

TESIS DEFENDIDA POR
Juan Gabriel Flores Trujillo
Y APROBADA POR EL SIGUIENTE COMITÉ

Dr. Javier Helenes Escamilla
Director del Comité

Dr. Jesús Arturo Martín Barajas
Miembro del Comité

Dr. Juan Contreras Pérez
Miembro del Comité

Dr. Juan Carlos Herguera García
Miembro del Comité

Dra. Elizabeth Orellana Cepeda
Miembro del Comité

Dr. Fidencio Alejandro Nava
Pichardo
Miembro del Comité

Dr. Thomas Kretschmar Gunter

*Coordinador del programa de
posgrado en Ciencias de la Tierra*

Dr. David Hilario Covarrubias
Rosales

Director de Estudios de Posgrado

Marzo de 2009

**CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y DE EDUCACIÓN SUPERIOR
DE ENSENADA**



**PROGRAMA DE POSGRADO EN CIENCIAS
DE LA TIERRA**

**REGISTRO PALINOLÓGICO EN SEDIMENTOS LAMINADOS DE LA PARTE SUR
DEL GOLFO DE CALIFORNIA Y SU RELACIÓN CON CAMBIOS
PALEOCEANOGRÁFICOS Y PALEOCLIMÁTICOS.**

TESIS

que para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de
DOCTOR EN CIENCIAS

Presenta:

JUAN GABRIEL FLORES TRUJILLO

Ensenada, Baja California, México, Marzo del 2009.

RESUMEN de la tesis de **Juan Gabriel Flores Trujillo**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de DOCTOR EN CIENCIAS en CIENCIAS DE LA TIERRA con orientación en GEOLOGÍA. Ensenada, Baja California, México. Marzo de 2009.

REGISTRO PALINOLÓGICO EN SEDIMENTOS LAMINADOS DE LA PARTE SUR DEL GOLFO DE CALIFORNIA Y SU RELACIÓN CON CAMBIOS PALEOCEANOGRÁFICOS Y PALEOCLIMÁTICOS.

Resumen aprobado por:

Dr. Javier Helenes Escamilla
Director de Tesis

El estudio detallado de sedimentos laminados puede ayudar a mejorar los modelos paleoclimáticos existentes y brindar la posibilidad de reconocer señales o factores útiles en la reconstrucción de ambientes sedimentarios. Los palinomorfos contienen información sobre las condiciones ambientales prevalecientes al tiempo de la depositación y sobre el transporte de material desde las áreas continentales circundantes. En particular los quistes de dinoflagelados pueden servir como indicadores de la productividad en las cuencas marinas. Los objetivos del presente estudio son: 1) describir a los conjuntos palinológicos preservados en sedimentos laminados de la cuenca Pescadero, sur del Golfo de California, depositados de 1483 a 1994; y 2) mostrar la posible relación de la variabilidad de los registros palinológicos, con la variabilidad de la precipitación pluvial (PP), los vientos del noroeste (VNO) y la temperatura superficial del mar (TSM). Se reportan los conjuntos palinológicos observados en muestras de 2 núcleos colectados en la cuenca Pescadero. Las muestras fueron tratadas con digestión ácida, sin oxidación y se agregaron esporas de *Lycopodium* para el análisis cuantitativo. En ambos núcleos (1907-1994 y 1483-1968) las concentraciones de conjuntos marinos ($\leq 40,000$ especímenes/gr sedimento) predominan sobre los continentales ($\leq 15,000$ especímenes/gr sedimento) y los hongos ($\leq 8,000$ especímenes/gr sedimento) y todas ellas disminuyen en los mismos intervalos de tiempo. Los análisis de correlación y de componentes principales muestran que las concentraciones totales están relacionadas primordialmente a la productividad marina primaria y secundariamente a la influencia de terrígenos. Según modelos regionales, VNO fuertes propician surgencias intensas, incrementando la concentración de palinomorfos marinos, en especial quistes de dinoflagelados; mientras que las concentraciones de todos los conjuntos de palinomorfos disminuyen durante períodos con mayor PP (Capítulo II). Por otra parte, en el núcleo que representa sedimentación de 1907 a 1994, los quistes de dinoflagelados observados muestran buena correlación con los VNO y la TSM en el área. Los quistes incluyen 19 especies de las órdenes Gonyaulacales (G, fotosintéticos) y

Peridiniales (P, heterótrofos), dominados por *Bitectatodinium spongium* (G) y *Brigantedinium* spp. (P) respectivamente. Las concentraciones de ambos órdenes son mayores en periodos con fases positivas/cálidas del Índice de la Oscilación Decadal del Pacífico, cuando tienden a aumentar los VNO y surgencias regionales. En estas condiciones los otros productores primarios tales como dinoflagelados G y diatomeas tienden a proliferar porque hay más nutrientes, y los P aumentan porque tienen más comida. La relación G/P muestra que los taxa G aumentan relativamente a los P, al ser mayores las temperaturas, mientras que los taxa P están presentes siempre, pero predominan relativamente en temperaturas más bajas. Aparentemente, cuando las surgencias son menos intensas, la TSM es más alta, la nutriclina es más profunda y los dinoflagelados G predominan sobre las diatomeas (Capítulo III). En este mismo núcleo (1907-1994), los quistes del dinoflagelado tóxico *Gymnodinium catenatum* Graham, predominan durante largos intervalos y tienden a disminuir en la cima del núcleo (1968-1994). Las variaciones de su abundancia relativa están relacionadas principalmente con la combinación de TSM bajas y disminución de surgencias. Esta especie es muy sensible a la turbulencia, pero aprovecha su capacidad de migración vertical cuando no hay surgencias y la nutriclina es más somera. Nuestros datos, no indican ninguna relación entre las abundancias de *G. catenatum* y cambios ambientales por impactos antropogénicos (Capítulo IV). En el periodo de 1483 a 1968 la variabilidad de las concentraciones de los conjuntos de dinoflagelados (Peridiniales, gonyaulacales y gymnodiniales) está correlacionada con la variabilidad de la TSM en el Pacífico tropical sur (TSM_{rar}) y por la PP en Sierra Nevada (PPSN), sugiriendo que los fenómenos El Niño/La Niña influyen fuertemente sobre la región sur del Golfo de California, modulando los vientos del noroeste y las condiciones de surgencias resultantes. La variabilidad de la TSM_{rar} se correlaciona con las PPSN, indicando fuertes VNO durante eventos El Niño. Estas condiciones explican el aumento de los conjuntos P y G y la disminución de *G. catenatum*. En contraste, la disminución de las abundancias de los conjuntos P y G y el aumento de *G. catenatum* se asocian con condiciones de La Niña (Capítulo V). En conclusión, el registro de palinomorfos en sedimentos laminados marinos refleja cambios en precipitación pluvial, productividad marina primaria y temperatura superficial del mar en el sur del Golfo de California durante los últimos 500 años.

Palabras clave: Palinomorfos, sedimentos laminados marinos, Golfo de California, Dinoflagelados, VNO, TSM.

ABSTRACT of the thesis presented by **Juan Gabriel Flores Trujillo**, as a partial requirement to obtain the DOCTOR OF SCIENCE degree in EART SCIENCES with orientation in GEOLOGY. Ensenada, Baja California, México. March of 2009.

PALYNOLOGICAL RECORD IN LAMINATED SEDIMENTS FROM THE SOUTHERN GULF OF CALIFORNIA, AND ITS RELATION WITH PALEOCEANOGRAPHIC AND PALEOCLIMATIC CHANGE.

The detailed study of laminated sediments helps improve the current paleoclimatic models and provides the opportunity to recognize signals or factors useful in the reconstruction of sedimentary environments. Palynomorphs contain information on the environmental conditions at the time of deposition and on the transport of material from nearby continental areas. In particular dinoflagellate cysts can be used as indicators of productivity of marine basins. The objectives of this study are: 1) to describe the palynological assemblages preserved in laminated sediments from Pescadero basin, southern Gulf of California, deposited from 1483 to 1994, and 2) show the probable relation of the variability of the palynological record and that of pluvial precipitation (PP), winds from the northwest (NWW) and sea surface temperature (SST). Here are documented the palynological assemblages observed in samples from 2 cores, collected from Pescadero basin. The samples were processed with acid digestion, without oxidation and *Lycopodium* spores were for the quantitative analyses. In both cores (1907-1994 and 1483-1968), the concentrations show predominance of the marine assemblages ($\leq 40,000$ specimens/gr sediment) over the continental ($\leq 15,00$ specimens/gr sediment) and fungi ($\leq 8,00$ specimens/gr sediment), and all of them decrease in the same time intervals. The correlation and principal component analyses show that the concentrations are related primarily to marine primary productivity and secondarily to terrigenous influx. According to regional models, strong NWW encourage intense upwellings, thus increasing the concentration of marine palynomorphs, particularly dinoflagellate cysts. Conversely, the concentrations of palynomorphs decrease during periods with higher PP (Chapter II). Furthermore, in the core representing sedimentation from 1907 to 1994, the dinoflagellate cysts observed show good correlation with the NWW and SST in the area. These cysts include 19 species of the Gonyaulacales (G, photosynthetic) and Perdiniales (P, heterotrophic) orders, which are dominated by *Bitectatodinium spongium* (G) and *Brigantedinium spp.* (P) respectively. Concentrations of both orders are higher during periods with a warm/positive phase of the Pacific Decadal Oscillation, when the local NWW and upwelling events tend to increase. In these conditions, the primary producers such as the G dinoflagellates and diatoms tend to proliferate, and the P dinoflagellates also increase, because more food is available. The G/P relation shows that the G taxa increase relative to the P, with higher SST, while the P taxa are always present, but dominate with lower temperatures. Apparently, when upwelling events are less intense, the SST is higher, the nutricline is deeper and the G dinoflagellates dominate over diatoms (Chapter

III). In samples from the same core (1907-1994), cysts of the toxic dinoflagellate *Gymnodinium catenatum* Graham, dominate during long intervals and tend to decrease towards the top of the core (1968-1994). Variations of its relative abundances are related to the combination of lower SST and less upwelling events. This species is highly sensitive to turbulence, but takes advantage of its vertical migratory capabilities when there is no upwelling, but the nutricline is shallow. Our data do not show any relation between the abundance of *G. catenatum* and environmental changes due to anthropogenic activity in the area (Chapter IV). During the period from 1483 to 1968, the variability of the concentrations of the dinoflagellate assemblages (Peridinales, Gonyaulacales and Gymnodinales) is linked to the variability of the ST in the southern tropical Pacific (SSTra) and to the PP in Sierra Nevada (PPSN), suggesting that the El Niño/La Niña events strongly influence the southern region of the Gulf of California, modulating the NWW and the resulting upwelling conditions. The variability of the SSTra is strongly correlated to the PPSN, which are indicative of NWW. During warm/El Niño conditions, the abundances of the P and G dinoflagellates should increase, while during cool/La Niña conditions, *G. catenatum* should increase (Chapter V). To conclude, the record of palynomorphs in laminated marine sediments from the southern Gulf of California reflect variability of marine productivity, pluvial precipitation and sea surface temperature during the last 500 years.

Key words: Palynomorphs, laminated marine sediments, Gulf of California, Dinoflagellates, NWW, SST.

Dedicatoria

A mis hijos...

...Juan David y Lucia Yaretzi...

...Porque andando, les enseñarás a andar.

Agradecimientos.

Hay personas e instituciones que de alguna forma contribuyeron para la buena culminación de este trabajo. No quisiera dejar de nombrarlos, por lo que ago un agradecimiento extensivo a todas ellas.

Al CONACyT y al CICESE por su apoyo económico para el proyecto 33415-T y por apoyo financiero para un servidor, durante mis estudios doctorales.

A todos y cada uno de los integrantes del comité de tesis, por colaborar con alguna(s) inquietud(es) sobre mi formación y sobre mi trabajo, mostrando siempre interés de colaborar en el buen entendimiento y desarrollo del presente trabajo. Siempre estarán presentes sus comentarios, al momento de construir algún proyecto, artículo o en la participación de la formación de alguna otra persona.

De manera muy especial quisiera agradecer al Dr. Javier Helenes por sus enseñanzas académicas y de vida, por su buen sentido del humor y por todo su apoyo y confianza mostrado hacia mí, desde el momento de nuestra primera entrevista. Por apoyarme para terminar mi tesis de maestría y hasta la culminación del presente estudio.

Al Dr. Juan Carlos Herguera, por facilitarme las muestras de los núcleos y los resultados de cronología utilizados para la elaboración de este trabajo.

A la Dra. Elizabeth Orellana, por su gran disposición, apoyo, enseñanzas y discusiones.

A la Dra. Tereza Cavazos, la Dra. Lydia Lada y al Dr. Luis Brito por su gran disposición en atender mis inquietudes y por compartir con migo los aportes a la investigación que han realizado.

A los técnicos del laboratorio P-3 de la División de Oceanología y la técnico del laboratorio de micropaleontología del departamento de Geología, Ocean. Edna Collins. Por su disposición para atender a los estudiantes que requieren de la utilización de sus instalaciones, además de la confiabilidad en su trabajo y su valioso apoyo en el procesamiento de muestras.

A la M. C. Nancy Pérez Morga por su apoyo en el uso de programas estadísticos y de programación, por su confianza, por compartir parte de nuestras vidas, por la gran dicha de amarla y formar una hermosa familia a su lado. Gracias por permitirme amarte...

Y a las personas (niños(as), adolescentes y adultos) que asisten regular o eventualmente al gimnasio de escala Baja Vertical, por su amistad, por compartir con migo sus inquietudes y su gusto por el montañismo.

CONTENIDO

	Página
Resumen español.....	i
Resumen inglés.....	iii
Dedicatorias.....	v
Agradecimientos.....	vi
Lista de Figuras.....	ix
Lista de Tablas.....	xii
Capítulo I. Introducción.....	1
Capítulo II. Registro palinológico en la cuenca Pescadero, región sur del Golfo de California, México: implicaciones climáticas y oceánicas de 1907 a 1994.....	6
II.1 Resumen.....	6
II.2 Introducción.....	7
II.3 Materiales y Métodos.....	9
II.4 Resultados.....	12
II.5 Discusión y Conclusión.....	30
Capítulo III. Variabilidad de Dinoflagelados Gonyaulacales-Peridiniales (1907 a 1995), en la región sur del Golfo de California, México.....	38
III.1 Resumen.....	38
III.2 Introducción.....	39
III.3 Materiales y Métodos.....	41
III.4 Resultados.....	43

CONTENIDO (continuación)

	Página
III.5 Discusión y Conclusión.....	52
Capítulo IV. Registro palinológico de quistes de <i>Gymnodinium catenatum</i> en la cuenca Pescadero, Golfo de California, México.....	57
IV.1 Resumen.....	57
IV.2 Introducción.....	58
IV.3 Materiales y Métodos.....	59
IV.4 Resultados.....	62
IV.5 Discusión y Conclusión.....	66
Capítulo V. Registro de 484 años de quistes de dinoflagelados y su relación con la productividad marina y la temperatura superficial del mar, en la cuenca Pescadero, Golfo de California, México.....	72
V.1 Resumen.....	72
V.2 Introducción.....	73
V.3 Materiales y Métodos.....	74
V.4 Resultados.....	78
V.5 Discusión y Conclusión.....	86
Capítulo VI. Discusión y conclusión general.....	89
Referencias.....	95

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura</i>		Página
1	Regiones y cuencas del Golfo de California. El detalle muestra la cuenca Pescadero, el punto de muestreo, afluentes principales en el oriente y la batimetría (en metros, Modificada de Banda-Bermúdez, 2002).	10
2	Algunas formas observadas en los 5 cm superiores del núcleo PCM00-61C-4, representando a los diferentes conjuntos observados. 1 bisacado, 2-3 tricolporados, 4 monoporado, 5 periporado, 6-10 diferentes estructuras de hongos, 11 <i>Bitectatodinium spungium</i> (gonyaulacal), 12, <i>Brigantidinium simplex</i> (peridinal), 13 <i>Gymnodinium catenatum</i> (gymnodinial), 14 copépodo alveo-reticulado, 15 foraminífero trocoespiral y 16-17 otros marinos. La escala inferior derecha esta en μm .	14
3	Abundancias Absolutas (concentraciones) del total de palinomorfos, de los grupos marinos, continentales y hongos; mostrando su relación aparente con los índices ambientales.	16
4	Abundancias absolutas de los conjuntos continentales y marinos, mostrando su relación aparente con los índices ambientales.	18
5	Componentes principales de las abundancias absolutas de los conjuntos y su relación aparente con los índices ambientales.	21
6	Abundancias de los grupos marinos (M), continentales (C) y hongos (H), relativas a palinomorfos totales (PT); mostrando su relación con los índices ambientales.	23
7	Abundancias de los conjuntos continentales relativas al total de continentales y sus componentes principales, mostrando su relación con los índices ambientales.	24
8	Abundancias de los conjuntos marinos relativas al total de marinos y sus componentes principales, mostrando su relación aparente con los índices ambientales.	27
9	Quistes de dinoflagelados: 1) <i>Selenopemphix nephroides</i> , 2) <i>Quinquecuspis concreta</i> , 3) <i>Votadinium calvum</i> , 4) <i>Votadinium spinosum</i> , 5) <i>Protoperidinium stellatum</i> , 6) <i>Brigantedinium grande</i> , 7) <i>Brigantedinium simplex</i> , 8) <i>Brigantedinium</i>	

LISTA DE FIGURAS (continuación)

<i>Figura</i>		Página
9	<i>cariacoense</i> , 9) <i>Brigantedinium</i> cf. <i>simplex</i> , 10) <i>Bitectatodinium spongium</i> , 11) <i>Spiniferites ramosus</i> , 12) <i>Bitectatodinium tepikiense</i> , 13) <i>Nematosphaeropsis labyrinthus</i> , 14) <i>Polysphaeridium</i> cf. <i>zoharyi</i> , 15) <i>Pyrophacus</i> (“ <i>Tuberculodinium</i> ”) <i>vancampoae</i> , 16) <i>Operculodinium centrocarpum</i> y 17) <i>Impagidinium aculeatum</i> . La escala es en μm .	45
10	Morfotipos representativos del conjunto copépodos: 1) pigmentado cendrado, 2) escabrado, 3) espinado y 4) alveoreticulado. La escala es en μm .	46
11	Abundancias absolutas y relativas de quistes de copépodos y dinoflagelados peridiniales y gonyaulacales, mostrando su relación con variables ambientales.	47
12	Abundancias absolutas de las especies de dinoflagelados Peridiniales y Gonyaulacales.	50
13	Componente principal I (CPI) de las abundancias absolutas de las especies de dinoflagelados y su relación con los índices ambientales.	51
14	Componentes principales de las abundancias de los quistes de dinoflagelados Peridiniales-Gonyaulacales relativas a los copépodos y su relación con los índices ambientales.	53
15	<i>Gymnodinium catenatum</i> , 1) foco alto, 2) foco bajo; 3) <i>Bitectatodinium spongium</i> , foco alto; 4) <i>Spiniferites ramosus</i> , foco alto; y 5) <i>Operculodinium centrocarpum</i> , foco alto (la escala representa 50 μm).	63
16	Abundancias absolutas (concentraciones) de quistes y abundancias de <i>G. catenatum</i> relativas al total de quistes de especies fotosintéticas.	65
17	Comparativo gráfico de los registros de abundancias absolutas de quistes, abundancias relativas de <i>G. catenatum</i> y distintos índices oceánicos y climáticos.	68

LISTA DE FIGURAS (continuación)

<i>Figura</i>		Página
18	Regiones y cuencas del Golfo de California. El detalle muestra la cuenca Pescadero, el punto de muestreo, afluentes principales en el oriente y la batimetría (en metros, Modificada de Banda-Bermúdez, 2002).	75
19	Abundancias absolutas de los conjuntos de palinomorfos, de quistes de dinoflagelados a nivel de orden y las variables ambientales de PPSN y la TSM.	79
20	Abundancias absolutas de los quistes de dinoflagelados observados.	83
21	Primeros dos componentes principales de las abundancias absolutas de los quistes de dinoflagelados.	84
22	Primeros dos componentes principales de las abundancias de los quistes de dinoflagelados relativas al total de palinomorfos marinos.	85

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
I	Quistes de dinoflagelados y su afinidad planctónica.	15
II	Valores de correlación de los conjuntos palinomorfos totales, marinos, continentales y hongos, con respecto a los índices ambientales. Los cuadros sombreados muestran los valores que son significativos ($p < 0.10$).	17
III	Valores de correlación de las abundancias absolutas de los conjuntos continentales, marinos y los dos componentes principales de estas abundancias, en relación con los índices ambientales. Los valores sombreados son significativos ($p < 0.10$).	20
IV	Valores de correlación de las abundancias de los conjuntos continentales relativas al total de continentales y los tres componentes principales de estas abundancias, en relación con los índices ambientales. Los valores sombreados son significativos ($p < 0.10$).	26
V	Valores de correlación de las abundancias de los conjuntos marinos, relativos al total de marinos y los tres componentes principales de estas abundancias, en relación con los índices ambientales. Los valores sombreados son significativos ($p < 0.10$).	28
VI	Quistes de dinoflagelados y su afinidad planctónica (Fensome <i>et al.</i> , 1993).	44
VII	Matriz de correlación de las abundancias absolutas de peridiniales (P), gonyaulacales (G), dinoflagelados (P+G), copépodos (Co); abundancias de G relativas a dinoflagelados y a Co; abundancias de P relativas a Co; componente principal I (CPI) del análisis con las abundancias absolutas (Abs); componentes principales I y II (CPI y CPII, respectivamente) del análisis de las abundancias relativas a los copépodos. Los cuadros sombreados muestran los valores que son significativos ($p < 0.10$).	49
VIII	Especies de quistes de dinoflageladas fotosintéticas observadas y su correspondiente afinidad biológica (Fensome <i>et al.</i> , 1993).	64

LISTA DE TABLAS (continuación)

Tabla		Página
IX	Matriz de correlación entre los registros de quistes y los índices ambientales. Los valores significativos se resaltan en negrillas ($p < 0.1$).	67
X	Correlación entre los registros de abundancias absolutas de quistes, componentes principales de las abundancias absolutas de quistes; componentes principales de las abundancias de quistes relativos al total de palinomorfos marinos y los índices ambientales. Los valores significativos se resaltan en negrillas ($p < 0.10$).	80
XI	Nombre de las especies de quistes observadas (Fensome <i>et al.</i> , 1993).	81

Introducción

Los sedimentos marinos laminados están comúnmente relacionados con zonas de surgencia o alta productividad, por lo cual su contenido biogénico es generalmente abundante. La preservación de estos sedimentos se asocia a cuencas con aguas pobres en oxígeno (concentración de oxígeno disuelto <0.2 ml/l), en las cuales se preservan las láminas por falta de bioturbación. El estudio detallado de este tipo de sedimentos puede ayudar a mejorar los modelos paleoclimáticos existentes y brindar la posibilidad de reconocer señales o factores útiles en la reconstrucción de ambientes sedimentarios (Herguera *et al.*, 2003; Douglas *et al.*, 2007).

El origen de las laminaciones está relacionado con variaciones en la velocidad de suministro o influjo de los sedimentos. Estas variaciones pueden resultar por cambios en la cantidad de material terrígeno (principalmente limo y arcilla) y material biogénico (principalmente carbonatos, silicatos y materia orgánica) llegando al sitio de sedimentación. Aunque, también pueden estar relacionados con cambios en la velocidad de acumulación de estos materiales. La presencia de estas laminaciones también ha sido atribuida a la desviación fortuita de las corrientes de sedimentación, a cambios cíclicos en relación con ritmos de diurnos a anuales y a tormentas o inundaciones periódicas. En algunos casos, se ha comprobado que representan una periodicidad anual compuesta por dos láminas, generalmente debido a cambios estacionales alternos en la producción y transporte de material biogénico y litogénico (Baumgartner y Christensen, 1978; Kemp y Baldauf, 1993).

El contenido biogénico está directamente relacionado con los factores climáticos, oceanográficos y sedimentológicos que afectan la cuenca, por lo que estos sedimentos contienen un registro detallado de los cambios en las condiciones sedimentológicas y de la productividad orgánica predominante en la cuenca en donde se depositaron (Emery y Hülsemann, 1962; Baumgartner y Christensen, 1978). El estudio del contenido biogénico es una herramienta muy útil para interpretar indirectamente los efectos que los factores mencionados tuvieron en la cuenca. Particularmente, la identificación temporal de los cambios en estos factores oceanográficos, contribuye a la comprensión del comportamiento de eventos paleoceanográficos en diversas escalas cronológicas (Esparza-Álvarez *et al.*, 2007; Bernal *et al.*, 2001; Banda-Bermudez, 2002; Barron *et al.*, 2002; Prauss, 2002). En el Golfo de California se han realizado numerosos estudios de los sedimentos laminados de las cuencas anóxicas con objetivos paleoceanográficos (Revelle, 1950; Round, 1968; Donegan y Schrader, 1982).

La mayor parte del contenido biogénico está compuesto por restos de microorganismos de composición calcárea (foraminíferos y nanoplancton calcáreo), silíceo (diatomeas, silicoflagelados y radiolarios), u orgánica (dinoflagelados, polen y esporas). La mayoría de este contenido representa parte de la fauna y flora marinas de las cuencas, mientras que el polen y esporas representan material transportado desde ambientes continentales.

Los dinoflagelados son uno de los grupos más abundantes de fitoplancton y constituyen una parte importante de la productividad primaria en los ecosistemas marinos. Muchas especies de dinoflagelados se han usado para interpretar cambios oceanográficos y climáticos (Harland, 1989, 1994; Edwards, 1992; de Vernal *et al.*, 1993a y b; Mudie *et al.*, 2002a y b; Prauss, 2002). Aproximadamente la mitad de las especies son fotosintéticas, otras son heterótrofas y algunas son parasíticas o mixiotróficas (Rochon *et al.*, 1999; Walker, 1983; Williams, 1971; Fensome *et al.*, 1996). En particular las especies del Orden Gonyaulacales (G) está representada por formas fotosintéticas, mientras que las formas de la Orden Peridinales (P) son heterotróficas (Fensome *et al.*, 1996).

Aproximadamente 15 % de las especies actuales forman quistes de resistencia, los cuales pueden permanecer en los sedimentos hasta que las condiciones sean favorables

para su desenquistamiento (Marcus y Boero, 1998; Walker, 1983; Fensome *et al.*, 1996). Las abundancias de quistes de dinoflagelados en el sedimento son un reflejo de sus abundancias en la fase planctónica, ya que la producción más alta de quistes se registra durante y después de los florecimientos de fitoplancton, cuando la densidad de células vegetativas es mayor en la columna de agua (Matsuoka y Fukuyo, 1994; Peña-Manjarrez, *et al.*, 2001). Además, las concentraciones de quistes son mayores en las cercanías de áreas con alta productividad primaria (Cross, *et al.*, 1966). Por lo tanto, es razonable establecer una relación directa entre la concentración de quistes en los sedimentos y la abundancia de formas planctónicas en la columna de agua.

La presencia de quistes y su relación con variables físico-químicas de las aguas superficiales ha sido estudiada en sedimentos superficiales en el Pacífico Mexicano y Golfo de California (Peña-Manjarrez *et al.*, 2001 y 2005; Morquecho y Lechuga-Devéze, 2003; Cross *et al.*, 1966; Martínez-Hernández y Hernández-Campos, 1991; Pospelova *et al.*, 2008), aunque hay pocos estudios estratigráficos (Vázquez-Bedolla *et al.*, 2008)

La diversidad y abundancia de quistes Gonyaulacales (G) y Peridinales (P) se relacionan fuertemente con surgencias (Prauss, 2002; Sprangers, *et al.*, 2004; Pospelova, *et al.*, 2008; Vázquez-Bedoya *et al.*, 2008). Aparentemente, ambos tipos de dinoflagelados (G y P), tienden a proliferar cuando hay altas concentraciones de nutrientes y suficiente luz solar (Peña-Manjarrez, *et al.*, 2005), pero en diferentes temperaturas, resultado de sus estrategias tróficas. La relación G/P, ha sido usada como indicadora indirecta de temperatura superficial del mar (Mudie y Harland, 1996; Rochon, *et al.*, 1999; Marret, *et al.*, 2001). Incluso la especie fotosintética *B. spongium* es considerada como indicadora de aguas cálidas en el Golfo de California (Pospelova *et al.*, 2008).

En la región Sur del Golfo de California, las variables climáticas y oceánicas presentan una estacionalidad marcada. Los vientos de invierno son fuertes ($8-12 \text{ m s}^{-1}$) y provienen del noroeste (VNO), mientras que los de verano son moderados ($2-5 \text{ m s}^{-1}$) y provienen del sureste (Badan-Dangon *et al.*, 1991). Los VNO propician condiciones de surgencias durante el invierno-primavera en la margen oriental (Álvarez-Borrego y Lara-Lara, 1991) y su variabilidad se relaciona con la interacción regional de los forzamientos del índice de la

oscilación decadal del Pacífico (PDO por sus siglas en inglés) y por El Niño/Oscilación del Sur (ENSO; Juillet-Leclerc y Schrader, 1987).

En la escala inter-decadal, la combinación de estos dos forzamientos también modula la precipitación pluvial en el norte de Baja California, suroeste de California y la Sierra Nevada (Andrews *et al.*, 2004; Minnich *et al.*, 2000; Biondi *et al.*, 2001; Hughes y Graumlich, 1996). Por lo tanto, los valores altos en la precipitación pluvial en estas regiones se relacionan con los vientos del noroeste dentro del Golfo de California.

En el sur del Golfo de California, la precipitación pluvial (PP) de verano representa el 70% de la PP anual (Douglas *et al.*, 1993). Esta PP anual es mínima cuando coinciden la fase cálida/positiva del PDO y ENSO positivo (El Niño), y es máxima cuando coinciden la fase cálida/positiva del PDO y ENSO negativo (La Niña) (Brito-Castillo *et al.*, 2003).

La temperatura superficial del mar (TSM) la región sur del Golfo de California, varía de 21°C en invierno a 31°C en verano (Castro *et al.*, 2000). Esta variabilidad es modulada en la escala interanual, por el forzamiento ENSO (Bernal *et al.*, 2001). La TSM en esta región está relacionada con forzamientos de origen tropical y ecuatorial (Bernal *et al.*, 2001; Herguera *et al.*, 2003). El forzamiento tropical ENSO afecta principalmente en periodos interanuales y está asociado significativamente con anomalías positivas/negativas de la TSM (El Niño/ La Niña; Bernal *et al.*, 2001). En esta región del Golfo de California también convergen las masas de agua de la Corriente de California y del Golfo de California (Castro *et al.*, 2000), las cuales tienen diferentes características físicas que modifican la TSM en el área de estudio, , por lo que la TSM no es exactamente la del Pacífico tropical.

Este documento presenta los resultados de un estudio palinológico de sedimentos marinos laminados de dos núcleos colectados en cuenca Pescadero, el primero en muestras fechadas de 1907 a 1994 y el segundo en muestras fechadas de 1483 a 1968. Aquí se establece que los cambios en los conjuntos palinológicos en esta cuenca, están relacionados con factores climáticos y oceánicos. Los objetivos son primero describir y documentar los conjuntos palinológicos preservados en sedimentos de la cuenca Pescadero, depositados de 1483 a 1994, y segundo mostrar la posible relación de la

variabilidad de los registros palinológicos, con la variabilidad de la PP local, de los VNO y de la TSM. En particular se establece:

1.- Que las abundancias absolutas (concentraciones) de los diferentes conjuntos, se encuentran moduladas por el aporte terrígeno durante los momentos de mayor precipitación pluvial y por el aporte biogénico durante los momentos de mayor productividad primaria;

2.- Que las abundancias de quistes de dinoflagelados gonyaulacales y peridiniales, están afectados principalmente por la abundancia de nutrientes originada por surgencias;

3.- Que las abundancias de los quistes gonyaulacales relativas a las abundancias de peridiniales, indican que la temperatura superficial del mar es alta, y finalmente

4.- Que la variabilidad en la abundancia de *G. catenatum* es un indicador de estratificación de la columna de agua cuando la temperatura superficial del mar es templada.

Registro palinológico en la cuenca Pescadero, región sur del Golfo de California, México: implicaciones climáticas y oceánicas de 1907 a 1994.

II.1 RESUMEN

La palinología es el estudio del material orgánico producido por plantas vasculares y algas y contenido en los sedimentos. Este material es recuperado mediante procesos químicos ácidos y es rico en residuos de organismos microscópicos continentales y marinos. Las formas más ampliamente documentadas son el polen de angiospermas y gimnospermas (continentales) y los quistes de dinoflagelados (marinos). En este capítulo se documenta el contenido palinológico de los sedimentos laminados en la cuenca Pescadero y se muestra la posible relación de la variabilidad de los registros con variables ambientales. En particular se presentan las relaciones de los conjuntos palinológicos con condiciones de surgencias, PP y cambios en la TSM a escala inter-decadal. Los conjuntos palinológicos contenidos en los 5 cm superiores (1907-1994), del núcleo PCM00-64C-4 colectado en la cuenca Pescadero, región sur del Golfo de California, representan taxa continentales y marinos. Los continentales incluyen: polen de angiospermas (monoporados, periporados, tricolporados, digitatus) y gimnospermas (bisacados), así como otros continentales (esporas y algunos fungi). Los conjuntos marinos incluyen: copépodos, foraminíferos, dinoflagelados peridiniales, gonyaulacales y gymnodiniales y otros marinos (acritarcos, escolecodontos y otros). Además se observa un conjunto de hongos, que incluye formas tanto continentales como marinas. Las concentraciones

(abundancias absolutas) muestran dominancia de los conjuntos marinos (principalmente los copépodos), hasta 40 mil células por gramo de sedimento (cel/gr s), mientras que los continentales (principalmente los bisacados), presentan concentraciones máximas de 15 mil cel/gr s, y los hongos de 8 mil cel/gr s. Todas estas abundancias muestran una variabilidad similar, aumentando y disminuyendo en las mismas muestras. Los análisis de correlación y de componentes principales muestran que las concentraciones están moduladas por: los VNO, que promueven condiciones de surgencia, y la PP de verano, que transporta material litogénico a la cuenca, diluyendo el contenido biogénico. El análisis de los conjuntos de quistes de dinoflagelados (peridiniales, gymnodiniales y gonyaulacales) y sus asociaciones con los índices ambientales, permite distinguir que sus acumulaciones; están moduladas principalmente por la variabilidad de los VNO. Cuando los VNO promueven condiciones de surgencia en el área de estudio los conjuntos peridiniales y gonyaulacales son los dominantes. Mientras que cuando disminuyen las condiciones de surgencia y la TSM presenta anomalías negativas, el conjunto de gymnodiniales es el que domina.

Palabras clave: Palinomorfos, sedimentos laminados, Golfo de California, cuenca Pescadero.

II.2 INTRODUCCIÓN

La palinología es la descripción y análisis del material orgánico contenido en los sedimentos y rocas. Este material es recuperado mediante procesos químicos ácidos (Jansonius y McGregor, 1996) y es rico en restos microscópicos de organismos que incluyen polen, esporas, esporas de hongos (continentales, dulce acuícolas y marinos), acritarcos, escolecodontes (restos mandibulares de poliquetos), cámaras internas de foraminíferos y estadios bentónicos de resistencia de grupos planctónicos, tales como: quistes de dinoflagelados, rotíferos, cladóceros y copépodos. Estas taxa construyen estructuras con material orgánico fosilizable y en este estudio, se encontraron representantes de varios de estos grupos.

