

La investigación reportada en esta tesis es parte de los programas de investigación del CICESE (Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California).

La investigación fue financiada por el CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología).

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México). El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo o titular de los Derechos Autor.

CICESE@ 2023. Todos los derechos reservados

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



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

**Conjuntos de quistes de dinoflagelados en relación con
variabilidad climática y oceanográfica durante 1853-1963,
Cuenca San Lázaro, Océano Pacífico, México.**

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

Presenta:

Cristal Méndez Díaz

Ensenada, Baja California, México
2023

Tesis defendida por
Cristal Méndez Díaz

y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Javier Helenes Escamilla
Director de tesis

Dra. Bertha Eugenia Lavaniegos Espejo

Dr. Efraín Gómez Arias

Dra. Karla Gabriela Mejía Piña

Dr. Kinardo Flores Castro



Dr. Javier Alejandro González Ortega
Coordinador del Posgrado en Ciencias de la Tierra

Dr. Pedro Negrete Regagnon
Director de Estudios de Posgrado

Resumen de la tesis que presenta **Cristal Méndez Díaz** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Ciencias de la Tierra con orientación en Geología

Conjuntos de quistes de dinoflagelados en relación con variabilidad climática y oceanográfica durante 1853-1963, Cuenca San Lázaro, Océano Pacífico, México.

Resumen aprobado por:

Dr. Javier Helenes Escamilla
Director de tesis

El análisis cuantitativo de palinomorfos de la Cuenca San Lázaro (CSL) en el periodo de 1853 a 1963, en comparativo con el análisis del contenido de carbono orgánico y parámetros climáticos de Temperatura Superficial del Mar (TSM), El Niño Oscilación Austral (ENOA) y la Oscilación Decadal del Pacífico (ODP), permite identificar variaciones en condiciones oceanográficas y climáticas de la cuenca. Los datos se generaron a partir de 27 muestras de sedimentos laminados del núcleo SOLE09-01, donde se identificaron quistes de dinoflagelados, huevos diapaúsicos de copépodos, otros palinomorfos marinos y palinomorfos continentales. Existe dominancia de quistes de dinoflagelados heterótrofos de afinidad climática templada, pero a partir de 1960 aumentan las especies potencialmente tóxicas y la presencia de especies tropicales. Las variaciones simultáneas de palinomorfos marinos y continentales indican que la CSL está regida por surgencias que favorecen la productividad y aporte de palinomorfos continentales a la cuenca, por humectación regional de neblinas costeras. Además, los análisis estadísticos permitieron detectar tres intervalos con características oceanográficas y palinológicas diferentes. En el primer intervalo (1853-1900), la TSM, ENOA y la ODP están sincronizados, hay baja variabilidad y temperatura, alta productividad primaria (PP) y correlación con las especies *Selenopemphix nephroides* y *Brigantedinium cariacense*. El segundo intervalo (1900-1925), la ODP se desincroniza de la TSM y ENOA, muestra mayor variabilidad y alta PP durante eventos fríos, relacionados con las especies *Brigantedinium auranteum*, *Brigantedinium cariacense*, *Brigantedinium simplex*, *Protoperidinium americanum* y *Spiniferites ramosus*. Finalmente, en el tercer intervalo (1925-1963), se sincronizan nuevamente los forzamientos regionales con la TSM, presenta más variabilidad de temperatura y se detecta relación con las especies *Brigantedinium asymmetricum*, *Brigantedinium irregularis* y *Protoperidinium americanum*. La concentración de palinomorfos marinos (754×10^3 pal/g sed) y continentales (624×10^3 pal/g sed), indican la alta productividad de la cuenca. Las concentraciones máximas se detectaron en condiciones de menor variabilidad en la TSM que no excedían el umbral de 25 °C, este valor también es referencia para la aparición de especies de afinidad tropical y fría. En general, se reconoce una tendencia al calentamiento, así como eventos más energéticos de ODP.

Palabras clave: dinoflagelados, TSM, ENOA, ODP, PP

Abstract of the thesis presented by **Cristal Méndez Díaz** as a partial requirement to obtain the Master of Science degree in Earth Sciences with orientation in Geology.

Assemblages of dinoflagellate cyst in relation to climatic and oceanographic conditions during 1853-1963, San Lázaro Basin, Pacific Ocean, México.

Abstract approved by:

PhD. Javier Helenes Escamilla
Thesis Director

The quantitative analysis of palynomorphs from the San Lázaro Basin (SLB) in the period from 1853 to 1963, in comparison with the analysis of organic carbon content, and climatic parameters of Sea Surface Temperature (SST), El Niño-Southern Oscillation (ENSO) and the Pacific Decadal Oscillation (PDO), allowed to identify variations in the oceanographic and climatic conditions of the basin. Data was generated from 27 laminated sediment samples from the SOLE09-01 core, where assemblages of dinoflagellate cysts, diapausic eggs of copepods, other marine palynomorphs, and continental palynomorphs were identified. There is a dominance of heterotrophic dinoflagellate cysts with temperate climatic affinity, but since 1960, the potentially toxic species and the presence of tropical species have increased. The simultaneous variations of marine and continental palynomorphs indicate that the SLB is dominated by upwellings that favor the productivity and contribution of continental palynomorphs to the basin, related to regional moistening caused by coastal fog. In addition, the statistical analysis allowed the detection of three intervals with different oceanographic and palynological characteristics. In the first interval (1853-1900) the SST, ENSO and PDO are synchronized, presents low variability and temperature, high primary productivity (PP) and correlation with the species *Selenopemphix nephroides* and *Brigantedinium cariacense*. The second interval (1900-1925), the PDO is asynchronous with SST and ENSO, shows more climatic variability and high productivity during cold events, related to the species *Brigantedinium auranteum*, *Brigantedinium cariacense*, *Brigantedinium simplex*, *Protoperidinium americanum* and *Spiniferites ramosus*. Finally, in the third interval (1925-1963), the regional forcings are again synchronized with the SST, presents more temperature variability and a relationship with the species *Brigantedinium asymmetricum*, *Brigantedinium irregularis* and *Protoperidinium americanum*. The concentration of marine (754×10^3 pal/g sed) and continental (624×10^3 pal/g sed) palynomorphs, indicate the high productivity of the basin. In addition, the maximum values were detected in conditions of less variability in the SST was below, 25°C, this value is also a reference for the appearance of species of tropical and cold affinity. In general, a warming trend is recognized, as well as more energetic PDO events.

Keywords: dinoflagellates, SST, ENSO, PDO, PP

Dedicatoria

A mis padres, por todo el apoyo y genuino deseo de verme realizada. Guadalupe y Leonardo, los amo, respeto y admiro.

Agradecimientos

Al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE), por brindar las condiciones adecuadas para el desarrollo de la investigación. Agradezco a todo el personal que conforma el Programa de Posgrado en Ciencias de la Tierra, por su calidad, respeto y hospitalidad.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada en pro del desarrollo científico, tecnológico e innovación del país.

Al Dr. Miguel Ángel Huerta Díaz, por permitir el uso de las muestras estudiadas.

A la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) por permitir el uso del Coulómetro para determinación de Carbono orgánico y a la Dra. Karla Mejía que asistió el procesamiento.

Al Dr. Javier Helenes Escamilla, por su paciencia y entrega. Gracias por ser un excelente mentor y humano.

A mi comité conformado por la Dra. Bertha, el Dr. Efraín, la Dra. Karla y el Dr. Kinardo, por todo su apoyo, humanidad y respeto por el trabajo.

A mis compañeros de laboratorio que siempre estuvieron en disposición de apoyarme; Alessandro, Franci, Luis y Rigel. Así como a la Oc. Edna que asistió la preparación de muestras palinológicas.

A los amigos, compañeros y personas que conocí durante esta meta de vida, por formar parte de mi crecimiento profesional y como individuo.

Tabla de contenido

Página

Resumen en español.....	ii
Resumen en inglés.....	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimientos.....	v
Lista de figuras.....	ix
Lista de tablas	xi
Capítulo 1. Introducción.....	1
1.1 Antecedentes	2
1.1.1 Palinomorfos	2
1.1.2 Dinoflagelados.....	3
1.1.3 Copépodos	4
1.1.4 Productividad primaria	5
1.2 Condiciones oceanográficas regionales	6
1.2.1 Corriente de California	8
1.2.2 Corriente Nor-Ecuatorial.....	10
1.3 Forzamientos regionales	10
1.3.1 El Niño- Oscilación Austral	11
1.3.2 Oscilación Decadal del Pacífico	12
1.3.3 Tendencias de factores climáticos	13
1.4 Hipótesis.....	14
1.5 Objetivos	14
1.5.1 Objetivo general.....	14
1.5.2 Objetivos específicos.....	15

Capítulo 2. Metodología.....	16
2.1 Área de estudio	16
2.2 Recolección del núcleo sedimentario (SOLE09-01).....	17
2.3 Modelo cronológico	17
2.4 Procesamiento palinológico	19
2.4.1 Análisis palinológico	21
2.5 Carbono orgánico.....	22
2.5.1 Análisis de datos de Carbono orgánico.....	22
2.6 Análisis estadístico	23
2.6.1 Abundancia absoluta.....	23
2.6.2 Correlaciones entre variables	24
2.6.3 Análisis multivariado	24
2.6.4 Otros criterios de evaluación	25
Capítulo 3. Resultados	27
3.1 Palinología.....	27
3.2 Carbono orgánico.....	32
3.3 Análisis estadístico	33
3.3.1 Abundancias absolutas	33
3.3.2 Correlación con las variables climáticas.....	36
3.3.3 Análisis multivariado	42
Capítulo 4. Discusión.....	44
4.1 Relación dinoflagelados-clima.....	45
4.2 Relación de dinoflagelados con Temperatura Superficial del Mar	46
4.3 Relación de dinoflagelados con Productividad Primaria.....	47

4.4 Otros palinomorfos	48
Capítulo 5. Conclusiones	49
Literatura citada	51
Anexos	59

Lista de figuras

Figura	Página
1. Ciclo de vida generalizado de los dinoflagelados marinos (Modificado de Ellegaard et al., 2013)	4
2. Corrientes superficiales en el Pacífico Tropical Oriental en (A) invierno - primavera y (B) verano - otoño. Las flechas indican las principales corrientes superficiales: CSE= Corriente Ecuatorial del Sur, CCNE= Contracorriente Ecuatorial del Norte, CNE= Corriente Nor-ecuatorial, CC= Corriente de California. ZCIT= Zona de Convergencia Intertropical. Los límites de la Corriente de California en (A) y (B) están marcados por una banda ondulada. Tomado de Lavín y Marinone, 2003.....	7
3. Perfiles de Temperatura Superficial del Mar (a) y anomalías de temperatura (°C) de El Niño oscilación Austral (b) y de la Oscilación Decadal del Pacífico (c) entre 1854 y 2021 (líneas continuas negras). Para cada uno se incluye su análisis de tendencia (líneas grises discontinuas) obtenida mediante una regresión lineal de <i>Pearson</i> , la ecuación de la recta, el coeficiente de correlación (<i>R</i>) y su significancia estadística (<i>p</i>).....	13
4. Mapa de localización del área de estudio. El núcleo utilizado en este trabajo (SOLE09-01) corresponde a la Cuenca San Lázaro, que forma parte del Golfo de Ulloa	16
5. Núcleo SOLE09-01. Se representan las ocho secciones datadas, la sección gris indica la sección analizada en este estudio.....	17
6. A) Concentración de ²¹⁰ Pb _{exc} en la profundidad. B) Regresión lineal de las dataciones representado en Edad de calendario Gregoriano vs la profundidad.....	18
7. Quistes del orden Peridiniales, género <i>Brigantedinium</i> . 1A <i>B. asymmetricum</i> , 1B <i>B. auranteum</i> , 1C-D <i>B. cariacense</i> , 1E <i>B. grande</i> , 1F <i>B. irregulare</i> , 1G <i>B. majusculum</i> , 1H <i>B. simplex</i>	28
8. Otras especies de quistes del orden Peridiniales. 2A-C <i>Lejeunecysta diversiforma</i> , 2D <i>Polikrikos schwartzii</i> 2E-G <i>Protoperidinium americanum</i> , 2-2J <i>P. fukuyoi</i> , 2K-L <i>Quinquecuspis concreta</i> , 2M-N <i>Selenopemphix nephroides</i> 2O <i>Votadinium</i> cf. <i>Calvum</i>	29
9. Quistes del orden Gonyaulacales, género <i>Impaginium</i> . 3A-C <i>I. aculeatum</i> , 3D-F <i>I. paradoxum</i> , 3G-I <i>I. patulum</i> , 3J-L <i>I. sphaericum</i> , 3M-O <i>I. striatum</i>	30
10. Otras especies de quistes del orden Gonyaulacales. 4A-C <i>Ataxiodinium choane</i> , 4D-F <i>Echinidinium delicatum</i> , 4G-I <i>Lingulodinium machaerophorum</i> , 4J-K <i>Labyrinthodinium</i> cf. <i>truncatum</i> , 4L-M <i>Nia acanthocysta</i> , 4N-P <i>Polysphaeridium zoharyi</i> , 4Q-R <i>Tuberculodinium vancampoe</i>	31
11. Quistes del orden Gonyaulacales, género <i>Spiniferites</i> . 5A-C <i>S. bentorii</i> , 5D-F <i>S. mirabilis</i> , 5G-I <i>S. ramosus</i>	32
12. Carbono Orgánico Total (C _{org}) y concentraciones totales de quistes de dinoflagelados, huevos de copépodos y palinomorfos continentales. Notar el cambio de escalas en las concentraciones.....	34

13. Concentración de quistes de dinoflagelados totales (TOT) y por afinidad climática: templada (te), tropical (tr), fría (fr), en orden de significancia, así como quistes potencialmente tóxicos (tó). Notar el cambio de escalas en las concentraciones..... 35
14. Concentración de los quistes de dinoflagelados por estrategia trófica, así como Los criterios de evaluación de riqueza, índice de diversidad de Shannon (H') e índice H-A (heterótrofos-autótrofos). 36
15. Variables independientes con la suma de las concentraciones de quistes de dinoflagelados heterotróficos y fototróficos (Quistes TOT). Los rectángulos señalan cada uno de los intervalos identificados Notar el cambio de escalas en las concentraciones..... 37
16. Variables independientes con las sumas de las concentraciones de palinomorfos identificados. Los rectángulos señalan cada uno de los intervalos identificados Notar el cambio de escalas en las concentraciones..... 37
17. Perfiles de variables independientes con variables dependientes correlacionables del I1 (1853-1900). 40
18. Perfiles de variables independientes con variables dependientes correlacionables del I2 (1900-1929). Notar el cambio de escalas en las concentraciones 40
19. Perfiles de variables independientes con variables dependientes correlacionables del I3 (1929 a 1963). Notar el cambio de escalas en las concentraciones..... 41
20. Análisis de Correspondencia Canónico. Los puntos son las variables dependientes significativas y las líneas negras las independientes. polen = angiospermas; bisacados = polen de gimnospermas..... 43

Lista de tablas

Tabla	Página
1. Muestras en relación con su profundidad, edad calendario (CG) y la resolución obtenida y observable en años.	19
2. Dinoflagelados identificados en núcleo SOLE09-01. Los quistes marcados en negritas indican las 22 especies más abundantes, así como su abreviatura de identificación (Id) en los análisis estadísticos. También, su equivalente en estadio móvil o vegetativo. Se indican las especies que tienen afinidad fría (fr), tropical (tr), templada (te), cosmopolitas (co) o que son potencialmente tóxicas (tó).	27
3. Concentraciones por muestra de Ct CaCO ₃ y Corg.....	33
4. Concentraciones (qst/g sed) de los principales grupos de palinomorfos cuantificados.....	33
5. Concentraciones (qst/g sed) de los principales grupos de quistes de dinoflagelados identificados, según su estrategia trófica, afinidad climática, y la característica de ser potencialmente tóxicos.....	35
6. Concentraciones (qst/g sed) promedio por intervalo quistes de dinoflagelados, huevos de copépodos y palinomorfos continentales y el índice de productividad H-A	38
7. Concentraciones (qst/g sed) promedio de quistes por afinidad de clima; tropical (tr), fría (fr), templada (te) y potencialmente tóxicos.	38
8. Correlación de <i>Pearson</i> entre las variables independientes, con la división de datos por intervalos. En rojo se marcan las que fueron significativas (p<0.05).....	39
9. Correlación de <i>Pearson</i> de variables independientes (TSM, ENOA, ODP y Corg) y palinomorfos por intervalos. En rojo se marcan las que fueron significativas (p<0.05).	39
10. Correlaciones de <i>Pearson</i> de variables continentales. Se muestra únicamente las variables con correlación significativa en al menos uno de los intervalos. angio = polen de angiospermas; gimno = polen de gimnospermas, HET = heterótrofos.	41
11. Concentraciones (qst/g sed) promedio de quistes heterótrofos, fototróficos y totales de cuencas estudiadas en el límite continental Pacífico de la Península de Baja California. Se indica el índice H-A de los periodos estudiados.	44
12. Concentración (qst/g sed) de especies de quistes heterotróficos por muestra.	59
13. Concentración (qst/g sed) de especies de quistes fototróficos por muestra.	60
14. Concentraciones (qst/g sed) de géneros de quistes del orden Peridinales por muestra; <i>Brigantedinium</i> (<i>Briga</i>), <i>Lejeunecysta</i> (<i>Lejeu</i>), <i>Protooperidinium</i> (<i>Proto</i>), <i>Quinquecuspis</i> (<i>Quinq</i>), <i>Selenopemphix</i> (<i>Selen</i>), <i>Votadinium</i> (<i>Votad</i>).	61

15. Concentraciones (qst/g sed) de géneros de quistes del orden Gonyaulacales por muestra. *Ataxiodinium (Ataxi)*, *Echinidinium (Echin)*, *Impagidinium (Impag)*, *Lingulodinium (Ling)*, *Islandium (Islan)*, *Labyrinthodinium (Labyr)*, *Nia*, *Polysphaeridium (Polys)*, *Spiniferites (Spini)*, *Tuberculodinium (Tuber)*. 62
16. Criterios de PP por . Riqueza, Diversidad Shannon (H') e índice H-A. 63
17. Promedios de temperatura de cuatro años de 1853 a 1963 (Huang et al., 2017; zona Niño 3). 64

Capítulo 1. Introducción

El conocimiento de los ecosistemas pelágicos y su distribución en relación con la estructura física actual del océano, es una herramienta importante para entender la historia climática. Los fondos oceánicos constituyen una extensa cuenca sedimentaria en condiciones de gran estabilidad y continuidad, dando lugar a una buena preservación. En particular, los sedimentos laminados marinos constituyen un registro geológico poco común, cuya formación y preservación está condicionada a la ocurrencia de tres condiciones específicas: (i) variaciones en la actividad biológica/química (e.g., variaciones en la metabolización de materia orgánica, cantidad de CO₂ disuelto y variación redox), efectos que resultan en cambios de la composición del sedimento, (ii) suficiente tasa de sedimentación para permitir la formación de capas apreciables y, (iii) condiciones ambientales que inhiban la alteración de estas capas (Kemp, 1996), usualmente debida a condiciones de bajo contenido de oxígeno (O₂ disuelto <0.2 ml L⁻¹), que impide la bioturbación de los sedimentos por organismos bentónicos (Esparza-Álvarez, 1999). La abundancia del componente biogénico en este tipo de depósitos representa un registro detallado de la productividad orgánica predominante y las condiciones sedimentológicas y climáticas en las cuencas donde se depositaron. (Emery et al., 1961).

La Cuenca San Lázaro (CSL) se encuentra en la región sur del Golfo de Ulloa, en donde la productividad primaria en la zona fótica de la columna de agua es alta. (e.g., de 1998 a 2007 se detectaron medias de 2.0 mg m⁻³ de clorofila) (Gaxiola-Castro et al., 2010; González-Rodríguez et al., 2012). La CSL recibe 10 μmol kg⁻¹ en un ambiente anóxico (Sánchez et al., 2013), evitando la bioturbación de los depósitos sedimentarios. El análisis de palinomorfos en muestras sedimentarias de la CSL ha demostrado que existe una relación de los eventos climáticos con la productividad primaria marina (Pérez-Rodríguez, 2016; Serrano-Mejía, 2016). De hecho, se ha reportado una relación directa de tasas heterotróficas con surgencias costeras (Pérez-Rodríguez, 2016) y el aumento de especies tropicales (e.g., *Bitectatodinium spongium* y *Dalella chathamensis*, *Stelladinium stellatum*) con relación al aumento regional de la Temperatura Superficial del Mar (TSM), particularmente en la última década del siglo XX (Serrano-Mejía, 2016).

El objetivo principal de este trabajo es documentar y cuantificar los quistes de dinoflagelados y otros palinomorfos (huevos diapásicos de copépodos, otros marinos, polen y esporas del continente) en los sedimentos laminados del núcleo SOLE09-01 recolectado en la Cuenca San Lázaro, Océano Pacífico, México, en el periodo de 1853 a 1963. Fundamentalmente, se presenta un análisis palinológico,

geoquímico, estadístico y comparativo para evaluar cualitativa y cuantitativamente la relación de los palinomorfos con la variabilidad de la TSM, el Niño Oscilación Austral ENOA y la Oscilación Decadal del Pacífico ODP. Adicionalmente, se asocia la proporción de quistes de dinoflagelados con afinidad climática (fría, templada y tropical), se explica la variabilidad de la Productividad Primaria y su relación con el Carbón Orgánico (C_{org}) la riqueza y diversidad. La información obtenida está orientada a interpretaciones ecológico-climáticas en un periodo de 110 años.

1.1 Antecedentes

1.1.1 Palinomorfos

Los palinomorfos son microfósiles de un tamaño de entre 5 y 500 μm , con paredes compuestas de material orgánico (e.g., quitina, pseudoquitina, esporopolenina, dinosporina). Estos microfósiles incluyen quistes de dinoflagelados, acritarcos, esporas, polen, esporas de hongos, escolodontes (dientes y mandíbulas de escleroproteína, asociadas a gusanos poliquetos), órganos de artrópodos (como partes bucales de insectos), quitinozoarios y testas orgánicas de foraminíferos (Traverse, 2007).

La importancia del estudio de los palinomorfos radica en la caracterización del paleoambiente presente al momento de la depositación, proporcionando datos importantes sobre las condiciones climáticas predominantes de la época. Los palinomorfos, tienen ocurrencia en rocas sedimentarias de todas las edades y en muchos ambientes sedimentarios y biológicos diferentes, abundan en ambientes terrestres, así como en ambientes acuáticos marinos y continentales. Específicamente en el ambiente marino existe una abundancia de palinomorfos, entre los que se encuentran dinoflagelados, acritarcos y otros restos microscópicos de algas, escolodontos, testas orgánicas de foraminíferos y quitinozoarios (estos últimos están extintos). Las estructuras palinológicas que abundan en la mayoría de los sedimentos, son resistentes a las técnicas analíticas utilizadas para la extracción de polen, tales como la solución por ácidos y bases fuertes, la acetólisis y separación por densidad (Traverse, 2007).

1.1.2 Dinoflagelados

Los dinoflagelados son microorganismos unicelulares asignados a la división Dinoflagellata (Fensome et al., 1993). Se han descrito 1,555 especies de dinoflagelados de vida libre en los océanos del mundo, actualmente se estima que 96 especies (6%) producen quistes orgánicos de resistencia (Zonneveld y Pospelova, 2015). La complejidad trófica de los dinoflagelados planctónicos se refleja en su ecología, las especies fotosintéticas se distribuyen en la parte superior de la columna de agua, siguiendo los ciclos de surgencias. En contraste las especies heterótrofas siguen un patrón especializado debido a que han desarrollado estrategias específicas para la obtención de alimento (Margalef, 1978). Estos patrones especializados podrían referirse a mostrar una distribución preferente por las regiones altamente productivas, asegurando nutrientes.

El ciclo vital de los dinoflagelados es complejo, se reproducen sexual y asexualmente. Tienen un estadio móvil (biflagelados) y uno sésil (no flagelados). Durante el primer estadio la célula está envuelta en una membrana (amphiesma), que ocasionalmente contiene una estructura de celulosa denominada teca no fosilizable (Taylor, 1987). El estadio sésil, motivo de este trabajo de investigación, corresponde a los quistes de resistencia de dinoflagelados, presente solamente en algunas especies (Figura 1) (Bravo y Figueroa, 2014).

El quiste de resistencia es una estructura impermeable de pared gruesa, constituido de material orgánico (principalmente dinosporina) que es fosilizable y altamente resistente a la exposición a ácidos. El quiste de resistencia puede ser producido sexual o asexualmente para proteger el protoplasma depositado en los sedimentos y puede conservarlos viables hasta más de 100 años (Lundholm et al., 2011), e incluso se pueden conservar en el registro fósil por hasta 200 Ma años (Evitt, 1985). En el presente trabajo, se discutirá sobre quistes de resistencia de dinoflagelados recuperados en sedimentos marinos y de ahora en adelante, serán simplemente nombrados como quistes.

Por otro lado, se ha reportado que 147 especies de microalgas causantes de florecimientos algales nocivos (FAN's), 95 son dinoflagelados, de los cuales 61 son consideradas potencialmente tóxicos (Moestrup et al., 2009). De hecho, los FAN han aumentado en las últimas décadas (Anderson et al., 2002) y se han asociado a la eutrofización del medio ambiente marino (Anderson et al., 2002) y el calentamiento global (Moore et al., 2008).

