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 CONAHCYT (Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías).

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 de Autor.

CICESE © 2024, Todos los Derechos Reservados, CICESE

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



## Doctorado en Ciencias en Ciencias de la Tierra con orientación en Geología

## Cronoestratigrafía de dinoflagelados tropicales durante el Neógeno

Tesis

para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de

Doctor en Ciencias

Presenta:

Francy Milena Carvajal Landinez

Ensenada, Baja California, México

2024

Tesis defendida por

## Francy Milena Carvajal Landinez

y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Javier Helenes Escamilla Director de tesis

Dra. Ma. Elena Solana Arellano Dra. Mary Carmen Ruiz de la Torre Dr. Carlos Francisco Flores Luna Dr. Andrés Pardo Trujillo



Dr. Diego Ruiz Aguilar Coordinador del Posgrado en Ciencias de la Tierra

> **Dra. Ana Denise Re Araujo** Directora de Estudios de Posgrado

Copyright © 2024, Todos los Derechos Reservados, CICESE Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización por escrito del CICESE Resumen de la tesis que presenta **Francy Milena Carvajal Landinez** como requisito parcial para la obtención del grado de Doctor en Ciencias en Ciencias de la Tierra con orientación en Geología.

#### Cronoestratigrafía de dinoflagelados tropicales durante el Neógeno

Resumen aprobado por:

Dr. Javier Helenes Escamilla Director de tesis

El avance del conocimiento en bioestratigrafía en áreas tropicales durante el Neógeno puede potenciarse mediante el estudio de los quistes de dinoflagelados y sus bioeventos. Tradicionalmente se han utilizado métodos cualitativos para su estudio. Sin embargo, para obtener datos más consistentes sobre este tema, en este trabajo utilizamos un análisis cuantitativo y probabilístico sobre una base de datos palinológicos del sur del Golfo de México, para identificar eventos de guistes de dinoflagelados durante el Neógeno. Analizamos datos de seis pozos, incluidas 1,005 muestras de núcleos y recortes de perforación, marcando un cambio con respecto a los métodos de análisis cualitativos convencionales. Con este enfoque cuantitativo a través del programa RASC, obtuvimos la Secuencia Óptima de Clasificación (Ranking Optimum Sequence: ROS) y la comparamos con diez bases de datos publicadas en sitios tropicales durante el Neógeno. La secuencia óptima identificó once especies de dinoflagelados como marcadores de edad, incluyendo Impagidinium patulum, Lejeunecysta hyalina, Spiniferites bulloideous, Homotryblium floripes, Nematosphaeropsis balcombiana, Selenopemphix brevispinosa, Spiniferites pseudofurcatus, Cyclopsiella elliptica, Lejeunecysta cinctoria, Palaeocystodinium golzowense v Cordosphaeridium cantharellus. Con base en estos resultados, proponemos la secuencia de bioeventos de quistes de dinoflagelados más probable y sugerimos tres conjuntos "Cantharellus" (Oligoceno a Mioceno temprano), "Hyalina" (Mioceno) y "Patulum" (Mioceno medio a Pleistoceno). Estos conjuntos pueden facilitar la identificación de la mayoría de las pisos estratigráficos durante el Neógeno en áreas tropicales. La comparación con las bases de datos muestra que el Golfo de México y los sitios tropicales comparten el 60% de las especies, lo que permite calibrar la edad de la secuencia óptima y permite inferir una posible afinidad provincial. Además, encontramos un dominio de quistes de dinoflagelados autótrofos durante el Neógeno en océanos tropicales. Esta tendencia refleja la abundancia actual de quistes gonyaulacoides en áreas tropicales y subtropicales, que ha persistido desde la era Jurásica.

Palabras clave: Bioeventos, quistes de dinoflagelados, Ranking and Scalling, Golfo de Mexico, Mioceno - Plioceno.

Abstract of the thesis presented by **Francy Milena Carvajal Landinez** as a partial requirement to obtain the Doctor of Science degree in Earth Sciences with orientation in Geology.

#### Chronostratigraphy of tropical dinoflagellates during the Neogene

Abstract approved by:

Dr. Javier Helenes Escamilla Thesis Director

Understanding the biostratigraphy of tropical areas during the Neogene period can be improved by studying dinoflagellate cyst events. These events have traditionally been identified through qualitative analysis. Nevertheless, to obtain consistent data on this subject, we used quantitative and probabilistic analysis of palynological data from the Southern Gulf of Mexico to identify dinoflagellate cyst events in the Neogene era. We analyzed a database of six wells, including 1,005 core and cuttings samples, a change from past qualitative analysis methods. With this quantitative approach with the RASC program, we obtained the Ranking Optimum Sequence (ROS) and compared it with ten published databases from Neogene tropical sites. The ROS identified eleven dinoflagellate species as age markers including Impagidinium patulum, Lejeunecysta hyalina, Spiniferites bulloideous, Homotryblium floripes, Nematosphaeropsis balcombiana, Selenopemphix brevispinosa, Spiniferites pseudofurcatus, Cyclopsiella elliptica, Lejeunecysta cinctoria, Palaeocystodinium golzowense, and Cordosphaeridium cantharellus. Based on these findings, we propose a most likely sequence of dinoflagellate cysts bioevents and define three assemblages: "Cantharellus" (Oligocene to early Miocene), "Hyalina" (Miocene), and "Patulum" (middle Miocene to Pleistocene), that can help recognize most Neogene stratigraphic stages in tropical areas. The comparison with the previous databases shows that the Gulf of Mexico and the tropical sites share 60% of the species, which enables age calibration of the optimal sequence and allows us to infer a possible provincial affinity. Additionally, we found a predominance of autotrophic dinocysts during the Neogene in tropical oceans. This trend mirrors the current abundance of gonyaulacoid cysts in tropical and subtropical areas, which has persisted since the Jurassic era.

Keywords: Dinoflagellate cyst bioevents, Ranking and Scaling, Gulf of Mexico, Miocene - Pliocene.

## Dedicatoria

A ti, mi alegría, luz, guía, fuerza y soporte

A Ernesto, mi amigo, compañero y esposo

A mi madre y mis preciosas hermanas

Y a la memoria de Miguelito.

## **Agradecimientos**

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) y al Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California (CICESE), por la beca otorgada para la realización de este estudio de doctorado.

Al Dr. Javier Helenes Escamilla por compartir su conocimiento, por estar siempre dispuesto a ayudar, por su amistad y por abrirnos las puertas de su hogar.

A todo mi comité de tesis, a las Dra(s) Ma. Elena Solana y Mary Carmen Ruíz, a los Dr. (s) Carlos Francisco Flores Luna y Andrés Pardo por todo su apoyo en este proceso académico.

A Lita y Felipe, por toda su ayuda, por recibirme y abrirme las puertas de su casa cuando llegué a Ensenada.

A Luis Andrés Guerrero, por estar siempre dispuesto a compartir ideas, por sus acertados aportes en mi trabajo y por sus siempre bien recibidas palabras de ánimo. A las Paolitas, por su amistad y por los alegres momentos compartidos.

A Edna Collins por compartir su conocimiento en el laboratorio, por su amistad y ayuda, muchas gracias.

A mis compañeras de generación: Ana, Jessica, Alejandra y Beatriz, por su gran apoyo y soporte, que fortuna haberlas conocido.

A mis amigos Ana, Tatiana, Angelo, Xiomara, Rosalba y su familia, por su presencia continua, su apoyo y por estar siempre presentes sin importar la distancia.

Al personal de CICESE del área de Ciencias de la Tierra y de Biblioteca, especialmente a la Dra. Elizabeth Avilés, por toda su ayuda, amabilidad y calidez con la que me trataron durante estos años.

## Tabla de contenido

## Página

Resumen en español	ii
Resumen en inglés	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimientos	v
Lista de figuras	viii
Lista de tablas	х

## Capítulo 1. Introducción

1.1.	Los dinoflagelados como herramientas en bioestratigrafía y paleoecología 2					
1.2.	Bioestratigrafía global de quistes de dinoflagelados durante el Neógeno					
1.3.	Zonaciones y bioeventos de quistes de dinoflagelados en el Trópico durante el Neógeno 5					
1.4.	Bioestratigrafía del Neógeno en el Golfo de México	7				
1.5.	Contexto geológico	7				
	1.5.1. Origen del Golfo de México	8				
	1.5.2. Cuencas del Golfo de México	9				
1.6.	Justificación	11				
1.7.	Hipótesis	12				
1.8.	Objetivos	12				
	1.8.1. Objetivo general	12				
	1.8.2. Objetivos específicos	13				

## Capítulo 2. Metodología

	0	
2.1.	Preparación Palinológica	14
2.2.	Preparación y selección de los datos	15
2.3.	RASC: Teoría y condiciones de entrada al programa	15
2.4.	Información generada por RASC: Diagramas de dispersión y tabla de puntos de	
	penalización	16
2.5.	Comparación con datos tropicales publicados	16

## Capítulo 3. Resultados

3.1.	Tabla Resumen del análisis RASC	18		
3.2.	Secuencia Óptima de Clasificación: ROS	20		
3.3.	3.3. Comparación de los resultados obtenido de RASC con datos publicados / Calibración			
	de eventos	22		
	3.3.1. ROS y rangos publicados	22		

Capítulo 4.	Discusión	
4.1.	Dinoflagelados tropicales del Neógeno	23
4.2.	Consideraciones de ROS	25
4.3.	Modelo de edad y ROS	27
4.4.	Notas sobre el rango estratigráfico de especies significativas	60

4.5.	Secuencia final de bioeventos de quistes de dinoflagelados	31
Capítulo 5.	Conclusiones	
Literatura cit	tada	36
Anexos		46

## Lista de figuras

Figura

1.	Ciclo de vida esquemático de los dinoflagelados, desde la fase vegetativa (haploide) o sexual (diploide) hasta las etapas de quiste de película delgada y quiste de resistencia (Modificado de: Bravo & Figueroa (2014) y Mudie et al. (2020))	3
2.	Cuencas cenozoicas en el Golfo de México y pozos seleccionados para este estudio: 1. Burgos 2. Tampico-Misantla (Sihini-1) 3. Veracruz (Glomerosa-1) 4. Plataforma Cam- peche (Chac Mool-1) 5. Salina del Istmo 6. Chiapas-Tabasco 7. Macuspana (Narvaez-4, Chanchamito-1, Akaito-1), 8. Sierra de Chiapas	8
3.	Columnas estratigráficas para cuatro cuencas en el Golfo de Mexico durante el Neógeno: A. Tampico (Pozo Sihini-1) B. Veracruz (Glomerosa-1) C. Plataforma Campeche (Chac Mool-1) D. Macuspana (Narvaez-4, Chanchamito-1, Akaito-1). Datos tomados de: Mi- randa (2008); Zegarra (2005); Del Valle (2001); Narvaez et al. (2008)	10
4.	Modelo de pasos en donde los puntos de penalización para cada evento son $< 6$ . El coeficiente de Kendall es un coeficiente de correlación por rangos. Al igual que el coeficiente de correlación de Pearson, cuando Tau = 0 hay una falta completa de correlación y +1 o -1 para una correlación positiva o negativa máxima. Tau se calcula a partir de las puntuaciones de penalización para cada pozo y expresa el grado de correlación con la secuencia óptima. Formato original de salida del programa RASC20	19
5.	Diagrama de dispersión Pozo Narváez-1 muestra la curva cuadrática de mejor ajuste. Formato original de salida del programa RASC20	20
6.	Resultados de la ejecución final de RASC con los parámetros seleccionados. Se calcularon 32 eventos, se agregaron 3 eventos únicos (UE) de nuevo a la ROS y se etiquetaron con **. N: número de muestras, cantidad de pozos en los que ocurre el evento; SD: desviación estándar de la línea de correlación y la desviación estándar promedio de los eventos en la ROS es de 1.66.	21
7.	Bioeventos de quistes de dinoflagelados obtenidos de la Secuencia final RASC, comúnmen- te reportados en localidades tropicales (23º latitud N-S) durante el Neógeno. El área sombreada gris corresponde a el rango de edad estudiado en cada sitio.	26
8.	Fotomicrografías de especies de dinoflagelados identificados como marcadores en este estudio. Escala 20 um (a) <i>Impagidinium patulum</i> (b) <i>Selenopemphix brevispinosa</i> (c) <i>Cordosphaeridium cantharellus</i> (d) <i>Palaeocystodinium golzowense</i> (e) <i>Spiniferites bulloi- deous</i> (f) <i>Lejeunecysta hyalina</i> (g) <i>Cyclopsiella elliptica</i> (h) <i>Lejeunecysta cinctoria</i> (i) <i>Nematosphaeropsis balcombiana</i> (j) <i>Homotryblium floripes</i> (k) <i>Spiniferites pseudofur- catus</i> . Tomadas de los trabajos de: Del Valle Reyes (2001); Carrillo-Berumen (2003); Zegarra (2005); Miranda (2008); Narváez-Rodríguez et al. (2008)	28
9.	La secuencia más probable de bioeventos de quistes de dinoflagelados tropicales durante el Neógeno. Edades en Ma, y los nombres de Series/Épocas y Pisos siguen la Carta Cronoestratigráfica Internacional de la Comisión Internacional de Estratigrafía (Cohen et al. (2013), actualizado 2023). Los números en paréntesis en la parte inferior de la figura indican la edad más probable de aparición en Ma. Línea sólda y gruesa = común ocurrencia en sitios tropicales. Línea sólida media = rango estratigráfico global publicado. Línea gruesa y rayada = rango en el Golfo de México. Línea sólida con flecha = Ocurrencia más antigua reportada. Línea delgada y gris = conexión con el nombre.	33

viii

## Figura

## Página

10.	Listado de especies de quistes de dinoflagelados encontrados en la Secuencia Óptima Clasificada (Ranking Optimum Sequence: ROS)	65
11.	Listado de especies marcadoras con su primeras y últimas apariciones (First occurrence: FO, Last occurrence: LO) en 6 pozos al sur del Golfo de México (Profundidad en metros y edad en Millones de años)	66
12.	Parámetros de entrada, corrida final RASC (6/2/2) $\ldots$ $\ldots$ $\ldots$ $\ldots$ $\ldots$ $\ldots$	67
13.	Resultado Modelo de pasos (Stepmodel): sin penalizaciones >6. Los valores son calcula- dos por RASC mediante el uso del coeficiente de correlación de rangos de Kendall	68
14.	Diagramas de dispersión Pozos sur Golfo de México: muestra las curvas cuadráticas de mejor ajuste. Formato original de salida del programa RASC20. Pozos Akaito-1, Chanchamito-1, Chac-Mool-1	69
15.	Diagramas de dispersión Pozos sur Golfo de México: muestra las curvas cuadráticas de mejor ajuste. Formato original de salida del programa RASC20. Pozos Narváez-1 y Glomerosa-1	70
16.	Diagramas de dispersión Pozos sur Golfo de México: muestra las curvas cuadráticas de mejor ajuste. Formato original de salida del programa RASC20. Pozo Sihini-1	71

## Lista de tablas

Tabla

_	
<b>n</b> /	•
<u>م ر ا</u>	~
P 1	
1 0	e i i a

1.	Muestras analizadas de 6 pozos en cuencas del Golfo de México	14
2.	Estudios publicados sobre quistes de dinoflagelados durante el Neógeno en sitio tropicales. Abreviaciones: Oligo: Oligoceno, Plio: Plioceno, Pleist: Pleistoceno	17
3.	Tabla Resumen del análisis final del programa RASC (Ranking and Scaling)	18
4.	Taxa de quistes de dinoflagelados y acritarca encontrados en la literatura especiali- zada (Apéndice A), géneros con más de 5 especies. La taxonomía sigue a Williams et al. (2017).	24
5.	Lista de especies seleccionadas de la Secuencia final RASC y sus rangos estratigráfi- cos encontrados en la literatura. Los datos de GoM (Golfo de México) corresponden a este estudio y las referencias corresponden al Rango Común. Edades en Ma y los nombres de las Series/Épocas y Pisos vienen de la Carta Cronoestratigráfica Internacional de la Comisión Internacional de Estratigrafía (Cohen et al., 2013, actualizado 2023). Referencias y detalles de esta tabla se encuentran en el Anexo A.	29
6.	Listado de especies encontradas en el sur Golfo de México (GoM) durante el Neógeno, su abundancia y clasificación en Gonyaulacales o Peridinales. Cuencas Tampico-Misantla, Macuspana, Plataforma Campeche y Veracruz	46
7.	Base de datos con las especies reportadas en diez publicaciones en zonas tropicales $(1 = presencia en cada sitio) \dots \dots$	53
8.	Listado de especies encontradas en el trópico durante el Neógeno, agrupadas por afinidad taxonómica y preferencia trófica siguiendo a Fensome et al. (1993).	60

La bioestratigrafía de quistes de dinoflagelados ha sido estudiada y documentada en sedimentos del Neógeno de latitudes medias a altas (Boyd et al., 2018, y referencias incluidas). Los quistes de dinoflagelados presentan un registro continuo en el Neógeno en latitudes altas del norte y son muy útiles en la asignación de edades a secuencias marinas mesozoicas y cenozoicas (Williams & Bujak, 1977, 1985; Bujak & Mudge, 1994). A pesar de su importancia, la investigación sobre dinoflagelados en latitudes medias y bajas sigue siendo limitada, lo que lleva a una aplicación rudimentaria de dinoflagelados en estudios bioestratigráficos dentro de estas regiones (Schreck et al., 2012).

Tradicionalmente se han utilizado métodos cualitativos para su estudio, aunque teniendo en cuenta que la posición de una especie en el registro estratigráfico se ve influenciada por diversos factores, esto puede resultar en una representación incompleta. Sin embargo, con más eventos y datos, las deficiencias en el registro podrían reducirse significativamente, y la sucesión observada de especies se haría más evidente. Estos factores incluyen el muestreo, características geológicas como la disolución o retrabajo, y variaciones en las tasas de evolución entre los taxa en diferentes regiones del mundo (Gradstein et al., 1985).

Con el fin de obtener resultados más consistentes con un enfoque cuantitativo, utilizamos una técnica estadística y probabilística a través de el programa Ranking and Scaling (RASC). Este programa identifica pares de eventos de especies en múltiples pozos. El análisis RASC identifica el orden más probable de eventos bioestratigráficos en un tiempo relativo. La posición de estos eventos en la secuencia óptima es más o menos un promedio de todas las posiciones relativas encontradas.

Teniendo en cuenta que un bioevento es un evento particular reconocido en una secuencia con un cambio significativo en el contenido fósil. RASC calcula la desviación estándar para cada bioevento en la secuencia óptima, para separar eventos altamente confiables, con desviaciones estándar bajas, de eventos menos confiables con desviaciones estándar altas. El método proporciona las secuencias más probables y las distancias más probables de los eventos en tiempo relativo (Gradstein et al., 1985, 1999).

Información detallada de la teoría y análisis numérico detrás de RASC, se encuentra en: Gradstein et al. (1985); Agterberg & Gradstein (1999); Gradstein et al. (1999). Además, los usos prácticos de este tipo de análisis se encuentran en Agterberg et al. (2013).

Desde el punto de vista ecológico, la estructura comunitaria y la función ecológica de los ecosistemas marinos contemporáneos dependen críticamente del fitoplancton eucariota. Los dinoflagelados junto con

los cocolitofóridos y las diatomeas son responsables de la mayoría del flujo de materia orgánica a niveles tróficos más altos y al interior del océano. Los precursores de estos eucariotas fotosintéticos evolucionaron hace más de 1,500 millones de años en los océanos Proterozoicos, sin embargo, no fue sino hasta la Era Mesozoica (de 251 a 65 millones de años) que estos clados de fitoplancton alcanzarían una importancia ecológica al dominar los mares modernos (Falkowski et al., 2004).

En este trabajo utilizamos un análisis cuantitativo y probabilístico sobre una base de datos palinológicos del sur del Golfo de Mexico, para identificar eventos de quistes de dinoflagelados durante el Neógeno. Los datos fueron analizados utilizando el programa RASC para establecer la Secuencia Óptima de Clasificación (Ranking Optimum Sequence: ROS) (Gradstein et al., 1985, 1999) y la comparamos con diez bases de datos publicadas en sitios tropicales durante el Neógeno para documentar sus similitudes estratigráficas y paleoecológicas.

## 1.1. Los dinoflagelados como herramientas en bioestratigrafía y paleoecología

Los dinoflagelados marinos son organismos eucariotas unicelulares móviles que constituyen uno de los principales grupos del plancton marino. Juegan un papel fundamental en la red trófica planctónica, siendo importantes colaboradores de la producción primaria acuática y pueden tener estrategias de vida autotróficas, heterotróficas o mixotróficas (Taylor et al., 2008). El ciclo de vida de los dinoflagelados es complejo, con etapas móviles planctónicas y sésiles o bentónicas. En las etapas sésiles, algunas especies de dinoflagelados pueden producir quistes hipnocigóticos resistentes y temporales (Fig. 1)(Evitt, 1985; Taylor et al., 2008; Bravo & Figueroa, 2014; Mudie et al., 2020).