De entre los taxa observados, los más ampliamente conocidos son el polen de angiospermas y gimnospermas (continentales), y los quistes de dinoflagelados (marinos).

El polen de angiospermas y gimnospermas, provee datos muy útiles en estudios paleoflorísticos, fitogeográficos, paleoecológicos y paleoambientales en ambientes continentales (Playford y Dettman, 1996; Jarzen y Nichols, 1996). En sedimentos superficiales de la región sur del Golfo de California, este grupo muestra alta concentración en sedimentos limo-arcillosos, en la boca de los deltas y en algunos canales submarinos. A lo largo del resto de la costa, las concentraciones son bajas, aunque su concentración aumenta más allá de las zonas de sedimentación de cuarzo, lejos de la costa. Aparentemente la dispersión causada por arroyos y corrientes de agua, es la más importante para este grupo en el Golfo de California (Cross *et al.*, 1966).

Los dinoflagelados son organismos unicelulares que habitan en ambientes oceánicos y lacustres, las especies actuales representan uno de los grupos más abundantes del fitoplancton y constituyen una parte importante en la productividad primaria de los ecosistemas acuáticos, solo después de las diatomeas. Algunas especies son fotosintéticas, otras heterótrofas, o mixiotróficas y algunas son parasíticas (Rochon *et al.*, 1999; Walker, 1983; Fensome *et al.*, 1993). Como estrategia ecológica algunos dinoflagelados tienen un ciclo de vida meroplanctónico (Marcus y Boero, 1998) y construyen estructuras fosilizables, por lo que son útiles en estudios paleoceanográficos (Fensome *et al.*, 1996; Dale, 2001).

Como se mencionó anteriormente, las variables climáticas y oceánicas en la región Sur del Golfo de California presentan una estacionalidad marcada.

En este capítulo se muestran los resultados del estudio palinológico en los 5 cm superiores de un núcleo tomado en la cuenca Pescadero, región sur del Golfo de California, México. Los objetivos de este capítulo son: 1) documentar el contenido palinológico de los sedimentos laminados en la cuenca Pescadero, y 2) mostrar la posible relación de la variabilidad de los registros con condiciones de surgencias (VNO), precipitación pluvial (PP) y cambios en la TSM a escala inter-decadal.

II.3 MATERIALES Y METODOS

La cuenca Pescadero se encuentra en el extremo sur del Golfo de California (23° 30' y 25° 00' latitud Norte y 108° 00' y 109° 30' longitud Oeste) y tiene una profundidad máxima aproximada de 3,000 m. Se observaron los primeros 5 cm. (20 muestras) del núcleo PCM00-61C-4 (45 cm. de longitud), obtenido durante la campaña 2000, a bordo del Buque Oceanográfico el Puma, con un nucleador de caja de tipo Soutar. El núcleo contiene sedimentos laminados y se obtuvo a 580 m de profundidad, en el lado oriental (N 24° 05.74' y W 108° 14') de la cuenca Pescadero, región sur del Golfo de California, México (figura 1).

El número, espesor y distribución de las laminaciones se obtuvo utilizando radiografías de rayos X. Para la obtención de las muestras se realizaron cortes longitudinales paralelos a la profundidad en cada nivel en el Laboratorio P3 de la División de Oceanografía del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE).

La cronoestratigrafía está basada en el conteo de láminas y determinación radioisotópica de AMS¹⁴C con muestras de foraminíferos pláctónicos en la parte media e inferior del núcleo. Estas determinaciones se obtuvieron en el laboratorio Leibniz de la Universidad de Kiel, Alemania, adscrito a la Universidad Christian Albrechts. Con estos resultados se estableció la velocidad de sedimentación (~0.61 mm/año), se calculó la edad de cada muestra y se transformaron a años calendario asumiendo una edad de reservorio de 650 años. Los resultados de este cálculo fueron proporcionados por el Dr. Juan Carlos Herguera de la División de Oceanografía del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE).

Las muestras se trataron con el procesamiento palinológico normal de digestión con ácidos, utilizando HCl al 10% para remover carbonatos y HF al 40% para remover silicatos (Wood *et al.*, 1996). No se oxidó el residuo y se agregó una tableta de esporas de *Lycopodium* (Serie: 483216) como marcador exótico (Stockmarr, 1971). Con el residuo palinológico tamizado entre 125 y 15 µm, se prepararon montajes de cada muestra. El tamaño mínimo de muestra se estableció comparando el número acumulativo de especies y/o morfotipos contra el número de montajes observados, tomando como línea de corte el

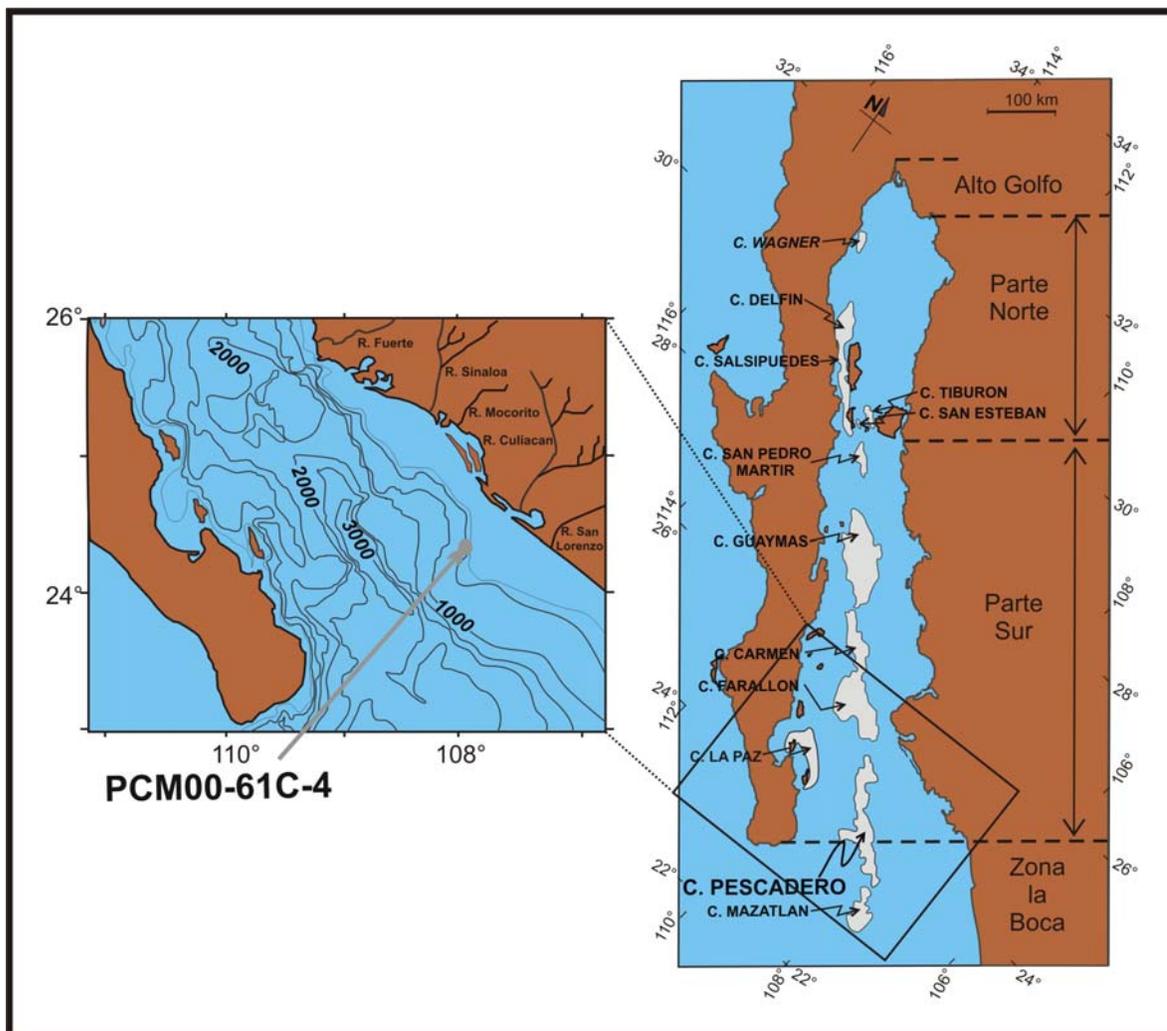


Figura 1. Regiones y cuencas del Golfo de California. El detalle muestra la cuenca Pescadero, el punto de muestreo, afluentes principales en el oriente y la batimetría (en metros, Modificada de Banda-Bermúdez, 2002).

85% de las especies y/o morfotipos.

El análisis cualitativo se realizó con microscopio óptico de luz transmitida a 450x y 1000x. Para el análisis cuantitativo se analizaron dos montajes de cada muestra realizando barridos totales con 160x. Se registró el número de palinomorfos por especie y/o grupo en cada nivel, así como el número total de esporas de *Lycopodium* contadas. El número de palinomorfos considerado como total por muestra, es la suma de las observaciones de los dos montajes. En este trabajo se presentan las abundancias absolutas (concentraciones) de los conjuntos palinológicos continentales (bisacados, monoporados, periporados, tricolporados, digitatus y otros continentales), marinos (copépodos, foraminíferos, otros marinos y dinoflagelados peridiniales, gonyaulacales y gymnodiniales) y hongos. Estas concentraciones se expresan como células por gramo de sedimento (cel/gr s) y se calcularon con la fórmula siguiente: (número de células o quistes) = $\{[(\text{número total de esporas de } Lycopodium) \times (\text{número de células o quistes contados})] / [(\text{número de esporas contadas}) \times (\text{peso de la muestra procesada})]\}$. También se presentan las abundancias relativas de los conjuntos, expresadas en porcentajes (%). Estos se calcularon con la fórmula siguiente: (% conjunto) = $\{(\text{concentración del conjunto} \times 100) / (\text{concentración total de los conjuntos})\}$; primero, se calcularon en relación al total de palinomorfos, y después en relación al total de los taxa agrupados por habitat (continentales y marinos).

También se muestran los resultados de los análisis de componentes principales de los conjuntos palinológico respecto a la profundidad de muestreo, a partir de la matriz de covarianza (Wallace y Dickinson, 1972). Estos resultados involucran: a) las abundancias absolutas de los conjuntos continentales y marinos, b) las abundancias relativas de los conjuntos continentales y c) las abundancias relativas de los conjuntos marinos.

Los registros obtenidos se compararon con series de tiempo publicadas, que representan la variabilidad de factores climáticos y oceánicos en la región. Primero se normalizaron las series de las variables ambientales a los intervalos de tiempo correspondientes a cada muestra y después se realizaron análisis de correlación no-paramétrica de Spearman (r), determinando la significancia estadística mediante una prueba “t” con n-2 grados de libertad ($p < 0.10$).

Los registros de las variables ambientales son:

- PDO (Biondi *et al.*, 2001) obtenida en www.ncdc.noaa.gov/paleo/pubs/biondi2001/biondi2001.html;
- Precipitación pluvial en la Sierra Nevada, EEUU (PPSN, Hughes y Graumlich, 1996) obtenida en wdc.cricyt.edu.ar/paleo/drought/drght_graumlich.html;
- Isótopos de oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$, Linsley *et al.*, 2000a) obtenida en www.ncdc.noaa.gov/paleo/coral/eequapac.html;
- Temperatura Superficial del Mar (TSM, Kaplan *et al.*, 1998) obtenida en www.cdc.noaa.gov/cgi-bin/DataAccess.pl?DB_dataset=kaplan+Extended+SST;
- Datos de calibración del Índice de la Severidad de la Sequía de Palmer (PDSI), promediados de tres estaciones (123, 124 y 138; Cook y Krusic, 2004) obtenido en www.ncdc.noaa.gov/paleo/newpdsi.html;
- Precipitación pluvial histórica de junio a septiembre (EIII-JJAS), promediado de tres estaciones meteorológicas en Sinaloa (025063, Mocerito; 025110, Badiraguato; y 025081, Culiacán); banco de datos ERIC III, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA);
- Precipitación pluvial de junio a septiembre en el núcleo del monzón Norteamericano (C-JJAS; Cavazos *et al.*, 2008) comunicación personal, 2007; y
- Anomalías de precipitación pluvial en verano (B-JAS) y de invierno (B-EFM; Brito-Castillo *et al.*, 2003) comunicación personal, 2008.

II.4 RESULTADOS

El estudio palinológico de los 5 cm superiores (1907-1994), del núcleo PCM00-64C-4 colectado en la cuenca Pescadero, región sur del Golfo de California, muestra la acumulación de los conjuntos continentales: angiospermas (monoporados, periporados, tricolporados, digitatus), otros continentales y gimnospermas (bisacados); la acumulación de los conjuntos Marinos: copépodos, foraminíferos, otros marinos (acritarcos, tintinomorfos, escolcodontos y otros) y los dinoflagelados peridiniales, gonyaulacales y gymnodiniales; además de la acumulación del Conjunto de Hongos, que incluye formas tanto continentales como marinas (figura 2). Los dinoflagelados se agruparon a nivel de

orden para el presente capítulo, pero se identificaron a nivel de especie (tabla I) para su análisis específico en capítulos posteriores.

Las dataciones por ^{14}C indican que el intervalo estudiado abarca desde 1907 hasta 1994 y cada muestra representa aproximadamente 5 años de registro palinológico (figura 3). El mayor intervalo de muestreo es 6 años (muestra 14) y el menor intervalo es de 2 años (muestra 19).

Abundancias Absolutas o Concentraciones.

Se observaron concentraciones de palinomorfos totales (figura 3) entre 7,000 a 51,000 cel/gr s. Las series de concentraciones presentan cuatro intervalos con baja recuperación en las muestras 19, 16 a 13, 8 a 5 y 2. Estos intervalos de baja recuperación son observados en todos los grupos. Los registros de abundancias absolutas de los grupos marinos varían de 2,700 a 31,100 cel/gr s; los grupos continentales de 3,400 a 12,600 cel/gr s, y las esporas de hongos varían de 1,000 a 8,200 cel/gr s (figura 3).

El grupo de palinomorfos totales y de hongos presentan valores significativos de correlación (tabla II) con la PPSN ($r=0.52$ y $r=0.45$, respectivamente). El grupo de palinomorfos marinos muestra una correlación significativa con el PDO ($r=0.39$) y con la PPSN ($r=0.46$); mientras que el grupo de continentales con la PPSN ($r=0.40$) y con la C-JJAS ($r=-0.55$).

El grupo de palinomorfos continentales se subdivide en los conjuntos: bisacados (2,100 a 6,400 cel/gr s), tricolporados (880 a 5,000 cel/gr s), periporados (370 a 2,500 cel/gr s), monoporados (27 a 162 cel/gr s), digitatus (0 a 180 cel/gr s) y otros continentales (OC; 0 a 43 cel/gr s). El grupo de palinomorfos marinos se subdivide en los conjuntos: copéodos (1,700 a 10,000 cel/gr s), foraminíferos (240 a 8,000 cel/gr s), otros marinos (OM; 240 a 7,400 cel/gr s), y dinoflagelados peridiniales (30 a 3,300 cel/gr s), gymnodiniales (26 a 1,900 cel/gr s) y gonyaulacales (18 a 770 cel/gr s). El registro de las abundancias absolutas de todos estos conjuntos muestran acumulaciones similares (figura 4), con los mismos cuatro intervalos de baja recuperación mencionados para los grupos totales (muestras 19, 16-13, 8-5 y 2).

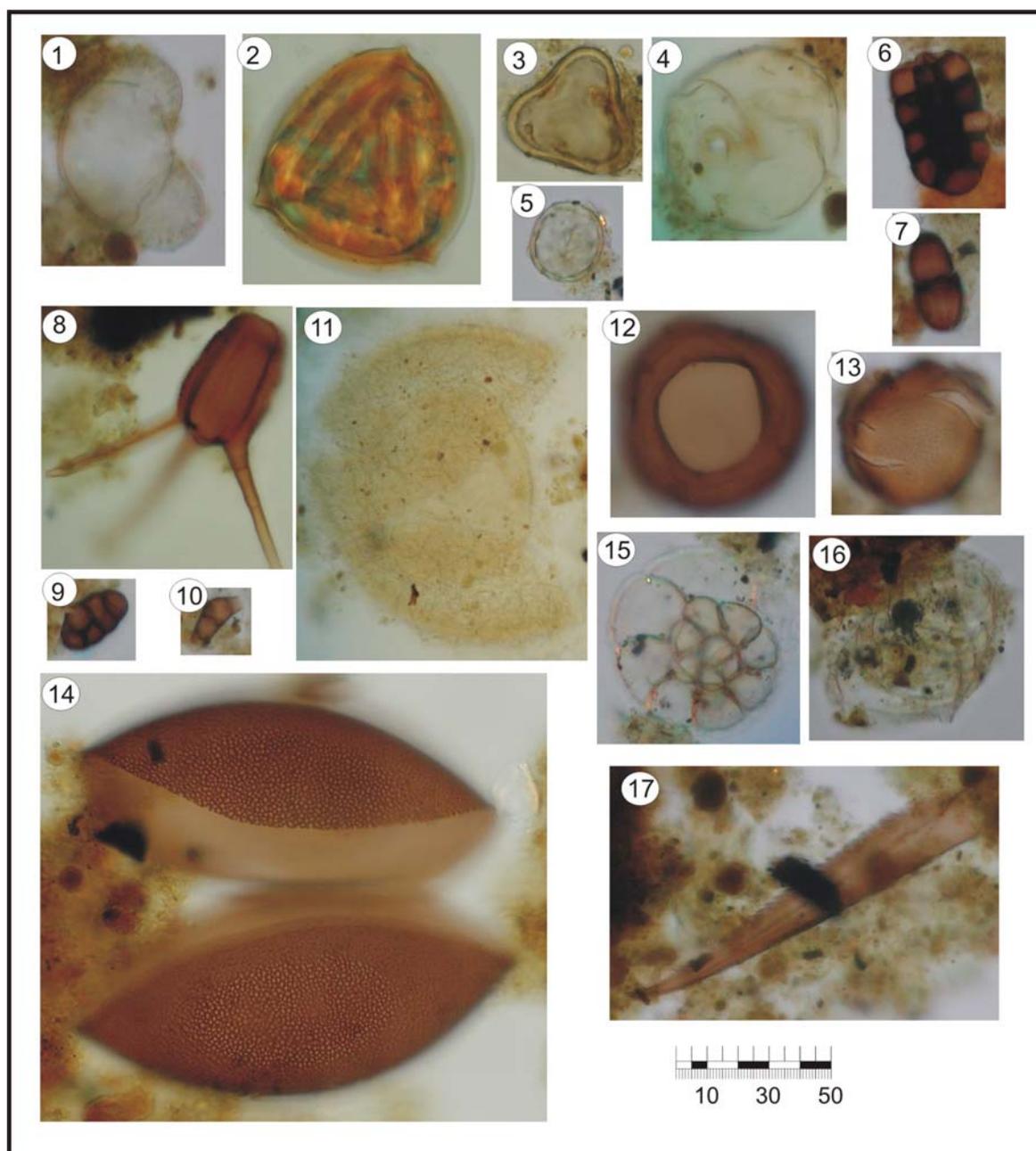


Figura 2. Algunas formas observadas en los 5 cm superiores del núcleo PCM00-61C-4, representando a los diferentes conjuntos observados. 1 bisacado, 2-3 tricolporados, 4 monoporado, 5 periporado, 6-10 diferentes estructuras de hongos, 11 *Bitectatodinium spungium* (gonyaulacal), 12, *Brigantidium simplex* (peridinal), 13 *Gymnodinium catenatum* (gymnodinial), 14 copépodo alveo-reticulado, 15 foraminífero trocoespiral y 16-17 otros marinos. La escala inferior derecha está en μm .

Tabla I. Quistes de dinoflagelados y su afinidad planctónica.

Nombre del Quiste		Estadio Planctónico	
Género	Especie	Género	Especie
Orden Peridiniales			
<i>Brigantedinium</i>	<i>cf. simplex</i>	<i>Protopteridinium</i>	
	<i>simplex</i>	<i>Protopteridinium</i>	<i>conicoides</i>
	<i>cariacoense</i>	<i>Protopteridinium</i>	<i>avellanum</i>
	<i>grande</i>	<i>Protopteridinium</i>	
<i>Protopteridinium</i>	<i>stellatum</i>	<i>Protopteridinium</i>	<i>stellatum</i>
<i>Quinquecuspis</i>	<i>concreta</i>	<i>Protopteridinium</i>	<i>leonis</i>
<i>Selenopenphix</i>	<i>nephroides</i>	<i>Protopteridinium</i>	<i>subinermis</i>
<i>Votadinium</i>	<i>calvum</i>	<i>Protopteridinium</i>	<i>oblongum</i>
	<i>spinosum</i>	<i>Protopteridinium</i>	<i>claudicans</i>
Orden Gymnodiniales			
<i>Polykrikos</i>	<i>schwartzii</i>	<i>Polykrikos</i>	<i>schwartzii</i>
	<i>kofoidii</i>	<i>Polykrikos</i>	<i>kofoidii</i>
<i>Gymnodinium</i>	<i>catenatum</i>	<i>Gymnodinium</i>	<i>catenatum</i>
Orden Gonyaulacales			
<i>Spiniferites</i>	<i>ramosus</i>	<i>Gonyaulax</i>	<i>spinifera?</i>
	<i>cf. ramosus</i>	<i>Gonyaulax</i>	
<i>Operculodinium</i>	<i>centrocarpum</i>	<i>Protoceratium</i>	<i>reticulatum</i>
<i>Impagidinium</i>	<i>aculeatum</i>	<i>Gonyaulax</i>	
	<i>sphericum</i>	<i>Gonyaulax</i>	
<i>Bitectatodinium</i>	<i>spongium</i>		
	<i>tepiense</i>	<i>Gonyaulax</i>	<i>spinifera</i>
<i>Nematosphaeropsis</i>	<i>labyrinthus</i>	<i>Gonyaulax</i>	<i>spinifera</i>
<i>Polysphaeridium</i>	<i>cf. zoharyi</i>	<i>Pyrodinium</i>	<i>bahamense</i>
<i>Pyrophacus</i>	<i>vancampoae</i>	<i>Pyrophacus</i>	<i>vancampoae</i>

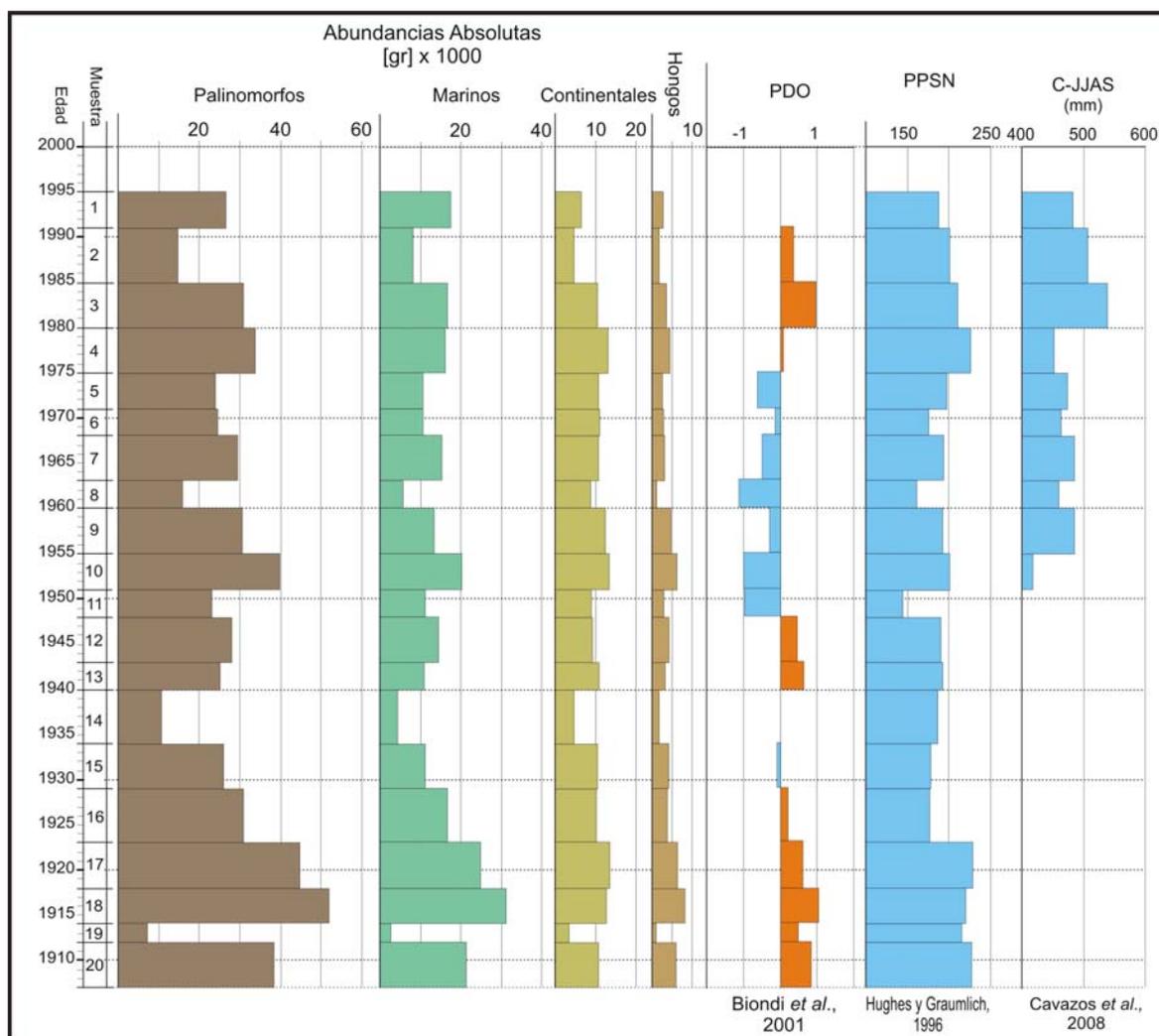


Figura 3. Abundancias Absolutas (concentraciones) del total de palinomorfos, de los grupos marinos, continentales y hongos; mostrando su relación aparente con los índices ambientales.

Tabla II. Valores de correlación de los conjuntos palinomorfos totales, marinos, continentales y hongos, con respecto a los índices ambientales. Los cuadros sombreados muestran los valores que son significativos ($p < 0.10$).

	Abundancias						
	Absolutas				Relativos al total		
	Palinomorfos	Marinos	Continentales	Hongos	M/PT	C/PT	H/PT
PDO	0.35	0.39	0.06	0.34	0.49	-0.52	0.32
PPSN	0.52	0.46	0.40	0.45	0.43	-0.39	0.28
TSM	-0.14	-0.14	-0.14	-0.24	-0.02	0.05	-0.43
C-JJAS	-0.25	-0.13	-0.55	-0.15	0.47	-0.31	-0.07

PDO= Oscilación Decadal del Pacífico (Biondi *et al.*, 2001). PPSN= Precipitación Pluvial en Sierra Nevada, EEUU (Hughes y Graumlich, 1996). TSM= Temperatura Superficial del Mar (Kaplan *et al.*, 1998). C-JJAS= Precipitación pluvial en el núcleo del Monzón (Cavazos *et al.*, 2008). M/PT = Palinomorfos Marinos relativos a Palinomorfos Totales. C/PT = Palinomorfos Continentales relativos a Palinomorfos Totales. H/PT = Hongos relativos a Palinomorfos Totales.

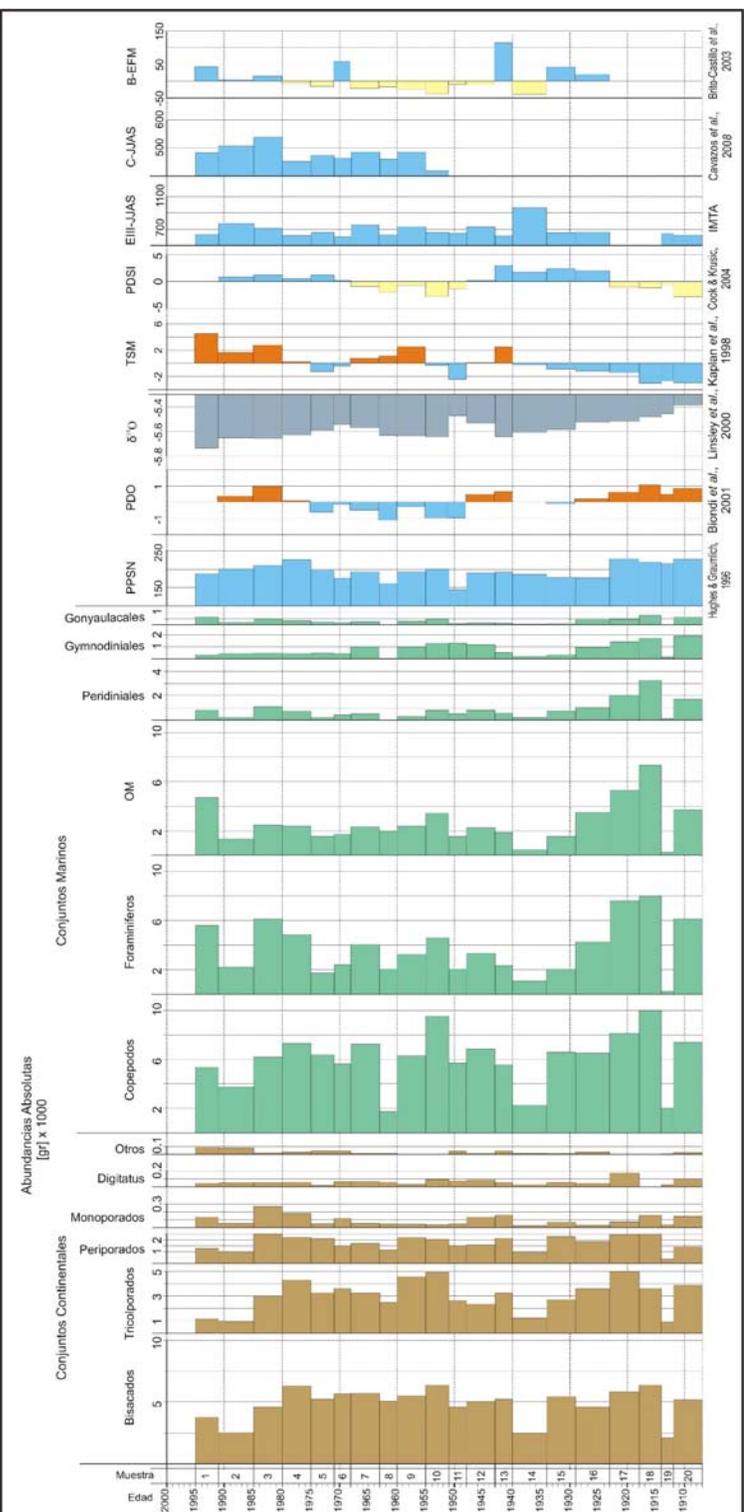


Figura 4. Abundancias absolutas de los conjuntos continentales y marinos, mostrando su relación aparente con los índices ambientales.

Los conjuntos que presentan valores significativos de correlación (tabla III) con la fase positiva/cálida del PDO son los monoporados ($r=0.59$), los peridiniales ($r=0.56$) y los foraminíferos ($r=0.47$). Aparentemente todos los conjuntos, principalmente los marinos muestran alta relación con la fase húmeda del PPSN. Sin embargo, los conjuntos que presentan valores significativos de correlación con este factor son los monoporados ($r=0.42$), peridiniales ($r=0.42$), gonyaulacales ($r=0.53$), gymnodiniales ($r=0.40$), copépodos ($r=0.50$), foraminíferos ($r=0.51$) y otros marinos (OM; $r=0.39$). El conjunto de gymnodiniales presenta valores significativos de correlación ($r=0.39$) con la fase cálida del $\delta^{18}\text{O}$; mientras que los conjuntos gymnodiniales ($r=-0.38$) y copépodos ($r=-0.40$) muestran valores significativos de correlación con la TSM. Los conjuntos que presentan valores significativos de correlación con el PDSI son: digitatus ($r=-0.49$), OC ($r=0.46$), gymnodiniales ($r=-0.51$) y OM ($r=-0.39$). El conjunto de monoporados presenta valores significativos de correlación con EIII-JJAS ($r=-0.42$) y con B-EFM ($r=0.62$); mientras que los bisacados presentan un valor significativo de correlación con C-JJAS ($r=-0.66$), y el conjunto de OC se correlaciona con B-EFM ($r=0.77$).

Componentes Principales. Los dos primeros componentes principales de las concentraciones (figura 5) de los conjuntos continentales y marinos representan el 91% de la variabilidad de los registros (tabla III). El Componente Principal I (CPI) explica el 77% de la varianza y todos los conjuntos contribuyen positivamente. Los mayores valores los presentan los bisacados (25%), tricolporados (25%), copépodos (48%), foraminíferos (45%) y OM (40%), mientras que los conjuntos digitatus y OC contribuyen con valores bajos (~1%). Este componente presenta valores significativos de correlación (tabla III) con las fases húmedas de la PPSN ($r=0.51$).

El Componente Principal II (CPII) explica el 13.9 % de la varianza, los conjuntos que contribuyen con valores inversos son bisacados (45%), periporados (15%), tricolporados (45%), gymnodiniales (2%) y copépodos (40%). Los conjuntos que contribuyen positivamente son monoporados (2%), peridiniales (20%), gonyaulacales (5%), foraminíferos (49%) y OM (40%). El CPII presenta una relación lineal significativa (tabla III) con las fases positivas/cálidas del PDO ($r=0.64$).

Tabla III. Valores de correlación de las abundancias absolutas de los conjuntos continentales, marinos y los dos componentes principales de estas abundancias, en relación con los índices ambientales. Los valores sombreados son significativos ($p < 0.10$).

		PDO	PPSN	$\delta^{18}\text{O}$	TSM	PDSI	EIII-JJAS	C-JJAS	B-EFM	Eigenvalor
Continentales	Bisacados	-0.14	0.28	0.10	-0.20	-0.33	-0.28	-0.66	-0.15	
	Monoporados	0.59	0.42	-0.11	0.18	0.08	-0.42	0.32	0.62	
	Periporados	0.28	0.33	-0.08	0.00	0.16	-0.03	0.05	0.18	
	Tricolporados	0.01	0.38	0.15	-0.24	-0.32	-0.22	-0.50	-0.13	
	Digitatus	-0.14	0.04	0.16	-0.04	-0.49	-0.31	-0.48	-0.03	
	OC	0.01	-0.26	-0.27	0.29	0.46	-0.35	0.22	0.77	
Marinos	Peridinales	0.56	0.42	0.15	-0.19	-0.16	-0.12	0.09	0.41	
	Gonyaulacales	0.37	0.53	-0.09	-0.03	-0.29	-0.01	0.02	0.10	
	Gymnodiniales	0.27	0.40	0.39	-0.38	-0.51	0.12	0.09	-0.24	
	Copépodos	0.20	0.50	0.31	-0.40	-0.34	0.02	-0.37	-0.18	
	Foraminíferos	0.47	0.51	-0.01	0.02	-0.35	-0.12	0.13	0.21	
	OM	0.34	0.39	0.00	-0.01	-0.39	-0.15	-0.09	0.08	
Comp. Princ.	CP I	0.33	0.51	0.08	-0.14	-0.34	-0.12	-0.28	0.06	77.04
	CP II	0.64	0.24	0.03	0.03	-0.10	0.17	0.52	0.17	13.91

PDO= Oscilación Decadal del Pacífico (Biondi *et al.*, 2001). PPSN= Precipitación Pluvial en Sierra Nevada, EEUU (Hughes y Graumlich, 1996). $\delta^{18}\text{O}$ = Isótopos de oxígeno (Linsley *et al.*, 2000a). TSM= Temperatura Superficial del Mar (Kaplan *et al.*, 1998). PDSI= Índice de la Severidad de la Sequía de Palmer (Cook y Krusic, 2004). EIII-JJAS= Precipitación pluvial de verano (banco de datos ERIC III). C-JJAS= precipitación pluvial en el núcleo del Monzón (Cavazos *et al.*, 2008). B-EFM= anomalías de precipitación pluvial de invierno en Sinaloa (Brito-Castillo *et al.*, 2003). Comp. Princ. = Componentes Principales.