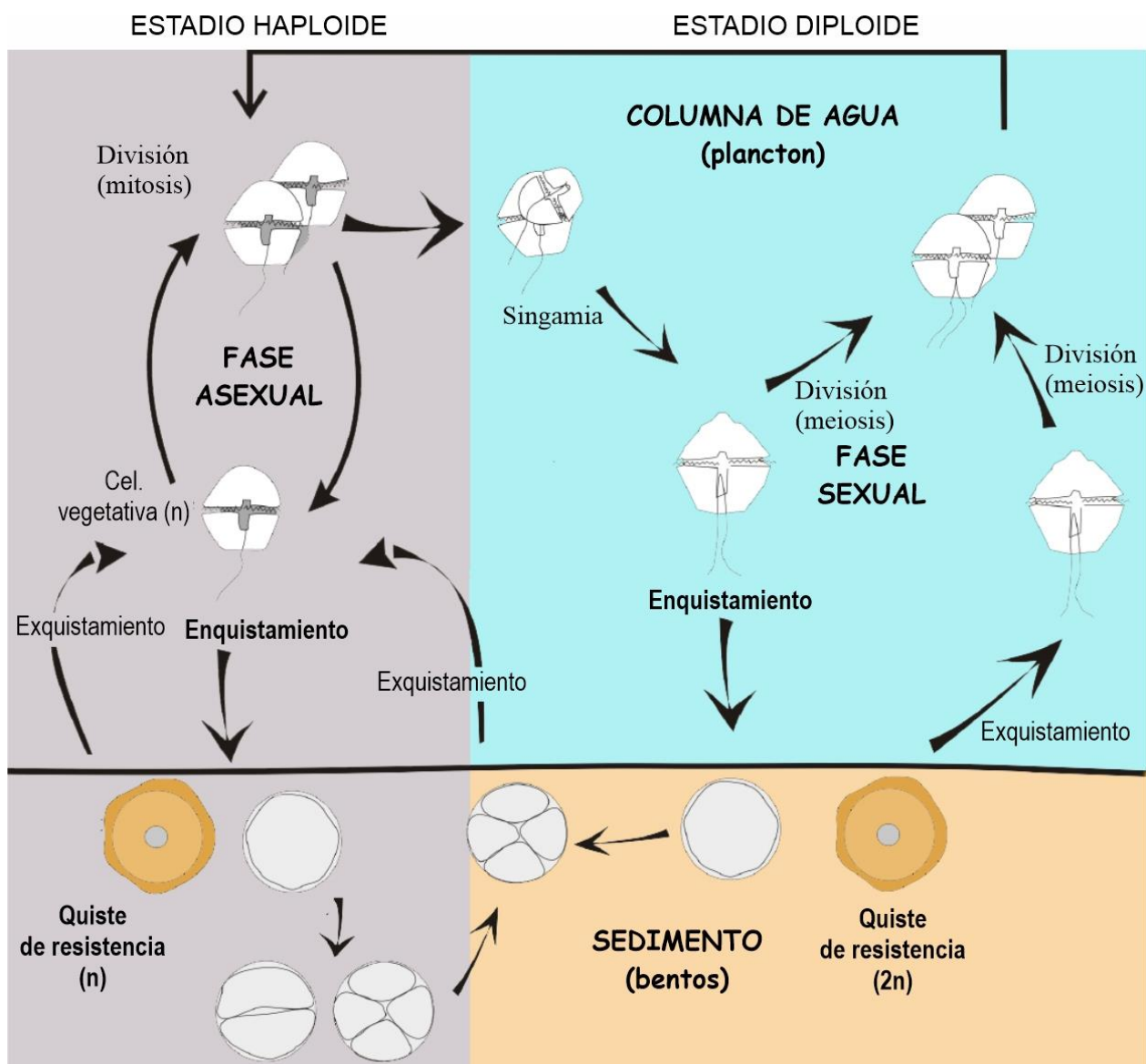


Figura 1. Ciclo de vida generalizado de los dinoflagelados marinos (Modificado de Ellegaard et al., 2013)

1.1.3 Copépodos

Los artrópodos constituyen el filo más numeroso y diverso del reino animal. Los copépodos son considerados los artrópodos más abundantes con ~1,200 especies (Galmés y Shmeleva, 2006). Algunos artrópodos (copépodos y cladóceros) así como los rotíferos producen huevos de reposo denominados diapáusicos, el cual es utilizado como mecanismo de supervivencia frente a condiciones ambientales adversas por una amplia variedad de especies de zooplancton marino, estuarinas y de agua dulce (Uye, 1985). La acumulación de huevos diapáusicos en la superficie de los sedimentos marinos es fundamental para el resurgimiento de las poblaciones de estas especies una vez las condiciones se vuelven más

favorables (Marcus, 1996). Se considera que los huevos diapáusicos son una respuesta genética y adaptativa de las especies a las fluctuaciones ambientales anuales predecibles y fundamental para la perpetuación de las especies (Grice y Marcus, 1981). Los huevos diapáusicos tienen una gran resistencia que les permite soportar condiciones desfavorables del medio que pueden influir en su eclosión, como la temperatura, luz, disponibilidad de oxígeno, salinidad o la profundidad que ocupan en el sedimento. Estos huevos son tan resistentes que han sido descritos en sedimentos marinos pre-holocénicos (Uye et al., 1979).

Existen dos tipos de huevos de copépodos: subitáneos y diapáusicos, los primeros pueden eclosionar en horas o días (Kiørboe, 1994) y se vuelven inactivos (retraso en el desarrollo) cuando están expuestos a condiciones ambientales adversas (e.g., déficit de oxígeno) como en las aguas de fondo (Uye y Fleminger, 1976). Por otra parte, los huevos diapáusicos se encuentran en un estado de desarrollo detenido y no eclosionan, incluso en condiciones favorables, hasta completar la fase refractaria. Los huevos diapáusicos varían entre especies y pueden ser modificados por factores externos como la temperatura (Marcus, 1987).

Los copépodos son una herramienta útil como proxy indirecto de masas de agua y corrientes marinas e incluso ha sido usado como bioindicador de forzamientos climáticos como El Niño Oscilación Austral (ENOA) (Lavaniegos, 1990). En el presente estudio, los huevos diapáusicos sólo se identificaron a nivel de subclase Calanoidea, como indicadores indirectos de la productividad primaria ya que consumen fitoplancton. A partir de ahora los mencionaré como copépodos.

1.1.4 Productividad primaria

La fotosíntesis es un proceso que depende de la luz, transfiriendo la energía fotónica absorbida (por los organismos fotosintéticos) a compuestos orgánicos (Falkowski y Raven, 2007). La producción de carbono orgánico durante la fotosíntesis se define como productividad primaria (PP) y es una medida del carbono inorgánico fijado por el fitoplancton por unidad de volumen de agua por unidad de tiempo (Sathyendranath et al., 1995). En el océano, las interacciones físico-biológicas controlan la transferencia de energía del medio hacia los organismos (Legendre et al., 1985). Se ha observado que las estructuras físicas oceanográficas, así como las condiciones físicas, químicas y geológicas condicionan a la productividad biológica (Bakun, 1996)

Los márgenes continentales de la Península de Baja California se caracterizan por la alta actividad biológica marina, generada por la surgencia constante de aguas subsuperficiales ricas en nutrientes (Escalante et al., 2013), también, se distingue por una amplia zona deficiente de oxígeno (van Geen et al., 2003), que impide la bioturbación de los sedimentos laminados por organismos bentónicos (Esparza-Álvarez, 1999), estos sedimentos representan un registro detallado de la productividad orgánica predominante y las condiciones climáticas en las cuencas donde se depositaron (Emery et al., 1961). Las surgencias y la alta productividad biológica marina promueven una columna de agua desnitrificante a profundidades subsuperficial e intermedia (e.g. Álvarez-Borrego, 2012; Ricaurte-Villota et al., 2013; Deutsch et al., 2014). Por ejemplo, durante el evento de El Niño (periodicidad de 4 a 7 años), se disminuye la productividad biológica marina debido principalmente a la surgencia de agua pobre en nutrientes, entre otras características fisicoquímicas (Escalante et al., 2013). Las condiciones de surgencia producen neblinas costeras, la cuales suplen la lluvia y modulan la productividad primaria continental neta en el sitio (Reimer et al., 2015a).

En la CSL se han analizado los palinomorfos de muestras semianuales correspondientes a los periodos de 1967 a 1988 (Pérez-Rodríguez, 2016) y de 1998 a 2009 (Serrano-Mejía, 2016). Estos resultados se compararon con series de tiempo instrumentales y con registros de índices como ENOA y ODP, para determinar los cambios en las concentraciones de palinomorfos en relación a las variaciones oceanográficas. Los resultados de ambos estudios indicaron que estos palinomorfos se benefician por el aumento en la disponibilidad de nutrientes durante las surgencias (Pérez-Rodríguez, 2016).

1.2 Condiciones oceanográficas regionales

La Península de Baja California está rodeada por el Océano Pacífico al occidente y por el Golfo de California al oriente. Específicamente, la CSL se encuentra al occidente, en el Golfo de Ulloa. Se ve principalmente influenciada por la Corriente de California (CC) de agua subártica que fluye hacia el sur y parcialmente la Corriente Nor-Ecuatorial (CNE), conformada por agua subtropical proveniente del sur (Figura 2).

El dominio de estas corrientes está en función de los cambios climáticos estacionales, anuales y decadales a nivel regional y mesoescala (Álvarez et al., 2013). La influencia de la CC alcanza aproximadamente el extremo sur de la península de Baja California (Hickey y Royer, 2001) Sin embargo, desde una perspectiva continental, el extremo sur de la CC se encuentra en Punta Eugenia, donde se desarrollan los manglares más septentrionales en el noroeste del Pacífico (Sydeman y Elliott, 2008) la posición de estos biomas se

relaciona con el cambio gradual de las características marinas, desde Punta Eugenia hasta la región de Los Cabos. De tal manera que el extremo sur es una transición entre las masas de agua fría del norte (CC) y las masas cálidas del sur (CNE) (Hickey y Royer, 2001).

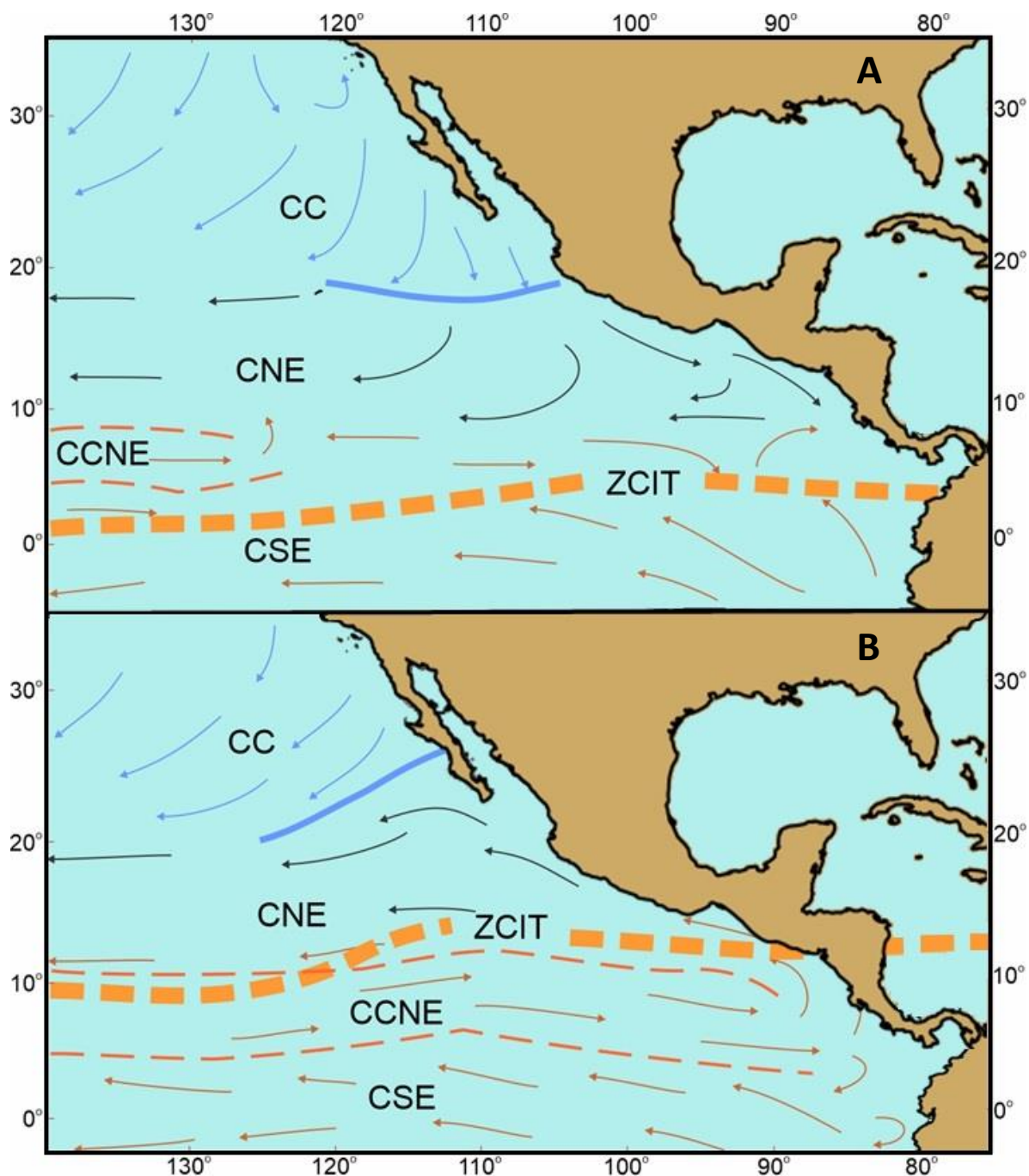


Figura 2. Corrientes superficiales en el Pacífico Tropical Oriental en (A) invierno - primavera y (B) verano - otoño. Las flechas indican las principales corrientes superficiales: CSE= Corriente Ecuatorial del Sur, CCNE= Contracorriente Ecuatorial del Norte, CNE= Corriente Nor-ecuatorial, CC= Corriente de California. ZCIT= Zona de Convergencia Intertropical. Los límites de la Corriente de California en (A) y (B) están marcados por una banda ondulada. Tomado de Lavín y Marinone, 2003.

El clima tiene dos modalidades principales, influenciadas por la insolación y la posición de las zonas de alta presión atmosférica. La primera, de invierno-primavera (noviembre-marzo) está caracterizada por condiciones frescas y secas, y la segunda de verano-otoño (abril-octubre) es húmeda y cálida. Durante invierno-primavera el sistema de alta presión está ubicado aproximadamente a 30°N en el Pacífico Oriental, consecuentemente, la insolación del hemisferio norte es baja y la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) se desplaza a latitudes sobre o al sur del ecuador en el Océano Pacífico. Durante el verano-otoño el sistema de alta presión se localiza alrededor de los 40°N, la ZCIT se desplaza hacia el norte y la insolación en el hemisferio norte aumenta (Álvarez et al., 2013). La ZCIT impone desplazamientos latitudinales del sistema de corrientes ecuatoriales, que determinan en particular que tan al sur llega la CC y que tan al norte la CNE (Lavín y Marinone, 2003) (Figura 2).

Los cambios en la insolación durante las dos modalidades climáticas, invierten los patrones de viento, de tal manera que en verano-otoño los vientos del sureste dominan y hay una incursión de aguas tropicales, en el caso de la temporada de invierno primavera, dominan los vientos del noroeste y la influencia de masas de aguas subárticas (Badan-Dangon et al., 1991). La costa occidental de la Península de Baja California está dominada por vientos del noroeste que fluyen paralelos a la costa. más intensos durante el periodo primavera-verano, cuando generan la mayor parte de las surgencias y productividad primaria regionales (Huyer, 1983) (Chelton et al., 2007). Estas condiciones de alta productividad se reflejan por el alto promedio anual (4.25 mg m⁻³) en la CSL, de 2002 a 2014 (Ortiz-Ahumada, 2015).

1.2.1 Corriente de California

El Sistema de la Corriente de California (SCC) está impulsado por la distribución de la presión atmosférica y vientos con relación a la costa oeste de América del Norte. El SCC se extiende desde el Pacífico Norte (50° N) hasta Baja California, México (15-25° N). La Corriente de California (CC) se origina en el Pacífico nororiental. Ahí, el gran giro anticiclónico del Pacífico norte se bifurca en dos ramales. Uno de ellos se dirige hacia el polo y conforma la Corriente de Alaska, mientras que el segundo ramal se convierte en la CC y fluye hacia el sur por encima de los ~200 m de profundidad en la dirección del viento (Hickey, 1979; Lynn y Simpson, 1987).

La CC acarrea aguas subárticas frías de baja salinidad y altas concentraciones de oxígeno disuelto (Saur et al., 1980), a regiones subtropicales, lo que es fundamental para la dinámica y bioquímica superficial del Pacífico nororiental. En la región norte del SCC, el límite de la CC corresponde al Frente de California,

localizado a ~1000km de la costa (Blanton y Pattullo, 1970; Lynn, 1986), y caracterizado por fuertes cambios zonales de salinidad inducidos por el encuentro de agua tropical, subtropical y subártica. Al oeste de las costas de Baja California el abrupto cambio de salinidad inducido por el encuentro de agua subártica y agua ecuatorial, indica la frontera occidental de la CC (Blanton y Pattullo, 1970).

El límite costero de la CC se encuentra, en promedio a ~300 km al oeste de la costa (Lynn y Simpson, 1987). Entre la costa y la CC existe una región de transición costera caracterizada por la formación de remolinos oceánicos con diámetros que pueden ser mayores a 100 km (Kurian et al., 2011), meandros y frentes oceánicos inducidos por surgencias costeras (Strub y James, 1995). Estas a su vez, son generadas por el viento local y por el levantamiento de la termoclina. Observaciones hidrográficas muestran que la extensión zonal de esta región de transición cambia estacionalmente (Hickey, 1979; Durazo, 2015). Durante la primavera e inicio de verano esta región es estrecha ya que la CC es más intensa y logra su mayor expansión, dominando la circulación superficial desde el estado de Washington hasta Baja California Sur (Hickey, 1979; Lynn y Simpson, 1987).

A finales de la primavera e inicios del verano la CC se extiende hasta la entrada del Golfo de California (20 °N) (Lavín et al., 2006). La circulación geostrófica superficial derivada de observaciones hidrográficas obtenidas durante el periodo de 1949-1959 muestra un giro ciclónico que induce una contracorriente costera al sureste de la Península de Baja California durante el mes de septiembre (Hickey, 1979). Con observaciones directas se determina la presencia de una contracorriente costera superficial que fluye de Cabo San Lucas hasta el norte del Golfo de Ulloa durante octubre con promedio semanales que rebasan los 5 mg m⁻³ o largo de las costas de Baja California, California y Oregón (Zaitsev et al., 2014).

Por debajo de la termoclina, la Corriente Subsuperficial de California (CSC) domina la circulación costera (Hickey, 1979; Lynn y Simpson, 1987). Observaciones históricas indican que este flujo subsuperficial inicia en el extremo sur de la costa oeste de Baja California (Hickey, 1979) y se extiende hasta las costas de Alaska (Thomson y Krassovski, 2010). La CSC transporta agua de origen tropical rica en nutrientes y es fundamental en la alta productividad biológica y está asociada a la renovación de agua superficial inducida por las surgencias costeras propias de este sistema. Estas surgencias inducen una elevada productividad primaria en la capa superficial costera y generan concentraciones de clorofila-a cuyos promedios mensuales rebasan 5 mg m⁻³ a lo largo de las costas de Baja California, California y Oregón (Zaitsev et al., 2014).

La alta productividad superficial da como resultado aguas de fondo sin oxígeno y enriquecidos en dióxido de carbono. Las fuerzas climáticas actúan, particularmente los patrones de presión atmosférica a gran escala. Del continente fluyen ríos y corrientes estacionales, proporcionando agua dulce y nutrientes (Checkley y Barth, 2009).

1.2.2 Corriente Nor-Ecuatorial

El sistema de circulación del Pacífico tropical occidental tiene una estructura tridimensional compleja que se destaca por la existencia de un sistema de corrientes subsuperficiales opuestas a la circulación superficial. En la capa superior del Océano Pacífico Norte, el flujo hacia el oeste de la Corriente Nor-Ecuatorial (CNE) se bifurca cuando se encuentra en la costa de Filipinas (Kashino et al., 2009) alimentando la corriente de Kuroshio que fluye hacia el polo (Chen et al., 2015) y la Corriente de Minadano (CM) que se dirige hacia el Ecuador (Zhang et al., 2014). El sistema CNE-MC-Kuroshio (NMK, por sus siglas en inglés), juegan un papel importante en el transporte de masas de agua zonal y meridional, así como en el balance de la “piscina cálida” del Pacífico Occidental (Qu et al., 1997)

La CNE se caracteriza por alta salinidad, temperatura y nutrientes, así como por bajo nivel de oxígeno (Hickey y Banas, 2003). En la capa superficial (~100 m de profundidad) ocupa latitudes aproximadas de entre 5°N y 20°N (Álvarez et al., 2013). Las corrientes ecuatoriales en el Océano Pacífico son importantes en la distribución de las masas de agua, calor, salinidad y “piscina cálida”, lo cual es clave para la evolución de eventos climáticos cíclicos, como El Niño Oscilación Austral (ENOA) (Li et al., 2020).

1.3 Forzamientos regionales

Los eventos climáticos extremos de escala global están asociados a interacciones inestables entre el océano y la atmósfera (Maturana et al., 2004). Eventos como El Niño-Oscilación Austral (ENOA) y la Oscilación Decadal del Pacífico (ODP) son los principales a identificar en el registro sedimentario de este estudio.

1.3.1 El Niño- Oscilación Austral

El fenómeno interanual El Niño-Oscilación Austral, es el resultado de un complejo sistema de fluctuaciones climáticas entre el océano y la atmósfera (Rasmusson y Wallace, 1983). El ENOA en el Pacífico tropical se propaga a través de la atmósfera y el océano, provocando cambios significativos en las condiciones climáticas regionales, incluidos los ciclones tropicales y los sistemas monzónicos (Gupta y McNeil, 2012).

Específicamente en el Océano Pacífico tropical, los vientos alisios dominantes cerca de la superficie que provienen del este, tienden a acumular agua más cálida en el margen occidental, alrededor de la región de Australia e Indonesia. Al ser elevada la temperatura superficial del mar ($>28^{\circ}\text{C}$), el aire es más ligero y forma una atmósfera inestable en la que hay una gran formación de nubes y lluvias intensas. En contraste, en el Pacífico oriental, la TSM es más fría ($<25^{\circ}\text{C}$), por presentarse surgencias de agua de fondo (Magaña-Rueda et al., 1998). Esta oscilación es caracterizada en el océano por un cambio zonal longitudinal en la posición de la piscina de agua cálida tropical del Pacífico Occidental (Gupta y McNeil, 2012).

Durante la fase cálida El Niño (positiva), los vientos alisios tropicales del este se relajan, la termoclina ecuatorial se aplana y las aguas de la piscina cálida se desplazan hacia el oriente, desplazando el centro de máxima convección atmosférica. Este desplazamiento ocasiona que la termoclina, la nutriclina y la oxiclina se presenten a mayor profundidad en el extremo este y disminuye la productividad. En estas condiciones, el agua menos densa se posiciona en la superficie dando lugar a una disminución de nutrientes en la zona fótica, y a su vez, disminuye la productividad biológica en la superficie del océano y la exportación de carbono hacia aguas profundas (Hernández de la Torre et al., 2004; Esparza-Álvarez et al., 2007).

Por otra parte, la fase fría (negativa) del ENOA es conocida como “La Niña” se caracteriza por un enfriamiento de las aguas superficiales en el centro y oriente del Pacífico ecuatorial. En estas condiciones los vientos alisios se fortalecen, intensificando las surgencias a lo largo del este ecuatorial y las costas sudamericana y norteamericana (NOAA, 2018). Las fases de ENOA no son lineales ya que hay grandes variantes en las respuestas climáticas. Es importante mencionar que, un evento “El Niño” no siempre va seguido de un evento de “La Niña”, demostrando la no periodicidad de este fenómeno (Magaña-Rueda et al., 1998)

El ENOA es considerado actualmente como la señal dominante del cambio global para escalas de tiempo que van de meses a años (Philander, 1983). Los efectos de los años ENOA en la capa epipelágica del océano están asociados a cambios en la abundancia de fitoplancton y la producción primaria (Feldman et al.,

1984). El principal efecto sobre el fitoplancton está relacionado con decrementos en la concentración de nutrientes inorgánicos (Dugdale, 1967). Adicionalmente, se ha establecido que los trópicos representan la principal fuente de emisión natural de CO₂ del océano a la atmósfera y los cambios relacionados con el ENOA modulan fuertemente ese flujo (Chávez et al., 1999)

1.3.2 Oscilación Decadal del Pacífico

Estrechamente relacionado con las modulaciones de baja frecuencia de ENOA, está la Oscilación Decadal del Pacífico. La ODP representa una fluctuación o variabilidad climática en el Océano, con un periodo de entre 20 y 30 años. Consta de una fase positiva o cálida (ODP+) y una fase negativa o fría (ODP-). Durante la fase cálida presenta una tendencia al aumento en la profundidad de la termoclina y nutriclina en el oeste de Norteamérica y, por lo tanto, una reducción de la productividad primaria marina en la costa occidental de Baja California. Por el contrario, en la fase fría se produce un aumento de la productividad primaria regional (Mantua et al., 1997). El patrón asociado de calentamiento y enfriamiento de la superficie del océano es similar a ENOA, aunque en este ODP la anomalía de temperatura tiende a ser más amplia en un sentido norte-sur y de recurrencia decadal. El ENOA influye principalmente en las regiones tropicales, mientras que la ODP afecta al Océano Pacífico Norte (Maturana et al., 2004).

Al oeste de América del Norte, las fases positivas de ODP están asociadas a condiciones climáticas similares a las del Niño, aunque su expresión es más débil. En invierno, los vientos del norte se debilitan, el flujo hacia los polos se intensifica y la Contracorriente del Sur de California y la Contracorriente Subsuperficial de California traen aguas más cálidas del sureste (Bringué et al., 2014). Estas condiciones se intensifican con El Niño u ODP positivo y se neutraliza con La Niña u ODP negativo. En primavera-verano prevalecen las condiciones de surgencia que traen consigo especies asociadas a mayor productividad y/o de agua fría, condiciones que se agudizan con La Niña o años ODP negativos y se neutralizan con el Niño u ODP positivo.

Finalmente, se ha documentado que la ODP modula las teleconexiones climáticas entre el clima de América del Norte y el Pacífico ecuatorial durante los eventos de El Niño y La Niña (Linsley et al., 2000; MacDonald y Case, 2005).

