmente o en conjunto para futuras reconstrucciones paleoecológicas.

### 4.3 Productividad marina, ODP y ENOS

A pesar de que esta parte sur de la península de Baja California es una zona de transición y de los errores metodológicos en la presente investigación, es posible establecer una relación contundente entre los forzamientos climatológicos ODP y ENOS con el registro palinológico realizado en este trabajo. Especialmente el ODP parece ser determinante en la concentración de los dinoflagelados y en especial con el heterótrofo *Selenopemphix*, el autótrofo *Impagidinium*, y los huevos de copépodos los cuales siguieron la señal de los ciclos. Los periodos breves del índice ENOS fueron más difícil de relacionar con los taxa usados en la comparación, posiblemente se deba a la transición de las aguas, pero los eventos prolongados e intensos Niño – Niña son visibles. Esta relación se acentuó al momento de intercalar ambos índices (ENOS y ODP) haciendo claro el reforzamiento de los periodos cálidos y fríos, con la productividad.

Con lo que respecta a los palinomorfos continentales, no mostraron responder a niveles de precipitación (PP) por el contrario, parecieron tener una relación significativa y por lo tanto relacionable con el ITSM. Esta relación puede deberse a que la surgencia costera y la inmersión de las aguas, influyen en el clima, pues a lo largo de la costa de la península de Baja California, las surgencias disminuyen la TSM y la temperatura del aire marino húmedo que se va saturando hasta generar nieblas costeras. Esta condensación de agua penetra al ecosistema terrestre, beneficiado productividad primaria del ecosistema costero en una región donde el agua por precipitación es limitada (Reimer *et al.*, 2015). Este aspecto también está apoyado por los resultados de los ACP y AF aplicados a los grupos de PC. Ambos análisis terminaron por separar los PC y grupos morfológicos en dos conjuntos: 1) angiospermas (Monocolpados, Periporados, Dicolpados, Tricolporados), y 2) gimnospermas (Bisacados) y esporas. El conjunto 1 parece estar más relacionado con la ITSM, mientras que el conjunto 2 presenta una relación baja pero significativa con la PP.

## Capítulo 5. Conclusiones

---

Las muestras documentan la variación de los conjuntos de dinoflagelados y muestran una relación directa de taxa heterótrofas y autótrofas con los índices ambientales ISC, ITSM, ODP y ENOS para el periodo de 1909 a 2009.

Se encontraron variaciones a partir de la década de 1990 hasta el final de los años de análisis (2009), donde se localiza un incremento substancial en cuanto las concentraciones de quistes de dinoflagelados que coincide con el incremento en las anomalías de la Temperatura Superficial del Mar, además de la presencia de taxa termófila de dinoflagelados que proliferan en este tipo de ambientes, abriendo la hipótesis sobre una posible tropicalización de las aguas en la región.

A pesar de que la región se caracteriza por ser una zona de transición con marcadas variaciones interanuales, se estableció la correlación de la ODP y ENOS con los dinoflagelados autótrofos y heterótrofos, sin embargo, el ODP mostró relación determinante en la variación con las taxa heterótrofa *Selenopemphix*, el autótrofo *Impagidinium*, y huevos diapáusicos de copépodos mostrando el reforzamiento de los periodos cálido-frío, y la relación de la temperatura con la productividad primaria en la zona.

Son propuestos los géneros *Selenopemphix* e *Impagidinium* para ser implementados como biomarcadores paleoecológicos debido a su amplia presencia a lo largo del núcleo y alta correlación estadística como visual en la comparación de los gráficos con los índices climáticos seleccionados.

Y finalmente es evidente que los grupos de palinomorfos continentales, responden a las neblinas costeras, las cuales les provee de sustento tras un encarecido nivel de precipitación anual.

Son necesarios más estudios en esta región para poder comparar datos y poder asegurar que el aumento de los géneros de quistes cálidos se debe a un incremento en la temperatura de las aguas, así como un análisis con un rango temporal mayor para verificar la anomalía encontrada a finales de los años 90's.