Alrededor del 10 % de las aproximadamente 2,000 especies de dinoflagelados marinos conocidas producen quistes de resistencia como parte de su ciclo de vida. Estas fases bentónicas desempeñan un papel importante en la ecología de las especies, como parte de un vínculo planctónico-bentónico en el que los quistes permanecen en la capa sedimentaria durante condiciones desfavorables para el crecimiento vegetativo y, desde allí se reinoculan a la columna de agua cuando se restauran las condiciones favorables (Bravo & Figueroa, 2014).

Estos quistes resistentes pueden conservarse durante largos períodos de tiempo y se han observado en rocas sedimentarias de más de 200 millones de años (Evitt, 1985; Fensome et al., 1993). Este trabajo presenta el estudio de quistes hipnocigóticos de pared orgánica de dinoflagelados resistentes a los ácidos,

por lo que los llamaremos "quistes de dinoflagelados".



Figura 1. Ciclo de vida esquemático de los dinoflagelados, desde la fase vegetativa (haploide) o sexual (diploide) hasta las etapas de quiste de película delgada y quiste de resistencia (Modificado de: Bravo & Figueroa (2014) y Mudie et al. (2020))

El registro fósil, que comprende más de 2,500 especies, muestra una rápida radiación de quistes, comenzando en el Triásico, alcanzando su punto máximo en el Cretácico y disminuyendo a lo largo del Cenozoico (Taylor et al., 2008).

Los quistes de dinoflagelados han jugado un papel importante en la exploración de hidrocarburos, especialmente en latitudes altas. La ventaja de encontrarse en el registro fósil, junto con: su pequeño tamaño (50 - 200 um), abundancia en estratos que carecen de otros fósiles, amplia distribución geográfica, composición resistente a la degradación y rápida evolución, los convierte en una excelente herramienta bioestratigráfica (Fensome et al., 1993; Taylor et al., 2008).

En las últimas décadas, se ha reconocido cada vez más la importancia del análisis estratigráfico y paleoambiental de quistes de dinoflagelados en la exploración de hidrocarburos, en donde se ha convertido en una herramienta rutinaria (Pross & Brinkhuis, 2005). Su utilidad en la asignación de edades a secuencias marinas Mesozoicas y Cenozoicas ha sido demostrada en áreas tradicionalmente petroleras como el Mar del Norte (Bujak & Mudge, 1994; Bujak, 1996), Siberia occidental (lakovleva & Kulkova, 2003), el margen de Nueva Escocia en Canadá (Fensome & Williams, 2004), y la Costa del Golfo en los Estados Unidos (Jaramillo & Oboh-Ikuenobe, ).

## 1.2. Bioestratigrafía global de quistes de dinoflagelados durante el Neógeno

Las asociaciones de quistes de dinoflagelados han sido estudiadas ampliamente en estratos Neógenos de latitudes medias a altas. En particular, Williams (1975) y Williams & Bujak (1977) definieron once zonas de asociación en el Cenozoico, con cuatro de ellas incluyendo desde el Mioceno temprano hasta el Plioceno-Pleistoceno en la plataforma oriental de Canadá. Harland (1979) examinó estratos Neógenos y Cuaternarios del DSDP Leg 48 en el Golfo de Vizcaya y propuso una zonación informal tentativa de cuatro partes basada principalmente en las primeras apariciones de ciertas especies. Piasecki (1980) estudió el Mioceno de Hodde en Dinamarca y estableció cuatro zonas de dinoflagelados.

Adicionalmente, Head et al. (1989) estudiaron muestras de la bahía de Baffin y reconoció cinco asociaciones de quistes de dinoflagelados del Mioceno. Por otro lado, Powell (1992) revisaron el estado del conocimiento sobre la distribución estratigráfica de quistes en el área Británica; la sucesión durante el Terciario estableció 36 biozonas, de las cuales siete incluyen el Neógeno. De Verteuil & Norris (1996) desarrollaron una zonación detallada de quistes de dinoflagelados para el Mioceno de la Llanura Costera Atlántica de los Estados Unidos y establecieron diez zonas utilizando 62 horizontes.

Williams et al. (2004) por primera vez, reportaron eventos globales de dinoflagelados desde el Cretácico Tardío hasta el Cuaternario con alta resolución. El estudio utilizó datos magnetostratigráficos de dos sitios del Programa de Perforación Oceánica ODP frente a la costa de Tasmania, para establecer un control cronoestratigráfico independiente. Al calibrar estos eventos, fue posible compararlos entre las regiones del norte y del sur, en consecuencia, establecer rangos para latitudes bajas, medias y altas.

Jiménez-Moreno et al. (2006) registraron quistes de dinoflagelados del Mioceno temprano y medio de Austria en el Paratethys Central. Definieron cinco biozonas calibradas de manera independiente mediante foraminíferos y nanofósiles. Dybkjær & Piasecki (2010) presentaron una zonación de dinoflagelados para toda la sucesión Neógena de la Cuenca del Mar del Norte (Dinamarca). Compararon con zonaciones publicadas y definieron diecinueve (19) zonas calibradas independientemente con foraminíferos y nanoplancton.

Soliman et al. (2012) proporcionaron una correlación estratigráfica detallada del Mioceno Inferior y Medio en el Golfo de Suez, Egipto. El estudio definió cinco biozonas de dinoflagelados y las calibró con nanofósiles calcáreos.

Schreck et al. (2012) analizó detalladamente quistes de dinoflagelados del Mar de Islandia, desde el Mioceno medio hasta el Plioceno (ODP 907A). Utilizó datos magnetostratigráficos para calibrar 26 bioeventos de dinoflagelados y acritarcos.

## 1.3. Zonaciones y bioeventos de quistes de dinoflagelados en el Trópico durante el Neógeno

Aunque se ha logrado un progreso considerable en la documentación de los rangos estratigráficos de los taxa en varias localidades, aún no se ha propuesto una zonación formal de quistes de dinoflagelados para el Neógeno tropical. Los datos actuales consisten en análisis cualitativos y no incluyen un enfoque cuantitativo o probabilístico. Algunas fuentes que contribuyen a estos datos son: Jarvis & Tocher (1985); Helenes-Escamilla & Cabrera (2003); Zegarra & Helenes-Escamilla (2011); Duque-Herrera et al. (2018); Cárdenas et al. (2020); Leandro et al. (2020); Correa et al. (2021); Pereira et al. (2021); Durugbo et al. (2011); Van Den Brink (2019).

Jarvis & Tocher (1985) analizaron muestras Neógenas-Cuaternarias del DSDP (Leg 85) en el Pacífico ecuatorial central y las compararon con asociaciones pelágicas coetáneas del Atlántico. Encontraron 15 especies de dinoflagelados que son útiles como índicadores estratigráficos a nivel mundial, y la baja diversidad mostrada es similar a otras asociaciones.

Helenes-Escamilla & Cabrera (2003) documentaron los palinomorfos de varias secciones subsuperficiales en el este de Venezuela para definir una discordancia del Cretácico tardío/Oligoceno tardío y las capas Oligocenas-Miocenas que yacen sobre estos sedimentos. Estos investigadores reconocieron dos asociaciones en el intervalo Cretácico y otras dos en las capas Cenozoicas utilizando polen, esporas y dinoflagelados. Zegarra & Helenes-Escamilla (2011) informaron sobre la asociación de quistes de dinoflagelados observada frente a la costa de Costa Rica (Sitio ODP 1039) y documentaron la conexión entre las variaciones de los quistes y los cambios en la paleoproductividad biológica regional, relacionándola con la deriva tectónica y eventos de paleoproductividad. Encontraron cinco intervalos dominados por dinoflagelados autótrofos que reflejan cambios en la productividad, dominancia y diversidad desde el Mioceno hasta el Pleistoceno.

Duque-Herrera et al. (2018) documentaron asociaciones de dinoflagelados del Mioceno temprano al tardío de un pozo exploratorio en la costa del Pacífico colombiano, y propusieron un marco cronoestratigráfico calibrado con nanofósiles calcáreos para el oeste de Colombia. Correlacionaron los cambios en las asociaciones de quistes de dinoflagelados con eventos regionales y globales, y reportaron los rangos bioestratigráficos de algunas especies comunes en áreas tropicales.

Cárdenas et al. (2020) analizaron el contenido palinológico del Mioceno temprano de un pozo perforado frente a la costa de Colombia (mar Caribe). Propusieron un esquema bioestratigráfico con tres zonas calibradas con microfósiles (nanofósiles, palinomorfos y foraminíferos planctónicos) y cronoestratigrafía de isótopos de estroncio.

Leandro et al. (2020) estudiaron quistes de dinoflagelados y palinofacies del Mioceno medio al tardío en el Caribe (Brecha de Aruba). Describieron tres intervalos e interpretaron el paleoambiente y la productividad, mostrando la variación de las asociaciones.

Correa et al. (2021) realizaron una integración de los palinomorfos con otros microfósiles estudiados en sedimentos marinos depositados desde el Mioceno medio hasta el tardío en el oeste de Colombia. El marco cronológico permite la calibración con foraminíferos planctónicos, nanofósiles calcáreos y diatomeas de los rangos bioestratigráficos de siete especies de dinoflagelados.

Pereira et al. (2021) presentaron los resultados de uno de los primeros estudios de palinostratigrafía basado en quistes de dinoflagelados, realizado en formaciones del Oligoceno al Mioceno temprano en Angola.

Durugbo et al. (2011) estudiaron las asociaciones de quistes de dinoflagelados del Mioceno medio al Pleistoceno temprano e interpretaron la productividad oceánica y los paleoambientes en el delta occidental río Níger.

Van Den Brink (2019) propuso una biozonación de quistes de dinoflagelados para pozos de aguas profundas perforados al norte de la Isla de Borneo. Esta zonación complementa la biozonación basada en

## 1.4. Bioestratigrafía del Neógeno en el Golfo de México

Los estudios bioestratigráficos del Neógeno en el sur del Golfo de México se basaban en foraminíferos y nanoplancton calcáreo (Narváez-Rodríguez et al., 2008; Sanchez Rios et al., 2009; Jijun et al., 1993; Vann-Smith et al., 2019). Algunas investigaciones palinológicas se han llevado a cabo en sedimentos Neógenos en la parte norte del Golfo. Por ejemplo, Wrenn & Kokinos (1986) documentaron conjuntos de quistes de dinoflagelados, diversos y bien conservados durante el Mioceno. Destacaron los taxa diagnósticos paleoambientales, reconociendo una mezcla de especies derivadas de la plataforma continental y del oceáno abierto.

En la plataforma de Luisiana, Duffield & Stein (1986) encontraron un ensamble distintivo de quistes de dinoflagelados que proporciona información sobre la influencia de controles locales en la ocurrencia de los quistes. Mientras que LeNoir & Hart (1986) en la misma área, propusieron cambios en la energía ambiental basados en la abundancia de palinomorfos.

La investigación sobre la bioestratigrafía de dinoflagelados en las cuencas cenozoicas ubicadas en la región sur del Golfo de México se ha llevado a cabo en proyectos de exploración petrolera. Esta investigación ha involucrado estratigrafía de secuencias, correlación con otros grupos de microfósiles y análisis de la relación con cambios en el nivel del mar para mejorar la resolución bioestratigráfica. La mayoría de los resultados de estos estudios se han documentado en tesis de posgrado (Carrillo-Berumen, 2003; Del Valle Reyes, 2001; Zegarra, 2005; Miranda, 2008).

## 1.5. Contexto geológico

Los datos incluidos en este estudio provienen de cuatro cuencas en la zona sur del Golfo de México: Tampico-Misantla, Veracruz, Plataforma Campeche y Macuspana (Fig. 2). Estos datos se seleccionaron por estar ubicados en la zona tropical durante el Cenozoico y por lo tanto corresponden al marco paleogeográfico propuesto para este estudio.

El Golfo de México es una cuenca rodeada principalmente por márgenes pasivos, sin subsidencia rela-

cionada con la tectónica de placas. Sin embargo, se registró cierta actividad tectónica en el Cenozoico, especialmente hacia el sur (Del Valle Reyes, 2001; Franco et al., 2013; Gutiérrez-Paredes et al., 2017; Xie et al., 2019).



**Figura 2.** Cuencas cenozoicas en el Golfo de México y pozos seleccionados para este estudio: 1. Burgos 2. Tampico-Misantla (Sihini-1) 3. Veracruz (Glomerosa-1) 4. Plataforma Campeche (Chac Mool-1) 5. Salina del Istmo 6. Chiapas-Tabasco 7. Macuspana (Narvaez-4, Chanchamito-1, Akaito-1), 8. Sierra de Chiapas

#### 1.5.1. Origen del Golfo de México

La geología del sur del Golfo de México resulta de las interacciones de placas durante la fragmentación de la Pangea Ecuatorial occidental desde el Triásico Tardío hasta el Jurásico Medio. Esto incluye el rifting (apertura por un movimiento distensivo) y la separación de la corteza continental entre las placas de América del Norte y del Sur, abarcando el Bloque de Yucatán. A medida que las aguas marinas fluían hacia las áreas de hundimiento en el sureste de México, depositaron volúmenes gruesos de sal, mientras que los lechos rojos continuaron formándose a lo largo de los márgenes de la cuenca (Meneses-Rocha, 1987; Ross & Scotese, 1988; Davison et al., 2021).

La primera gran transgresión marina tuvo lugar desde el Jurásico Tardío hasta el Cretácico Temprano, con la depositación de sedimentos arenosos y carbonatados de ambientes marinos poco profundos y lutitas con alto contenido orgánico. El resto del periodo Cretácico presenció una extensa plataforma carbonatada que cubría la mayor parte del Golfo de México. Sin embargo, estas condiciones finalizaron al inicio del Paleógeno con una regresión originada por la orogenia Laramide que venía del oeste (Meneses-Rocha, 1987; Padilla y Sánchez, 2007).

La orogenia progresó hacia el este durante el Cretácico Tardío y el Cenozoico Temprano, culminando durante el Eoceno Temprano o Medio con la formación de la Sierra Madre Oriental en el este de México. Esta elevación se extiende desde el noreste de México hasta el Istmo de Tehuantepec, y está relacionada con el desarrollo de una serie de depresiones o cuencas aproximadamente paralelas a la costa oeste del Golfo, al este del cinturón orogénico, donde se depositaron gruesas secuencias de sedimentos del Cenozoico (Salvador, 1991).

Durante los periodos Paleógeno y Neógeno, los sedimentos que llenaron estas cuencas representaron ambientes que iban desde el litoral hasta el mar profundo (López-Ramos, 1973; Moran-Zenteno, 1996; CNH, 2014). Como se muestra en la Figura 2, de norte a sur, se encuentran (1) la Cuenca de Burgos; (2) las Cuencas de Tampico-Misantla y Veracruz; y (3) las Cuencas del sureste (Campeche, la Salina del Istmo, Chiapas-Tabasco, Macuspana) y la Cuenca de la Sierra de Chiapas (Padilla y Sánchez, 2007; Le Roy et al., 2008; Roure et al., 2009; CNH, 2014). El Cenozoico está representado principalmente por sedimentación siliciclástica, principalmente lutitas con algunas intercalaciones de areniscas (Fig. 3).

#### 1.5.2. Cuencas del Golfo de México

#### A. Tampico-Misantla

El pozo Sihini-1 se encuentra en esta cuenca en los estados de Tamaulipas y Veracruz, como parte de la llanura costera del Golfo de México. La cuenca está limitada al norte por el río Guayalejo y la Sierra de Tamaulipas, al sur por las localidades de Nautla y Misantla, así como el Macizo de Teziutlán, al este por el Golfo de México y al oeste por la Sierra Madre Oriental (Miranda, 2008). La columna sedimentaria estudiada está dominada por lutitas y limolitas, con intercalaciones de estratos delgados de areniscas que van desde la base, hasta la parte superior de la misma (Miranda, 2008) (Fig. 3).



**Figura 3.** Columnas estratigráficas para cuatro cuencas en el Golfo de Mexico durante el Neógeno: A. Tampico (Pozo Sihini-1) B. Veracruz (Glomerosa-1) C. Plataforma Campeche (Chac Mool-1) D. Macuspana (Narvaez-4, Chanchamito-1, Akaito-1). Datos tomados de: Miranda (2008); Zegarra (2005); Del Valle (2001); Narvaez et al. (2008).

#### B. Veracruz

El pozo Glomerosa-1 se encuentra en la Cuenca de Veracruz, ubicada a lo largo del margen suroeste del Golfo de México. Está limitada al norte por el cinturón volcánico Trans-Mexicano, al oeste por el cinturón de plegamiento y cabalgamiento de la Sierra Zongolica, y al sur por la Cuenca Salina, separándola del Golfo de México por elevaciones estructurales asociadas con los volcanes Los Tuxtlas y Anegada (Prost & Aranda, 2001). La tasa de acumulación sedimentaria en el área de Veracruz es alta, de modo que el Cenozoico tiene un espesor aproximado de 8,000 a 9,000 m, y está dominado por sedimentos siliciclásticos de grano fino (Santiago et al., 1984).

#### C. Sonda Campeche

El pozo Chac Mool-1 se encuentra en la Sonda de Campeche, que limita al sureste con la Plataforma de Yucatán. Al oeste, está delimitada por el Macizo de Chiapas y la Sierra Madre Oriental. Esta cuenca limita con las costas de los estados de Tabasco, Campeche y Yucatán. La columna estratigráfica comprende sedimentos desde el Jurásico Tardío hasta el Cenozoico Tardío, con espesores máximos aproximados de 6,000 m en la parte occidental. Desde el Paleoceno hasta la actualidad, la cuenca recibió sedimentos clásticos originados en la orogenia Laramide al noroeste y los sedimentos de la Sierra de Chiapas al sur (Santiago et al., 1984) (Fig. 3).

#### D. Macuspana

Los pozos Narvaez-1, Chanchamito-1 y Akaito-1 se encuentran en la Cuenca de Macuspana, en la región sureste del Golfo de México (Fig. 2). Esta cuenca está delimitada al sur por los estados de Tabasco y Campeche, y se extiende hacia el norte en el Golfo de México. Los pliegues de la Sierra de Chiapas forman el límite sur, la Falla de la Frontera de Tabasco forma el límite occidental, y la Falla de Macuspana forma el límite oriental (Carrillo-Berumen, 2003; Narváez-Rodríguez et al., 2008). Esta cuenca contiene una secuencia sedimentaria de rocas siliciclásticas del Mesozoico y Cenozoico que yace sobre un basamento cristalino del Precámbrico y Paleozoico (Sedlock et al., 1993)(Fig. 3).

## 1.6. Justificación

Registros detallados y bien calibrados de quistes de dinoflagelados de edad Paleógeno y Neógeno provienen de latitudes altas del hemisferio norte (Williams & Bujak, 1985; Stover et al., 1996; Williams et al., 2004; Sluijs et al., 2005). La aplicación de los dinoflagelados en estudios bioestratigráficos de latitudes medias y bajas aún es escaso, convencionalmente su investigación se basa en métodos cualitativos. Para obtener datos más consistentes en la zona tropical, en este trabajo utilizamos un análisis cuantitativo y probabilístico sobre una base de datos palinológicos del sur del Golfo de México. Este documento presenta la secuencia más probable de bioeventos de quistes de dinoflagelados del Neógeno y cuantifica su incertidumbre a través de datos de seis pozos en el sur del Golfo de México. Los datos fueron analizados utilizando el programa RASC (Ranking and Scaling) para establecer una Secuencia Óptima de Clasificación (Ranking Optimum Sequence: ROS) de eventos fósiles (Gradstein et al., 1985, 1999).

El método RASC, aplicado con éxito en regiones de altas latitudes utilizando foraminíferos, dinoflagelados y microfósiles silíceos, permite obtener una secuencia con una probabilidad de ocurrencia del 95 % Gradstein et al. (1994). Este enfoque se ha empleado para desarrollar biozonaciones integradas y de alta resolución del Cenozoico, facilitando la identificación de los diferentes pisos estratigráficos. Luego comparamos esta secuencia con bases de datos publicadas en sucesiones Neógenas tropicales para documentar sus similitudes estratigráficas y paleoecológicas.

La secuencia final obtenida es la primera propuesta de una secuencia bioestratigráfica de quistes de dinoflagelados fósiles del Neógeno en áreas tropicales utilizando un método probabilístico.