1.3.3 Tendencias de factores climáticos

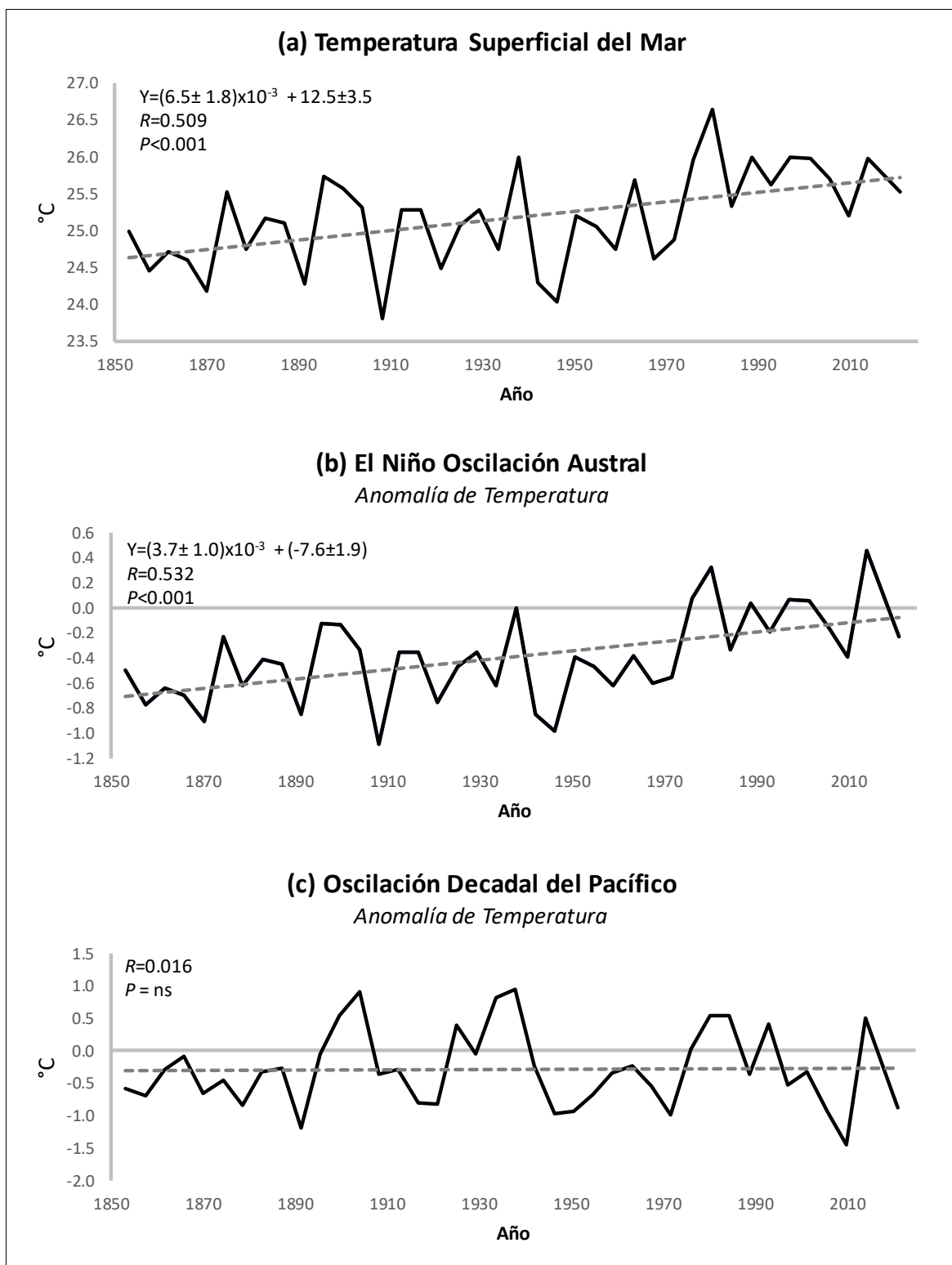


Figura 3. Perfiles de Temperatura Superficial del Mar (a) y anomalías de temperatura (°C) de El Niño oscilación Austral (b) y de la Oscilación Decadal del Pacífico (c) entre 1854 y 2021 (líneas continuas negras). Para cada uno se incluye su análisis de tendencia (líneas grises discontinuas) obtenida mediante una regresión lineal de *Pearson*, la ecuación de la recta, el coeficiente de correlación (R) y su significancia estadística (p).

La variabilidad de la TSM, el ENOA y la ODP desde 1854 a 2021 (Figura 3) Huang et al., 2017; <https://www.ncei.noaa.gov/products/extended-reconstructed-sst>), promediados cada cuatro años para tener la misma resolución de las muestras estudiadas sugieren que existe una tendencia de calentamiento global hacia la actualidad. La correlación de estas tendencias es significativa ($p < 0.001$) para la TSM y para la anomalía de temperatura del ENOA, aunque no es significativa para la ODP.

La TSM máxima en la serie de tiempo analizada es de 26.6 °C en 1980°C, aunque se observan valores altos en 1896 (25.74 °C) y en 1938 (26.0 °C) en 1980 (26.64. °C). El último valor por debajo de los 25°C fue en 1972. Por otro lado, la anomalía del ENOA presenta máximos crecientes de 0.13 en 1986, 0.0 en 1938 y 0.32 en 1980.

1.4 Hipótesis

Las características de los conjuntos de quistes de dinoflagelados reflejan cambios en la temperatura superficial del mar y los efectos de forzamientos regionales como El Niño Oscilación Austral y la Oscilación Decadal del Pacífico en el periodo de 1853 a 1963. Particularmente, las especies de palinomorfos indicadoras de aguas frías debieron ser más abundantes en el siglo XIX, mientras que se debería observar un incremento de copépodos calanoides y de las especies potencialmente tóxicas en el siglo XX.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Documentar los quistes de dinoflagelados y otros palinomorfos marinos como huevos diapáusicos de copépodos, otros marinos (acritarcas, foraminíferos y escolecodontes), al igual que palinomorfos continentales como polen y esporas en los sedimentos laminados del núcleo SOLE09-01, recolectado de la Cuenca San Lázaro en el Océano Pacífico, México. Realizar análisis palinológico, geoquímico, estadístico y comparativo para evaluar cualitativa y cuantitativamente la relación y respuesta a la variabilidad de las abundancias de palinomorfos con parámetros climáticos como la Temperatura Superficial del Mar, El Niño Oscilación Austral y la Oscilación Decadal del Pacífico, en la búsqueda de interpretaciones ecológico-climáticas en el periodo que va de 1853 a 1963.

1.5.2 Objetivos específicos

- Identificar y cuantificar los conjuntos de quistes de dinoflagelados y huevos diapáusicos de copépodos calanoides, así como otros palinomorfos marinos (acritarcas, foraminíferos y escolecodontes) y continentales (polen y esporas) de 1853 a 1963.
- Asociar la proporción de quistes de dinoflagelados de afinidad climática fría, templada, tropical y cosmopolita, así como especies potencialmente tóxicas con patrones de temperatura superficial del mar.
- Correlacionar la variabilidad de los quistes de dinoflagelados y otros palinomorfos contabilizados con los forzamientos interanuales como El Niño Oscilación Austral y decadales como la Oscilación decadal del Pacífico.
- Explicar la variabilidad de la productividad primaria y relacionarla con el Carbono orgánico, riqueza, diversidad e índice H-A.

Capítulo 2. Metodología

2.1 Área de estudio

La Cuenca San Lázaro (CSL), también conocida como Cuenca Soledad, se localiza en el margen continental de la Península de Baja California, entre los 25.08°N y 112.95°O, a 45 km de la costa de Baja California Sur (Esparza-Álvarez, 1999) y dentro del Golfo de Ulloa (Figura 4), ubicado entre las latitudes 24° y 26°30' N. El Golfo de Ulloa se distingue del resto de la costa occidental de Baja California Sur por tener una plataforma continental relativamente amplia, limitada al norte por Punta Eugenia y al Sur por Bahía Magdalena.

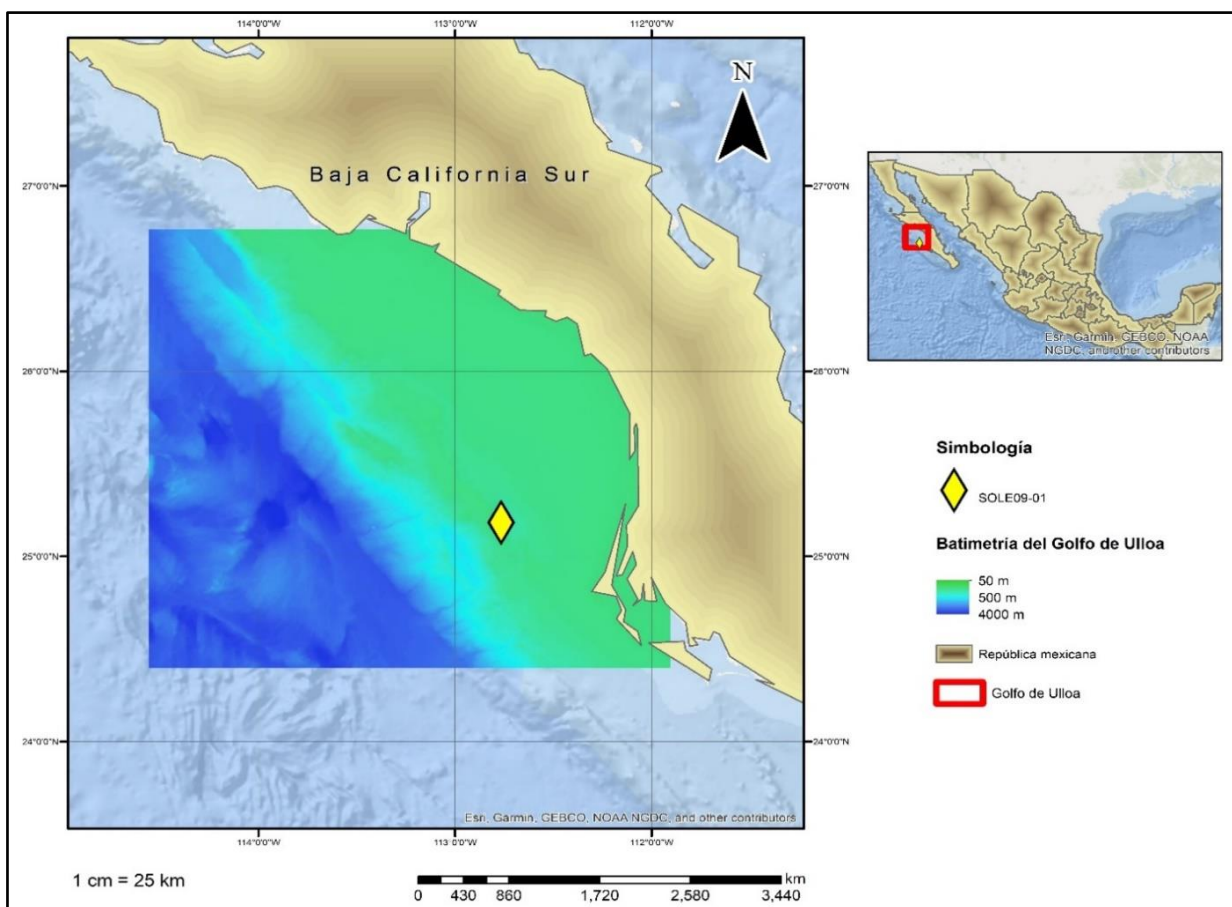


Figura 4. Mapa de localización del área de estudio. El núcleo utilizado en este trabajo (SOLE09-01) corresponde a la Cuenca San Lázaro, que forma parte del Golfo de Ulloa

El Golfo de Ulloa Se encuentra dominado por aguas subárticas de la Corriente de California (fría) y cálidas de la Corriente Ecuatorial del Norte, y su dominio está determinado por cambios climáticos estacionales, anuales y decadales a nivel regional y estructuras de mesoescala. Específicamente, La CSL es una depresión de origen tectónico que tiene ~85 km de longitud por 35 km de ancho y una profundidad máxima de 540 m que impide todo intercambio de aguas subsuperficiales por debajo de los 100 m (Esparza-Álvarez et al., 2007).

2.2 Recolección del núcleo sedimentario (SOLE09-01)

El núcleo sedimentario SOLE09-01 utilizado en este trabajo, fue recolectado durante el crucero oceanográfico LONO009-1 en octubre del 2009, dirigido por el Dr. William Berelson de la Universidad del Sur de California, a bordo del RV New Horizon. SOLE09-01 tiene una longitud de 37.5 cm (Figura 5).

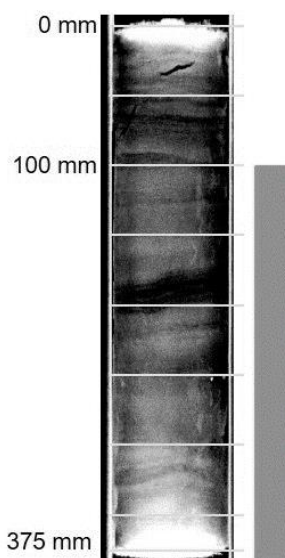


Figura 5. Núcleo SOLE09-01. Se representan las ocho secciones datadas, la sección gris indica la sección analizada en este estudio.

2.3 Modelo cronológico

El modelo cronológico del núcleo se calculó con los resultados obtenidos con $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ en el Laboratorio de Dataciones del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM en Mazatlán, para ser datados por $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$. Se analizaron siete muestras en el intervalo de 0-35 cm (Figura 6).

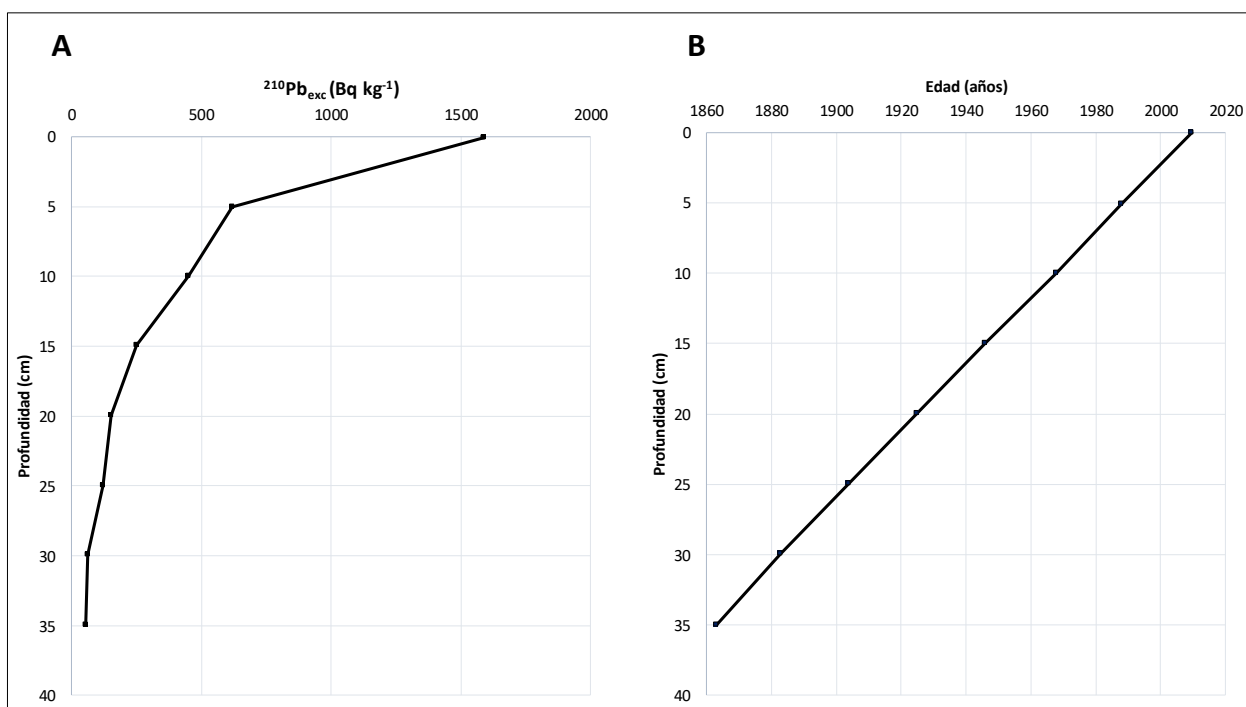


Figura 6. A) Concentración de $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ en la profundidad. B) Regresión lineal de las dataciones representado en Edad de calendario Gregoriano vs la profundidad.

En la Figura 6 se observa un comportamiento exponencial al graficar los valores de $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ vs la profundidad de las muestras analizadas. La mayor concentración de $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ se encuentran en los primeros 10 cm del núcleo, por lo cual se usó el modelo de Flujo Constante de Sedimentación (CFCS, por sus siglas en inglés). Las Velocidades de Acumulación de Sedimentos (VAS; cm año⁻¹) se calcularon con una regresión lineal del perfil de edades $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ contra la profundidad. Para el cálculo de incertidumbres de las edades de la VAS, se realizó una simulación de Montecarlo, utilizando ambas actividades: ^{210}Pb y ^{226}Ra . El logaritmo natural de $^{210}\text{Pb}_{\text{exc}}$ fue aleatorizado para calcular los parámetros de regresión y las edades de la sección con 300,000 iteraciones, y también para estimar estadísticamente las incertidumbres.

Se obtuvo una velocidad de sedimentación de 0.236 ± 0.011 cm año⁻¹, con un coeficiente de correlación lineal $r = 0.9995$. La ecuación de regresión lineal de la Figura 6, corresponde a la profundidad de 0 a 35 cm. Conociendo el VAS, se realizó una extrapolación para la sección más antigua. Las 27 muestras del presente estudio fueron muestreadas cada centímetro, cada una cuenta con una resolución de 4.24 años, lo que permitió analizar 110 años de registro sedimentario (Tabla 1).

Tabla 1. Muestras en relación con su profundidad, edad calendario (CG) y la resolución obtenida y observable en años.

Muestra	Profundidad (mm)	Edad CG	Resolución (años)
1	110	1963.31	
2	120	1959.07	-4.24
3	130	1954.83	-4.24
4	140	1950.59	-4.24
5	150	1946.36	-4.24
6	160	1942.12	-4.24
7	170	1937.88	-4.24
8	180	1933.64	-4.24
9	190	1929.40	-4.24
10	200	1925.17	-4.24
11	210	1920.93	-4.24
12	220	1916.69	-4.24
13	230	1912.45	-4.24
14	240	1908.22	-4.24
15	250	1903.98	-4.24
16	260	1899.74	-4.24
17	270	1895.50	-4.24
18	280	1891.26	-4.24
19	290	1887.03	-4.24
20	300	1882.79	-4.24
21	310	1878.55	-4.24
22	320	1874.31	-4.24
23	330	1870.07	-4.24
24	340	1865.84	-4.24
25	350	1861.60	-4.24
26	360	1857.36	-4.24
27	370	1853.12	-4.24

Es pertinente mencionar que este núcleo ha sido motivo de dos trabajos previos en los que se analizaron los palinomorfos correspondientes al periodo de 1967 a 1988 por Pérez-Rodríguez (2016) y de 1988 a 2009 por Serrano-Mejía (2016); en los cuales se muestreo cada milímetro para el análisis cronológico y palinológico.

2.4 Procesamiento palinológico

La preparación de las muestras para estudio de palinomorfos se llevó a cabo en el laboratorio de Micropaleontología y Palinología del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada Baja California (CICESE), asistido por la Oc. Edna Collins. Para la extracción de palinomorfos se

siguieron las técnicas palinológicas descritas por Wood et al., (1996), exceptuando la oxidación. Las muestras se pesaron y se colocaron en un vaso de precipitado de plástico Nalgene y se sometieron a una digestión química para eliminar carbonatos y silicatos con ácido clorhídrico (HCl) y ácido fluorhídrico (HF), respectivamente.

1. La digestión química:

La eliminación de carbonatos se realizó mediante la adición de HCl (37%) a temperatura ambiente y hasta cubrir cada una de las muestras dentro del tubo de precipitado. Posteriormente, a cada una se les añadió una pastilla de *Lycopodium clavatum* (serie 483216) como marcador exótico. Se lava la muestra con agua destilada y se deja sedimentar. Se tamiza el sobrenadante utilizando una malla de 10 a 15 μm para eliminar arcillas y limos, concentrando la muestra con el mínimo de agua.

Para la eliminación de silicatos, a cada una de las muestras se adiciona HF (48%), a temperatura ambiente y hasta cubrir la muestra dentro del tubo, se mezcla y deja reposar por 18 horas. La muestra se lava con agua destilada y se mide el pH con tiras reactivas hasta obtener un pH de 7, se deja sedimentar. Luego se tamiza, se concentra con el mínimo de agua y se coloca en un tubo de ensayo de 50 mL.

2. La concentración física y extracción química:

La separación de la materia orgánica en cada una de las muestras sedimentarias se llevó a cabo utilizando una centrifuga marca Eppendorf 5810. Cada tubo fue centrifugado durante ~6 minutos (3500 rpm), el sobrenadante fue decantado y posteriormente, se le añadieron dos partes de pulitungstato de sodio ($\text{Na}_6\text{O}_{39}\text{W}_{12}$) a una densidad de 2.1 y mezclados en un tubo Vortex durante 1 minuto. Finalmente, la muestra es centrifugada nuevamente durante 20 minutos (3500 rpm), la materia orgánica que flota en el pulitungstato de sodio, se concentra y enjuaga con dos tamices (15 y 147 μm). La muestra se colecta en un vial de plástico de 2 mL.

3. Montaje de láminas con gelatina glicerizada y resina óptica:

En una plancha de calentamiento (~30°C) se coloca un cubreobjetos (24x50 mm) limpio y etiquetado, y sobre este, un trozo de gelatina glicerizada previamente suavizada con un baño maría. De la muestra de palinomorfos, colectada en el vial de plástico de 2mL, se colocan una o dos gotas sobre el cubreobjetos, se homogeniza con un palillo y se deja secar. Posteriormente, se monta el cubreobjetos seco con 5 a 8

gotas de resina óptica marca Norland #61, se distribuye la resina, presionando con una goma pequeña. Se realiza un secado con rayos ultravioleta (UV) por 10 min.

2.4.1 Análisis palinológico

Cada una de las muestras sedimentarias se analizarán cualitativa y cuantitativamente con un microscopio óptico de luz transmitida (OLYMPUS BX51TF). La revisión general de la lámina, así como los conteos de palinomorfos marinos y terrestres se realizan con el objetivo de 20x. mientras que la identificación a nivel de género y especie se lleva a cabo utilizando objetivos de 40x, 60x y 100x. Adicionalmente, se cuantificaron las esporas de *Lycopodium clavatum*, polen y esporas.

El lote (*batch*) de la pastilla *L. clavatum* que se añadió a la muestra contiene 18,583 esporas, por lo que se utilizó este valor para evitar un error mayor al 5% (95% de confianza estadística), así como el tamaño mínimo de muestra (377 esporas) utilizando la siguiente ecuación:

$$n = \frac{Lt}{1 + e^2 * \frac{Lt - 1}{z^2 * v}} \quad (1)$$

donde:

n: conteo mínimo de esporas de *L. clavatum*

Lt: número total de esporas de *L. clavatum* por tableta

e: margen de error aceptado

z: nivel de confiabilidad (95%)

v: varianza de la población (se consideró el 50%)

La identificación de dinoflagelados se llevó a cabo siguiendo las convenciones taxonómicas de (Zonneveld y Pospelova, 2015). y Williams et al., (2017; Dinoflaj3). Por otra parte, los granos de polen y esporas se

contabilizarán y se les dará afinidad ecológica, como polen de angiospermas, polen de gimnospermas y esporas de pteridofitas.

2.5 Carbono orgánico

El análisis de carbono total (C_t) y carbono inorgánico (C_i), se analizó mediante la técnica coulométrica, utilizando un Coulómetro de $CO_{2(g)}$ (UIC CM150) con un módulo de acidificación y combustión acoplado. Para determinar el C_T , ~20 mg de sedimento se colocaron en el módulo de combustión a 930 °C en un flujo de $O_{2(g)}$. Para determinar el C_i , ~20 mg de sedimento se trataron en el módulo de acidificación, añadiendo 5 mL de $HClO_4$, para obtener $CO_{2(g)}$. El CO_2 generado en ambos módulos (combustión y acidificación) es acarreado a la celda coulométrica para ser cuantificado. La concentración de C_{org} se determinará restando al C_T el C_i . El C_{org} es un indicador de la productividad primaria, tanto marina como continental, por lo su variabilidad reflejan cambios en el contenido de palinomorfos continentales y marinos (Zegarra y Helenes, 2011).

2.5.1 Análisis de datos de Carbono orgánico

Para el tratamiento de los datos, primero, se precisa el valor del “blanco de procedimiento”, ya que además de corroborar el buen funcionamiento del equipo es útil para calcular el error del proceso. Posteriormente, para tener noción de la precisión y exactitud (promedio y desviación estándar), se usaron estándares certificados de $CaCO_3$, tres para C_i y cuatro para C_t . El promedio de recuperación en los estándares de C_i es de 99.5% y la desviación estándar de 1.2%. Por su parte, el promedio de recuperación de C_t es de 101.6% y una desviación estándar de 3.0. Estos valores son congruentes con una buena precisión y exactitud.

Los valores del equipo, para cada una de las 27 muestras viene dado en unidades de μgC , valor al cual fue restado el “blanco de procedimiento”. Para C_i se determina el porcentaje de Carbono Inorgánico ($\%C_i$) y de Carbonato de Calcio ($\%CaCO_3$). Para C_t se determina el porcentaje de Carbono Orgánico ($\%C_{org}$) y por diferencia entre el $\%C_i$ y $\%C_{org}$ se determina el porcentaje de Carbono Orgánico. Las concentraciones porcentuales de $CaCO_3$, C_t y C_t se convirtieron a $\mu mol g^{-1}$. Posteriormente, se graficaron estas razones molares.

2.6 Análisis estadístico

Con los conteos de dinoflagelados, polen, esporas, copépodos, otros palinomorfos marinos y esporas de *L. clavatum*, se construyó una base de datos. La cual se analizó estadísticamente mediante técnicas multivariadas para comprender la relación de los conjuntos de dinoflagelados y su comportamiento, agrupación y clasificación de las interrelaciones entre las variables.

