

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA
ESCUELA DE BIOLOGÍA



*Abundancia y distribución vertical de quistes de dinoflagelados
(Gonyaulacales y Peridinales) en sedimentos del golfo de Fonseca,
departamento de La Unión.*

TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO POR:
YANETH LISBEL ALVARADO CALLEJAS

PARA OPTAR AL GRADO DE:
LICENCIADA EN BIOLOGÍA

Asesor del trabajo de Investigación:
Lic. VIRNA ESTEFANIA MORAN RODAS

CIUDAD UNIVERSITARIA, SAN SALVADOR, MARZO DEL 2012

Contenido

| | |
|--|----|
| Índice de Tablas y Figuras..... | 3 |
| RESUMEN | 4 |
| I INTRODUCCION | 5 |
| II FUNDAMENTO TEORICO..... | 7 |
| 2.1 LOS DINOFLAGELADOS..... | 7 |
| 2.1.1 Ecología de los dinoflagelados | 7 |
| 2.1.2 Fisiología..... | 7 |
| 2.1.4 Distribución | 8 |
| 2.2 CICLO DE VIDA DE LOS DINOFLAGELADOS..... | 8 |
| 2.2.1 Quistes de dinoflagelados | 10 |
| 2.2.2 Principales características empleadas en identificación de quistes. | 12 |
| 2.3 RELACION ENTRE ABUNDANCIA DE QUISTES Y SEDIMENTOS | 13 |
| 2.4 ESTUDIOS POBLACIONALES DE QUISTES DE DINOFLAGELADOS..... | 14 |
| 2.5 MUESTREO DE DINOQUISTES EN SEDIMENTOS MARINOS..... | 17 |
| 2.5.1 Limpieza de las muestras de sedimentos..... | 19 |
| III METODOLOGIA | 20 |
| 3.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO..... | 20 |
| 3.3 METODOLOGÍA DE CAMPO..... | 22 |
| 3.4 METODOLOGÍA DE LABORATORIO..... | 23 |
| 3.4.1 Análisis de datos..... | 25 |
| 3.4.1 Granulometría de los sedimentos. | 27 |
| IV RESULTADOS | 28 |
| 4.1.2 COMPOSICION DE QUISTES..... | 28 |
| 4.1.3 ABUNDANCIA DE QUISTES | 28 |
| 4.2 DISTRIBUCIÓN VERTICAL DE QUISTES..... | 34 |
| 4.3 GRANULOMETRÍA DE LOS SEDIMENTOS..... | 36 |
| V DISCUSION..... | 40 |
| VI CONCLUSIONES | 44 |

| | | |
|-----------|-----------------------|-----------|
| VII | RECOMENDACIONES | 45 |
| VIII | BIBLIOGRAFIA..... | 46 |
| IX | Anexos | 54 |

Índice de Tablas y Figuras

| | |
|---|----|
| Tabla 1. Tabla de clasificación de sedimento por tamaño de grano..... | 27 |
| Figura 1. Ciclo de vida de una célula de dinoflagelado..... | 10 |
| Figura 2. Ubicación de la zona de muestreo en el oriente del país..... | 20 |
| Figura 3. Ubicación de los puntos de muestreo en el Golfo de Fonseca..... | 21 |
| Figura 4. Nucleador de tipo Uwitec utilizado para la campaña de muestreo..... | 22 |
| Figura 5. Extracción del núcleo sedimentario. Ejemplares de núcleos recolectados, Corte transversal de un núcleo de sedimento..... | 23 |
| Figura 6. Tamizado de muestras de sedimento, observación de muestra al microscopio invertido, Búsqueda y conteo de quiste de dinoflagelados..... | 24 |
| Figura 7. Pesado de sedimento para el estudio de granulometría..... | 27 |
| Figura 8. Quistes de dinoflagelados analizados en 15 núcleos sedimentarios | 29 |
| Figura 9. Mapa de abundancias de quistes de dinoflagelados en el Golfo de Fonseca..... | 30 |
| Figura 10. Quistes de <i>Pyrodinium bahamense</i> | 31 |
| Figura 11. Quistes Protoperidiales encontrados en la zona de muestreo..... | 32 |
| Figura 12. Quistes de dinoflagelados encontrados en la zona de muestreo..... | 33 |
| Figura 13. Distribución vertical de <i>Pyrodinium bahamense</i> en los 15 núcleos de sedimento recolectados del Golfo de Fonseca..... | 34 |
| Figura 14. Distribución vertical y abundancias de quistes de dinoflagelados..... | 35 |
| Figura 15. Porcentajes retenidos correspondientes a las arenas en los puntos GF01 y GF04..... | 37 |
| Figura 16. Porcentajes retenidos correspondientes a las arenas para los puntos GF05 y GF08..... | 38 |
| Figura 17. Porcentajes retenidos correspondientes a las arenas para el punto GF09..... | 39 |

RESUMEN

Entre los meses de marzo y agosto de 2012 se recolectaron 15 núcleos sedimentarios cercanos a las playas: La Criba, El Barquito y La Cueva en el extremo Sur del Golfo de Fonseca, departamento de La Unión, para el estudio de quistes de dinoflagelados. Se registró sus abundancias y distribución en los primeros diez centímetros de profundidad en todos los núcleos sedimentario; la técnica de recolecta y la técnica de limpieza de sedimentos se realizó siguiendo la metodología de Matzuoka y Fukuyo (2000). Se observó un total de 178 morfotipos de quistes Gonyaulacales y Peridinales pertenecientes a las familias Goniodomataceae, Protopteridiniaceae respectivamente. Las especies identificadas fueron: *Protopteridinium subinermis*, *Protopteridinium conicoides*, *Stelladinium robustum*, consideradas como especies abundantes; *Protopteridinium oblongum*, *Pyrodinium bahamense* y *Protopteridinium sp1*, consideradas como especies accesorias y *Stelladinium reidii* como especie accidental. Los núcleos con mayores registros contenían entre 31-40 quistes ml^{-1} , ubicados en la parte Este del sitio de muestreo. El estudio vertical determinó que la abundancia de quistes decaía a medida que aumenta la profundidad de estudio. La granulometría realizada a 5 núcleos de sedimento se caracterizó por la presencia de cuatro tipos de tamaños de grano, arenas de tipo Medias comprendidas entre 0.250- 0.180 mm, arenas Finas entre los 0.125- 0.090 mm y las arenas muy Finas comprendidas entre 0.063- 0.020 mm, por último las fracciones menores a 0.020 mm correspondientes a limos y arcillas. De estas fracciones la más abundante en la zona de estudio fue la de arenas finas, mientras que las más escasas corresponden a limos y arcillas. Se observó que, la abundancia de quistes disminuyó a medida aumentó la profundidad del sedimento estudiado.

I INTRODUCCION

Los dinoflagelados conforman un grupo muy diverso y abundante de organismos unicelulares dentro del fitoplancton, su presencia es indispensable para la productividad primaria en los océanos; son organismos protistas, característicos por su facultad de movimiento debido a dos flagelos incrustados en la célula (Pospelova et al. 2010).

Muchos dinoflagelados tienen singular importancia por ser productores de toxinas, como el caso de *Pyrodinium bahamense*, especie que ha alcanzado densidades de 10×10^5 células L^{-1} en sus proliferaciones, incluso en profundidades mayores a 20 metros (Usup et al. 2012). Autores como Lembeye (2004), Morquecho et al. (2008) y Hallegraeff et al. (2003) concuerdan que las proliferaciones en la región últimamente se están tornando cada vez más duraderas y están abarcando una mayor extensión territorial. En nuestro país en particular el género *Pyrodinium* representa un problema potencial para la salud pública y para la economía principalmente en la zona costera que dependen en gran medida de la comercialización de productos marinos de consumo; se suma también el poco conocimiento de la presencia o experiencias en proliferaciones de la especie (Espinoza et al. 2012).

En los monitoreos realizados por el Laboratorio de Toxinas Marinas (LABTOX-UES) en la costa salvadoreña se indica la presencia de especies tóxicas y nocivas de dinoflagelados, entre las cuales destacan *Pyrodinium bahamense* var. *Compressum*, *Gymnodinium catenatum* y especies del género *Alexandrium*, las cuales a su vez comparte la capacidad de producir toxinas paralizantes y la formación de quistes de resistencia (Espinoza y Mendoza 2010).

A partir del incremento de las proliferaciones se ha documentado que en condiciones ambientales adversas entre 13% y 16% de los dinoflagelados recientes producen un tipo de célula de resistencia conocida como quistes, los cuales muchas veces son sedimentados en los fondos marinos (Price y Pospelova 2011). En el fondo marino estos quistes entran en un periodo de dormancia, que les permite permanecer viables en el tiempo y ante condiciones adversas en espera de ser resuspendidos e integrarse nuevamente a la columna de agua (Anderson et al. 2003). El estudio de las poblaciones de quistes de dinoflagelados tóxicos y nocivos son primordiales en regiones que comúnmente son afectadas por sus proliferaciones microalgales (Lembeye 2004).

En el presente trabajo se estudió la población de quistes de dinoflagelados en sedimentos marinos del golfo de Fonseca, mediante el registro de sus frecuencias. Además se determinó el tamaño de grano donde fueron observados los quistes reportados. Se ilustró cómo estos están distribuidos en las distintas fracciones del sedimento. Para ello se realizaron tres muestreos en marzo y agosto del 2012, donde se recolectaron 15 núcleos de sedimento que fueron trasladados al Laboratorio de Toxinas Marinas de la Universidad de EL Salvador. En el laboratorio se preparó las muestras de sedimento con diversos lavados y tamizados hasta que se obtuvo un sedimento limpio para la observación al microscopio y su posterior registro de especies presentes en la muestra.

II FUNDAMENTO TEORICO

2.1 LOS DINOFLAGELADOS

2.1.1 Ecología de los dinoflagelados

Los dinoflagelados son un grupo de microorganismos unicelulares eucariontes pertenecientes al grupo de los protistas característicos por ser nadadores libres y conforman uno de los mayores grupos del micro plancton en los mares y cuerpos de agua dulce (Hasle y Tomas 1996). Actualmente se han identificado cerca de 2000 especies de dinoflagelados de los cuales se conoce un aproximado de 60 especies productoras de toxinas; Se reproducen asexualmente por fisión binaria y sexualmente al formar quistes de resistencia (Spector 1984).