## 1.7. Hipótesis

Si se definen los datums o bioeventos específicos de dinoflagelados Neógenos en el sur del Golfo de México, entonces se podrá establecer un marco cronoestratigráfico detallado, confiable y repetible en regiones tropicales.

### 1.8. Objetivos

#### 1.8.1. Objetivo general

Reconocer y evaluar la secuencia de bioeventos con dinoflagelados en el Sur del Golfo de México durante el Neógeno, comparándola y calibrándola con otros grupos de microfósiles para establecer un marco cronoestratigráfico con edades numéricas sólidas y confiables. Además, proponer un marco paleoecológico que explique las variaciones en los conjuntos de dinoflagelados durante el Neógeno.

### 1.8.2. Objetivos específicos

- Reconocer una secuencia de eventos constante con datos estratigráficos más altos/ bajos de las especies de dinoflagelados a partir de información de estratos del Neógeno al Sur del Golfo de México.

- Comparar y calibrar los datos obtenidos con biozonas datadas con métodos radiométricos a través de otros grupos de microfósiles (foraminíferos y/o nanoplancton calcáreo).

- Proponer la secuencia de bioeventos de quistes de dinoflagelados más probable para el Neógeno

- Analizar las características paleoecológicas de conjuntos tropicales de dinoflagelados para proponer un marco de evolución de estos organismos durante el Neógeno.

## 2.1. Preparación Palinológica

Estudiamos datos de seis pozos de exploración en el sur del Golfo de México, con 1,005 muestras de núcleos y canal (o recortes de perforación) a lo largo de las cuencas de Tampico-Misantla, Veracruz, Plataforma Campeche y Macuspana (Tabla 1). Las muestras estudiadas fueron procesadas siguiendo un tratamiento palinológico utilizando HCL y HF (Wood et al., 1996) para eliminar carbonatos y silicatos, respectivamente. Después de los ataques con ácido, el residuo fue lavado y tamizado en mallas de 125 y 15  $\mu$ m para eliminar material grueso y fino. La porción entre 120 y 15  $\mu$ m se montó en una lámina con adhesivo óptico (Norland Optical Adhesive 61).

Cuenca	Pozo	Número de Muestras	Profundidad (m)
Tampico-Misantla	Sihini-1	211	520 - 4,765
Veracruz	Glomerosa-1	93	140 - 3,334.85
Plat. Campeche	Chac Mool-1	119	605 - 3,560
Macuspana	Narvaez-4 Chanchamito-1 Akaito-1	199 210 173	125 - 2,975 980 - 5,570 0 - 3,645

Tabla 1. Muestras analizadas de 6 pozos en cuencas del Golfo de México

Cada muestra fue observada con un microscopio de luz transmitida, y la identificación de las especies de dinoflagelados sigue la taxonomía presentada en Dinoflaj3 (Williams et al., 2017). El rango de edad para cada bioevento se determinó utilizando la información estratigráfica de nanofósiles calcáreos y foraminíferos planctónicos en cada pozo (Del Valle Reyes, 2001; Carrillo-Berumen, 2003; Zegarra, 2005; Miranda, 2008; Narváez-Rodríguez et al., 2008). La comparación de la distribución estratigráfica de los dinoflagelados con la de los microfósiles calcáreos permitió la calibración de los rangos bioestratigráficos.

## 2.2. Preparación y selección de los datos

Para este estudio, seleccionamos los pozos con secciones continuas que abarcan el Neógeno (Tabla 1), junto con un marco cronoestratigráfico basado en biocronozonas de nanofósiles calcáreos o foraminíferos planctónicos. Nuestro conjunto de datos ha sido verificado estratigráficamente y los datos recopilados de diferentes autores ofrecen el beneficio de la neutralidad, y la identificación taxonómica es consistente debido a la metodología utilizada en el Laboratorio de Palinología del Departamento de Geología (CICESE)(Anexo A-1).

El proceso de selección implica identificar eventos únicos (Unique Events: UE), que son taxa de dinoflagelados con rangos estratigráficos bien conocidos, observados en una o pocas muestras. Estos eventos han sido excluidos del análisis por tener una frecuencia menor al número mínimo elegido de pozos, sinembargo siguen siendo bioestratigráficamente esenciales.

Después de finalizar la selección del conjunto de datos, agregamos todos los bioeventos (Primera y Última ocurrencia: First and Last occurrence: FO/LO) a QSCreator (NHM, 2013). Este software genera archivos con un número distintivo para cada bioevento, su profundidad, abundancia y pozo, que luego ingresamos al programa RASC (Hjálmarsdóttir, 2019; Guerrero-Murcia & Helenes-Escamilla, 2022).

## 2.3. RASC: Teoría y condiciones de entrada al programa

Los programas QSCreator y RASC analizan con precisión los datos bioestratigráficos para organizar y revisar las sucesiones de primeras y últimas ocurrencias de especies de pozo a pozo (Cuartas et al., 2006). Después de completar la base de datos QSCreator, se establecieron condiciones de umbral para determinar el número mínimo de pozos en los que debería ocurrir cada evento y el número mínimo de pozos en los que debería ocurrir cada evento y el número mínimo de gozos en los que debería ocurrir cada eventos, asegurando un tamaño de muestra adecuado (Gradstein et al., 1985; Agterberg et al., 2013).

Añadimos eventos únicos (UE) a la secuencia óptima para evitar la pérdida de información sobre fósiles índice. Para lograr un resultado efectivo con una resolución estratigráfica confiable, es recomendable utilizar métodos cualitativos, como la observación por parte de un bioestratígrafo experimentado, y métodos cuantitativos, como RASC (Hjálmarsdóttir, 2019).

# 2.4. Información generada por RASC: Diagramas de dispersión y tabla de puntos de penalización

Para identificar eventos potencialmente inconsistentes, RASC produce gráficos de dispersión y asigna puntos de penalización al evento en todos los pozos. El análisis de estos resultados ayuda a identificar discrepancias y refinar los datos.

Los gráficos de dispersión proporcionan una representación visual de la posición de los eventos dentro de cada pozo. RASC ajusta el mejor ajuste a una curva cuadrática, resaltando posibles problemas de orden estratigráfico; a cada evento en todos los pozos se le asigna un valor de puntos de penalización. Cuando un evento ocurre al mismo tiempo que otro evento, recibe una penalización de 0.5 puntos. Si está fuera de orden, recibe un punto de penalización.

El programa RASC compara el orden estratigráfico de todos los pares de eventos en todos los pozos para crear una Secuencia Óptima de Clasificación (ROS), una secuencia de eventos donde cada posición es el promedio de todas las posiciones individuales. La secuencia ROS utiliza probabilidades para prever la secuencia más probable de eventos, asumiendo que todos los pozos forman parte de una única sección ininterrumpida. Cada vez que se agrega información de un nuevo pozo a una base de datos existente, el programa RASC examina los datos para identificar eventos bioestratigráficos confiables y elimina cualquier dato contradictorio.

Además, el programa compara cada pozo/sección con la ROS, asignando puntos de penalización a eventos que están fuera de lugar según las tablas del modelo de pasos. Los eventos con un AAA recibieron más de 12 puntos de penalización. Nuestro conjunto de datos eliminó cualquier evento con una puntuación de penalización de siete o más (>7) después de un cuidadoso examen.

### 2.5. Comparación con datos tropicales publicados

Comparamos los resultados de RASC en el sur del Golfo de México con datos publicados en otros diez estudios realizados en muestras ubicadas en el área tropical (entre 23º S - 23º N). Seleccionamos artículos con edades calibradas mediante biocronozonas de nanoplancton calcáreo y foraminíferos planctónicos (Tabla 2), para conocer los conjuntos de dinoflagelados tropicales durante el Neógeno (Anexos A-2 y A-3).

Referencia	Localización	Muestras	Edad
Zegarra & Helenes-Escamilla (2011)	Oeste de Costa Rica	83 (núcleo)	Mioceno-Pleist
Duque-Herrera et al. (2018)	Oeste de Colombia	50 (12 núcelo /38 canal)	Mioceno
Correa et al. (2021)	Oeste de Colombia	51 (Afloramiento)	Miocene Medio
Jarvis & Tocher (1985)	Pacífico Equatorial Central	101 (núcleo)	Mioceno-Pleist
Helenes-Escamilla & Cabrera (2003)	Este de Venezuela	321 (287 núcleo/ 34 canal)	Oligo-Mioceno
Cárdenas et al. (2021)	Caribe Colombia	40 (canal)	Miocene Temprano
Leandro et al. (2020)	Caribe DSDP Sitio 153	36 (núcleo)	Miocene Medio-Tardío
Pereira et al. (2021)	Angola (Sur de África)	12 (Afloramiento)	Oligo-Miocene Temprano
Durugbo et al. (2011)	Nigeria (Sur de África)	389 (canal)	Mioceno Medio - Pleist
Van Den Brink (2019)	Borneo (Asia)	33 (canal)	Mioceno Tardío-Plio

**Tabla 2.** Estudios publicados sobre quistes de dinoflagelados durante el Neógeno en sitio tropicales. Abreviaciones: Oligo: Oligoceno, Plio: Plioceno, Pleist: Pleistoceno

### 3.1. Tabla Resumen del análisis RASC

La Tabla 3 muestra 197 taxa en el diccionario después de la ejecución final del análisis RASC (corrida final 6/2/2, Anexo A-6). En total, se registraron 134 eventos en todos los pozos, 65 taxa y el programa requirió de 19 ciclos para determinar el ROS). Es así como en los seis pozos utilizados se encontraron 32 eventos en la ROS. El programa RASC identifica y extrae datos pertinentes de ciclos que tienen tres o más eventos con un orden estratigráfico inconsistente e irresoluble (Agterberg & Gradstein, 1999).

Resumen propiedades de datos y RASC17	Results
Taxa names in the Dictionary	197
Wells	6
Dictionary Taxa in the wells	65
Event records in the wells	134
Cycles prior to Ranking	19
Events in the ROS	32
Events in ROS with SD $<$ ave SD	19
Stepmodel events with $>$ 6 penalty points after Scaling	0
Normality test events shown with * or **	10
Number of AAAA events in Scaling Scattergrams	5

Tabla 3. Tabla Resumen del análisis final del programa RASC (Ranking and Scaling)

En la ROS, se registran un total de 32 eventos, incluidos tres únicos. De estos eventos, 19 tienen una desviación estándar menor que el valor promedio, mientras que los 13 restantes tienen un valor igual o mayor. Ninguno de los eventos tiene puntos de penalización mayores a 6. Esto significa que el orden de los eventos en cada pozo es óptimo, lo que indica un resultado confiable (Fig. 4, Anexo A-7).

Los gráficos de dispersión muestran cinco eventos etiquetados como AAAA, lo que indica que estos eventos están más de dos desviaciones estándar alejados de la línea de correlación para el respectivo

pozo. Es improbable que este número llegue a cero incluso con la eliminación continua de eventos anómalos. (Agterberg & Gradstein, 1999; Hjálmarsdóttir, 2019).

STEP MODEL

THE STEPMODEL GIVES A PENALTY POINT FOR EACH POSITION AN EVENT RECORD IN A WELL IS OUT OF PLACE, RELATIVE TO THE EVENT ORDER IN THE (SCALED) OPTIMUM SEQUENCE.

NAME	NUMBER WELL NUM			BER				
(OPTIMOM SEQUENCE)		1	2	3	4	5	6	
Polysphaeridium zoharyi LO	134	0.0		2.0	0.0	1.0	0.0	
Lingulodinium polyedrum LO	98	0.0		2.0	1.0	1.0	2.0	
Achomosphaera ramulifera LO	8			2.0			2.0	
Cyclopsiella elliptica LO	30		1.0			0.0		
Spiniferites ramosus LO	166			0.0	1.0	1.0	3.0	
Polysphaeridium zoharyi ktana LO	136			1.0	2.0		3.0	
Impagidinium patulum LO	78					2.0	0.0	
Selenopemphix nephroides LO	146			1.0		2.0	0.0	
Operculodinium centrocarpum LO	116		1.0	2.0	2.0	3.0	2.0	
Palaeocystodinium golzowense LO	124		0.0			0.0		
Operculodinium israelianum LO	120				2.0	1.0	1.0	
Spiniferites bulloideus LO	152			1.0	2.0		1.0	
Nematosphaeropsis balcombiana LO	104			1.0	1.0		2.0	
Lejeunecysta cinctoria LO	84			1.0		1.0		
Selenopemphix brevispinosa LO	142			1.0			2.0	
Spiniferites pseudofurcatus LO	164					1.0	2.0	
Lejeunecysta cinctoria FO	83			1.0		1.0		
Spiniferites mirabilis FO	161			1.0			2.0	
Impagidinium patulum FO	77					1.0	1.0	
Spiniferites bulloideus FO	151			1.0	1.0	4.0	1.0	
Nematosphaeropsis balcombiana FO	103			1.0	0.0		0.0	
Palaeocystodinium golzowense FO	123		0.0			2.0		
Polysphaeridium zoharyi ktana FO	135			0.0		3.0	1.0	
Selenopemphix brevispinosa FO	141			0.0		1.0	1.0	
Achomosphaera ramulifera FO	7			1.0			0.0	
Operculodinium israelianum FO	119				2.0		0.0	
Spiniferites pseudofurcatus FO	163					1.0	1.0	
Selenopemphix nephroides FO	145			1.0	3.0	3.0	1.0	
Lingulodinium polyedrum FO	97	0.0		3.0	2.0	1.0	1.0	
Operculodinium centrocarpum FO	115	0.0		1.0	2.0	1.0	1.0	
Polysphaeridium zoharyi FO	133	0.0		1.0	1.0	1.0	2.0	
Spiniferites ramosus FO	165			1.0	2.0		0.0	
KENDALL`S TAU =		1.00	0.67	0.90	0.80	0.86	0.91	

**Figura 4.** Modelo de pasos en donde los puntos de penalización para cada evento son < 6. El coeficiente de Kendall es un coeficiente de correlación por rangos. Al igual que el coeficiente de correlación de Pearson, cuando Tau = 0 hay una falta completa de correlación y +1 o -1 para una correlación positiva o negativa máxima. Tau se calcula a partir de las puntuaciones de penalización para cada pozo y expresa el grado de correlación con la secuencia óptima. Formato original de salida del programa RASC20

La mayoría de los diagramas de dispersión de nuestra base de datos muestran una gran similitud entre la posición de los eventos y la curva cuadrática de mejor ajuste (Fig. 5, ver Anexo A-8).



Figura 5. Diagrama de dispersión Pozo Narváez-1 muestra la curva cuadrática de mejor ajuste. Formato original de salida del programa RASC20

## 3.2. Secuencia Óptima de Clasificación: ROS

La Figura 6 muestra la ROS producida en la ejecución final de los datos de RASC con los parámetros 2/2. Esto significa ejecutar la base de datos con al menos 2 pozos donde debería ocurrir un evento y un mínimo de 2 pozos donde debería ocurrir cada par de eventos. El resultado muestra 35 eventos, ordenados estratigráficamente, siendo la base el dato más antiguo y el tope el dato más joven.

N representa el número de pozos donde ocurre cada evento, mientras que SD (standard deviation) representa la desviación estándar. El programa calcula la desviación estándar promedio de todas las desviaciones estándar dividida por el número total de eventos en la secuencia óptima. Este resultado es aceptable porque 19 de los 32 eventos (59%) tienen una desviación estándar por debajo del promedio.

Los eventos únicos (etiquetados con \* \*) no tienen un valor de desviación estándar, pero se colocan en la secuencia según su posición relativa a eventos más abundantes. RASC los inserta debido a su valor en la definición de zonas y para la calibración cronoestratigráfica. *Lejeunecysta hyalina, Homotryblium floripes y Cordosphaeridium cantharellus* fueron reintroducidos como eventos únicos.

Identificamos las primeras y últimas ocurrencias de cada bioevento en la secuencia final con rangos de edad cortos durante el Neógeno (Head & Wrenn, 1992; De Verteuil & Norris, 1996; Hardenbol et al., 1998; Williams et al., 2004; White, 2006) (Figura 6).

### SECUENCIA ÓPTIMA DE CLASIFICACIÓN (ROS) PROGRAMA RASC \_Corrida 6/2/2





**Figura 6.** Resultados de la ejecución final de RASC con los parámetros seleccionados. Se calcularon 32 eventos, se agregaron 3 eventos únicos (UE) de nuevo a la ROS y se etiquetaron con \*\*. N: número de muestras, cantidad de pozos en los que ocurre el evento; SD: desviación estándar de la línea de correlación y la desviación estándar promedio de los eventos en la ROS es de 1.66.

## 3.3. Comparación de los resultados obtenido de RASC con datos publicados / Calibración de eventos

### 3.3.1. ROS y rangos publicados

El uso de datos publicados reduce errores en la identificación taxonómica y la precisión bioestratigráfica debido a que los datos ya han sido revisados y discutidos. Además, la presencia de múltiples autores asegura mayor neutralidad, lo cual es una ventaja. Sin embargo, es esencial establecer consistencia en los datos ya que no hay opción para verificar las asignaciones taxonómicas. En este caso la consistencia taxonómica es alta, pues los datos fueron obtenidos bajo la supervisión del mismo investigador (Dr. Javier Helenes Escamilla).

Uno de los desafíos al calcular RASC es la falta de eventos marcadores estratigráficamente confiables en ciertas secciones. Aunque, la función de Eventos Únicos (UE) en RASC ayuda a resolver este problema al reintroducir estos marcadores en las secuencias. A pesar de eso, la ausencia de buenos marcadores en la zonación regional es un problema más difícil de abordar. Al construir una zonación bioestratigráfica en una sección, los autores seleccionan marcadores que son tanto abundantes como distintivos para cada zona nombrada.

## 4.1. Dinoflagelados tropicales del Neógeno

Los diez estudios publicados en sitios tropicales citados aquí, provienen del Pacífico Oriental Ecuatorial (3), Pacífico Central Ecuatorial (1), Caribe (3), Sudáfrica (2) y Borneo (1) (Tabla 2). La base de datos tropical contiene 177 especies, y 59 (33%) también se reportan en las localidades del sur del Golfo de México durante el Neógeno. Los taxa incluidos son 127 Gonyaulacoides (Autotróficos), 49 Peridinoides (Heterotróficos), 1 Gymnodinioide y 1 Acritarca (Tabla 4).

Los taxa autotróficos se encuentran con frecuencia en masas de agua estratificadas cálidas cuando diminuye la productividad primaria. Por otro lado, los taxa heterotróficos tienden a dominar las asociaciones recientes de dinoflagelados en condiciones de surgencia con aguas frías y turbulentas en áreas de alta productividad (Zonneveld et al., 2010, 2013; Pospelova et al., 2015).

Los géneros autotróficos del orden Gonyaulacales dominan las asociaciones de quistes de dinoflagelados en localidades tropicales del Neógeno. Esta tendencia es similar a la alta diversidad de quistes de gonyaulacoides encontrados en regiones tropicales y subtropicales recientes (Mudie & Harland, 1996). Esta tendencia es evidente en un reporte de 1,968 sitios en el Hemisferio Norte donde los taxa fototróficos dominan los océanos tropicales a templados, con la presencia común de varias especies de los géneros *Impagidinium* y *Spiniferites* (De Vernal et al., 2020).

Los géneros heterotróficos *Lejeunecysta* y *Selenopemphix* tienen el mayor número de especies en el grupo de dinoflagelados tropicales (Tabla 4). *Lejeunecysta* se encuentra comúnmente en ambientes neríticos internos, con alta productividad (Brinkhuis et al., 1998; Roncaglia, 2002; Leandro et al., 2020), mientras que *Selenopemphix* es indicativo de aguas superficiales más frías con niveles más altos de nutrientes (Pospelova et al., 2006). Ambos géneros se pueden encontrar en ambientes neríticos y oceánicos (Van-Mourik & Brinkhuis, 2001). Además, estos géneros son abundantes en material del Holoceno y tienen una alta correlación estadística entre sí en cuencas del Pacífico del oeste de México (Cuenca de San Lázaro: Serrano-Mejía & Helenes-Escamilla (2016); Pérez-Rodríguez (2016)), (Cuenca de Magdalena: López-Velázquez et al. (2019)), (Cuenca de Pescadero: Flores-Trujillo & Helenes-Escamilla (); Duque-Herrera et al. (2020)).

Ambos linajes (gonyaulacoideo y peridinioideo) evolucionaron en el Jurásico, se diversificaron en el

Cretácio y Paleógeno y disminuyeron sustancialmente en el Oligoceno y Neógeno (Riding et al., 2023; Bujak & Williams, 1979).