2.6.1 Abundancia absoluta

El cálculo de la abundancia absoluta, expresada como concentración de quistes por gramo de sedimento se realizó con el método de marcadores exóticos (Stockmarr, 1971). Este método de normalización consiste en agregar una tableta de *L. clavatum* con un número conocido de esporas a un peso conocido de la muestra antes de ser tratada químicamente. En la lámina, se contabiliza el número total de palinomorfos y marcadores exóticos (*L. clavatum*), para determinar el número de especímenes contenidos en la muestra por gramo de sedimento. Con los números totales de esporas *L. clavatum* contadas, se calcularon las concentraciones.

Este marcador exótico es necesario, ya que minimiza el sesgo a las abundancias relativas y absolutas que pueda introducir al observador al contar los quistes (Mertens et al., 2009). Para el cálculo de la abundancia absoluta se utilizó la siguiente fórmula propuesta por Benninghoff (1962):

$$C = \frac{dc * Lt * t}{Lc * w} \quad (2)$$

donde:

C = Concentración de palinomorfos/gramo de sedimento seco

dc = Número de quistes de dinoflagelados contados

Lt = Número de esporas/tabletas de *L. clavatum*

t = Número de tabletas agregadas a la muestra

L_c = Número de esporas de *L. clavatum* contadas

w = Peso del sedimento seco en gramos

2.6.2 Correlaciones entre variables

Para identificar los cambios oceanográficos y climáticos que tuvieron lugar en la CSL, en el periodo de 1853 a 1963, se analizaron registros de Temperatura Superficial del Mar (TSM) y de anomalías térmicas asociadas a los forzamientos regionales: El Niño Oscilación Austral (ENOA) y la Oscilación Decadal del Pacífico (ODP). Los datos utilizados para los tres parámetros se obtuvieron de Huang et al. (2017), y abarca el periodo de tiempo de 1854 al presente. Las fuentes de los datos corresponden a ICOADS 3.0, que combina TSM de flotadores Argo (más de 5 metros), concentración de hielo Hadley Center Ice-SST versión 2 (HadISST2) (1854-2015) y concentración de hielo NCEP (2016-presente).

Para análisis de correlación lineal de *Pearson* (r), se usaron las variables dependientes en concentraciones (quistes de dinoflagelados, huevos de copépodos, otros marinos y palinomorfos continentales), además de las variables ambientales independientes en °C: TSM, ENOA y ODP. La variable independiente C_{org} se utilizó en $\mu\text{mol g}^{-1}$. Las correlaciones se realizaron en el software STATISTICA (StatSoft, Inc., versión 7.0). El nivel de confianza considerado significativo fue el 95% ($p < 0.5$).

2.6.3 Análisis multivariado

Con el propósito de determinar si los valores de correlación son significativos, se estableció $r > \pm 0.50$ como indicador de alta correlación y valores de $p < 0.05$ como estadísticamente significativos. Las muestras presentan bajas correlaciones entre las variables ambientales y las variables palinológicas. Los datos mostraron falta de normalidad con la prueba *Shapiro-Wilks* por lo que el análisis multivariado se evaluó con el método no paramétrico de Análisis de Correlación Canónica (ACC). Esta técnica multivariada está diseñada para derivar una serie de funciones canónicas (independientes) que maximizan la correlación entre los dos componentes lineales, calculadas a partir de los dos conjuntos de análisis de variables

originales. Uno de los objetivos principales de ACC es averiguar que tan bien, las variables dependientes originales se pueden predecir mediante la variable canónica independiente, o viceversa (Peh et al., 2011).

2.6.4 Otros criterios de evaluación

Análisis SIMPER: Debido al cambio en diferentes intervalos temporales en las tendencias de los datos climáticos y las respuestas de los quistes, se evaluaron con la prueba SIMPER en el software PAST v4.03, para determinar la disimilitud porcentual. Este análisis usa como base el índice de similitud de Bray-Curtis entre conjuntos de datos y la contribución de cada taxón en tal diferencia (Clarke, 1993).

Como proxy de la productividad marina (Reichart y Brinkhuis, 2003), se estimó el índice de concentración heterotrófica-autotrófica (H-A), la riqueza y el índice de Shannon (H) para evaluar cada abundancia y equidad de especies en cada muestra.

H-A: se calculó usando la fórmula:

$$H - A = \left(\frac{HC}{HC + AC} \right) \quad (3)$$

donde:

HC: Concentración de quistes de heterótrofos

AC: Concentración de quistes autótrofos

Riqueza: Conteo de especies totales por muestra.

Índice de diversidad de Shannon (H'): se expresa con un número positivo, que en la mayoría de los ecosistemas naturales varía entre 0.5 y 5, aunque su valor típico está entre 2 y 3. Valores inferiores a 2 se consideran bajos en diversidad y superiores a 3 como diverso. No tiene límite superior o en todo caso lo da la base del logaritmo que se utilice. El cálculo se realizó en PAST v4.03.a partir de la siguiente ecuación:

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i \quad (4)$$

donde:

S : número de especies (riqueza)

p_i : proporción de individuos de la especie i respecto al total de individuos (abundancia relativa de i): $\frac{n_i}{N}$

n_i : número de individuos de la especie i

N : número de todos los individuos de todas las especies.

Este índice de diversidad nos dice que tan diversa es una comunidad (biodiversidad específica) determinada. El índice se eleva con el número de especies y la uniformidad de sus abundancias (Shannon, 1948).

Capítulo 3. Resultados

3.1 Palinología

Tabla 2. Dinoflagelados identificados en núcleo SOLE09-01. Los quistes marcados en negritas indican las 22 especies más abundantes, así como su abreviatura de identificación (Id) en los análisis estadísticos. También, su equivalente en estadio móvil o vegetativo. Se indican las especies que tienen afinidad climática fría (fr), tropical (tr), templada (te), cosmopolitas (co) o que son potencialmente tóxicas (tó).

orden	quiste de dinoflagelado	Id	estadio móvil	afinidad				
				fr	tr	te	co	tó
Peridinales	<i>Brigantedinium asymmetricum</i>	Basy	? <i>Protooperidinium spp</i>					
	<i>Brigantedinium. auranteum</i>	Baur	? <i>Protooperidinium spp</i>					
	<i>Brigantedinium cariacense</i>	Bcar	<i>Protooperidinium avellanum</i>					
	<i>Brigantedinium grande</i>	Bgra	? <i>Protooperidinium spp</i>					
	<i>Brigantedinium irregulare</i>	Birr	? <i>Protooperidinium spp</i>					
	<i>Brigantedinium majusculum</i>	Bmaj	? <i>Protooperidinium spp</i>					
	<i>Brigantedinium. simplex</i>	Bsim	<i>Protooperidinium conicoides</i>					
	<i>Brigantedinium sp.</i>	Bsp	? <i>Protooperidinium spp</i>					
	<i>Lejeunecysta diversiforma</i>	Ldiv	? <i>Protooperidinium spp</i>					
	<i>Lejeunecysta sp.</i>	Lsp	? <i>Protooperidinium spp</i>					
	<i>Polikrikos schwartzii</i>	Psch	<i>Polykrikos schwartzii</i>					
	<i>Protooperidinium americanum</i>	Pame	<i>Protooperidinium americanum</i>					
	<i>Protooperidinium fukuyoi</i>	Pfuk	<i>Protooperidinium fukuyoi</i>					
	<i>Quinquecuspis concreta</i>	Qcon	<i>Protooperidinium leonis</i>					
	<i>Selenopemphix nephroides</i>	Snep	<i>Protooperidinium subinerme</i>					
	<i>Votadinium cf. calvum</i>	Vcal	<i>Protooperidinium oblongum</i>					
Gonyaulacales	<i>Ataxiodinium choane</i>	Acho	<i>Gonyaulax spp</i>					
	<i>Echinidinium delicatum</i>	Edel	<i>Diplopsalid o Protooperinoides</i>					
	<i>Impagidinium aculeatum</i>	Iacu	<i>Gonyaulax spp</i>					
	<i>Impagidinium paradoxum</i>	Ipar	<i>Gonyaulax spp</i>					
	<i>Impagidinium patulum</i>	Ipat	<i>Gonyaulax spp</i>					
	<i>Impagidinium sphaericum</i>	Isph	<i>Gonyaulax spp</i>					
	<i>Impagidinium striatum</i>	Istr	<i>Gonyaulax spp</i>					
	<i>Impagidinium sp.</i>	Isp	<i>Gonyaulax spp</i>					
	<i>Lingulodinium machaerophorum</i>	Lmac	<i>Lingulodinium polyedrum</i>					
	<i>Islandium minutum</i>	Imin	<i>Protooperidinium sp</i>					
	<i>Labyrinthodinium cf. truncatum</i>	Ltru	<i>Labyrinthodinium truncatum</i>					
	<i>Nia acanthocysta</i>	Naca	<i>Nia acanthocysta</i>					
	<i>Polysphaeridium zoharyi</i>	Pzoh	<i>Pyrodinium bahamense</i>					
	<i>Spiniferites bentorii</i>	Sben	<i>Gonyaulax digitale</i>					
	<i>Spiniferites mirabilis</i>	Smir	<i>Gonyaulax spinifera</i>					
	<i>Spiniferites ramosus</i>	Sram	<i>Gonyaulax spp</i>					
	<i>Spiniferites sp.</i>	Ssp	<i>Gonyaulax spp</i>					
<i>Tuberculodinium vancampoae</i>	Tvan	<i>Pyrophacus steinii</i>						

En las 27 muestras analizadas cualitativa y cuantitativamente bajo microscopio, se identificaron 17 géneros de quistes de dinoflagelados, donde siete pertenecen al orden Peridiniales (heterotróficos) y diez a Gonyaulacales (fototróficos). Además, se logró identificar a nivel de especies 30 conjuntos de quistes distintos (Tabla 2), de los cuales 14 corresponde a especies de afinidad trófica heterotrófica y 16 fototrófica (Tabla 2).

Aunque la diversidad es mayor para los quistes fototróficos, la abundancia está dominada por los heterótrofos (90.73%), representados por el género *Brigantedinium*. También se cuantificaron y convirtieron a concentraciones otros palinomorfos marinos (foraminíferos, escolecodontes y acritarcas) y continentales (polen, esporas, bisacados) (Tabla 4).

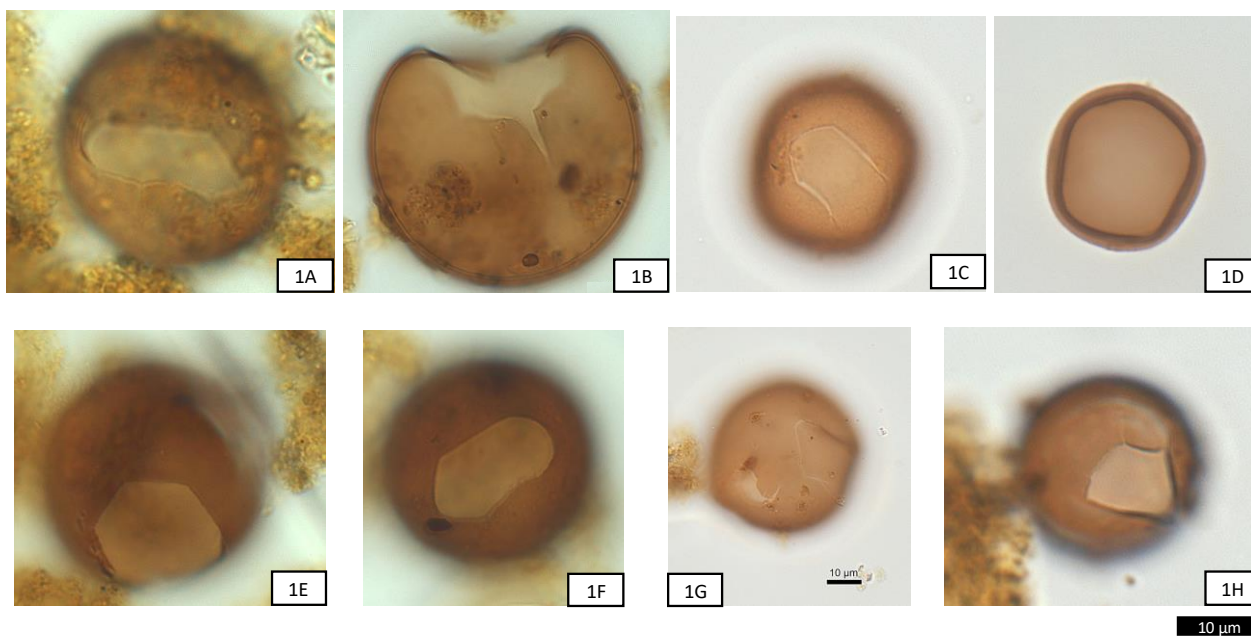


Figura 7. Quistes del orden Peridiniales, género *Brigantedinium*. 1A *B. asymmetricum*, 1B *B. auranteum*, 1C-D *B. cariacense*, 1E *B. grande*, 1F *B. irregulare*, 1G *B. majusculum*, 1H *B. simplex*.

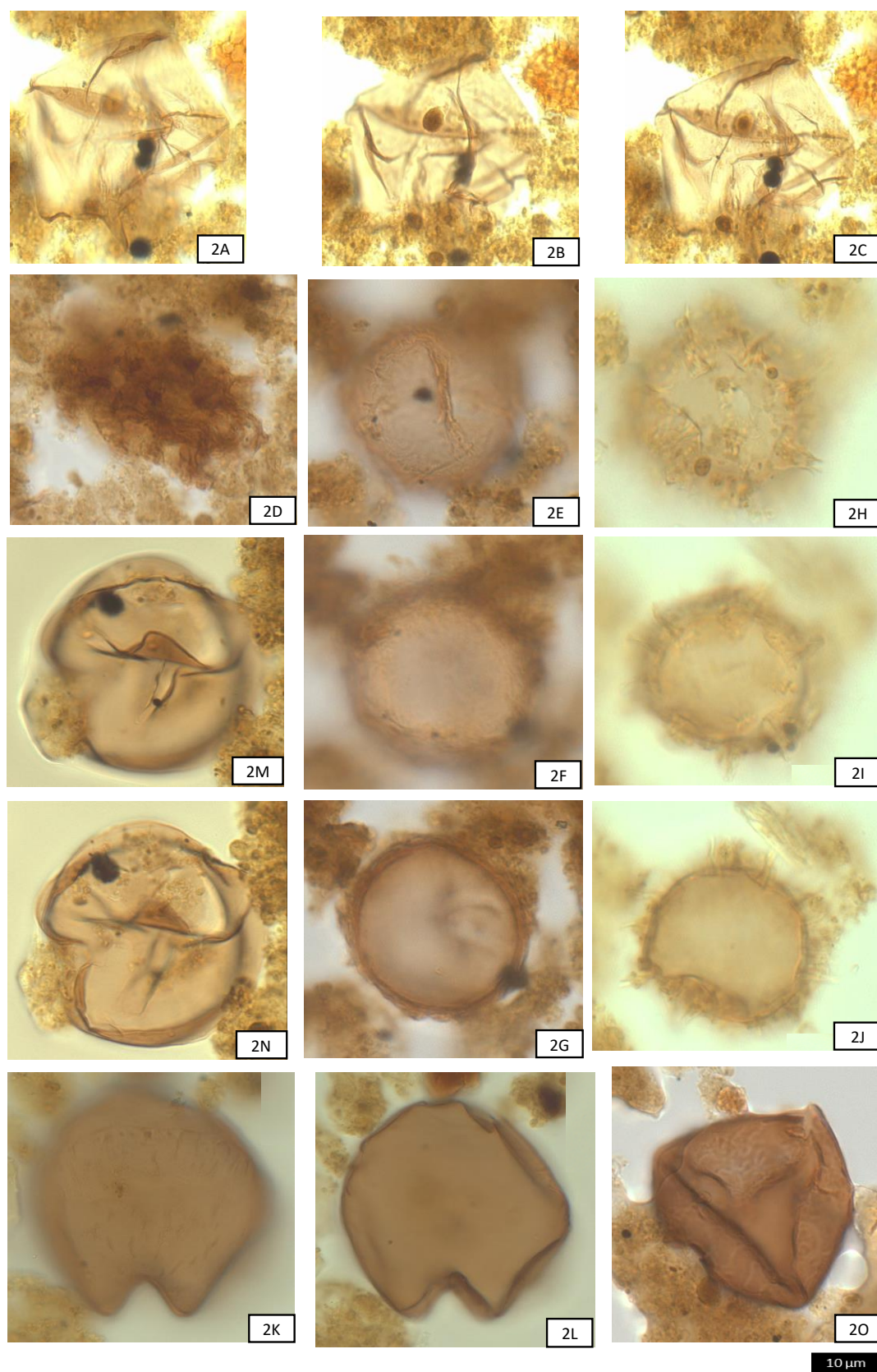


Figura 8. Otras especies de quistes del orden Peridinales. 2A-C *Lejeunecysta diversiforma*, 2D *Polikrikos schwartzii* 2E-G *Protoperidinium americanum*, 2-2J *P. fukuyoi*, 2K-L *Quinquescuspis concreta*, 2M-N *Selenopemphix nephroides* 2O *Votadinium* cf. *Calvum*.

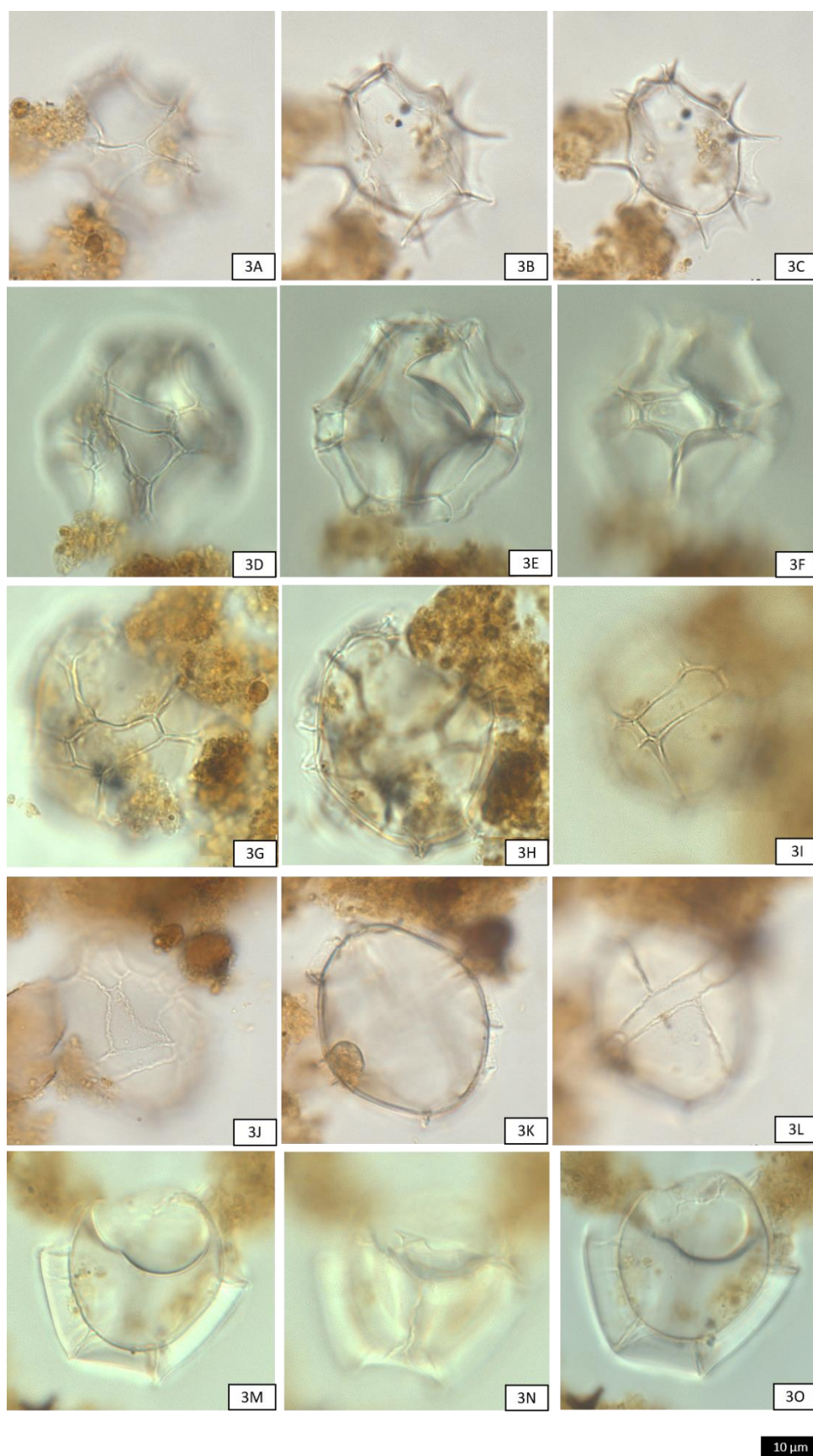


Figura 9. Quistes del orden Gonyaulacales, género *Impaginidium*. 3A-C *I. aculeatum*, 3D-F *I. paradoxum*, 3G-I *I. patulum*, 3J-L *I. sphaericum*, 3M-O *I. striatum*.

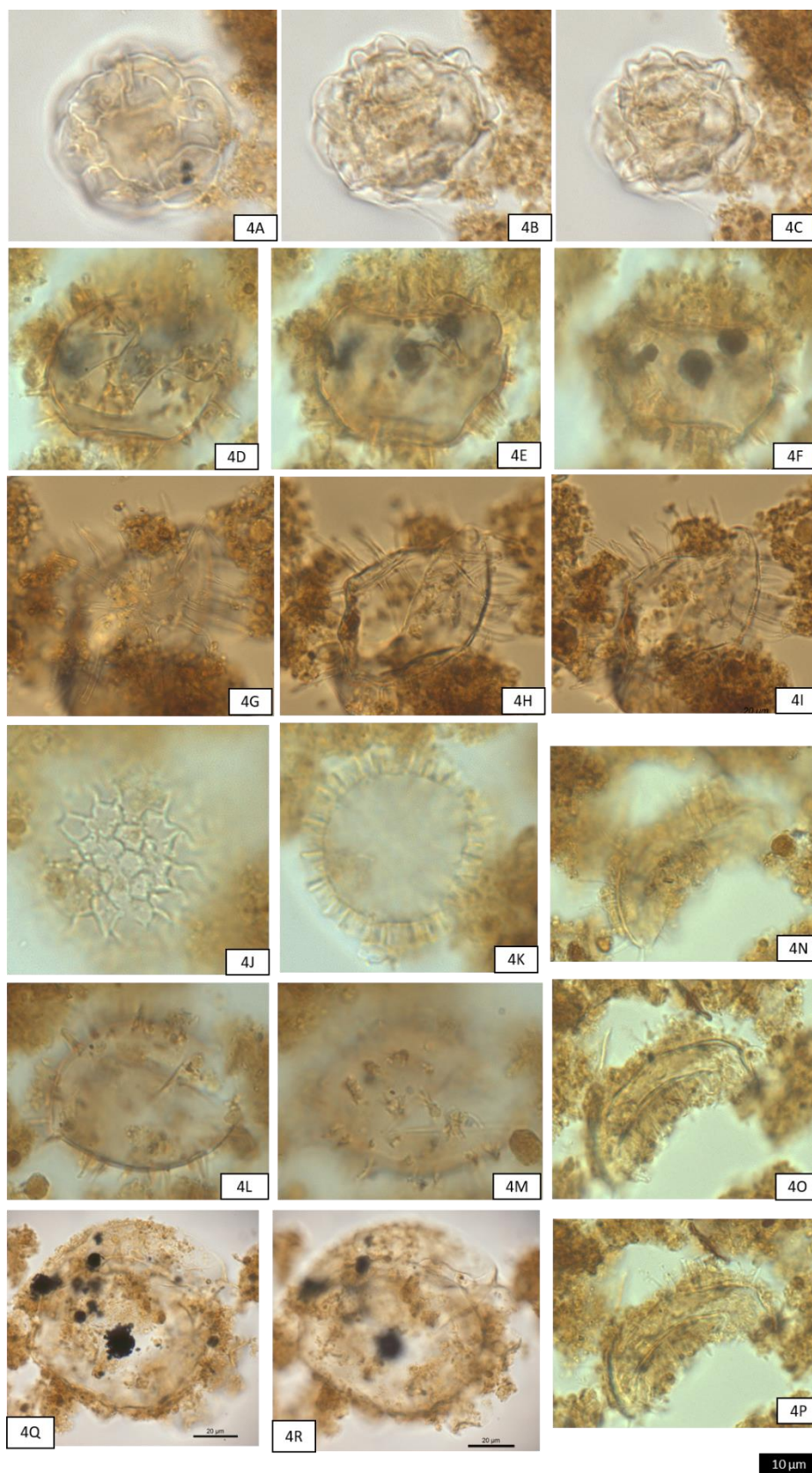


Figura 10. Otras especies de quistes del orden Gonyaulacales. 4A-C *Ataxiodinium choane*, 4D-F *Echinidinium delicatum*, 4G-I *Lingulodinium machaerophorum*, 4J-K *Labyrinthodinium* cf. *truncatum*, 4L-M *Nia acanthocysta*, 4N-P *Polysphaeridium zoharyi*, 4Q-R *Tuberculodinium vancampoeae*.