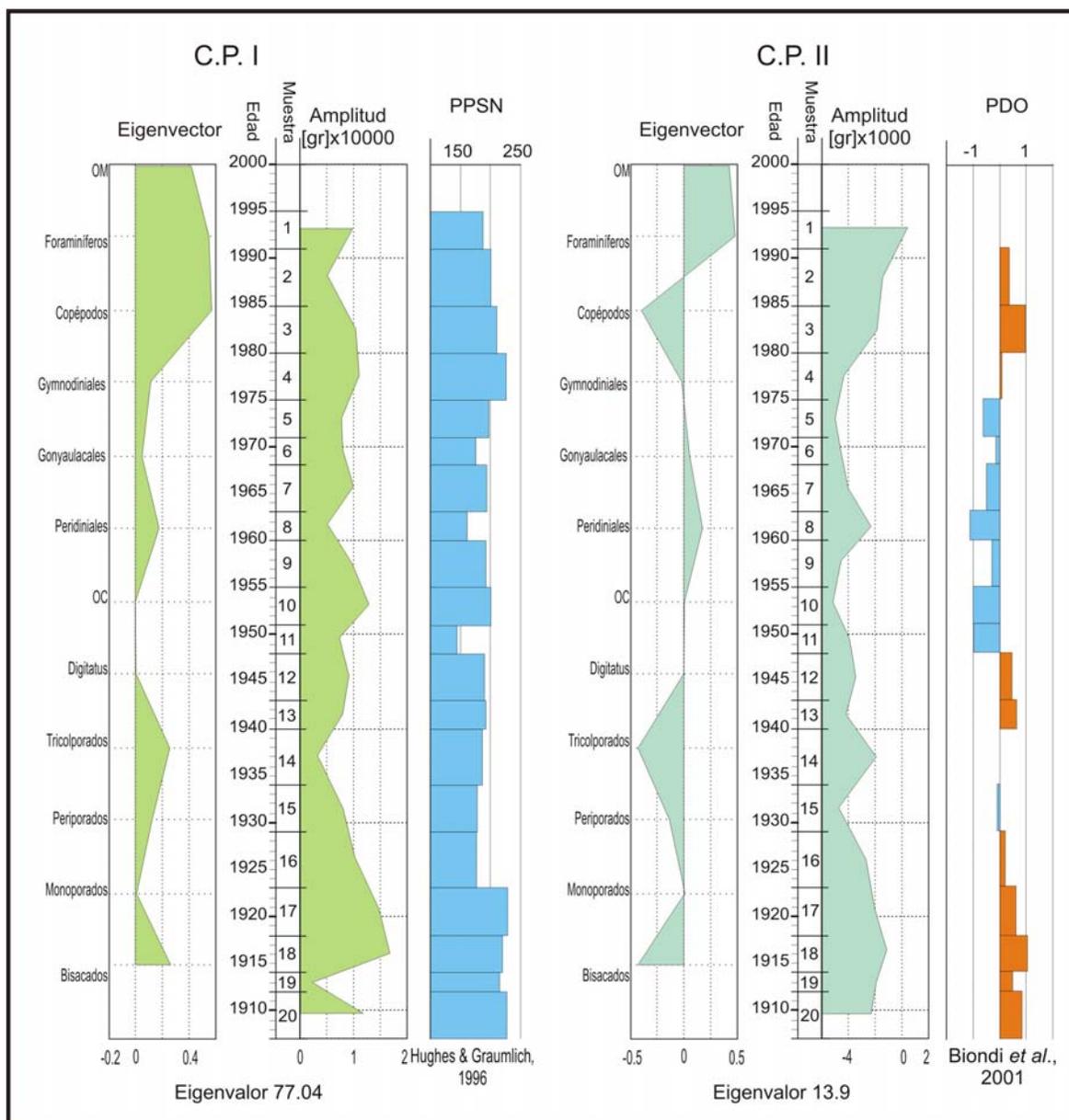


Figura 5. Componentes principales de las abundancias absolutas de los conjuntos y su relación aparente con los índices ambientales.

Abundancias Relativas.

Las abundancias relativas al total de palinomorfos (figura 6) muestran que los conjuntos marinos son dominantes, con abundancias relativas de 36 a 65 %. Sus valores mínimos se presentan en los intervalos de las 19, 15 a 13 y 8 a 5. El conjunto de palinomorfos marinos tiene valores significativos y positivos de correlación (tabla II) con el PDO ($r=0.49$) y con la PPSN ($r=0.43$). Las abundancias de los conjuntos continentales relativos al total de palinomorfos (figura 6) muestran valores de 24 a 47 % y la tendencia general de su registro es inverso a la de los conjuntos marinos. Sus valores máximos se presentan en la muestras 19, 15 a 13 y 8 a 5, y presenta valores significativos pero negativos de correlación (tabla II) con el PDO ($r=-0.52$) y el PPSN ($r=-0.39$). Las abundancias de los hongos relativa al total (figura 6) muestran poca variabilidad (7 a 15 %), aunque se observa una ligera disminución de 1960 a 1995. Este registro solo muestra valores significativos y negativos de correlación (tabla II) con la TSM ($r=-0.43$).

Las abundancias de los conjuntos continentales relativas al total de continentales (figura 7), muestra que los conjuntos dominantes son los bisacados (43 a 61.4 %), seguidos por los tricolporados (20.5 a 36.9 %) y los periporados (10.8 a 24 %). Los conjuntos menos representados son los monoporados (0.3-2.6 %), los OC (0 a 1.8%) y los digitatus (0 a 1.3%). La variabilidad en los registros de estos seis conjuntos muestra las siguientes diferencias entre ellos:

1) los bisacados presentan tres intervalos de baja abundancia relativa (figura 7) en las muestras: 17 a 16, 19 a 9 y 3, y su variabilidad no se correlaciona con los índices ambientales (tabla IV).

2) los tricolporados presentan cuatro intervalos de baja abundancia relativa (figura 7) en las muestras: 19 a 18, 15 a 11, 8 a 7 y 3 a 1, y su variabilidad tampoco se correlaciona con los índices ambientales (tabla IV).

3) los periporados presentan tres intervalos de baja abundancia relativa (figura 7) en las muestras: 20 a 19, 10 y 8 a 6, y la variabilidad de este registro si muestra correlaciones significativas (tabla IV) con las fases húmedas del PDSI ($r=0.67$), con las fases húmedas de EIII-JJAS ($r=0.43$) y con las fases húmedas de C-JJAS ($r=0.74$).

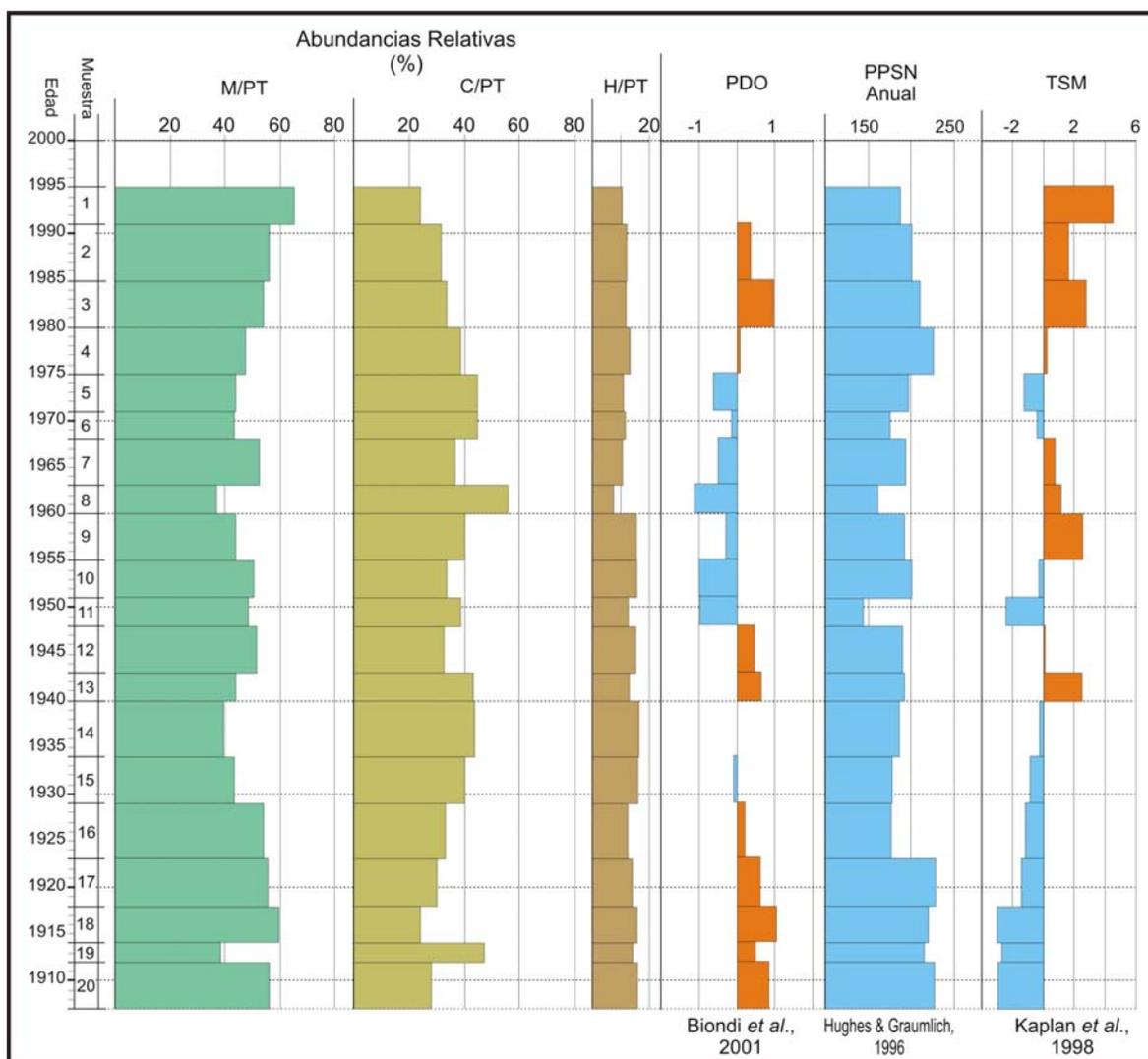


Figura 6. Abundancias de los grupos marinos (M), continentales (C) y hongos (H), relativas a polinórfos totales (PT); mostrando su relación con los índices ambientales

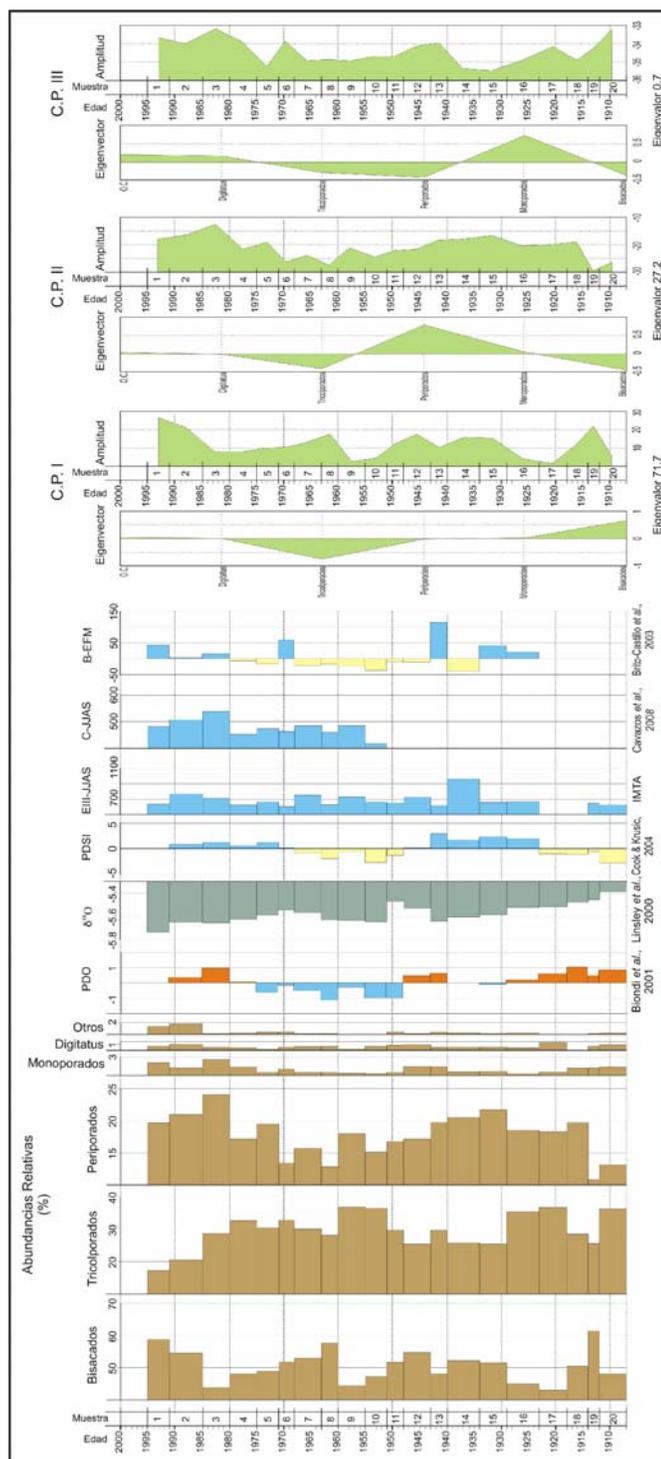


Figura 7. Abundancias de los conjuntos continentales relativos al total de continentales y sus componentes principales, mostrando su relación con los índices ambientales.

4) los monoporados presentan dos intervalos de baja abundancia relativa (figura 7) en las muestras: 17 a 14 y 11 a 5, y la variabilidad de este registro presenta valores significativos de correlación (tabla IV) con las fases positivas/cálidas del PDO ($r=0.72$) y con las fases húmedas de B-EFM ($r=0.59$).

5) los OC presentan bajas abundancias en la mayor parte del registro (figura 7), excepto en los intervalos de las muestras: 2 a 1, y su variabilidad se correlaciona de forma significativa con el PDSI ($r=0.46$) y con B-EFM ($r=0.58$).

6) los digitatus presentan cuatro intervalos de baja abundancia relativa (figura 7) en las muestras: 18, 16 a 13, 9 y 5, y su variabilidad se correlaciona de forma significativa con las fases secas del PDSI ($r=-0.41$).

Las abundancias de los conjuntos marinos relativas al total de marinos (figura 8), están dominadas por los copépodos (32 a 72%) seguidos por los foraminíferos (8.7 a 36%) y los OM (8.8 a 34%). Los conjuntos menos representados son los dinoflagelados gymnodiniales (0.5 a 11.6%), peridiniales (0.5 a 10.5%) y gonyaulacales (0.4 a 3.6 %).

Los copépodos tienden a disminuir del fondo a la cima del registro, con cuatro intervalos de baja abundancia relativa (figura 8) en las muestras: 20, 18 a 17, 8 y 1, y la variabilidad de este registro se correlaciona de forma significativa (tabla V) con las fases húmedas del PDSI ($r=0.42$). El conjunto de foraminíferos presenta una tendencia a aumentar del fondo a la cima del registro, con tres intervalos de baja abundancia relativa (figura 8) en las muestras: 19, 15 y 5, y la variabilidad de este registro muestra valores significativos de correlación (tabla V) con las fases cálidas de la TSM ($r=0.42$). El conjunto de OM presenta abundancias en el orden de 15% en gran parte del registro, con dos intervalos de baja abundancia relativa (figura 8) en las muestras: 19 y 15 a 14, y la variabilidad de este registro se relaciona de forma significativa (tabla V) con las fases secas del PDSI ($r=-0.42$). Los gymnodiniales tienden a disminuir del fondo a la cima del registro, con cuatro intervalos de baja abundancia relativa (figura 8) en las muestras: 15, 8, 4 a 3 y 1, y su variabilidad muestra valores significativos de correlación (tabla V) con las fases frías del $\delta^{18}\text{O}$ ($r=0.55$), de la TSM ($r=-0.41$) y con las fases secas del PDSI ($r=-0.49$). El conjunto peridiniales tiende a disminuir del fondo a la cima del registro, con tres intervalos de baja abundancia (Figura 8) en las muestras: 19, 9 a 5 y 2, y su variabilidad

Tabla IV. Valores de correlación de las abundancias de los conjuntos continentales, relativos al total de continentales y los tres componentes principales de estas abundancias, en relación con los índices ambientales. Los valores sombreados son significativos ($p < 0.10$).

	Abundancias Relativas									
	Bissacados	Monoporados	Periporados	Tricolporados	Digitatus	OC	CP I	CP II	CP III	
PDO	-0.23	0.72	0.36	-0.13	0.01	0.00	-0.09	0.39	0.49	
$\delta^{18}\text{O}$	0.06	-0.19	-0.43	0.20	0.15	-0.20	-0.11	-0.48	-0.14	
PDSI	-0.08	0.24	0.67	-0.32	-0.41	0.46	0.10	0.65	-0.18	
EIII-JJAS	-0.02	-0.31	0.43	-0.17	0.02	-0.21	0.05	0.46	-0.51	
C-JJAS	-0.10	0.36	0.75	-0.36	0.02	0.21	0.20	0.75	0.13	
B-Inv	0.00	0.59	0.31	-0.24	-0.06	0.58	0.11	0.30	0.54	
	Eigenvalores						71.73	27.21	0.70	

PDO= Oscilación Decadal del Pacífico (Biondi *et al.*, 2001). $\delta^{18}\text{O}$ = Isótopos de oxígeno (Linsley *et al.*, 2000a). PDSI= Índice de la Severidad de la Sequía de Palmer (Cook y Krusic, 2004). EIII-JJAS= Precipitación pluvial de verano (banco de datos ERIC III). C-JJAS= precipitación pluvial en el núcleo del Monzón (Cavazos *et al.*, 2008). B-EFM= anomalías de precipitación pluvial de invierno en Sinaloa (Brito-Castillo *et al.*, 2003).

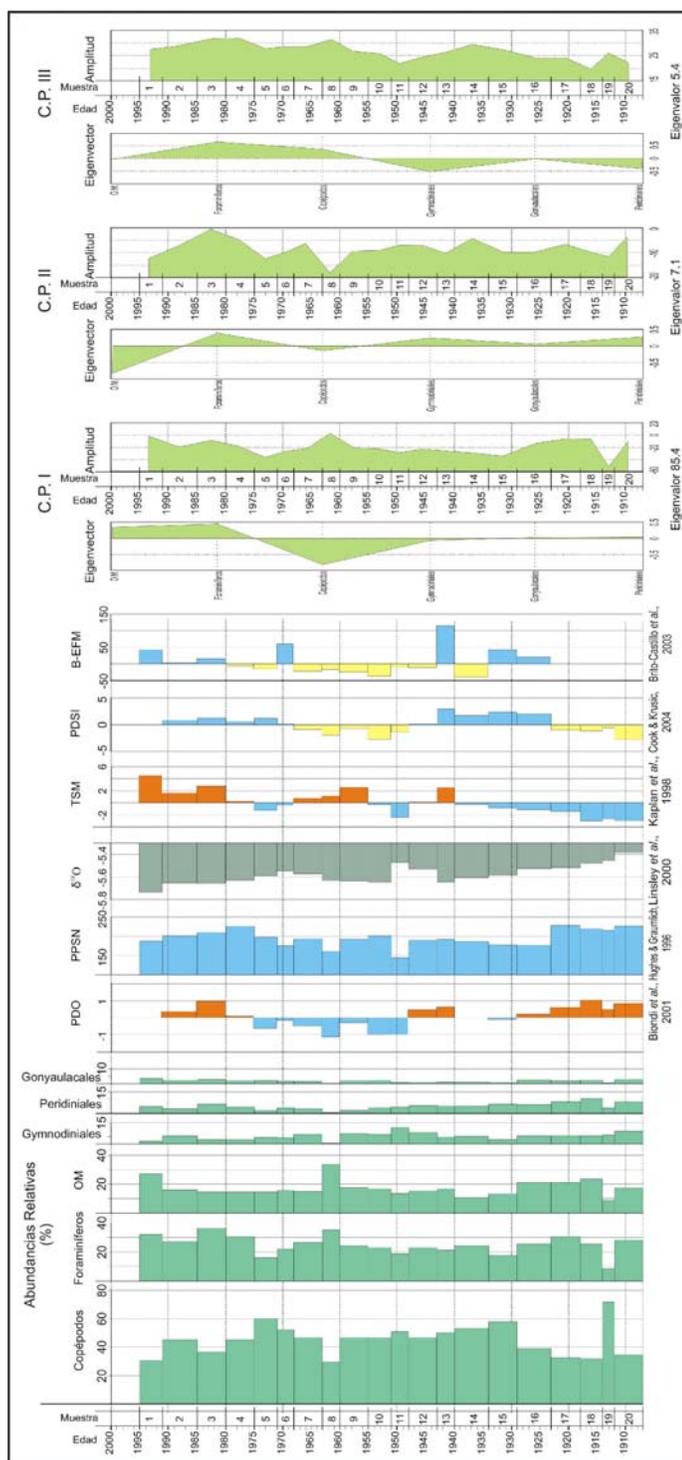


Figura 8. Abundancias de los conjuntos marinos relativas al total de marinos y sus componentes principales, mostrando su relación aparente con los índices ambientales.

Tabla V. Valores de correlación de las abundancias de los conjuntos marinos, relativos al total de marinos y los tres componentes principales de estas abundancias, en relación con los índices ambientales. Los valores sombreados son significativos ($p < 0.10$).

	Abundancias Relativas									
	Peridiniales	Gonyaulacales	Gymnodiniales	Copépodos	Foraminíferos	OM/	CP I	CP II	CP III	
PDO	0.73	0.42	0.01	-0.32	0.26	0.11	0.30	0.31	-0.25	
PPSN	0.33	0.43	0.14	-0.23	0.27	0.05	0.25	0.41	-0.10	
$\delta^{18}\text{O}$	0.32	-0.26	0.55	0.16	-0.34	-0.15	-0.20	0.07	-0.65	
TSM	-0.34	0.11	-0.41	-0.23	0.42	0.16	0.26	0.02	0.65	
PDSI	0.07	-0.02	-0.49	0.42	-0.26	-0.42	-0.40	-0.12	0.38	
B-EFM	0.46	0.22	-0.40	-0.09	-0.06	0.13	0.09	-0.32	-0.07	
	Eigenvalores						85.41	7.11	5.36	

PDO= Oscilación Decadal del Pacífico (Biondi *et al.*, 2001). PPSN= Precipitación Pluvial en Sierra Nevada, EEUU (Hughes y Graumlich, 1996). $\delta^{18}\text{O}$ = Isótopos de oxígeno (Linsley *et al.*, 2000a). TSM= Temperatura Superficial del Mar (Kaplan *et al.*, 1998). PDSI= Índice de la Severidad de la Sequía de Palmer (Cook y Krusic, 2004). B-EFM= anomalías de precipitación pluvial de invierno en Sinaloa (Brito-Castillo *et al.*, 2003).

muestra valores significativos de correlación (tabla V) con las fases positivas/cálidas del PDO ($r=0.73$) y con las fases húmedas de B-EFM ($r=0.46$). El conjunto de los gonyaulacales presenta una ligera tendencia a aumentar del fondo a la cima del registro, con tres intervalos de baja abundancia relativa (figura 8) en las muestras: 19, 15 a 11 y 8, y la variabilidad de este registro muestra valores significativos de correlación (tabla V) con las fases positivas/cálidas del PDO ($r=0.42$) y con las fases húmedas de la PPSN ($r=0.43$).

Componentes Principales. El análisis de componentes principales de las abundancias relativas de los conjuntos continentales muestra que estos conjuntos presentan tres formas principales de variación (figura 7). El componente principal I (CPI) representa el 71.7 % de la varianza (tabla IV) y está compuesto por bisacados (60%) y tricolporados (-70%). Este componente no está correlacionado con los índices ambientales (tabla IV). El componente principal II (CPII) representa el 27.2 % de la varianza (tabla IV), está compuesto por periporados (75%), tricolporados y bisacados (ambos -45%). Este componente muestra valores significativos de correlación (tabla IV) con las fases húmedas del PDSI ($r=0.65$), las fases húmedas de EIII-JJAS ($r=0.46$) y con las fases húmedas de C-JJAS ($r=0.74$). El componente principal III (CPIII) representa el 0.7 % de la varianza (tabla IV) y está compuesto por monoporados (70%), digitatus (20%), OC (20%), periporados (-45%), bisacados (-40%) y tricolporados (-40%). Este componente muestra valores significativos de correlación (tabla IV) con las fases positivas/cálidas del PDO ($r=0.49$), con las fases secas de EIII-JJAS ($r=-0.51$) y con las fases húmedas de B-EFM ($r=0.54$).

El análisis de componentes principales de las abundancias relativas de los conjuntos marinos muestra que estos conjuntos presentan tres formas principales de variación (figura 8). El componente principal I (CPI) representa el 85.4% de la varianza de los conjuntos (tabla V) y está compuesto principalmente por los registros de los conjuntos de foraminíferos (45%), OM (40%) y copépodos (-80%). Su variabilidad se relaciona de forma significativa (tabla V) con las fases secas del PDSI ($r=-0.40$). El componente principal II (CPII) representa el 7.1 % de la varianza de los conjuntos (tabla V) y está compuesto principalmente por los conjuntos peridiniales (30%), gonyaulacales (10%), gymnodiniales (30%), copépodos (-20%), foraminíferos (40%) y OM (-80%). Su

variabilidad presenta valores significativos de correlación (tabla V) con las fases húmedas de la PPSN ($r=0.41$). El componente principal III (CPIII) representa el 5.4 % de la varianza de los conjuntos (tabla V) y está compuesto principalmente por los registros de los conjuntos peridiniales (-45%), gymnodiniales (-50%), copépodos (40%) y foraminíferos (60%). Su variabilidad presenta valores significativos de correlación (tabla V) con las fases cálidas del $\delta^{18}\text{O}$ ($r=-0.65$) y de la TSM ($r=0.65$).

II.5 DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Los registros de las acumulaciones absoluta y relativa de los conjuntos de palinomorfos depositados en sedimentos laminados entre 1907 y 1995, en el área de estudio, responden a los efectos regionales causados por la interacción de los forzamientos atmosféricos y climáticos PDO y ENSO. Los resultados de análisis estadísticos muestran la relación de los distintos grupos biológicos con la variabilidad de los vientos (PDO y PPSN), de la precipitación pluvial en verano (PDSI, EIII-JJAS, C-JJAS) e invierno (B-EFM), y de la temperatura superficial del mar (TSM, $\delta^{18}\text{O}$). Estas relaciones ayudan a explicar la variabilidad de los registros palinológicos, de acuerdo al modelo de variabilidad oceánica para la región sur del Golfo de California propuesto por Bernal *et al.* (2001) y complementado por observaciones de variabilidad atmosféricas (Brito-Castillo *et al.*, 2003).

Comose mencionó anteriormente, el PDO afecta el área de estudio en la escala interdecadal. Este se asocia principalmente a los VNO ya que durante la fase cálida/positiva del PDO se incrementan los VNO (Bernal *et al.*, 2001) y aumentan las surgencias en la costa oriental del Golfo de California (Cortés-Lara *et al.*, 1999; Juillet-Leclerc y Schrader, 1987; Santamaría-del-Angel y Álvarez-Borrego 1994; Makarov y Jiménez-Illescas 2003; Marinone *et al.*, 2004) y en el Pacífico ecuatorial (Huang *et al.*, 2007; Linsley *et al.*, 2000a).

Aparentemente la precipitación de verano también se relaciona con esta fase positiva/cálida del PDO. Cuando coinciden las fases cálida/positiva del PDO y del ENSO (El Niño), se produce un verano seco, mientras que la combinación de fases cálida/positiva

del PDO y fase fría/negativa del ENSO (La Niña), deriva en un verano más húmedo. Como la precipitación de verano en el área es la más importante, es importante para relacionar con el registro palinológico.

Abundancias Absolutas (Concentraciones). La variabilidad en las concentraciones de palinomorfos en el análisis general (figura 3) muestra la influencia principal de dos procesos modulando la variabilidad de los registros. En primera instancia, los valores de mayor precipitación pluvial en verano (C-JJAS) coinciden con las menores concentraciones de todos los grupos (marinos, continentales y hongos). Sin embargo, solo los continentales presentan un valor significativo de correlación (tabla II) con las fases secas del índice C-JJAS ($r=-0.55$). Las altas concentraciones en los grupos ecológicos coinciden con los momentos secos o de menor precipitación, sugiriendo una señal de dilución por terrígenos.

Por otra parte, las altas concentraciones muestran valores significativos de correlación (tabla II) con los momentos húmedos del PPSN y en el caso de las abundancias de los conjuntos marinos con las fases positivas/cálidas del PDO. En estas condiciones los vientos provenientes del noroeste promueven surgencias y atenúan el transporte de humedad tropical a la región (menor precipitación). Esta combinación favorece el aumento en la concentración de los conjuntos, al aumentar la productividad primaria y disminuir el aporte de sedimento terrígeno a la cuenca. Los conjuntos marino y continental (figura 4), así como el CPI de estos conjuntos (77.04% de la variabilidad; figura 5), también presentan este comportamiento. Las altas concentraciones de los conjuntos marinos presentan relaciones significativas (Tabla III) con la aparente influencia de los vientos del noroeste (PPSN, PDO) y poca relación con los índices de precipitación de verano.

El CPII de los conjuntos (13.9% de la variabilidad; figura 5) relaciona de manera significativa ($r=0.64$) con las altas concentraciones de los conjuntos con las fases cálidas/positivas del PDO (tabla III). Esta relación es significativa en los peridinales, foraminíferos y monoporados.

En resumen, las mayores concentraciones de grupos, conjuntos, y componentes principales muestran el efecto primordialmente de la influencia del viento del noroeste

promoviendo surgencias (principalmente marinos) y secundariamente de la dilución por sedimentos terrígenos (conjuntos marinos y continentales). El efecto combinado de estos dos procesos modulando el contenido biogénico-terrígeno en los sedimentos, ha sido observado en estudios regionales con palinomorfos (Cross *et al.*, 1966), sílice biogénico (Calvert, 1966) y trampas de sedimento (Thunell, 1998).

Abundancias Relativas. Al calcular las abundancias de un grupo, conjunto o forma, relativas a nivel de palinomorfos totales o de conjuntos (%), se elimina la señal que comparten nuestros registros, filtrando las abundancias y permitiéndolo observar con mayor claridad la variable atmosférica o marina que modula la abundancia del conjunto. Algunos de los índices aquí presentados, tal como el G/P, se han utilizado en otros estudios palinológicos (Mudie y Harland, 1996; Vázquez-Bedoya *et al.*, 2008; Matsuoka *et al.*, 2003) y los consideramos apropiados, para explicar la variabilidad de nuestros conjuntos y su relación con los índices ambientales a escala inter-decadal.

A nivel de grupos (figura 6), las altas abundancias de los palinomorfos marinos relativas al total de palinomorfos se relacionan de manera significativa (tabla II) con las fases positivas/cálidas del PDO ($r=0.49$) y con las fases húmedas de la PPSN ($r=0.43$). En ambos casos, los vientos del noroeste son más intensos (Bernal *et al.*, 2001) y promueven surgencias en el extremo occidental del Golfo de California (Cortés-Lara *et al.*, 1999; Juillet-Leclerc y Schrader, 1987; Santamaría-del-Angel y Álvarez-Borrego 1994; Makarov y Jiménez-Illescas 2003; Marinone *et al.*, 2004).

Las estructuras palinológicas de hongos representan ordenes y familias con afinidades ecológicas diferentes, los hay continentales, dulceacuícolas y marinos (Elsik, 1993; Kalgutkar y Jansonius, 2000) y por el momento no es posible separarlas, por lo que no podemos asignar un significado ecológico a las formas observadas. Los hongos marinos han sido parcialmente estudiados, se sabe que intervienen en la descomposición de detritos celulósicos (Roldán y Honrubia, 1989) y que se pueden encontrar en las raíces de mangle rojo (Castillo-Machalskis *et al.*, 2006), en sedimentos marinos (León *et al.*, 2007) y como parásitos de macroalgas (Aguilar-Rosas, 1996), del fitoplancton y del zooplancton (Araúzo-Sánchez *et al.*, 1987; Stchigel *et al.*, 2007). Sin embargo, no se han descrito las esporas de estos grupos, dificultando la subdivisión en nuestras observaciones.

En los conjuntos observados, las mayores concentraciones de hongos relativas al total de palinomorfos se relacionan significativamente (tabla II) con las fases frías de la TSM ($r=-0.43$). Probablemente se deba a que las formas dominantes (asignadas a este grupo), sean parásitas de diatomeas y/o de dinoflagelados, por lo que muestran una modulación similar en sus abundancias relativas ante las fases frías de la TSM. Aunque también esta relación puede deberse a que las precipitaciones extremas de verano en el núcleo del Monzón, se relacionan con TSM frías (Cavazos *et al.*, 2008), incrementando entonces el influjo de material terrígeno a la cuenca.

Las mayores abundancias de las formas continentales relativas al total de palinomorfos (figura 6), se relacionan de forma significativa (tabla II) con las fases negativas/frías del PDO ($r=-0.52$) y secas de la PPSN ($r=-0.39$), cuando los vientos del noroeste se debilitan y se presenta una mayor precipitación de verano. Sin embargo, no hay una relación significativa de estas abundancias con los registros de precipitación pluvial en la región.

Abundancias Relativas de Continentales. Las abundancias de los conjuntos continentales relativas al total de continentales (figura 7) muestra que los bisacados son los dominantes, además de ser el conjunto que más contribuye en el CPI (71.7%, figura 7). Aunque esta división agrupa formas morfológicamente similares (bisacados) de polen anemófilo que permite el transporte a grandes distancias, tanto eólica como acuática. Esta diversidad en el medio de transporte, no permite visualizar una relación entre su variabilidad y los registros de precipitación local. Para obtener una idea clara del origen y transporte de las diferentes formas incluidas, este conjunto debería ser subdividido a nivel de especie. En sedimentos marinos en la cuenca de la Paz se han reportado especies de bisacados provenientes de la Sierra San Pedro Mártir (ca. 1000 km al noroeste), junto con bisacados provenientes de la Sierra de La Laguna (menos de 10 km al oeste; Banda-Bermudez, 2002). En cuenca Pescadero no podemos descartar la posibilidad de que algunas formas de bisacados, también representen dispersión eólica además de la acuática.