Genero	No. Especies		
Autotrófico, Gonyaulacoide taxa	134		
Nematosphaeropsis	5		
Pyxidinopsis	5		
Achomosphaera	6		
Batiacasphaera	6		
Hystrichokolpoma	6		
Operculodinium	9		
Impagidinium	10		
Spiniferites	19		
Gymnodinioid	1		
Algidasphaeridium capillatum			
Heterotrófico, Peridinoide taxa	51		
Trinovantedinium	7		
Lejeunecysta	12		
Selenopemhix	15		
Acritarca taxa	1		

**Tabla 4.** Taxa de quistes de dinoflagelados y acritarca encontrados en la literatura especializada (Apéndice A), géneros con más de 5 especies. La taxonomía sigue a Williams et al. (2017).

Esta tendencia continúa hasta hoy, donde la riqueza de especies de Gonyaulacaceae ha dominado desde el Jurásico.

La base de datos tropical contiene muchos taxa que habitan aguas poco profundas, como Achomosphaera, Lingulodinium polyedra, Melitasphaeridium choanophorum, Polysphaeridium zoharyi, Operculodinium centrocarpum, y en menor abundacia taxa que habitan aguas oceánicas como Impagidinium, Nematosphaeropsis y Batiacasphaera (Correa et al., 2021).

El género *Impagidinium* es un indicador importante de ambientes de plataforma marina distal, menor productividad o condiciones más cálidas. En particular, *Impagidinium strialatum* no se ha reportado en zonas costeras, ocurriendo en ambientes oligotróficos a eutróficos desde regiones templadas hasta ecuatoriales y en aguas profundas (Zonneveld et al., 2013). Además, los géneros *Nematosphaeropsis* y
*Operculodinium* también se encuentran en ambientes de plataforma marina distal (Tabla 4). Por lo tanto, asignamos condiciones ambientales neríticas medias a externas al ensamble de dinoflagelados tropicales estudiado aquí.

Durante el Neógeno varios fenómenos influyeron y alteraron los factores ecológicos que controlan la productividad primaria, lo que también impactó a los dinoflagelados. Los eventos geotectónicos como cambios en pasajes interoceánicos (Osborne et al., 2014; Sijp et al., 2014; O'Dea et al., 2016; Brierley & Fedorov, 2016), el crecimiento de capas de hielo continentales en latitudes altas (De Schepper et al., 2015; Stein et al., 2016; Liebrand et al., 2017) y el desarrollo de grandes cordilleras (Ruddiman, 2013; Spicer et al., 2003; Graham, 2009; Fauquette et al., 2015). Todos estos eventos combinados influenciaron y alteraron la paleogeografía, la circulación de agua y la composición química de las diferentes regiones. Estos cambios podrían explicar las diferencias entre los ensamblajes de latitudes bajas y altas.

#### 4.2. Consideraciones de ROS

El análisis de los datos del Golfo de México con RASC, definió 35 bioeventos (Fig. 6) correspondientes a 17 especies estadísticamente significativas con un 95% de confiabilidad. Además, consideramos los valores altos de desviación estándar (SD) y los rangos de edad publicados cubiertos por estas especies. Como resultado, eliminamos especies con valores de SD demasiado altos o con rangos de edad largos, incluidos algunos que cubrían casi todo el Cenozoico.

Después de estas consideraciones, el número de especies importantes se redujo a ocho: Impagidinium patulum, Spiniferites bulloideous, Nematosphaeropsis balcombiana, Selenopemphix brevispinosa, Spiniferites pseudofurcatus, Cyclopsiella elliptica, Lejeunecysta cinctoria y Palaeocystodinium golzowense, que cubren mejor el límite del Neógeno y sus períodos inferior y superior inmediatos. Además, se incorporaron tres especies como UE debido a su importante contribución desde el punto de vista cronoestratigráfico: Lejeunecysta hyalina, Homotryblium floripes y Cordosphaeridium cantharellus, para un total de once especies.

Los bioeventos de estas especies (FO y LO) se comparan con diez estudios a lo largo del cinturón ecuatorial (Fig. 7) que cubren el este y centro del Pacífico ecuatorial, el mar Caribe, África occidental y el sudeste asiático (Zegarra & Helenes-Escamilla, 2011; Duque-Herrera et al., 2018; Correa et al., 2021) (Pacífico ecuatorial oriental), Jarvis & Tocher (1985) (Pacífico ecuatorial central); (Helenes-Escamilla &

Cabrera, 2003; Cárdenas et al., 2020; Leandro et al., 2020) (Caribbean), (Pereira et al., 2021; Durugbo et al., 2011) (Africa) and Van Den Brink (2019) (Asia-Borneo). Las ocho especies obtenidas como resultado del análisis con RASC, están presentes en al menos dos informes, y seis se encuentran en cuatro o más informes y publicaciones significativas (Figura 7). Lo que indica que estas especies fueron importantes en la franja ecuatorial (23 ° de latitud N-S) durante el Neógeno.



**Figura 7.** Bioeventos de quistes de dinoflagelados obtenidos de la Secuencia final RASC, comúnmente reportados en localidades tropicales ( $23^{\circ}$  latitud N-S) durante el Neógeno. El área sombreada gris corresponde a el rango de edad estudiado en cada sitio.

Siguiendo un argumento similar al utilizado por Lentin & Williams (1980) sobre el provincialismo de los dinoflagelados del Cretácico, proponemos que la distribución de las especies refleja una diferenciación regional en lugar de un control paleoecológico local.

Por ejemplo, la distribución de *Brigantedinium* sp. durante el Neógeno refleja este patrón. En los mares modernos, este género está asociado con aguas superficiales frías y condiciones de afloramiento (Pospelova et al., 2006) incluso en sitios tropicales como la Cuenca de Cariaco, en el sur del Mar Caribe (Bringué et al. 2019). Sin embargo textitBrigantedinium sp. se reporta en localidades del Neógeno en la

Llanura Costera Atlántica de los Estados Unidos (De Verteuil & Norris, 1996) y en el este de la Antártida (Bijl et al., 2018). No obstante, no observamos ningún registro de *Brigantedinium* sp. en ubicaciones tropicales durante el Neógeno, donde hemos determinado que las especies dominantes de Peridinoideos pertenecen a los géneros *Lejeunecysta, Selenopemphix* y *Phelodinium* en nuestra base de datos y en otros informes (Biffi & Grignani, 1983). Sugerimos que estos taxa que RASC reconoció, indican un provincialismo similar para las especies Peridinioides, similar al del Cretácico Tardío reconocido por Lentin & Williams (1980).

## 4.3. Modelo de edad y ROS

Las once especies más probables de encontrar en la secuencia final óptima de este estudio se muestran en la Figura 7 y en la Tabla 5. Considerando las últimas apariciones de *Impagidinium patulum*, *Lejeunecysta hyalina*, *Spiniferites bulloideous*, *Nematosphaeropsis balcombiana*, *Selenopemphix brevispinosa*, y *Spiniferites pseudofurcatus*, estas tienen una ubicación similar en el ROS (Figura 6).

De manera similar, considerando las primeras apariciones, las especies Impagidinium patulum, Spiniferites bulloideous, Nematosphaeropsis balcombiana, Selenopemphix brevispinosa, Spiniferites pseudofurcatus, Lejeunecysta cinctoria y Palaeocystodinium golzowense tienen una secuencia en RASC que coincide con los rangos propuestos en la secuencia óptima final.

Las especies de UE *Lejeunecysta hyalina* y *Homotryblium floripes* muestran una posición diferente a la esperada en el ROS debido al margen de incertidumbre que suelen tener las especies de eventos únicos, ya que están presentes en solo un pozo. A pesar de esta incertidumbre, estas especies se encuentran en el ROS por encima de la LO de *C. cantharellus*. Por lo tanto, incluso sin incluir las UE, la secuencia más probable obtenida en este estudio tiene una similitud significativa (> 60%) con la secuencia cronológica de las especies.



**Figura 8.** Fotomicrografías de especies de dinoflagelados identificados como marcadores en este estudio. Escala 20 um (a) *Impagidinium patulum* (b) *Selenopemphix brevispinosa* (c) *Cordosphaeridium cantharellus* (d) *Palaeocystodinium golzowense* (e) *Spiniferites bulloideous* (f) *Lejeunecysta hyalina* (g) *Cyclopsiella elliptica* (h) *Lejeunecysta cinctoria* (i) *Nematosphaeropsis balcombiana* (j) *Homotryblium floripes* (k) *Spiniferites pseudofurcatus*. Tomadas de los trabajos de: Del Valle Reyes (2001); Carrillo-Berumen (2003); Zegarra (2005); Miranda (2008); Narváez-Rodríguez et al. (2008)

**Tabla 5.** Lista de especies seleccionadas de la Secuencia final RASC y sus rangos estratigráficos encontrados en la literatura. Los datos de GoM (Golfo de México) corresponden a este estudio y las referencias corresponden al Rango Común. Edades en Ma y los nombres de las Series/Épocas y Pisos vienen de la Carta Cronoestratigráfica Internacional de la Comisión Internacional de Estratigrafía (Cohen et al., 2013, actualizado 2023). Referencias y detalles de esta tabla se encuentran en el Anexo A.

Especies	Edad FO - LO (Ma)	Referencia
I. patulum	Total Ypre (56) – Plei (0.012); GoM Aqui (23) – Plei (0.011); Común Lang (15.9) - Rec (0) Equatorial.	Williams et al. (2004)
** L. hyalina	Total Maas (72.1) - Plio (2.5); GoM Aqui (23) – Pleis (0.012); Común Ypre (56)–Mess (5.3).	Palynodata White (2006)
S. bulloideous	Total Ypre- Rec; GoM Aqui (23) – Plei (0.012); Común Aqui (23) - Rec (0).	Palynodata White (2006)
** H. floripes	Total Ypre (56) - Gel (1.8); GoM Zan (5.3) – Pia (2.5); Común Lut (48.5) - Mess (6.0) Equatorial.	Williams et al. (2004)
N. balcombiana	Total Ypre-Rec; GoM Lang (15.8) – Pia (2.5); Común Lang (15.9) - Rec (0).	Palynodata White (2006)
S. brevispinosa	Total Rup – Plio; GoM Aqui (23) – Pia (2.5); Común Bur (16.4) – Mess (6.1).	De Verteuil & Norris (1996)
S. pseudofurcatus	Total Cret-Lo Plio; GoM Aquí (23) - Zan (3.6); Común Cret (>66) -Serr (10.2).	Williams et al. (1993)
C. elliptica	Total Bar-Lo Plio; GoM Tor (11.6) - Zan (3.6); Común Bar (38.5) - Tor (9.5).	Williams & Bujak (1985)
L. cinctoria	Total Ypre-Mio; GoM Lang (15.8) - Mess (5.3); Común Ypre ( 50) - Aqui (20.4).	Köthe & Piesker ()
P. golzowense	Total Cam (83.6) – Plei (0.012); GoM Aqui (23) – Mess (5.3); Común Priab (37) - Tor (8.0).	Williams et al. (1993)
**C. cantharellus	Total Bart (41.2) – Ser (11.6); GoM Lan (15.9) – Ser (11.6); Común Bart (41.2) - Burdi (17.8) Equatorial.	Williams et al. (2004)

#### 4.4. Notas sobre el rango estratigráfico de especies significativas

Algunas de las especies significativas para este ROS son *C. cantharellus*, *I. patulum*, *L. hyalina*, y *P. golzowense*. Las siguientes notas brindan detalles sobre sus rangos estratigráficos.

*C. cantharellus*. Comúnmente registrado desde el Eoceno medio hasta el Mioceno temprano (Williams et al., 1993, 2004). Sin embargo, una referencia importante de los rangos globales (Williams & Bujak, 1985) indica que la especie alcanzó el Mioceno tardío.

Además, un marco bioestratigráfico probabilístico (RASC) del Mar del Norte y el este de Canadá (Gradstein et al., 1994) informó sobre la LO promedio de *C. cantharellus* en el Mioceno medio. Además, especímenes de esta especie se han reportado en varios intervalos del Mioceno medio en el Atlántico Norte de Canadá oriental (Head et al., 1989; Mudie et al., 1990), en el este de los EE. UU. (De Verteuil & Norris, 1996) y desde el Mioceno medio temprano de Japón (Matsuoka et al., 1987). También encontramos esta especie en el intervalo del Mioceno medio del pozo Sihini-1 en el sur del Golfo de México. Por lo tanto, parece que la LO típica de *C. cantharellus* está en el Mioceno temprano, pero una pequeña cantidad de especímenes alcanzó el Mioceno medio (Ver Anexo A-5).

*I. patulum*. Según Williams et al. (2004), esta especie tiene un rango típico desde el Mioceno medio (Langhiense) hasta la actualidad en sitios ecuatoriales. Sin embargo, esta especie probablemente apareció en el Eoceno, ya que se ha reportado en estratos del Eoceno en el Océano Atlántico (Brown & Downie, 1984), Inglaterra (Islam, 1984) y California (Helenes-Escamilla, 1986). También se ha reportado en zonaciones de la Bahía de Vizcaya (Brown & Downie, 1985), la Cuenca del Piamonte (como *I. cf. patulum*; (Powell, )) y el Mar de Noruega (Manum et al., 1989). Además, lo encontramos en el intervalo del Mioceno temprano del sur del Golfo de México. Por lo tanto, su rango de edad esperado incluye el Mioceno temprano (Aquitaniano) en varias localidades, incluido el sur del Golfo de México (pozo Glomerosa, Ver Anexo A-5).

*L. hyalina*. Esta especie se ha reportado en varias localidades del Maastrichtiano al Plioceno (White, 2006). Se ha propuesto que su rango estratigráfico global incluye el Eoceno hasta el Mioceno temprano Williams & Bujak (1985). Sin embargo, hay varios informes de esta especie en estratos del Mioceno tardío de Alemania (Daniels et al., 1990), Japón (Matsuoka, 1983), Italia (Powell, 1986) y Egipto (El-Beialy, 1988). Además, en algunos informes del Plioceno de Japón (Kurita & Obuse, 2003), India (Mehrotra Naresh & Rawat Ravindra, 1992) y como retrabajo en muestras del Pleistoceno en el norte del Golfo de México (Wrenn & Kokinos, 1986). *L. hyalina* se encontró en el intervalo del Plioceno (pozos

Akaito, Narvaez y Glomerosa) y en el intervalo del Pleistoceno (pozo Sihini) en el sur del Golfo de México (Ver Anexo A-5). El rango total de *L. hyalina* incluye el Plioceno, pero interpretamos las presencias en el Pleistoceno como retrabajos.

*P. golzowense*. El rango estratigráfico esperado de esta especie se ha reportado desde el Eoceno tardío (Priaboniano) hasta el Mioceno temprano tardío (Tortoniense)(Williams et al., 1993). Sin embargo, considerando los informes publicados de esta especie, este rango de edad es demasiado corto. Respecto a su FO, esta especie se ha reportado en localidades del Maastrichtiano en el norte de Canadá (Ioannides, 1986), Georgia, EE. UU. (Firth, 1993), Italia (Roncaglia, 2002) y Colombia (Yepes, 2001). En cuanto a la LO, *P. golzowense* se ha reportado en sedimentos del Plioceno del Mar del Norte (Piasecki et al., 2002) e incluso en sedimentos del Pleistoceno del Sitio 906 del ODP, frente a la costa de Nueva Jersey (Mountain et al., 1994). En el sur del Golfo de México, *P. golzowense* se encontró en el intervalo del Mioceno (pozos Chanchamito y Glomerosa, Ver Anexo A-5). Por lo tanto, su rango de edad incluye desde el Maastrichtiano hasta el Mioceno (Mesiniense) en varias localidades.

#### 4.5. Secuencia final de bioeventos de quistes de dinoflagelados

Proponemos una secuencia final de bioeventos en sitios tropicales, como se muestra en la Figura 9 La siguiente sección describe la evidencia para asignar estas edades.

El análisis detallado de los informes de datos de FO y LO de los bioeventos seleccionados, y probablemente de muchas otras especies, indica que los rangos de edad no están definidos de manera nítida. Las especies suelen aparecer y desaparecer gradualmente para tener un rango de edad total y común. El rango de edad total incluye los informes raros justo antes del comienzo y después del final de sus rangos de edad comunes o típicos. Por lo tanto, la asignación de edad basada en estos bioeventos considera el rango de las ocurrencias totales (pocas muestras) y estándar (muchas muestras). La falta de datos cuantitativos comparables impide calcular la probabilidad numérica de observar una especie particular en una edad determinada. La mayoría de las publicaciones utilizan abundancias relativas basadas en diferentes parámetros de conteo. Por lo tanto, utilizamos una evaluación subjetiva de la probabilidad de encontrar pocas o muchas muestras de una especie en un rango de edad.

En general, las estratos del Oligoceno al Mioceno temprano tienden a incluir ocurrencias comunes del "conjunto Cantharellus", compuesto por *C. cantharellus* y *L. cinctoria*. En este intervalo también ocurren comúnmente L. hyalina, H. floripes, S. pseudofurcatus, C. elliptica, y P. golzowense.

La serie del Mioceno se caracteriza por abundancias comunes del "conjunto Hyalina", que incluye *L. hyalina*, *H. floripes* y *S. brevispinosa*, que disminuyen o desaparecen en el Plioceno y el Pleistoceno. Bajas abundancias de estas especies comúnmente caracterizan los estratos del Plioceno y el Pleistoceno.

Al mismo tiempo, el intervalo del Mioceno medio al Pleistoceno contiene ocurrencias comunes del "conjunto Patulum", constituido por *I. patulum*, *S. brevispinosa* y *N. balcombiana*. Las siguientes características pueden distinguir etapas específicas (edades).

**Oligoceno (Rupeliense - Chattiano)**. La FO total de *S. brevispinosa* y la ocurrencia común de *P. golzowense, S. pseudofurcatus* y los "conjuntos Hyalina y Cantharellus".

**Mioceno temprano (Aquitaniano)**. Esta edad va desde la FO común de *S. bulloideous* hasta la LO común de *L. cinctoria*. Los especímenes de *S. pseudofurcatus* ocurren comúnmente, junto con los "conjuntos Hyalina y Cantharellus".

**Mioceno temprano (Burdigaliano)**. La ocurrencia común combinada de *S. bulloideous* y *S. brevispinosa* caracterizan esta edad. Especímenes raros de *I. patulum*, *N. balcombiana* y *S. brevispinosa* podrían estar presentes, junto con los "conjuntos Cantharellus y Hyalina". Principalmente, *C. cantharellus* tiende a ser más abundante en la parte más antigua de la etapa, mientras que la abundancia de *S. brevispinosa* aumenta hacia el final del Burdigaliano. Además, la abundancia de *L. cinctoria* disminuye del Burdigaliano al Messiniano.

Mioceno medio (Langhiense - Serravalliense). La FO de la ocurrencia común de *I. patulum* y *N. balcombiana*, la LO de la ocurrencia total de *C. cantharellus* y la LO común de *S. pseudofurcatus* indican esta edad. También ocurren comúnmente en este intervalo el "conjunto Hyalina", *S. bulloideous*, *S. pseudofurcatus*, *C. elliptica* y *P. golzowense*. Especímenes raros de *C. cantharellus* y *L. cinctoria* podrían estar presentes en estratos del Langhiense.

**Mioceno tardío (Tortoniense)**. Este intervalo se caracteriza por unos pocos especímenes de *S. pseudofurcatus*, y la LO total de *C. cantharellus*, que marca el límite inferior de esta etapa. La abundancia de *P. golzowense* y *C. elliptica* suele ser más alta en la parte más antigua de esta edad. En este intervalo también ocurre la abundancia común de los "conjuntos Hyalina y Patulum".



**Figura 9.** La secuencia más probable de bioeventos de quistes de dinoflagelados tropicales durante el Neógeno. Edades en Ma, y los nombres de Series/Épocas y Pisos siguen la Carta Cronoestratigráfica Internacional de la Comisión Internacional de Estratigrafía (Cohen et al. (2013), actualizado 2023). Los números en paréntesis en la parte inferior de la figura indican la edad más probable de aparición en Ma. Línea sólda y gruesa = común ocurrencia en sitios tropicales. Línea sólida media = rango estratigráfico global publicado. Línea gruesa y rayada = rango en el Golfo de México. Línea sólida con flecha = Ocurrencia más antigua reportada. Línea delgada y gris = conexión con el nombre.

**Mioceno tardío (Messiniense)**. La LO de la ocurrencia común de *L. hyalina*, y la LO de la ocurrencia total de *L. cinctoria* que marca el límite superior del Mioceno tardío. La ocurrencia común de los "conjuntos Hyalina y Patulum" junto con pocos especímenes de *S. pseudofurcatus, C. elliptica, L. cinctoria* y *P. golzowense* indican esta edad. La abundancia de *S. brevispinosa* y *H. floripes* es mayor en la parte inferior de este intervalo.