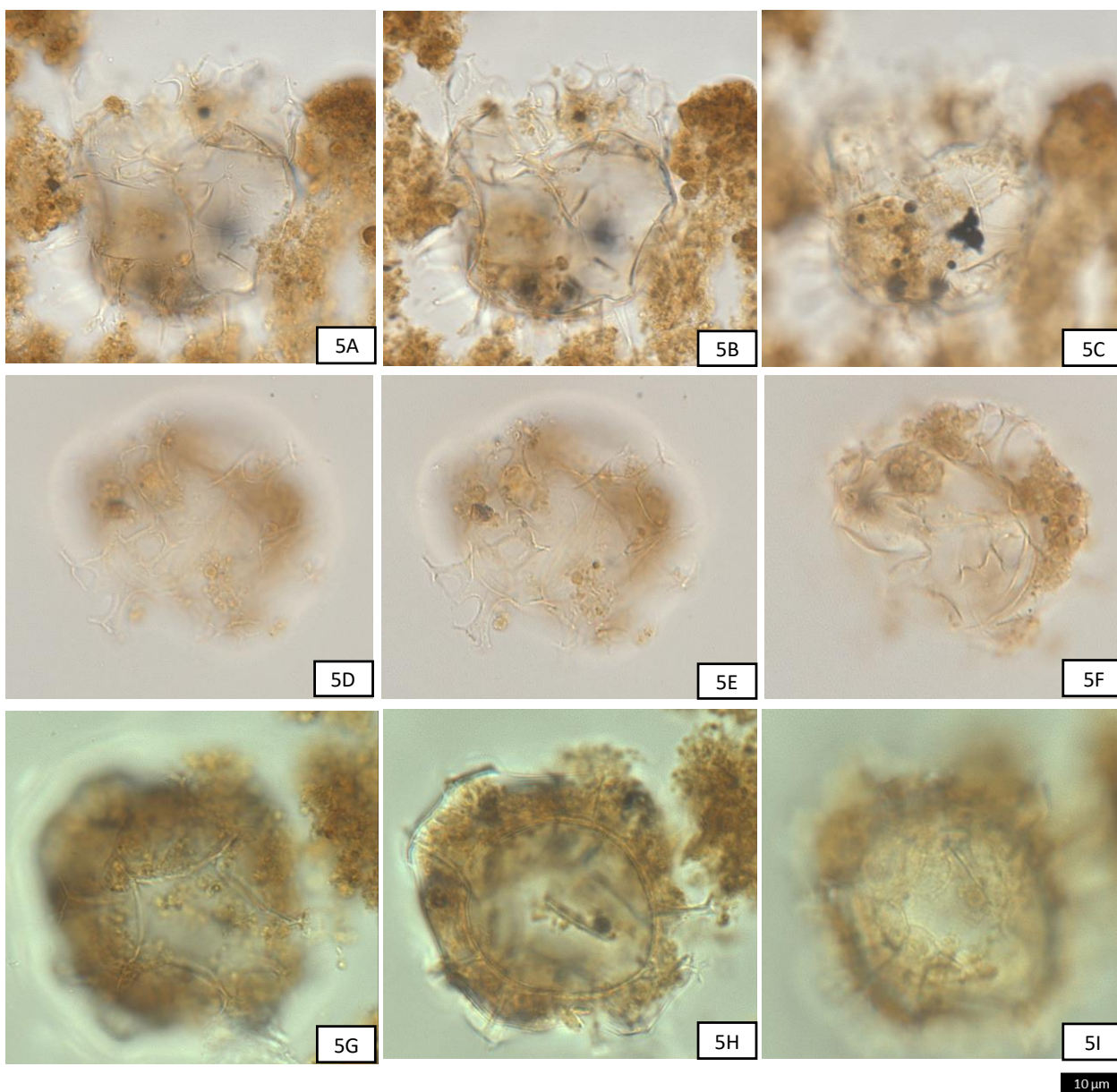


Figura 11. Quistes del orden Gonyaulacales, género *Spinerites*. 5A-C *S. bentorii*, 5D-F *S. mirabilis*, 5G-I *S. ramosus*.

3.2 Carbono orgánico

La concentración media de C_{org} fue de $581.17 \mu\text{mol g}^{-1}$, con una desviación estándar de $39.49 \mu\text{mol g}^{-1}$ (6.8%) alcanzando el valor máximo ($689 \mu\text{mol g}^{-1}$) en 1908, y el mínimo ($490 \mu\text{mol g}^{-1}$) en 1955 (Tabla 3; Figura 12).

Tabla 3. Concentraciones por muestra de C_t $CaCO_3$ y C_{org}

Muestra	Años	C_t ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	$CaCO_3$ ($\mu\text{mol g}^{-1}$)	C_{org} ($\mu\text{mol g}^{-1}$)
1	1963	804	240	564
2	1959	828	244	584
3	1955	730	240	490
4	1951	840	242	598
5	1946	839	248	591
6	1942	845	245	600
7	1938	837	220	617
8	1934	821	238	584
9	1929	771	226	545
10	1925	792	199	593
11	1921	816	222	594
12	1917	780	205	575
13	1912	822	193	629
14	1908	864	175	689
15	1904	860	219	641
16	1900	839	263	577
17	1896	824	256	568
18	1891	900	277	623
19	1887	870	272	598
20	1883	842	269	572
21	1879	822	266	556
22	1874	814	266	548
23	1870	799	262	537
24	1866	859	290	569
25	1862	778	274	504
26	1857	800	230	570
27	1853	804	229	575

3.3 Análisis estadístico

3.3.1 Abundancias absolutas

Las concentraciones de los palinomorfos identificados, se muestran en las Tablas 4 y 5 y gráficamente en las Figuras 12-14

Tabla 4. Concentraciones (qst/g sed) de los principales grupos de palinomorfos cuantificados.

Variable	Media (\bar{x}) (pal/g sed)			pal/g sed total
	Promedio	Máxima	Mínima	
Quistes TOT	2.01×10^3	6.10×10^3	0.146×10^3	54.3×10^3
Copépodos	1.35×10^3	2.85×10^3	0.248×10^3	36.5×10^3
Otros marinos	24.5×10^3	69.3×10^3	0.770×10^3	663×10^3
Continentales	23.1×10^3	63.7×10^3	8.01×10^3	624×10^3

Las abundancias absolutas obtenidas de los principales grupos de palinomorfos, se compararon en primera instancia con el C_{org} , otro de los productos de este trabajo, encontrando bajas correlaciones entre los valores (Figura 12).

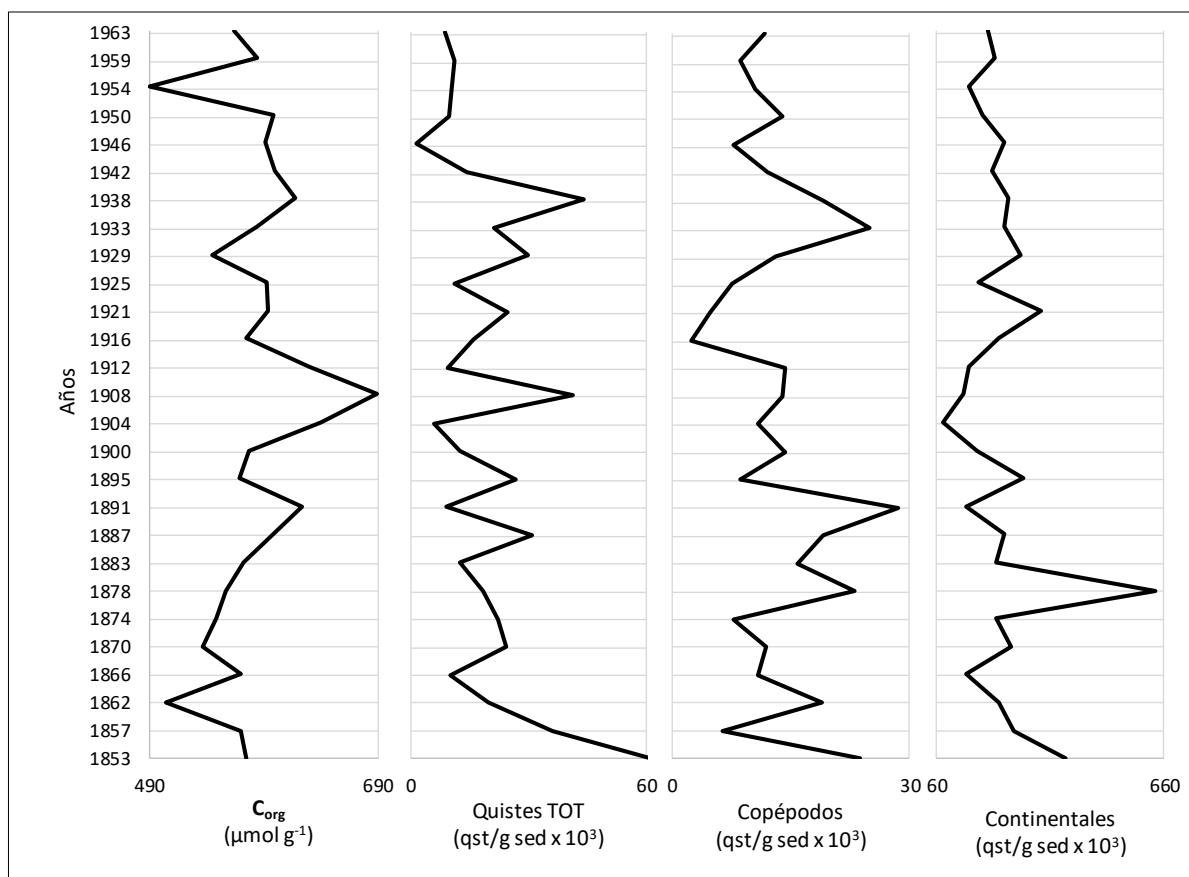


Figura 12. Carbono Orgánico (C_{org}) y concentraciones totales de quistes de dinoflagelados, huevos de copéodos y palinomorfos continentales. Notar el cambio de escalas en las concentraciones.

La abundancia de los palinomorfos marinos es más alta (suma de quistes, huevos copéodos, otros marinos; $754 \text{ pal/g sed} \times 10^3$) respecto a los continentales (polen, esporas y bisacados; $624 \text{ pal/g sed} \times 10^3$), sin embargo, la presencia de continentales a lo largo del núcleo es común en concentraciones significativas (Tabla 4).

Específicamente, en los quistes de dinoflagelados heterótrofos muestran dominio de la concentración total. Además, la mayor parte de los ensamblajes tienen afinidad climática templada (Tabla 5) y muestran abundancia en la parte más antigua del núcleo, contrariamente a los quistes tó, tr y fr, cuyos máximos están hacia la parte más reciente (Figura 13).

Tabla 5. Concentraciones (qst/g sed) de los principales grupos de quistes de dinoflagelados identificados, según su estrategia trófica, afinidad climática, y la característica de ser potencialmente tóxicos.

Variable	Media (\bar{X}) (qst/g sed)			qst/g sed total
	Promedio	Máxima	Mínima	
Quistes HET	18.5×10^2	59.7×10^2	0.845×10^2	500×10^2
Quistes FOT	1.62×10^2	5.16×10^2	0.00×10^2	43.8×10^2
Quistes fr	0.0702×10^2	0.704×10^2	0.00×10^2	1.90×10^2
Quistes te	3.62×10^2	15.4×10^2	0.00×10^2	97.8×10^2
Quistes tó	1.07×10^2	3.20×10^2	0.00×10^2	29.0×10^2
Quistes tr	0.122×10^2	2.17×10^2	0.00×10^2	3.29×10^2
Quistes TOT	20.1×10^2	61.0×10^2	1.46×10^2	544×10^2

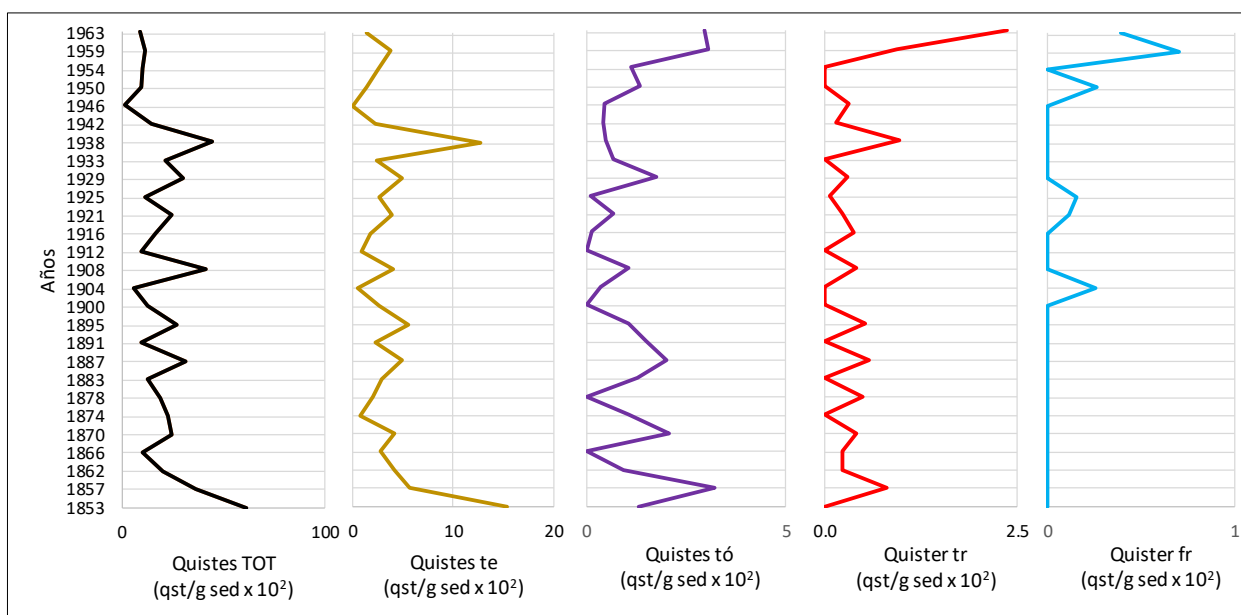


Figura 13. Concentración de quistes de dinoflagelados totales (TOT) y por afinidad climática: templada (te), tropical (tr), fría (fr), en orden de significancia, así como quistes potencialmente tóxicos (tó). Notar el cambio de escalas en las concentraciones.

El perfil de quistes totales (quistes TOT) es idéntico al de quistes heterotróficos (quistes HET), debido a sus altas concentraciones respecto a los quistes fototróficos (quistes FOT). La riqueza, que corresponde al número de especies por muestra y la diversidad se construye a partir de ella, evidencian que las muestras con mayor cantidad de quistes no son necesariamente las más diversas, se encuentran dominados por ensamblajes específicos. Por su parte el proxy de productividad marina H-A evidencia variaciones más abruptas a partir de 1946, debido a un ligero aumento de quistes fototróficos respecto a los heterotróficos (Figura 14).

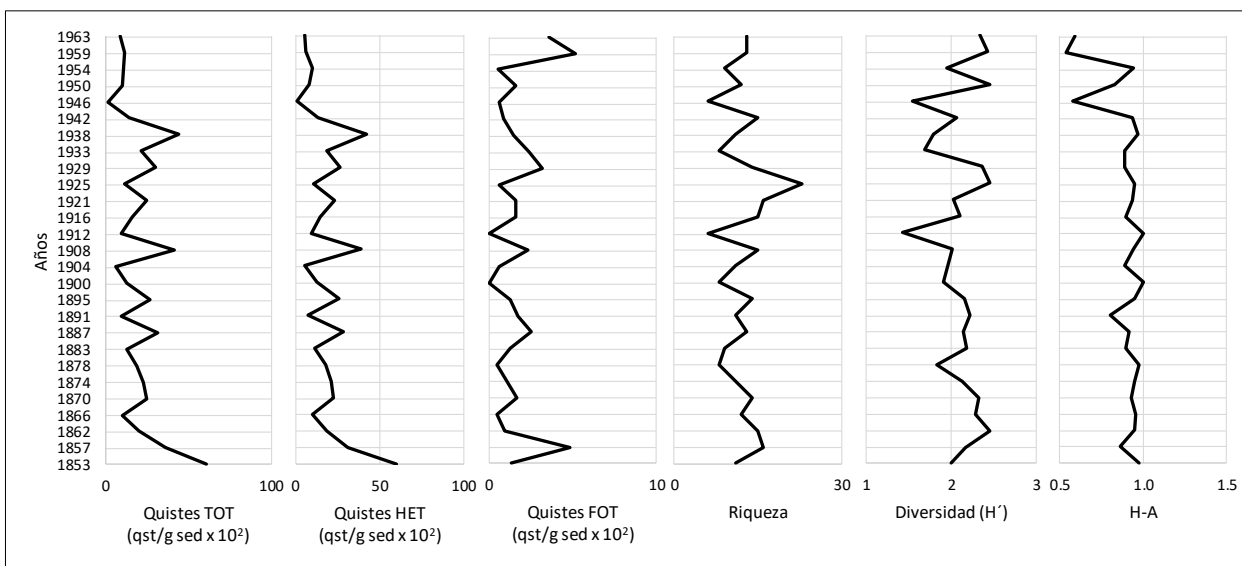


Figura 14. Concentración de los quistes de dinoflagelados por estrategia trófica, así como Los criterios de evaluación de riqueza, índice de diversidad de Shannon (H') e índice H-A (heterótrofos-autótrofos).

3.3.2 Correlación con las variables climáticas

El análisis de los datos como conjunto total, revela correlaciones bajas entre los índices climáticos y las variables palinológicas. Sin embargo, se observan cambios en la respuesta del conjunto de quistes de dinoflagelados en los tres intervalos de tiempo: 1853-1900 (I1), 1900-1929 (I2) y 1929-1963 (I3), relacionados con variaciones en los índices climáticos, principalmente con la ODP. Estas divisiones se hicieron en primera instancia con la observación de los perfiles que se muestran en la Figura 15, tomando en cuenta, el conjunto los quistes totales, y las variables climáticas de TSM, ENOA y ODP.

Con la prueba SIMPER se confirma la diferencia que guardan los intervalos. Indica que entre el I1 e I2 existe una disimilitud porcentual del 63.58%, entre el intervalo I1 e I3 del 62.81% y entre el I2 e I3 del 54.95%. Por lo tanto, se procedió a evaluar por intervalos la correlación entre variables independientes (Tabla 8) y la correlación de estas con las especies de quistes de dinoflagelados (Tabla 9).

La comparación de variables palinológicas marinas y continentales con las variables climáticas (Figura 16), permite detectar la influencia de los forzamientos regionales en los grupos palinológicos, principalmente con los conjuntos de quistes de dinoflagelados (Figura 15).

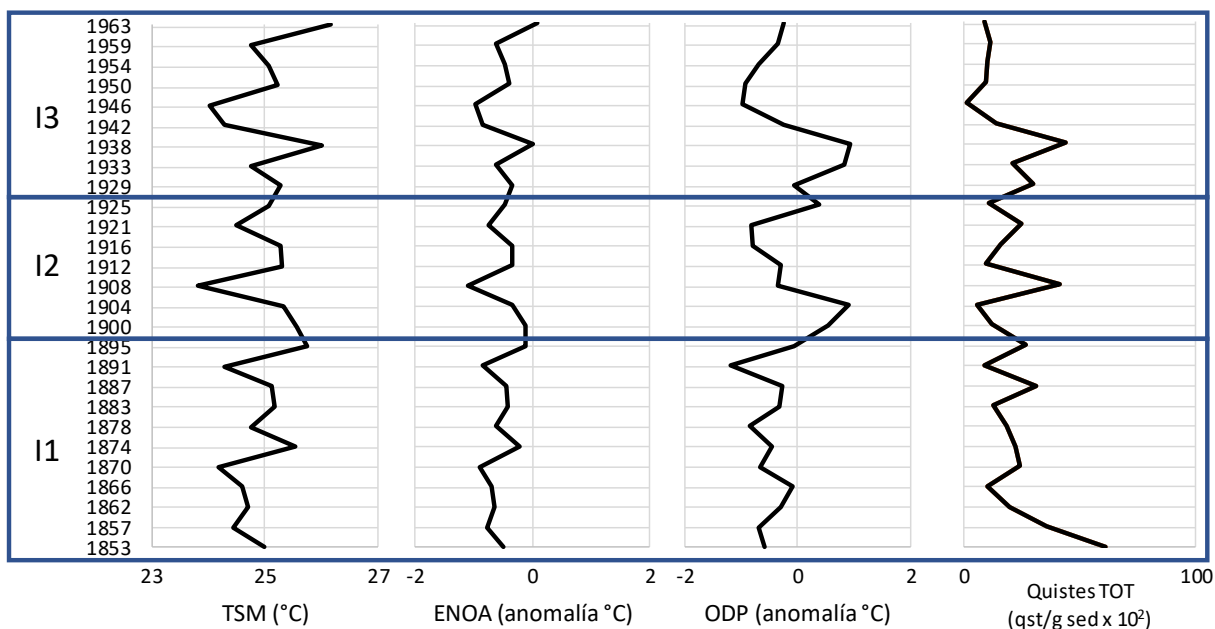


Figura 15. Variables independientes con la suma de las concentraciones de quistes de dinoflagelados heterotróficos y fototróficos (Quistes TOT). Los rectángulos señalan cada uno de los intervalos identificados. Notar el cambio de escalas en las concentraciones.

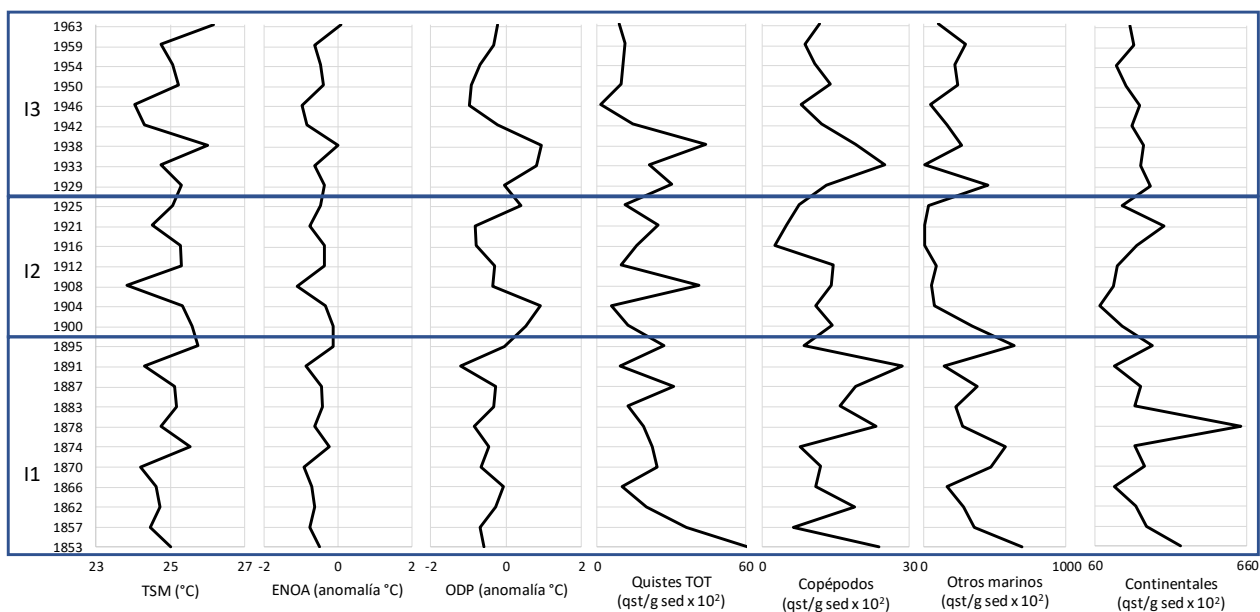


Figura 16. Variables independientes con las sumas de las concentraciones de palinomorfos identificados. Los rectángulos señalan cada uno de los intervalos identificados. Notar el cambio de escalas en las concentraciones.

Los quistes TOT tienen mayor concentración en el intervalo más antiguo y con menor variabilidad (I1). Los huevos de copépodos y los palinomorfos continentales también presentan sus máximos en el I1, sin

embargo, pierden abundancia en el I2 y se recuperan en el I3. El índice de productividad H-A, indica que la relación heterótrofos-autótrofos tiene su máximo en el I2 y su mínimo en I3 (Tabla 6)

Tabla 6. Concentraciones (qst/g sed) promedio por intervalo quistes de dinoflagelados, huevos de copépodos y palinomorfos continentales y el índice de productividad H-A

Intervalo	Media (\bar{X}) (pal/g sed)			
	Quistes TOT	Copépodos	Continentales	H-A
I3 (1929-1963)	16.7×10^2	13.5×10^2	218×10^2	0.797×10^2
I2 (1900-1929)	17.3×10^2	9.79×10^2	180×10^2	0.946×10^2
I1 (1853-1900)	24.7×10^2	15.9×10^2	275×10^2	0.926×10^2

Las especies de afinidad climática templada son las más numerosas en el periodo estudiado, teniendo una mayor abundancia en el I1 disminución en I2 y recuperación I3. En el caso de las especies de afinidad climática fría y tropical ganan presencia en el tiempo, siendo el I3 donde se reportan sus máximas abundancias. Las especies potencialmente tóxicas presentan abundancia alta en I1, merman en I2 y llegan al máximo en I3 (Tabla 7).

Tabla 7. Concentraciones (qst/g sed) promedio de quistes por afinidad de clima; tropical (tr), fría (fr), templada (te) y potencialmente tóxicos.

Intervalo	Media (\bar{X}) (qst/g sed)			
	Quistes fr	Quistes te	Quistes tr	Quistes tó
I3 (1929-1963)	0.152×10^2	3.48×10^2	0.559×10^2	1.36×10^2
I2 (1900-1929)	0.0755×10^2	2.32×10^2	0.154×10^2	0.329×10^2
I1 (1853-1900)	0.00×10^2	4.57×10^2	0.0237×10^2	1.31×10^2

Al realizar correlaciones de *Pearson* entre las variables independientes se observa que la TSM y ENOA muestran siempre correlación directa. Sin embargo, la ODP solo en el intervalo más antiguo (I1) presenta una correlación cercana a ser significativa (Tabla 8).

Para las correlaciones de los índices climáticos con quistes de dinoflagelados, se contemplaron las 22 especies de quistes más abundantes (>0.33% de presencia en cada una de las muestras) (Tabla 2). Tales correlaciones se presentan en la Tabla 9, mostrando únicamente aquellas especies con correlación significativa ($p < 0.050$) en al menos uno de los intervalos.

Tabla 8. Correlación de *Pearson* entre las variables independientes, con la división de datos por intervalos. En rojo se marcan las que fueron significativas ($p < 0.05$).