2.1.2 Fisiología

Los dinoflagelados son especies autótrofas con capacidad de fotosintetizar, contienen clorofila a y c, y pigmentos rojos-anaranjados. En su pared presentan una cobertura denominada teca. Su núcleo celular y la presencia de dos flagelos incrustados entre las placas son una de las principales características que los diferencia de otros grupos de algas. La pared celular o teca puede ser lisa o relativamente ornamentada como en *Gymnodinium* o puede tener placas compuestas de polisacáridos formando bordes o espinas, como en el género *Pyrodinium* (Hasle y Tomas 1996).

Algunos dinoflagelados producen durante su ciclo de vida dos tipos de células no móviles denominadas quistes temporales y quistes de resistencia. Los quistes de resistencia pueden sobrevivir en condiciones ambientales extremas y mantenerse quiescentes durante cierto periodo de tiempo, así desempeñan un importante papel ecológico como fuente de inóculo de floraciones recurrentes de dinoflagelados; contribuyen también con la distribución de las especies, la formación de quistes de resistencia se da por medio de reproducción sexual lo que directamente contribuye con la recombinación genética de las especies (Matzuoka y Fukuyo 2000).

2.1.4 Distribución

Las especies de dinoflagelados están adaptadas a gran variedad de hábitat: desde el bentos hasta la zona pelágica, desde los mares tropicales hasta zonas templadas; se han adaptado a diversos ámbitos de salinidad. Pueden sobrevivir en el plancton, en los sedimentos marinos, corales o superficies de macro algas. Seguido de las diatomeas, los dinoflagelados son los organismos más comunes del fitoplancton marino en ambientes costeros, con mayor abundancia en aguas oceánicas, más frecuentes y diversos en aguas cálidas; por lo que se considera un grupo exitoso de microorganismos (Hallegraeff 2003, Sluijs et al. 2005, Boxshall 2006).

La presencia de algunas especies de dinoflagelados en zonas costeras es de singular importancia, ya que en condiciones ambientales favorables, sus tasas de crecimiento poblacional son tan altas que desarrollan elevadas densidades que varían de unos 5 a 20 mil células L⁻¹ dependiendo de la especie, llegando a producir un fenómeno llamado florecimiento o “mareas rojas” (Garate et al. 2007). Pescadores artesanales y gente que vive de la extracción y comercialización de ostras se ven vulnerables en situaciones de proliferaciones tóxicas las cuales causa mortandades de peces y aves, afectándose toda actividad económica y recreativa que se desarrolla en la zona donde se presenta el fenómeno.

Aun se sigue investigando sobre las condiciones ambientales que inician las proliferaciones de dinoflagelados, pero por su observación se sabe que estas son más comunes en las cálidas aguas y en épocas secas. Hoy en día se ha considerado que la contaminación costera por actividades humanas contribuye con la formación de mareas rojas, al aportar grandes cantidades de nutrientes a los cuerpos de agua mediante vertidos y desechos (Solomon et al. 2001).

2.2 CICLO DE VIDA DE LOS DINOFLAGELADOS

Muchas especies de fitoplancton marino son capaces de producir esporas de reposo o de resistencia durante su ciclo de vida; la alternancia entre un estado de reposo en el bentos y un estado vegetativo en la columna de agua es un proceso complejo que es considerado en las investigaciones para entender la dinámica de las floraciones algales (Anderson et al. 2003).

El ciclo de vida por lo general contiene una fase asexual en la que una célula puede dividirse por fisión binaria dando origen a dos células similares, y tienen además una fase sexual en la que dos gametos se fusionan para formar cigotos $2N$ los que posteriormente producirán células $1N$ (Steidinger et al. 1996, Matzuoka y Fukuyo 2000)

Fase Asexual o Fase Vegetativa.

Es la fase más conocida para las especies que se originan por medio de repetitivas divisiones asexuales. En esta fase las células son nadadoras libres con capacidad de adaptarse a variedad de hábitats, su distribución se da mayormente en el ambiente pelágico. Durante esta fase la célula está envuelta por una estructura celulósica llamada teca (teca) o puede estar desnuda (atecada); su capacidad de movimiento se da por medio de dos flagelos incrustados de forma desigual (Faust y Gullledge 2002).

Fase Sexual

Una vez ocurrida la conjugación de gametos, el cigoto toma la apariencia de una célula vegetativa normal con muestras de haber tenido dos flagelos. Este puede alargarse en un periodo de tiempo de unos días o unas semanas. A este estadio se le conoce como planocigoto. Para el caso de los dinoflagelados tecados la pared continúa engrosando dándole a la célula una apariencia verrugosa. Una vez que la célula crece y engrosa tiende a perder movilidad, el protoplasma se contrae y da lugar al apareamiento de un “acumulo rojo” en el interior como estructura de almacenamiento; al cigoto ya sedimentado se le conoce como hypnocigoto.

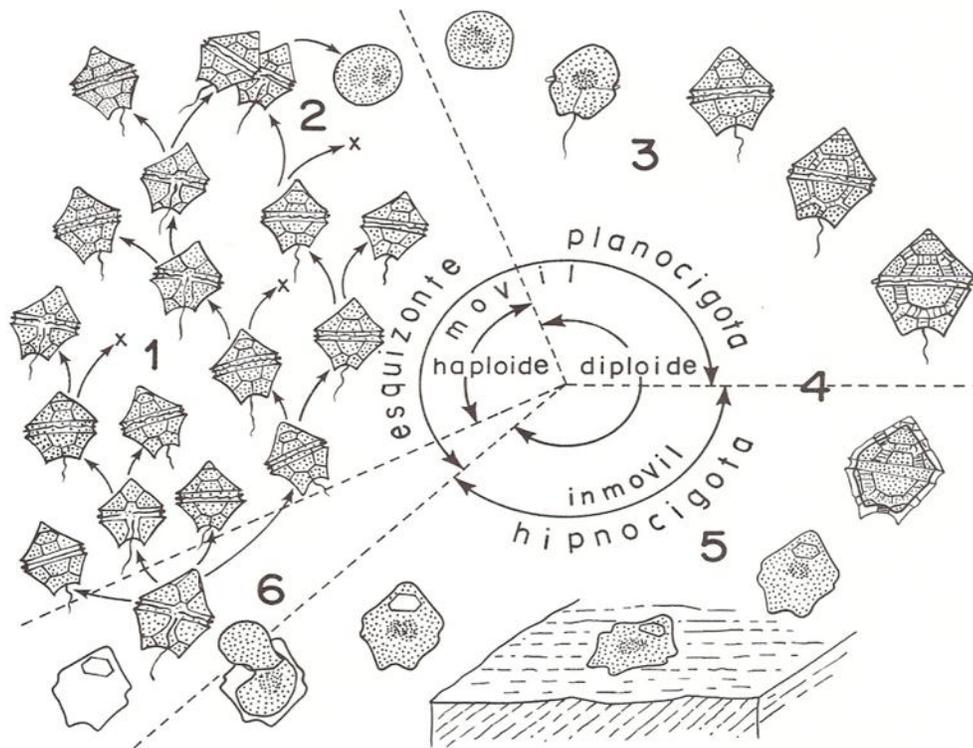


Figura 1. Ciclo de vida de una célula de dinoflagelado. 1 Células vegetativas, 2 Fusión de gametos en la columna de agua, 3 Formación del cigoto, 4 Estado de planocigoto, 5 Formación del hipnocigoto y sedimentación, 6 Germinación del quiste de resistencia (Fensome 1993).

2.2.1 Quistes de dinoflagelados

De las 2000 especies de dinoflagelados registrados aproximadamente 80 especies se conocen que son productoras de quistes de resistencia, consideradas como cigotos (Fukuyo y Taylor 1989, Dale 2001).

El enquistamiento ocurre cuando se presentan condiciones ambientales adversas, durante las cuales el quiste se desarrolla dentro de la teca permaneciendo en estado de dormancia hasta que las condiciones son favorables (Matzuoka y Fukuyo 2000). Dicho proceso se da por la fusión sexual de gametos que da origen a un Planocigoto nadador que permanece en el plancton por varios días hasta que logra hundirse y sedimentarse convirtiéndose en una célula inmóvil o Hypnocigoto (Anderson et al. 2003).

Durante las primeras etapas de formación el planocigoto pierde movilidad y se asienta en el fondo marino, la pared del quiste puede dar mayor consistencia y dependiendo de la especie se separa en capas. El citoplasma se acumula en glóbulos periféricos de lípidos y en algunos casos se forma una gota central amarillo-rojiza. Adquiere su pigmentación o la pierde según la especie; la membrana plasmática se separa de la pared y ocurrido esto inicia la maduración del quiste (Dale 2001).

Los quistes de resistencia pueden sobrevivir en condiciones ambientales extremas y mantenerse en dormancia durante determinados periodos de tiempo lo que posibilita su posterior germinación de forma más o menos sincronizada, en respuesta a las condiciones ambientales. Desempeñando así un importante papel ecológico como fuente de inóculo de floraciones recurrentes de dinoflagelados. Su formación además ayuda a su distribución geográfica, a mantener estables las poblaciones de células vegetativas en el plancton, supervivencia y a la recombinación genética cuando la sexualidad está presente en su formación (Matzuoka y Fukuyo 2000, Anderson et al. 2003).

Los quistes parecen requerir un periodo obligatorio de latencia (entre 2 semanas y 5 meses según la especie) antes de ser capaces de restablecer una población móvil en condiciones favorables. Se conoce que aún en estos estadios logran concentrar ciertos niveles de toxinas variando su contenido y acumulación de acuerdo al crecimiento y a las condiciones ambientales en las que se desarrollan (Usup et al. 1994).

Una característica que les confiere su alto grado de resistencia es la pared celular, la cual está formada de un complejo de moléculas orgánicas llamado Dinosporina que es similar a la esporolenina en los granos de polen, otros quistes poseen cristales de calcita, mientras que unos pocos encontrados como fósiles son silíceos, siendo extremadamente resistentes a los ataques con ácidos fuertes concentrados (Dale 2001). Los resultados de Ichimi y Montani (2001) han demostrado que los quistes pueden resistir y sobrevivir en bolitas fecales después de la ingestión por sus depredadores y que aun así logran conservar la capacidad de germinar posteriormente.