**Plioceno Temprano (Zancliense)**. La escasa ocurrencia del "conjunto Hyalina" y la LO total de *C. elliptica* y *S. pseudofurcatus* marcan el límite superior de esta etapa. El "conjunto Patulum", junto con abundancia baja de *S. pseudofurcatus*, *C. elliptica* y *P. golzowense* indican esta edad.

**Plioceno Tardío (Piacenziense)**. Esta edad se caracteriza por la LO de las ocurrencias totales de *L*. *hyalina* y *S. brevispinosa*, que marcan el límite superior del Plioceno tardío. La presencia común del "conjunto Patulum", la escasa ocurrencia del "conjunto Hyalina" y abundancia baja de *P. golzowense* continúan en esta etapa.

**Pleistoceno Temprano (Gelasiense)**. La ocurrencia común del "conjunto Patulum" y la LO de la ocurrencia total de *H. floripes* marcan el límite superior del Gelasiense. Escasos especímenes de *H. floripes* y *P. golzowense* también ocurren en esta edad.

Pleistoceno Temprano a Tardío (Calabriense a Superior). La edad de este intervalo está indicada por la ocurrencia común del "conjunto Patulum" y escasos especímenes de *P. golzowense*. La LO de la ocurrencia total de *P. golzowense* marca el límite superior del Pleistoceno.

## Capítulo 5. Conclusiones

Proponemos una secuencia bioestratigráfica cuantitativa con quistes de dinoflagelados en localidades tropicales durante el Neógeno. Treinta y cinco bioeventos están establecidos y documentados estadísticamente en el sur del Golfo de México a través del programa RASC. El programa muestra una secuencia óptima con una probabilidad de ocurrencia del 95% e indica resultados confiables con un grado cuantificable de certeza.

Con base en los resultados, proponemos tres conjuntos que pueden ayudar a reconocer la mayoría de los estadios estratigráficos neógenos en áreas tropicales: "conjunto Cantharellus", compuesto por *C. cantarellus* y *L. cinctoria*; "conjunto Hyalina", que incluye *L. hyalina*, *H. floripes*, y *S. brevispinosa*; y el "conjunto Patulum", constituido por *I. patulum*, *S. brevispinosa* y *N. balcombiana*.

Estos conjuntos son típicos en diferentes intervalos de edad, como sigue: el "conjunto Cantharellus" en el Oligoceno al Mioceno temprano, el "conjunto Hyalina" en el Mioceno y el "conjunto Patulum" en el Mioceno medio al Pleistoceno.

Considerando LO y FO de la especie Impagidinium patulum, Spiniferites bulloideous, Nematosphaeropsis balcombiana, Selenopemphix brevispinosa y Spiniferites pseudofurcatus tienen un orden en ROS que coincide con los rangos propuestos en la secuencia final. Por tanto, la secuencia más probable obtenida tiene una similitud significativa (> 60 %) con la secuencia cronológica de la especie.

La comparación de los bioeventos de estas especies (FO y LO) con diez estudios a lo largo del cinturón ecuatorial que cubre el Pacífico ecuatorial centro-este, el Caribe, África y Asia. Indica la representatividad de estas especies a lo largo de la franja ecuatorial (23° Latitud N-S) durante el Neógeno. Asimismo, permite inferir una posible afinidad provincial bajo los argumentos reportados para otras edades (Lentin & Williams, 1980).

El predominio de los dinoquistes autótrofos durante el Neógeno en los océanos tropicales es similar a la alta diversidad de quistes gonyaulacoides que se encuentran en las regiones tropicales y subtropicales en la actualidad, y esta tendencia ha dominado desde el Jurásico. Además, las especies reportadas sugieren condiciones ambientales neríticas medias a externas.

## Literatura citada

- Agterberg, F. P. & Gradstein, F. M. (1999). The RASC method for Ranking and Scaling of biostratigraphic events. *Earth Science Reviews*, 46, 1–25. https://doi.org/10.1016/S0012-8252(99)0 0007-0.
- Agterberg, F. P., Gradstein, F. M., Cheng, Q., & Liu, G. (2013). The RASC and CASC programs for Ranking, Scaling and Correlation of biostratigraphic events. *Computers and Geosciences*, 54, 279–292. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2013.01.002.
- Biffi, U. & Grignani, D. (1983). Peridinioid dinoflagellate cysts from the oligocene of the niger delta, nigeria. *Micropaleontology*, 29, 126. https://doi.org/10.2307/1485563.
- Bijl, P. K., Houben, A. J., Bruls, A., Pross, J., & Sangiorgi, F. (2018). Stratigraphic calibration of oligocene-miocene organic-walled dinoflagellate cysts from offshore wilkes land, east antarctica, and a zonation proposal. *Journal of Micropalaeontology*, 37, 105–138. https://doi.org/10.5194/jm-3 7-105-2018.
- Boyd, J. L., Riding, J. B., Pound, M. J., De Schepper, S., Ivanovic, R. F., Haywood, A. M., & Wood, S. E. (2018). The relationship between Neogene dinoflagellate cysts and global climate dynamics. *Earth-Science Reviews*, 177, 366-385. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.earsci rev.2017.11.018.
- Bravo, I. & Figueroa, R. I. (2014). Towards an ecological understanding of dinoflagellate cyst functions. *Microorganisms*, 2, 11 – 32. https://doi.org/https://api.semanticscholar.org/CorpusID: 5639374.
- Brierley, C. & Fedorov, A. (2010). The relative importance of meridional and zonal SST gradients for the onset of the ice ages and Pliocene–Pleistocene climate evolution. *Paleoceanography*, 25. https://doi.org/10.1029/2009PA001809.
- Brierley, C. M. & Fedorov, A. V. (2016). Comparing the impacts of Miocene-Pliocene changes in inter-ocean gateways on climate: Central American Seaway, Bering Strait, and Indonesia. *Earth and Planetary Science Letters*, 444, 116–130. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.epsl .2016.03.010.
- Brinkhuis, H., Bujak, J., Smit, J., Versteegh, G., & Visscher, H. (1998). Dinoflagellate-based sea surface temperature reconstructions across the Cretaceous - Tertiary boundary. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 141, 67–83. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0 031-0182(98)00004-2.
- Brown, S. & Downie, C. (1984). Dinoflagellate cyst biostratigraphy of late Paleocene and early Eocene sediments from holes 552, 553a, and 555, leg 81, deep sea drilling project (Rockall Plateau). 565–579. https://doi.org/10.2973/dsdp.proc.81.113.1984.
- Brown, S. & Downie, C. (1985). Dinoflagellate cyst stratigraphy of DSDP Hole 80-548A. Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, Washington (U.S. Gov. Printing Office), 80, 643-651. https://doi.org/10.1594/PANGAEA.809478.
- Bujak, J. (1996). Palaeocene Biostratigraphy and Sequence Stratigraphy of the UK Central North Sea. Marine and Petroleum Geology - Mar Petrol Geol., 13, 295–312. https://doi.org/10.1016/0264 -8172(95)00066-6.
- Bujak, J. & Mudge, D. (1994). A high-resolution North Sea Eocene dinocyst zonation. Journal -Geological Society (London), 151, 449–462. https://doi.org/10.1144/gsjgs.151.3.0449.

- Bujak, J. P. & Williams, G. L. (1979). Dinoflagellate diversity through time. *Marine Micropaleontology*, 4, 1–12. https://doi.org/10.1016/0377-8398(79)90002-1.
- Carrillo-Berumen, R. (2003). Palinoestratigrafia del Neógeno en la Cuenca de Macuspana, Tabasco, México. [Tesis de Doctorado en Ciencias, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California]. http://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/ 1007/904.
- CNH (2014). Comisión Nacional de Hidrocarburos. Cuencas del sureste aguas someras Golfo de México. http://rondasmexico.gob.mx/wp-content/uploads/2015/09/AguasSomeras.
- Cohen, K., Finney, S., Gibbard, P., & Fan, J. (2013). The ICS International Chronostratigraphic Chart. episodes 36, 199-204. *Episodes*, 36. https://doi.org/10.18814/epiiugs/2013/v36i3/002.
- Correa, E., Helenes-Escamilla, J., & Pardo-Trujillo, A. (2021). Middle Miocene dinoflagellate cyst assemblages and changes in marine productivity in western Colombia. *Marine Micropaleontology*, 167, 102024. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2021.102024.
- Cuartas, C., Jaramillo, C., & Martínez, J.-I. (2006). Quantitative biostratigraphic model for the tertiary of the lower Magdalena Basin, Colombian Caribbean. *Ciencia, Tecnología y Futuro (CTF)*. https://doi.org/https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46530201.
- Cárdenas, D., Jaramillo, C., & Oboh-Ikuenobe, F. (2020). Early Miocene marine palynology of the Colombian Caribbean Margin: biostratigraphic and paleoceanographic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 558, 109955. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2020.10 9955.
- Cárdenas, D., Oboh-Ikuenobe, F., & Jaramillo, C. (2021). New acritarch and peridinioid dinoflagellate cyst species from the Oligocene–Miocene of Colombia. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 290, 104427. https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2021.104427.
- Daniels, C., Lund, J., Lund-Christensen, J., & Uffenorde, H. (1990). The Langenfeldian (Miocene) of Gross Pampau, Schlesweg-Holstein. Foraminifer, dinocyst, and ostracod stratigraphy and paleoecology (preliminary account). Veröffentlichungen aus dem Übersee-Museum Bremen.
- Davison, I., Pindell, J., & Hull, J. (2021). The basins, orogens and evolution of the southern Gulf of Mexico and northern caribbean. *Geological Society Special Publication*, 504, 1–27. https://doi.or g/10.1144/SP504-2020-218.
- De Schepper, S., Schreck, M., Beck, K., Fahl, K., & Mangerud, G. (2015). Early Pliocene onset of modern Nordic Seas circulation related to ocean gateway changes. *Nature Communications*, 6. https://doi.org/10.1038/ncomms9659.
- De Vernal, A., Radi, T., Zaragosi, S., Nieuwenhove, N. V., Rochon, A., Allan, E., Schepper, S. D., Eynaud, F., Head, M. J., Limoges, A., Londeix, L., Marret, F., Matthiessen, J., Penaud, A., Pospelova, V., Price, A., & Richerol, T. (2020). Distribution of common modern dinoflagellate cyst taxa in surface sediments of the Northern Hemisphere in relation to environmental parameters: The new n=1968 database. *Marine Micropaleontology*, 159. https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2019.101796.
- De Verteuil, L. & Norris, G. (1996). Miocene Dinoflagellate stratigraphy and systematics of Maryland and Virginia. *Micropaleontology*, 42. https://doi.org/10.2307/1485926.
- Del Valle Reyes, A. (2001). Estratigrafía por secuencias y dinoflagelados del Oligoceno Plioceno de la sonda de Campeche, México. [Tesis de Maestría en Ciencias, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California]. http://cicese.repositorioinstitucional. mx/jspui/handle/1007/2377.

- Duffield, S. & Stein, J. (1986). Peridiniacean dominated dinoflagellate cyst assemblage from the Miocene of the Gulf of Mexico shelf, offshore Lousiana. *American Association of Stratigraphic Palynologist, Contributions Series*, 17, 27–45. [Archivo PDF].
- Duque-Herrera, A. F., Helenes, J., Flores-Trujillo, J. G., Ruiz-Fernández, A. C., & Sánchez-Cabeza, J. A. (2020). Dinoflagellate cysts and ENSO-PDO climate forcing in the southern Gulf of California. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 560. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2 020.110055.
- Duque-Herrera, A. F., Helenes-Escamilla, J., Pardo-Trujillo, A., Flores-Villarejo, J. A., & Sierro-Sánchez, F. J. (2018). Miocene biostratigraphy and paleoecology from dinoflagellates, benthic foraminifera and calcareous nannofossils on the Colombian Pacific coast. *Marine Micropaleontology*, 141, 42–54. https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2018.05.002.
- Durugbo, E. U., Ogundipe, O. T., & Ulu, O. K. (2011). Preliminary reports on middle Miocene early Pleistocene dinoflagellate cysts from the western Niger delta, Nigeria. Ozean Journal of Applied Sciences, 4, 0-12. https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/2359607 03\_Preliminary\_Reports\_on\_Middle\_Miocene-Early\_Pleistocene\_Dinoflagellate\_Cysts\_f rom\_the\_Western\_Niger\_Delta\_Nigeria.
- Dybkjær, K. & Piasecki, S. (2010). Neogene dinocyst zonation for the eastern North Sea Basin, Denmark. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 161, 1–29. https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.201 0.02.005.
- El-Beialy, S. Y. (1988). Palynostratigraphy of Late Tertiary sediments in Kafr El Dawar Well no. 1, Nile Delta, Egypt. *Revue de Micropaleontologie*, 30, 250-260. https://doi.org/https://scholar.go ogle.com.bo/citations?user=WAYhRgQAAAAJ&hl=hu.
- Evitt, W. R. (1985). Sporopollenin Dinoflagellate Cysts: Their Morphology and Interpretation. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, Dallas, Texas, U.S.A.
- Falkowski, P., Katz, M., Knoll, A., Quigg, A., Raven, J., Schofield, O., & Taylor, F. (2004). The evolution of modern eukaryotic phytoplankton. *Science (New York, N.Y.)*, 305, 354–60. https: //doi.org/10.1126/science.1095964.
- Fauquette, S., Bernet, M., Suc, J.-P., Grosjean, A.-S., Guillot, S., Beek, P., Jourdan, S., Popescu, S.-M., Jiménez-Moreno, G., Bertini, A., Pittet, B., Tricart, P., Dumont, T., Schwartz, S., Zheng, Z., Roche, E., Pavia, G., & Gardien, V. (2015). Quantifying the eocene to pleistocene topographic evolution of the soutwestern alps, france and italy. *Earth and Planetary Science Letters*, 412, 220–234. https://doi.org/10.1016/j.eps1.2014.12.036.
- Fensome, R., Taylor, F., Norris, G., Sarjeant, W., Wharton, D., & Williams, G. (1993). A Classification of Living and Fossil Dinoflagellates. Micropaleontology / Special publication. American Museum of Natural History.
- Fensome, R. & Williams, G. (2004). Scotian Margin Palyatlas: version 1. Geological Survey of Canada, Open File Report No. 4677. https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication /285885024\_Scotian\_Margin\_Palyatlas\_version\_1.
- Firth, J. V. (1993). Dinoflagellate assemblages and sea-level fluctuations in the Maastrichtian of southwest Georgia. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 79, 179–204. https://doi.org/10.1016/ 0034-6667(93)90022-M.

- Flores-Trujillo, J. & Helenes-Escamilla, J. Registro palinológico en sedimentos laminados de la parte sur del Golfo de California y su relación con cambios paleoceanográficos y paleoclimáticos. [Tesis de Doctorado en Ciencias, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California]. http://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/1495.
- Franco, S. I., Canet, C., Iglesias, A., & Valdés-González, C. (2013). Seismic activity in the Gulf of Mexico. A preliminary analysis. *Boletin de la Sociedad Geologica Mexicana*, 65, 447–455. https: //doi.org/10.18268/BSGM2013v65n3a2.
- Gradstein, F. M., Agterberg, F. P., & Schwarzacher, W. (1985). Ranking and Scaling in exploration micropaleontology. In Quantitative stratigraphy. Reidel Unesco.
- Gradstein, F. M., Kaminski, M. A., & Agterberg, F. P. (1999). Biostratigraphy and paleoceanography of the Cretaceous seaway between Norway and Greenland. *Earth Science Reviews*, 46, 27–98. https://doi.org/10.1016/S0012-8252(99)00018-5.
- Gradstein, F. M., Kaminski, M. A., Berggren, W. A., Kristiansen, I. L., & D'Iorio, M. A. (1994). Cenozoic biostratigraphy of the North Sea and Labrador Shelf. *Micropaleontology*, 40, 1–152. https://doi. org/https://doi.org/10.2307/1485906.
- Graham, A. (2009). The andes: A geological overview from a biological perspective. Annals of the Missouri Botanical Garden, 96, 371–385. https://doi.org/10.3417/2007146.
- Guerrero-Murcia, L. A. & Helenes-Escamilla, J. (2022). Statistic biostratigraphy and paleoecology of tropical Upper Cretaceous dinoflagellate cysts. *Journal of South American Earth Sciences*, 115. https: //doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103730.
- Gutiérrez-Paredes, H., Catuneanu, O., & Romano, U. H. (2017). Sequence stratigraphy of the Miocene section, southern Gulf of Mexico. *Marine and Petroleum Geology*, 86, 711–732. https://doi.org/ 10.1016/j.marpetgeo.2017.06.022.
- Hardenbol, J., Thierry, J., Farley, M. B., Jacquin, T., de Graciansky, P.-C., & Vail, P. R. (1998). Mesozoic and Cenozoic sequence chronostratigraphic framework of European Basins. *Society for Sedimentary Geology (SEPM), Special Publication No. 60*, 3–13. https://doi.org/10.2110/pec.98.02.0003.
- Harland, R. (1979). Dinoflagellate biostratigraphy of Neogene and Quaternary sediments at holes 400 400a in the bay of Biscay Deep sea drilling project Leg 48. *Proceedings of the Ocean Drilling Program*, 531–545. https://doi.org/http://www.deepseadrilling.org/48/volume/dsdp48\_22.
- Head, M. J., Norris, G., & Mudie, P. J. (1989). Palynology and dinocyst stratigraphy of the Miocene in ODP Leg 105, Hole 645E, Baffin Bay. Proc., scientific results, ODP, Leg 105, Baffin Bay and Labrador Sea, 105, 467–514. https://doi.org/10.2973/odp.proc.sr.105.137.1989.
- Head, M. J. & Wrenn, J. H. (1992). Neogene and Quaternary Dinoflagellate Cysts and Acritarchs: Including Papers from the Second Symposium on Neogene Dinoflagellates (held Under the Auspices of the Fourth International Conference on Modern and Fossil Dinoflagellates. American Association of Stratigraphic Palynologist Foundation.
- Helenes-Escamilla, J. (1986). Some variations in the paratabulation of gonyaulacoid dinoflagellates. *Palynology*, 10, 73–110. https://doi.org/10.1080/01916122.1986.9989304.
- Helenes-Escamilla, J. & Cabrera, D. (2003). Oligocene Miocene palynomorph assemblages from eastern Venezuela. *Palynology*, 27, 5–25. https://doi.org/10.1080/01916122.2003.9989579.

- Hjálmarsdóttir, H. R. (2019). Quantitative biostratigraphy of Middle Jurassic Early Cretaceous foraminiferal events from the Arctic. *Revue de Micropaleontologie*, 64, 22. https://doi.org/10.101 6/j.revmic.2019.05.002.
- Iakovleva, A. & Kulkova, I. (2003). Paleocene–Eocene dinoflagellate zonation of Western Siberia. Review of Palaeobotany and Palynology, 123, 185–197. https://doi.org/10.1016/S0034-6667(02)001 17-3.
- Ioannides, N. S. (1986). Dinoflagellate cysts from upper Cretaceous-Lower Tertiary sections, Bylot and Devon Islands, Arctic Archipelago. Bulletin (Geological Survey of Canada).
- Islam, M. (1984). A Study of Early Eocene Palaeoenvironments in the Isle of Sheppey as Determined from Microplankton Assemblage Composition: Tertiary Research, volume 6. [Archivo PDF].
- Jaramillo, C. & Oboh-Ikuenobe, F. Sequence stratigraphic interpretations from palynofacies, dinocyst and lithological data of upper Eocene-lower Oligocene. https://doi.org/10.1016/S0031-0182 (98)00126-6.
- Jarvis, I. & Tocher, B. A. (1985). Neogene and Quaternary dinoflagellate biostratigraphy of the eastern equatorial Pacific: Deep Sea Drilling Project Leg 85. Initial reports DSDP, Leg 85, Los Angeles to Honolulu, 407–412. https://doi.org/10.2973/dsdp.proc.85.107.1985.
- Jijun, Z., Miller, K. G., & Berggren, W. A. (1993). Neogene planktonic foraminiferal biostratigraphy of the northeastern Gulf of Mexico. *Micropaleontology (Ny)*, 39, 299–326. https://doi.org/10.230 7/1485854.
- Jiménez-Moreno, G., Head, M. J., & Harzhauser, M. (2006). Early and middle Miocene dinoflagellate cyst stratigraphy of the Central Paratethys, Central Europe. *Journal of Micropaleontology*, 25, 113–139. https://doi.org/10.1144/jm.25.2.113.
- Kurita, H. & Obuse, A. (2003). Dinoflagellate cyst biostratigraphy of ODP Hole 186-1151A sediments. *PANGAEA*. https://doi.org/10.1594/PANGAEA.783436.
- Köthe, A. & Piesker, B. Stratigraphic distribution of Paleogene and Miocene dinocysts in Germany. Revue de Paléobiologie. https://www.bgr.bund.de/EN/Themen/GG-Stratigraphie/Fossilgr/ Dinozysten/dinozysten\_verbreitungstabelle\_en.pdf?\_\_blob=publicationFile&v=2.
- Le Roy, C., Rangin, C., Pichon, X. L., Ngoc, H. N. T., Andreani, L., & Aranda-Garcia, M. (2008). Neogene crustal shear zone along the western Gulf of Mexico margin and its implications for gravity sliding processes. evidences from 2d and 3d multichannel seismic data. *Bulletin de la Societe Geologique de France*, 179, 175–185. https://doi.org/10.2113/gssgfbull.179.2.175.
- Leandro, L. M., Santos, A., de A. Carvalho, M., & Fauth, G. (2020). Middle to late Miocene Caribbean dinoflagellate assemblages and palynofacies (DSDP Leg 15 Site 153). *Marine Micropaleontology*, 160, 1–13. https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2020.101898.
- LeNoir, E. & Hart, G. (1986). Burdigalian (early Miocene) dinocysts from offshore Lousiana, volume 17. American Association of Stratigraphic Palynologist, Contributions Series.
- Lentin, J. & Williams, G. L. (1980). *Dinoflagellate Provincialism, AASP Contribution series*, volume 7. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation.
- Liebrand, D., de Bakker, A., Beddow, H., Wilson, P., Bohaty, S., Ruessink, G., Pälike, H., Batenburg, S., Hilgen, F., Hodell, D., Huck, C., Kroon, D., Raffi, I., Saes, M., Dijk, A., & Lourens, L. (2017). Evolution of the early antarctic ice ages. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114. https://doi.org/10.1073/pnas.1615440114.