	1929-1963 (I3)				1900-1929 (I2)				1853-1900 (I1)			
	TSM	ENOA	ODP	COT	TSM	ENOA	ODP	COT	TSM	ENOA	ODP	COT
TSM	1.00				1.00				1.00			
<i>p</i>	---				---				---			
ENOA	1.00	1.00			1.00	1.00			1.00	1.00		
<i>p</i>	0.00	---			0.00	---			0.00	---		
ODP	0.41	0.39	1.00		0.46	0.47	1.00		0.58	0.59	1.00	
<i>p</i>	0.27	0.30	---		0.30	0.28	---		0.061	0.058	---	
COT	-0.073	-0.074	0.30	1.00	-0.66	-0.66	0.072	1.00	-0.023	-0.026	-0.34	1.00
<i>p</i>	0.85	0.85	0.44	<i>p</i> ---	0.11	0.11	0.88	---	0.95	0.94	0.30	---

Tabla 9. Correlación de *Pearson* de variables independientes (TSM, ENOA, ODP y C_{org}) y palinomorfos por intervalos. En rojo se marcan las que fueron significativas ($p < 0.05$).

1929-1963 (I3)														
	Quistes HET	Quistes FOT	Copépodos	<i>Basy</i>	<i>Baur</i>	<i>Bcar</i>	<i>Birr</i>	<i>Bsim</i>	<i>Bsp</i>	<i>Pfuk</i>	<i>Pame</i>	<i>Psch</i>	<i>Snep</i>	<i>Sram</i>
TSM	0.46	0.27	0.26	0.36	0.42	-0.13	0.43	0.27	0.35	-0.35	0.48	-0.11	0.46	0.20
<i>p</i>	0.21	0.48	0.49	0.34	0.26	0.75	0.25	0.48	0.36	0.36	0.19	0.79	0.21	0.61
ENOA	0.45	0.28	0.26	0.36	0.42	-0.12	0.43	0.26	0.34	-0.35	0.48	-0.11	0.46	0.19
<i>p</i>	0.22	0.47	0.49	0.35	0.26	0.75	0.25	0.49	0.37	0.36	0.19	0.78	0.21	0.62
ODP	0.80	0.16	0.82	0.80	-0.19	0.44	0.69	0.12	0.37	0.35	0.68	-0.28	0.20	0.37
<i>p</i>	0.0090	0.68	0.0070	0.0090	0.63	0.24	0.039	0.75	0.33	0.36	0.042	0.47	0.61	0.33
COT	0.22	0.047	0.28	0.38	-0.44	-0.23	0.42	-0.072	-0.078	-0.20	0.39	-0.77	-0.52	-0.23
<i>p</i>	0.57	0.91	0.47	0.32	0.24	0.56	0.26	0.85	0.84	0.60	0.29	0.015	0.15	0.56
1900-1929 (I2)														
TSM	-0.93	-0.80	-0.025	-0.61	-0.80	-0.61	-0.69	-0.53	-0.81	-0.37	-0.96	-0.35	-0.38	-0.83
<i>p</i>	0.0030	0.032	0.96	0.14	0.029	0.15	0.086	0.22	0.026	0.42	0.0010	0.45	0.39	0.020
ENOA	-0.90	-0.81	0.018	-0.62	-0.78	-0.58	-0.67	-0.54	-0.80	-0.39	-0.96	-0.35	-0.34	-0.82
<i>p</i>	0.0060	0.027	0.97	0.14	0.039	0.17	0.10	0.21	0.032	0.39	0.0010	0.45	0.46	0.022
ODP	-0.53	-0.62	0.48	-0.73	-0.10	-0.80	-0.74	-0.76	-0.10	-0.35	-0.37	-0.50	-0.12	-0.13
<i>p</i>	0.22	0.14	0.28	0.064	0.83	0.031	0.055	0.049	0.83	0.44	0.41	0.26	0.80	0.77
COT	0.53	0.35	0.55	0.50	0.82	0.025	-0.011	-0.18	0.85	0.14	0.71	-0.21	-0.26	0.84
<i>p</i>	0.22	0.45	0.20	0.25	0.025	0.96	0.98	0.70	0.015	0.76	0.072	0.65	0.58	0.019
1853-1900 (I1)														
TSM	0.20	-0.24	-0.29	0.087	0.41	0.63	-0.22	0.070	-0.12	-0.078	0.10	-0.45	0.26	0.16
<i>p</i>	0.56	0.48	0.38	0.80	0.21	0.037	0.52	0.84	0.72	0.82	0.77	0.17	0.43	0.63
ENOA	0.20	-0.24	-0.29	0.085	0.41	0.63	-0.22	0.066	-0.12	-0.08	0.10	-0.45	0.26	0.16
<i>p</i>	0.57	0.47	0.38	0.81	0.21	0.040	0.52	0.85	0.72	0.82	0.78	0.16	0.44	0.63
ODP	0.033	-0.23	-0.54	-0.059	0.085	0.30	0.018	-0.23	-0.15	-0.34	-0.078	-0.068	0.62	-0.18
<i>p</i>	0.92	0.50	0.084	0.86	0.80	0.36	0.96	0.50	0.66	0.31	0.82	0.84	0.040	0.60
COT	-0.029	0.28	0.36	0.045	0.37	-0.05	-0.14	-0.17	-0.19	-0.10	0.068	-0.47	-0.044	0.47
<i>p</i>	0.93	0.41	0.28	0.90	0.26	0.89	0.68	0.62	0.58	0.77	0.84	0.15	0.90	0.15

El I1 abarca los años que van de 1853 a 1900 (~47 años). Se muestra baja variabilidad, ya que los tres parámetros muestran aproximadamente la misma tendencia. De hecho, la TSM, ENOA y ODP muestran sincronización, en general, la TSM es más fría que en el siglo XX, sin mostrar eventos fríos anómalos.

La correlación entre TSM y ENOA es el 0.99 ($p=0.00$), mientras que con ODP estos parámetros presentan una correlación media 0.58, casi significativa ($\sim p=0.06$) (Tabla 8). Las correlaciones principales con las especies *Bcar* con TSM y ENOA y, *Snep* con ODP (Tabla 9; Figura 17).

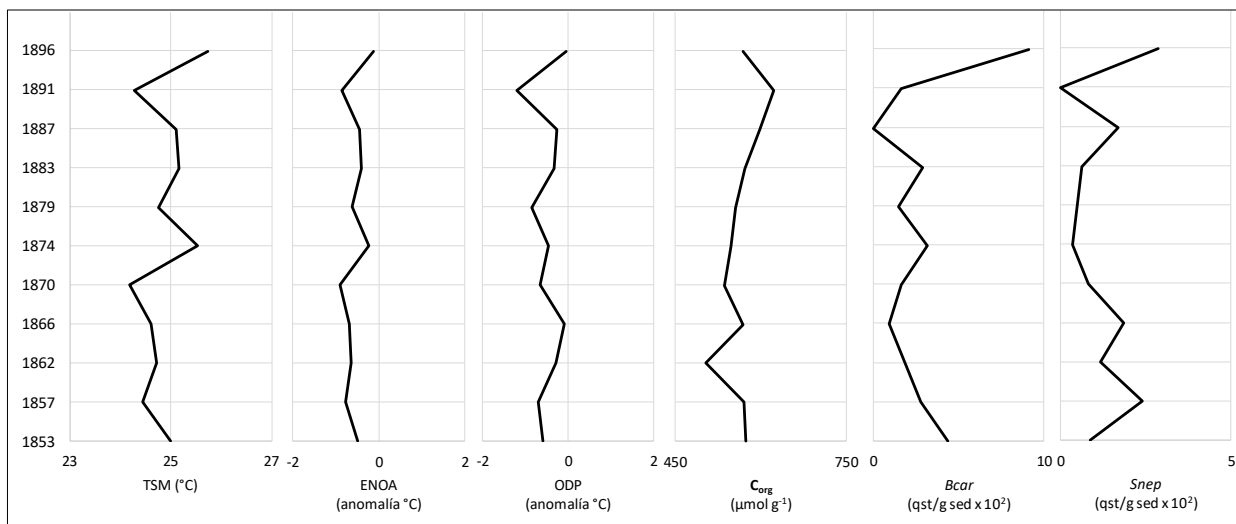


Figura 17. Perfiles de variables independientes con variables dependientes correlacionables del I1 (1853-1900). Notar el cambio de escalas en las concentraciones

Para I2 se analizaron los datos de 1900 a 1929 (~29 años) (Figura 18). Iniciado el siglo XX se observan cambios en la tendencia de los datos, principalmente dadas por las variaciones en la ODP (Figura 18). Las sumas totales de quistes heterótrofos y fototróficos así como los quistes de dinoflagelados *Baur*, *Bsp*, *Pame* y *Sram* muestran correlación inversa (con eventos fríos) muy alta con TSM y ENOA. Por su parte, *Bcar* y *Bsim* se correlacionan también inversamente con ODP, mientras que el C_{org} muestra una correlación directa con *Baur*, *Bsp* y *Sram* (Tabla 9; Figura 18).

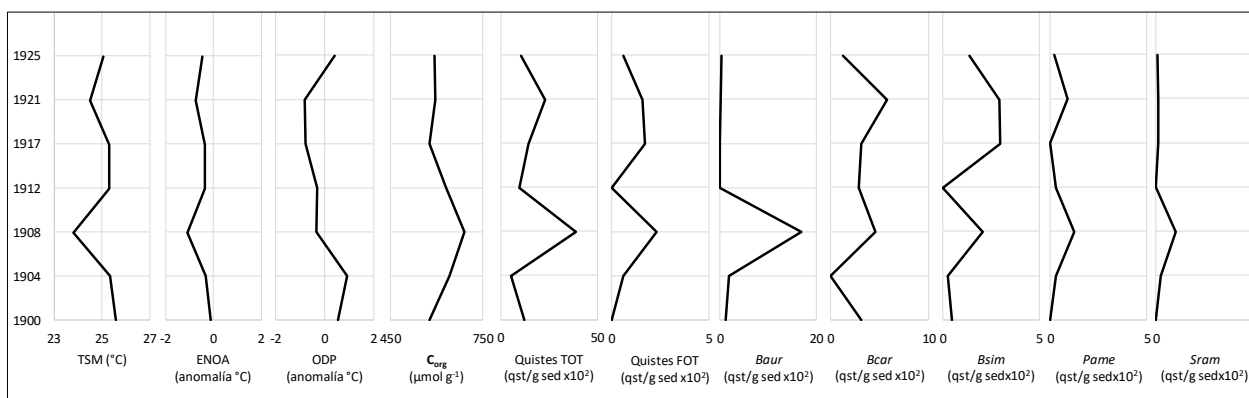


Figura 18. Perfiles de variables independientes con variables dependientes correlacionables del I2 (1900-1929). Notar el cambio de escalas en las concentraciones

El I3 incluye de 1929 a 1963 (~34 años) (Figura 19), los años más recientes del estudio y con TSM más alta. La suma total del conjunto de los quistes de heterótrofos, así como los quistes *Basy*, *Birr*, *Pame* y huevos de Copépodos se correlacionan positivamente con la ODP. El quiste *Psch* guarda una correlación negativa con el C_{org} (Tabla 9), la cual también se observa en la tendencia de los perfiles (Figura 19).

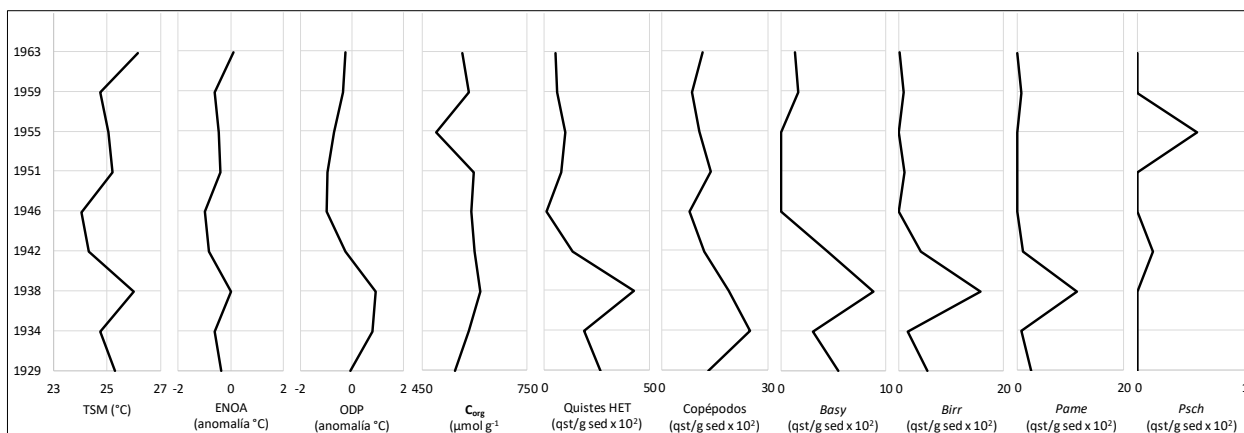


Figura 19. Perfiles de variables independientes con variables dependientes correlacionables del I3 (1929 a 1963). Notar el cambio de escalas en las concentraciones.

En cuanto a los palinomorfos continentales, no muestran correlaciones significativas con los índices ambientales, pero si entre ellos (polen y esporas) y con la suma de quistes heterótrofos y otros marinos (Tabla 10).

Tabla 10. Correlaciones de *Pearson* de variables continentales. Se muestra únicamente las variables con correlación significativa en al menos uno de los intervalos. angio = polen de angiospermas; gimno = polen de gimnospermas, o. mar= otros marinos, HET = heterótrofos.

1929-1963 (I3)					
	Polen	Bisacados	Esporas	Otros marinos	Quistes HET
Polen	1.00				
<i>p</i>	---				
Bisacados	0.70	1.00			
<i>p</i>	0.04	---			
Esporas	-0.51	0.17	1.00		
<i>p</i>	0.16	0.66	---		
Otros marinos	-0.41	0.21	0.92	1.00	
<i>p</i>	0.28	0.59	0.00	---	
Quistes HET	0.22	0.12	0.47	0.42	1.00
<i>p</i>	0.64	0.79	0.28	0.26	---

1900-1929 (I2)					
	Polen	Bisacados	Esporas	Otros marinos	Quistes HET
Polen	1.00				
<i>p</i>	---				
Bisacados	0.84	1.00			
<i>p</i>	0.02	---			
Esporas	0.86	0.67	1.00		
<i>p</i>	0.01	<i>0.10</i>	---		
Otros marinos	-0.28	-0.43	0.07	1.00	
<i>p</i>	0.54	0.33	<i>0.89</i>	---	
Quistes HET	0.22	0.12	0.47	-0.21	1.00
<i>p</i>	<i>0.64</i>	<i>0.79</i>	<i>0.28</i>	0.66	---

1853-1900 (I1)					
	Polen	Bisacados	Esporas	Otros marinos	Quistes HET
Polen	1.00				
<i>p</i>	---				
Bisacados	0.67	1.00			
<i>p</i>	0.00	---			
Esporas	0.60	-0.06	1.00		
<i>p</i>	<i>0.05</i>	<i>0.87</i>	---		
Otros marinos	0.62	0.75	-0.075	1.00	
<i>p</i>	0.04	0.01	<i>0.83</i>	---	
Quistes HET	0.65	0.90	0.07	0.77	1.00
<i>p</i>	0.03	0.00	<i>0.83</i>	0.01	---

3.3.3 Análisis multivariado

El Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) se realizó con base en las 22 especies de dinoflagelados determinadas como significativas, así como los otros palinomorfos identificados (huevos de copépodos, otros marinos, polen y esporas). Evaluarlos con ACC permite maximizar la correlación entre variables dependientes e independientes como se muestra en la Figura 20.

El Eje 1 está mayormente explicado por el C_{org} y en menor proporción por TSM y ENOA. Los palinomorfos, *Bsp*, *Sram*, *Snep*, *Psch*, *Ldiv* se correlacionan, igual que con las correlaciones de *Pearson*. El ACC también muestra que los quistes de *Qcon*, *Pzoh*, *Pfuk*, *Edel* así como con el polen y otros marinos tienen mayor afinidad con este eje. Por otro lado, el Eje 2, se explica primordialmente por la ODP, el cual también guarda correlación con huevos de Copépodos, *Basy*, *Birr*, *Pame*, *Bcar*, *Bsim*. Al maximizar las correlaciones también se relaciona con *Ipat*, *Ltru*, *Lmac*, *Ssp*, *Bmaj*, *Bgra*, *Snep* y esporas.

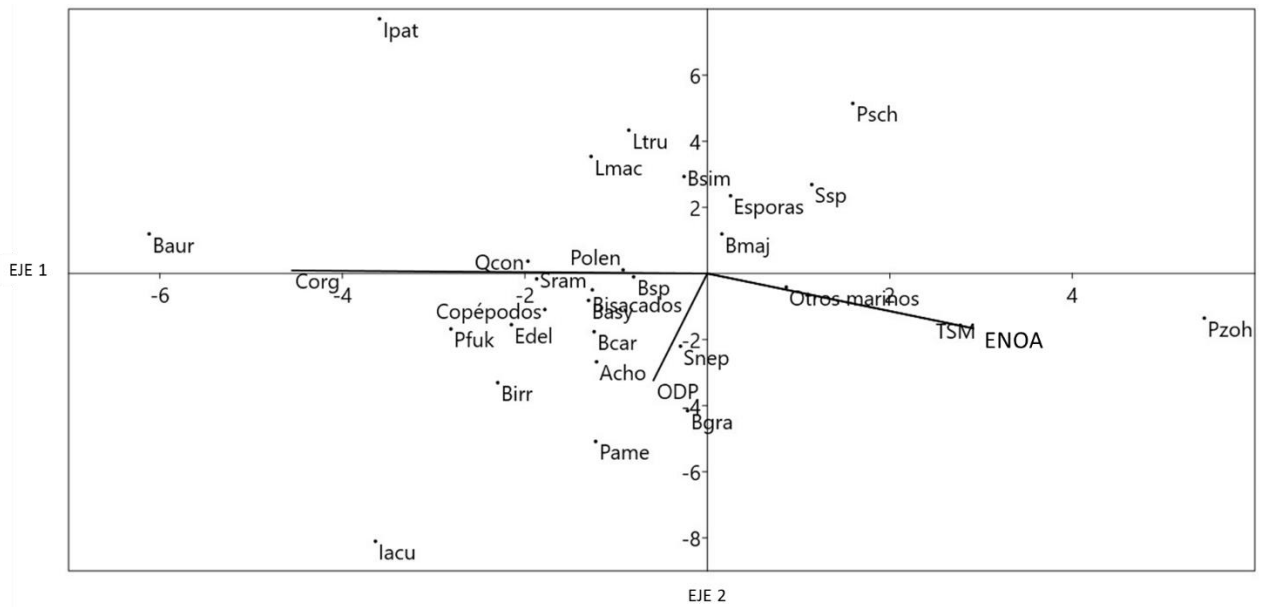


Figura 20. Análisis de Correspondencia Canónica. Los puntos son las variables dependientes significativas y las líneas negras las independientes. polen = angiospermas; bisacados = polen de gimnospermas.

Capítulo 4. Discusión

Los conjuntos de quistes de dinoflagelados observados en esta cuenca están dominados por formas heterotróficas y de afinidad templada (Tabla 7; Figura 13). Estos conjuntos son similares a los reportados en la misma cuenca, de 1965 a 2009 (Serrano-Mejía, 2016 ; Pérez-Rodríguez, 2016) y en Cuenca Magdalena de 1811 a 2008 (Castañeda-Quezada, 2016; López-Velázquez et al., 2019). Las concentraciones de 1853 a 1963 tienen un promedio de $20.1 \text{ qst/g sed} \times 10^2$, pero tienden a disminuir ligeramente a través del tiempo (Tabla 6), en forma inversa a las tendencias de TSM y ENOA (Figura 3). Las concentraciones de quistes totales (TOT) son similares a las reportadas para la misma cuenca de 1967 a 2009, con un aumento en el período de 1853 a 1963. Estas concentraciones son ligeramente superiores a las reportadas para las cuencas de Magdalena (1908-2008) y Pescadero (1905-1995) (Tabla 11).

Tabla 11. Concentraciones (qst/g sed) promedio de quistes heterótrofos, fototróficos y totales de cuencas estudiadas en el límite continental Pacífico de la Península de Baja California. Se indica el índice H-A de los periodos estudiados.

Cuenca (periodo)	Media (\bar{X}) (qst/g sed)			\bar{X}
	Quistes HET	Quistes FOT	Quistes TOT	H-A
Magdalena (1908-2008)	7.34×10^2	0.149×10^2	7.49×10^2	0.88
Pescadero (1905-1995)	8.12×10^2	2.93×10^2	11.1×10^2	0.71
San Lázaro (1967-2009)	14.9×10^2	7.10×10^2	15.6×10^2	0.90
San Lázaro (1853-1963)	18.5×10^2	1.62×10^2	20.1×10^2	0.89

En Cuenca San Lázaro, el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') también indica los cambios de condiciones climáticas mencionados (Figura 14). De 1853 a 1900 H' varía ligeramente alrededor de 2, sugiriendo estabilidad en las condiciones generales. Pero a partir de 1900 y en sincronía con la variabilidad mostrada por los factores climáticos, se observan cambios de H' , alcanzando el valor mínimo (1.43) en 1912 y el máximo (3.74) en 1925.

Las tendencias generales del TSM y ENOA van en aumento (Figura 3), de tal forma que los valores máximos de los tres factores climáticos se presentan durante los intervalos I2 e I3. Distintamente, la ODP, no muestra tendencia, pero es más estable cuando hay temperaturas más bajas de ENOA y TSM. Por lo que se deduce que, ante la ocurrencia de un evento con mayor temperatura hay mayor energía en el sistema, resultando en ODP más intensos. Los máximos valores de ODP (1938 = 0.94 ; 1934 = 0.81) se presentan en el intervalo I3.

4.1 Relación dinoflagelados-clima

En el sistema de la CC, las fases cálidas de la ODP se caracterizan por baja productividad marina, mientras que las fases frías presentan altas productividades (Roemmich y McGowan, 1995; McGowan et al., 2003; Mantua y Hare, 2002; McGowan et al., 2003; Venrick, 2012). De acuerdo con estas tendencias, en la costa oeste del sur de Norteamérica, los conjuntos de dinoflagelados heterotróficos son más abundantes durante las fases frías de la ODP y disminuyen durante las fases cálidas. Este comportamiento se ha documentado desde la Cuenca de Santa Bárbara en California (Bringué et al., 2015; Zonneveld y Pospelova, 2015) hasta la Cuenca de Pescadero en el sur del Golfo de California (Duque-Herrera et al., 2020). Siguiendo este patrón, en la CSL las concentraciones de dinoflagelados heterotróficos y copépodos fueron altas en condiciones negativas de ENOA y ODP de 1967 a 2009 (Pérez-Rodríguez, 2016; Serrano-Mejía, 2016). Estas tendencias también se presentan en el periodo estudiado aquí.

- El intervalo I1 (1853-1900) presenta los valores más bajos de TSM y ENOA y una fase fría de la ODP. En este intervalo, se obtuvieron las concentraciones promedio más altas de dinoflagelados totales (\bar{X} Quistes TOT = 24.7 qst/g sed $\times 10^2$) y de copépodos (\bar{X} Cop = 15.9 qst/g sed $\times 10^2$). En este intervalo hay un promedio alto de la relación Heterotróficos-Autotróficos (\bar{X} H-A = 0.93), a pesar de que la concentración de fototróficos es media a alta (\bar{X} FOT = 1.6 qst/g sed $\times 10^2$). Los dinoflagelados correlacionables con los factores climáticos son heterotróficos, principalmente del género *Brigantedinium*, el cual se ha reportado en condiciones de alta productividad por surgencias en la costa Pacífica de Norteamérica desde California (Bringué et al., 2015; Pospelova et al., 2015), al Golfo de California (Flores-Trujillo, 2009; Limoges et al., 2010; Duque-Herrera et al., 2020) y hasta el Golfo de Tehuantepec (Vásquez-Bedoya et al., 2008). Aparentemente la fase fría de la ODP permite que los altos niveles de productividad sean casi constantes, incluso en ausencia de eventos fuertes del ENOA.
- En el intervalo I2 (1900-1929) predominan fases cálidas de la ODP y hay correlación negativa entre valores altos de TOT y valores bajos de ENOA y ODP, similares a las correlaciones observadas en la CSL de 1967 a 2009 (Pérez-Rodríguez, 2016; Serrano-Mejía, 2016). Las concentraciones de dinoflagelados totales (\bar{X} Quistes TOT = 17.3 qst/g sed $\times 10^2$) y de copépodos (\bar{X} Cop = 9.79 qst/g sed $\times 10^2$) disminuyen. Se observa el promedio más alto de la relación Heterotróficos-Autotróficos (\bar{X} H-A = 0.95), lo cual se explica por la disminución en la concentración de fototróficos (\bar{X} FOT = 1.25 qst/g sed $\times 10^2$). Al igual que en el intervalo I1, los fototróficos están dominados por el género

Spiniferites, el cual se ha relacionado con TSM más altas y condiciones mesotróficas en la costa del Pacífico de California (Bringué et al., 2014), y condiciones mesotróficas a oligotróficas, costa fuera del delta del Río Amazonas (Vink et al., 2000).

- Por último, el intervalo I3 (1934-1963) presenta promedios bajos de concentraciones de dinoflagelados totales (\bar{X} Quistes TOT = 16.7 qst/g sed $\times 10^2$) y de H-A (0.80). Los copépodos aumentan respecto al intervalo anterior (\bar{X} Cop = 9.79 qst/g sed $\times 10^2$), los fototróficos también tienen un pequeño aumento (\bar{X} FOT = 2.01 qst/g sed $\times 10^2$), el cual incluye las concentraciones más altas de las especies termofílicas *Pzoh* (2.17 qst/ g sed $\times 10^2$) y *Edel* (0.978 qst/ g sed $\times 10^2$), así como las potencialmente tóxicas *Lmac* (2.82 qst/g sed $\times 10^2$) y *Sram* (1.74 qst/g sed $\times 10^2$). Los altos valores de TSM y ENOA tienden a disminuir la productividad y eso se refleja en las concentraciones bajas de TOT y medias de COP. Al contrario, aumentan las concentraciones de especies termofílicas y potencialmente tóxicas.