2.2.2 Principales características empleadas en identificación de quistes.

Las principales características utilizadas en la actualidad para la identificación de quistes de dinoflagelados están comprendidas en la “Guía técnica para el estudio de quistes de dinoflagelados actuales” de Matzuoka y Fukuyo (2000). Sin duda alguna es imprescindible mencionar que se debe de emplear la mayor combinación de dichas características para una identificación precisa.

- **Morfología del cuerpo del quiste.**

Los quistes se clasifican en tres grupos principales basados en la posición del quiste formado en el planozigoto.

Quistes Proximales: se forman directamente debajo de la teca del planozigoto, y ocupan un volumen equivalente a la mitad o a un tercio del volumen del cigoto. La forma del quiste varía entre esférica y peridinoide (forma ovalada), y a veces presentan algunas proyecciones en la superficie.

Quistes Distales: se caracterizan por poseer varias clases de ornamentos que parten de la superficie del quiste. Por lo general la forma del cuerpo es esférica, subesférica u ovalada.

Quistes Excavados: en la mayor parte de los casos el quiste posee dos paredes, claramente separadas, entre el quiste y las paredes se encuentra una cavidad bien definida. Durante la maduración del planocigoto a hipnocigoto, el cuerpo del quiste es reducido casi a una quinta parte de su volumen.

- **Estructura y color de la pared.**

La pared de los quistes actuales consiste en una, dos o tres capas, con formas, colores y ornamentaciones muy diversas. Es integrada por diversos compuestos naturales como moléculas orgánicas y moléculas inorgánicas, cada una de las características antes mencionadas varían dependiendo de la especie enquistada. Entre las paredes de algunos quistes se reconocen el autofragma, perifragma, mesofragma y endofragma.

El color de la pared del quiste es también variable, la mayoría de ocasiones es transparente, amarillo pálido, marrón pálido, marrón o marrón oscuro.

Los vacíos no mineralizados en las paredes de los quistes les conceden varios grados de resistencia. En algunas especies esto es suficiente para resistir a la fosilización, mientras que otras especies no parecen persistir en la superficie del sedimento y proceden a degradarse poco antes de su desenquistamiento (Dale 2001).

- **Morfología de la ornamentación superficial.**

Para la descripción de los ornamentos de la superficie del quiste se adopta la terminología empleada para los granos de polen y esporas.

- **Arqueopilo.**

El arqueopilo se conoce como una abertura formada en la pared de la célula durante la fase de germinación. Entre los distintos tipos se mencionan apical, intercalar, precingular, hipoquistico, y combinaciones de esta serie

Se han propuesto unos términos descriptivos nuevos para el arqueopilo de los quistes de dinoflagelados actuales (ya sean desnudos o tecados), estos se dividen en arqueopilos: *saphopilicos*, *theropilicos* y *cryptopilicos*.

2.3 RELACION ENTRE ABUNDANCIA DE QUISTES Y SEDIMENTOS

En el océano confluyen un gran número de factores que limitan o promueven los procesos de sedimentación, entre ellos, los factores biológicos como abundancia de organismos, producción primaria, tamaño y patrones de distribución de organismos; factores físicos como la topografía del piso marino, pendiente de fondo, tamaño de la cuenca, ríos adyacentes, profundidad, circulación oceánica entre otros. Influyen además factores químicos como oxígeno disuelto, pH, salinidad.

Los quistes de resistencia están principalmente distribuidos en la superficie de los sedimentos, su concentración incrementa en sedimentos fangosos o limosos que contienen materia orgánica. Sin embargo, las variaciones observadas en la distribución de los quistes de resistencia y su densidad pueden ser vinculadas a la capacidad de enquistamiento de cada especie planctónica, al transporte de estos microorganismos y además a la sedimentación marina propia de la zona que se considera un factor muy importante en estos estudios (Garcés et al. 2004).

Investigaciones realizadas por Blanco (1988), demuestran que los quistes o al menos buena parte de ellos se comportan como partículas sedimentarias finas y son fácilmente acumulados en los ambientes sedimentarios donde se han formado. Así pues las especies con quistes resistentes utilizan esta capacidad para servir como inóculo permanente para la columna de agua ya que estos pueden permanecer viables en el sedimento desde unos meses hasta incluso 10 años en condiciones desfavorables (Hallegraeff et al. 2003).

Otro factor que se ha tomado mucho en consideración para la estimación de las abundancias de quistes de resistencia es la hidrografía de la zona en estudio; los patrones de circulación costera y oceánica tienen una gran influencia en la creación de zonas de acumulación de estos microorganismos en los sedimentos. Por lo que indican la necesidad de conocer además las características hidrográficas de la zona donde se estudie la población de quistes (Tyler et al. 1982, Matzuoka y Fukuyo 2004). De igual forma Rochon y Marret (2004) indican que la acumulación de quistes tiene relación directa con la temperatura, salinidad, corrientes, mareas e incluso con las zonas de surgencias.

2.4 ESTUDIOS POBLACIONALES DE QUISTES DE DINOFLAGELADOS

Las investigaciones sobre quistes en las regiones tropicales son escasas. Uno de los estudios clave ha sido el de Vázquez et al. (2008) en el Golfo de Tehuantepec donde documentaron principalmente quistes de *P. bahamense*, *Bitectatodinium spongium* y *Brigantedinium spp*, registrando abundancias entre 68 y 494 quistes cm^{-3} dicho golfo es caracterizado por ser zona de afloramiento y alta productividad primaria dada por el efecto de los vientos.

Morquecho y Lechuga (2003), estudiaron la abundancia y composición de quistes en 12 sitios en Bahía Concepción en el Golfo de California (región subtropical). Identificaron 25 especies entre ellos quistes calcáreos peridinales (30-70%) y orgánicos gonyaulacales (13-44%) representados por *Scrippsiella trochoidea* y *Lingulodinium polyedrum* en su mayoría; contabilizaron entre 173 y 9,933 quistes g⁻¹ en sedimento húmedo. En este estudio se registraron las máximas abundancias en las partes más cercanas a la bahía, este hecho junto con los patrones de distribución, llevaron a la conclusión de que la bahía actúa como una trampa de sedimentos.

Morquecho et al. (2009) registró la presencia de quistes también en la Bahía Concepción, Baja California, en el cual no se cuantificó las poblaciones, si no que se describió detalladamente la relación entre la formación de quiste y sus tecas específicamente para especies de los grupos Peridinales y Gonyaulacales.

Peña et al. (2005) observaron células planctónicas móviles, quistes temporales con paredes de celulosa, y quistes de resistencia con paredes de dinosporina, también en la Bahía de Todos Santos. Su estudio abordo dos floraciones de dinoflagelados durante la primavera y el verano del 2000, a partir de los fenómenos se observó el momento de la producción de quistes temporales entre estas floraciones y también en el verano, mientras que los quistes de resistencia aparecieron durante el otoño y el invierno anterior. Los quistes de resistencia aparecieron en condiciones más frías, mientras que los quistes temporales fueron producidos dentro de una estrecha ventana térmica y bajo agotamiento de los nutrientes. Los quistes de resistencia estaban concentrados en áreas discretas a profundidades menores a 25 m, y se asocian con los sedimentos que van desde el limo hasta arenas finas. Las principales especies encontradas fueron *Lyngulodinium Polyedrum* (53%), *Protoperidinium leonis* (16%) y *Protoperidinium sp.* (12%).

Debido a la abundancia de quistes de *Lyngulodinium polyedrum* más de 200 quistes por 10g de sedimento húmedo en las aguas costeras asociados a los sedimentos de granos finos, la Bahía de Todos los Santos es considerada por los autores del estudio como una fuente de proliferaciones de dicha especie.

Martínez (2011) realizó un estudio comparativo de las poblaciones de quistes de *Pyrodinium bahamense* recolectados en las costas de Baja California, Sonora Sinaloa y Oaxaca,

en esta investigación no se registraron abundancias para ninguna de las localidades. Especie que en otras latitudes ha registrado elevadas concentraciones como lo indica Mizushima et al. (2007) en las bahías de Ambon y Hurun en Indonesia, con abundancias de 2,124 - 3,477 quistes g^{-1} y de 282 quistes g^{-1} para las respectivas bahías. Encontrados en sedimentos donde abundan limos; las tasas de sedimentación en las bahías indicaron su presencia desde 1850, sin embargo las mayores densidades coinciden con aumento las actividades antropogénicas en las bahías para los años 1960.

El quiste de *Pyrodinium bahamense* fue registrado por Morquecho et al. (2012) en el Golfo de California en las islas de San José, Yavaros, y El Colorado recolectados en 2006 y 2008, donde la etapa vegetativa alcanzó máximos de 63, 108 y 151 ($\times 10^3$ células L^{-1}), respectivamente. En San José, la producción de quistes de la especie se dio en abundancias de $9,7 \times 10^3 g^{-1}$. Se consideró que las temperaturas (20 y 35 °C) de las islas es un factor clave para el desarrollo y formación de proliferaciones. Vásquez et al. (2008) También registró la presencia del quistes de *P. bahamense* en conjunto con *Bitectatodinium spongium* y *Brigantedinium spp*) en el Golfo de Tehuantepec con abundancias entre 68 y 494 quistes cm^{-3} .

En la región Sur de nuestro continente Lembeye (2004) identificó 9 especies de quistes pertenecientes a los géneros *Protoperidinium*, *Protoceratium*, *Scrippsiella*, *Polykrikos* y *Alexandrium*. Las menores abundancias fueron de 3 quistes ml^{-1} mientras que las mayores sobrepasaron los 100 quistes ml^{-1} , añadiendo que el tipo de sedimentos que persistió en las muestras se caracterizó por la predominancia de limos y arcillas.

Seguel et al. (2001), estudiaron la toxicidad de la especie *Alexandrium catenella* observada en 3 de 13 puntos muestreados en la XI región Sur austral de Chile, los quistes de dicha especie se contabilizaron con máximos en el estero Quitralco (16,6 quistes cm^3 y 36,8 quistes cm^3), y los mínimos conteos en punta Cubillos (6,4 quistes cm^3) e isla Garrao (4,3 quistes cm^3). En este estudio, las mayores concentraciones de quistes se observaron en sedimentos con bajo contenido de materia orgánica (4,61%) y un porcentaje similar de grava, arena y fango.