- López-Ramos, E. (1973). Estudio geológico de la península de Yucatán. Boletín Asociación Mexicana Geología Petrolera. http://boletinsgm.igeolcu.unam.mx/bsgm/index.php/component/cont ent/article/250-sitio/articulos/tercera-epoca/4401/1166-4401-2-lopez-ramos.
- López-Velázquez, L. C., Helenes-Escamilla, J., Flores-Trujillo, J., Ruiz-Fernández, A., & Sánchez-Cabeza, J. (2019). Paleoceanographic and paleoclimatic reconstruction based on marine palynomorphs in the period 1811–1907 ce in the magdalena basin, baja california sur, mexico. *Ciencias Marinas*, 45, 121–136. https://doi.org/10.7773/CM.V45I3.3003.
- Manum, S., Boulter, M., Gunnarsdottir, H., Rangnes, K., & Scholze, A. (1989). *Eocene to Miocene palynology of the Norwegian sea (ODP Leg 104)*, (32va ed.), volume 104. Ocean Drilling Program, Proceedings, Scientific Results, Leg 104, College Station, Texas.
- Matsuoka, K. (1983). Late cenozoic dinoflagellates and acritarchs in the niigata district, central japan.
  b. 187, 89-254. Paläeontographica Abteilung, 187, 89–254. https://doi.org/10.2307/1485638.
- Matsuoka, K., Bujak, J. P., & Shimazaki, T. (1987). Late cenozoic dinoflagellate cyst biostratigraphy from the west coast of northern japan. *Micropaleontology*, 33, 214–229. https://doi.org/https: //doi.org/10.2307/1485638.
- Mehrotra Naresh, C. & Rawat Ravindra, S. (1992). Neogene dinoflagellate cysts from the bengal basin, india. Eurekamag, Life, earth and Medial Sciences. https://doi.org/10.13140/2.1.1906.1127.
- Meneses-Rocha, J. J. (1987). Marco tectónico y paleogeografía del Triásico Tardío-Jurásico en el sureste de México. Boletin de la Asociación Mexicana de Geólogos Petroleros, XXXIX, 33. https://doi.or g/https://docplayer.es/181958992-Marco-tectonico-y-paleogeografia-del-triasico -tardio-jurasico-en-el-sureste-de-mexico-i.
- Miranda, A. (2008). Bioestratigrafía de alta resolución del Neógeno, pozo Sihini, Tampico Misantla, Veracruz, México. [Tesis de Maestría en Ciencias, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California]. http://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui /handle/1007/848.
- Moran-Zenteno, D. (1996). Geology of the southeastern region of Mexico. Geology of the Mexican Republic, Cap. 4. AAPG Studies in Geology No. 39: 75-82 p. [Archivo PDF].
- Mountain, G., Miller, K., & Blum, P. (1994). Shipboard Scientific Party Site 906. Proceedings of the Ocean drilling program, Initial report, 150, 309–357. https://doi.org/doi:10.2973/odp.proc.i r.150.110.1994.
- Mudie, P., de Vernal, A., & Head, M. (1990). Neogene to recent palynostratigraphy of Circum-Arctic Basins. Results of ODP Leg 104, Norwegian Sea, Leg 105, Baffin Bay, and DSDP Site 611, Irminger Sea. Geological History of the Polar Oceans: Arctic Versus Antarctic. U. Bleil and J. Thiede, editor.
- Mudie, P. & Harland, R. (1996). Aquatic Quaternary Chapter 21., volume 2. Jansonius, J., McGregor, (Eds), Palynology, Principles and Applications. American Association of Stratigraphic Palynologist Foundation.
- Mudie, P., Marret, F., Gurdebeke, P., Hartman, J., & Reid, P. (2020). Marine dinocysts, acritarchs and less well-known NPP: Tintinnids, ostracod and foraminiferal linings, copepod and worm remains. *Geological Society, London, Special Publications*, 511, SP511-2020. https://doi.org/10.1144/ SP511-2020-55.

- Narváez-Rodríguez, J. Y., Helenes-escamilla, J., del Moral-Domínguez, J., Martínez-Morales, V., Macías-Ojeda, C., Castillejos-Zurita, O., & Sánchez-Ríos, M. (2008). Bioestratigrafía de secuencias del Mioceno-Plioceno de la cuenca Macuspana, sureste del Golfo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 25, 217–224. https://doi.org/www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1026-877 42008000200002&script=sci\_abstract.
- NHM (2013). RASC and CASC, Biostratigraphic zonation and correlation of fossil events. Naturhistorisk Museum, Oslo University. https://www.nhm2.uio.no/RASC.
- Osborne, A., Newkirk, D., Groeneveld, J., Martin, E., Tiedemann, R., & Frank, M. (2014). The seawater neodymium and lead isotope record of the final stages of central american seaway closure. *Paleoceanography*, 29. https://doi.org/10.1002/2014PA002676.
- O'Dea, A., Lessios, H. A., Coates, A. G., Eytan, R. I., Restrepo-Moreno, S. A., Cione, A. L., Collins, L. S., Queiroz, A. D., Farris, D. W., Norris, R. D., Stallard, R. F., Woodburne, M. O., Aguilera, O., Aubry, M. P., Berggren, W. A., Budd, A. F., Cozzuol, M. A., Coppard, S. E., ..., & Jackson, J. B. (2016). Formation of the isthmus of panama. *Science Advances*, 2. https://doi.org/10.1126/sc iadv.1600883.
- Padilla y Sánchez, R. (2007). Evolución geológica del sureste mexicano desde el Mesozoico al presente en el contexto regional del Golfo de México. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, 59, 19–42. https://doi.org/10.18268/bsgm2007v59n1a3.
- Pereira, Z., Mendes, M., Rodrigues, C., Mulanda, N., Cacama, M., & Nsungani, P. C. (2021). Dinoflagellate cyst assemblages of the Cunga - Quifangondo Cenozoic formations in the Cabo São Brás section, Kwanza Basin (Angola): towards a first stratigraphic and paleoenvironmental interpretation. *Revue de Micropaleontologie*, 72, 100516. https://doi.org/10.1016/j.revmic.2021.100516.
- Piasecki, S. (1980). Dinoflagellate cyst stratigraphy of the Miocene Hodde and Gram Formations, Denmark. Bulletin Geological Survey of Denmark, 29, 53–76. https://doi.org/10.37570/bgsd-1980-29-03.
- Piasecki, S., Gregersen, U., & Johannessen, P. N. (2002). Lower Pliocene dinoflagellate cysts from cored Utsira Formation in the Viking Graben, northern North Sea. *Marine and Petroleum Geology*, 19, 55–67. https://doi.org/10.1016/S0264-8172(01)00053-8.
- Pospelova, V., Pedersen, T. F., & de Vernal, A. (2006). Dinoflagellate cysts as indicators of climatic and oceanographic changes during the past 40 kyr in the santa barbara basin, southern california. *Paleoceanography*, 21. https://doi.org/10.1029/2005PA001251.
- Pospelova, V., Price, A. M., & Pedersen, T. F. (2015). Palynological evidence for late Quaternary climate and marine primary productivity changes along the California margin. *American Geophysical Union*. https://doi.org/10.1002/2014PA002728.
- Powell, A. Dinoflagellate cyst biozonation Late Oligocene to Middle Miocene Italy, AASP Contribution series. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation.
- Powell, A. (1986). The stratigraphic distribution of Late Miocene dinoflagellate cysts from the Castellanian Super Stage stratotype, northwest Italy. American Association of Stratigraphic Palynologists, Contributions Series.
- Powell, A. J. (1992). A stratigraphic index of dinoflagellate cysts. British Micropaleontological Society series. Springer.

- Pross, J. & Brinkhuis, H. (2005). Organic-walled dinoflagellate cysts as paleoenvironmental indicators in the Paleogene; a synopsis of concepts. *Paläontologische Zeitschrift*, 79, 53–59. https://doi.or g/10.1007/BF03021753.
- Prost, G. & Aranda, M. (2001). Tectonics and hydrocarbon systems of the Veracruz Basin, Mexico. The western Gulf of Mexico Basin: Tectonics, sedimentary basin and petroleum systems. AAPG Memoir 75, 271–291. https://doi.org/10.1306/m75768c11.
- Pérez-Rodríguez, J. (2016). Registro palinológico en sedimentos laminados de la cuenca San Lázaro, Baja California Sur y su relación con cambios paleoceanográficos y paleoclimáticos de 1965 a 1988. [Tesis de Maestría en Ciencias, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California]. https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/1365.
- Riding, J. B., Fensome, R. A., Soyer-Gobillard, M. O., & Medlin, L. K. (2023). A review of the dinoflagellates and their evolution from fossils to modern. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11. https://doi.org/10.3390/jmse11010001.
- Roncaglia, L. (2002). Lower Maastrichtian dinoflagellates from the Viano Clay Formation at Viano, northern Apennines, Italy. *Cretaceous Research*, 23, 65–76. https://doi.org/10.1006/CRES.200 2.0298.
- Ross, M. I. & Scotese, C. R. (1988). A hierarchical tectonic model of the Gulf of Mexico and Caribbean region. *Tectonophysics*, 155, 139–168. https://doi.org/10.1016/0040-1951(88)90263-6.
- Roure, F., Alzaga-Ruiz, H., Callot, J. P., Ferket, H., Granjeon, D., Gonzalez-Mercado, G. E., Guilhaumou, N., Lopez, M., Mougin, P., Ortuno-Arzate, S., & Séranne, M. (2009). Long lasting interactions between tectonic loading, unroofing, post-rift thermal subsidence and sedimentary transfers along the western margin of the Gulf of Mexico: Some insights from integrated quantitative studies. *Tectonophysics*, 475, 169–189. https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.04.012.
- Ruddiman, W. F. (2013). Tectonic uplift and climate change. Springer Science & Business Media.
- Salvador, A. (1991). Origin and development of the Gulf of Mexico basin, Chapter 14. Geology of North America, Vol. J, The Gulf of Mexico Basin. The Geological Society of America, 389-444. https://doi.org/10.1130/dnag-gna-j.389.
- Sanchez Rios, M., Ayala Nieto, M., González Lara, J., del Valle Reyes, A., Sánchez-Durán, J., Padilla Avila, P., García Urbano, D., Pérez Castillo, C., Reyna Téllez, B., Reyes Vásquez, A., & Fuentes Franco, P. (2009). High-resolution biostratigraphy in Miocene-Pleistocene sediments from two wells in the western Gulf of Mexico. *Petroleum systems in the southern Gulf of Mexico: AAPG Memoir 90*, 369–395. https://doi.org/10.1306/13191092M903338.
- Santiago, J., Carrillo, J., & Martell, B. (1984). Geología petrolera de México. Evaluación de formaciones en México. Capitulo I. Schlumberger y Petróleos Mexicanos., 36 pp. https://doi.org/www.acad emia.edu/8617905.
- Schreck, M., Matthiessen, J., & Head, M. J. (2012). A magnetostratigraphic calibration of middle Miocene through Pliocene dinoflagellate cyst and acritarch events in the Iceland Sea (Ocean Drilling Program Hole 907A). *Review of Palaeobotany and Palynology*, 187, 66–94. https://doi.org/10 .1016/j.revpalbo.2012.08.006.
- Sedlock, R. L., Ortega-gutierrez, F., Speed, R. C., & Ortega-gutierrez, F. (1993). Tectonostratigraphic terranes and tectonic evolution of Mexico. Special Paper of the Geological Society of America, 278, 1–153. https://doi.org/10.1130/SPE278-p1.

- Serrano-Mejía, G. & Helenes-Escamilla, J. (2016). Palynological record in laminated sediments of the basin San Lazaro, Baja California Sur and its relationship with paleoceanographic and paleoclimatic changes from 1988 to 2009. [Tesis de Maestría en Ciencias, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California]. http://cicese.repositorioinstitucional. mx/jspui/handle/1007/101.
- Sijp, W., Heydt, A. S., Dijkstra, H., Flögel, S., Douglas, P., & Bijl, P. (2014). The role of ocean gateways on cooling climate on long time scales. *Global and Planetary Change*, 119. https://doi.org/10.1 016/j.gloplacha.2014.04.004.
- Sluijs, A., Pross, J., & Brinkhuis, H. (2005). From greenhouse to icehouse; organic-walled dinoflagellate cysts as paleoenvironmental indicators in the Paleogene. *Earth-Science Reviews*, 68(3), 281–315. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2004.06.001.
- Soliman, A., Ćorić, S., Head, M. J., Piller, W. E., & El Beialy, S. Y. (2012). Lower and middle Miocene biostratigraphy, Gulf of Suez, Egypt based on dinoflagellate cysts and calcareous nannofossils. *Palynology*, 36, 38–79. https://doi.org/10.1080/01916122.2011.633632.
- Spicer, R., Harris, N., Widdowson, M., Herman, A., Guo, S., Valdes, P., Wolfe, J., & Kelley, S. (2003). Constant elevation of southern Tibet over the past 15 million years. *Nature*, 421, 622–4. https: //doi.org/10.1038/nature01356.
- Stein, R., Fahl, K., Schreck, M., Knorr, G., Niessen, F., Forwick, M., Gebhardt, C., Jensen, L., Kaminski, M., Kopf, A., Jokat, W., & Lohmann, G. (2016). Evidence for ice-free summers in the late Miocene central Arctic Ocean. *Nature Communications*, 7, 11148. https://doi.org/10.1038/ncomms1114 8.
- Stover, L., Brinkhuis, H., Damassa, S., de Verteuil, L., Helby, R., Monteil, E., Partridge, A., Powell, A., Riding, J., Smelror, M., & Williams, G. (1996). *Mesozoic-Tertiary dinoflagellates, acritarchs and prasinophytes. In book: Palynology: principles and applications. Chapter: 19*, volume 2. AASP Foundation.
- Taylor, F., Hoppenrath, M., & Saldarriaga, J. (2008). Dinoflagellate diversity and distribution. Biodiversity and Conservation, 17, 407–418. https://doi.org/10.1007/s10531-007-9258-3.
- Van Den Brink, H. (2019). The stratigraphic distribution of Neogene dinoflagellate cysts from a deep water well, offshore Sabah, Northern Borneo. *Berita Sedimentologi. [Archivo PDF]*.
- Van-Mourik, C. A. & Brinkhuis, H. (2001). Data report: Organic walled dinoflagellate cyst biostratigraphy of the latest middle to late Eocene at hole 1053A (Subtropical Atlantic ocean). http://www-odp.tamu.edu/publications.
- Vann-Smith, Waterman, A., Lu, Y., Parker, B., Edmunds, J., & Weber, R. (2019). Foraminiferal and calcareous nannofossil biochronology of the offshore Miocene Gulf of Mexico. Geologic Problem Solving with Microfossils IV. https://doi.org/10.2110/sepmsp.111.02.
- White, J. (2006). Palynodata Datafile: 2006 version. Canada. http://paleobotany.ru/.
- Williams, G. & Bujak, J. (1985). *Mesozoic and Cenozoic Dinoflagellates. In Plankton Stratigraphy*. Nielsen. Cambridge.
- Williams, G. L. (1975). Dinoflagellate and spore stratigraphy of the Mesozoic-Cenozoic, offshore Eastern Canada. *Survey of Canada. [Archivo PDF]*, 2, 61–107.

- Williams, G. L., Brinkhuis, H., Pearce, M., Fensome, R., & Weegink, J. (2004). Southern Ocean and Global Dinoflagellate Cyst Events Compared: Index Events for the late Cretaceous-Neogene. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, 189 Scientific Results*, 189. https://doi.org/10.2973/odp. proc.sr.189.107.2004.
- Williams, G. L. & Bujak, J. P. (1977). *Cenozoic palynostratigraphy of offshore eastern Canada.*, volume 5A. American Association of Stratigraphic Palynologist, Contributions Series.
- Williams, G. L., Fensome, R., & MacRae, R. A. (2017). Dinoflaj3. American Association of Stratigraphic Palynologist, data series no.2. http://dinoflaj.smu.ca/dinoflaj3.
- Williams, G. L., Stover, L. E., & Kidson, E. J. (1993). *Morphology and stratigraphic ranges of selected Mesozoic - Cenozoic dinoflagellate taxa in the northern hemisphere*, volume 92-10. Geological Survey of Canada Paper.
- Wood, G., Gabriel, A., & Lawson, J. (1996). Palynological techniques processing and microscopy. Jansonius, J. McGregor, D.C.(Eds) Palynology: Principles and applications. American Association of Stratigraphic Palynologists Foundation, Dallas.
- Wrenn, J. H. & Kokinos, J. P. (1986). Preliminary comments on Miocene through Pleistocene Dinoflagellate cysts from De Soto Canyon, Gulf of Mexico, volume 17. American Association of Stratigraphic Palynologist, Contributions Series.
- Xie, F., Wu, Q., Wang, L., Shi, Z., Zhang, C., Liu, B., Wang, C., Shu, Z., & Di, H. (2019). Passive continental margin basins and the controls on the formation of evaporites: a case study of the Gulf of Mexico Basin. *Carbonates and Evaporites*, 34, 405–418. https://doi.org/10.1007/s13146-017 -0404-z.
- Yepes, O. (2001). Maastrichtian Danian dinoflagellate cyst biostratigraphy and biogeography from two equatorial sections in Colombia and Venezuela. *Palynology*, 25, 217–249. https://doi.org/10.1 080/01916122.2001.9989561.
- Zegarra, M. (2005). Palinoestratigrafia del Neógeno en el pozo Glomerosa Cuenca de Veracruz, México. [Tesis de Maestría en Ciencias, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California]. https://biblioteca.cicese.mx/catalogo/tesis/ficha.php?id=16569.
- Zegarra, M. & Helenes-Escamilla, J. (2011). Changes in Miocene through Pleistocene dinoflagellates from the eastern equatorial Pacific (ODP Site 1039) in relation to primary productivity. *Marine Micropaleontology*, 81, 107–121. https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2011.09.005.
- Zonneveld, K. & Pospelova, V. (2015). A determination key for modern dinoflagellate cysts. *Palynology*. https://doi.org/10.1080/01916122.2014.990115.
- Zonneveld, K. A., Marret, F., Versteegh, G. J., Bogus, K., Bonnet, S., Bouimetarhan, I., Crouch, E., de Vernal, A., Elshanawany, R., Edwards, L., Esper, O., Forke, S., Grøsfjeld, K., Henry, M., Holzwarth, U., Kielt, J. F., Kim, S. Y., Ladouceur, S., & Young, M. (2013). Atlas of modern dinoflagellate cyst distribution based on 2405 data points. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 191, 1–197. https://doi.org/10.1016/J.REVPALB0.2012.08.003.
- Zonneveld, K. A. F., Susek, E., & Fischer, G. (2010). Seasonal variability of the organic-walled dinoflagellate cyst production in the coastal upwelling region off Cape Blanc (Mauritania): A Five-year survey 1. Journal of Phycology. https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2009.00799.x.