El conjunto de tricolporados representa una gran variedad de plantas vasculares con estrategias ecológicas muy diversas. Su variabilidad (figura 7) no presenta correlación significativa con ninguno de los valores de precipitación pluvial con los que se comparan.

También es necesario descomponer este conjunto a nivel específico para poder encontrar alguna relación con índices ambientales.

Los periporados representan principalmente formas relacionadas con las familias Chenopodiaceae y Amaranthaceae, las cuales generalmente están presentes en humedales, pero que frecuentemente se utilizan en estudios palinológicos como indicadores de condiciones de sequía al compararse con floras de bosques (Traverse, 1988). No hay suficientes datos de la flora de áreas cercanas, como para entender el significado ecológico preciso de este conjunto. Sin embargo, las mayores abundancias de los periporados (figura 7) se encuentran relacionadas de manera significativa (tabla IV) con los momentos húmedos de la PDSI ($r=0.67$), con EIII- JJAS ($r=0.43$) y con C-JJAS. También se obtienen relaciones similares del CPII (27.2% de la varianza total), con el que contribuyen de manera importante (80%). Estos resultados sugieren que la variabilidad de este conjunto se encuentra relacionada la precipitación de verano.

La parte minoritaria del grupo de palinomorfos continentales (figura 7) está constituida por los conjuntos monoporados, digitatus y OC. Estos, se encuentran relacionados (tabla IV) con los momentos húmedos del PDSI, digitatus ($r=-0.41$) y OC ($r=0.46$). Estas relaciones sugieren que digitatus tienen relación con los intervalos secos, mientras que los OC con momentos húmedos.

Los monoporados representan polen de gramíneas, las cuales normalmente se asocian con praderas y períodos secos. Este conjunto contribuye de manera alta (~70%) al CPIII (figura 7), que representa el 0.7% de la varianza total y muestra relaciones significativas (tabla IV) con los momentos positivos/cálidos del PDO, tanto a nivel de conjunto ($r=0.72$) como a nivel de CPIII ($r=0.49$). Además está relacionado con la precipitación de invierno (B-EFM) a nivel de conjunto ($r=0.59$) y a nivel de componente ($r=0.54$). Estos resultados sugieren que los monoporados representan la variabilidad de la precipitación pluvial de invierno, la cual es menos importante en el área, pero que aumenta durante las fases positivas/cálidas del PDO (Brito-Castillo *et al.*, 2003).

Abundancias Relativas de marinos. Las abundancias de los conjuntos marinos relativas al total de marinos, muestra que los conjuntos copépodos, foraminíferos y OM son los conjuntos dominantes, mientras que los conjuntos de dinoflagelados son

componentes menores (figura 8). Las mayores abundancias de copépodos muestran correlación significativa (tabla V) con momentos húmedos del PDSI ($r=0.42$). Los copépodos son estructuras (huevos o quistes de resistencia) importantes para la reproducción de algunas especies en ambientes neríticos y estuarinos (Davis, 1983). Existen descripciones morfológicas de huevos diapáusicos en estudios palinológicos (Van-Waveren, 1992), sin embargo muy pocas de estas morfologías se han podido asignar a la especie que las produce (Koga, 1968; Van-Waveren y Marcus, 1993; Santella y Ianora, 1990), por lo que no es posible identificar en detalle las causas de su variabilidad.

El conjunto palinológico de foraminíferos está formado por moldes quitinosos de las conchillas (Traverse, 1988) de protozoarios, que generalmente representan formas bentónicas. Las mayores abundancias de los foraminíferos están asociadas (tabla V) con las fases cálidas de la TSM ($r=0.42$), lo que también se aprecia en el CPIII (figura 8) donde contribuyen con el 60%. Al ser producidos por formas bentónicas que habitan en aguas tanto someras como profundas, su variabilidad puede estar relacionada directamente con productividad marina en la cuenca, tanto como con transporte de los moldes desde áreas neríticas.

Las altas concentraciones de los OM (figura 8) se correlacionan significativamente (tabla V) con los momentos secos del PDSI ($r=0.42$), lo cual sugiere relación principalmente con la productividad marina. Sin embargo, este conjunto incluye a diferentes formas de acritarcas y otras formas marinas que no han podido ser asociadas a algún grupo taxonómico en detalle, por lo que su variabilidad no puede ser explicada o atribuida confiablemente a alguna variable en particular.

Los conjuntos de dinoflagelados y sus relaciones con variables oceánicas se discutirán a detalle en los siguientes capítulos del presente estudio. Las mayores abundancias de los peridiniales (heterótrofos; figura 8) están significativamente relacionadas (tabla V) con las fases positivas/cálidas del PDO ($r=0.73$), cuando los VNO promueven surgencias y hay abundancia de alimento disponible (diatomeas). Estas relaciones también se observan en el análisis de componentes donde: en el CPII este conjunto contribuye de manera positiva con el 30% y se relaciona con las fases húmedas de la PPSN ($r=0.41$), mientras que en el

CPIII este conjunto contribuye de manera negativa con el 45% y se relaciona con las fases cálidas del $\delta^{18}\text{O}$ y de la TSM ($r=0.65$).

Las mayores abundancias de los gonyaulacales (fotosintéticos; figura 8) están relacionadas (tabla V) con las fases positivas/cálidas del PDO ($r=0.42$) y con las fases húmedas de la PPSN ($r=0.43$), cuando los VNO promueven surgencias y hay exceso de nutrientes disponibles. Estas relaciones también se observan en el análisis de componentes donde: en el CPII este conjunto contribuye de manera positiva con el 10% y se relaciona con las fases húmedas de la PPSN ($r=0.41$), mientras que en el CPIII este conjunto contribuye de manera aparentemente neutra y se relaciona con las fases cálidas del $\delta^{18}\text{O}$ y de la TSM ($r=0.65$).

El conjunto de gymnodiniales incluye a tres especies, dos de ellas heterótrofas (*Polykrikos spp.*) y una fotosintética, que es la dominante (*Gymnodinium catenatum*). Las mayores abundancias de gymnodiniales (figura 8), muestran una gran relación (tabla V) con las fases frías del $\delta^{18}\text{O}$ ($r=0.55$) y de la TSM ($r=-0.41$) y no muestran ninguna relación con las señales del PDO o de la PPSN. Estos resultados sugieren que la especie dominante de los gymnodiniales (*G. catenatum*) no requiere del efecto del viento y las surgencias derivadas. Para esta forma, es más importante la TSM baja, donde la nutriclina es más somera y los nutrientes están a su alcance migrando verticalmente (Hallegraeff y Fraga, 1998; Fraga *et al.*, 1992).

En conclusión, el análisis palinológico de sedimentos laminados colectados en la cuenca Pescadero, región Sur del Golfo de California, muestra que las concentraciones de los distintos conjuntos de palinomorfos están moduladas por dos índices ambientales principales: los vientos del noroeste, que promueven condiciones de surgencia, y la precipitación pluvial de verano, que transporta material litogénico a la cuenca, diluyendo el contenido biogénico.

Además, el análisis de los conjuntos de quistes de dinoflagelados (peridiniales, gymnodiniales y gonyaulacales) con los índices ambientales, nos permite distinguir que: la variabilidad de los VNO modula las concentraciones de los tres grupos de dinoflagelados. Cuando los VNO promueven condiciones de surgencia en el área de estudio, los conjuntos peridiniales y gonyaulacales son los dominantes. Pero, cuando disminuyen las condiciones

de surgencia y la temperatura superficial del mar presenta anomalías negativas, el conjunto de gymnodiniales es el que domina.

Variabilidad de Dinoflagelados Gonyaulacales-Peridinales
(1907 a 1995), en la región sur del Golfo de California,
México.

III.1 RESUMEN

Los dinoflagelados representan uno de los grupos más abundantes del fitoplancton y constituyen una parte importante de la productividad primaria en los ecosistemas acuáticos. Las abundancias de quistes de dinoflagelados son un reflejo de sus abundancias en la fase planctónica, ya que la producción más alta de quistes se registra durante y después de los florecimientos de fitoplancton, cuando la densidad de células vegetativas es mayor en la columna de agua, por lo que los quistes son utilizados como indicadores ambientales. En este capítulo se documentan las abundancias absolutas y relativas de quistes de dinoflagelados pertenecientes al los ordenes Gonyaulacales y Peridinales, y se muestra la posible relación de la variabilidad de los registros con variables ambientales, en particular con condiciones de surgencias y cambios en la TSM a escala inter-decadal. para est efin, se realizó un estudio palinológico a 20 muestras de núcleo que representan sedimentación de 1907 a 1995 en cuenca Pescadero, sur del Golfo de California. Las muestras fueron tratadas con digestión ácida, sin oxidación y agregando esporas de *Lycopodium* para el analisis cuantitativo. Las muestras contienen palinomorfos predominantemente marinos, incluyendo quistes de dinoflagelados de las órdenes Gonyaulacales (G, autótrofos) y Peridinales (P, heterótrofos). En condiciones de surgencia, los dinoflagelados G proliferan por haber más nutrientes, mientras que los P proliferan al haber más diatomeas,

bacterias y otros dinoflagelados. En esta zona del Golfo de California, los períodos con fases positivas de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO), originan vientos del noroeste (VNO), los cuales propician un aumento de surgencias. La variabilidad decadal de los conjuntos de los taxa G y P muestran correlación significativa con los VNO y con la TSM en el área. El componente principal I de las abundancias absolutas (92.6 % de la varianza) está relacionado principalmente con los VNO y ligeramente con la TSM. El componente principal I (80.7 % de la varianza) de las abundancias relativas representa los taxa P (*Brigantedinium* spp.) y se relaciona con el PDO; mientras que el componente principal II (11 % de la varianza) representa los taxa G (en particular *Bitectatodinium spongium*) y se relaciona con la TSM. Estas relaciones indican que las abundancias absolutas de ambos órdenes son mayores en períodos con predominancia de surgencias. Por otra parte, la relación G/P muestra un aumento de los G directamente relacionado con la TSM, mientras que los P aumentan durante periodos con TSM más bajas. En el sureste del Golfo de California, la temperatura media anual es de aproximadamente 26°C, cercana a la temperatura óptima para la proliferación de *B. spongium* (27°C). Por lo que concluimos que en el sureste del Golfo de California, cuando la relación G/P ha alcanzado valores mínimos de 30% durante los últimos 88 años, la TSM ha estado cerca de la media.

Palabras clave: dinoflagelados, quistes, sedimentos laminados, Golfo de California, PDO, ENSO.

III.2 INTRODUCCIÓN

La presencia y abundancia de quistes P y G se relacionan fuertemente con zonas de surgencias (Sprangers, *et al.*, 2004). En el Pacífico Oriental, la razón P/G ha sido usada como indicador de surgencias (Prauss, 2002), o para tratar de identificar eutroficación (autótrofos/heterótrofos en: Vázquez-Bedoya *et al.*, 2008). En el Pacífico Noreste (25-43°N), los conjuntos de dinoflagelados de áreas costeras con surgencias, están dominadas por formas heterotróficas (Pospelova, *et al.*, 2008).

Por otra parte, la relación G/P, o alguna variante, ha sido usada (Mudie y Harland, 1996) como indicadora indirecta de temperatura superficial del mar (TSM). En el Atlántico del Norte, los conjuntos de aguas templadas ($> 22^{\circ}\text{C}$ en invierno) están dominados por taxa G, tales como *Impagidinium* y *Spiniferites*; mientras que los conjuntos de aguas frías están compuestos principalmente por taxa P, tales como *Algidasphaeridium? minutum* y *Brigantedinium* spp. (Rochon, *et al.*, 1999). En el Pacífico del Sur, los conjuntos de dinoflagelados de la masa de agua Antártica están dominados por taxa P, mientras que la masa Subtropical se caracteriza por la dominancia de taxa G (Marret, *et al.*, 2001).

Algunas especies G han sido relacionados con aguas cálidas (Edwards, 1992), por ejemplo: Pospelova y colaboradores (2008) reportan que en el Pacífico Noreste las formas autotróficas dominan en zonas con aguas cálidas, mientras que las formas heterotróficas dominan las masas de aguas fría. Estos autores consideran que la especie fotosintética *B. spongium* es indicadora de aguas cálidas en el Golfo de California (Pospelova *et al.*, 2008).

Al parecer, ambos tipos de dinoflagelados P y G, tienden a proliferar cuando hay altas concentraciones de nutrientes y suficiente luz solar (Peña-Manjarrez, *et al.*, 2005), pero en diferentes temperaturas, resultado de sus estrategias tróficas. Además, la relación entre flujos altos de quistes de taxa de estas órdenes, durante y después de florecimientos, cuando la densidad de células vegetativas es mayor en la columna de agua ha sido documentado (Zonneveld y Jurkschat, 1999; Peña-Manjarrez, 2008). De tal manera que la razón G/P de los quistes, puede usarse como indicadora indirecta de cambios en la TSM.

La presencia de quistes y su relación con variables físico-químicas de las aguas superficiales ha sido estudiada en sedimentos superficiales del Pacífico Mexicano y Golfo de California (Peña-Manjarrez *et al.*, 2001 y 2005; Morquecho y Lechuga-Devéze, 2003; Cross *et al.*, 1966; Martínez-Hernández y Hernández-Campos, 1991).

Como se mencionó anteriormente, las variables climáticas y oceánicas en la región Sur del Golfo de California presentan una estacionalidad marcada. La TSM y los VNO son las variables oceánicas más importantes para explicar la variabilidad del registro de los quistes de dinoflagelados P y G. Aquí presentamos resultados del estudio palinoestratigráfico de los 5 cm superiores de la columna de sedimento, del núcleo PCM00-61C-4, tomado en

cuenca Pescadero, región sur del Golfo de California. Los objetivos de este trabajo son: 1) documentar las abundancias absolutas y relativas de quistes de dinoflagelados pertenecientes al los ordenes Gonyaulacales y Peridinales; y 2) mostrar la posible relación de la variabilidad de los registros con variables ambientales, en particular con condiciones de surgencias y cambios en la TSM a escala inter-decadal.

III.3 MATERIALES Y METODOS

La cuenca Pescadero se encuentra en el extremo sur del Golfo de California (23° 30' y 25° 00' latitud Norte y 108° 00' y 109° 30' longitud Oeste) y tiene una profundidad máxima aproximada de 3,000 m. Se observaron los primeros 5 cm. (20 muestras) del núcleo PCM00-61C-4 (45 cm. de longitud), obtenido durante la campaña 2000, a bordo del Buque Oceanográfico el Puma, con un nucleador de caja de tipo Soutar. El núcleo contiene sedimentos laminados y se obtuvo a 580 m de profundidad, en el lado oriental (N 24° 05.74' y W 108° 14') de la cuenca Pescadero, región sur del Golfo de California, México (figura 1).

El número, espesor y distribución de la estratigrafía en la obtención de las muestras, se obtuvo utilizando radiografías de rayos X y se realizaron cortes longitudinales paralelos a la profundidad en cada nivel. Este trabajo fue realizado en el Laboratorio P³ de la División de Oceanografía del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE).

La cronoestratigrafía se basó en el conteo de láminas y la determinación radioisotópica de AMS¹⁴C con muestras de foraminíferos pláncnicos en la parte media e inferior del núcleo. Estas determinaciones se obtuvieron en el laboratorio Leibniz de la Universidad de Kiel, Alemania, adscrito a la Universidad Christian Albrechts. Con estos resultados se estableció la velocidad de sedimentación (~0.61 mm/año), se calculó la edad de cada muestra y se transformaron a años calendario asumiendo una edad de reservorio de 650 años. Los resultados de este cálculo fueron proporcionados por el Dr. Juan Carlos Herguera de la División de Oceanografía del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE).

Las muestras se trataron con el procesamiento palinológico normal de digestión con ácidos, utilizando HCl al 10% para remover carbonatos y HF al 40% para remover silicatos (Wood *et al.*, 1996), sin oxidación, y se agregó una tableta de esporas de *Lycopodium* (Serie: 483216) como marcador exótico (Stockmarr, 1971). Con el residuo palinológico tamizado entre 125 y 15 μm , se prepararon montajes de cada muestra. El tamaño mínimo de muestra se estableció comparando el número acumulativo de especies y/o morfotipos contra el número de montajes observados, tomando como línea de corte el 85% de las especies y/o morfotipos.

El análisis cualitativo se realizó con microscopio óptico de luz transmitida a 450x y 1000x. Para el análisis cuantitativo se analizaron dos montajes de cada muestra realizando barridos totales con 160x. Se registró el número de palinomorfos por especie y/o grupo en cada nivel, así como el número total de esporas de *Lycopodium* contadas. Aquí se presentan las abundancias absolutas (concentraciones) de quistes de dinoflagelados asignados a los ordenes Gonyaulacales (G), Peridinales (P; Fensome *et al.*, 1993; Marret y Zonneveld, 2003), así como de huevos diapáusicos de copépodos (Co; Van Waveren, 1992) expresadas en concentraciones de quistes por gramo de sedimento (q/gr sed); estas concentraciones se calcularon con la fórmula siguiente: (número de quistes) = $\{[(\text{número total de esporas de } Lycopodium) \times (\text{número de quistes contados})] / [(\text{número de esporas contadas}) \times (\text{peso de la muestra procesada})]\}$. Se presentan también las abundancias relativas de los dinoflagelados, expresadas en porcentajes (%) y calculados en relación al total de copépodos; las abundancias relativas (%) se calcula con la fórmula siguiente: (% quiste) = $\{(\text{concentración del quiste} \times 100) / (\text{concentración del quistes} + \text{concentración de copépodos})\}$. Además, se presenta el índice G/P expresado en porcentajes (%), calculado a partir de la fórmula $(G \times 100) / (G + P)$.

También se muestran los resultados del análisis de componentes principales de las especies de quistes de dinoflagelados respecto a la profundidad de muestreo, a partir de la matriz de covarianza (Wallace y Dickinson, 1972), tanto de las abundancias absolutas de las especies de dinoflagelados, como de las abundancias de quistes de dinoflagelados relativas a los copépodos.

Los registros de quistes obtenidos se compararon con series de tiempo publicadas, que representan la variabilidad de factores climáticos y oceánicos en la región. Primero se normalizaron las series de las variables ambientales a los intervalos de tiempo correspondientes a cada muestra y después se realizaron análisis de correlación no-paramétrica de Spearman (r), determinando la significancia estadística mediante una prueba “t” con $n-2$ grados de libertad ($p < 0.10$).

Estas variables ambientales son:

- PDO (Biondi *et al.*, 2001) obtenidos en www.ncdc.noaa.gov/paleo/pubs/biondi2001/biondi2001.html;
- Precipitación pluvial en la Sierra Nevada, EEUU (PPSN, Hughes y Graumlich, 1996) obtenidos en wdc.cricyt.edu.ar/paleo/drought/drght_graumlich.html;
- Isótopos de oxígeno ($\delta^{18}\text{O}$, Linsley *et al.*, 2000a) obtenidos en www.ncdc.noaa.gov/paleo/coral/eequapac.html;
- Temperatura Superficial del Mar (TSM, Kaplan *et al.*, 1998) obtenidos en www.cdc.noaa.gov/cgi-bin/DataAccess.pl?DB_dataset=kaplan+Extended+SST;
- Forzamiento Solar Radiativo (FSR; Mann *et al.*, 2005) obtenidos en ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/climate_forcing/mann2005/mann2005.txt; y
- Datos de calibración del Índice de la Severidad de la Sequía de Palmer (PDSI, por sus siglas en inglés), promediados de tres estaciones (123, 124 y 138; Cook y Krusic, 2004) obtenidos en www.ncdc.noaa.gov/paleo/newpdsi.html).

III.4 RESULTADOS

Se observaron un total de 19 morfotipos de quistes de dinoflagelados de los cuales 9 especies pertenecen al orden Peridinales (P; tabla VI; figura 9) y 10 especies al orden Gonyaulacales (G; tabla VI; figura 9), además de distintas formas de huevos diapáusicos de copépodos (Co; figura 10). Las dataciones por ^{14}C indican que el intervalo estudiado abarca desde 1907 hasta 1994 y cada muestra representa aproximadamente 5 años de registro palinológico (figura 11). El mayor intervalo de muestreo es 6 años (muestra 14) y el menor intervalo es de 2 años (muestra 19).

Tabla VI. Quistes de dinoflagelados y su afinidad planctónica (Fensome *et al.*, 1993).

Nombre del Quiste		Especie Plancton	
Género	Especie	Género	Especie
Orden Peridiniales			
<i>Brigantedinium</i>	<i>cf. simplex</i>	<i>Protoperidinium</i>	
	<i>simplex</i>	<i>Protoperidinium</i>	<i>conicoides</i>
	<i>cariacoense</i>	<i>Protoperidinium</i>	<i>avellanum</i>
	<i>grande</i>	<i>Protoperidinium</i>	
<i>Protoperidinium</i>	<i>stellatum</i>	<i>Protoperidinium</i>	<i>stellatum</i>
<i>Quinquecuspis</i>	<i>concreta</i>	<i>Protoperidinium</i>	<i>leonis</i>
<i>Selenopenphix</i>	<i>nephroides</i>	<i>Protoperidinium</i>	<i>subinermis</i>
<i>Votadinium</i>	<i>calvum</i>	<i>Protoperidinium</i>	<i>oblongum</i>
	<i>spinosum</i>	<i>Protoperidinium</i>	<i>claudicans</i>
Orden Gonyaulacales			
<i>Spiniferites</i>	<i>ramosus</i>	<i>Gonyaulax</i>	<i>spinifera?</i>
	<i>cf. ramosus</i>	<i>Gonyaulax</i>	
<i>Operculodinium</i>	<i>centrocarpum</i>	<i>Protoceratium</i>	<i>reticulatum</i>
<i>Impagidinium</i>	<i>aculeatum</i>	<i>Gonyaulax</i>	
	<i>sphericum</i>	<i>Gonyaulax</i>	
<i>Bitectatodinium</i>	<i>spongium</i>		
	<i>tepikiense</i>	<i>Gonyaulax</i>	<i>spinifera</i>
<i>Nematosphaeropsis</i>	<i>labyrinthus</i>	<i>Gonyaulax</i>	<i>spinifera</i>
<i>Polysphaeridium</i>	<i>cf. zoharyi</i>	<i>Pyrodinium</i>	<i>bahamense</i>
<i>Tuberculodinium</i>	<i>vancampoae</i>	<i>Pyrophacus</i>	<i>vancampoae</i>

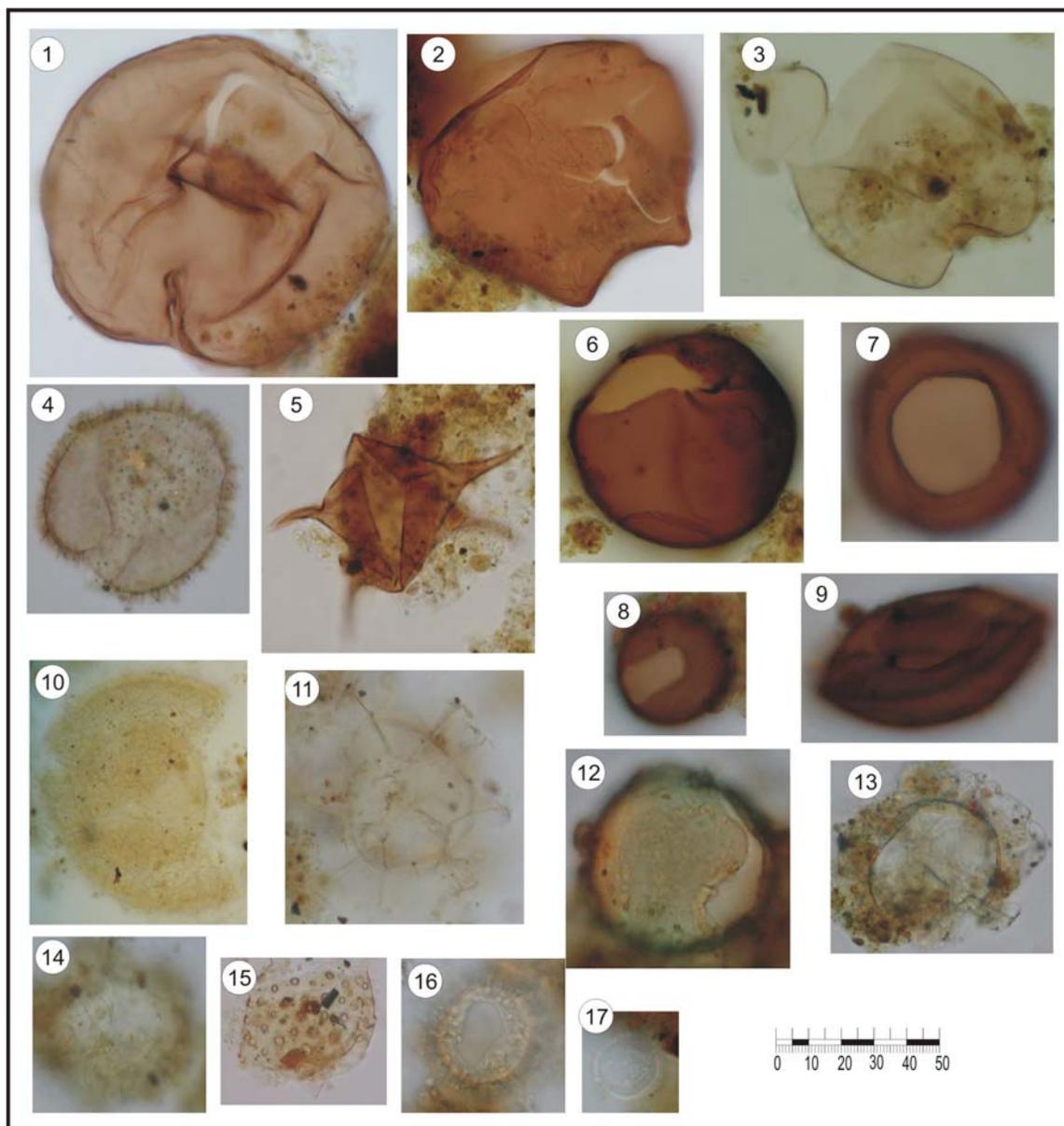


Figura 9. Quistes de dinoflagelados: 1) *Selenopemphix nephroides*, 2) *Quinquecuspis concreta*, 3) *Votadinium calvum*, 4) *Votadinium spinosum*, 5) *Protoperidinium stellatum*, 6) *Brigantedinium grande*, 7) *Brigantedinium simplex*, 8) *Brigantedinium cariacense*, 9) *Brigantedinium* cf. *simplex*, 10) *Bitectatodinium spongium*, 11) *Spiniferites ramosus*, 12) *Bitectatodinium tepikiense*, 13) *Nemosphaeropsis labyrinthus*, 14) *Polysphaeridium* cf. *zoharyi*, 15) *Pyrophacus* ("Tuberculodinium") *vancampoae*, 16) *Operculodinium centrocarpum* y 17) *Impagidinium aculeatum*. La escala es en μm

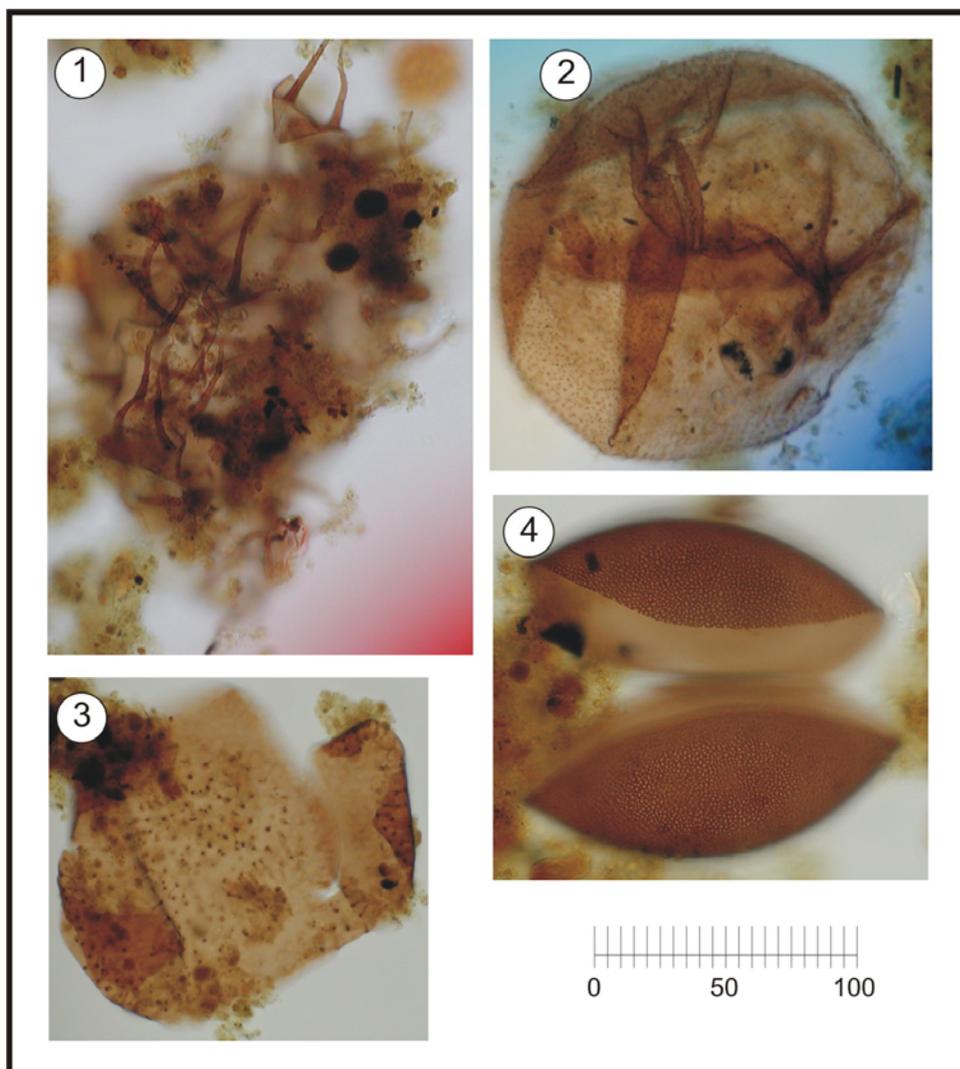


Figura 10. Morfotipos representativos del conjunto copéodos: 1) pigmentado dendrado, 2) escarbado, 3) espinado y 4) alveo-reticulado. La escala es en μm .

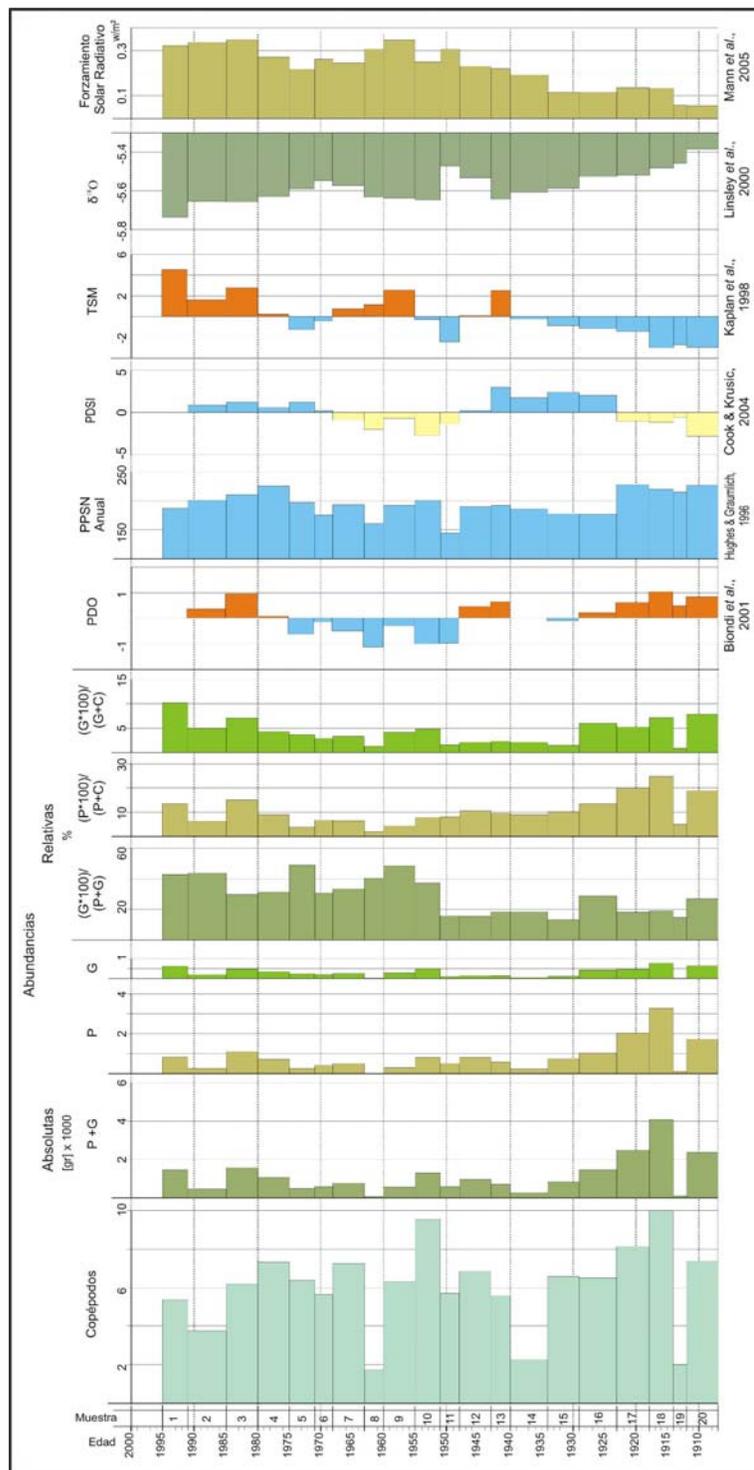


Figura 11. Abundancias absolutas y relativas de quistes de copépodos y dinoflagelados Peridinales y Gonyaulacales, mostrando su relación con variables ambientales.

Las concentraciones del conjunto P (figura 11) muestran valores de 30 a 3,276 q/gr sed; las del conjunto G varían de 22 a 771 q/gr sed y las de Co muestran valores de 1,800 a 10,000 q/gr sed. Las concentraciones de los tres conjuntos tienen valores más altos en la base del núcleo, disminuyen hacia la parte alta y presentan cuatro muestras con concentraciones bajas, estas son: 19 (1912 a 1913), 14 (1934 a 1940), 8 (1960 a 1963) y 2 (1985 a 1990). Las concentraciones de los P tienen correlaciones significativas (tabla VII) con las señales de: PDO ($r=0.56$), PPSN ($r=0.42$). Mientras que las de los G tiene correlación significativa con la señal de PPSN ($r=0.53$), y los Co también con la PPSN ($r=0.50$).