En el 2010 Seguel y Sfeir estudiaron los quistes de *Alexandrium catenella* en el Sur de Chile, identificándolo en ocho estaciones (bahía Tictoc, bahía Melinka, isla Izaza, isla Kent, estero Dublé Norte, punta Quilán, estero Goñi), con un valor máximo de 221,3 quiste cm^{-3} en

bahía Tictoc, valor que supera a todos los registros realizados en la región. En el resto de las estaciones, la concentración de quistes fue menor a 11 quistes cm^{-3} . También se estudió el quistes de *Protoceratium reticulatum* el cual tuvo una distribución geográfica más amplia. El valor más alto correspondió a 77,3 quistes cm^{-3} en la isla James.

2.5 MUESTREO DE DINOQUISTES EN SEDIMENTOS MARINOS.

Para el estudio de poblaciones de dinoquistes Hallegraeff et al. (2003) recomiendan recolectar entre los 6 y 10 centímetros superficiales del sedimento, el cual corresponde a la zona oxigenada ya que la presencia de oxígeno es factor que determina la viabilidad y germinación en los quistes de resistencia.

En la actualidad para la recolección de las muestras de sedimentos se utilizan dos métodos: **la sonda de tubo saca testigos** (nucleador) y **la trampa de sedimentos**. El método de muestreo en todo caso se selecciona de acuerdo con los objetivos de estudio y a los alcances de la investigación. El método de la trampa de sedimentos es el que se debe aplicar si lo que se busca es averiguar cuándo y cuántos quistes se producen de cierta especie en determinada región (Matzuoka y Fukuyo 2000).

El método de la trampa de sedimentos está diseñado para capturar los quistes que están hundiéndose en la columna de agua antes que se depositen en el fondo marino, y para obtener información sobre la comunidad planctónica reflejada en la comunidad de quistes recogida en la trampa. Este método no se recomienda para análisis cuantitativos porque aún no existe ningún diseño estándar ampliamente aceptado de trampa de sedimento, ni de los protocolos de sedimentación; por lo que su forma y posición en la columna de agua darán lugar a diferencias cuantitativas en la presencia de quistes (Hallegraeff et al. 2003).

Si por el contrario se pretende documentar la presencia de ciertas especies o las variaciones de comunidades de quistes en determinadas regiones, es preferible el método de **la sonda saca testigos** (Matzuoka y Fukuyo 2000).

Este método permite la extracción de núcleos de sedimento con el registro de acumulación sedimentaria que se da en los océanos, donde por lo general las muestras contienen una mezcla de barros, arenas y hasta restos de organismos vivos y sedimentados. A partir de este tipo de muestras es necesario aplicar tratamientos de limpieza y concentrados para aislar los quistes del sedimento bruto.

Una vez seleccionado y ajustado el método de recolecta de sedimentos, las muestras se preparan para obtener una diversidad de información mediante su análisis; en este sentido se pueden observar algunos estudios sobre los cambios ambientales en Japón (Matzuoka y Shin 2010) basados en las acumulaciones de quistes de dinoflagelados en sedimentos, donde se utilizaron dos núcleos de casi dos metros de profundidad. Otro ejemplo es el de Morquecho et al. (2009) quienes recolectaron dos núcleos sedimentarios por un periodo de dos años para estudiar las relaciones entre los quistes y sus respectivas tecas en el golfo de California.

Los quistes de dinoflagelados sedimentados se han utilizado también como indicadores de cambios en las condiciones climáticas y oceanográficas en los últimos cuarenta mil años en la cuenca de Santa Bárbara, al Sur de California por Pospelova et al. (2006). Por otro lado en el Sur de África se opta por tomar un determinado número de núcleos por medio de transeptos en la zona de estudio y medir parámetros oceanográficos para asociarlos a la producción de quistes (Joyce y Pitcher 2004).

Otro estudio realizado en la bahía Buzzards (Massachusetts, EE.UU.) reveló la posible aplicabilidad de los quistes de dinoflagelados como indicadores biológicos de las condiciones ambientales en sistemas de estuarios. A partir de la colecta de 19 muestras superficiales se observó que los sitios con los más altos niveles de contaminación tóxica y las condiciones hipertróficas son caracterizados por la baja riqueza de especies de quiste seguido de una baja en cuanto a sus concentraciones (Pospelova et al. 2005).

2.5.1 Limpieza de las muestras de sedimentos

Las técnicas de limpieza de sedimentos para el estudio de los quistes se están tornando cada vez más elaboradas entre los distintos investigadores; a tal punto que la estrategia de muestreo muchas veces se va desplazando hacia un segundo plano (Genovesi et al. 2007). Se puede ver como la profundidad a la cual se recolectan los quistes de dinoflagelados en los sedimentos varía entre las investigaciones, Ichinomiya et al. (2004) se limitó a estudiar los 2cm superficiales, mientras que Genovesi et al. (2007) estudio hasta 3cm; sin embargo ambas investigaciones siguieron la misma técnica de limpieza en las muestras, aplicar un baño ultrasónico, seguido de filtrados consecutivos con tamices de diferentes medida de poro según las especies de interés.

Para la limpieza de los sedimentos, la técnica de tamizado es la base y el punto de partida para los diferentes investigadores (Anderson et al. 1987). En la actualidad esta técnica se ha combinado con baños ultrasónicos (Lembeye 2004), con métodos radiométricos (Pospelova et al. 2001) con técnicas palinológicas y de centrifugación en gradientes de densidad (Genovesi et al. 2007), hasta con arreglos a la excitación de luz azul mediante técnicas microscópicas avanzadas (Ichinomiya et al. 2004). Todas estas con el único fin de obtener un sedimento más limpio y a su vez lograr la mayor concentración de quistes.

III METODOLOGIA

3.1 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El Golfo de Fonseca está ubicado entre las coordenadas 13° 15' N y 87° 45' O, limita al noroeste con El Salvador, al noroeste y este con Honduras y al Sur con Nicaragua, cubre un área de 8,245 km², e incluye un área acuática de 2,015 Km² y una línea de costa de 409 Km (Herrera 2001).

Desde el punto de vista marino, en el Golfo de Fonseca se pueden identificar 4 ecosistemas: las islas e islotes; las aguas interiores del estuario; los humedales y sus playones; y las playas. Se ha logrado conocer la existencia de nueve hábitats costeros de los cuales se mencionan: Litoral rocoso continental e insular, Litoral arenoso continental e insular y el Litoral lodoso y lodoso-gravoso continental e insular (Guierloff Endem 1964).



Figura 2. Ubicación de la zona de muestreo en el oriente del país. Base de datos Arc Gis 7.8.

Durante la estación seca, el intercambio de agua en la entrada del Golfo sugiere una circulación del estuario inverso aumentando su salinidad hacia los afluentes del sistema y para luego disminuir dentro de esos afluentes debido a la persistente influencia de agua dulce. En

contraste, durante la temporada de lluvias, se da una disminución de la salinidad en el estuario, y la circulación se asemeja a la de un estuario típico, activado principalmente por el efecto de las mareas (Valle y Bosley 2003).

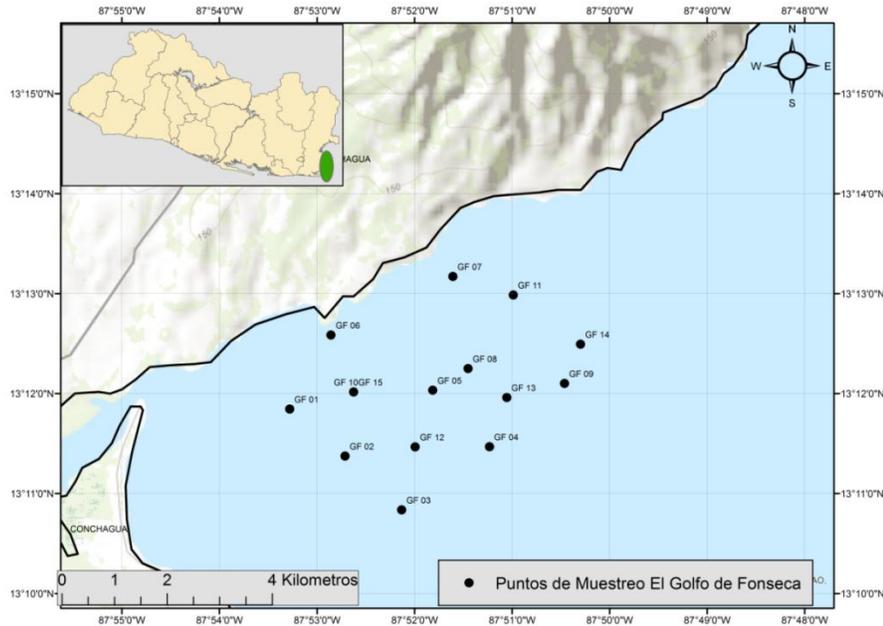


Figura 3. Ubicación y distribución de puntos de muestreo en el Golfo de Fonseca. Base de datos ArcMap 10.1.

La zona está regida por un sistema de lomas y volcanes, siendo el volcán de Conchagua la principal zona de recarga acuífera que abastece a más de 80,000 habitantes. El bosque es de tipo subtropical y es caracterizado por presentar Latosoles Arcillosos Rojizos y Litosoles, los que cubren un 53% del total de los suelos en el departamento de La Unión.

Los puntos de muestreo en la parte Sur del golfo fueron ubicados en los primeros 4 kilómetros de la línea de costa, y ubicados entre las playas: La criba, El Barquito y La Cueva, en sitios donde las profundidades tienen un promedio de 10 metros. Se estableció una grilla de 15 puntos con una distancia de 1.5 Km aproximadamente entre cada uno (Ver figura 3).

3.3 METODOLOGÍA DE CAMPO

Entre los criterios para selección de la zona de estudio se incluyó que estuviera alejada de la influencia de la corriente del canal de entrada y salida, que hubiera poca perturbación causada por redes de arrastre camaroneras, que fuera además una zona somera y que fuera también un sitio donde anteriormente se han desarrollados episodios tóxicos de floraciones microalgales.

El trabajo de campo se realizó entre marzo y agosto del año 2012, el primer viaje se realizó el 21 de marzo en él se recolectaron 4 núcleos de sedimentos, el segundo viaje se hizo el 9 de mayo recolectando 6 núcleos y el último viaje de campo se hizo el 12 de agosto donde se recolectaron 5; haciendo un total de 15 núcleos de sedimento húmedo.



Figura 4. Nucleador de tipo Uwitec utilizado para la campaña de muestreo de sedimentos.