4.2 Relación de dinoflagelados con Temperatura Superficial del Mar

La hipótesis inicial anticipaba que en el siglo XIX se encontraría mayor abundancia de especies de afinidad fría, ya que la TSM de la parte más antigua (1853 a 1896) del núcleo presenta condiciones ligeramente más frías (promedio TSM = 24.87 °C). Aunque la cantidad de especies de aguas frías no era mayor, si se observa la escasez de especies termofílicas, en particular: *Bitectatodinium spongium*, *Dalella chathamensis* y *Stelladinium stellatum* que fueron observadas en la cuenca a partir de 1963. Antes de esa fecha, a partir de 1896, solo se observan escasos especímenes de *Polysphaeridium zoharyi* y *Tuberculodinium vancampoe* de afinidad subtropical a tropical. Los conjuntos de dinoflagelados (\bar{X} Quistes TOT= 20.1 qst/g sed $\times 10^2$) están dominados por especies cosmopolitas y de afinidad templada (\bar{X} te = 1.95 qst/g sed $\times 10^2$), mientras que se observan escasas especies termofílicas (\bar{X} tr = 0.122 qst/g sed $\times 10^2$) o de afinidad fría (\bar{X} fr= 0.0870 qst/g sed $\times 10^2$). Aparentemente, el umbral de 25°C es idóneo para separar la aparición de especies cálidas, especialmente cuando la TSM está por encima de este umbral por intervalos mayores de ~5 años.

Las especies de afinidad templada son las más representativas en este estudio, teniendo sus mayores abundancias en el I1, definiendo esta condición en la cuenca. Las especies de afinidad tropical y fría, asociadas a eventos más enérgicos son más abundantes en el I3. Y las especies potencialmente tóxicas presentan su máxima abundancia en el intervalo más cálido (I3), sin embargo, también son abundantes en

las condiciones uniformes del intervalo más antiguo (I1), similarmente a las especies templadas (Tabla 7) y huevos de copépodos (Tabla 6).

4.3 Relación de dinoflagelados con Productividad Primaria

Concentraciones altas de dinoflagelados se relacionan con alta PP, la cual se expresa en CSL por las altas concentraciones dominadas por formas heterotróficas, como *Brigantedinium*. Abundancias de estas formas son reportadas en condiciones de alta PP relacionadas con surgencias. En muestras del núcleo (SOLE09-01), el intervalo de 1967 a 2009 (Tabla 11) presenta concentraciones altas de quistes de dinoflagelados ($1.56 \text{ qst/g sed} \times 10^2$) (Pérez-Rodríguez, 2016; Serrano-Mejía, 2016).

En el periodo de 1811 a 1907, la Cuenca Magdalena se reportan 16 especies de dinoflagelados con concentración promedio de $1.87 \text{ qst/g sed} \times 10^2$, mientras que la concentración promedio de copépodos es de $24.1 \text{ cop/g sed} \times 10^2$ (López-Velázquez et al., 2019). En comparación, en este estudio (1853 a 1963) se tienen concentraciones promedio $20.1 \text{ qst/g sed} \times 10^2$ y $13.5 \text{ cop/g sed} \times 10^2$, respectivamente Tabla 11. Aunque las edades son distintas se abarcan varios años en común. Estos valores confirman que la CSL generalmente ha presentado mayor productividad que la Cuenca Magdalena, tal como se ha reportado desde 1810 (López-Velázquez et al., 2019).

Al analizarse por intervalos la base de datos obtenida de la cuenca San Lázaro en el periodo de 1853-1963, el índice H-A sugiere que el I2 es el intervalo más productivo (0.95) relacionado a surgencias, seguido por el I1 con condiciones de baja variabilidad (0.93) y presentando una caída en el I3 (0.80) (Tabla 6), con variaciones dentro de un contexto más cálido que propicia la aparición de especies de afinidad tropical.

El análisis de ACC, maximiza las correlaciones y muestra resultados congruentes con las correlaciones de *Pearson* analizadas por intervalos. Adicionalmente el ACC resalta la correlación de TSM y ENOA con C_{org} explicando el eje 2, el cual también incluye especies *Bmaj* y *Pzoh* (esta última es de afinidad cálida y tóxica), los huevos de copépodos y otros marinos. Por otra parte, el eje 1, está influenciado por la ODP en el que adicionalmente se muestra correlación con la especie de afinidad fría *Acho*, cálidas como *Ipat*, *Iacu* y *Lmac* la cual también es tóxica. Los huevos de copépodos se ubican cercanos al grupo mayoritario conformado por heterótrofos y su ocurrencia, coincide con ellos en ciclos de TSM, ENOA y ODP (Figura 20).

4.4 Otros palinomorfos

Las concentraciones de copépodos presentan mayor variabilidad en todo el período estudiado, pero también parecen seguir los cambios de la ODP. Aparentemente, los copépodos no siguen las variaciones climáticas en la misma forma que los dinoflagelados, probablemente porque su posición más alta en la cadena trófica les permite aprovechar mejor los recursos disponibles.

Los palinomorfos continentales fueron abundantes, teniendo una concentración promedio de $231 \text{ pal/g sed} \times 10^2$, sin embargo, no tienen correlación significativa con los factores climáticos. Muestran correlaciones significativas entre ellos (polen y esporas), así como con la suma de quistes heterótrofos y con otros marinos, particularmente de 1853 a 1900 (I1). Las variaciones sincrónicas de las concentraciones de palinomorfos continentales y marinos indican que ambas se asocian a las mismas condiciones. Los palinomorfos continentales se asocian con las neblinas costeras generadas por las surgencias, que a la vez se relacionan con alta productividad marina. Según datos de precipitación de las estaciones meteorológicas circundantes al Golfo de Ulloa, disponibles en la página del CICESE (clicom-mex.cicese.mx), el promedio de lluvia en esta región fue de $86.97 \text{ mm año}^{-1}$ en el intervalo de 1965 a 1987, por lo que no es una zona dominada por precipitación. Aparentemente, la proliferación y distribución de palinomorfos continentales está en relación directa a la humectación producida por las neblinas costeras. En la región continental adyacente a la Cuenca San Lázaro, las neblinas costeras neblinas proporcionan humedad en la costa y tierra dentro, propiciando la productividad primaria en tierra (Reimer et al., 2015b). El sincronismo entre concentraciones de palinomorfos marinos y continentales está documentado de 1967 a 2009 en esta misma cuenca (Pérez-Rodríguez, 2016 y Serrano-Mejía, 2016).

Capítulo 5. Conclusiones

El comportamiento de los conjuntos de quistes de dinoflagelados es explicado por las 22 especies más significativas (>0.33% de presencia en cada una de las muestras), y están representados por heterótrofos que pertenecen principalmente del género *Brigantedinium*, ensamblajes asociados alta intensidad de surgencias. Además, Los conjuntos de quistes de dinoflagelados están dominados por especies de afinidad templada, señalando esta condición en Golfo de Ulloa en el periodo estudiado.

Los conjuntos de quistes muestran sensibilidad a las variaciones en las tendencias en sincronía con los factores climáticos. Se detectaron tres intervalos de tiempo que evidencian tal variación:

El Intervalo 1 (1853-1900): se observa sincronización de la TSM, el ENOA y la ODP, existe una baja variabilidad de temperatura y condiciones propicias para las proliferaciones y alta PP. Específicamente, *Snep* aumenta y disminuye con la ODP y *Bcar* similarmente con TSM y ENOA.

El intervalo 2 (1900-1929): se detecta la desincronización de la ODP con la TSM y el ENOA. Hay mayor variabilidad de las anomalías térmicas, en específico, los eventos fríos dan lugar a la proliferación de los conjuntos de quistes de *Baur*, *Pame*, *Sram*, *Bcar* y *Bsim*. Esta alta PP se confirma con la correlación de *Sram* con C_{org} .

El intervalo 3 (1929-1963): se percibe nuevamente la sincronización de ODP con TSM y ENOA. Además, este intervalo contiene los eventos más enérgicos y la tendencia al calentamiento más evidente. Se encuentra correlación con los huevos de Copépodos, *Basy*, *Birr*, *Pame*, los cuales aumentan y disminuyen con la ODP.

Las máximas concentraciones de quistes se detectaron en condiciones cercanas a la uniformidad que no excedían el umbral de 25 °C (I1), valor que también sirve de referencia para la aparición de especies tropicales y frías. Las especies potencialmente tóxicas están asociadas al periodo uniforme y más productivo (I1), sus abundancias se ven mermadas en el I2 cuando hay surgencias y alcanzan su máximo en I3, relacionadas a las temperaturas más altas.

En el caso de los huevos de copépodos, son más abundantes en condiciones muy productivas cercanas a la neutralidad (I1), bajan levemente en las surgencias (I2) y tienen una recuperación en el último intervalo

(13). Por lo que muestran afinidad por el aprovechamiento de fitoplancton y posiblemente predilección a condiciones de intermedias a cálidas.

Referente a los palinomorfos continentales, el área de estudio limita con una zona continental árida, por lo que no se genera contribución importante del continente a la cuenca por precipitación pluvial. El Golfo de Ulloa es dominado por surgencias, las cuales producen alta productividad primaria en el océano y formación de neblinas costeras que facilitan el aporte y depósito de palinomorfos del continente.

Existe una tendencia general al calentamiento, evidenciado por la TSM y el ENOA. La ODP muestra ciclicidad expresada en periodos de sincronización y desincronización con TSM y ENOA. Además, se observa que bajas temperaturas dan origen a ODP menos enérgicos y viceversa.

Literatura citada

- Álvarez-Borrego, S. 2012. New phytoplankton production as a tool to estimate the vertical component of water exchange between the Gulf of California and the Pacific. *Ciencias Marinas*. UABC. 38(1A), 89–99. doi: 10.7773/CM.V38I1A.1885.
- Álvarez, C., Pérez, L., y Hernández, R. 2013. Coccolithophore and silicoflagellate records in Middle-Late Holocene Sediments from La Paz Basin (Gulf of California): Paleoclimatic implications. *Stratigraphy*, 9, 169–181. Recuperado el 15 de septiembre de 2022 en https://www.researchgate.net/publication/257779705_Coccolithophore_and_silicoflagellate_records_in_MiddleLate_Holocene_Sediments_from_La_Paz_Basin_Gulf_of_California_Paleoclimatic_implications
- Anderson, D. M., Glibert, P. M., y Burkholder, J. M. 2002. Harmful algal blooms and eutrophication: Nutrient sources, composition, and consequences. *Estuarine Research Federation*, 25(4), 704–726. doi: 10.1007/BF02804901
- Badan-Dangon, A., Dorman, C. E., Merrifield, M. A., y Winant, C. D. 1991. The lower atmosphere over the Gulf of California. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 96. doi: 10.1029/91JC01433
- Bakun, A. 1996. *Patterns in the Ocean. Ocean processes and marine population dynamics*. California Sea Grant College System/NOAA/Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz, México. 323. ISBN 1-888691-01-8.
- Benninghoff W. S. 1962. Calculation of Pollen and Spore Density in Sediments By Addition of Exotic Pollen In Known Quantities. *Pollen et Spores*, 1. tDAR id: 176774.
- Blanton, J. y Pattullo, J. G. 1970. The subsurface boundary between subarctic pacific water and pacific equatorial, water in the transition zone off southern California. *Limnology and Oceanography*, 15(4), 606–614. doi: 10.4319/LO.1970.15.4.0606
- Bravo, I. y Figueroa, R. I. 2014. Towards an Ecological Understanding of Dinoflagellate Cyst Functions. *Microorganisms*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2(1), 11–32. doi: 10.3390/MICROORGANISMS2010011
- Bringué, M., Pospelova, V., y Field, D. B. 2014. High resolution sedimentary record of dinoflagellate cysts reflects decadal variability and 20th century warming in the Santa Barbara Basin. *Quaternary Science Reviews*. Pergamon. 105, 86–101. doi: 10.1016/J.QUASCIREV.2014.09.022
- Chávez, F. P., Strutton, P. G., Friederich, G. E., Feely, R. A., Feldman, G. C., Foley, D. G., y McPhaden, M. J. 1999. Biological and Chemical Response of the Equatorial Pacific Ocean to the 1997-98 El Niño. *Science*. American Association for the Advancement of Science, 286(5447), 2126–2131. doi: 10.1126/SCIENCE.286.5447.2126
- Checkley, D. M. y Barth, J. A. 2009. Patterns and processes in the California Current System. *Progress in Oceanography*. Pergamon, 83(1–4), 49–64. doi: 10.1016/J.POCEAN.2009.07.028
- Chelton, D. B., Schlax, M. G., y Samelson, R. M. 2007. Summertime Coupling between Sea Surface Temperature and Wind Stress in the California Current System. *Journal of Physical Oceanography*. American Meteorological Society, 37(3), 495–517. doi: 10.1175/JPO3025.1

- Chen, Z., Wu, L., Qiu, B., Li, L., Hu, D., Liu, C., Jia, F., y Liang, X. 2015. Strengthening Kuroshio observed at its origin during November 2010 to October 2012. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 120(4), 2460–2470. doi: 10.1002/2014JC010590
- Clarke, K. R. 1993. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. *Australian Journal of Ecology*. 18(1), 117–143. doi: 10.1111/J.1442-9993.1993.TB00438.X
- Deutsch, C., Berelson, W., Thunell, R., Weber, T., Tems, C., McManus, J., Crusius, J., Ito, T., Baumgartner, T., Ferreira, V., Mey, J., y van Geen, A. 2014. Centennial changes in North Pacific anoxia linked to tropical trade winds. *Science*. American Association for the Advancement of Science, 345(6197), 665–668. doi: 10.1126/SCIENCE.1252332/SUPPL_FILE/DEUTSCH.SM.PDF
- Dugdale, R. C. 1967. Nutrient limitation in the sea: dynamics, identification, and significance. *Limnology and Oceanography*. 12(4), 685–695. doi: 10.4319/LO.1967.12.4.0685
- Duque-Herrera, A. F., Helenes, J., Flores-Trujillo, J. G., Ruiz-Fernández, A. C., y Sánchez-Cabeza, J. A. 2020. Dinoflagellate cysts and ENSO-PDO climate forcing in the southern Gulf of California. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 560, 110055. doi: 10.1016/J.PALAEO.2020.110055
- Durazo, R. 2015. Seasonality of the transitional region of the California Current System off Baja California. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 120(2), 1173–1196. doi: 10.1002/2014JC010405
- Ellegaard, M., Figueroa, R. L., y Versteegh, G. J. M. 2013. Dinoflagellate life cycles, strategy and diversity: key foci for future research. *Geological Society of London*. 249–261. doi: 10.1144/TMS5.24
- Emery, K. O., Hülsemann, J., Emery, K. O., y Hülsemann, J. 1961. The relationships of sediments, life and water in a marine basin. *Deep Sea Research*, 8(3–4), 165–180. doi: 10.1016/0146-6313(61)90019-3
- Escalante, F., Valdez-Holguín, J. E., Álvarez-Borrego, S., y Lara-Lara, J. R. 2013. Temporal and spatial variation of sea surface temperature, chlorophyll a, and primary productivity in the Gulf of California. *Ciencias Marinas*, 39(2), 203–215. doi: 10.7773/CM.V39I2.2233
- Esparza-Álvarez, M. A. 1999. Variabilidad de la comunidad de diatomeas en los sedimentos de la cuenca de San Lázaro, Baja California Sur, México. Tesis doctorado. CICESE. 163–163.
- Esparza-Álvarez, M. A., Herguera, J. C., y Lange, C. 2007. Last century patterns of sea surface temperatures and diatom (> 38 µm) variability in the Southern California current. *Marine Micropaleontology*. 64(1–2), 18–35. doi: 10.1016/J.MARMICRO.2007.01.001
- Evitt, W. R. 1985. Sporopollenin Dinoflagellate Cysts. Their Morphology and interpretation. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation.
- Falkowski, P. G. y Raven J. A. 2007. *Aquatic Photosynthesis*. 2a ed. Princeton University Press, Princeton. ISBN: 9780691115511
- Feldman, G., Clark, D., y Halpern, D. 1984. Satellite color observations of the phytoplankton distribution in the eastern equatorial pacific during the 1982-1983. El Niño. *Science*. 226(4678), 1069–1071. doi: 10.1126/SCIENCE.226.4678.1069
- Fensome, R. A., Taylor, F. J. R., Norris, G., Sarjeant, W. A. S., Wharton, D. I., y Williams, G. L. 1993. A classification of living and fossil dinoflagellates. *Micropaleontology*. 7, 351.

- Flores-Trujillo, J. G. 2009. Registro palinológico en sedimentos laminados de la parte sur del Golfo de California y su relación con cambios paleoceanográficos y paleoclimáticos. Tesis de Doctorado. CICESE, 105.
- Galmés, F. V. y Shmeleva, A. A. 2006. Crustacea, Copépodos marinos I. Calanoida. Fauna Ibérica. 29, 1152. ISBN: 84-00-07010-0.
- Gaxiola-Castro, G., Cepeda-Morales, J., Nájera-Martínez, S., Espinosa-Carreón, T., Cruz-Orozco, M., Sosa-Avalos, R., Aguirre Hernández, E., y Cantú-Ontiveros, J. P. 2010. Biomasa y producción de fitoplancton. 59–85.
- Grice, G. D. y Marcus, N. H. 1981. Dormant eggs of marine copepods. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*. 19, 125-140.
- Gupta, S. A. y McNeil, B. 2012. Variability and Change in the Ocean. *The Future of the World's Climate*. 141–165. doi: 10.1016/B978-0-12-386917-3.00006-3
- Hernández de la Torre, B., Gaxiola-Castro, G., y Nájera-Martínez, S. 2004. ENSO effects on primary production off Baja California. *Ciencias Marinas*. 30, 427–441. doi: <https://doi.org/10.7773/cm.v30i3.330>
- Hickey, B. M. 1979. The California current system—hypotheses and facts. *Progress in Oceanography*. Pergamon, 8(4), 191–279. doi: 10.1016/0079-6611(79)90002-8
- Hickey, B. M. y Banas, N. S. 2003. Oceanography of the U.S. Pacific Northwest coastal ocean and estuaries with application to coastal ecology. *Estuaries*. Estuarine Research Federation, 26(4), 1010–1031. doi: 10.1007/BF02803360
- Hickey, B. M. y Royer, T. 2001. California and Alaskan Currents. *Encyclopedia of Ocean Sciences*. 368–379. Recuperado el 11 de septiembre de 2022 en: https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=FYSUHU235E8C&oi=fnd&pg=PA73&ots=1T9cILk Bdm&sig=WMo5WUy2juwi3NURQZm751jcOQw&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false
- Huang, B., Thorne, P., Banzon, V., Boyer, T., Chepurin, G., Lawrimore, J., Menne, M., Smith, T., Vose, R., y Zhang, H. 2017. NOAA Extended Reconstructed Sea Surface Temperature (ERSST). Recuperado el 10 de octubre de 2022 en: <http://www.ncei.noaa.gov/products/extended-reconstructed-ssst>.
- Huyer, A. 1983. Coastal upwelling in the California current system. *Progress in Oceanography*. Pergamon. 12(3), 259–284. doi: 10.1016/0079-6611(83)90010-1
- Kashino, Y., España, N., Syamsudin, F., Richards, K. J., Jensen, T., Dutrieux, P., y Ishida, A. 2009. Observations of the North Equatorial Current, Mindanao Current, and Kuroshio current system during the 2006/07 El Niño and 2007/08 La Niña. *Journal of Oceanography*. 65:3, 325–333. doi: 10.1007/S10872-009-0030-Z
- Kiørboe, T. 1994. Reproductive and Life Cycle Strategies in Egg-Carrying Cyclopoid and Free-Spawning Calanoid Copepods. *Journal of Plankton Research*. 16, 1353–1366.
- Kurian, J., Colas, F., Capet, X., McWilliams, J. C., y Chelton, D. B. 2011. Eddy properties in the California Current System. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 116, 8027. doi: 10.1029/2010JC006895
- Lavaniegos, B. E. 1990. Zooplankton of the Gulf of California after the 1982-1983 El Niño Event: Biomass Distribution and Abundance. *Pacific Science*, 44, 297–310.

- Lavín, M. F., Beier, E., Gómez-Valdés, J., Godínez, V. M., García, J., Beier, E., Gómez-Valdés, J., y Godínez, V. M. 2006. On the summer poleward coastal current off SW México. doi: 10.1029/2005GL024686
- Lavín, M. F. y Marinone, S. G. 2003. An Overview of the Physical Oceanography of the Gulf of California. *Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics*, Dordrecht, 173–204. doi: 10.1007/978-94-010-0074-1_11
- Legendre, H., Kemp, W. M., y Tundisi, J. G. 1985. Possible holistic approaches to the study of biological-physical interactions in the oceans. *Canadian Bulletin of Fisheries and Aquatic Sciences*. 3, 248–253. Recuperado el 10 de octubre en: <https://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/library-bibliotheque/14775.pdf>
- Limoges, A., Kieft, J. F., Radi, T., Ruíz-Fernández, A. C., y de Vernal, A. 2010. Dinoflagellate cyst distribution in surface sediments along the south-western Mexican coast (14.76° N to 24.75°N). *Marine Micropaleontology*. 76(3–4), 104–123. doi: 10.1016/J.MARMICRO.2010.06.003
- Linsley, B. K., Wellington, G. M., y Schrag, D. P. 2000. Decadal Sea Surface Temperature Variability in the Subtropical South Pacific from 1726 to 1997 A.D. *Science. American Association for the Advancement of Science*. 290(5494). 1145–1148. doi: 10.1126/SCIENCE.290.5494.1145
- Li, X., Yang, Y., Li, R., Zhang, L., y Yuan, D. 2020. Structure and dynamics of the Pacific North Equatorial Subsurface Current. *Scientific Reports* 2020 10:1. Nature Publishing Group, 10(1), 1–9. doi: 10.1038/s41598-020-68605-y
- López-Velázquez, L. C., Helenes, J., Flores-Trujillo Juan Gabriel, Ruíz-Fernández Ana Carolina, y Sánchez-Cabeza Joan Albert. 2019. Paleooceanographic and paleoclimatic reconstruction based on marine palynomorphs in the period 1811–1907 CE in the Magdalena Basin, Baja California Sur, Mexico. *Ciencias Marinas*, 3, 121–136. doi: <https://doi.org/10.7773/cm.v45i3.3003>
- Lundholm, N., Ribeiro, S., Andersen, T., Koch, T., Godhe, A., Ekelund, F. y Ellegaard, M. 2011. Buried alive – germination of up to a century-old marine protist resting stages. *Phycologia*. 50:6, 629–640, doi: 10.2216/11-16.1
- Lynn, R. J. 1986. The Subarctic and Northern Subtropical Fronts in the Eastern North Pacific Ocean in Spring. *Journal of Physical Oceanography*. 16(2), 209–222. doi: [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1986\)016<0209:TSANSF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1986)016<0209:TSANSF>2.0.CO;2)
- Lynn, R. J. y Simpson, J. J. 1987. The California Current system: The seasonal variability of its physical characteristics. *American Geophysical Union*, 92, 12947. doi: 10.1029/JC092IC12P12947
- MacDonald, G. M. y Case, R. A. 2005. Variations in the Pacific Decadal Oscillation over the past millennium. *Geophysical Research Letters*. 32(8), 1–4. doi: 10.1029/2005GL022478
- Magaña-Rueda, Pérez, J. L., y Conde, C. 1998. El fenómeno de El Niño y la oscilación del sur. y sus impactos en México. *Revista Ciencias de la UNAM*, 51, 14–18. Recuperado el 11 de mayo del 2022 en: <https://www.revistacienciasunam.com/es/108-revistas/revista-ciencias-51/907-el-fenomeno-del-el-nino-y-la-oscilacion-del-sur-sus-impactos-en-mexico.html>
- Mantua, N. J. y Hare, S. R. 2002. The Pacific Decadal Oscillation. *Journal of Oceanography*. 58(1), 35–44. doi: 10.1023/A:1015820616384

- Mantua, N. J., Hare, S. R., Zhang, Y., Wallace, J. M., y Francis, R. C. 1997. A Pacific decadal climate oscillation with impacts on salmon. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 78, 1069–1079. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1997\)078<1069:APICOW>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1997)078<1069:APICOW>2.0.CO;2)
- Marcus, N. H. 1987. Differences in the duration of egg diapause of *Labidocera aestiva* (Copepoda: Calanoida) from the Woods Hole, Massachusetts, region. *Biological Bulletin*, 173(1), 169–177. doi: 10.2307/1541870
- Marcus, N. H. 1996. Ecological and evolutionary significance of resting eggs in marine copepods: past, present, and future studies. *Hydrobiologia* 1996, 320(1), 141–152. doi: 10.1007/BF00016815
- Maturana, J., Bello, M., y Manley, M. 2004. Antecedentes históricos y descripción del fenómeno El Niño, Oscilación del Sur. Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de La Armada de Chile, 13–27. Recuperado el 17 de agosto de 2022 en: https://www.academia.edu/3856865/Antecedentes_historicos_y_descripcion_del_fenomeno_El_Nino_Oscilacion_del_Sur
- McGowan, J. A., Bograd, S. J., Lynn, R. J., y Miller, A. J. 2003. The biological response to the 1977 regime shift in the California Current. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. Pergamon, 50(14–16), 2567–2582. doi: 10.1016/S0967-0645(03)00135-8
- Mergalef, R. s/f. Margalef, R. (1978) Life Forms of Phytoplankton as Survival Alternatives in an Unstable Environment. *Oceanology Acta*, 1, 493-509. - References - Scientific Research Publishing. Recuperado el 15 de septiembre de 2022 en <https://www.scirp.org/reference/ReferencesPapers.aspx?ReferenceID=1141440>
- Mertens, K. N., Verhoeven, K., Verleye, T., Louwye, S., Amorim, A., Ribeiro, S., Deaf, A. S., Harding, I. C., de Schepper, S., González, C., Kodrans-Nsiah, M., de Vernal, A., Henry, M., Radi, T., Dybkjaer, K., Poulsen, N. E., Feist-Burkhardt, S., Chitolie, J., Heilmann-Clausen, C., Londeix, L., Turon, J. L., Marret, F., Matthiessen, J., McCarthy, F. M. G., Prasad, V., Pospelova, V., Kyffin Hughes, J. E., Riding, J. B., Rochon, A., Sangiorgi, F., Welters, N., Sinclair, N., Thun, C., Soliman, A., van Nieuwenhove, N., Vink, A., y Young, M. 2009. Determining the absolute abundance of dinoflagellate cysts in recent marine sediments: The Lycopodium marker-grain method put to the test. *Review of Palaeobotany and Palynology*. 157(3–4), 238–252. doi: 10.1016/J.REVPALBO.2009.05.004
- Moestrup, Ø., Lindberg, K., y Daugbjerg, N. 2009. Studies on woloszynskioid dinoflagellates IV: The genus *biecheleria* gen. nov. *Phycological Research*. Blackwell Publishing, 57(3), 203–220. doi: 10.1111/J.1440-1835.2009.00540.X
- Moore, S. K., Trainer, V. L., Mantua, N. J., Parker, M. S., Laws, E. A., Backer, L. C., y Fleming, L. E. 2008. Impacts of climate variability and future climate change on harmful algal blooms and human health. *Environmental Health: A Global Access Science Source*. BioMed Central, 7(SUPPL. 2). 1–12. doi: 10.1186/1476-069X-7-S2-S4/FIGURES/2
- Ortiz-Ahumada, J. C. 2015. Variación espacial y temporal de la biomasa y producción fitoplanctónicas frente a Cabo San Lázaro y Cabo San Lucas, BCS México . Tesis maestría. CICESE. 1-49.
- Peh, Z., Mileusnić, M., y Miko, S. 2011. Canonical correlation analysis as a tool in the provenance study of overbank sediments from the small mountainous watersheds. *Environmental Earth Sciences*. Springer, 64(4). 1139–1155. doi: 10.1007/S12665-011-0930-2/TABLES/6