Las concentraciones a nivel de especie (figura 12) muestran que las especies P dominantes y más continuamente presentes en las muestras son: *Brigantedinium* cf. *B. simplex* con abundancias de 30 a 2620 q/gr sed, *Brigantedinium simplex* con abundancias de 18 a 347 q/gr sed y *Brigantedinium grande* con abundancias de 4 a 430 q/gr sed. Las especies G dominantes y más continuamente presentes en las muestras son: *Bitectatodinium spongium* con abundancias de 11 a 510 q/gr sed, *Spiniferites ramosus* con abundancias de 5 a 154 q/gr sed y *Operculodinium centrocarpum* con abundancias de 7 a 45 q/gr sed. La presencia del resto de las especies en ambos órdenes no es continua en los intervalos de muestreo. Sin embargo, todas las especies presentan una variabilidad similar, con cuatro intervalos de baja concentración, representados por las muestra: 19 (1912 a 1913), 15 a 13 (1929 a 1942), 9 a 5 (1955 a 1974) y 2 (1985 a 1990).

La variabilidad temporal de estas especies está representada por el componente principal I (CPI; eigenvalor= 92.6) de las abundancias absolutas (figura 13). En este CPI, las especies dominantes de P y G que contribuyen con porcentajes altos y positivos son: *Brigantedinium* cf. *simplex* y *Bitectatodinium spongium*. Además, este componente presenta valores de significativos correlación (tabla VII) con el PDO ($r=0.56$) y la PPSN ($r=0.41$).

Las abundancias de los P y G relativas a los Co (figura 11) muestran una variabilidad similar entre ellas y con las abundancias absolutas, excepto en el intervalo de 1951 a 1960 donde se observa altos valores de G. Esta variabilidad tiene valores significativos (tabla VII) con el PDO ($r=0.73$ y $r=0.48$ respectivamente) y de los G con la PPSN ($r=0.49$).

Tabla VII. Matriz de correlación de las abundancias absolutas de Peridiniales (P), Gonyaulacales (G), Dinoflagelados (P+G), Copépodos (Co); abundancias de G relativas a Dinoflagelados y a Co; abundancias de P relativas a Co; componente principal I (CPI) del análisis con las abundancias absolutas (Abs); componentes principales I y II (CPI y CPII, respectivamente) del análisis de las abundancias relativas a los Copépodos. Los cuadros sombreados muestran los valores que son significativos ($p < 0.10$).

	Absolutas				Relativas			Abs	Rel a Co	
	P	G	P+G	Co	G/(P+G)	P/(P+Co)	G/(G+Co)	CPI	CPI	CP II
PDO	0.56	0.37	0.53	0.20	-0.41	0.73	0.48	0.56	0.67	-0.01
PPSN	0.42	0.53	0.45	0.50	0.03	0.34	0.49	0.41	0.35	0.23
$\delta^{18}\text{O}$	0.15	-0.09	0.14	0.31	-0.62	0.24	-0.18	0.15	0.17	-0.43
TSM	-0.19	-0.03	-0.18	-0.40	0.51	-0.23	0.07	-0.19	-0.19	0.39
FSR	-0.22	0.03	-0.19	-0.32	0.61	-0.34	0.10	-0.21	-0.28	0.45
PDSI	-0.16	-0.29	-0.18	-0.34	-0.12	0.04	-0.15	-0.17	-0.05	-0.10
Eigenvalores								92.6	80.66	11.08

PDO= Oscilación Decadal del Pacífico (Biondi *et al.*, 2001). PPSN= Precipitación Pluvial en Sierra Nevada, EEUU (Hughes y Graumlich, 1996). $\delta^{18}\text{O}$ = isótopos de oxígeno (Linsley *et al.*, 2000a). TSM= Temperatura Superficial del Mar (Kaplan *et al.*, 1998). FSR= Forzamiento Solar Radiativo (Mann *et al.*, 2005). PDSI= Índice de la Severidad de la Sequía de Palmer (Cook y Krusic, 2004).

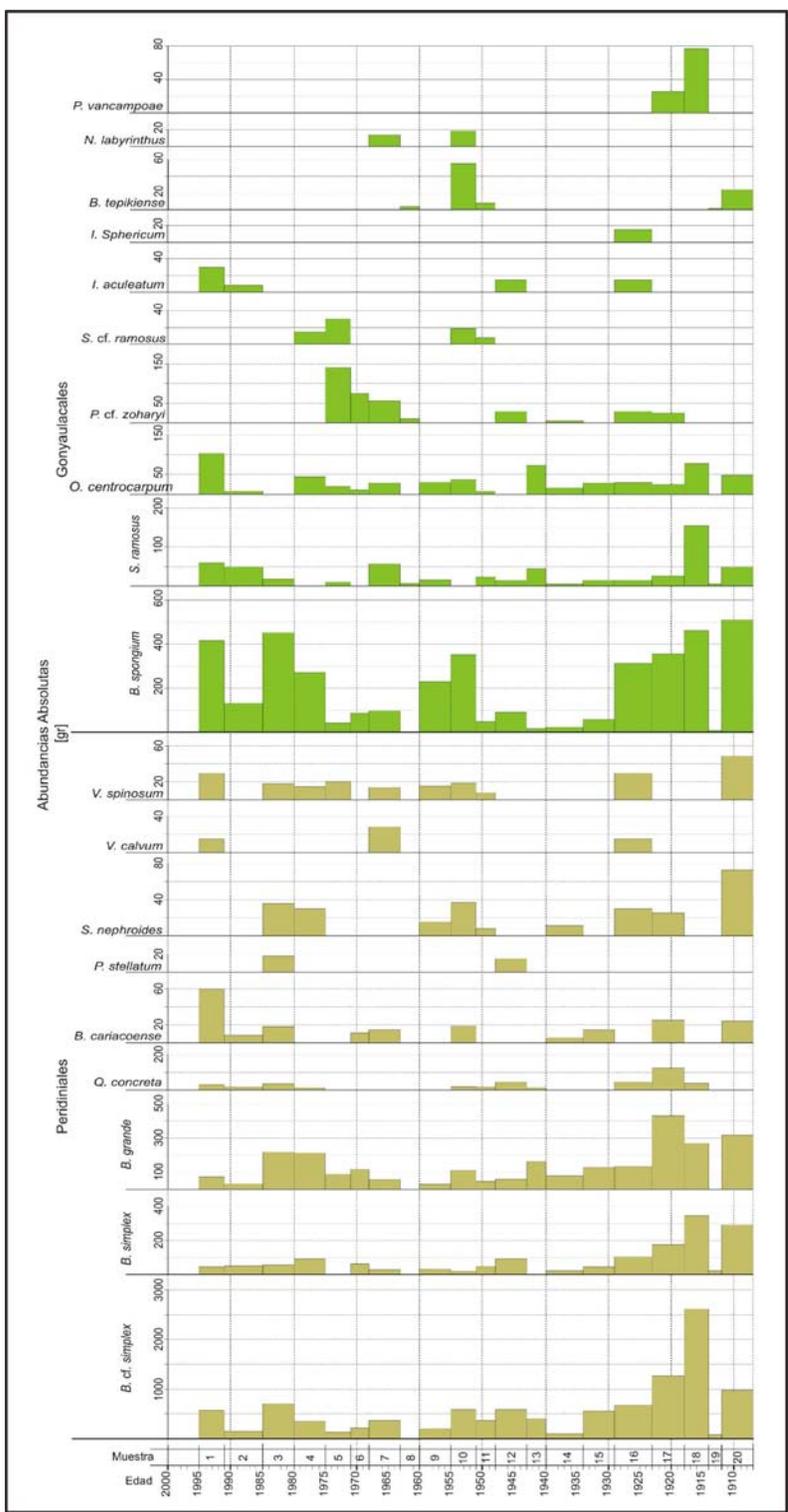


Figura 12. Abundancias absolutas de las especies de dinoflagelados Peridinales y Gonyaulacales.

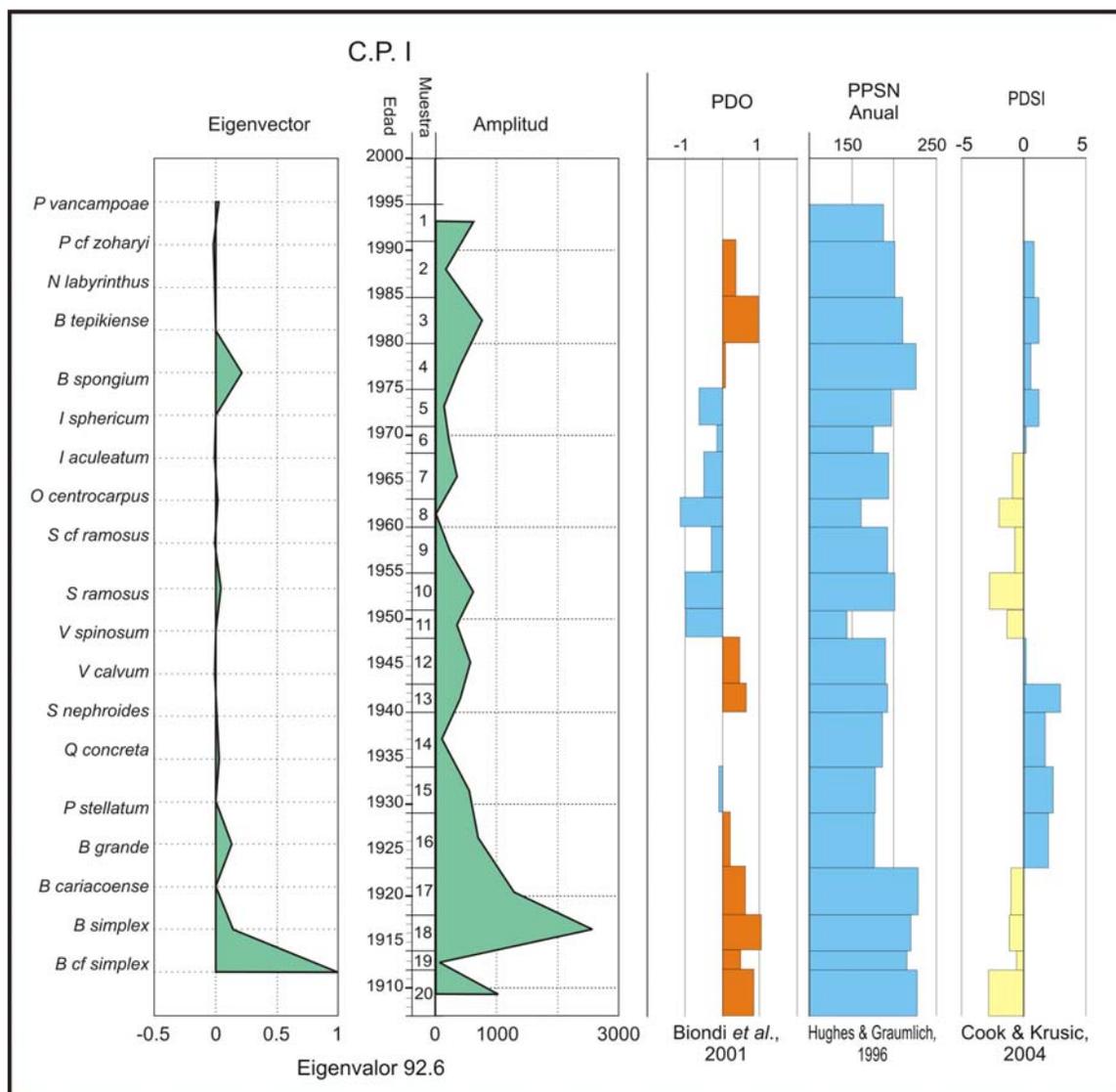


Figura 13. Componente principal I (CPI) de las abundancias absolutas de las especies de dinoflagelados y su relación con los índices ambientales.

El índice G/P (figura 11) muestra que los P son mas abundantes que G, principalmente en la mitad inferior del núcleo (1907-1950). Sin embargo, las abundancias de G aumentan con respecto a P, después de 1950. Esta variabilidad presenta valores significativos de correlación (tabla VII) con los indicadores de temperatura, como $\delta^{18}\text{O}$ ($r=-0.62$), TSM ($r=0.51$) y FSR ($r=0.61$), y también con el PDO ($r=-0.41$).

El análisis de componentes principales de las abundancias de las especies relativas a los copépodos muestra que más del 90% de la variabilidad del registro se explica con los primeros dos componentes (figura 14). El CPI explica el 80.7% de la variabilidad del registro y las especies dominantes muestran valores positivos en el eigenvector. En este componente, la especie *Brigantedinium* cf. *simplex* es la dominante, seguida de *Bitectatodinium spongium*. El CPI muestra una correlación significativa (tabla VII) con los registros indirectos del PDO ($r=0.67$). El CPII explica el 11 % de la variabilidad del registro y la mayoría de las especies muestran valores positivos en el eigenvector, excepto *Brigantedinium* cf. *simplex*, *Spiniferites ramosus*, *Polysphaeridium* cf. *zoharyi* y *Tuberculodinium vancampoe*. La especie dominante en este componente es *Bitectatodinium spongium*. El CPII muestra valores significativos de correlación (tabla VII) con el $\delta^{18}\text{O}$ ($r=-0.43$), la TSM ($r=0.39$) y el FSR ($r=0.45$).

III.5 DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Los quistes de dinoflagelados G-P y los huevos diapáusicos de copépodos depositados en sedimentos laminados del borde de la cuenca Pescadero, muestran que los valores altos de abundancia entre 1907-1995, responden principalmente a períodos de abundancia de alimento y alta temperatura de la TSM. Es posible que la dilución por terrígenos influya en las concentraciones de estos conjuntos y ha sido señalada para esta área (Cross *et al.*, 1966). Pero la correlación de los indicadores de PP local con nuestros registros no son significativas (tabla VII, $r=-0.16$ y $r=-0.29$ respectivamente con el PDSI). Aunque, los períodos de menor abundancia total de todos los conjuntos de palinomorfos corresponden con momentos positivos (húmedos) del PDSI (figura 11), por lo que la dilución por terrígenos no puede ser descartada.

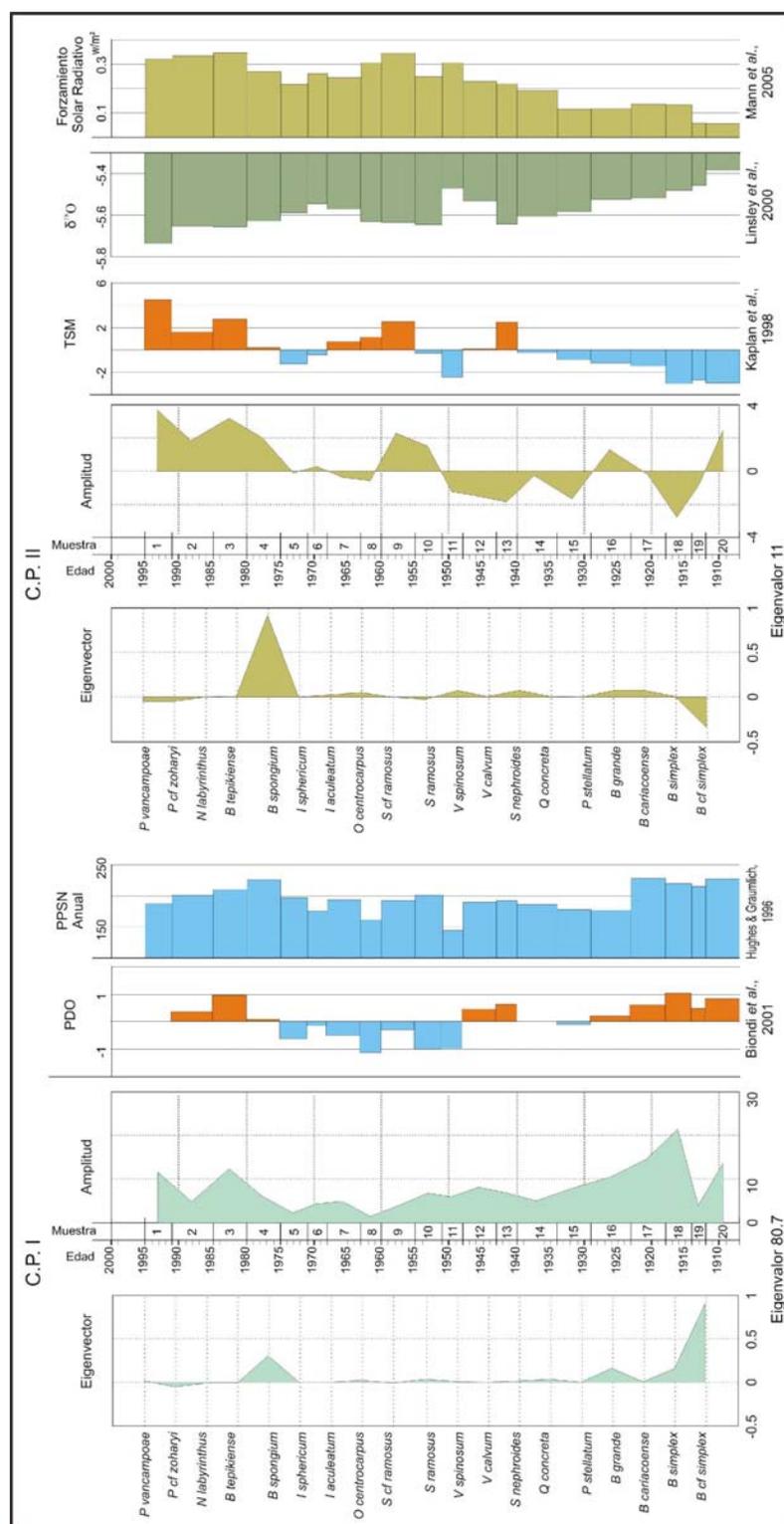


Figura 14. Componentes principales de las abundancias de quistes Peridinales-Gonyaulacales relativas a los copépodos y su relación con los índices ambientales.

La influencia del PDO sobre la región sur del Golfo de California varía según la fase de este índice. La fase cálida incrementa los vientos del noroeste (Bernal *et al.*, 2001), promoviendo las surgencias en la costa oriental del Golfo de California (Cortés-Lara *et al.*, 1999; Juillet-Leclerc y Schrader, 1987) y en el Pacífico ecuatorial (Huang *et al.*, 2007; Linsley *et al.*, 2000a). La fase positiva del PDO en la región, presenta una relación significativa (tabla VII) con nuestros registros de abundancia absolutas de dinoflagelados P+G ($r=0.53$), de abundancias relativas a Co ($r=0.73$ y $r=0.48$), el CPI de las abundancias absolutas ($r=0.56$) y relativas ($r=0.67$). Estos valores indican que los dinoflagelados P y G tienden a proliferar en condiciones de mezcla en la columna de agua (surgencias). En época de surgencia, los G (fotosintéticos) tienen mayor concentración de nutrientes, mientras que los P (heterótrofos) tienen mayor disponibilidad de alimento (diatomeas y otros dinoflagelados).

Las características oceánicas en la región sur del Golfo de California también están influenciadas por forzamientos de origen tropical y ecuatorial (Herguera *et al.*, 2003). El forzamiento tropical ENSO afecta en periodos interanuales y está asociado significativamente con anomalías positivas de la TSM (Bernal *et al.*, 2001; Linsley *et al.*, 2000a; Mestas-Núñez y Enfield, 2001). Estas anomalías coinciden con anomalías positivas del nivel del mar (Smith, 2000; Bernal *et al.*, 2001) y con el aumento en la profundidad de la termoclina (Trasviña *et al.*, 1999; Herguera, 2006). Se presentan dos condiciones importantes para la productividad marina, cuando se combinan altas temperaturas del agua superficial y una nutriclina más profunda, se debilitan las surgencias y disminuyen la proliferación del fitoplancton (Chavez, 1987). En contraste, cuando se conjugan las fases cálidas del PDO y condiciones de Niña (ENSO negativo), la productividad primaria en el Golfo de California es alta y dominada por diatomeas (Thunell, 1998; Baumgartner *et al.*, 1985). Estas algas representan un elemento importante en la alimentación de los dinoflagelados tipo P (García-Pamanes y Lara-Lara, 2001). Sin embargo, al reestablecerse la estratificación en la columna de agua, las diatomeas son reemplazadas por dinoflagelados (Aguirre-Gómez *et al.*, 1999; Alonso-Rodríguez y Ochoa, 2004). Los dinoflagelados fotosintéticos (G) proliferan después de las diatomeas, cuando hay poca turbulencia, especialmente en los trópicos y durante el verano en regiones

templadas (Vásquez-Bedoya *et al.*, 2008). Las abundancias de G relativas a P ($G/(G+P)$) muestran valores significativos de correlación (tabla VII), con los registros que representan a la temperatura ($\delta^{18}\text{O}$, $r=-0.62$; FSR, $r=0.61$; y TSM, $r=0.51$) y el CPII de las abundancias relativas a los Co (figura 14), también muestra estas relaciones (FSR, $r=0.45$; $\delta^{18}\text{O}$, $r=-0.43$; y TSM, $r=0.39$). Estas correlaciones sugieren que durante períodos con TSM altas (ENSO positivo), la abundancia relativa de G aumenta, mientras que la abundancia de P disminuye, al disminuir su alimento principal (diatomeas). Este resultado concuerda con resultados reportados en muestras del Golfo de Tehuantepec (Vásquez-Bedoya *et al.*, 2008), de la margen noreste del Océano Pacífico (Radi y de-Vernal, 2004; Pospelova *et al.*, 2008), del Norte de Océano Pacífico (Radi y de-Vernal, 2008) y del Atlántico Suroriental (Esper y Zonneveld, 2007).

La especie G dominante es *Bitectatodinium spongium* y su abundancia ha sido asociada con condiciones de surgencias y TSM alta (Zonneveld y Jurkschat, 1999). Con respecto a la temperatura, esta especie ha sido reportada en aguas con temperaturas desde 23.9°C hasta 29.6°C, con una media de 27°C (Marret y Zonneveld, 2003). En las muestras de cuenca Pescadero, se observa un aumento relativo de G con respecto a P a partir de 1950 (figura 11), cuando la TSM presenta más anomalías positivas (Kaplan *et al.*, 1998). Considerando que la temperatura media anual en la región sur del Golfo de California es de 26°C (Castro *et al.*, 2000), las anomalías positivas indican valores anuales por encima de esta temperatura. En el Golfo de Tehuantepec también ha sido observado un aumento similar en las abundancias relativas de G (reportado como índice G/P en Vásquez-Bedoya *et al.*, 2008) en el mismo período de tiempo. Este aumento parece estar relacionado con el aumento de la TSM en el Golfo de California y en el Pacífico Tropical (Linsley *et al.*, 2000a), posiblemente forzado por la actividad solar.

Las concentraciones de quistes de dinoflagelados que reportamos, oscilan entre 50 y 4,000 q/gr sed (figura 11). Los valores máximos observados concuerdan con el promedio de lo reportado en estudios previos de la región (Cross *et al.*, 1966; Martínez-Hernández y Hernández-Campos, 1991) y a los reportados para el Golfo de Tehuantepec (Vásquez-Bedoya *et al.*, 2008).

En conclusión, tanto los taxa G como los P tienden a proliferar en condiciones de surgencia. En estas condiciones, junto con TSM baja, el grupo dominante en la productividad primaria son las diatomeas, propiciando el aumento de los P. Sin embargo, cuando la TSM es alta, las surgencias no son tan vigorosas disminuyendo las concentraciones de diatomeas, pero no las de dinoflagelados fotosintéticos G, quienes continúan proliferando hasta dominar relativamente a los P. La relación G/P muestra que los G aumentan en relación directa con la TSM, mientras que los P aumentan durante periodos con TSM más bajas.

En el sureste del Golfo de California, la temperatura media anual es de aproximadamente 26°C, cercana a la temperatura media preferida por *B. spongium* (27°C). Los resultados obtenidos indican que cuando la relación G/P disminuye a valores mínimos de 30%, la TSM anual generalmente está cerca de la media.

Registro palinológico de quistes de *Gymnodinium catenatum* en la cuenca Pescadero, Golfo de California, México.

IV.1 RESUMEN

El estudio estratigráfico de los quistes de *Gymnodinium catenatum* permite conocer más sobre su historia y su relación con las características oceanográficas en el Sur del Golfo de California durante el siglo XX. Esta especie ha sido reportada en sedimentos superficiales en el Golfo de California y en el Pacífico, entre otros. En este capítulo se presenta la primera serie estratigráfica de esta especie en sedimentos del Golfo de California. Los objetivos de este capítulo son: 1) determinar la variabilidad de la abundancia de quistes de *G. catenatum* en sedimentos laminados de cuenca Pescadero en la región Sur del Golfo de California, durante el siglo XX; 2) mostrar su posible relación con la variabilidad regional de la temperatura superficial del mar (TSM), el viento del Noroeste (VNO) y la precipitación pluvial (PP), en la escala inter-decadal. Se estudiaron 20 muestras correspondientes a 5 cm de un núcleo de sedimentos laminados, que representan 87 años de registro. Estas muestras fueron tratadas con digestión ácida y sin oxidación. La concentración máxima de *G. catenatum* es 1890 quistes/gramo de sedimento y las abundancias relativas con respecto a los quistes de dinoflageladas Gonyaulacales, varían entre el 30 al 90%. Los periodos con mayor PP están directamente relacionados con bajas concentraciones de quistes, lo que interpretamos como dilución del contenido palinológico por flujo de terrígenos al talud de la cuenca. Las abundancias absolutas y relativas de *G. catenatum* tienden a disminuir durante el período del estudio, mientras que la TSM en la región tiende a aumentar. Las abundancias absolutas se relacionaron con los VNO ($r =$

0.39) y las abundancias relativas no se relaciona con esta variable, sugiriendo que las surgencias no contribuyen de manera importante a la proliferación de esta especie. La relación inversa entre la abundancia absoluta ($r = -0.39$) y relativa ($r = -0.33$) de *G. catenatum* y la TSM sugiere que de continuar el calentamiento de las aguas en esta región oceanográfica, las abundancias de *G. catenatum* tenderían a disminuir en relación al resto de las poblaciones de dinoflageladas fotosintéticas en esta región. Esta tendencia puede deberse a que las condiciones más cálidas podrían constituir una ventana térmica subóptima para la proliferación de esta especie en el sur del Golfo de California.

Palabras clave: dinoflagelados, quistes, sedimentos laminados, Golfo de California, temperatura superficial del mar.

IV.2 INTRODUCCIÓN

Gymnodinium catenatum Graham es de gran interés en México y en el mundo, porque produce toxinas que afectan a humanos y provocan pérdidas en la acuicultura en el Golfo de California (Band-Schmidt *et al.*, 2005; Alonso-Rodríguez y Páez-Osuna, 2003).

El estadio planctónico de esta especie fue descrito para la región norte del Golfo de California, México (Graham, 1943) y es un componente común en los eventos algales tóxicos de las costas del Océano Pacífico Mexicano y en el Golfo de California, donde ha generado problemas de salud pública y decesos (Hernández-Becerril *et al.*, 2007). Al parecer, esta especie se presenta después de las surgencias y desaparece en periodos de El Niño en la región (Cortés-Altamirano, 1987).

Durante una surgencia, los taxa dominantes son diatomeas, pero al reestablecerse la estratificación en la columna de agua, éstas son reemplazadas por dinoflageladas, que pueden proliferar de manera exponencial (Alonso-Rodríguez y Ochoa, 2004). La habilidad de migrar verticalmente de *G. catenatum*, le permite florecer cuando hay estratificación en la columna de agua y la nutriclina es somera (Hallegraeff y Fraga, 1998).

Durante y después de los florecimientos de dinoflageladas, cuando la densidad de células vegetativas es mayor en la columna de agua, la producción de quistes es más alta (Matsuoka y Fukuyo, 1994; Peña-Manjarrez, *et al.*, 2001).

En la costa del Pacífico mexicano, quistes de esta especie han sido reportados en sedimentos superficiales tanto en el Golfo de California (Morquecho y Lechuga-Devéze, 2003) como en Bahía de Todos los Santos, B.C. (Peña-Manjarrez, 2008), y en este trabajo se presenta el primer estudio estratigráfico de *G. catenatum* en el Golfo de California.

G. catenatum presenta límites de temperatura óptimos de proliferación de 19 a 24°C (Matsuoka y Fukuyo, 1994). En Noruega, los valores altos en la concentración de quistes de *G. catenatum* (desde aprox. 6000 años antes del presente) se relacionan directamente con intervalos relativamente cálidos en esa región (Dale y Nordberg, 1993; Thorsen y Dale, 1998). Al parecer, en latitudes altas las TSM frías limitan el desarrollo de *G. catenatum* y en este trabajo se sugiere que en latitudes bajas las condiciones son inversas, o sea que las TSM cálidas podrían ser las limitantes.

Los objetivos del presente trabajo son: 1) determinar la variabilidad del registro de quistes de *G. catenatum* en sedimentos laminados de cuenca Pescadero, sur del Golfo de California durante el periodo de 1907 a 1994 y 2) establecer su posible relación con las variabilidades regionales de: temperatura superficial del mar (TSM), variabilidad del viento del Noroeste (VNO), y precipitación pluvial (PP) regionales, en la escala inter-decadal.

IV.3 MATERIALES Y METODOS

La cuenca Pescadero se encuentra en el extremo Sur del Golfo de California (23° 30' y 25° 00' latitud Norte y 108° 00' y 109° 30' longitud Oeste). El núcleo se tomó en el lado oriental de la cuenca, donde hay una plataforma continental de aproximadamente 30 km. de ancho (Lavín *et al.*, 1997; Herguera, 2006), en las coordenadas N 24° 05.74' y W 108° 14'.

Se observaron los primeros 5 cm del núcleo PCM00-61C-4 (45 cm. de longitud), obtenido a 580 m de profundidad, mediante caja tipo Soutar durante la campaña 2000, a

bordo del Buque Oceanográfico el Puma, en la cuenca Pescadero, Región Sur del Golfo de California, México (figura 1).

El número, espesor y distribución de la estratigrafía en la obtención de las muestras, se obtuvo utilizando radiografías de rayos X y se realizaron cortes longitudinales paralelos a la profundidad en cada nivel. Este trabajo fue realizado en el Laboratorio P³ de la División de Oceanografía del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE).

La cronoestratigrafía se basó en el conteo de láminas y determinación radioisotópica de AMS¹⁴C con muestras de foraminíferos pláncnicos en la parte media e inferior del núcleo. Estas determinaciones se obtuvieron en el laboratorio Leibniz de la Universidad de Kiel, Alemania, adscrito a la Universidad Christian Albrechts. Con estos resultados se estableció la velocidad de sedimentación (~0.61 mm/año), se calculó la edad de cada muestra y se transformaron a años calendario asumiendo una edad de reservorio de 650 años. Los resultados de este cálculo fueron proporcionados por el Dr. Juan Carlos Herguera de la División de Oceanografía del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE).

Se obtuvieron 20 muestras que representan periodos de aproximadamente 5 años, por lo cual los datos obtenidos no permiten distinguir eventos de menor duración. Las muestras se trataron con el procesamiento palinológico normal de digestión con ácidos, utilizando HCl al 10% para remover carbonatos y HF al 40% para remover silicatos (Wood *et al.*, 1996), sin oxidación, y se agregó una tableta de esporas de *Lycopodium* (Serie: 483216) como marcador exótico (Stockmarr, 1971). Con el residuo palinológico tamizado entre 125 y 15 µm, se prepararon montajes de cada muestra. El tamaño mínimo de muestra se estableció comparando el número acumulativo de especies y/o morfotipos contra el número de montajes observados, tomando como línea de corte el 85% de las especies y/o morfotipos.

El análisis cualitativo se realizó con microscopio óptico de luz transmitida a 450x y 1000x. Para el análisis cuantitativo se analizaron dos montajes de cada muestra realizando barridos totales con 160x. Se registró el número de palinomorfos por especie y/o grupo en cada nivel, así como el número total de esporas de *Lycopodium* contadas. Aquí se

presentan las abundancias absolutas (concentraciones) de quistes de *G. catenatum* y de otras dinoflageladas Gonyaulacales (fotosintéticas). Además, se presenta la abundancia relativa de quistes de *G. catenatum* con respecto al total de quistes. Las concentraciones de quistes (q/gr sed) se calcularon con la fórmula siguiente: (número de quistes) = $\frac{[(\text{número total de esporas de } Lycopodium) \times (\text{número de quistes contados})]}{[(\text{número de esporas contadas}) \times (\text{peso de la muestra procesada})]}$. La abundancia relativa (%) se calcula con la fórmula siguiente: (% *G. cat*) = $\frac{(\text{concentración de } G. catenatum \times 100)}{(\text{concentración de } G. catenatum + \text{concentración de Gonyaulacales})}$.

Los registros de quistes obtenidos se compararon con series de tiempo publicadas, que representan la variabilidad de factores climáticos y oceánicos en la región. Primero se normalizaron las series de las variables ambientales a los intervalos de tiempo correspondientes a cada muestra y después se realizaron análisis de correlación no-paramétrica de Spearman (r), determinando la significancia estadística mediante una prueba “t” con n-2 grados de libertad ($p < 0.10$).

Para los VNO se utilizaron dos series: la del PDO (Biondi *et al.*, 2001), obtenida en www.ncdc.noaa.gov/paleo/pubs/biondi2001/biondi2001.html y la de precipitación pluvial en Sierra Nevada, EEUU (PPSN; Hughes y Graumlich, 1996), obtenida en wdc.cricyt.edu.ar/paleo/drought/drght_graumlich.html. Además, para comparar los registros del PDO, PPSN y probar su relación con las surgencias locales, se probó linealidad con el índice de surgencias de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica anual (IS-An-NOAA) y de primavera (IS-Pri-NOAA) para las coordenadas 21°N y 107°W, los cuales abarcan desde el año 1946 a la fecha, obtenidas en www.pfeg.noaa.gov/products/PFEL/modeled/indices/upwelling/NA/data_download.html.

Para las temperaturas superficiales del mar se utilizaron dos series: las mediciones de isótopos de oxígeno en corales en las Islas Clipperton del Pacífico tropical, ($\delta^{18}\text{O}$; Linsley *et al.*, 2000a), obtenidas en www.ncdc.noaa.gov/paleo/coral/eequapac.html; y las anomalías de TSM (Kaplan *et al.*, 1998), obtenidas en www.cdc.noaa.gov/cgi-bin/DataAccess.pl?DB_dataset=Kaplan+Extended+SST, las cuales se basan en datos de temperatura superficial del mar derivados para el Golfo de California.

Para la PP de verano se utilizó las anomalías normalizadas de precipitación pluvial de junio a septiembre (C-JJAS) en el núcleo del monzón norteamericano (Cavazos *et al.*, 2008).

IV.4 RESULTADOS

Se identificaron 11 taxa de quistes de dinoflageladas fotosintéticas incluyendo *Gymnodinium catenatum* y 10 especies del orden Gonyaulacales. En la figura 15 se muestran imágenes de los taxa mas comunes en el registro, mientras en la tabla VIII se enlista las especies encontradas con sus correspondientes afinidades biológicas.

Las dataciones por ^{14}C indican que el intervalo estudiado abarca desde 1907 hasta 1994 y cada muestra representa aproximadamente 5 años de registro palinológico (figura 16). El mayor intervalo de muestreo es 6 años (muestra 14) y el menor intervalo es de 2 años (muestra 19).