Para la recolecta de muestras y el traslado del equipo de trabajo hacia las zonas de muestreo se utilizó una lancha con motor fuera de borda de 60 HP. Todas las visitas de campo se realizaron entre las 6:00 am y las 2:00 pm; también se contó con la colaboración de lugareños para la extracción de los núcleos de sedimento. Los puntos muestreados fueron georeferenciados con un geoposicionador GPS Garmin *map76CSx* y los datos obtenidos se ordenaron en una base de datos Microsoft Excel 2007.

La fase de recolecta de sedimentos se realizó siguiendo la metodología propuesta en la “*Guía técnica para el estudio de quistes de dinoflagelados actuales*” de Matzuoka y Fukuyo (2000), la cual recomienda la recolección de núcleos en sedimentos superficiales con un equipo

nucleador sacatestigos tipo Uwitec, el cual garantiza un perfil vertical de la muestra. Se evitó la introducción de oxígeno al tapar el núcleo inmediatamente fueran extraídos (Blanco 1988, Dale 2001, Lembeye 2004).

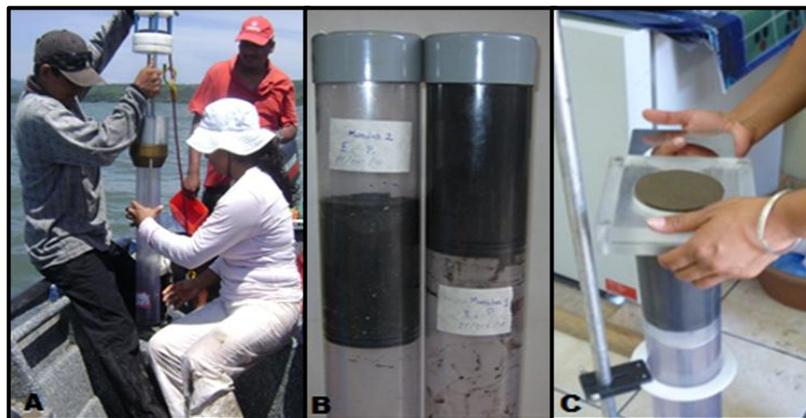


Figura 5. A) Preparación del equipo para la extracción del núcleo sedimentario. B) ejemplares de núcleos recolectados, C) corte transversal de un núcleo de sedimento.

Los núcleos recolectados se trasladaron para su análisis al Laboratorio de Toxinas Marinas de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática de la Universidad de El Salvador; evitando movimientos oscilatorios para evitar perturbación de la superficie del núcleo sedimentario, con el propósito de no modificar el perfil vertical de la muestra (¹Carolina Ruíz Com. Per.)

3.4 METODOLOGÍA DE LABORATORIO

Para el estudio de poblaciones de quistes se utilizó los 10 cm superficiales del núcleo sedimentario, por ser considerada la zona más oxigenada (Hallegraeff et al. 2005), donde los quistes aún se encuentran viables y con probabilidades de germinar. Se consideró de vital importancia conservar el núcleo en una posición vertical e intacta desde su extracción, traslado y almacenamiento antes del corte o seccionado.

¹Carolina Ruiz Instituto de Ciencias del Mar y Limnología UNAM, 2011.



Figura 6. A) Tamizado de muestras de sedimento, B) observación de muestra al microscopio invertido, C) Búsqueda y conteo de quiste de dinoflagelados.

A cada uno de los núcleos se marcó los primeros 10 cm de profundidad, seguidamente se realizaron 5 cortes transversales de 2 cm de espesor, para ello se utilizó un equipo de corte adicional del nucleador.

Cada corte de 2 cm se homogenizó para tomar una submuestra de 10g de sedimento, y posteriormente se le adicionó 50 ml de agua destilada y se sometió por tres minutos a un baño ultrasónico para facilitar la disgregación del sedimento; posteriormente la muestra se sometió a una serie de lavados y tamizados, de acuerdo en la técnica de Matzuoka y Fukuyo (2000) con propósito de separar fracciones de tamaño de grano no correspondientes a quistes. El sedimento se hizo pasar por dos tamices Retsch de abertura de maya de 125 y 20 μm , utilizándose para ello un aproximado de 800 ml de agua destilada. Luego del tamizado se recuperó el sedimento más fino retenido en el tamiz de 20 μm y se trasladó a un vial de 50 ml

El sedimento tamizado se le agrego un chorro de agua destilada (Fig. 6A), se resuspendió el sedimento y se recolecto el material de menor densidad suspendido con la ayuda de una pipeta pasteur, se llevó a un volumen final de 10 ml.

Conteo Celular

Se homogenizó el volumen final y con una pipeta pasteur se extrajo 1 ml, se colocó en una cámara tipo Sedgewick Rafter (fig. 6C), para el conteo celular en un microscopio

invertido de campo claro Axiovert 40 CFL, con la capacidad de proyectar imágenes en contraste de fases (fig. 6B).

Se utilizó la guía de Matzuoka y Fukuyo (2000), microfotografías, bases de datos de referencias en línea y el apoyo de profesionales de institutos reconocidos a nivel mundial para identificar y contabilizar las especies de quistes observados en las muestras de sedimentos. Las principales características morfológicas utilizadas en la identificación fueron la forma del cuerpo, talla, color, ornamentaciones y tipos de procesos.

Cada una de las observaciones realizadas al microscopio se hizo de una forma exhaustiva, revisando el contenido completo de la cámara de 1 ml de capacidad. Cada quiste de dinoflagelado encontrado, fue aislado para poder caracterizarlo y obtener un registro fotográfico de cada especie encontrada. Dada la naturaleza de la técnica de muestreo los resultados fueron expresados como # de quistes por ml⁻¹ Posteriormente fueron registrados en una bitácora de laboratorio y tabulados para el correspondiente análisis final.

3.4.1 Análisis de datos

Para el análisis de datos se utilizaron **estadísticos descriptivos**. Los resultados de los conteos se organizaron en tablas Microsoft Excel 2007. Se generaron tablas de frecuencias relativas y gráficos de presencia, abundancia y distribución de las especies de quistes.

Para determinar la abundancia de los quistes en el sitio de muestreo, se utilizaron los cálculos de las Frecuencias relativas (Fr) y Frecuencias porcentuales (Fr %); para indicar la importancia relativa en cuanto a la presencia de la especie en las diferentes zonas de muestreo, se utilizó el criterio de Gómez (1999).

Con los registros de las observaciones para cada especie se calculó la *Frecuencia Relativa* aplicando la fórmula siguiente:

$$Fr = \frac{\sum fe}{\sum ft}$$

Donde

Donde Fr: frecuencia

Σ Fr: frecuencia de cada especie

Σ Ft: sumatoria de todas las especies.

Seguidamente se calculó la *Frecuencia Relativa Porcentual*, la cual se realizó con los valores obtenidos de Frecuencia Relativa, utilizándose la siguiente formula.

$$Fr \% = (Fr)(100\%)$$

Dónde:

F r % = Frecuencia Relativa Porcentual

F r = Valor obtenido de Frecuencia Relativa para cada especie.

100% = cien por ciento.

Los resultados obtenidos de los conteos celulares de *Pyrodinium bahamense* y otras seis especies de quistes de dinoflagelados pertenecientes al género *Protoperidinium* fueron tabulados con su respectiva frecuencia relativa y porcentual.

Se calculó además la constancia de los organismos observados mediante la formula propuesta por Monterrosa (1993).

$$C = \frac{P * 100}{N}$$

Dónde:

C = Constancia.

P = Número de colectas conteniendo al organismo estudiado.

N = Número total de colectas efectuadas.

Con base al valor calculado “C”, se asignan las siguientes categorías

Especie Constante: Presente en más del 50% de colectas.

Especie Accesoria: Presente entre el 25 % y el 50 % de colectas.

Especie Accidental: Presente en menos del 25 % de colectas.

3.4.1 Granulometría de los sedimentos.

Para el estudio granulométrico del sedimento se seleccionaron 5 núcleos que tuvieran una distribución esparcida dentro de la grilla de puntos de muestreo. Seleccionándose para ello los núcleos GF01, GF04, GF05, GF08 y GF09. Se tomaron un aproximado de 10 y 15 g de sedimento de cada muestra; se obtuvo el peso seco inicial (Figura 10). Se ordenaron los siguientes tamices de 180 μ , 90 μ , y 20 μ de mayor a menor luz de maya y se procedió a tamizar en húmedo la muestra (Tomado de normas ASTM y Guía de Laboratorio Construcción I, UCA, 1996) Después de tamizado cada fracción separada se secó hasta obtener su peso constante y se registró su peso final, para lo cual se utilizó una balanza analítica de 0.001g de precisión, para luego ser clasificada como lo indica la tabla 1.



Figura 7. Pesado de sedimento para el estudio de granulometría

Tabla 1. Tabla de clasificación de sedimento por tamaño de grano según Pfannkuch & Rick Paulson.

| Micrones | Clasificación |
|-----------|------------------|
| 250 – 180 | arenas media |
| 180 – 90 | arenas finas |
| 90 – 20 | arenas muy finas |
| < 20 | limos y arcillas |

IV RESULTADOS

Se revisó un total 75 muestras de sedimento obtenidas a partir de 15 núcleos sedimentarios recolectados para el análisis de quistes de dinoflagelados. Se registraron sus abundancias así como su distribución en los primeros diez centímetros de profundidad. Los puntos de recolección de núcleos sedimentarios variaron entre los seis y nueve metros de profundidad.

4.1.2 COMPOSICION DE QUISTES

- Se registró la presencia de 178 morfotipos de quistes distribuidos en los géneros *Pyrodinium*, *Protopteridinium*, *Scrippsiella* y *Alexandrium*.

Entre estos 7 quistes se identificaron a nivel de especie. De acuerdo a su presencia en los núcleos recolectados únicamente *Stelladinium reidii* se considera como especie accidental, *Pyrodinium bahamense*, *Protopteridinium oblongum* y *Protopteridinium sp1* se consideran como especies accesorias, mientras que *Protopteridinium conicoides*, *Stelladinium robustum* y *Protopteridinium subinermis* se consideran como especies constantes.

Entre las especies observadas únicamente *Pyrodinium bahamense* es considerado autótrofo mientras que todas las demás especies pertenecen al género *Protopteridinium* y están asociadas al grupo de organismos heterótrofos, grupo que por lo general es el más abundante en los estudios de dinoflagelados (Morquecho 2008). Los quistes identificados están representados en los géneros *Pyrodinium* y *Protopteridinium* los cuales pertenecen a las familias GoniDOMATAceae y Protopteridiniaceae, respectivamente.