## 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.
- Baars, M. A., Sutomo, A. B., Oosterhuis, S. S., and Arinardi, O. H. 1990. Zooplankton abundance in the eastern Banda Sea and northern Arafura Sea during and after the upwelling season, August 1984 and February 1985. *Netherlands Journal of Sea Research*, 25(4), 527-543.
- Bakun, A. 1990. Global climate change and intensification of coastal ocean upwelling. *Science*, 247(4939), 198-201.
- 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.
- Benazzouz, A., Mordane, S., Orbi, A., Chagdali, M., Hilmi, K., Atillah, A., Lluís Pelegrí, J., et al. 2014. An improved coastal upwelling index from sea surface temperature using satellite-based approach - The case of the Canary Current upwelling system. *Continental Shelf Research*, 81, 38-54.
- Benninghoff, W. S. 1962. Calculations of pollen and spore density in sediments by addition of exotic pollen in known quantities. *Pollen Spores*, 4, 332.
- Bernal, Franco. G.; Ripa, P.; y Herguera, J. C. 2001. Variabilidad oceanográfica y climática en el bajo Golfo de California: influencia del trópico y Pacífico Norte. *Ciencias Marinas*, 27(4), 595-617.
- Biondi, F., C.B. Lange, M.K. Hughes y W.H. Berger. 1997. Inter-decadal signals during the last millenium (AD 1117-1992) in the varve record of Santa Barbara Basin, California. *Geophysical Research Letters*. 24(2), 193-196.
- Bograd, S., Chereskin, K., and Roemmich, D. 2001. Transport of mass, heat, salt, and nutrients in the southern California Current System: Annual cycle and interannual variability. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 106(C5), 9255-9275.
- Bogus, K., Mertens, K. N., Lauwaert, J., Harding, I. C., Vrielinck, H., Zonneveld, K. A. F., & Versteegh, G. J. M. 2014. Differences in the chemical composition of organic-walled dinoflagellate resting cysts from phototrophic and heterotrophic dinoflagellates. *Journal of Phycology*, 50(2), 254-266.
- Bonnet, S., Vernal, A. de, Gersonde, R., and Lembke-Jene, L. 2012. Modern distribution of dinocysts from the North Pacific Ocean (37-64°N, 144°E-148°W) in relation to hydrographic conditions, sea-ice and productivity. *Marine Micropaleontology*, 84, 87-113.
- 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.
- Bringué, M., Pospelova, V., and Pak, D. 2013. Seasonal production of organic-walled dinoflagellate cysts in an upwelling system: A sediment trap study from the Santa Barbara Basin, California. *Marine Micropaleontology*, 100, 34-51.

- Bütschli, O. 1885. II. Abtheilung: Mastigophora. In: *Dr. H.G. Bronn's Klassen und Ordnungen des Thier-Reichs, wissenschaftlich dargestellt in Wort und Bild. Ester Band Protozoa.* (Eds), p 865-1088. Leipzig & Heidelberg: C.F. Winter'sche Verlagsbuchhandlung.
- 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.
- Castro, R., Martínez, J. A. 2010. Variabilidad espacial y temporal del campo de viento. En: Gaxiola-Castro, G. y Durazo R. (Eds). *Dinámica del Ecosistema Pelágico frente a Baja California, 1997-2007: Diez Años de Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California.* (p 129-147), 1<sup>er</sup> edición. Instituto Nacional de Ecología (INE), Centro de Investigación Científica y de Educación Superior (CICESE), México.
- Cervantes-Duarte, R., Prego, R., Gaxiola-Castro, G., López-López, S., Aguirre-Bahena, F., and Murillo-Murillo, I. 2015. Intra-annual upwelling patterns and its linkage with primary production in the euphotic zone (24.5°N) of Southern Baja California coast. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 157, 51-58.
- Chelton, D.B., Schlax, M.G., Samelson, R.M., 2007. Summertime coupling between sea surface temperature and wind stress in the California current system. *Journal of Physical Oceanography*. 37(3), 495–517.
- CICESE-peaccBC; (2016). Base de Datos Climáticos del Noroeste de México. Recuperado el 03 de abril de 2016 de: <http://peac-bc.cicese.mx/datosclim/dcbc.php>
- Cropper, T. E., Hanna, E., and Bigg, G. R. 2014. Spatial and temporal seasonal trends in coastal upwelling off Northwest Africa, 1981-2012. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 86, 94-111.
- Dale, B. 1976. Cyst Formation, Sedimentation, and Preservation - Factors Affecting Dinoflagellate Assemblages in Recent Sediments from Trondheims Fjord, Norway. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 22(1), 39-60.
- Dale, B., Dale, A. L., and Jansen, J. H. F. 2002. Dinoflagellate cysts as environmental indicators in Surface sediments from the Congo deep-sea fan and adjacent regions. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*, 185(3), 309-338.
- Davis, J. C., and Sampson, R. J. 1986. *Statistics and data analysis in geology* (Vol. 646). New York et al. Wiley.
- 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., Henry, M., Matthiessen, J., Mudie, P., Rochon, A., Boessenkool, K., Eynaud, F., Grøsfjeld, K., Guiot, J., Hamel, D., Harland, R., Head, M., Kunz-Pirrung, M., Levac, E., Loucheur, V., Peyron, O., Pospelova, V., Radi, T., Turon, J-L and Voronina, E. 2001. Dinoflagellate cyst assemblages as tracers of sea-surface conditions in the northern North Atlantic, Arctic and sub-Arctic seas: the