- Pérez-Rodríguez, J. C. 2016. Registro palinológico en sedimentos laminados de la cuenca San Lázaro, Baja California Sur y su relación con cambios paleoceanográficos y paleoclimáticos de 1967 a 1988. Tesis Maestría. CICESE, Baja California, 50–60.
- Philander, S. G. H. 1983. El Niño Southern Oscillation phenomena. *Nature* 302(5906), 295–301. doi: 10.1038/302295a0
- Pospelova, V., Price, A. M., y Pedersen, T. F. 2015. Palynological evidence for late Quaternary climate and marine primary productivity changes along the California margin. *Paleoceanography*. John Wiley & Sons, Ltd, 30(7), 877–894. doi: 10.1002/2014PA002728
- Qu, T., Kagimoto, T., Yamagata, T., Qu, T., Kagimoto, T., y Yamagata, T. 1997. A subsurface countercurrent along the east coast of Luzon. *Deep Sea Research*, 44(3). 413–423. doi: 10.1016/S0967-0637(96)00121-5
- Rasmusson, E. M. y Wallace, J. M. 1983. Meteorological Aspects of the El Niño/Southern Oscillation. *Science*. American Association for the Advancement of Science. 222, 1195–1202. doi: 10.1126/SCIENCE.222.4629.1195
- Reichart, G.-J. y Brinkhuis, H. 2003. Late Quaternary Protoperidinium cysts as indicators of paleoproductivity in the northern Arabian Sea. *Marine Micropaleontology*. Elsevier, 49. 303–315. Recuperado el 17 de noviembre de 2022 en: <https://dspace.library.uu.nl/handle/1874/31623>
- Reimer, J. J., Vargas, R., Rivas, D., Gaxiola-Castro, G., Hernández-Ayon, J. M., y Lara-Lara, R. 2015. Sea Surface Temperature Influence on Terrestrial Gross Primary Production along the Southern California Current. *Public Library of Science*, 10(4), 125-177. doi: 10.1371/JOURNAL.PONE.0125177
- Ricaurte-Villota, C., González-Yajimovich, O., y Sánchez, A. 2013. Coupled response of rainfall and denitrification to solar forcing during the Holocene in Alfonso Basin. *Ciencias Marinas*, 39(2), 151–164. doi: 10.7773/CM.V39I2.2224
- Roemmich, D. y McGowan, J. 1995. Climatic warming and the decline of zooplankton in the California current. *Science*, 267(5202), 1324–1326. doi: 10.1126/SCIENCE.267.5202.1324
- Sánchez-González, A., López-Ortiz, B. E., Aguíñiga-García, S., y Balart, E. 2013. Distribution and composition of organic matter in sediments of the oxygen minimum zone of the Northeastern Mexican Pacific: paleoceanographic implications. *Journal of Iberian Geology*, 39(1). 111–120. doi: 10.5209/REV_JIGE.2013.V39.N1.41753
- Sathyendranath, S., Longhurst, A., Caverhill, C. M., y Platt, T. 1995. Regionally and seasonally differentiated primary production in the North Atlantic. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*. Pergamon, 42(10). 1773–1802. doi: 10.1016/0967-0637(95)00059-F
- Saur, J. F. T., Saur, y T., J. F. 1980. Surface Salinity and Temperature on the San Francisco-Honolulu Route June 1966-December 1970 and January 1972-December 1975. *Journal of Physical Oceanography*. 10, 1669–1680. doi: 10.1175/1520-0485(1980)010
- Serrano-Mejía, C. G. 2016. Registro palinológico en sedimentos laminados de la cuenca San Lázaro, Baja California Sur y su relación con cambios paleoceanográficos y paleoclimáticos de 1988 a 2009. Tesis Maestría. CICESE. 47.

- Shannon, C. E. 1948. A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*, 27(3), 379–423. doi: 10.1002/J.1538-7305.1948.TB01338.X
- Strub, P. T. y James, C. 1995. The large-scale summer circulation of the California Current. *Geophysical Research Letters*, 22(3), 207–210. doi: 10.1029/94GL03011
- Sydeman, W. J. , y Elliott, M. L. 2008. Developing the California current integrated ecosystem assessment, module I: Select time-series of ecosystem state. Ecosystem Research, Final report to Farallon Institute for Advanced Ecosystem Research, Final report to NOAA/NMFS/Environmental Research Division, Petaluma, CA. Recuperado el 14 de enero de 2023 en : https://www.researchgate.net/profile/William-Sydeman/publication/229042854_Developing_the_California_Current_Integrated_Ecosystem_Assessment_Module_I_Select_TimeSeries_of_Ecosystem_State/links/02e7e5165bba91fc00000000/Developing-the-California-Current-Integrated-Ecosystem-Assessment-Module-I-Select-Time-Series-of-Ecosystem-State.pdf
- Taylor, F. J. R. 1987. *The Biology of Dinoflagellates*. Botanical Monographs 21. 1-785.
- Thomson, R. E. y Krassovski, M. v. 2010. Poleward reach of the California Undercurrent extension. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 115, 9027. doi: 10.1029/2010JC006280
- Traverse, A. 2007. *Paleopalynology*. Springer. Vol. 28. Recuperado el 19 de noviembre de 2022 en: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4020-5610-9>
- Uye, S. 1985. Resting egg production as a life history strategy of marine planktonic copepods. *Bulletin of Marine Science*, 37, 440–449. Recuperado el 13 de junio de 2022 en: <https://www.ingentaconnect.com/content/umrsmas/bullmar/1985/00000037/00000002/art00007>
- Uye, S. y Fleminger, A. 1976. Effects of various environmental factors on egg development of several species of *Acartia* in Southern California. *Marine Biology*. 38(3), 253–262. doi: 10.1007/BF00388938
- Uye, S., Kasahara, S., y Onbé, T. 1979. Calanoid copepod eggs in sea-bottom muds. IV. Effects of some environmental factors on the hatching of resting eggs. *Marine Biology*. 51, 151–156. doi: 10.1007/BF00555194
- van Geen, A., Zheng, Y., Bernhard, J. M., Cannariato, K. G., Carriquiry, J., Dean, W. E., Eakins, B. W., Ortiz, J. D., y Pike, J. 2003. On the preservation of laminated sediments along the western margin of North America. *Paleoceanography*. 18(4), 1098. doi: 10.1029/2003PA000911
- Vásquez-Bedoya, L. F., Radi, T., Ruiz-Fernández, A. C., de Vernal, A., Machain-Castillo, M. L., Kieft, J. F., y Hillaire-Marcel, C. 2008. Organic-walled dinoflagellate cysts and benthic foraminifera in coastal sediments of the last century from the Gulf of Tehuantepec, South Pacific Coast of Mexico. *Marine Micropaleontology*. 68(1–2), 49–65. doi: 10.1016/J.MARMICRO.2008.03.002
- Vink, A., Zonneveld, K. A. F., y Willems, H. 2000. Organic-walled dinoflagellate cysts in western equatorial Atlantic surface sediments: distributions and their relation to environment. *Review of Palaeobotany and Palynology*. 112(4), 247–286. doi: 10.1016/S0034-6667(00)00046-4
- Williams, G. L., Fensome, R. A., y MacRae, R. A. 2017. DINOFLAJ3. American Association of Stratigraphic Palynologists. Recuperado el 13 de junio de 2022 en http://dinoflaj3.smu.ca/dinoflaj3/index.php/USING_DINOFLAJ3

- Wood, G. D., Gabriel, A. M., y Lawson, J. C. 1996. Palynological techniques-processing and microscopy. *Palynology: Principles and Applications*. American Associations of Stratigraphic Palynologists Foundation. 1, 29–50.
- Zaitsev, O., Trasviña-Castro, A., Linero-Cueto, J., Gaxiola-Castro, G., y Cepeda-Morales, J. 2014. Oceanographic conditions over the continental shelf off Magdalena Bay (Mexico) in 2011–2012. *Ciencias Marinas*. UABC, 40(2), 89–112. doi: 10.7773/CM.V40I2.2314
- Zegarra, M. y Helenes, J. 2011. Changes in Miocene through Pleistocene dinoflagellates from the Eastern Equatorial Pacific (ODP Site 1039), in relation to primary productivity. *Marine Micropaleontology*. 81(3–4), 107–121. doi: 10.1016/J.MARMICRO.2011.09.005
- Zhang, L., Hu, D., Hu, S., Wang, F., Wang, F., y Yuan, D. 2014. Mindanao Current/Undercurrent measured by a subsurface mooring. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. John Wiley & Sons, 119(6), 3617–3628. doi: 10.1002/2013JC009693
- Zonneveld, K. A. F. y Pospelova, V. 2015. A Determination Key for Modern Dinoflagellate Cysts. *Palynology*. Taylor and Francis Inc., 39(3), 387–409. doi: 10.1080/01916122.2014.990115

Anexos

Anexo A. Concentraciones de quistes de dinoflagelados

Tabla 12. Concentración (qst/g sed) de especies de quistes heterotróficos por muestra.

Muestra	Año	(qst/g sed x 10 ²)															
		<i>Basy</i>	<i>Baur</i>	<i>Bcar</i>	<i>Bgra</i>	<i>Birr</i>	<i>Bmaj</i>	<i>Bsim</i>	<i>Bsp</i>	<i>Ldiv</i>	<i>Lsp</i>	<i>Pfuk</i>	<i>Pame</i>	<i>Psch</i>	<i>Qcon</i>	<i>Snep</i>	<i>Vcal</i>
1	1963	1.38	0.790	1.58	0.197	0.198	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.395	0.593	0.0
2	1959	1.64	0.704	1.17	0.00	0.939	0.469	0.235	0.00	0.00	0.00	0.00	0.70	0.00	0.235	0.00	0.0
3	1955	0.00	1.67	3.62	0.00	0.00	1.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.558	0.00	0.558	0.279	1.67	0.0
4	1951	0.00	2.14	1.07	0.803	1.07	1.07	1.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.536	0.268	0.0
5	1946	0.00	0.00	0.00	0.845	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
6	1942	4.44	0.143	1.29	0.287	4.15	0.430	0.143	0.00	0.00	0.00	0.573	1.00	0.143	0.143	0.573	0.0
7	1938	8.80	0.978	0.00	0.978	15.7	0.978	0.978	1.47	0.00	0.00	0.00	11.2	0.00	0.00	1.47	0.0
8	1934	3.07	0.00	10.2	2.050	1.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.02	0.683	0.00	0.00	0.00	0.0
9	1929	5.52	2.91	1.74	0.291	5.52	0.00	3.20	2.91	0.00	0.00	0.00	2.62	0.00	0.00	2.04	0.0
10	1925	0.958	0.309	1.27	0.804	2.26	0.896	1.39	0.00	0.00	0.0309	0.278	0.216	0.00	0.464	1.64	0.0618
11	1921	3.63	0.113	5.78	0.00	7.14	0.00	2.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.907	0.340	0.567	1.59	0.0
12	1917	2.61	0.00	3.10	0.00	4.22	0.00	2.98	0.00	0.124	0.00	0.497	0.00	0.00	0.373	0.621	0.0
13	1912	4.03	0.00	2.88	0.00	1.73	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.288	0.00	0.288	0.288	0.0
14	1908	4.18	16.9	4.60	0.00	5.64	0.00	2.09	1.46	0.00	0.209	0.418	1.25	0.00	0.836	1.25	0.0
15	1904	1.61	1.77	0.00	0.00	0.781	0.00	0.260	0.208	0.00	0.00	0.052	0.312	0.00	0.00	0.208	0.0
16	1900	1.67	1.19	3.10	0.00	3.34	0.00	0.477	0.00	0.00	0.239	0.00	0.00	0.00	0.954	1.43	0.0
17	1896	3.39	2.08	9.12	2.61	2.61	0.00	0.261	0.00	0.00	0.00	0.00	1.04	0.261	1.30	2.87	0.0
18	1891	0.542	1.90	1.63	0.542	0.810	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.08	0.00	0.678	0.00	0.1
19	1887	8.83	6.27	0.00	0.285	4.27	3.70	0.570	0.570	0.00	0.00	0.00	1.14	0.00	1.14	1.71	0.0
20	1883	0.965	2.25	2.89	0.00	1.29	0.00	0.965	0.00	0.00	0.00	0.00	1.61	0.00	0.643	0.643	0.0
21	1879	3.92	2.94	1.47	0.00	0.00	0.00	6.87	0.00	0.00	0.00	0.981	1.47	0.00	0.00	0.491	0.0
22	1874	7.77	2.12	3.18	1.41	1.41	1.41	1.41	1.77	0.00	0.00	0.00	0.353	0.00	0.00	0.353	0.0
23	1870	4.52	0.82	1.64	0.0	5.76	2.47	0.00	4.11	0.00	0.411	0.00	0.822	0.822	0.411	0.822	0.0
24	1866	2.55	0.695	0.927	0.695	1.62	0.231	0.463	0.00	0.00	0.00	0.00	0.463	0.00	0.232	1.85	0.0
25	1862	3.03	1.40	1.87	1.63	3.97	0.467	2.33	0.00	0.233	0.00	0.00	1.87	0.467	0.00	1.17	0.467
26	1857	13.2	0.00	2.80	1.20	7.61	2.00	0.801	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.801	0.400	2.40	0.0
27	1853	17.1	3.95	4.39	0.00	7.90	0.878	7.03	3.95	0.00	0.00	0.00	13.6	0.00	0.00	0.878	0.0
Total		109	54.1	71.3	14.6	91.6	16.4	36.5	16.4	0.357	0.890	4.38	42.6	3.39	9.87	26.8	0.665

Tabla 13. Concentración (qst/g sed) de especies de quistes fototróficos por muestra.

Muestra	(qst/g sed x 10 ²)																	
	<i>Acho</i>	<i>Edel</i>	<i>Iacu</i>	<i>Ipar</i>	<i>Ipat</i>	<i>Isph</i>	<i>Istr</i>	<i>Isp</i>	<i>Lmac</i>	<i>Imin</i>	<i>Ltru</i>	<i>Naca</i>	<i>Pzoh</i>	<i>Sben</i>	<i>Smir</i>	<i>Sram</i>	<i>Ssp</i>	<i>Tvan</i>
1	0.395	0.198	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.395	0.00	0.00	0.00	2.17	0.00	0.00	0.198	0.198	0.00
2	0.704	0.939	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	2.820	0.469	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.235	0.00
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.279	0.279	0.00
4	0.268	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.534	0.00	0.00	0.00	0.00	0.536	0.00	0.268	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.154	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.307	0.0768	0.00	0.0767	0.00	0.00
6	0.00	0.143	0.430	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.287	0.00	0.00
7	0.00	0.978	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.489	0.00	0.00
8	0.00	0.00	1.710	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.68	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.291	0.582	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.291	0.00	0.00	0.00	0.00	1.74	0.00	0.291
10	0.154	0.031	0.154	0.03	0.0618	0.00	0.0	0.031	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0618	0.0309	0.0309
11	0.113	0.00	0.113	0.00	0.227	0.00	0.113	0.00	0.00	0.00	0.680	0.00	0.227	0.00	0.00	0.113	0.00	0.00
12	0.00	0.372	0.621	0.12	0.00	0.248	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.124	0.00	0.00	0.00	0.124	0.00	0.00
13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	0.00	0.418	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.418	0.00	0.00	0.00	0.418	0.00	0.00	0.00	1.04	0.00	0.00
15	0.260	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.260	0.10	0.00
16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	0.00	0.261	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.261	0.00	0.261	0.00	0.00	0.521	0.00	0.00
18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.271	0.00	0.0	0.00	0.135	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.35	0.00	0.00
19	0.00	0.570	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.855	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.14	0.00	0.00
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.29	0.00	0.00
21	0.00	0.491	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06	0.00	0.00
23	0.00	0.411	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.822	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.411	0.00
24	0.00	0.232	0.00	0.00	0.232	0.00	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	0.00	0.233	0.00	0.00	0.00	0.233	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.467	0.00	0.00
26	0.00	0.801	0.400	0.00	0.801	0.00	0.0	0.00	0.801	0.00	0.40	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	0.400	0.00
27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00	0.878	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.439	0.00	0.00	0.00
Total	1.89	6.08	3.72	0.737	1.59	0.635	0.113	0.449	7.24	0.469	1.63	0.542	2.97	0.613	0.439	12.6	1.66	0.322

Tabla 14. Concentraciones (qst/g sed) de géneros de quistes del orden Peridinales por muestra; *Brigantedinium* (*Briga*), *Lejeunecysta* (*Lejeu*), *Protoperidinium* (*Proto*), *Quinquecuspis* (*Quinq*), *Selenopemphix* (*Selen*), *Votadinium* (*Votad*).

Muestra	Año	(qst/g sed x 10 ²)					
		<i>Brigan</i>	<i>Lejeu</i>	<i>Proto</i>	<i>Quinqe</i>	<i>Selen</i>	<i>Vota</i>
1	1963	4.15	0.00	0.00	0.395	0.593	0.00
2	1959	5.16	0.00	0.704	0.235	0.00	0.00
3	1955	6.70	0.00	0.558	0.279	1.68	0.00
4	1951	7.23	0.00	0.00	0.536	0.268	0.00
5	1946	0.845	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	1942	10.9	0.00	1.58	0.143	0.573	0.00
7	1938	29.8	0.00	11.2	0.00	1.47	0.00
8	1934	17.1	0.00	1.71	0.00	0.00	0.00
9	1929	22.1	0.00	2.62	0.00	2.04	0.00
10	1925	7.88	0.0310	0.495	0.464	1.64	0.0618
11	1921	19.6	0.00	0.907	0.567	1.59	0.00
12	1917	12.9	0.124	0.497	0.373	0.621	0.00
13	1912	8.65	0.00	0.288	0.288	0.288	0.00
14	1908	34.9	0.209	1.67	0.836	1.25	0.00
15	1904	4.63	0.00	0.364	0.00	0.208	0.00
16	1900	9.78	0.239	0.00	0.954	1.43	0.00
17	1896	20.1	0.00	1.04	1.30	2.87	0.00
18	1891	5.72	0.00	1.08	0.678	0.00	0.135
19	1887	24.5	0.00	1.14	1.14	1.71	0.00
20	1883	8.36	0.00	1.61	0.643	0.643	0.00
21	1879	15.2	0.00	2.45	0.00	0.491	0.00
22	1874	20.5	0.00	0.353	0.00	0.353	0.00
23	1870	19.3	0.411	0.822	0.411	0.822	0.00
24	1866	7.18	0.00	0.463	0.231	1.85	0.00
25	1862	14.7	0.233	1.87	0.00	1.17	0.467
26	1857	27.6	0.00	0.00	0.401	2.40	0.00
27	1853	45.2	0.00	13.60	0.00	0.878	0.00
Total		411	1.25	47.0	9.87	26.8	0.664

Tabla 15. Concentraciones (qst/g sed) de géneros de quistes del orden Gonyaulacales por muestra. *Ataxiodinium* (*Ataxi*), *Echinidinium* (*Echin*), *Impagidinium* (*Impag*), *Lingulodinium* (*Lingu*), *Islandium* (*Islan*), *Labyrinthodinium* (*Labyr*), *Nia*, *Polysphaeridium* (*Polys*), *Spiniferites* (*Spini*), *Tuberculodinium* (*Tuber*).

Muestra	Año	(qst/g sed x 10 ²)									
		<i>Atax</i>	<i>Echi</i>	<i>Impag</i>	<i>Lingu</i>	<i>Islan</i>	<i>Laby</i>	<i>Nia</i>	<i>Polys</i>	<i>Spini</i>	<i>Tuber</i>
1	1963	0.395	0.198	0.00	0.395	0.00	0.00	0.00	2.170	0.395	0.00
2	1959	0.704	0.939	0.00	2.82	0.469	0.00	0.00	0.00	0.235	0.00
3	1955	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.558	0.00
4	1951	0.268	0.00	0.00	0.536	0.00	0.00	0.00	0.00	0.803	0.00
5	1946	0.00	0.00	0.154	0.00	0.00	0.00	0.00	0.307	0.154	0.00
6	1942	0.00	0.143	0.429	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.286	0.00
7	1938	0.00	0.978	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.489	0.00
8	1934	0.00	0.00	1.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.683	0.00
9	1929	0.00	0.00	0.872	0.00	0.00	0.291	0.00	0.00	1.74	0.291
10	1925	0.155	0.0309	0.278	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0927	0.0309
11	1921	0.113	0.00	0.453	0.00	0.00	0.680	0.00	0.227	0.113	0.00
12	1917	0.00	0.373	0.994	0.00	0.00	0.00	0.124	0.00	0.124	0.00
13	1912	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
14	1908	0.00	0.418	0.418	0.00	0.00	0.00	0.418	0.00	1.04	0.00
15	1904	0.260	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.364	0.00
16	1900	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	1896	0.00	0.261	0.00	0.00	0.00	0.261	0.00	0.261	0.521	0.00
18	1891	0.00	0.00	0.271	0.135	0.00	0.00	0.00	0.00	1.35	0.00
19	1887	0.00	0.569	0.00	0.855	0.00	0.00	0.00	0.00	1.14	0.00
20	1883	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.29	0.00
21	1879	0.00	0.491	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	1874	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.06	0.00
23	1870	0.00	0.411	0.00	0.822	0.00	0.00	0.00	0.00	0.411	0.00
24	1866	0.00	0.232	0.232	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
25	1862	0.00	0.233	0.233	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.467	0.00
26	1857	0.00	0.801	1.20	0.801	0.00	0.40	0.00	0.00	1.60	0.00
27	1853	0.00	0.00	0.00	0.878	0.00	0.00	0.00	0.00	0.439	0.00
Total		1.90	6.08	7.24	7.24	0.469	1.63	0.542	2.97	15.4	0.322

Anexo B. Otros criterios de productividad primaria

Tabla 16. Criterios de PP por . Riqueza, Diversidad Shannon (H') e índice H-A.

Muestra	Año	Riqueza	Diversidad (H')	H-A
1	1963	13	2.34	0.591
2	1959	13	2.43	0.542
3	1955	9	1.94	0.946
4	1951	12	2.45	0.833
5	1946	6	1.54	0.579
6	1942	15	2.06	0.939
7	1938	11	1.79	0.967
8	1934	8	1.69	0.887
9	1929	14	2.36	0.893
10	1925	23	2.46	0.947
11	1921	16	2.03	0.935
12	1917	15	2.10	0.900
13	1912	6	1.43	1.000
14	1908	15	2.02	0.944
15	1904	11	1.96	0.893
16	1900	8	1.91	1.000
17	1896	14	2.16	0.951
18	1891	11	2.22	0.806
19	1887	13	2.15	0.917
20	1883	9	2.18	0.897
21	1879	8	1.83	0.974
22	1874	11	2.13	0.952
23	1870	14	2.33	0.932
24	1866	12	2.28	0.955
25	1862	15	2.46	0.953
26	1857	16	2.17	0.867
27	1853	11	2.00	0.978

Anexo C. Parámetros climáticos de 1853 a 1963

Tabla 17. Promedios de temperatura de cuatro años de 1853 a 1963 (Huang et al., 2017; zona Niño 3).

Muestra	Año	TSM (°C)	ENOA (anomalía °C)	ODP (anomalía °C)
1	1963	26.16	0.09	-0.24
2	1959	24.75	-0.62	-0.34
3	1955	25.06	-0.47	-0.68
4	1951	25.21	-0.39	-0.93
5	1946	24.04	-0.98	-0.98
6	1942	24.30	-0.85	-0.24
7	1938	26.00	0.00	0.94
8	1934	24.75	-0.62	0.81
9	1929	25.28	-0.36	-0.05
10	1925	25.07	-0.46	0.39
11	1921	24.50	-0.75	-0.83
12	1917	25.28	-0.36	-0.80
13	1912	25.29	-0.35	-0.30
14	1908	23.81	-1.09	-0.36
15	1904	25.32	-0.34	0.91
16	1900	25.57	-0.13	0.53
17	1896	25.74	-0.13	-0.06
18	1891	24.29	-0.85	-1.20
19	1887	25.11	-0.44	-0.28
20	1883	25.17	-0.41	-0.33
21	1879	24.75	-0.62	-0.85
22	1874	25.53	-0.23	-0.47
23	1870	24.18	-0.90	-0.66
24	1866	24.60	-0.69	-0.08
25	1862	24.71	-0.64	-0.29
26	1857	24.45	-0.77	-0.70
27	1853	25.00	-0.50	-0.59