4.1.3 ABUNDANCIA DE QUISTES

La especie con menor frecuencia en este estudio fue *Stelladinium reidii* con una frecuencia relativa de 3.9%. La única especie toxica encontrada en las muestras fue *Pyrodinium*

bahamense, la cual se presentó con una frecuencia relativa de 8%. La que la especie más abundante fue *Protoperidinium subinerme* con una frecuencia relativa del 39% (Figura 8).

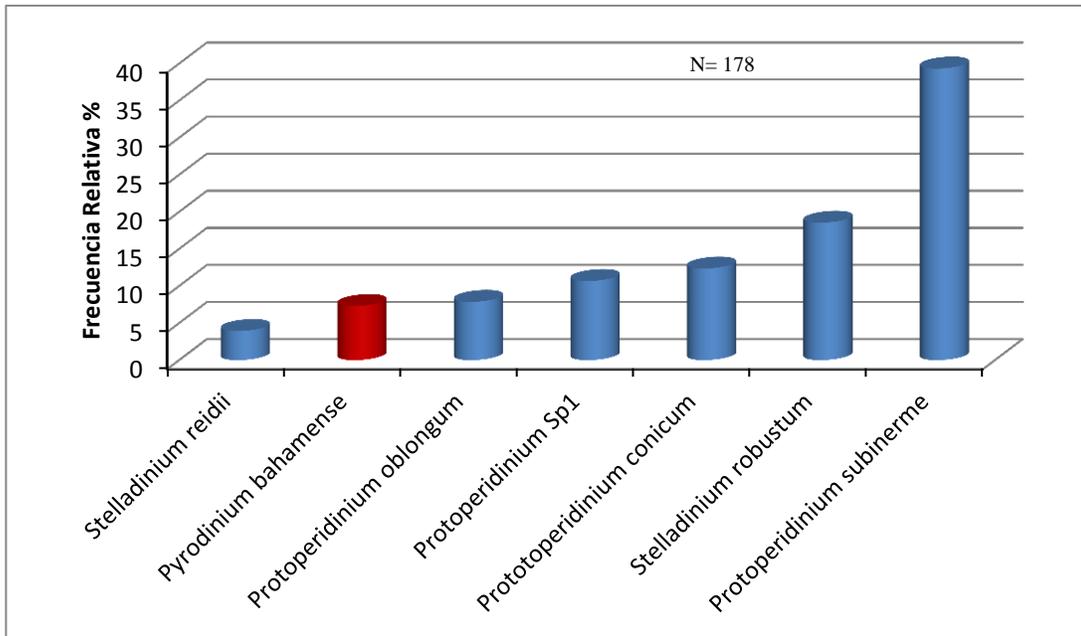


Figura 8. Quistes de dinoflagelados analizados en 15 núcleos sedimentarios desde la superficie hasta 10 cm de profundidad, frente a las playas al Sur del volcán de Conchagua. Marzo y agosto del 2012.

La abundancia de quistes registrados en el área de estudio tuvo una distribución heterogénea en la grilla de puntos del muestreo (Figura 9). Las mayores densidades de células quísticas estuvieron entre 31 y 40 quistes ml^{-1} , distribuidos principalmente en la parte Este del sitio de muestreo, a excepción del núcleo GF01 ubicado en el Oeste de la zona de muestreo (figura 9). Las menores densidades de quistes se localizaron principalmente en la parte centro Oeste del área de estudio, comprendidos entre 0 - 10 y 11-20 quistes ml^{-1} .

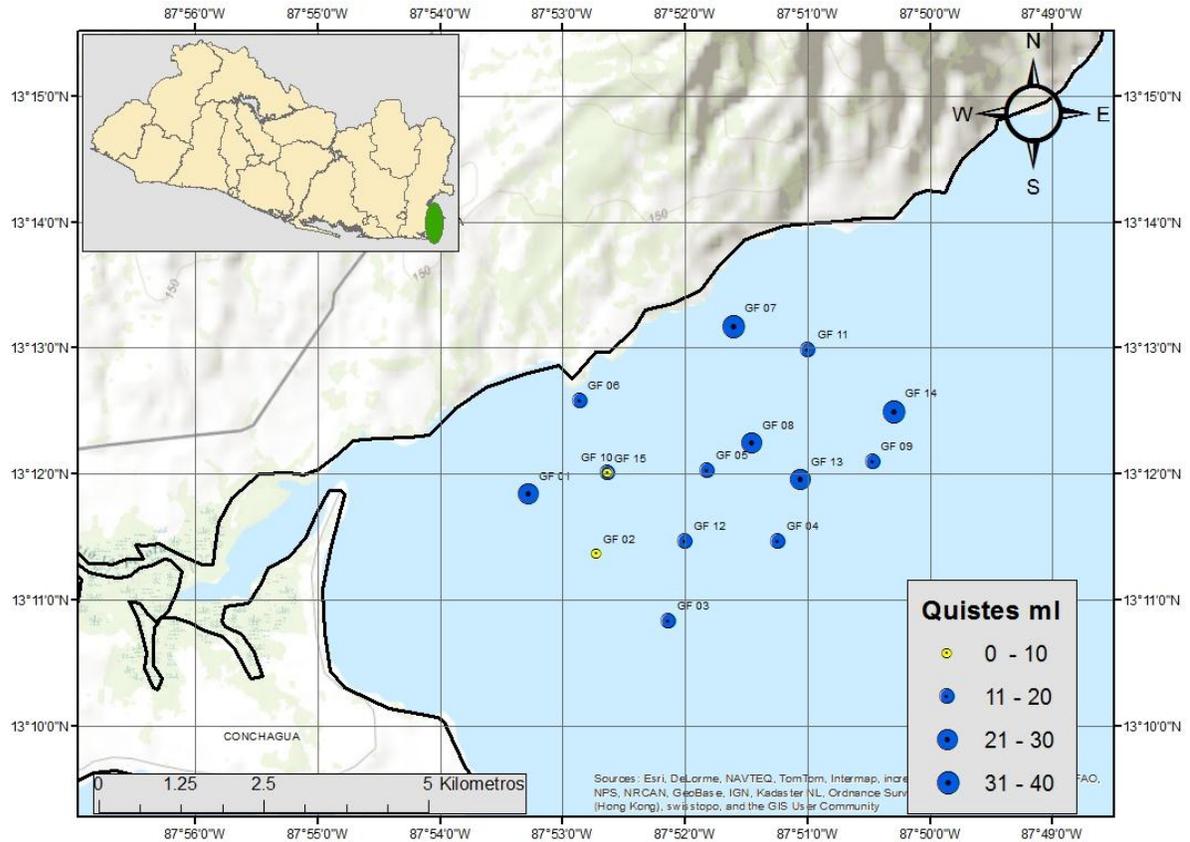


Figura 9. Mapa de abundancias de quistes de dinoflagelados en el Golfo de Fonseca. Base de datos Arc Gis 10.1.

EL QUISTE DE *Pyrodinium bahamense*

Los quistes de *Pyrodinium bahamense* presentan un diámetro promedio de 48-50 μm , la pared que rodea al quiste tiene una coloración clara o transparente (Figura 10 C), fue posible observar su citoplasma en forma gránulos de coloración amarillento en el centro, dichos gránulos ocupan aproximadamente una tercera parte del total del cuerpo (Figura 10 A), además se observó una mancha característica o punto rojo en posición lateral (Figura 10 E), muchas veces usada como criterio taxonómico para caracterizar a la especie (Karlen y Miller 2011).

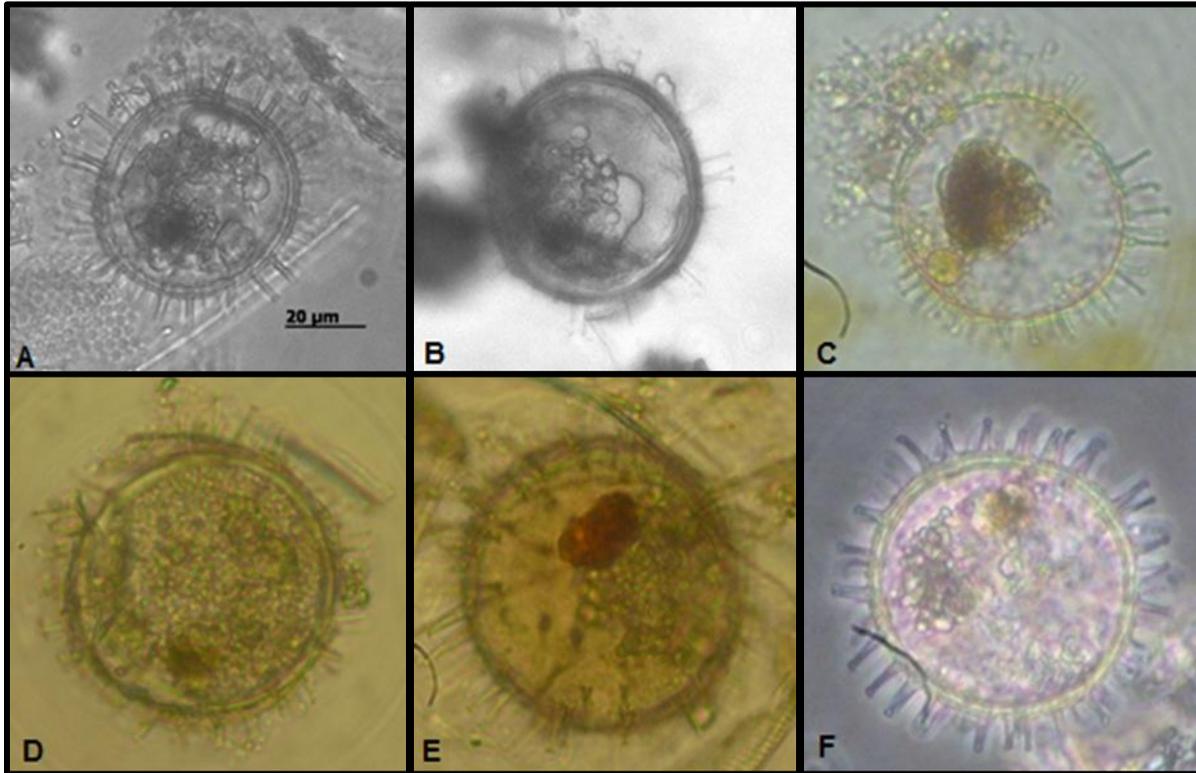


Figura10. Quistes de *Pyrodinium bahamense* A y B) fotografías tomadas del núcleo GF01 de la primera sección (0-2 cm) aumento 32X, C, D, E especie fotografiada con cámara manual objetivo 40X, F) detalles con contraste de fases.