- new "n ¼ 677" database and application for quantitative paleoceanographical reconstruction. *Journal of Quaternary Science*, 16(7), 681-699.
- de Vernal, A., Hillaire-Marcel, C., Rochon, A., Fréchette, B., Henry, M., Solignac, S., Bonnet, S. 2013. Dinocyst-based reconstructions of sea ice cover concentration during the Holocene in the Arctic Ocean, the northern North Atlantic Ocean and its adjacent seas. *Quaternary Science Reviews*, 79, 111-121.
- 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.
- de Vernal, A., Rochon, A., Turon, J. L., and Matthiessen, J. 1997. Organic-walled dinoflagellate cysts: Palynological tracers of sea-surface conditions in middle to high latitude marine environments. *Geobios*, 30(7), 905-920.
- Demarcq, H., and Faure, V. 2000. Coastal upwelling and associated retention indices derived from satellite SST. Application to Octopus vulgaris recruitment. *Oceanologica Acta*, 23(4), 391-408.
- 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(3-4):165-180 p.
- Emery, K. O. 1954. Source of water in basins off southern California. *Journal of Marine Research*, 13(1), 12-21.
- Esparza-Álvarez, M. A., Herguera, J. C., Lange, C. 2007. Last century patterns of sea Surface temperaturas and diatom (>38 µm) variability in the Southern California current. *Marine Micropalaeontology*, 64(1), 18-35.
- Espinosa-Carreón, L. T. 2005. Producción primaria en relación a procesos físicos de mesoescala en la región sur de la Corriente de California. Tesis de Doctorado en Ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B. C., México, p 170 .
- Farfán, L. M., Alfaro, E. J., and Cavazos, T. 2013. Characteristics of tropical cyclones making landfall on the Pacific coast of Mexico: 1970-2010. *Atmósfera*, 26(2), 163-182.
- Fensome, R. A., Riding, J. B., Taylor, F. J. R. 1996. Dinoflagellates. En: Jansonius, J., McGregor, D.C. (eds.), *Palynology: Principles and Applications*, *American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation*. Vol. 1: 107-170.
- Fensome, R. A., Taylor, F. J. R., Norris, G., Sarjeant, W. A., Wharton, D. I., and Williams, G. L. 1993. *Micropaleontology, Special Publication, 7: A Classification of Modern and Fossil Dinoflagellates*. *Sheridan Press, Hanover, NH*, 351.

- 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.
- Fernández-Eguiarte, A., Romero-Centeno, R. y Zavala-Hidalgo, J. 2012. Atlas Climático de México y Áreas Adyacentes, Volumen 1. *Centro de Ciencias de la Atmósfera. Universidad Nacional Autónoma de México. Servicio Meteorológico Nacional. Comisión Nacional del Agua*. p 204. Recuperado en Junio de 2016 de: [uniatmos.atmosfera.unam.mx/ACDM/](http://uniatmos.atmosfera.unam.mx/ACDM/)
- 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 en Ciencias. Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada, Baja California. P 120.
- Flores-Trujillo, J. G., Helenes, J., Herguera, J. C., Orellana-Cepeda, E. 2009. Palynological record (1483–1994) of *Gymnodinium catenatum* in Pescadero Basin, southern Gulf of California, Mexico. *Marine Micropaleontology*, 73(1), 80–89.
- GISTEMP Team. 2016. *GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP)*. NASA Goddard Institute for Space Studies. Recuperado el 12 de mayo de 2016 de: <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/>.
- Global-SST ENSO index 2016. El Niño Southern Oscillation (ENSO). International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set (ICOADS). Recuperado el 12 de septiembre de 2016 de: [http://research.jisao.washington.edu/data\\_sets/globalsstenso/#digital\\_values](http://research.jisao.washington.edu/data_sets/globalsstenso/#digital_values)
- Gómez, F. 2005. A list of free-living dinoflagellate species in the world ' s oceans. *Acta Botanica Croatia*, 64(1), 129-212.
- González-Rodríguez, E. 2008. Variabilidad de la Productividad Primaria en el Golfo de Ulloa, Costa Occidental de Baja California. Tesis de Doctorado en Ciencias Marinas. *CICIMAR-IPN*. p 155.
- 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.
- Grice, G.D. and Marcus, N.H. 1981. Dormant eggs of marine copepods. *Oceanogr Mar Biol Annu Rev* 19:125–140.
- Hansen, J., Ruedy, R., Sato, M. and Lo, K. 2010: Global surface temperature change, *Rev. Geophys.*, 48, RG4004, doi:10.1029/2010RG000345.
- Hartman, H. H. 1976. *Modern Factor Analysis*. (3rd. ed.). University of Chicago Press. p 518.
- Hickey, B. M. and Royer, T. C. 2001. California and Alaska Currents. In: Steele, J. H., Turekian, K. K. and Thorpe, S. A. (Eds). *Encyclopedia of Ocean Sciences*. Academic Press, Oxford, p 368-379.
- 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.
- Huyer, A. 1983. Upwelling in the California Currents system. *Progress in Oceanography*, 12(3):259-284.