# Anexos

#### Anexo A-1.

**Tabla 6.** Listado de especies encontradas en el sur Golfo de México (GoM) durante el Neógeno, su abundancia y clasificación en Gonyaulacales o Peridinales. Cuencas Tampico-Misantla, Macuspana, Plataforma Campeche y Veracruz

#### CUENCA TAMPICO-MISANTLA SIHINI-1

		TOTAL	PERI	GONYA
1	Achilleodinium biformoides	1		1
2	Achomosphaera alcicornu	4		4
3	Achomosphaera ramulifera	59		59
4	Cordosphaeridium cantharellum	1		1
5	Cordosphaeridium gracile	1		1
6	Diphyes latiusculum	5		5
7	Homotryblium plectilum	1		1
8	Hystrichokolpoma denticulatum	3		3
9	Hystrichokolpoma rigaudiae	19		19
10	Impagidinium dispertitum	6		6
11	Impagidinium patulum	6		6
12	Leiosphaeridia verugada	4		4
13	Lejeunecysta communis	3	3	
14	Lejeunecysta convexa	1	1	
15	Lejeunecysta fallax	1	1	
16	Lejeunecysta hyalina	36	36	
17	Lejeunecysta lata	1	1	
18	Lejeunecysta oliva	1	1	
19	Lingulodinium polyedrum	291		291
20	Nematosphaeropsis balcombiana	12		12
21	Nematosphaeropsis labyrinthea	3		3
22	Odontochitina operculata	1	RW	
23	Oligosphaeridium complex	1		1
24	Operculodinium centrocarpum	68		68
25	Operculodinium crassum	1		1
26	Operculodinium israelianum	253		253
27	Polysphaeridium zoharyi	805		805
28	Polysphaeridium zoharyi ktana	94		94
29	Quadrina condita	7	Acritarch	
30	Reticulatosphaera actinocoronata	1		1

### CUENCA TAMPICO-MISANTLA SIHINI-1

•		TOTAL	PERI	GONYA
1	Achilleodinium biformoides	1		1
2	Achomosphaera alcicornu	4		4
3	Achomosphaera ramulifera	59		59
4	Cordosphaeridium cantharellum	1		1
5	Cordosphaeridium gracile	1		1
6	Diphyes latiusculum	5		5
7	Homotryblium plectilum	1		1
8	Hystrichokolpoma denticulatum	3		3
9	Hystrichokolpoma rigaudiae	19		19
10	Impagidinium dispertitum	6		6
11	Impagidinium patulum	6		6
12	Leiosphaeridia verugada	4		4
13	Lejeunecysta communis	3	3	
14	Lejeunecysta convexa	1	1	
15	Lejeunecysta fallax	1	1	
16	Lejeunecysta hyalina	36	36	
17	Lejeunecysta lata	1	1	
18	Lejeunecysta oliva	1	1	
19	Lingulodinium polyedrum	291		291
20	Nematosphaeropsis balcombiana	12		12
21	Nematosphaeropsis labyrinthea	3		3
22	Odontochitina operculata	1	RW	
23	Oligosphaeridium complex	1		1
24	Operculodinium centrocarpum	68		68
25	Operculodinium crassum	1		1
26	Operculodinium israelianum	253		253
27	Polysphaeridium zoharyi	805		805
28	Polysphaeridium zoharyi ktana	94		94
29	Quadrina condita	7	Acritarch	
30	Reticulatosphaera actinocoronata	1		1

#### CUENCA TAMPICO-MISANTLA SIHINI -1

		TOTAL	PERI	GONYA
31	Selenopemphix brevispinosa	9	9	
32	Selenopemphix nephroides	85	85	
33	Selenopemphix quanta	10	10	
34	Spiniferites bulloideus	3		3
35	Spiniferites mirabilis	4		4
36	Spiniferites pseudofurcatus	15		15
37	Spiniferites ramosus	60		60
39	Tuberculodinium vancampoae	21		21

#### CUENCIA MACUSPANA AKAITO – 1

1	Lejeunecysta hyalina	2	2	
2	Lingulodinium polyedrum	4		4
3	Operculodinium centrocarpum	7		7
4	Polysphaeridium zoharyi	23		23
5	Selenopemphix quanta	1	1	

## CUENCA MASCUSPANA CHANCHAMITO - 1

1	Batiacasphaera micropapillata	3		3
2	Cyclopsiella elliptica	2		2
3	Lejeunecysta spp.	1	1	
4	Operculodinium centrocarpum	2		2
5	Palaeocystodinium golzowense	2	2	
6	Thalassiphora pelagica	1		1

#### CUENCA MACUSPANA NARVAEZ-1

		TOTAL	PERI	GONYA
1	Achomosphaera ramulifera	43		43
2	Homotryblium floripes	1		1
3	Homotryblium plectilum	2		2
4	Hystrichostrogylon membraniphorum	1		1
5	Hystrichokolpoma cinctum	1		1
6	Hystrichokolpoma rigaudiae	4		4
7	Hystrichokolpoma truncatum	13		13
8	Lejeunecysta cinctoria	4	4	
9	Lejeunecysta hyalina	12	12	
10	Lingulodinium polyedrum	123		123
	Multispinula quanta/Selenopemphix			
11	quanta	61	61	
12	Nematosphaeropsis balcombiana	4		4
13	Nematosphaeropsis lemniscata	1		1
14	Operculodinium centrocarpum	218		218
15	Operculodinium crassum	1		1
16	Operculodinium israelianum	1		1
17	Operculodinium microtriainum	7		7
18	Polysphaeridium congregatum	1		1
19	Polysphaeridium zoharyi	575		575
20	Polysphaeridium zoharyi ktana	34		34
21	Selenopemphix brevispinosa	14	14	
22	Selenopemphix nephroides	24	24	
23	Spiniferites bulloideus	7		7
24	Spiniferites mirabilis	4		4
25	Spiniferites pseudofurcatus	1		1
26	Spiniferites ramosus	373		373
27	Tectatodinium pellitum	1		1
28	Trinovantedinium capitatum	1	1	
29	Trinovantedinium harpagonium	1	1	
30	Tuberculodinium vancampoae	13		13

### CUENCA PLATAFORMA CAMPECHE CHAC-MOOL-1

		TOTAL	PERI	GONYA
1	Achomosphaera neptuni	2		2
2	Glaphyrocysta exuberans	1		1
3	Homotryblium abbreviatum	2		2
4	Homotryblium plectilum	1		1
5	Homotryblium tenuispinosum	11		11
6	Hystrichokolpoma rigaudiae	1		1
7	Hystrichosphaeropsis obscura	1		1
8	Impagidinium patulum	1		1
9	Lejeunecysta fallax	4	4	
10	Lejeunecysta hyalina	1	1	
11	Lingulodinium polyedrum	107		107
12	Nematosphaeropsis balcombiana	3		3
13	Operculodinium centrocarpum	58		58
14	Operculodinium israelianum	117		117
15	Polykrikos schwartzii	3	Gymnodiniales	
16	Polysphaeridium congregatum	13		13
17	Polysphaeridium zoharyi	1479		1479
18	Polysphaeridium zoharyi - ktana	5		5
19	Selenopemphix brevispinosa	1	1	
20	Selenopemphix nephroides	12	12	
21	Selenopemphix quanta	72	72	
22	Spiniferites bentorii	9		9
23	Spiniferites bulloideus	13		13
24	Spiniferites delicatus	5		5
25	Spiniferites elongatus	2		2
26	Spiniferites hyperacanthus	3		3
27	Spiniferites membranaceus	1		1
28	Spniferites mirabilis	1		1
29	Spiniferites ramosus	155		155
30	Tuberculodinium vancampoae	5		5

### CUENCA VERACRUZ GLOMEROSA-1

		TOTAL	PERI	GONYA
1	Achomosphaera alcicornu	3		3
2	Ascodinium diversum	1	1	
3	Cyclopsiella elliptica	6		6
4	Distatodinium craterum	1		1
5	Heteraulacacysta campanula	5		5
6	Hystrichokolpoma denticulatum	2		2
7	Hystrichostrogylon membraniphorum	2		2
8	Hystrichosphaeropsis obscura	2		2
9	Impagidinium aculeatum	1		1
10	Impagidinium cristatum	5		5
11	Impagidinium paradoxum	7		7
12	Impagidinium patulum	3		3
13	Impagidinium victorianum	2		2
14	Lejeunecysta cinctoria	11	11	
15	Lejeunecysta hyalina	21	21	
16	Lingulodinium polyedrum	84		84
17	Nematosphaeropsis lemniscata	7		7
18	Nematosphaeropsis rigida	37		37
19	Operculodinium centrocarpum	863		863
20	Operculodinium israelianum	2		2
21	Palaeocystodinium golzowense	5	5	
22	Phthanopridinium eocenicum	1	1	
23	Polysphaeridium zoharyi	250		250
24	Polysphaeridium zoharyi - ktana	1		1
25	Quadrina condita	1	Acritarch	
26	Selenopemphix brevispinosa	16	16	
27	Selenopemphix dionaeacysta	33	33	
28	Selenopemphix nephroides	70	70	
29	Selenopemphix quanta	8	8	
30	Spiniferites bulloideus	18		18
31	Spiniferites hyperacanthus	17		17
32	Spniferites mirabilis	20		20
33	Spiniferites pseudofurcatus	2		2

		TOTAL	PERI	GONYA
34	Spiniferites ramosus	31		31
35	Spiniferites ramosus var. granomembranacea	12		12
36	SpIniferites splendidus	6		6
37	Spiniferites spp.	159		159
38	Tectatodinium pellitum	1		1
39	Tuberculodinium vancampoae	4		4

#### Anexo A-2

**Tabla 7.** Base de datos con las especies reportadas en diez publicaciones en zonas tropicales (1 = presencia en cada sitio)

Código.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lista Integrada	ZEGARRA 2011	C O R R E A 2021	DUQUE 2018	J A R V I S 1985	PEREIRA 2021	CARDENAS 2020	L E A N D R O 2 0 2 0	H E L E N E S 2003	V.D. Brink 2019	D U R U G B O 2 0 1 1
Achomosphaera andalousiensis										1
Ach alcicornu				1		1				
Ach aff. bulla		1								
Ach granulata									1	
Ach ramulifera	1	1	1							1
Ach sagena		1								
Ach spongiosa			1							
Ach sp.									1	
Ami umbraculum	1									
Are coronata								1		
Ata choane	1									
Barssidinium sp.									1	
Barssidinium evangelineae									1	
Bat aff. baculata	1									
Bat compta		1			1					
Bat edwardsiae	1									
Bat minuta	1		1							
Bat hirsuta		1	1					1		
Bat micropapillata	1	1	1					1		
B. sphaerica	1	1	1							
Bic longissimum?	1									
Bit tepikiense							1			
Brigantidinium sp.									1	

Código.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Lista Integrada	ZEGARRA 2011	C O R R E A 2021	DUQUE 2018	J A R V I S 1985	PEREIRA 2021	CARDENAS 2020	L E A N D R O 2 0 2 0	HELENES 2003	V.D. BRINK 2019	DURUGBO 2011
Achomosphaera andalousiensis										1
Ach alcicornu				1		1				
Ach aff. bulla		1								
Ach granulata									1	
Ach ramulifera	1	1	1							1
Ach sagena		1								
Ach spongiosa			1							
Ach sp.									1	
Ami umbraculum	1									
Are coronata								1		
Ata choane	1									
Barssidinium sp.									1	
Barssidinium evangelineae									1	
Bat aff. baculata	1									
Bat compta		1			1					
Bat edwardsiae	1									
Bat minuta	1		1							
Bat hirsuta		1	1					1		
Bat micropapillata	1	1	1					1		
B. sphaerica	1	1	1							
Bic longissimum?	1									
Bit tepikiense							1			
Brigantidinium sp.									1	

Lista Integrada	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cas reticulata	1									
Cer bartonensis	1									
Cer poulsenii	1						1			
Chiropteridium galea					1					
Cle diversispinosum		1	1		1	1				
C. cantharellus					1					1
Cor fibrospinosum							1			
Cor inodes							1			
Cri tenuitabulatum						1		1		
Dap pastielsii					1		1		1	
Dap pseudocolligerum			1			1				
Dip latiusculum		1						1		
Dis fusiforme			1							
Dis paradoxum					1					
Ectosphaeropsis burdigalensis					1					
Emmetrocysta sp.?						1				
Edw sexispinosa	1	1								
E. paratabulata	1									
Exochosphaeridium spp.		1								
F. filifera	1	1								
F. microornata	1									
Glaphyrocysta sp.			1			1				
Habibacysta sp.					1					
Hafniasphaera spp.							1			
H. cf. peridictya	1									
Het campanula						1				
Homotryblium floripes					1					1
Hom tenuispinosum	1	1	1		1			1	1	1
Hom plectilum								1		1
Hom vallum								1		
Hysk denticulatum	1	1	1							
Hysk globulus	1									
Hysk rigaudiae					1	1	1	1	1	
Hysk salacia								1		
Hysk truncatum			1							
H. obscura			1							
H. sp.A Brinkhuis etal 2003	1									
Hyst membraniphorum	1		1			1				
Imp aculeatum	1			1					1	

Lista Integrada	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Imp paradoxum	1	1	1						1	
Imp patulum	1	1					1			
Imp sphaericum	1									
Imp strialatum	1						1			
Imp velorum	1	1			1					
Imp verrucosum	1		1							
Impl petalum		1								
Impletosphaeridium sp.					1					
Impl williamsii		1								
K. caputatum								1		
Kallosphaeridium sp.						1				
I. tabulata	1									
Lab truncatum			1							
Lin hemicystum	1									
Lin machaerophorum	1	1	1		1	1	1	1	1	1
Lin multivirgatum		1								
Lingulodinium pycnospinosum									1	
L. sulcolimbata	1									
Men reticulatum	1									
Men spinosum Riding & Helby 2001	1									
Men sp.A de W&K	1									
Microdinium ornatum ?	1									
Mel choanophorum		1	1							1
Mel pseudorecurvatum		1								
Min latirictum						1				
Nem balcombiana			1							
Nem labyrinthus	1		1	1		1	1		1	1
Nem lativittata	1									
Nem lemniscata	1	1								1
Nem rigida		1								
Ope centrocarpum	1	1	1	1		1	1	1	1	1
Ope giganteum	1									
Ope israelianum	1			1					1	1
Ope janduchenei	1	1	1							
Ope? eirikianum			1							
Ope longispinigerum										
Ope microtriainum								1		

Lista Integrada	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ope minutum	1									
Ope piaseckii	1	1								
Ope? placitum			1				1			
Ope vacuolatum	1									
Pen laticinctum	1									
Pol congregatum	1		1			1		1		
Pol zoharyi	1	1	1		1	1	1	1	1	1
Pol zoharyi-ktana								1		
Pyla simplex				1						
Pyx delicata	1									
Pyx densepunctata	1									
Pyx fairhavenensis	1									
Pyx pastilliformis	1									
Pyx reticulata	1									
Ret actinocoronata		1	1							
Spi bentorii	1			1						1
Spi bentori-truncatus	1									
Spi aff. adnatus			1							
Spi bulloideus	1	1	1				1		1	1
Spiniferites delicatus		1								1
Spi ellipsoideus			1							
Spi elongatus			1							
Spi hyperacanthus	1		1			1			1	1
Spi membranaceus	1	1	1							1
Spi mirabilis	1	1	1			1	1	1	1	1
Spi monilis			1							
Spi ovatus			1							
Spi pachydermus		1	1				1			
Spi paradoxus	1									
Spi pseudofurcatus		1	1	1	1			1		1
Spi ramosus		1	1		1	1	1		1	1
Spi ramosus-brevifurcatus		1								
Spi ramosus-granomembranaceus	1									
Spi ramosus-multiplicatus							1			
Spi rubinus		1	1							
Spi serratus			1							
Spi splendidus	1									
Spi strictus			1							
Spi supparus		1								

Lista Integrada	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sys placacantha								1		
Tec pellitum	1						1			1
Tectatodinium sp.				1						
Tub vancampoae	1	1	1		1	1	1	1	1	1
Tha pelagica	1									
Apectodinium spp.							1			
Bri cariacoense							1			
Bri simplex						1	1			
Cristadinium sp. Head et al 1989			1			1				
Deflandrea phosphoritica					1					
Ech euaxum						1				
Lej aff. beninensis			1							
Lej aff. sabrina			1							
Lej brassensis		1	1							
Lej cinctoria	1	1	1						1	
Lejeunecysta communis					1					
Lej convexa		1	1							
Lej diversiforma			1							
Lej fallax			1		1			1		
Lej globosa	1	1	1		1					
Lej granosa	1	1								
Lej hyalina	1	1	1				1	1		1
Lej marieae		1	1			1				
Lejeunecysta pulchra					1					
Lej tenella							1			
Lentinia serrata					1					
Pal golzowense	1	1	1	1						1
Pal miocaenicum							1			
Phelodinium sp.						1				
Quadrina condita									1	
Sel armageddonensis							1			
Sel armata		1					1			
Sel bothrion			1			1				
Sel brevispinosa	1	1	1			1	1		1	
Selenopemphix coronata					1					
Sel crenata		1	1							
Sel dionaeacysta		1	1						1	
Sel indentata		1								
Sel minusa		1	1							

Lista Integrada	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Sel nephroides	1	1	1		1	1	1		1	1
cf. Sel nephroides									1	
Sel quanta	1	1	1		1		1			
Selenopemphix sp.							1	1		
Sel selenoides							1			
S. sp. D of Duffield & Stein 1986						1				
Sel sp.2 de Head et al.	1									
Sel warriensis			1							
Sum hamulatum						1				
Sum aff. hispidum			1							
Sum hispidum						1		1		
Sum soucouyantiae						1				
Tri applanatum						1				
Tri ferugnomatum		1	1			1			1	
Tri glorianum						1				
Tri papula		1				1				
Tri variabile		1	1			1	1			
Trinovantedinium sp.	1					1				
Tri xylochoporum		1	1			1				
Xandarodinium xanthum									1	
Alg capillatum			1							

#### Anexo A-3

**Tabla 8.** Listado de especies encontradas en el trópico durante el Neógeno, agrupadas por afinidad taxonómica y preferencia trófica siguiendo a Fensome et al. (1993).