Las proyecciones u ornamentaciones de esta especie son incoloras y se sitúan alrededor de todo su cuerpo esférico. De forma tubular y con terminación no muy prominente, presentándose algunas de estas proyecciones fusionadas y formando bifurcaciones (Figura 10 B).

Junto a *Pyrodinium bahamense* se registraron otras 6 especies, las cuales presentan como característica general colores entre café y marrón, algunas poseen ornamentaciones; pertenecientes al género *Protoperidinium* (figura 11). Las especies observadas fueron: *Protoperidinium subinerme* (figura 11G,H), con un total de 70 células, *Protoperidinium conicoides* (Figura 11 A,B) con 22 células, *Stelladinium² reidii* (Figura 11 E,F) con 7 células registradas, *Stelladinium² robustum* (Figura 11 C,D) con 33 células observadas y *Protoperidinium oblongum* (Figura 11 K,L) con un total de 14 células presentes en las muestras de sedimentos.

² Quiste nombrado bajo nomenclatura palinológica por no tener afinidad aun establecida con la especie vegetativa en la nomenclatura biológica. *Stelladinium* = *Protoperidinium*

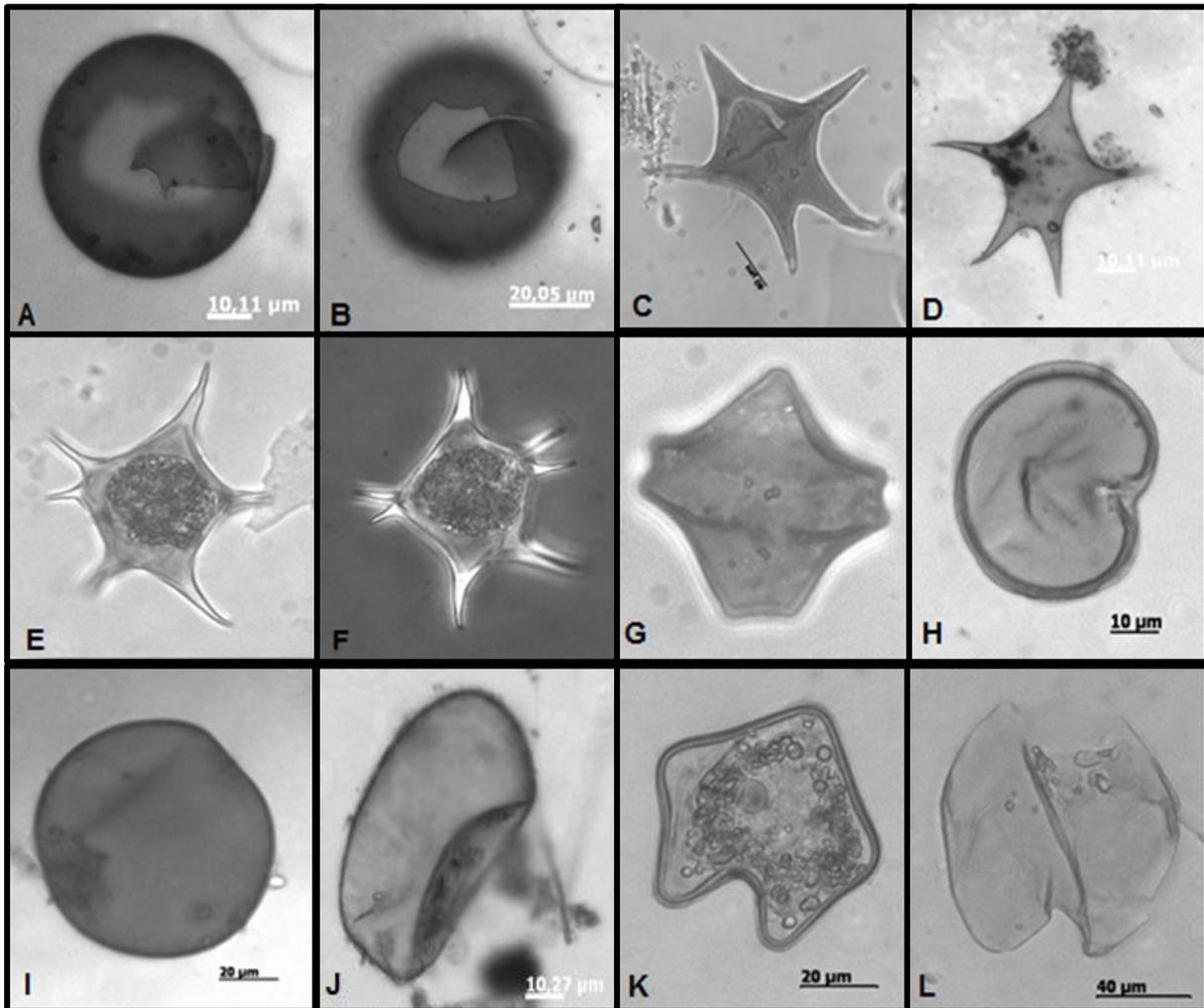


Figura 11. Quistes protoperidiales encontrados en la zona de muestreo: A 40x, B 20x) *Protopteridinium conicoides* C, D) *Stelladinium robustum* E,F) *Stelladinium reidii*, G,H 40x) *Protopteridinium subinerme* I 20x,J40x) *Protopteridinium* Sp1 40x K 20x, L 40x) *Protopteridinium Oblongum*. Marzo y agosto del 2012.

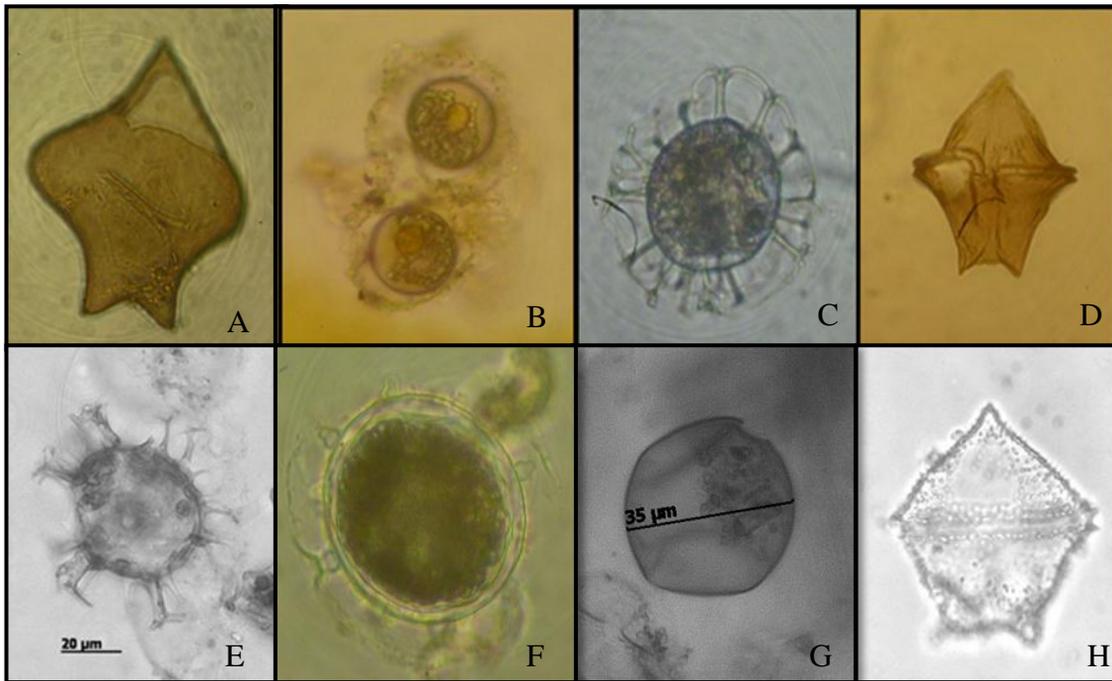


Figura 12. Quistes de dinoflagelados encontrados en la zona de muestreo, correspondiente a los géneros: (E y C 40x) *Scrippsiella sp.*; (B 40x) *Alexandrium sp.*; imágenes (D 20x), (G 40x) y (H 40x) pertenecen al género *Protoperidinium spp.* La imagen (F 40x) no fue identificado. Marzo y agosto del 2012.

Las especies presentadas en la figura 12, se consideraron como especies accidentales porque su presencia se dio en menos del 25% de las muestras, incluso algunas de estas como en el caso de la imagen A y F, fueron observadas solo una vez en las muestras. Su hallazgo denota que dichas especies están presentes en los sedimentos de nuestro país, aunque en menor abundancia que las otras especies identificadas.

4.2 DISTRIBUCIÓN VERTICAL DE QUISTES

La distribución vertical de *Pyrodinium bahamense* no fue uniforme en las profundidad estudiada a nivel general, las mayores abundancias se pueden observar entre los centímetros 7 y 8 (figura 13), sin embargo, hacia los 10 cm se vio una disminución con un registro de la especie. Se observó un total de 13 quistes de *Pyrodinium bahamense* durante toda la campaña de muestreo.

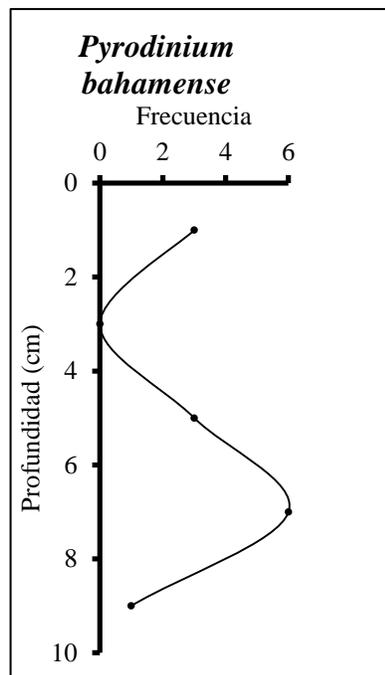


Figura 13. Distribución vertical de *Pyrodinium bahamense* en los 15 núcleos de sedimento recolectados del Golfo de Fonseca. Marzo y agosto del 2012.