En el intervalo estudiado, las abundancias absolutas de *G. catenatum*, varían entre 26 (muestra 8) y 1896 (muestra 20) q/gr sed (figura 16), con una media de 785 q/gr sed. Los valores del registro tienden a disminuir de la base a la cima en el intervalo estudiado.

Las abundancias absolutas de los quistes de dinoflageladas Gonyaulacales, varían entre 22 y 771 q/gr sed (figura 16), con una media de 293 q/gr sed. La tendencia general de los valores del registro muestra 3 ciclos de aumento, uno en la parte baja (muestra 18; 770 q/gr sed), otro en la parte media (muestra 10; 480 q/gr sed) y el último en la parte alta (muestra 1; 610 q/gr sed).

Las especies de Gonyaulacales que presentan mayor continuidad en el registro son (figura 16): *Bitectatodinium spongium* (máximo de 500 q/gr sed); *Spiniferites ramosus*, (máximo de 150 q/gr sed); y *Operculodinium centrocarpum* (máximo de 100 q/gr sed).

Las abundancias de *G. catenatum* relativas al total de quistes (% G.cat) son mayores al 50% en casi todo el núcleo, excepto en la muestra 1 (31%, figura 16). Se observa que % G cat. tiende a permanecer constante de la base a la parte media (muestra 7), y hacia la cima tiende a disminuir.

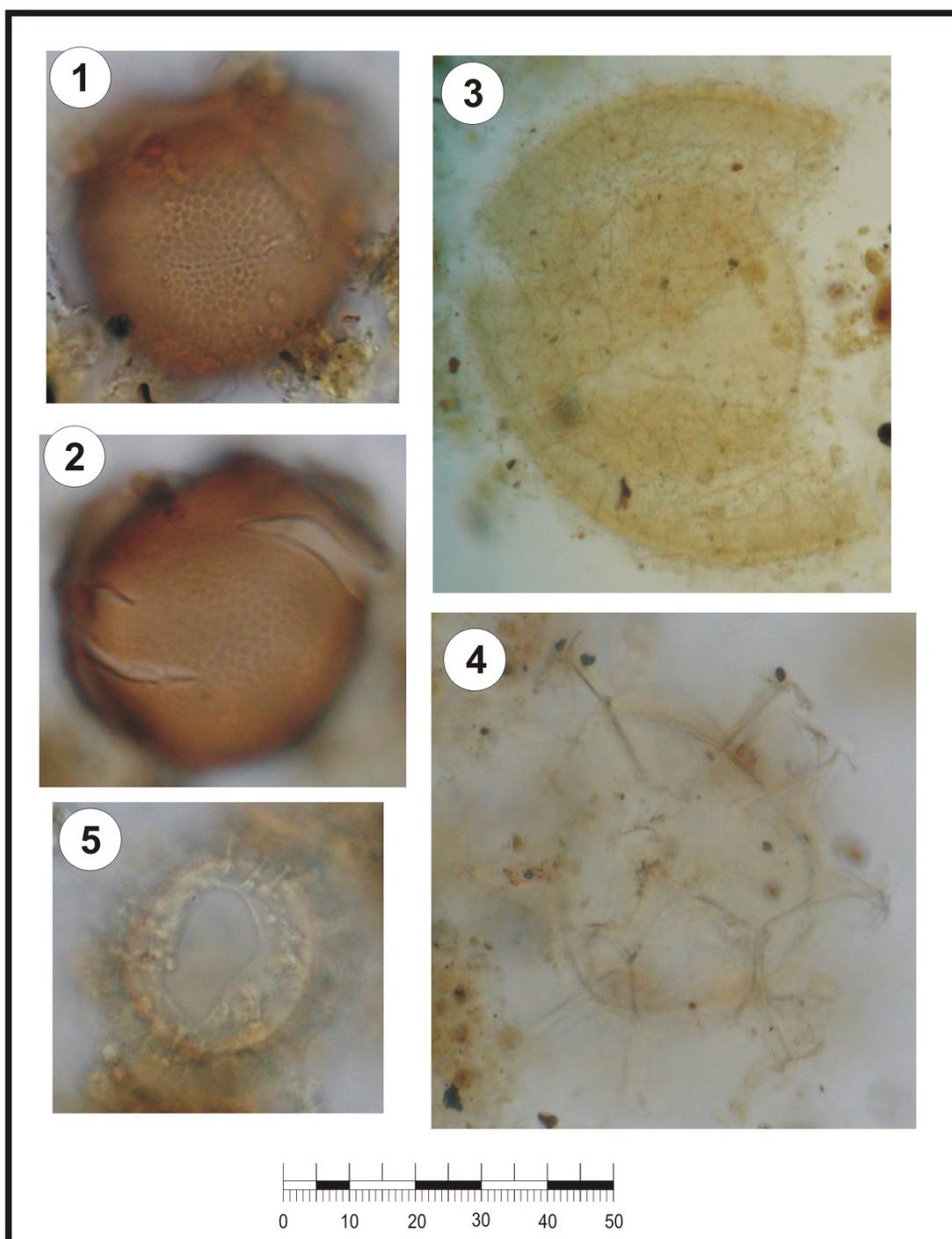


Figura 15. *Gymnodinium catenatum*, 1) foco alto, 2) foco bajo; 3) *Bitectatodinium spongium*, foco alto; 4) *Spiniferites ramosus*, foco alto; y 5) *Operculodinium centrocarpum*, foco alto (la escala representa 50 μm).

Tabla VIII. Especies de quistes de dinoflageladas fotosintéticas observadas y su correspondiente afinidad biológica (Fensome *et al.*, 1993).

Nombre del Quiste		Estadio Planctónico	
Género	Especie	Género	Especie
Orden Gonyaulacales			
<i>Spiniferites</i>	<i>ramosus</i>	<i>Gonyaulax</i>	<i>spinifera?</i>
	cf. <i>ramosus</i>	<i>Gonyaulax</i>	
<i>Operculodinium</i>	<i>centrocarpum</i>	<i>Protoceratium</i>	<i>reticulatum</i>
<i>Impagidinium</i>	<i>aculeatum</i>	<i>Gonyaulax</i>	
	<i>sphaericum</i>	<i>Gonyaulax</i>	
<i>Bitectatodinium</i>	<i>spongium</i>		
	<i>tepikiense</i>	<i>Gonyaulax</i>	<i>spinifera</i>
<i>Nematosphaeropsis</i>	<i>labyrinthus</i>	<i>Gonyaulax</i>	<i>spinifera</i>
<i>Polysphaeridium</i>	cf. <i>zoharyi</i>	<i>Pyrodinium</i>	<i>bahamense</i>
<i>Pyrophacus</i>	<i>vancampoae</i>	<i>Pyrophacus</i>	<i>vancampoae</i>
Orden Gymnodiniales			
<i>Gymnodinium</i>	<i>catenatum</i>	<i>Gymnodinium</i>	<i>catenatum</i>

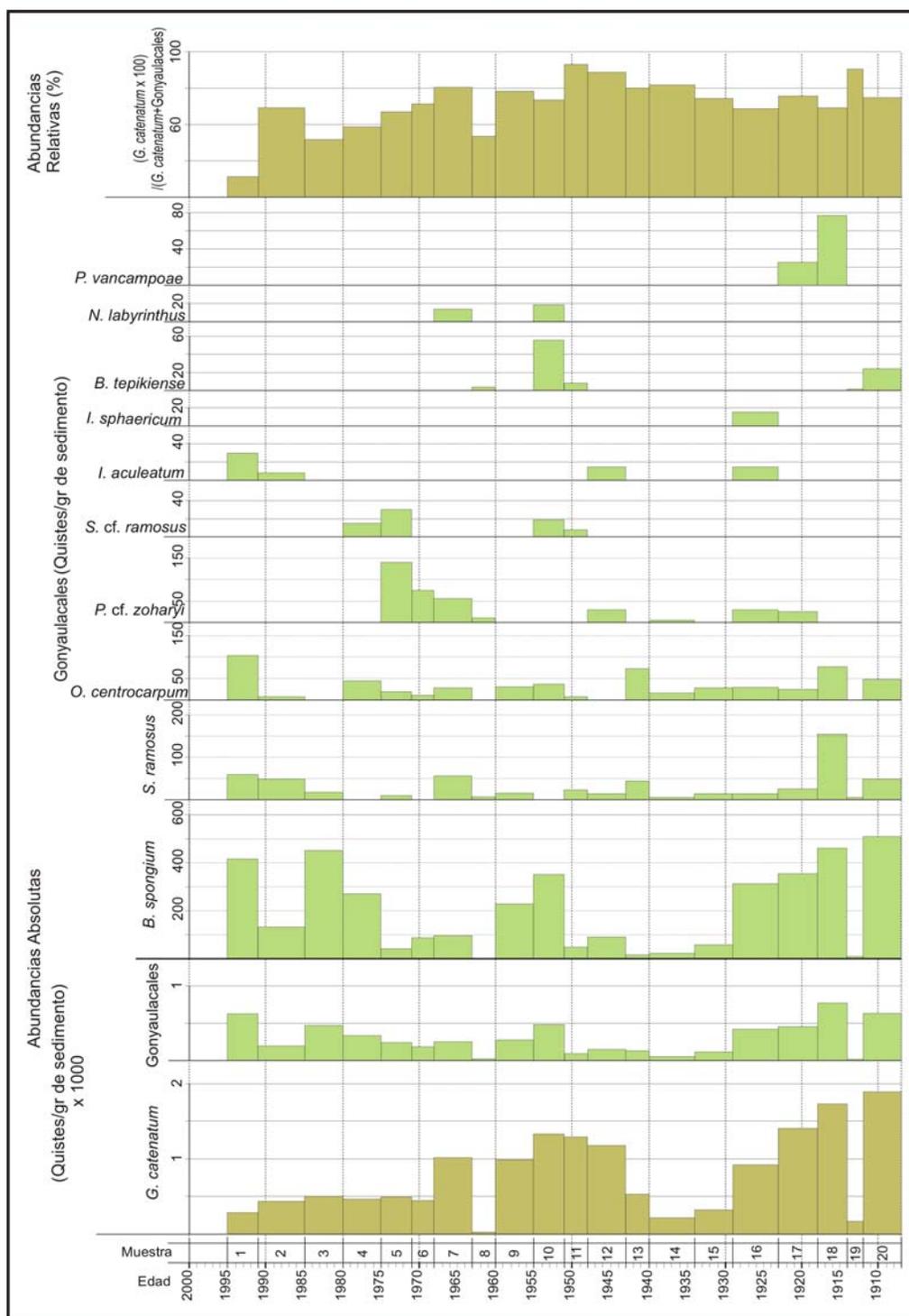


Figura 16. Abundancias absolutas (concentraciones) de quistes y abundancias de *G. catenatum* relativas al total de quistes de especies fotosintéticas.

La matriz de correlación de los registros de quistes y de los índices de variabilidad oceánica y climática se muestra en la tabla IX, donde los valores significativos con $p < 0.1$ están resaltados en negrillas. Las abundancias absolutas de *G. catenatum* (G. cat; tabla IX) presenta valores significativos de correlación con: C-JJAS ($r = -0.69$), las abundancias absolutas de Gonyaulacales (Gon; $r = 0.59$), el $\delta^{18}\text{O}$ ($r = 0.40$), la TSM ($r = -0.39$) y la PPSN ($r = 0.39$). Las abundancias de *G. catenatum* relativas al total de dinoflagelados fotosintéticos (%G. cat; tabla IX) presenta valores significativos de correlación con: el IS-An-NOAA ($r = -0.60$), el IS-Pri-NOAA ($r = -0.54$), el $\delta^{18}\text{O}$ ($r = 0.52$) y con las abundancias absolutas de Gonyaulacales (Gon; $r = -0.50$). Las abundancias absolutas de Gonyaulacales (Gon; tabla IX) además presenta valores significativos de correlación con la PPSN ($r = 0.54$).

Entre las variables ambientales, se encuentran valores positivos y significativos de correlación del IS-An-NOAA y el IS-Pri-NOAA con el PDO ($r = 0.92$; $r = 0.94$), la PPSN ($r = 0.65$; $r = 0.69$) y con la TSM ($r = 0.63$); además de valores negativos y significativos con el $\delta^{18}\text{O}$ ($r = -0.55$; $r = -0.61$); la PPSN presenta un valor significativo con el PDO ($r = 0.61$) y la TSM presenta un valor positivo y significativo con C-JJAS ($r = 0.59$), además de valores negativos y significativos con el $\delta^{18}\text{O}$ ($r = -0.88$).

IV.5 DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Las abundancias absolutas de quistes de dinoflageladas fotosintéticas, en los sedimentos estudiados, parecen estar moduladas principalmente por la temperatura superficial del mar ($\delta^{18}\text{O}$, Linsley *et al.*, 2000a; TSM, Kaplan *et al.*, 1998), la variabilidad de los vientos del noroeste (PPSN, Hughes y Graumlich, 1996; PDO, Biondi *et al.*, 2001) y con menor importancia por la precipitación pluvial de verano (C-JJAS; figura 17).

Las concentraciones de *G. catenatum* muestran una relación inversa a la tendencia de las TSM a aumentar, mientras que las concentraciones de Gonyaulacales muestran una relación mayor con los vientos del noroeste. A diferencia de los Gonyaulacales, *G. catenatum* parece no estar muy relacionado con los vientos del noroeste estimados a partir de la fase cálida/positiva del índice del PDO, mientras que sus concentraciones más

Tabla IX. Matriz de correlación entre los registros de quistes y los índices ambientales. Los valores significativos se resaltan en negrillas ($p < 0.1$).

	IS-An-NOAA	IS-Pri-NOAA	PPSN	PDO	TSM	$\delta^{18}\text{O}$	C-JJAS	Gon	G. cat	%G. cat
IS-An-NOAA	1									
IS-Pri-NOAA	0.98	1								
PPSN	0.65	0.69	1							
PDO	0.92	0.94	0.61	1						
TSM	0.63	0.63	-0.21	-0.15	1					
$\delta^{18}\text{O}$	-0.55	-0.61	0.11	0.22	-0.88	1				
C-JJAS	0.39	0.36	-0.09	0.15	0.59	-0.48	1			
Gon	0.41	0.46	0.54	0.36	-0.06	-0.09	-0.13	1		
G. cat	-0.39	-0.32	0.39	0.27	-0.39	0.40	-0.69	0.59	1	
%G. cat	-0.60	-0.54	-0.08	-0.01	-0.33	0.52	-0.45	-0.50	0.26	1

IS-An-NOAA= índice de surgencias anual de la administración Nacional Oceánica y Atmosférica; IS-Pri-NOAA= similar al anterior, pero durante primavera; PPSN= precipitación pluvial en Sierra Nevada; PDO= oscilación inter-decadal del Pacífico; TSM= temperatura superficial del mar; $\delta^{18}\text{O}$ = isótopos de oxígeno; C-JJAS= precipitación pluvial histórica, de junio a septiembre (Cavazos et al., 2008); Gon= abundancias absolutas de Gonyaulacales; G. cat. = abundancias absolutas de *G. catenatum* y %G. cat= abundancias de *G. catenatum* relativas al total de quistes.

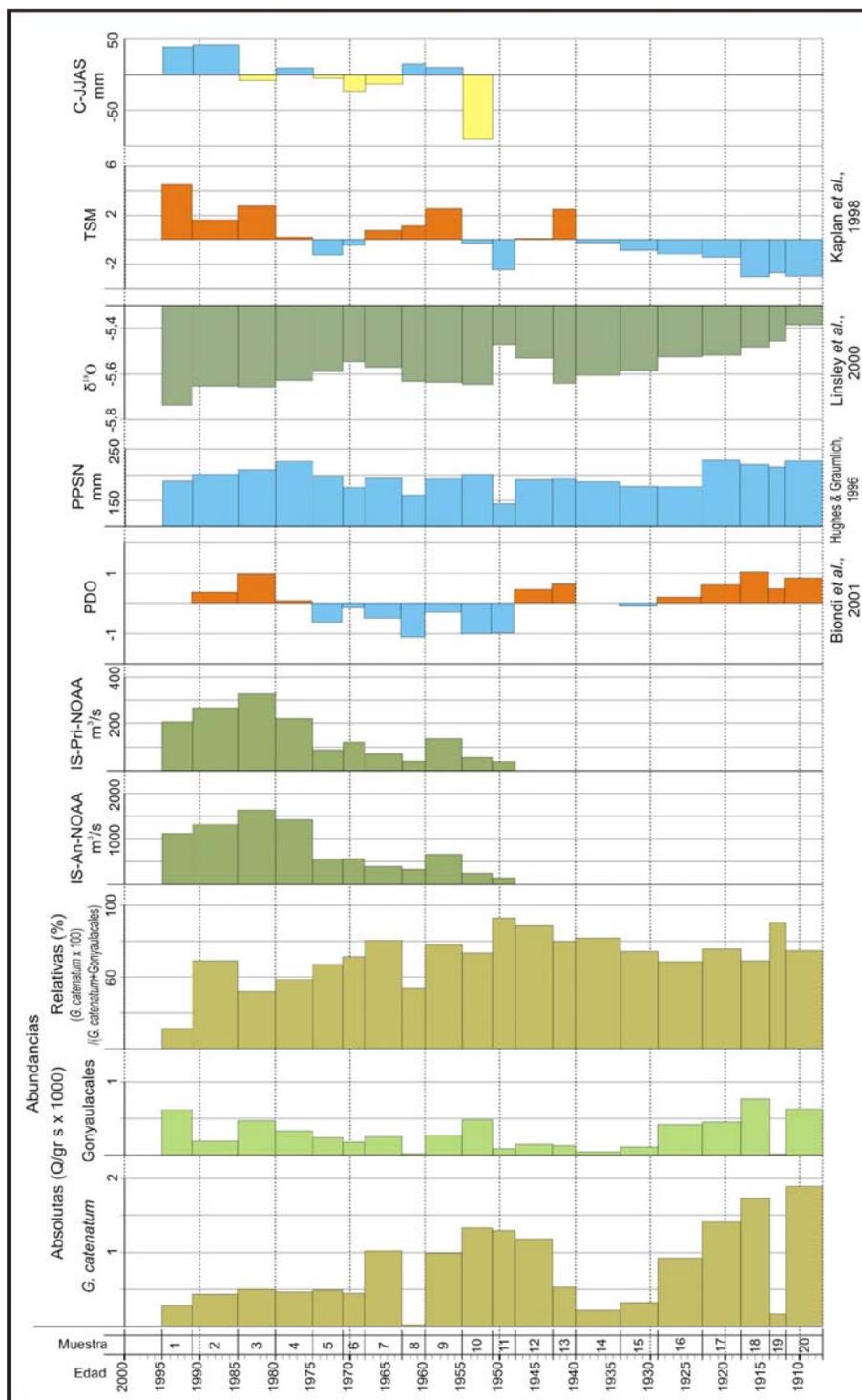


Figura 17. Comparativo gráfico de los registros de abundancias absolutas de quistes, abundancias relativas de *G. catenatum* y distintos índices oceánicos y climáticos.

bajas coinciden con condiciones meteorológicas húmedas en la región (figura 17).

Las abundancias absolutas de *G. catenatum* tienen una relación significativa con la TSM ($r=0.40$ con Linsley *et al.*, 2000a; $r=-0.39$ con Kaplan *et al.*, 1998; tabla II). Los datos de Linsley *et al.* (2000a) se basan en isótopos de oxígeno en corales y los valores más bajos significan temperaturas más cálidas. En cuanto a la serie presentada por Kaplan *et al.* (1998), está dada en anomalías, por lo que los valores positivos representan temperaturas más cálidas. Las relaciones de *G. catenatum* con estas series, muestran una tendencia a disminuir en importancia relativa en paralelo con el calentamiento observado para las TSM. Esta relación coincide con las observaciones en tiempo real de la ocurrencia de florecimientos de *G. catenatum* en la Bahía de Mazatlán, como durante el evento de El Niño en 1983 (TSM cálidas), cuando no se registró esta especie, ni estratificación térmica. Al parecer, las aguas más cálidas provocan una disminución en las proliferaciones de *G. catenatum* (Cortés-Altamirano, 1987) cuyo óptimo va de 19°C a 24°C (Matsuoka y Fukuyo, 1994).

Por otra parte, la variación de las abundancias de Gonyaulacales no parece estar determinada por la variación de las TSM sino por su relación con la variabilidad de los VNO (figura 17) que en la región de estudio tienden a generar surgencias. La especie dominante de los Gonyaulacales es *B. spongium*, de la cual se han reportado flujos altos de quistes durante eventos de surgencia en el noroeste del Océano Índico (Zonneveld y Jurkschat, 1999) y en el Golfo de Tehuantepec se ha asociado a las surgencias estacionales (Vázquez-Bedoya *et al.*, 2008).

En la región sur del Golfo de California, la intensidad de los VNO se incrementa en las fases cálidas/positivas del PDO (Bernal *et al.*, 2001), estas fases cálidas/positivas del PDO y su interacción regional con El Niño favorecen la precipitación pluvial en el sur de California y norte de Baja California (Hughes y Graumlich, 1996; Biondi *et al.*, 2001), de tal manera que valores altos en la precipitación pluvial en estas regiones, indirectamente nos muestran la variabilidad de los VNO dentro del Golfo de California que favorecen condiciones de surgencias de invierno-primavera en la región occidental. Las relaciones de PDO y PPSN con IS-An-NOAA ($r= 0.92$ y $r= 0.65$) y con IS-Pri-NOAA ($r= 0.94$ y $r=0.69$) son significativos (tabla IX), indicando que las series de PDO y PPSN al cubrir

todo el periodo de tiempo estudiado, son apropiadas como indicadores indirectos de las surgencias en el área y son aplicables para reconstrucciones estratigráficas.

Las abundancias absolutas de Gonyaulacales presentan valores bajos de correlación con los índices que representan la variabilidad del VNO ($r= 0.54$ con PPSN; $r= 0.36$ con PDO), al igual que con los índices de surgencia ($r= 0.41$ con IS-An-NOAA y $r= 0.46$ con IS-Pri-NOAA; tabla IX), lo que nos sugiere que la variabilidad de las surgencias en la región solo podría explicar parcialmente las variaciones de abundancias absolutas de los quistes de este grupo.

Por otro lado, el registro de las abundancias absolutas de quistes de *G. catenatum* también muestra valores bajos de correlación, con las variables que representan la variabilidad de los VNO (tabla IX), ya que solamente alcanzan valores de $r= 0.39$ (con PPSN) y $r= 0.27$ (con PDO), lo que también indica una relación débil con las surgencias regionales. Estos resultados sugieren que las surgencias no han sido el factor más importante para explicar los cambios de abundancia de quistes de *G. catenatum* durante el período de estudio.

Las abundancias absolutas de quistes de *G. catenatum* y de Gonyaulacales muestran valores de $r= -0.69$ y $r= -0.13$ con la serie que representa la precipitación pluvial (C-JJJAS; tabla IX), aunque el segundo valor no es significativo observamos que los periodos de tiempo con menor abundancia de quistes se corresponde con periodos con mayor precipitación pluvial (figura 17). Interpretamos esta relación inversa como una indicación de que durante los períodos con mayor precipitación pluvial hay mayor flujo de terrígenos a la cuenca, resultando en una disminución en la concentración absoluta de quistes. Esto explicaría la poca relación que muestran las abundancias absolutas de los conjuntos con los VNO.

La relación entre las abundancias relativas de *G. catenatum* (% *G. cat.*; tabla IX) y los índices de TSM (Kaplan *et al.*, 1998) y $\delta^{18}\text{O}$ (Linsley *et al.*, 2000a) es de: $r=-0.33$ y $r=0.52$ respectivamente. Estos valores indican que % *G. cat.*, están relacionados con la TSM, directa y significativamente con los isótopos de oxígeno e inversamente con el modelo de temperatura regional. Este registro también muestra que % *G. cat.* disminuye de 70% en 1968 a 30% en 1990, indicando una disminución relativa de la ocurrencia de mareas rojas

de *G. catenatum*, posiblemente esta disminución se derive del aumento en la TSM después de 1968.

Por otra parte, en las lagunas costeras de Sinaloa el aumento más importante de contaminantes es posterior a 1970 (Ruiz-Fernández *et al.*, 2002; Páez-Osuna *et al.*, 2003). Por lo que, la disminución post-1968 relativo de % *G. cat.*, no parece estar relacionada con el desarrollo pesquero, industrial y/o poblacional de la región.

En conclusión, los resultados obtenidos indican que los quistes de *G. catenatum* han estado presentes al menos desde 1907 en la región suroriental del Golfo de California y que las abundancias absolutas de estos quistes parecen estar moduladas por la TSM y el forzamiento del viento del noroeste, que propicia surgencias, mientras que la dilución por terrígenos asociada a las fases húmedas meteorológicas, parece afectar a las abundancias absolutas por dilución de terrígenos en el sedimento.

Las abundancias relativas de quistes de *G. catenatum*, están inversamente relacionadas con la TSM y muestran una tendencia a disminuir a lo largo del siglo XX.

Esta tendencia sugiere que en un modelo de calentamiento global, si las aguas del Golfo de California se siguen calentando, las abundancias de *G. catenatum* tenderían a disminuir con respecto al resto de las poblaciones de dinoflageladas fotosintéticas.

Finalmente, las abundancias de *G. catenatum* no parecen estar afectadas por otros factores antropogénicos durante el periodo estudiado.

Capítulo V

Registro de 484 años de quistes de dinoflagelados y su relación con la productividad marina y la temperatura superficial del mar, en la cuenca Pescadero, Golfo de California, México.

V.1 RESUMEN

Los dinoflagelados son uno de los grupos más abundantes de fitoplancton y constituyen una parte importante de la productividad primaria en los ecosistemas marinos. La presencia de quistes y su relación con variables físico-químicas de las aguas superficiales ha sido estudiada en sedimentos superficiales en el Pacífico Mexicano y Golfo de California, aunque los estudios estratigráficos son pocos. Los objetivos de este capítulo son el documentar las abundancias absolutas y relativas de quistes de dinoflagelados pertenecientes a los ordenes Gymnodinales, Gonyaulacales y Peridinales en sedimentos laminados de cuenca Pescadero, sur del Golfo de California durante el periodo de 1483 a 1967, y determinar la posible relación entre la variabilidad del registro de palinomorfos y quistes de dinoflagelados, con la variabilidad del viento del Noroeste (VNO) y de la temperatura superficial del mar (TSM) en la escala inter-decadal. Aquí presentamos los resultados del estudio palinoestratigráfico de 30.4 cm del núcleo PCM99-74C-5. 76 muestras fueron tratadas con digestión ácida, sin oxidación y añadiendo esporas de *Lycopodium* para el análisis cuantitativo. Las concentraciones de palinomorfos totales presentaron una media de concentración de 8,036 especímenes/ gramo de sedimento (esp/gr sed), con un valor máximo de 19,574 esp/gr sed. Los palinomorfos marinos son los

más abundantes, con concentraciones de hasta 12,500 esp/gr sed, donde los quistes de dinoflagelados de formas gymnodiniales presentan las abundancias absolutas máximas (1,300 q/gr sed) dominadas por la especie *Gymnodinium catenatum*, seguidas por las peridiniales (1,150 q/gr sed) dominadas por el género *Brigantedinium spp.* y las gonyaulacales (550 q/gr sed) dominadas por la especie *Bitectatodinium spongium*. La variabilidad de los registros de los Peridiniales y de los Gonyaulacales sugiere una relación de sus abundancias con la precipitación pluvial en la Sierra Nevada (PPSN) y con la temperatura superficial del mar en Isla Rarotonga (TSMrar), esto se interpreta como la influencia de el fenómeno atmosférico y oceánico de El Niño en la escala inter-decadal, modulando los vientos del noroeste (VNO) que propician condiciones de surgencia en la región de estudio. La presencia de quistes de *G. catenatum* en el intervalo de tiempo estudiado sugiere que este dinoflagelado es autóctono de la región sur del Golfo de California. Sus abundancias se relacionan de manera inversa con la TSMrar, lo que sugiere que esta especie es más abundante en condiciones de La Niña, cuando disminuyen los VNO y cuando la TSM es posiblemente baja.

Palabras clave: dinoflagelados, quistes, sedimentos laminados, Golfo de California, temperatura superficial del mar.

V.2 INTRODUCCIÓN

Para comparar el registro palinológico desde 1483 a 1967 con indicadores indirectos de las variables oceánicas, se usó la serie TSMrar. Esta serie de temperaturas superficiales del mar abarca desde 1720 y se deriva de la concentración de Sr/Ca en corales de la Isla Rarotonga (Pacífico Sur). La variabilidad de esta serie está vinculada con la variabilidad del índice del PDO, sugiriendo que el forzamiento tropical es un factor importante en la variabilidad decadal del Océano Pacífico Norte (Linsley *et al.*, 2000b; Linsley *et al.*, 2004). De esta manera, los periodos con TSMrar alta, representan condiciones El Niño en el Pacífico tropical del Sur, y precipitaciones altas en el norte de Baja California y sur de

California. Por lo que esta serie se puede utilizar como indicadora indirecta de los VNO y condiciones de surgencia en nuestra área.

Aquí presentamos resultados del estudio palinoestratigráfico de 30.4 cm del núcleo PCM99-74C-5, lo cual representa al registro sedimentario de 1483 a 1967 en cuenca Pescadero, región sur del Golfo de California. Los objetivos de este trabajo son: 1) documentar las abundancias absolutas y relativas de quistes de dinoflagelados pertenecientes a los ordenes Gymnodiniales, Gonyaulacales y Peridinales en sedimentos laminados de cuenca Pescadero, sur del Golfo de California durante el periodo de 1483 a 1967; y 2) determinar la posible relación entre la variabilidad del registro de palinomorfos y quistes de dinoflagelados, con la variabilidad del viento del Noroeste (VNO) y de la temperatura superficial del mar (TSM) en la escala inter-decadal.

V.3 MATERIALES Y METODOS

La cuenca Pescadero se encuentra en el extremo Sur del Golfo de California, entre las coordenadas 23° 30' y 25° 00' latitud Norte y 108° 00' y 109° 30' longitud Oeste (figura 18). El núcleo se tomó en el lado oriental de la cuenca, en donde hay una plataforma continental de aproximadamente 30 km. de ancho (Lavín *et al.*, 1997; Herguera, 2006). Se muestrearon, analizaron y observaron 30.4 cm del núcleo PCM99-74C-5, obtenido a 550 m de profundidad, mediante caja tipo Soutar durante la campaña 1999, a bordo del Buque Oceanográfico el Puma (N 24° 06' 06" y W 108° 13' 45"), en la cuenca Pescadero, Región Sur del Golfo de California, México.

El número, espesor y distribución de la estratigrafía en la obtención de las muestras, se obtuvo utilizando radiografías de rayos X y se realizaron cortes longitudinales, paralelos a la profundidad en cada nivel. Este trabajo fue realizado en el Laboratorio P³ de la División de Oceanografía del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE).

La cronoestratigrafía del núcleo estudiado se basó en el conteo de láminas y la correlación con el porcentaje de agua intersticial contrastado con resultados de ópalo y carbonatos en el sedimento del núcleo PCM00-61C-4; este último núcleo se fechó

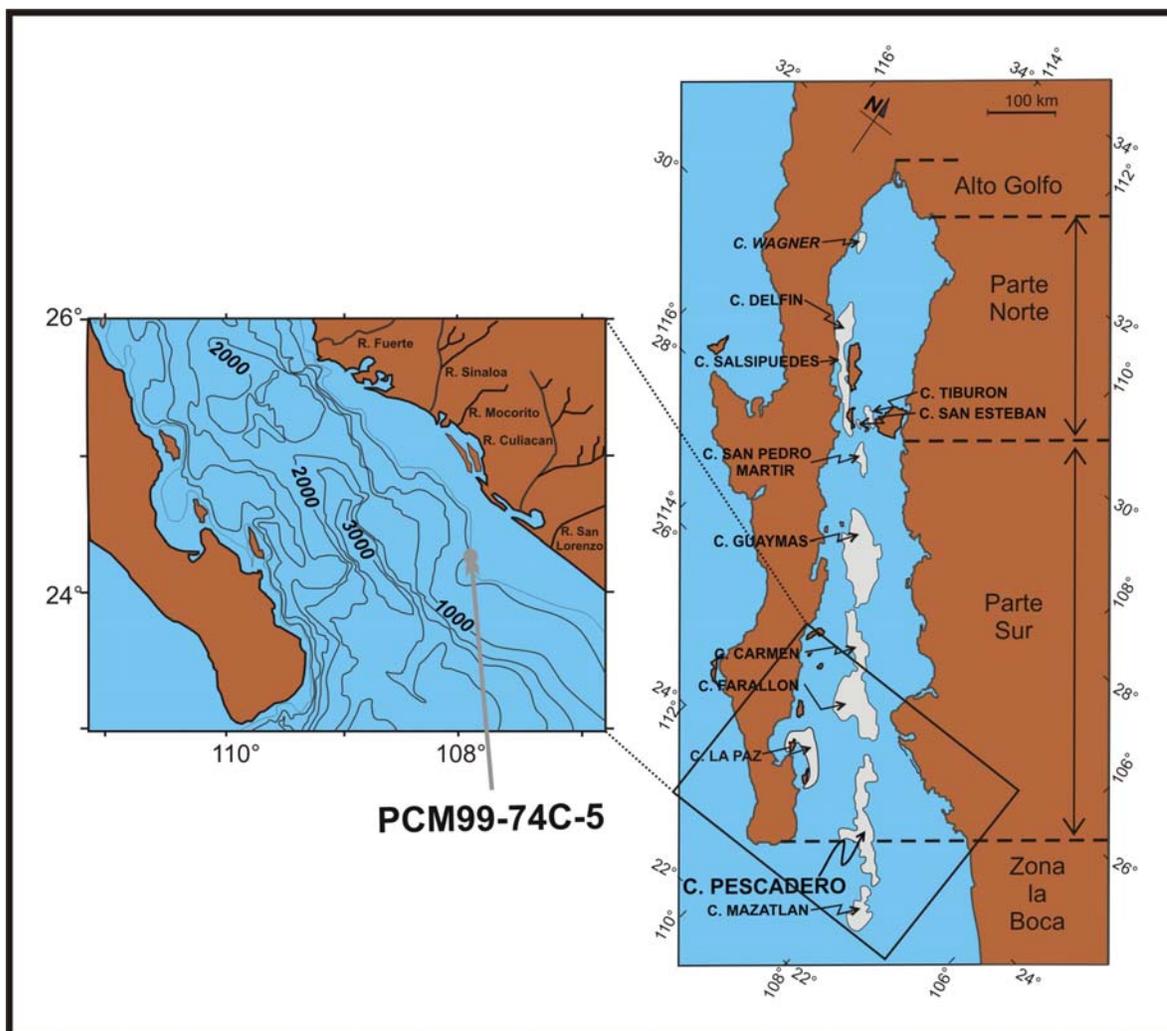


Figura 18. Regiones y cuencas del Golfo de California. El detalle muestra la cuenca Pescadero, el punto de muestreo del núcleo, los afluentes en la costa oriental y la batimetría (en metros; modificada de Banda-Bermúdez, 2002).

mediante la determinación radioisotópica de ^{14}C con espectrometría de masas (Laboratorio Leibniz de la Universidad de Kiel, Alemania) en muestras de foraminíferos planctónicos en la parte media e inferior del núcleo. El número, espesor y distribución de las laminaciones se identificaron con rayos X. Con estos resultados se estableció la velocidad de sedimentación (~ 0.61 mm/año), se calculó la edad de cada muestra y se transformaron a años calendario asumiendo una edad de reservorio de 650 años. Los resultados de este cálculo fueron proporcionados por el Dr. Juan Carlos Herguera de la División de Oceanografía del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE).