#### 127 GONYA: 72% & 49 PERI: 28%; 1 GYM: <1%

#### AUTOTRÓFICO (GONYAULACALES); HETEROTRÓFICO (PERIDINIALES)

GONYAULACALES (127)	PERIDINIALES (49 sp)	GYMNODINIALES (1)
Achomosphaera alcicornu	Apectodinium spp.	Algidasphaeridium capillatum
Achomosphaera ramulifera	Brigantedinium cariacoense	
Achomosphaera sagena	Brigantedinium simplex	
Achomosphaera spongiosa	Cristadinium sp. Head et al 1989	
Amiculosphaera umbraculum	Deflandrea phosphoritica	
Areoligera coronata	Echinidinium euaxum	
Ataxiodinium choane	Lejeunecysta brassensis	
Batiacasphaera compta	Lejeunecysta cinctoria	
Batiacasphaera edwardsiae	Lejeunecysta communis	
Batiacasphaera minuta	Lejeunecysta convexa	
Batiacasphaera hirsuta	Lejeunecysta diversiforma	
Batiacasphaera micropapillata	Lejeunecysta fallax	
Batiacasphaera sphaerica	Lejeunecysta globosa	
Bitectatodinium tepikiense	Lejeunecysta granosa	
Cassiculosphaeridia reticulata	Lejeunecysta hyalina	
Cerebrocysta bartonensis	Lejeunecysta marieae	
Cerebrocysta poulsenii	Lejeunecysta pulchra	
Chiropteridium galea	Lejeunecysta tenella	
Cleistosphaeridium diversispinosum	Lentinia serrata	
Cordosphaeridium cantharellus	Paleocystodinium golzowense	
Cordosphaeridium fibrospinosum	Paleocystodinium miocaenicum	
## 127 GONYA: 72% & 49 PERI: 28%; 1 GYM: <1%

# AUTOTRÓFICO (GONYAULACALES); HETEROTRÓFICO (PERIDINIALES)

GONYAULACALES (127)	PERIDINIALES (49 sp)	GYMNODINIALES (1)
Achomosphaera alcicornu	Apectodinium spp.	Algidasphaeridium capillatum
Achomosphaera ramulifera	Brigantedinium cariacoense	
Achomosphaera sagena	Brigantedinium simplex	
Achomosphaera spongiosa	Cristadinium sp. Head et al 1989	
Amiculosphaera umbraculum	Deflandrea phosphoritica	
Areoligera coronata	Echinidinium euaxum	
Ataxiodinium choane	Lejeunecysta brassensis	
Batiacasphaera compta	Lejeunecysta cinctoria	
Batiacasphaera edwardsiae	Lejeunecysta communis	
Batiacasphaera minuta	Lejeunecysta convexa	
Batiacasphaera hirsuta	Lejeunecysta diversiforma	
Batiacasphaera micropapillata	Lejeunecysta fallax	
Batiacasphaera sphaerica	Lejeunecysta globosa	
Bitectatodinium tepikiense	Lejeunecysta granosa	
Cassiculosphaeridia reticulata	Lejeunecysta hyalina	
Cerebrocysta bartonensis	Lejeunecysta marieae	
Cerebrocysta poulsenii	Lejeunecysta pulchra	
Chiropteridium galea	Lejeunecysta tenella	
Cleistosphaeridium diversispinosum	Lentinia serrata	
Cordosphaeridium cantharellus	Paleocystodinium golzowense	
Cordosphaeridium fibrospinosum	Paleocystodinium miocaenicum	

### **GONYAULACALES (127)**

# PERIDINIALES (49 sp)

Cribroperidinium tenuitabulatum	Pyxidiella simplex
Dapsilidinium pastielsii	Selenopemphix armageddonensis
Dapsilidinium pseudocolligerum	Selenopemphix armata
Diphyes latiusculum	Selenopemphix bothrion
Distatodinium fusiforme	Selenopemphix brevispinosa
Distatodinium paradoxum	Selenopemphix coronata
Ectosphaeropsis burdigalensis	Selenopemphix crenata
Edwardsiella sexispinosa	Selenopemphix dionaeacysta
Evittosphaerula paratabulata	Selenopemphix indentata
Exochosphaeridium spp.	Selenopemphix minusa
Filisphaera filifera	Selenopemphix nephroides
Filisphaera microornata	Selenopemphix quanta
Glaphyrocysta spp.	Selenopemphix spp.
Habibacysta spp.	Selenopemphix selenoides
Hafniasphaera spp.	Selenopemphix sp. D of Duffield & Stein 1986
Heteraulacacysta campanula	Selenopemphix sp. 2 de Head et al.
Homotryblium floripes	Selenopemphix warriensis
Homotryblium tenuispinosum	Sumatradinium hamulatum
Homotryblium plectilum	Sumatradinium hispidum
Homotryblium vallum	Sumatradinium soucouyantiae
Hystrichokolpoma denticulatum	Trinovantedinium applanatum
Hystrichokolpoma globulus	Trinovantedinium ferugnomatum
Hystrichokolpoma rigaudiae	Trinovantedinium glorianum
Hystrichokolpoma salacia	Trinovantedinium papula
Hystrichokolpoma truncatum	Trinovantedinium variabile
Hystrichokolpoma obscura	Trinovantedinium spp.
Hystrichokolpoma sp. A Brinkhuis et al 2003	Trinovantedinium xylochoporum
Hystrichostrogylon membraniphorum	
Impagidinium aculeatum	

### **GONYAULACALES (127)**

Impagidinium antecarcerum	Nematosphaeropsis balcombiana
Impagidinium dispertitum	Nematosphaeropsis labyrinthus
Impagidinium japonicum	Operculodinium giganteum
Impagidinium paradoxum	Operculodinium israelianum
Impagidinium patulum	Operculodinium janduchenei
Impagidinium sphaericum	Operculodinium microtriainum
Impagidinium strialatum	Operculodinium minutum
Impagidinium velorum	Operculodinium piaseckii
Impagidinium verrucosum	Operculodinium vacuolatum
Impletosphaeridium petalum	Pentadinium laticinctum
Impletosphaeridium spp.	Polysphaeridium congregatum
Impletosphaeridium williamsii	Polysphaeridium zoharyi
Kallosphaeridium capulatum	Polysphaeridium zoharyi-ktana
Kallosphaeridium spp.	Pyxidinopsis delicata
Invertocysta tabulata	Pyxidinopsis densepunctata
Labyrinthodinium truncatum	Pyxidinopsis fairhavenensis
Lingulodinium hemicystum	Pyxidinopsis pastilliformis
Lingulodinium machaerophorum	Pyxidinopsis reticulata
Lingulodinium multivirgatum	Reticulosphaera actinocoronata
Lophocysta sulcolimbata	Spiniferites bentorii
Mendicodinium reticulatum	Spiniferites bentori-truncatus
Mendicodinium spinosum Riding & Helby 2001	Spiniferites bulloideus
Mendicodinium sp. A de W&K	Spiniferites ellipsoideus
Melitasphaeridium choanophorum	Spiniferites elongatus
Melitasphaeridium pseudorecurvatum	Spiniferites hyperacanthus
Minisphaeridium latirictum	Spiniferites membranaceus

### **GONYAULACALES (127)**

Spiniferites mirabilis

Spiniferites monilis

Spiniferites paradoxus

Spiniferites pseudofurcatus

Spiniferites ramosus

Spiniferites ramosus-brevifurcatus

Spiniferites ramosus-granomembra-

naceus

Spiniferites ramosus-multiplicatus

Spiniferites rubinus

Spiniferites serratus

Spiniferites splendidus

Spiniferites strictus

Spiniferites supparus

Systematophora placacantha

NOW Cleistosphaeridium

placacanthum

Tectatodinium pellitum

Tectatodinium spp.

Tuberculodinium vancampoae

Thalassiphora pelagica

17 + 3 UE, ESPECIES DE DINOFLAGELLADOS; 35 EVENTOS; 16 FO, 16 LO; 3 UE		20 ESPECIES, 70% GONYA & 29% PERI & <1% ACRITARCHA
Autotrófico	, Gonyaulacoide (	Williams et al., 2017)
Achomosphaera ramulifera	Gonyaulacales	Deflandre, 1937Evitt 1963
**Cordosphaeridium cantharellus	Gonyaulacales	Brosius, 1963 Gocht, 1969
**Homotryblium floripes	Gonyaulacales	Deflandre and Cookson, 1955 Stover, 1975 W
Impagidinium patulum	Gonyaulacales	Wall, 1967 Stover and Evitt, 1978 W
Lingulodinium polyedra	Gonyaulacales	Stein, 1883 Dodge, 1989
Nematosphaeropsis balcombiana	Gonyaulacales	Deflandre and Cookson, 1955
Operculodinium centrocarpum	Gonyaulacales	Deflandre and Cookson, 1955 Wall, 1967
Operculodinium israelianum	Gonyaulacales	Rossignol, 1962 Wall, 1967 W
Polysphaeridium zoharyi	Gonyaulacales	Rossignol, 1962 Bujak et al., 1980 W
Polysphaeridium zoharyi ktana	Gonyaulacales	Rossignol, 1964 Lentin and Williams, 1981
Spiniferites bulloideus	Gonyaulacales	Deflandre and Cookson, 1955 Sarjeant, 1970
Spiniferites mirabilis	Gonyaulacales	Rossignol, 1964 Sarjeant, 1970 W
Spiniferites pseudofurcatus	Gonyaulacales	Klumpp, 1953 Sarjeant, 1970
Spiniferites ramosus	Gonyaulacales	Ehrenberg, 1837 Mantell, 1854
Heterotrófi	ico, Peridinioide (	Williams et al., 2017)
Lejeunecysta cinctoria	Peridinales	Bujak in Bujak et al., 1980 Lentin and Williams, 1981
**Lejeunecysta hyalina	Peridinales	Gerlach, 1961 Artzner and Dörhöfer, 1978
Palaeocystodinium golzowense	Peridinales	Alberti, 1961

Figura 10. Listado de especies de quistes de dinoflagelados encontrados en la Secuencia Óptima Clasificada (Ranking Optimum Sequence: ROS).

Peridinales

Peridinales

Acritarch

Head et al., 1989a, 1989b

Benedek, 1972 W

Drugg and Loeblich Jr., 1967

Selenopemphix brevispinosa

Selenopemphix nephroides

Cyclopsiella elliptica

Marker Well	LO FO	Akaito-1	Chancha mito-1	Narvaez-4	Chac Mool-1	Sihini-1	Glomerosa-1
-	LO					640 Pleistocene (0.01- 1.77)	1800 Late Miocene (5.2- 10.2)
Impagidinium patulum	FO					2960 Middle Miocene (11.2-16.4)	3197.34 Early Miocene (>16)
	LO			1090 Pliocene	660 Late Plio – Pleisto (<3.5)	960 Early Plio (3.58 -5.32)	900 Early Pliocene (<5.2)
Spiniferites bulloideous	FO			2460 Middle Miocene	1380 Early Mioc – Pliocene	3045 Middle Miocene (11.2-16.4)	3260 Early Miocene (>16)
Nematosohaeronsis	LO			1045 Pliocene	1900 Late Pliocene	2120 Late Miocene (5.32 - 11.2)	
balcombiana	FO			2455 Middle Miocene	2003.7 Early Pliocene	3009.6 Early-Middle Miocene (11.2-23.8)	
	LO	525 Early Pliocene		290 Pliocene		520 Pleistocene	400 Early Pliocene (<5.2)
Lejeunecysta hyalina	FO	1765 Late Mio – Early Plio		2006.3 Middle Miocene		3006.4 Middle Miocene	3197.34 Early Miocene (>16)
Selenopemphix	LO			1220 Pliocene		1940 Late Miocene (5.32- 11.2)	500 Early Pliocene (<5.2)
brevispinosa	FO			2730 Middle Miocene		3960 Early Miocene - Middle Miocene (11.2- 23.8)	3197.34 Early Miocene (>16)
	LO		1400 Late Miocene – Pliocene				240 Early Pliocene (<5.2)
Cyclopsiella elliptica	FO		1920 Late Miocene				1800 Late Miocene (5.2- 10.2)
Spiniferites	LO					1040 Early Pliocene (3.58-5.32)	2848.8 Middle Miocene (10.2-16.2)
pseudofurcatus	FO					4730 Early Miocene (16.4-23.8)	3260 Early Miocene (>16)
	LO			1950 Late Miocene			2003.5 Late Miocene (<10.2)
Lejeunecysta cinctoria	FO			2455 Middle Miocene			2756.94 Middle Miocene (10.2 - 16.2)
Homotrublium floringe	LO			300 Pliocene			
nomou yonum nonpes	FO						
Palaeocystodinium	LO		1400 Late Miocene				1840 Late Miocene (10.2- 5.2)
golzowense	FO		2920 Middle Miocene				3197.34 Early Miocene (>16)
Cordosphaeridium	LO					3000 Middle Miocene (11.2-16.4)	
cantharellus	FO						

**Figura 11.** Listado de especies marcadoras con su primeras y últimas apariciones (First occurrence: FO, Last occurrence: LO) en 6 pozos al sur del Golfo de México (Profundidad en metros y edad en Millones de años)

### Anexo A-6.

	a con soc_caraa Browse Edit HASE Parameter File	
Û	Edit Parameters to run RASC	>
RAS		
Corr	Total Number of Wells  6  7 Unique Events (UE) or Marker Horizons (MH)	s: <u>S</u> ave
	Animum Number of Wells in which 2 I I Scaling Control	<u>Cancel</u>
RAS 3UE	Minimum Number of Wells in which 2 III Use CASC each Pair of Events should occur	
	Clear UE/MH Select	tions <u>D</u> ictionary
	# of UE 3 1 190 2 191 3 195 Select Unique Even	ents Select Marker Events
۰.		
	# COULT	

Figura 12. Parámetros de entrada, corrida final RASC (6/2/2)

NUMBER OF EVENTS = 32

#### STEP MODEL

THE STEPMODEL GIVES A PENALTY POINT FOR EACH POSITION AN EVENT RECORD IN A WELL IS OUT OF PLACE, RELATIVE TO THE EVENT ORDER IN THE (SCALED) OPTIMUM SEQUENCE.

NAME	NUMBER	WELL	NUMBER						
(OPTIMUM SEQUENCE)			_	_		_	_		
		1	2	3	4	5	6		
Polysphaeridium zoharyi LO	134	0.0		2.0	0.0	1.0	0.0		
Lingulodinium polyedrum LO	98	0.0		2.0	1.0	1.0	2.0		
Achomosphaera ramulifera LO	8			2.0			2.0		
Cyclopsiella elliptica LO	30		1.0			0.0			
Spiniferites ramosus LO	166			0.0	1.0	1.0	3.0		
Polysphaeridium zoharyi ktana LO	136			1.0	2.0		3.0		
Impagidinium patulum LO	78					2.0	0.0		
Selenopemphix nephroides LO	146			1.0		2.0	0.0		
Operculodinium centrocarpum LO	116		1.0	2.0	2.0	3.0	2.0		
Palaeocystodinium golzowense LO	124		0.0			0.0			
Operculodinium israelianum LO	120				2.0	1.0	1.0		
Spiniferites bulloideus LO	152			1.0	2.0		1.0		
Nematosphaeropsis balcombiana LO	104			1.0	1.0		2.0		
Lejeunecysta cinctoria LO	84			1.0		1.0			
Selenopemphix brevispinosa LO	142			1.0			2.0		
Spiniferites pseudofurcatus LO	164					1.0	2.0		
Lejeunecysta cinctoria FO	83			1.0		1.0			
Spiniferites mirabilis FO	161			1.0			2.0		
Impagidinium patulum FO	77					1.0	1.0		
Spiniferites bulloideus FO	151			1.0	1.0	4.0	1.0		
Nematosphaeropsis balcombiana FO	103			1.0	0.0		0.0		
Palaeocystodinium golzowense FO	123		0.0			2.0			
Polysphaeridium zoharyi ktana FO	135			0.0		3.0	1.0		
Selenopemphix brevispinosa FO	141			0.0		1.0	1.0		
Achomosphaera ramulifera FO	7			1.0			0.0		
Operculodinium israelianum FO	119				2.0		0.0		
Spiniferites pseudofurcatus FO	163					1.0	1.0		
Selenopemphix nephroides FO	145			1.0	3.0	3.0	1.0		
Lingulodinium polyedrum FO	97	0.0		3.0	2.0	1.0	1.0		
Operculodinium centrocarpum FO	115	0.0		1.0	2.0	1.0	1.0		
Polysphaeridium zoharyi FO	133	0.0		1.0	1.0	1.0	2.0		
Spiniferites ramosus FO	165			1.0	2.0		0.0		

KENDALL`S TAU =

1.00 0.67 0.90 0.80 0.86 0.91

NOTE: KENDALL'S TAU IS A RANK CORRELATION COEFFICIENT. LIKE THE ORDINARY (PEARSON'S) PRODUCT-MOMENT CORRELATION COEFFICIENT, TAU VARIES BETWEEN 0 FOR COMPLETE LACK OF CORRELATION AND +1 OR -1 FOR MAXIMUM POSITIVE OR NEGATIVE CORRELATION. TAU IS CALCULATED FROM THE PENALTY SCORES FOR EACH WELL AND EXPRESSES DEGREE OF CORRELATION WITH THE OPTIMUM SEQUENCE.

**Figura 13.** Resultado Modelo de pasos (Stepmodel): sin penalizaciones >6. Los valores son calculados por RASC mediante el uso del coeficiente de correlación de rangos de Kendall.

#### Anexo A-8.



Pozo Chac-Mool -1



Figura 14. Diagramas de dispersión Pozos sur Golfo de México: muestra las curvas cuadráticas de mejor ajuste. Formato original de salida del programa RASC20. Pozos Akaito-1, Chanchamito-1, Chac-Mool-1

#### Pozo Narváez-1

SN	х	Y	No	Event Name
1	0	2	134	Polysphaeridium zoharyi LO
2	1	1	98	Lingulodinium polyedrum LO
3	2	0	8	Achomosphaera ramulifera LO
4	4	3	166	Spiniferites ramosus LO
5	5	5	136	Polysphaeridium zoharyi ktana
6	7	6	146	Selenopemphix nephroides LO
7	8	4	116	Operculodinium centrocarpum LO
8	11	8	152	Spiniferites bulloideus LO
9	13	7	104	Nematosphaeropsis balcombiana
10	14	9	142	Selenopemphix brevispinosa LO
11	15	10	84	Lejeunecysta cinctoria LO
12	17	11	161	Spiniferites mirabilis FO
13	18	12	83	Lejeunecysta cinctoria FO
14	19	14	151	Spiniferites bulloideus FO
15	20	13	103	Nematosphaeropsis balcombiana
16	21	15	135	Polysphaeridium zoharyi ktana
17	23	16	141	Selenopemphix brevispinosa FO
18	24	18	7	Achomosphaera ramulifera FO
19	27	17	145	Selenopemphix nephroides FO
20	28	22	97	Lingulodinium polyedrum FO
21	29	19	115	Operculodinium centrocarpum FO
22	30	20	133	Polysphaeridium zoharyi FO
23	31	21	165	Spiniferites ramosus FO



#### Pozo Glomerosa-1

SN	х	Y	No	Event Name			
1	0	1	134	Polysphaeridium zoharvi LO			Scatter
2	1	0	98	Lingulodinium polvedrum LO			
3	3	2	30	Cyclopsiella elliptica LO			
4	4	4	166	Spiniferites ramosus LO			
5	6	6	78	Impagidinium patulum LO		5	• \
6	7	5	146	Selenopemphix nephroides LO	-		•
7	8	3	116	Operculodinium centrocarpum LO	ositior	1	
8	9	7	124	Palaeocystodinium golzowense LO	aple 1	0	
9	10	9	120	Operculodinium israelianum LO	re San		
10	12	11	164	Spiniferites pseudofurcatus LO	Relativ	1	
11	15	8	84	Lejeunecysta cinctoria LO		5-	
12	16	13	77	Impagidinium patulum FO			
13	18	10	83	Lejeunecysta cinctoria FO		İ	
14	19	17	151	Spiniferites bulloideus FO	2	0	
15	21	12	135	Polysphaeridium zoharyi ktana FO			
16	22	14	123	Palaeocystodinium golzowense FO		0	5
17	23	15	141	Selenopemphix brevispinosa FO			
18	26	16	163	Spiniferites pseudofurcatus FO			
19	27	21	145	Selenopemphix nephroides FO			
20	28	18	97	Lingulodinium polyedrum FO			
21	29	19	115	Operculodinium centrocarpum FO			
22	30	20	133	Polysphaeridium zoharvi FO			



Figura 15. Diagramas de dispersión Pozos sur Golfo de México: muestra las curvas cuadráticas de mejor ajuste. Formato original de salida del programa RASC20. Pozos Narváez-1 y Glomerosa-1

#### Pozo Sihini-1

SN	х	Y	No	Event Name	-											
1	0	0	134	Polysphaeridium zoharvi LO					Scattergra	m of Eve	nts in O	ptimum Sequ	ience versus	Well		
2	1	3	98	Lingulodinium polyedrum LO		0	•									SIHINI-1
3	2	4	8	Achomosphaera ramulifera LO												
4	4	2	166	Spiniferites ramosus LO		5	•		~							
5	5	1	136	Polysphaeridium zoharvi ktana LO												
6	6	5	78	Impagidinium patulum LO		.u			•	~						
7	7	6	146	Selenopemphix nephroides LO		Dosit Dosit					~	1				
8	8	9	116	Operculodinium centrocarpum LO		umple						<b>`</b> .				
9	10	7	120	Operculodinium israelianum LO		S 94, 15						•	<			
10	11	8	152	Spiniferites bulloideus LO		Relat								•		
11	12	10	164	Spiniferites pseudofurcatus LO									•••••	~		
12	13	12	104	Nematosphaeropsis balcombiana LO		20									<b>\.</b>	
13	14	11	142	Selenopemphix brevispinosa LO			+								• \	•
14	16	13	77	Impagidinium patulum FO		25									•••••	
15	17	15	161	Spiniferites mirabilis FO			L		•		•				+	
16	19	14	151	Spiniferites bulloideus FO			0	5		10 R	anked Opti	15 mum Sequence of	20 Events	25		30
17	20	16	103	Nematosphaeropsis balcombiana FO	1 4											
18	21	18	135	Polysphaeridium zoharyi ktana FO	1											
19	23	17	141	Selenopemphix brevispinosa FO	1											
20	24	19	7	Achomosphaera ramulifera FO	1											
21	25	20	119	Operculodinium israelianum FO												
22	26	22	163	Spiniferites pseudofurcatus FO												
23	27	21	145	Selenopemphix nephroides FO	1											
24	28	24	97	Lingulodinium polyedrum FO												
25	29	25	115	Operculodinium centrocarpum FO	1											
26	30	23	133	Polysphaeridium zoharyi FO	1											
27	31	26	165	Spiniferites ramosus FO	1											

Figura 16. Diagramas de dispersión Pozos sur Golfo de México: muestra las curvas cuadráticas de mejor ajuste. Formato original de salida del programa RASC20. Pozo Sihini-1