- Imbrie, J. and Kipp, N. G. 1971. In: The Late Cenozoic Glacial Ages. Ed: K. Turekian. *Yale university Press*, 71-181.
- INEGI, 1995. Síntesis Geográfica del Estado de Baja California Sur. *Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática*. México, p 30.
- Ismail, H. E., Agenbag, J. J., de Villiers, S., and Ximba, B. J. 2015. Relation between upwelling intensity and the variability of physical and chemical parameters in the Southern Benguela upwelling system. *International Journal of Oceanography*. Article ID 510713, 8.
- Kahru, M., Kudela, R., Manzano-Sarabia, M., Mitchell, B.G., 2009. Trends in primary production in the California current detected with satellite data. *J. Geophys. Res. C: Oceans* 114, C02004.
- Kapp, R. O., Davis, O. K. and King, J. E. 2000. Pollen and spores. 2nd ed. American Association of Stratigraphic Palynologists; p. 279.
- 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.
- LaTorre, C., y Penilla, L. 1988. Influencia de los ciclones en la precipitación de Baja California Sur. *Atmósfera*, 1, 99-112.
- Lewis, J., A. Harris, K. Jones, y R. Edmonds. 1999. Long-term survival of marine planktonic diatoms and dinoflagellates in stored sediment samples. *J. Plankton Res.* 21(2):343-354.
- 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.
- Lynn, R., and Simpson, J. 1987. The California Current System. The seasonal variability of its physical characteristics. *Journal of Geophysical Research*. 92(C12), 1247-12966.
- Macías, M., Peinado, M., Giménez, J., Aguirre, J., y Delgadillo, J. 2014. Clasificación bioclimática de la vertiente del Pacífico mexicano y su relación con la vegetación potencial. *Acta Botanica Mexicana*, 109, 133-165.
- Magurran, A. E. 1988. Ecological diversity and its measurements. *Princeton University Press. New Jersey.*, p 177.
- Maher, L. J. Jr. 1981. Statistics for microfossil concentration measurements employing samples spiked with marker grains. *Review Palaeobotany and Palynology*, 32(2):153-191.
- Marcus NH 1996. Ecological and evolutionary significance of resting eggs in marine copepods: past, present and future studies. *Hydrobiologia* 320(1-3), 141–152.
- Margalef, R. 1978. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanologica acta* 1(4), 493-509.