Las muestras se trataron con el procesamiento palinológico normal de digestión con ácidos, utilizando HCl al 10% para remover carbonatos y HF al 40% para remover silicatos (Wood *et al.*, 1996), sin oxidación, y se agregaron esporas de *Lycopodium* (Serie: 938934) como marcador exótico (Stockmarr, 1971). Con el residuo palinológico tamizado entre 125 y 15 μm , se prepararon montajes de cada muestra. El tamaño mínimo de muestra se estableció comparando el número acumulativo de especies y/o morfotipos contra el número de montajes observados, tomando como línea de corte el 85% de las especies y/o morfotipos. Se observaron 76 muestras por duplicado para cumplir con la línea de corte.

Con microscopio óptico de luz transmitida, sin contraste de fases, se analizaron dos montajes de cada muestra realizando barridos totales con 160 aumentos. El análisis morfológico detallado se realizó a 450 y 1000 aumentos. Se registró el número de palinomorfos por especie y/o grupo en cada nivel, así como el número total de esporas de *Lycopodium* contadas.

Los palinomorfos observados se agruparon en palinomorfos marinos (cámaras internas de foraminíferos bentónicos, huevos de copépodo, quistes de dinoflagelados, acritarcos y otros), palinomorfos continentales (polen y esporas) y esporas de hongos. Aquí se presentan las abundancias absolutas (concentraciones) de los conjuntos de palinomorfos: totales, marinos, continentales y hongos, a nivel de conjunto. Mientras que los quistes de dinoflagelados de las ordenes Peridinales (heterótrofos), Gonyaulacales (fotosintéticas) y Gymnodinales se presentan a nivel específico en abundancias absolutas y relativas.

Las abundancias absolutas (concentraciones) de quistes (q/gr sed) o de células (c/gr s) se calcularon con la fórmula siguiente: (concentración) = $\{[(\text{número total de esporas de } Lycopodium) \times (\text{número de quistes o células contados})] / [(\text{número de esporas de } Lycopodium \text{ contadas}) \times (\text{peso de la muestra procesada})]\}$. Las abundancias relativas (%) se calcula con la fórmula siguiente: (abundancia relativa del quiste) = $\{[(\text{concentración del quiste}) \times (100)] / (\text{concentración del total de palinomorfos marinos})\}$.

También se muestran los resultados del análisis de componentes principales de las especies de quistes de dinoflagelados respecto a la profundidad de muestreo, a partir de la matriz de covarianza (Wallace y Dickinson, 1972), tanto de las abundancias absolutas de las especies de dinoflagelados, como de las abundancias de quistes de dinoflagelados relativas al total de palinomorfos marinos. El segundo de estos análisis se realizó sin considerar las concentraciones de *G. catenatum* por ser la especie dominante, y agrupando a nivel de género las especies de *Brigantedinium*.

Para probar la relación entre los registros absolutos, relativos, de componentes principales de los palinomorfos y las distintas variables ambientales oceánicas y climáticas, se realizó el análisis de correlación no-paramétrica de Spearman (r), determinando la significancia estadística mediante una prueba “t” con n-2 grados de libertad (p<0.10).

Los datos de las variables ambientales primero se normalizaron a los intervalos de tiempo correspondientes a cada muestra. Estas variables ambientales son:

- Precipitación pluvial en Sierra Nevada, EEUU (PPSN; Hughes y Graumlich, 1996), datos derivados en mediciones de anillos de árboles filtrados a 20 años, la serie se obtuvo en dc.cricyt.edu.ar/paleo/drought/drght_graumlich.html; y
- Temperatura superficial del mar derivada del registro de la variabilidad en la concentración de Sr/Ca en corales en la Isla Rarotonga (TSMrar; Linsley *et al.*, 2000b), serie obtenida en ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/paleo/coral/east_pacific/rarotonga_sr-ca.txt.

V.4 RESULTADOS

Las dataciones por ^{14}C indican que el intervalo estudiado abarca desde 1483 hasta 1967 y cada muestra representa aproximadamente 6.4 años de registro palinológico (figura 19). El intervalos de tiempo que integran las muestras es variable; el mayor intervalo es de 14 años (muestras 73), los menores intervalo son de 3 años (muestras 53, 43, 32, 20, 9 y 7) y el valor medio es de 7 años.

Las abundancias absolutas de palinomorfos totales (figura 19) presentaron una media de concentración de 8,036 c/gr s, con un valor máximo de 19,574 c/gr s (muestra 17) y tienden a aumentar de valores de la base a la cima del núcleo. Los palinomorfos marinos son los más abundantes, con concentraciones de hasta 12,500 c/gr s y tienden a aumentar de la base a la cima del núcleo. Los palinomorfos continentales y los hongos tienen concentraciones máximas de 4000 y 4300 c/gr s respectivamente y sus valores también tienen una ligera tendencia a aumentar de la base a la cima del núcleo.

En los conjuntos de quistes de dinoflagelados (figura 19) las formas gymnodiniales presentan las abundancias absolutas máximas (1,300 q/gr sed), seguidas por las peridiniales (1,150 q/gr sed) y las gonyaulacales (550 q/gr sed). Los quistes gymnodiniales están dominados por la especie *Gymnodinium catenatum*, los peridiniales (P) por el género *Brigantedinium* spp y los gonyaulacales (G) están dominados por la especie *Bitectatodinium spongium*.

En la mayor parte del núcleo, los quistes gymnodiniales presentan concentraciones menores a 150 q/gr sed, con un aumento ligero en la muestra 19 (280 q/gr sed). Pero de la muestra 12 a la 3 aumentan constantemente hasta presentar sus mayores abundancias (máximo 1,300 q/ gr s). Las abundancias absolutas de gymnodiniales presentan una correlación inversa y significativa (tabla X) con la TSMrar ($r=-0.63$). Las abundancias absolutas de las formas G y P presentan correlaciones significativas (tabla X) con la PPSN ($r=0.19$ y $r=0.29$ respectivamente), mientras que solo las P se correlacionan significativamente con la TSMrar ($r=0.45$).

Se identificaron 22 especies de quistes de dinoflagelados (tabla XI), once pertenecen al orden Peridiniales, dos pertenecen al orden Gymnodiniales y nueve pertenecen al orden

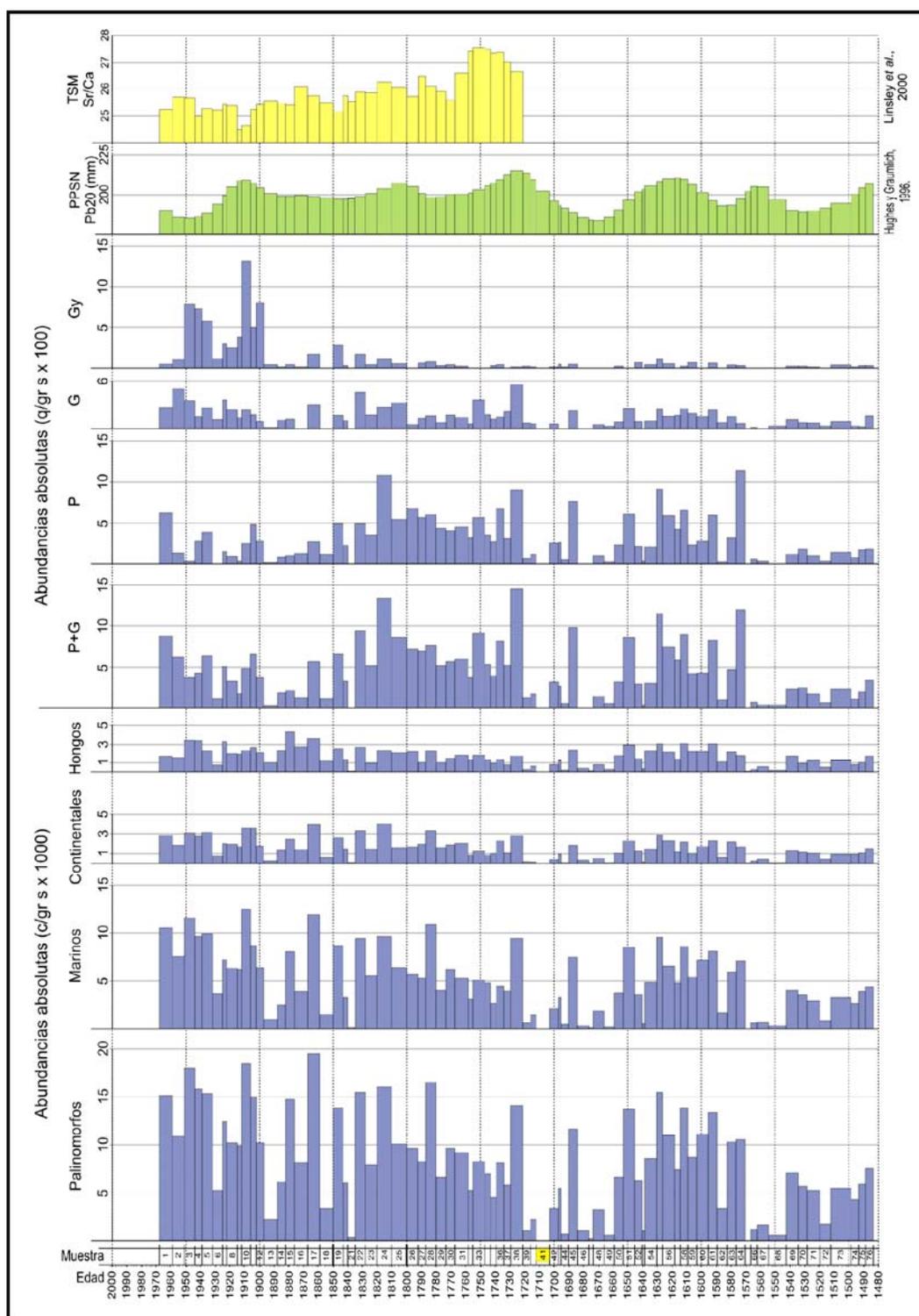


Figura 19. Abundancias absolutas de los conjuntos de palinomorfos, de quistes de dinoflagelados a nivel de orden y las variables ambientales PPSN y la TSM.

Tabla X. Correlaciones entre los registros de abundancias absolutas de quistes, componentes principales de las abundancias absolutas de quistes; componentes principales de las abundancias de quistes relativos a total de palinomorfos marinos y los índices ambientales. Los valores significativos se resaltan en negrillas ($p < 0.1$).

					Abundancias Absolutas		Abundancias Relativas	
	Peri	Gon	Gon+Peri	Gym	CP I	CP II	CPI	CP II
PPSN	0.29	0.19	0.25	0.05	0.18	0.25	0.25	0.01
TSMrar	0.45	0.07	0.38	-0.63	-0.53	0.47	0.73	0.01
Eigenvalor					55.2	23.3	66.9	21.9

PPSN=precipitación pluvial en Sierra Nevada; TSMrar= temperatura superficial del mar en Isla Raroronga; Gon= abundancias absolutas de Gonyaulacales; Peri = abundancias absolutas de Peridinales; Gon+Peri= abundancias absolutas de Peridinales y gonyaulacales; Gym= abundancias absolutas de Gymnodinales. CP I= componente principal I y CP II componente principal II.

Tabla XI. Nombre de las especies de quistes observadas (Fensome *et al.*, 1993).

Género	Especie
Orden Peridiniales	
<i>Brigantedinium</i>	<i>cf. simplex</i>
	<i>simplex</i>
	<i>cariacoense</i>
	<i>irregulare</i>
	<i>grande</i>
	<i>asymmetricum</i>
<i>Protoperidinium</i>	<i>stellatum</i>
<i>Quinquecuspis</i>	<i>concreta</i>
<i>Selenopenphix</i>	<i>nephroides</i>
<i>Votadinium</i>	<i>calvum</i>
	<i>spinosum</i>
Orden Gymnodiniales	
<i>Polykrikos</i>	<i>kofoidii</i>
<i>Gymnodinium</i>	<i>catenatum</i>
Orden Gonyaulacales	
<i>Spiniferites</i>	<i>ramosus</i>
	<i>cf. ramosus</i>
<i>Operculodinium</i>	<i>centrocarpum</i>
<i>Impagidinium</i>	<i>aculeatum</i>
<i>Bitectatodinium</i>	<i>spongium</i>
	<i>tepikiense</i>
<i>Nematosphaeropsis</i>	<i>labyrinthus</i>
<i>Polysphaeridium</i>	<i>cf. zoharyi</i>
<i>Tuberculodinium</i>	<i>vancampoae</i>

Gonyaulacales. La mayoría de las especies no se presentan de forma continua en todas las muestra y no sus abundancias no son mayores a 100 q/gr sed (figura 20).

Las especies que muestran mayores abundancias y continuidad en los intervalos de muestreo (dominantes) son: *Gymnodinium catenatum* (máximo 1,314 q/gr sed), *Brigantedinium grande* (máximo 631 q/gr sed), *B. cf. simplex* (máximo 428 q/gr sed), y *B. simplex* (máximo 425 q/gr sed), *Bitectatodinium spongium* (máximo 456 q/gr sed) y *Operculodinium centrocarpum* (máximo 116 q/gr sed).

El análisis de componentes principales de las abundancias absolutas de dinoflagelados (figura 21) muestra que los dos primeros componentes explican el 78.5 % de la varianza de los datos (tabla X). El componente principal I (eigenvalor= 55.2) está constituido de manera principal y positiva por *Gymnodinium catenatum* (100 %). La variabilidad de esta componente se relaciona de forma inversa y significativa con la TSMrar ($r=-0.53$; tabla X). El componente principal II (eigenvalor= 23.3) está constituido de manera positiva por las otras especies dominantes. La variabilidad de este componente se relaciona (tabla X) de forma positiva y significativa con la PPSN ($r= 0.25$) y con la TSMrar ($r=0.47$).

El análisis de componentes principales de las abundancias de dinoflagelados relativas al total de palinomorfos marinos (figura 22), se realizó sin considerar las concentraciones de *G. catenatum* y se agruparon las especies del género *Brigantedinium* spp. Este análisis muestra que los dos primeros componentes explican el 88.8 % de la varianza de los datos (tabla X). El componente principal I (eigenvalor= 66.9) está constituido por valores positivos del conjunto *Brigantedinium* spp (~100%) y *B. spongium* (~25%), y por valores negativos de *Q. concreta* (~-10%). La variabilidad de esta componente se relaciona de forma positiva y significativa con la TSMrar ($r=0.72$) y con la PPSN ($r=0.25$; tabla I). El componente principal II (eigenvalor= 21.9) está constituido por valores negativos de *B. spongium* (~-100%) y valores positivos de *Brigantedinium* spp. (~15%) y *Q. concreta* (~10%) y su variabilidad no se encuentra relacionada significativamente con las variables climáticas (tabla X).

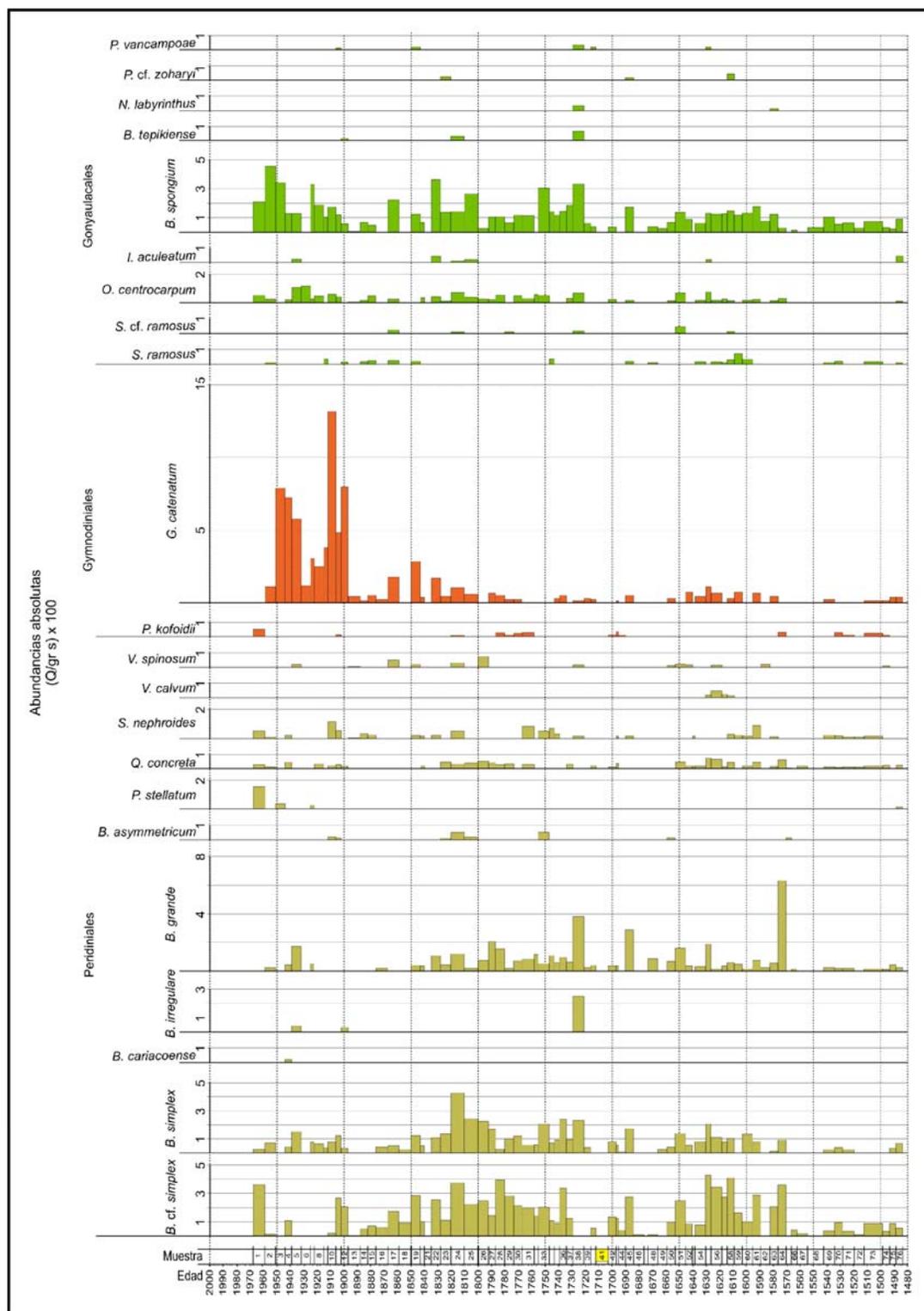


Figura 20. Abundancias absolutas de los quistes de dinoflagelados observados.

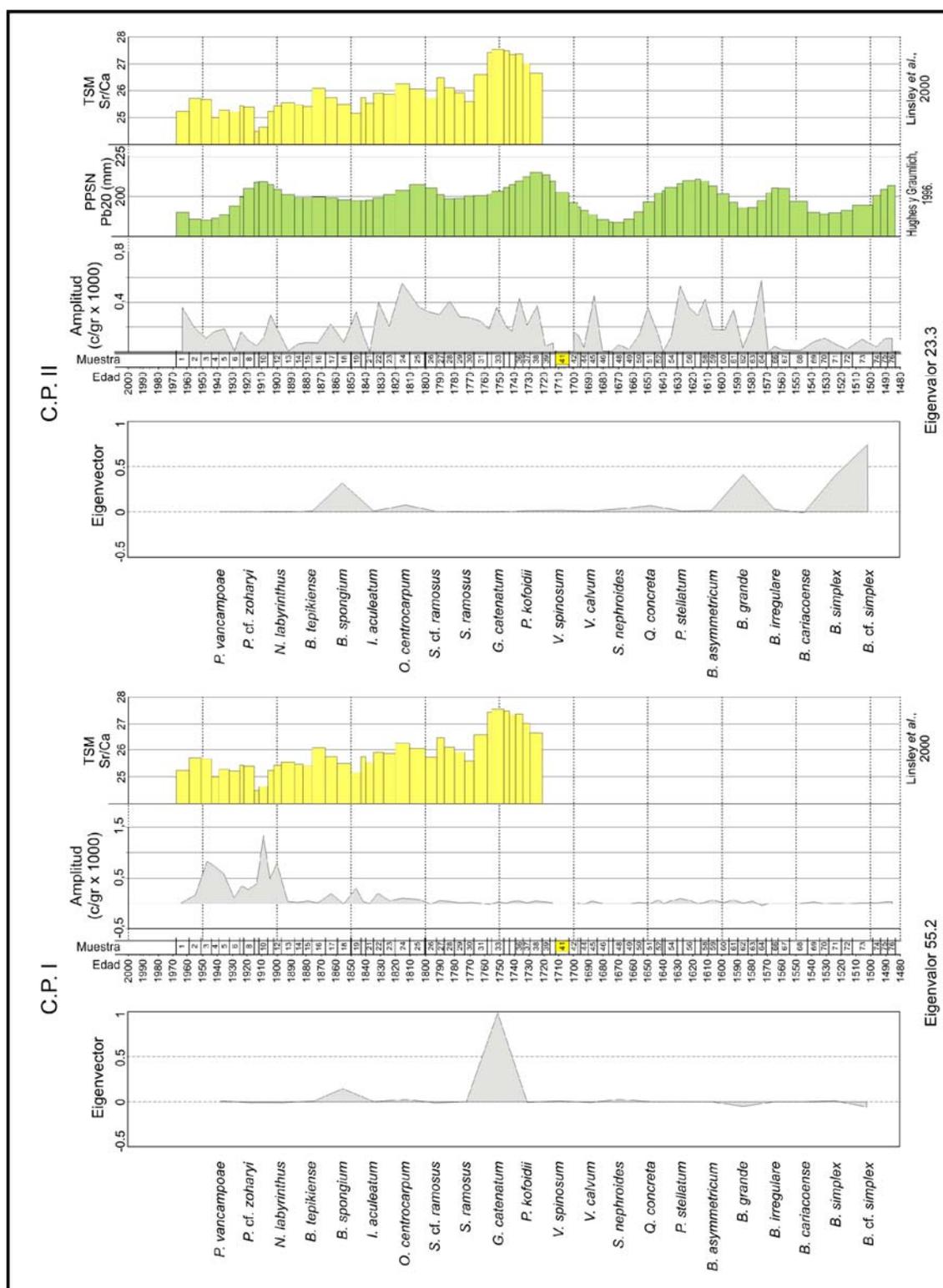


Figura 21. Primeros dos componentes principales de las abundancias absolutas de los quistes de dinoflagelados.

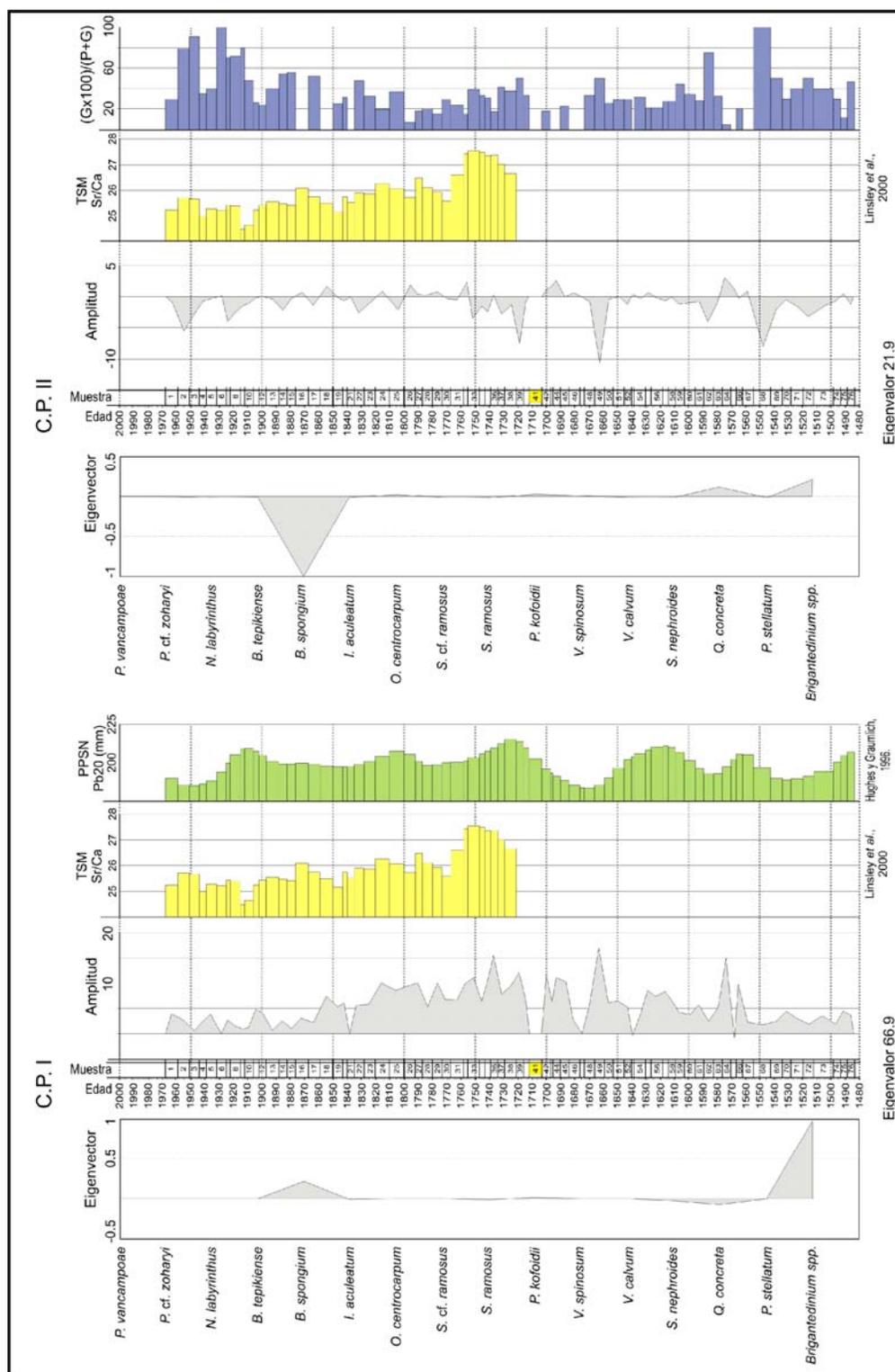


Figura 22. Primeros dos componentes principales de las abundancias de los quistes de dinoflagelados relativos al total de palinomorfos marinos.

V.5 DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Las abundancias absolutas y relativas de quistes de dinoflagelados, en los sedimentos estudiados, parecen estar moduladas por la variabilidad en las condiciones de surgencias y la TSM en la región sur oriental del Golfo de California.

Las correlaciones significativas y positivas encontradas al comparar los registros de abundancias absolutas de dinoflagelados (tabla X) gonyaulacales (G) y peridiniales (P), con las variables de la PPSN ($r=0.19$ y $r=0.29$ respectivamente) y la TSM_{rar} ($r=0.45$ con los peridiniales), sugieren que los dinoflagelados de estos dos órdenes son más abundantes en condiciones de surgencia. En estas condiciones, los G por ser fotosintéticos aprovechan las mayores concentraciones de nutrientes, mientras que los heterotróficos P se alimentan de diatomeas, dinoflagelados y otros productores primarios.

El componente principal II de las abundancias absolutas de dinoflagelados (figura 21), está constituido por las especies dominantes G y P, explicando el 23.3 % de la varianza de los datos (tabla X). Este CPII se encuentra relacionado de forma significativa y positiva con las PPSN y TSM_{rar} ($r=0.25$ y $r=0.47$ respectivamente), lo que también sugiere la influencia de los VNO sobre las concentraciones de quistes peridiniales y gonyaulacales.

La presencia de quistes de *G. catenatum* desde la base a la parte alta del núcleo nos indica que esta especie ocurría en el área desde 1483 (figura 20). Sus concentraciones presentan tres periodos de gran abundancia, estos son: 1828 a 1867, 1896 a 1912 y 1932 a 1950 (figura 20). Estos periodos coinciden con intervalos bajos de TSM_{rar} (Linsley *et al.*, 2000b), los cuales corresponden a momentos de menor índice de PDO, sugiriendo que *G. catenatum* ha sido más abundante en momentos en que las surgencias son menores en la región sur del Golfo de California (condiciones de La Niña).

Las abundancias absolutas de los Gymnodiniales, dominados por *G. catenatum* (figura 19), muestran correlación negativa y significativa (tabla I) con la TSM_{rar} ($r=-0.63$), lo que sugiere que esta especie es más abundante cuando la TSM_{rar} en el Pacífico ecuatorial es baja (La Niña). Como se mencionó más arriba, la baja TSM_{rar} se puede interpretar como disminución de los VNO, lo que permite estratificación en la columna de agua. En estas

condiciones la habilidad de migrar verticalmente de *G. catenatum* (Hallegraeff y Fraga, 1998) le permite florecer.

El componente principal I (CPI) de las abundancias absolutas de quistes (figura 21) está constituido casi exclusivamente por *G. catenatum* y explica el 55.2% de varianza de los datos. Este CPI muestra una correlación significativa y negativa (tabla X) con la TSM_{Mrar} ($r=-0.52$). Esta relación indica que la concentración de *G. catenatum* aumenta durante periodos de estratificación en la columna de agua. Como se mencionó anteriormente, una disminución en la TSM en Isla Rarotonga representa indirectamente una disminución en las condiciones de surgencia en la región sur oriental del Golfo de California, condiciones que favorecen las proliferaciones de *G. catenatum*.

Se calcularon los componentes principales de las abundancias de quistes relativas al total de palinomorfos marinos (figura 22), sin considerar a *G. catenatum*, pues esta especie es dominante en la parte alta del registro y minimiza la señal de las otras especies. Además, se agruparon las especies del género *Brigantedinium*, debido a su gran similitud morfológica. Las especies de este género en conjunto se relacionan con factores ambientales (Marret y Zonneveld, 2003; Pospelova *et al.*, 2008; Vásquez-Bedoya *et al.*, 2008).

El componente principal I (figura 22) incluye la variabilidad de las especies dominantes de quistes Peridinales y Gonyaulacales (excepto *Q. concreta*), la variabilidad de este componente está relacionada con los factores ambientales de TSM_{Mrar} y por la PPSN. Esta relación se puede interpretar como la variabilidad de los VNO propiciando condiciones de surgencia en la región suroccidental del Golfo de California y momentos propicios para la proliferación y producción de quistes de las especies de dinoflagelados asociadas en este componente.

El componente principal II (figura 22) representa de forma inversa a la especie dominante de G (*B. spongium*) y de forma directa a las especies P, por lo que es inverso al índice G/P $[(G*100)/(G+P)]$, con una variabilidad suavizada. En el capítulo III se mostró que la variabilidad de este índice puede ser explicado por la variabilidad de la TSM en el interior del Golfo de California durante el siglo XX, sin embargo no contamos con un

registro indirecto de TSM para siglos anteriores obtenido en áreas cercanas y no podemos probar la relación de G/P con la TSM.

De manera gráfica se comparó la amplitud del Componente II y del G/P con la TSMrar, observamos que algunos máximos/mínimos de TSMrar corresponden con algunos máximos/mínimos de abundancia G/P, pero no se encontró correlación. Las aguas en la entrada del Golfo de California están en una zona de transición compleja donde convergen masas de agua de la Corriente de California, del agua del Golfo de California y del agua Superficial Tropical (Castro *et al.*, 2000). Esta complejidad disminuye la relación entre las TSM regional y la tropical (TSM rar), por lo que las variaciones en nuestros conjuntos no pueden ser explicadas solo con la TSM tropical. Sin embargo, es probable que las grandes anomalías (positivas/negativas) si pueden ser asociadas con las condiciones tropicales de El Niño/La Niña.

En conclusión, el análisis palinológico de sedimentos laminados es de utilidad para interpretar variaciones climáticas y oceánicas a escala decadal en la región sur del Golfo de California. En particular, la variabilidad de los registros de los peridiniales y de los gonyaulacales sugiere una relación de sus abundancias con la precipitación pluvial en la Sierra Nevada (PPSN) y con la temperatura superficial del mar en Isla Rarotonga (TSMrar), esto se interpreta como la influencia de el fenómeno atmosférico y oceánico de El Niño en la escala inter-decadal, modulando los vientos del noroeste (VNO) que propician condiciones de surgencia en la región de estudio.

La presencia de quistes de *G. catenatum* en el intervalo de tiempo estudiado muestra que este dinoflagelado es autóctono de la región sur del Golfo de California; sus abundancias se relacionan de manera inversa con la TSMrar, lo que sugiere que esta especie es más abundante en condiciones de La Niña, cuando disminuyen los VNO y posiblemente la TSM es baja.

Capítulo VI

Discusión y conclusión general

Las acumulaciones absolutas y relativas de los conjuntos de palinomorfos depositados en sedimentos laminados entre 1483 y 1994, en la región suroriental del Golfo de California, responden a los efectos causados por variaciones atmosféricas de precipitación pluvial y dirección de los vientos que regulan dos de los principales componentes sedimentarios depositados en el área de estudio. En periodos de mayor precipitación pluvial hay mayor componente terrígeno depositado en la cuenca, mientras que cuando los vientos del noroeste promueven surgencias, se deposita mayor componente biogénico. El componente biogénico es además modulado por las variaciones de la TSM y que influyen en los conjuntos marinos especialmente en los dinoflagelados.

La presencia de quistes y su relación con variables físico-químicas de las aguas superficiales ha sido estudiada en sedimentos superficiales en el Pacífico Mexicano y Golfo de California (Peña-Manjarrez *et al.*, 2001 y 2005; Morquecho y Lechuga-Devéze, 2003; Cross *et al.*, 1966; Martínez-Hernández y Hernández-Campos, 1991). Los conjuntos de quistes de dinoflagelados observados aquí, contienen abundantes especímenes de las ordenes Gymnodiniales dominados por la especie *Gymnodinium catenatum* Graham, Gonyaulacales dominados por la especie *Bitectatodinium spongium* (Zonneveld) y Peridinales dominados por el género *Brigantedinium* spp.

G. catenatum, es una de las especies más tóxicas y dañinas en México y en el mundo, (Band-Schmidt *et al.*, 2005; Alonso-Rodríguez y Páez-Osuna, 2003) y es un componente común en florecimientos algales tóxicos de las costas del Océano Pacífico Mexicano y en el Golfo de California (Cortés-Altamirano y Núñez-Pasten, 1992; Hernández-Becerril *et al.*, 2007). Quistes de esta especie han sido reportados en sedimentos superficiales tanto en

el Golfo de California (Morquecho y Lechuga-Devéze, 2003), como en el Pacífico (Peña-Manjarrez, 2008).

G. catenatum se presenta después de las surgencias y desaparece en periodos de El Niño en la región sur del Golfo de California (Cortés-Altamirano, 1987). Durante una surgencia, las diatomeas predominan en condiciones de turbulencia, pero al restablecerse la estratificación en la columna de agua, son reemplazadas por dinoflagelados (Aguirre-Gómez *et al.*, 1999; Alonso-Rodríguez y Ochoa, 2004). Al parecer, la habilidad de migrar verticalmente *G. catenatum*, le permite florecer cuando se presenta estratificación de la columna de agua y una nutriclina somera (Fraga y Bakun, 1993; Hallegraeff y Fraga, 1998).