- 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.
- 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.
- McQuoid, M. R., Godhe, A., and Nordberg, K. 2002. Viability of phytoplankton resting stages in the sediments of a coastal Swedish fjord. *European Journal of Phycology*, 37(2), 191-201.
- Mertens, K. N., Price, A. M., and Pospelova, V. 2012. Determining the absolute abundance of dinoflagellate cysts in recent marine sediments II: Further tests of the Lycopodium marker-grain method. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 184, 74-81.
- Mertens, K. N., Verhoeven, K., Verleye, T., Louwye, S., Amorim, A., Ribeiro, S., Deaf, A. S., et al. 2009. Determining the absolute abundance of dinoflagellate cysts in recent marine sediments: The Lycopodium marker-grain method put to the test. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 157(3), 238-252.
- Meza, R., y Leyva, J. C. 2010. Reporte Climatológico para Baja California Sur – 2009. Centro de Investigación Regional Noroeste, Campo experimental Todos Santos-INIFAP. La Paz, B. C. S. *Boletín No. 4*, p 20.
- 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.
- NOOA, 2016. Pacific Fisheries Environmental Laboratory, Coastal Upwelling Indices, Recuperado el 10 de febrero de 2016 de: [http://www.pfeg.noaa.gov/products/PFEL/modeled/indices/upwelling/NA/upwell\\_menu\\_NA.html](http://www.pfeg.noaa.gov/products/PFEL/modeled/indices/upwelling/NA/upwell_menu_NA.html)
- Olivier-Salomé., B. 1998. Fertilidad de la corriente de California para los últimos 130 años: preservación, calibración y reconstrucción Tesis de maestría en ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 1998. p 122.
- 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.

- Parsons, T. R., Takahashi, M., and Hargrave, B. 1984. Biological oceanographic processes. *Pergamon Press, Oxford*, p 330.
- PDO index. (2016) The Pacific Decadal Oscillation (PDO) index. Recuperado el 12 de septiembre de 2016 de: <http://ds.data.jma.go.jp/tcc/tcc/products/elnino/decadal/pdo.html>
- 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.
- Peña-Manjarrez, J. L., Helenes, J., Gaxiola-Castro, G., Orellana-Cepeda, E., 2005. Dinoflagellate cysts and Bloom events at Todos Santos Bay, Baja California, México, 1999-2000. *Continental Shelf Research*. 25(11): 1375-1393.
- Pérez-Guzmán, A.M. and Casey. R.E. 1986. Paleooceanographic reconstructions from radiolarian bearing Baja California and adjacent sections. En: Siliceous microfossil and microplankton studies of the Monterey Formation and modern analogs. *Pacific Section S.E.P.M.* 45:55-68.
- 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.
- 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).
- Prauss, Michael L. 2002: Recent global warming and its influence on marine palynology within the central Santa Barbara Basin, offshore Southern California, U.S.A., *Palynology*, 26(1), 217-238
- Radi, T., and de Vernal, A. 2004. Dinocyst distribution in surface sediments from the northeastern Pacific margin (40–60°N) in relation to hydrographic conditions, productivity and upwelling. *Review of palaeobotany and palynology*, 128(1), 169-193.
- Radi, T., and de Vernal, A., 2008. Dinocysts as proxy of primary productivity in midhigh latitudes of the Northern Hemisphere. *Marine Micropaleontology*. 68(1): 84-114.
- Razouls C., de Bovée F., Kouwenberg J. et Desreumaux N. (2016). 2005-2016. - Diversity and Geographic Distribution of Marine Planktonic Copepods. Recuperado el 14 de septiembre de 2016 de: <http://copepodes.obs-banyuls.fr/en>
- 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., de Vernal, A., Turon, J.-L., Matthiessen, J. and Head, M. J., 1999. Distribution of Recent dinoflagellate cysts in surface sediments from the North Atlantic Ocean and adjacent seas in relation to sea-surface parameters. *American Association of Stratigraphic Palynologists, Contributions Series. No.35*, 1-146.