Además, *G. catenatum* presenta límites de temperatura óptimos de proliferación de 19 °C a 24°C (Matsuoka y Fukuyo, 1994). Al parecer, en latitudes altas las TSM frías limitan el desarrollo de *G. catenatum* (Dale y Nordberg, 1993; Thorsen y Dale, 1998). Considerando la disminución observada de *G. catenatum* durante periodos El Niño (Cortés-Altamirano, 1987), los cuales representan temperaturas altas en la región, suponemos que en las latitudes bajas de la parte sur del Golfo de California, las TSM cálidas limitan la proliferación de esta especie.

Por otra parte, la diversidad y abundancia de quistes Gonyaulacales (G) y Peridinales (P) se relacionan fuertemente con surgencias (Prauss, 2002; Sprangers, *et al.*, 2004; Pospelova, *et al.*, 2008; Vázquez-Bedoya *et al.*, 2008). Aparentemente, ambos tipos de dinoflagelados (G y P), tienden a proliferar cuando hay altas concentraciones de nutrientes y suficiente luz solar (Peña-Manjarrez, *et al.*, 2005), pero en diferentes temperaturas, resultado de sus estrategias tróficas. La relación G/P, ha sido usada como indicadora indirecta de temperatura superficial del mar (Mudie y Harland, 1996; Rochon, *et al.*, 1999; Marret, *et al.*, 2001). Incluso la especie fotosintética *B. spongium* es considerada como indicadora de aguas cálidas en el Golfo de California (Pospelova *et al.*, 2008).

En el presente trabajo se utilizaron tres tipos de índices: 1) los que representan la variabilidad de los vientos (PDO, Biondi *et al.*, 2001; PPSN, Hughes y Graumlich, 1996 y TSMrar, Linsley *et al.*, 2000b); 2) los que representan la variabilidad de la precipitación pluvial de verano en la región (PDSI, Cook y Krusic, 2004; EIII-JJAS, IMTA; y C-JJAS,

Cavazos *et al.*, 2008); y 3) los que representan la variabilidad en la temperatura superficial del mar ($\delta^{18}\text{O}$, Linsley *et al.*, 2000a; la TSM, Kaplan *et al.*, 1998; y FSR, Mann *et al.*, 2005).

Precipitación pluvial y variabilidad del viento. En el área se han estudiado, los procesos atmosféricos que modelan la variabilidad del viento (Badan-Dangon *et al.*, 1991; Douglas *et al.*, 1993; Brito-Castillo *et al.*, 2003), además de la influencia que tiene este viento sobre distintos procesos oceánicos (Jiménez *et al.*, 2005). En la escala estacional, durante invierno-primavera, el viento sopla del noroeste promoviendo surgencias en la costa oriental, mientras que en verano invierte su dirección y promueve precipitaciones con características de Monzón (Douglas *et al.*, 1993). Aparentemente, este ciclo permite la depositación de sedimentos laminados en varias regiones del Golfo (Calvert, 1966), aunque no sea exactamente un armónico anual (Jiménez *et al.*, 2005).

En la escala interdecadal el viento del noroeste se ha encontrado relacionado (Bernal *et al.*, 2001) con las fases positivas/cálidas del índice PDO obtenido por Biondi *et al.* (2001). Este índice representa la variabilidad de la influencia del océano Pacífico a través de la precipitación de invierno en el suroeste de Estados Unidos y norte de Baja California. Sin embargo, difiere del índice del PDO medido (Mantua *et al.*, 1997), pues aparentemente, el índice de Biondi *et al.* (2001) refleja la interacción regional del PDO con el ENSO (Biondi *et al.*, 2001). Las fases positivas/cálidas del índice del PDO Biondi *et al.*, (2001) explican principalmente y de forma confiable la variabilidad de las abundancias absolutas y relativas principalmente de los conjunto Peridiniales y ligeramente a los Gonyaulacales (Capítulo III). Sin embargo, muestra una correlación baja con las abundancias absolutas o relativas de los otros conjuntos marinos, pues estos conjuntos no representan una dependencia tan directa con la productividad primaria, como los dinoflagelados (Capítulo II).

Otro registro que aparentemente refleja la variabilidad de la interacción PDO medido y ENSO es el de la PPSN (Hughes y Graumlich, 1996). Al igual que el de Biondi *et al.* (2001), este también fue calculado a partir de anillos de árboles, solo que en la Sierra Nevada y representa la precipitación anual en este sitio, expresado en milímetros. Las fases positivas/cálidas del índice de PDO de Biondi *et al.* (2001) se corresponden con las

fases húmedas del índice de PPSN representando la influencia del viento del noroeste en la escala estacional y no solo durante el invierno y explicando los momentos de mayor depositación biogénica en nuestra área de estudio (Capítulo II). La interferencia regional del PDO medido y el ENSO en sus fases positivas/cálidas resultan en veranos secos (Brito-Castillo *et al.*, 2003), coincidiendo aparentemente con las fases húmedas de la PPSN y permitiendo la depositación de concentraciones altas de palinomorfos (Capítulos II y V), al haber un menor aporte terrígenos (Cross *et al.*, 1966). Mientras que la combinación de fases cálida/positiva del PDO y fase fría/negativa del ENSO (La Niña), deriva en veranos más húmedos (Brito-Castillo *et al.*, 2003), coincidiendo con las fases secas de la PPSN y promoviendo mayor transporte de material terrígeno y diluyendo las concentraciones de los palinomorfos (Cross *et al.*, 1966).

Los registros históricos de precipitación pluvial (PDSI, Cook y Krusic, 2004; EIII-JJAS, IMTA; y C-JJAS, Cavazos *et al.*, 2008) con los que se han comparado los resultados (Capítulo II), no muestran valores significativos de correlación con las concentraciones de los palinomorfos. Sin embargo, nuestro resultado de concentraciones de palinomorfos totales, muestran que las bajas concentraciones de palinomorfos (contenido biogénico) corresponden con periodos de mayor precipitación pluvial de verano en nuestra región. Esta correspondencia apoya la hipótesis de que las abundancias absolutas de todos los palinomorfos son diluidas de igual forma por la depositación de terrígenos en periodos de mayor precipitación pluvial en la región.

Temperatura superficial del mar. El Golfo de California esta sujeto al forzamiento dinámico por el Océano Pacífico a través de la boca. Este forzamiento domina las características de las masas de agua dentro del golfo, mareas, ondas internas de diferentes escalas, perturbaciones causadas por huracanes, ondas de origen ecuatorial atrapadas en la costa, una invasión anual de agua superficial de origen ecuatorial y variaciones de periodo largo como el Niño (Lavín *et al.*, 1997). El forzamiento tropical ENSO afecta principalmente en periodos interanuales y está asociado significativamente con anomalías positivas/negativas de la TSM (El Niño/ La Niña; Bernal *et al.*, 2001), aunque la variabilidad de la TSM en los trópicos, también incluye bajas frecuencias (Linsley *et al.*, 2000a; Mestas-Núñez y Enfield, 2001; Dunbar *et al.*, 1994).

Las anomalías positivas/cálidas (El Niño) coinciden con el incremento en la profundidad de la termoclina (Trasviña *et al.*, 1999; Herguera, 2006). La acumulación de agua caliente y una nutriclina más profunda resultan en una surgencia débil que no favorece un crecimiento vigoroso del fitoplancton (Chávez, 1987). Esta modulación se observa en los resultados de la variabilidad en los conjuntos de dinoflagelados, en el análisis general de los palinomorfos (Capítulo II), en los análisis específicos de quistes (Capítulos III, IV y V). Las surgencias no son vigorosas cuando las anomalías de la TSM son positivas/cálidas, permitiendo que los dinoflagelados Gonyaulacales (fotosintético) sean relativamente los dominantes. Mientras que las surgencias son vigorosas cuando las anomalías de la TSM son negativas/frías, permitiendo que los dinoflagelados Peridiniales (heterótrofos) sean los dominantes. Por otro lado, si la columna de agua es estable y las fases de la TSM son negativas/frías, resulta en una disminución de turbulencia y nutriclina somera, lo cual permite la dominancia de *G. catenatum* (Gymnodinial) especie sensible a la turbulencia (Capítulos IV y V).

En resumen, la variabilidad atmosférica en el noroeste de México durante el intervalo de 1483 a 1994, es modulada por los forzamientos interanuales e interdecadales representados por la interacción regional del PDO medido y el ENSO, respectivamente y su registro se observa en los sedimentos laminados depositados en la cuenca Pescadero. La interacción de las fases positivas/cálidas de ambos forzamientos refleja el aumento del viento del noroeste, propiciando surgencias durante el invierno primavera y veranos secos, depositándose un mayor contenido biogénico. Mientras que, la interacción de la fase positiva/cálida del PDO con la fase negativa/frías del ENSO y las fases negativas/frías del PDO medido refleja la disminución de los vientos del noroeste durante invierno-primavera y el aumento de la precipitación de verano; depositándose un mayor contenido terrígeno.

Los conjuntos de dinoflagelados están modulados por la variabilidad de los vientos, pero también muestran influencia de la TSM sobre la dominancia de algunas especies debido a la profundidad de la nutriclina. En fases positivas/cálidas de la TSM, cuando las surgencias no son vigorosas, las formas gonyaulacales (fotosintéticas), son relativamente dominantes. En fases negativas/frías de la TSM, cuando las surgencias son vigorosas, las formas peridiniales (heterótrofas) dominan. Mientras que, cuando se presenta una

estratificación de la columna de agua, la forma dominante es la de *G. catenatum* (gymnodinial).

Referencias

- Aguilar-Rosas, R., 1996. Primer registro de *Haloguignardia irritans* (Sphaeriales, Ascomycetes) para las costas del Pacífico mexicano. *Ciencias Marinas*. 22(4): 523-529.
- Aguirre-Gómez, R., Álvarez, R., Salmerón-García, O., 1999. Red tide evolution in the Mazatlán Bay area from remotely sensed sea surface temperatures. *Geofísica Internacional*. 38(2): 63-71.
- Alonso-Rodríguez, R., Ochoa, J. L., 2004. Hydrology of winter-spring “red tides” in Bahía de Mazatlan, Sinaloa, México. *Harmful Algae*. 3: 163-171.
- Alonso-Rodríguez, R., Páez-Osuna, F., 2003. Nutrients, phytoplankton and harmful algal blooms in shrimp ponds: a review with special reference to the situation in the Gulf of California. *Aquaculture*. 219: 317-336.
- Álvarez-Borrego, S., Lara-Lara, J. R., 1991. The physical environment and primary productivity of the Gulf of California. En: Dauphin JP y Simoneit BR (eds.). *The Gulf of California and Peninsular Province of the Californias*. Mem. Am. Assoc. Petroleum Geologists. 47: 555-567.
- Andrews, E. D., Antweiler, R. C., Neiman, P. J., Ralph, F. M., 2004. Influence of ENSO on Flood Frequency along the California Coast. *Journal of Climate*. 17: 337-348.
- Araúzo-Sánchez, M., Álvarez-Cobellas, M., Rubio-Olmo, A., 1987. Efecto de una infección de hongos Chytridiales (Phycomycetes) sobre una población natural del alga *Fotteralla tetrachlorelloides* Buch (Chlorophyceae, Oocystaceae). *Anales Jard. Bot. Madrid*. 44(2): 199-209.
- Badan-Dangon, A., Dorman, C. E., Merrifield, M. A., Winant, C. D., 1991. The Lower Atmosphere Over the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research*. 96(C9): 16877-16896.
- 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, División de Oceanología. 88 pp.
- Band-Schmidt, C. J., Bustillos-Guzmán, J., Gárate-Lizárraga, I., Lechuga-Devéze, C. H., Reinhardt, K., Luckas, B., 2005. Paralytic shellfish toxin profile in strains of the dinoflagellate *Gymnodinium catenatum* Graham and the scallop *Argopecten*

ventricosus G. B. Sowerby II from Bahía Concepción, Gulf of California, Mexico. *Harmful Algae*. 4: 21-31.

- Barron, J. A., Bukry, D., Bischoff, J. L., 2002. A 2,000-Year-Long Record of Climate from the Gulf of California. En: G.J. West y N.L. Blomquist (Eds). *Proceedings of the Nineteenth Annual Pacific Climate Workshop*. 11-21.
- Baumgartner, T., Christensen, N., 1978. An improved cross-correlation technique for cross-dating varve series taken from different sediment coring sites within a small study area. *Ciencias Marinas*. 5(1): 119-136.
- Baumgartner, T., Ferreira-Bartrina, V., Schrader, H., Soutar, A., 1985a. A 20-years varve record of siliceous phytoplankton variability in the central Gulf of California. *Marine Geology*. 64: 113-129.
- Bernal, G., Ripa, P., Herguera, J. C., 2001. Oceanographic and Climatic Variability in the Lower Gulf of California: Links with the Tropics and North Pacific. *Ciencias Marinas*. 27(4): 595-617.
- Biondi, F., Gershunov, A., Cayan, D. R., 2001. North Pacific Decadal Climate Variability since 1661. *Journal of Climate Letters*. 14: 5-10.
- Brito-Castillo, L., Douglas, A. V., Leyva-Contreras, A., Lluch-Belda, D., 2003. The effect of Large-Scale circulation on precipitation and streamflow in the Gulf of California continental watershed. *International Journal of Climatology*. 23: 751-768.
- Calvert, S. E., 1966. Origin of diatom-rich, varved sediments from the Gulf of California. *Journal of Geology*. 74(5): 546-565.
- Castillo-Machalskis, I., D'Armas, H., Centeno, S., Núñez, M., 2006. Actividad antifúngica de extractos crudos de hongos marinos aislados de raíces del mangle rojo (*Rhizophora mangle* L.). //C:\SciELO\serial\bcib\v40n1\body\art_05.htm.
- Castro, R., Mascarenhas, A.S., Durazo, R., Collins, C. A., 2000. Variación estacional de la temperatura y salinidad en la entrada del Golfo de California, México. *Ciencias Marinas*. 26(4): 561-583.
- Cavazos T, Turrent C y Lettenmaier DP. 2008. Extreme precipitation trends associated with tropical cyclones in the core of the North American monsoon. *Geophysical Research Letters*. 35: L21703.
- Chavez, F., 1987. El Niño y la Oscilación del Sur. *Investigación y Ciencia*. 128: 46-55.

- Cook, E. R., Krusic, P. J., 2004. The North American Drought Atlas. Lamont-Doherty Earth Observatory and National Science Foundation.
- Cortés-Altamirano, R., Núñez-Pasten, A., 1992. Doce años (1979-1990) de registros de mareas rojas en la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. Universidad Nacional Autónoma de México. 19(1): 113-121.
- Cortés-Altamirano, R., 1987. Observaciones de mareas rojas en la Bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. *Ciencias Marinas*. 13(4): 1-19.
- Cortés-Lara, M. C., Álvarez-Borrego, S., Giles-Guzmán, A. D., 1999. Efecto de la mezcla vertical sobre la distribución de Nutrientes y Fitoplancton en dos regiones del Golfo de California, en verano. *Rev. Soc. Mex. Hist. Nat.* 49: 193-206.
- Cross, A. T., Thompson, G. G., Zaitzeff, J. B., 1966. Source and distribution of palynomorphs in bottom sediments, southern part of Gulf of California. *Marine Geology*. 4: 467-524.
- Dale, B., 2001. The sedimentary record of dinoflagellate cyst: looking back into the future of phytoplankton blooms. *Scientia Marina*. 65(2): 257-272.
- Dale, B., Nordberg, K., 1993. Possible environmental factors regulating prehistoric and historic “blooms” of the toxic dinoflagellate *Gymnodinium catenatum* in the Kattegat-Skagerrak region of Scandinavia. En: Smayda, T. J., Shimizu, Y. (eds), *Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea*, Elsevier Science Publishers B. V.. 53-57.
- Davis, C. C., 1983. Planktonic copepoda (including Monstrilloida). En: Steidinger, K. A., Walker, L. M. (Eds.). *Marine plankton life cycle strategies*. CRC Press. 67-91.
- De-Vernal, A., Rochon, A., Hillaire-Marcel, C., Turon, J. L., Guiot, J., 1993a. Quantitative reconstruction of sea-surface conditions, seasonal extent of sea-ice cover and meltwater discharges in high latitude marine environment from dinoflagellate cyst assemblages. In: Peltier, W. R. (ed), *Ice in the Climate System*. NATO ASI Series I. 12: 611-621.
- De-Vernal, A., Turon, J. L., Guiot, J., 1993b. Dinoflagellate cyst distribution in high-latitude marine environments and quantitative reconstruction of sea-surface salinity, temperature, and seasonality. *Can. J. Earth Sci.* 31: 48-62.
- Donegan, D., Schrader, H., 1982. Biogenic and abiogenic components of laminated hemipelagic sediments in Central Gulf of California. *Marine Geology*. 48: 215-237.

- Douglas, R., Gonzalez-Yajimovich, O., Ledesma-Vazquez, J., Staines-Urias, F., 2007. Climate forcing, primary production and the distribution of Holocene biogenic sediments in the Gulf of California. *Quaternary Science Reviews*. 26: 115-129.
- Douglas, M. W., Maddox, R. A., Howard, K., 1993. The Mexican monsoon. *Journal of Climate*. 6: 1665-1677.
- Dunbar, R. B., Wellington, G. M., Colgan, M. W., Glynn, P. W., 1994. Eastern Pacific sea surface temperature since 1600 A. D.: The $\delta^{18}\text{O}$ record of climate variability in Galápagos corals. *Paleoceanography*. 9(2): 291-315.
- Edwards, L. E., 1992. New semiquantitative (paleo)temperature estimates using dinoflagellate cysts, an example from the north Atlantic Ocean. In: Head, M. J., Wrenn, J. H. (eds.), *Neogene and Quaternary Dinoflagellate Cyst and Acritarchs*. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation. 69-87.
- Elsik, W. C., 1993. The Morphology, Taxonomy, Classification and Geologic Occurrence of Fungal Palynomorphs. Short Course, The American Association of Stratigraphic Palynologists, Inc. 236 pp.
- Emery, K. O., Hulsemann, J., 1962. The relationship of sediments, life and waters in a marine basin. *Deep Sea Research*. 8: 165-180.
- Esparza-Álvarez, M. A., Herguera, J. C., Lange, C., 2007. Last century patterns of sea surface temperatures and diatom (>38 μm) variability in the Southern California current. *Marine Micropaleontology*. 64: 18-35.
- Esper, O., Zonneveld, K. A. F., 2007. The potential of organic-walled dinoflagellate cysts for the reconstruction of past sea-surface conditions in the Southern Ocean. *Marine Micropaleontology*. 65: 185-212.
- Fensome, R. A., Taylor, F. J. R., Norris, G., Sarjeant, W. A. S., Wharton, D. I., Williams, G. L., 1993. A classification of living and fossil dinoflagellates. *Micropaleontology Special Publication* 7. 351 pp.
- 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.
- Fraga, F., Pérez, F. F., Figueiras, F. G., Ríos, A. F., 1992. Stoichiometric variations of N, P, C y O₂ during a *Gymnodinium catenatum* red tide and their interpretation. *Mar, Ecol, Prog, Ser.* 87: 123-134.

- Fraga, S., Bakun, A., 1993. Global climate change and harmful algal blooms: the example of *Gymnodinium catenatum* on the Galicias coast. En: Smayda, T. J., Shimizu, Y. (eds), Toxic Phytoplankton Blooms in the Sea, Elsevier Science Publishers B. V.. 59-65.
- García-Pámanes, J., Lara-Lara, J. R., 2001. Pastoreo por el microzooplancton en el Golfo de California. *Ciencias Marinas*. 27(1): 73-90.
- Gedalof, Z., Mantua, N. J., Peterson, D. L., 2002. A multi-century perspective of variability in the Pacific Decadal Oscillation: new insights from tree rings and coral. *Geophysical Research Letters*. 29(24): 57-60.
- Graham, H. W., 1943. *Gymnodinium catenatum*, a new dinoflagellate from the Gulf of California. *Transactions of the American Microscopical Society*. 62: 259-261.
- Hallegraeff, G. M., Fraga, S., 1998. Bloom Dynamics of the Toxic Dinoflagellate *Gymnodinium catenatum*, with Emphasis on Tasmanian and Spanish Coastal Waters. En: Anderson DM, Cembella AD y Hallegraeff GM (eds), *Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms*. NATO ASI Series. 41: 59-80.
- Harland, R., 1989. A dinoflagellate cyst record for the last 0.7 Ma from the Rockall Plateau, northeast Atlantic Ocean. *Journal of the Geological Society*. 146: 945-951.
- Harland, R., 1994. Dinoflagellate cysts from the glacial/postglacial transition in the northeast Atlantic Ocean. *Palaeontology*. 37(2): 263-283.
- Herguera, J. C., 2006. Coastal Biogeochemical and Ecological Processes from the Easter Tropical North Pacific to the Gulf of California (7,E). En: Robinson, A. R., Brink, H. (eds), *The Sea*. 14: 391-439.
- Herguera, J. C., Bernal, G., Molina-Cruz, A., 2003. Decadal surface ocean variability in the lower Gulf of California: Records for the past 300 years. *Geofísica Internacional*. 42(3): 397-406.
- Hernández-Becerril, D. U., Alonso-Rodríguez, R., Álvarez-Góngora, C., Barón-Campis, S. A., Ceballos-Corona, G., Herrera-Silveira, J., Meave del Castillo, M. E., Juárez-Ruíz, N., Merino-Virgilio, F., Morales-Blake, A., Ochoa, J. L., Orellana-Cepeda, E., Ramírez-Camarena, C., Rodríguez-Salvador, R., 2007. Toxic and harmful marine phytoplankton and microalgae (HABs) in Mexican Coasts. *Journal of Environmental Science and Health Part A*. 42: 1349-1363.
- Huang, C. J., Wang, W., Huang, R. X., 2007. Climate Variability in the Equatorial Pacific Ocean Induced by Decadal Variability of Mixing Coefficient. *Journal of Physical Oceanography*. 37: 1163-1176.

- Hughes, M. K., Graumlich, L. J., 1996. Multimillennial Dendroclimatic Record From Western North America. En: Bradley, R. S., Jones, P. D., Jouzel, J.(eds), Climatic variations and forcing mechanisms of the last 2000 years. NATO ASI Series. 141: 109-124.
- Jansonius, J., McGregor, D. C., 1996. Introduction. En: Jansonius, J., McGregor, D.C. (eds.), Palynology: Principles and Applications, American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation. Vol. 1: 1-10.
- Jarzen, D. M., Nichols, D. J., 1996. Pollen. En: Jansonius, J., McGregor, D.C. (eds.), Palynology: Principles and Applications, American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation. Vol. 1: 261-292.
- Jiménez, A., Marinone, S. G., Parés-Sierra, A., 2005. Effect of the spatial and temporal variability of winds on the circulation in the Gulf of California. *Ciencias Marinas*. 31(2): 357-368.
- Juillet-Leclerc, A., Schrader, H., 1987. Variations of upwelling intensity recorded in varved sediment from the Gulf of California during the past 3,000 years. *Nature*. 329: 146-149.
- Kahru, M., Marinone, S. G., Lluch-Cota, S. E., Parés-Sierra, A., Mitchell, B.G., 2004. Ocean-color variability in the Gulf of California: scales from days to ENSO. *Deep-Sea Research II*. 51: 139-146.
- Kalgutkar, R. M., Jansonius, J., 2000. Synopsis of fossil fungal spores, mycelia and fructifications. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation. Contributions series. 39: 423 pp.
- Kaplan, A., Cane, M. A., Kushnir, Y., Clement, A. C., Blumenthal, M. B., Rajagopalan, B., 1998. Analysis of global sea surface temperatures 1856-1991. *J. Geophys. Res.* 103: 18567-18589.
- Kemp, A.E.S. y Bauldauf, J.G., 1993. Vast Neogene laminated diatom marine deposits from the Eastern Equatorial Pacific Ocean. *Nature*. 362 (6416):141-144.
- Koga, F., 1968. On the Pelagic Eggs of Copepoda. *Journal of the Oceanographical Society of Japan*. 24(1): 16-20.
- Lavín, M. F., Beier, E., Badan, A., 1997. Estructura hidrográfica y circulación del Golfo de California: Escalas estacional e interanual. En: Lavín, M. F. (Ed), *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*. Unión Geofísica Mexicana. 3: 141-171.

- León, J., Liza, L., Soto, I., Cuadra, D., Patiño, L., Zarpa, R., 2007. Actinomycetes bioactivos de sedimento marino de la costa central del Perú. *Rev. peru. biol.* 14(2): 259-270.
- Linsley, B. K., Ren, L., Dunbar, R. B., Howe, S. S., 2000a. El Niño Southern Oscillation (ENSO) and decadal-scale climate variability at 10°N in the eastern Pacific from 1893 to 1994: A coral-based reconstruction from Clipperton Atoll. *Paleoceanography*. 15(3): 322-335.
- Linsley, B. K., Wellington, G. M., Schrag, D. P., 2000b. Decadal sea surface temperature variability in the subtropical South Pacific from 1726 to 1997 AD. *Science*. 290(5494): 1145-1148.
- Linsley, B. K., Wellington, G. M., Schrag, D. P., Ren, L., Salinger, M. J., Tudhope, A. W., 2004. Geochemical evidence from corals for changes in the amplitude and spatial pattern of South Pacific interdecadal climate variability over the last 300 years. *Climate Dynamics*. 22: 1-11.
- Makarov, V., Jiménez-Illescas, A., 2003. Barotropic background currents in the Gulf of California. *Ciencias Marinas*. 29(2): 141-153.
- Mann, M. E., Cane, M. A., Zebiak, S. E., Clement, A., 2005. Volcanic and Solar Forcing of the Tropical Pacific over the Past 1000 Years. *American Meteorological Society*. 18: 447-456.
- Mantua, N. J., Here, S. R., Zhang, Y., Wallace, J. M., Francis, R. C., 1997. A Pacific Interdecadal Climate Oscillation with Impacts on Salmon Production. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 78(6): 1069-1079.
- Marcus, N. H., Boero, F., 1998. Minireview: The importance of benthic-pelagic coupling and the forgotten role of life cycles in coastal aquatic systems. *Limnol. Oceanogr.* 43(5): 763-768.
- Marinone, S. G., Parés-Sierra, A., Castro, R., Mascareñas, A., 2004. Correction to "Temporal and Spatial variation of the surface winds in the Gulf of California". *Geophysical Research Letters*. 31: L10305, doi:10.1029/2004GL020064.
- Marret, F., Zonneveld, K. A. F., 2003. Atlas of modern organic-walled dinoflagellate cyst distribution. *Review of Palaeobotany and Palynology*. 125: 1-200.
- Marret, F., de Vernal, A., Benders, F., Harland, R., 2001. Late Quaternary sea-surface conditions at DSDP Hole 594 in the southwest Pacific Ocean based on dinoflagellate cyst assemblages. *J. Quat. Sci.* 16: 739-751.

- Martínez-Hernández, E., Hernández-Campos, H. E., 1991. Distribución de quistes de dinoflagelados y acritarcas en sedimentos holocénicos del Golfo de California. Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología, Paleontología Mexicana 57. 131 pp
- Matsuoka, K., Fukuyo, Y., 1994. Geographical Distribution of the Toxin Dinoflagellate *Gymnodinium catenatum* Graham in Japanese Coastal Waters. Botanica Marina. 37: 495-503.
- Matsuoka, K., Joyce, L. B., Kotani, Y., Matsuyama, Y., 2003. Modern dinoflagellate cysts in hypertrophic coastal waters of Tokyo Bay, Japan. Journal of Plankton Research. 25(12): 1461-1470.
- Mestas-Núñez, A. M., Enfield, D. B., 2001. Eastern Equatorial Pacific SST Variability: ENSO and Non-ENSO Components and Their Climatic Associations. American Meteorological Society. 14: 391-402.
- Minnich, R. A., Franco-Vizcaíno, E., Dezzani, R. J., 2000. The El Niño/Southern Oscillation and Precipitation Variability in Baja California, Mexico. *Atmósfera*. 13: 1-20.
- Morquecho, L., Lechuga-Devéze, C. H., 2003. Dinoflagellate Cysts in Recent Sediments from Bahía Concepción, Gulf of California. *Botanica Marina*. 46: 132-141.
- Mudie, P. J., Harland, R., 1996. Aquatic Quaternary. En: Jansonius, J., McGregor, D.C. (eds.), *Palynology: Principles and Applications*, American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation. Vol. 1: 843-878.
- Mudie, P. J., Rochon, A., Aksu, A. E., Gillespie, H., 2002a. Dinoflagellate cysts, freshwater algae and fungal spores as salinity indicators in Late Quaternary cores from Marmara and Black seas. *Marine Geology*. 190: 203-231.
- Mudie, P. J., Rochon, A., Levac, E., 2002b. Palynological records of red tide-producing species in Canada: past trends and implications for the future. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 180: 159-186.
- Páez-Osuna, F., Gracia, A., Flores-Verdugo, F., Lyle-Fritch, L. P., Alonso-Rodríguez, R., Roque, A., Ruiz-Fernández, A. C., 2003. Shrimp aquaculture development and the environment in the Gulf of California ecoregion. *Marine Pollution Bulletin*. 46: 806-815.
- 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: 1375-1393.
- Peña-Manjarrez, J. L., 2008. Ecología de dinoflagelados productores de florecimientos en la Bahía de Todos Santos, Baja California. Tesis de Doctorado, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Departamento de Ecología. 181 pp.
- Playford, G., Dettman, M. E., 1996. Spores. En: Jansonius, J., McGregor, D.C. (eds.), *Palynology: Principles and Applications*, American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation. Vol. 1: 227-260.
- Pospelova, V., de-Vernal, A., Pedersen, T. F., 2008. Distribution of dinoflagellate cysts in surface sediments from the northeastern Pacific Ocean (43-25oN) in relation to sea-surface temperature, salinity, productivity and coastal upwelling. *Marine Micropaleontology*. 68: 21-48.
- Prauss, M. 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: 217-238.
- Radi, T., de-Vernal, A., 2004. Dinocyst distribution in surface sediments from the northeastern Pacific margin (40-60oN) in relation to hydrographic conditions, productivity and upwelling. *Review of Palaeobotany and Palynology*. 128: 169-193.
- Radi, T., de-Vernal, A., 2008. Dinocysts as proxy of primary productivity in mid-high latitudes of the Northern Hemisphere. *Marine Micropaleontology*. 68: 84-114.
- Revelle, R. R., 1950. Sedimentation and oceanography: survey of field observations, pt 5 of 1940 E. W. Scripps cruise to the Gulf of California. *Geological Society of America, Memoir V*. 43: 1-6.
- Rochon, A., de-Vernal, A., Turon, J. L., Matthiessen, J., 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 Foundation, Contributions Series* 35: 1-150.
- Roldán, A., Honrubia, M., 1989. Saprophytic marine fungi from the coast of Alicante (Spain). *Anales Jard. Bot.* 46(1): 207-214.
- Round, F. E., 1968. The phytoplankton of the Gulf of California. Part II. The distribution of phytoplankton diatoms in cores. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 2: 64-86.

- Ruiz-Fernández, A. C., Hillaire-Marcel, C., Ghaleb, B., Soto-Jiménez, M., Páez-Osuna, F., 2002. Recent sedimentary history of anthropogenic impacts on the Culiacan River Estuary, northwestern Mexico: geochemical evidence from organic matter and nutrients. *Environmental Pollution*. 118: 365-377.
- Santamaría-del-Angel, E., Álvarez-Borrego, S., 1994. Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery. *Journal of Geophysical Research*. 99(C4): 7411-7421.
- Santella, L., Ianora, A., 1990. Subitaneous and diapause eggs in Mediterranean populations of *Pontella mediterranea* (Copepoda: Calanoida): a morphological study. *Marine Biology*. 105: 83-90.
- Smith, T. M., 2000. Tropical Pacific Sea Level Variations (1948-98). *Journal of Climate*. 13: 2757-2769.
- Sprangers, M., Dammers, N., Brinkhuis, H., van Weering, T. C. E., Lotter, A. F., 2004. Modern organic-walled dinoflagellate cyst distribution offshore NW Iberia; tracing the upwelling system. *Review of Palaeobotany and Palynology*. 128: 97-106.
- Stchigel, A. M., Calduch, M., Mac-Cormack, W. P., Ruberto, L. A. M., Guarro, J., 2007. Nuevos reportes de hongos de origen marino para la Antártida. VI Simposio Argentino y III Latinoamericano sobre Investigaciones Antárticas, Dirección Nacional del Antártico/ Instituto Antártico Argentino, 10 al 14 de septiembre de 2007.
- Stockmarr, J., 1971. Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen et Spores*. 13: 615-621.
- Thorsen, T. A., Dale, B., 1998. Climatically influenced distribution of *Gymnodinium catenatum* during the past 2000 years in coastal sediments of southern Norway. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 143: 159-177.
- Thunell, R. C., 1998. Seasonal and annual variability in particle fluxes in the Gulf of California: A response to climate forcing. *Deep-Sea Research I*. 45: 2059-2083.
- Trasviña, A., Lluch, C. D., Filonov, A. E., Gallegos, A., 1999. Oceanografía y El Niño. En: Magaña, V. O. (ed), *Los Impactos de El Niño en México*. Universidad Nacional Autónoma de México, México. 69-101.
- Van-Waveren, I. M., 1992. Morphology of probable planktonic crustacean eggs from the holocene of the Banda Sea (Indonesia). En: Head, M. J., Wrenn, J. H.

(eds.), Neogene and Quaternary Dinoflagellate Cyst and Acritarchs. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, 89-120.

- Van-Waveren, I., Marcus, N. H., 1993. Morphology of recent copepod egg envelopes from Turkey Point, Gulf of Mexico, and their implications for acritarch affinity. *Special Papers in Paleontology*. 48: 111-124.
- 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: 49-65.
- Walker, L. M., 1983. Life histories, dispersal, and survival in marine, planktonic dinoflagellates. En: Steidinger, K. A., Walker, L. M. (eds.), *Marine plankton life cycle strategies*. CRC Press. 19-34.
- Wallace, J. M., Dickinson, R. E., 1972. Empirical Orthogonal Representation of Time Series in the Frequency Domain, Part I: Theoretical Considerations. *Journal of Applied Meteorology*. 11(6): 887-892.
- Williams, D. B., 1971. The distribution of marine dinoflagellates in relation to physical and chemical conditions. En: Funnell, B. M., Riedel, W. R. (Eds.), *The Micropalaeontology of Oceans*. Cambridge University Press, Cambridge. 91-95.
- Wood, G. D., Gabriel, A. M., Laeson, J. C., 1996. Palynological techniques-processing and microscopy. En: Jansonius, J., McGregor, D.C. (eds.), *Palynology: Principles and Applications*, American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation. Vol. 1: 29-50.
- Zonneveld, K. A. F., Jurkschat, T., 1999. *Bitectatodinium spongium* (Zonneveld, 1997) Zonneveld et Jurkschat, comb. nov. from modern sediments and sediment trap samples of the Arabian Sea (northwestern Indian Ocean): taxonomy and ecological affinity. *Review of Paleobotany and Palynology*. 106: 153-169.