- Sánchez, A., and Carriquiry, J. D. 2007. Accumulation of C<sub>org</sub>, N<sub>org</sub>, P<sub>org</sub> and BSi off the Magdalena margin, BCS (Mexico), during the past 26 kyr. *Ciencias Marinas*. 33(1): 23–35.
- Sangiorgi, F., Capotondi, L., and Brinkhuis, H. 2002. A centennial scale organic-walled dinoflagellate cyst record of the last deglaciation in the South Adriatic Sea (Central Mediterranean). *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*. 186(3), 199-216.
- Sangiorgi, F., Capotondi, L., Nebout, N. C., Vigliotti, L., Brinkhaus, H., Giunta, S., Lotter, A. F., Morigi, C., Negri, A., and Reichart, G. J. 2003. Holocene seasonal sea-surface temperature variations in the southern Adriatic Sea inferred from a multiproxy approach. *Journal of Quaternary Science*. 18(8), 723-732.
- Schnepf, E., and Elbrachter, M. 1992. Nutritional strategies in dinoflagellates - a review with emphasis on cell biological aspects. *European Journal of Protistology*. 28(1), 3-24.
- Sichlau, M.H., Hansen, J.L.S., Andersen, T.J., and Hansen, B.W. 2011. Distribution and mortality of diapause eggs from calanoid copepods in relation to sedimentation regimes. *Marine Biology*, 158(3), 665–676.
- 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.
- Stover, L. E., Brinkhuis, H., Damassa, S. P., De Verteuil, L., Helby, R. J., Monteil, E., Partridge, A. D., Powell, A. J., Riding, J. B., Smelror, M., and Williams, G. L. 1996. Mesozoic-Tertiary dinoflagellates, acritarchs and prasinophytes. In: Jansonius, J. and McGregor, D.C. (Eds.), *Palynology: principles and applications*. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, Dallas. pp. 641-750.
- Unisys, 2016. United Information Systems - Weather. Recuperado el 14 de junio de 2016 de: [http://www.weather.unisys.com/hurricane/e\\_pacific/](http://www.weather.unisys.com/hurricane/e_pacific/)
- van Waveren, I.M. 1993. Planktonic organic matter in surficial sediments of the Banda Sea (Indonesia): A palynological approach. *Geol. Ultraiectina, Mededelingen van de Fac. Aardwetenschappen, Universiteit Utrecht*, No.104, 237 p.
- Vásquez-Bedoya, L. F., Radi, T., Ruiz-Fernández, A. C., de-Vernal, A., Machain-Castillo, M. L., Kieft, J. F., Hillaire-Marcel, C., 2008. Organic-walled dinoflagellate cyst and benthic foraminifera in coastal sediments of the last century from the Gulf of Tehuantepec, South Pacific Coast of Mexico. *Marine Micropaleontology*. 68(1): 49-65.
- Wall, D. 1971. The lateral and vertical distribution of dinoflagellates in quaternary sediments. In: *The Micropalaeontology of Oceans*. B. M. Funnell & W. R. Riedel (Eds.) Cambridge University Press. pp. 399-500.
- Williams-Howze, J. 1998. Dormancy in the free-living copepod orders Cyclopoida, Calanoida, and Harpacticoida. *Oceanographic Literature Review*, 6(45), 977.
- Wood, G. D., Gabriel, A. M. and Lawson J. C., 1996. Palynological techniques processing and microscopy. In: J. Jansonius & D. C. McGregor. (Eds.) *Palinology: Principles and applications*, 1, 29-50.

- Zaitsev, O., Cervantes-Duarte, R., Montante, O and Gallegos-Garcia, A. 2003. Coastal upwelling activity on the Pacific shelf of the Baja California Peninsula. *Journal Oceanography*, 59(4): 489-502.
- Zaitsev, O., Sánchez–Montante, O., Robinson, C. J. 2007. Características del ambiente hidrofísico de la plataforma continental y zona oceánica adyacente al sistema lagunar Bahía Magdalena-Almejas. En: Funes-Rodríguez, R., Gómez-Gutiérrez, J., Palomares-García, R. (Eds) *Estudios ecológicos en Bahía Magdalena*. CICIMAR-IPN, La Paz, Baja California Sur, México, 29-43.
- Zaitsev, O., Trasviña-Castro, A., Linero-Cueto, J., Gaxiola-Castro, G., Cepeda-Morales, J. 2014. Oceanographic conditions over the continental shelf off Magdalena Bay (Mexico) in 2011–2012. *Ciencias Marinas*, 40(2): 89–112.
- Zonneveld, K. A. F., Marret, F., Versteegh, G. J. M., Bogus, K., Bonnet, S., Bouimtarhan, I., Crouch, E., de Vernal, A., Elshanawany, R., Edwards, L., Esper, O., Forke, S., Grøsfjeld, K., Henry, M., Holzwarth, U., Kieft, J-F., Kim, S-Y., Ladouceur, S., Ledu, D., Chen, L., Limoges, A., Londeix, L., Lu, S-H., Mahmoud, M., Marino, G., Matsouka, K., Matthiessen, J., Mildenthal, D. C., Mudie, P. J., Neil, H., Pospelova, V., Qi, Y., Radi, T., Richerol, T., Rochon, A., Sangiorgi, F., Solignac, S., Turon, J-L., Verleye, T., Wang, Y., Wang, Z., Young, M. 2013. Atlas of modern dinoflagellate cyst distribution based on 2405 data points. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 191, 1-197.
- Zonneveld, K.A.F., and Pospelova, V. 2015. A determination key for modern dinoflagellate cysts. *Palynology*, 39(3), 387-409.