Con respecto a la distribución horizontal *Pyrodinium bahamense* presentó mayor abundancia en los núcleos cercanos a la línea de costa en los puntos GF01, GF07, GF15 y GF11 donde se registraron 11 individuos. El género *Protopteridinium* en cambio presentó sus mayores abundancias en los puntos GF09 y GF14, los cuales a su vez estaban más alejados de la línea de costa.

En la figura 14 se ilustra la distribución vertical en relación con la profundidad para el género *Protopteridinium*. La abundancia de cada especie se tomó del total de los conteos en los 15 núcleos recolectados en los muestreos.

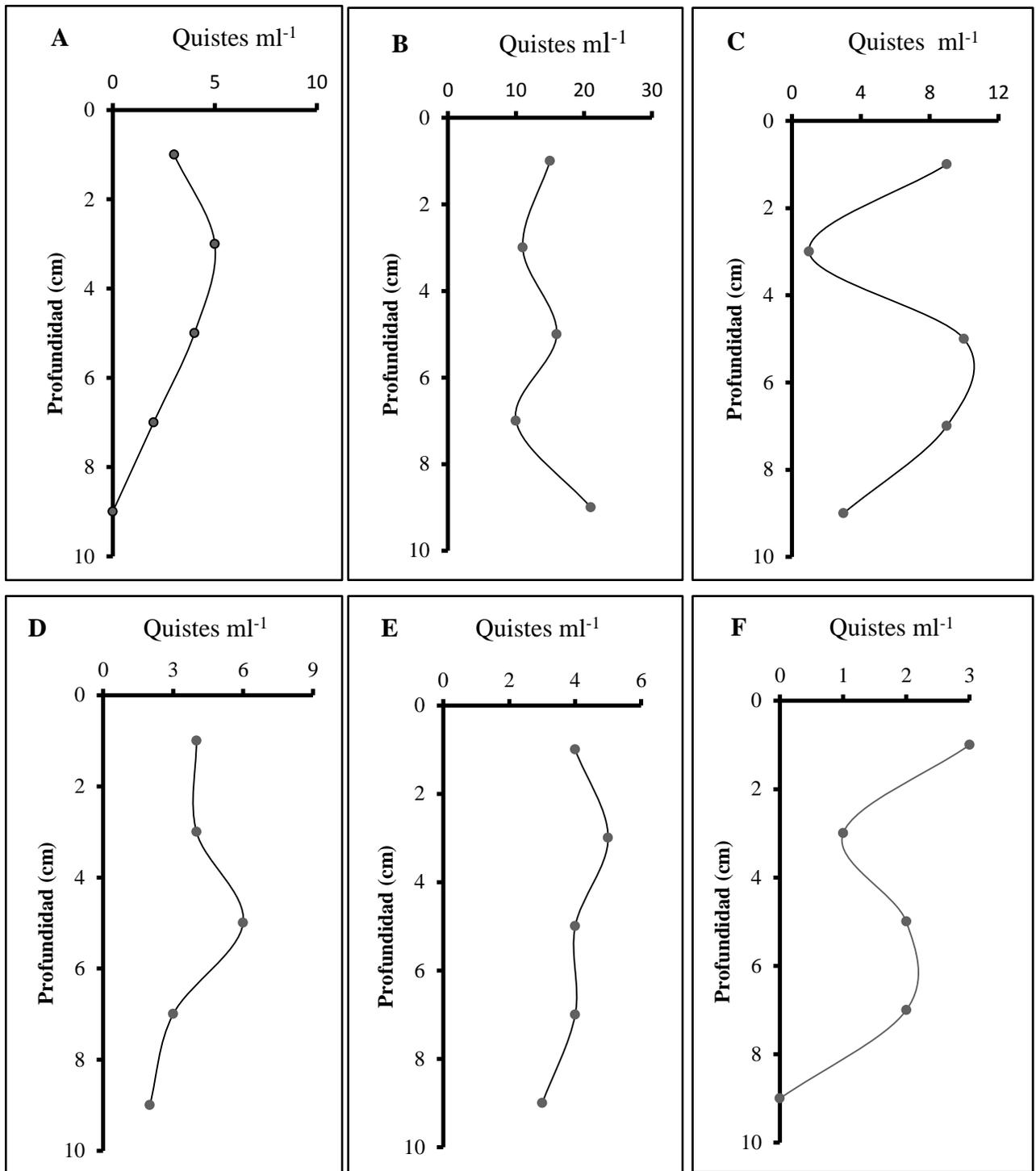


Figura 14. Distribución vertical y abundancias totales de A) *Protopteridinium oblongum*, B) *Protopteridinium subinermis*, C) *Stelladinium robustum*, D) *Protopteridinium sp1*, E) *Protopteridinium conicoides* y F) *Stelladinium reidii*.

Protopteridinium subinerme fue la especie que registro la mayor frecuencia y su distribución en la profundidad se mantuvo casi constante desde los 2 cm hasta los 8 cm, observándose un incremento en la última sección de los 10 cm de profundidad. La presencia de *Stelladinium robustum* varió mucho con la profundidad, con 9 quistes en la primera sección, disminuyendo a un quiste en los 4 cm y aumentando nuevamente en la sección de 6 a 8 cm de profundidad.

Las especies con menores abundancias registradas fueron: *Stelladinium reidii*, *Protopteridinium robustum* y *Pyrodinium bahamense*. Las especies *Protopteridinium conicoides*, *Protopteridinium sp 1* y *Protopteridinium subinerme*, no presentan mucha variación de su abundancia en cuanto a la profundidad, teniendo una distribución un tanto constante en la columna de sedimento.

4.3 GRANULOMETRÍA DE LOS SEDIMENTOS

La granulometría realizada a 5 núcleos de sedimento se caracterizó por la presencia de cuatro tipos de tamaños de grano. Identificándose Arenas de tipo Medias comprendidas entre los 0.250 y 0.180 milímetros, Arenas Finas entre los 0.125 a 0.090 milímetros y las Arenas muy Finas comprendidas entre los 0.063 a 0.020 milímetros, y por último se tienen las fracciones menores a los 0.020 milímetros correspondientes a limos y arcillas.

En el núcleo GF 01 (fig. 15) se puede observar que la mayor fracción encontrada fue la de arenas finas, presentándose casi constante a través del perfil sedimentario, con un leve incremento a los 5 cm de profundidad. En cuanto a las fracciones de arenas medias y muy finas se encontraron en igual proporción y se mantuvieron constantes en todas las profundidades. Las fracciones menores a los 0.020mm se presentaron en un 12.25% respecto al resto de arenas reportadas. El núcleo GF 04 también presentó mayor fracción de arenas finas desde un 5% en la superficie, hasta un 15% a los 10 cm de profundidad, las arenas muy finas se mantienen constantes en el núcleo, mientras que las arenas medias tuvieron mucha variación pero que no supero el 6% en todas las profundidades, como se observa en la figura 15. Las fracciones de limos y arcillas representaron el 26.63% del total del núcleo GF 04.

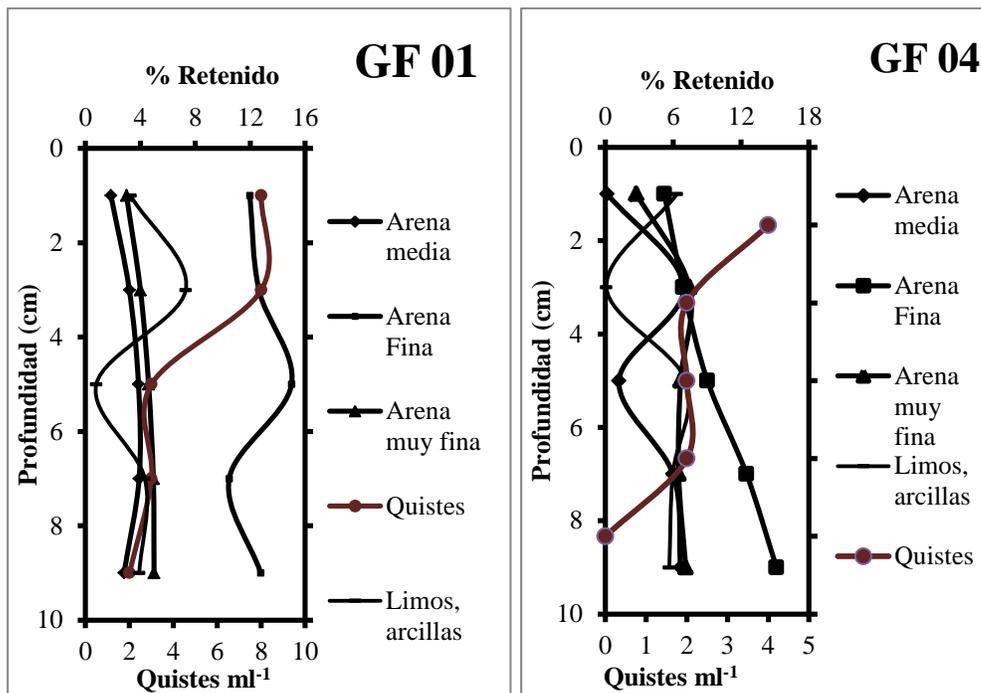


Figura 15. Porcentajes retenidos correspondientes a las Arenas Medias, Arenas Finas, Arenas muy finas y limos y arcillas en las distintas profundidades para los puntos GF01 y GF04. Recolectado en marzo del 2012 en el Golfo de Fonseca.

El núcleo GF05 (fig. 16) tuvo una composición granulométrica principalmente de arenas finas, las que se presentaron en mayor cantidad en los primeros 3 cm, con una leve disminución hacia los centímetros más profundos. La presencia de arenas medias y muy finas fue escasa (<5%) y se mantuvieron constantes en toda la profundidad. Los limos y arcillas en este núcleo también fueron escasos representando el 4.14% del total del sedimento.

En el núcleo GF08 (fig. 16) de igual manera las arenas medias y muy finas se mantienen constantes en la profundidad, no más del 7%, mientras que la mayor fracción registrada fue la de arenas finas incrementando de un 5% a un 26% hacia los 8cm de profundidad. En este núcleo los limos y arcillas se presentaron en un 30.28% del sedimento total colectado, presentándose en mayor cantidad en los primeros centímetros del núcleo.

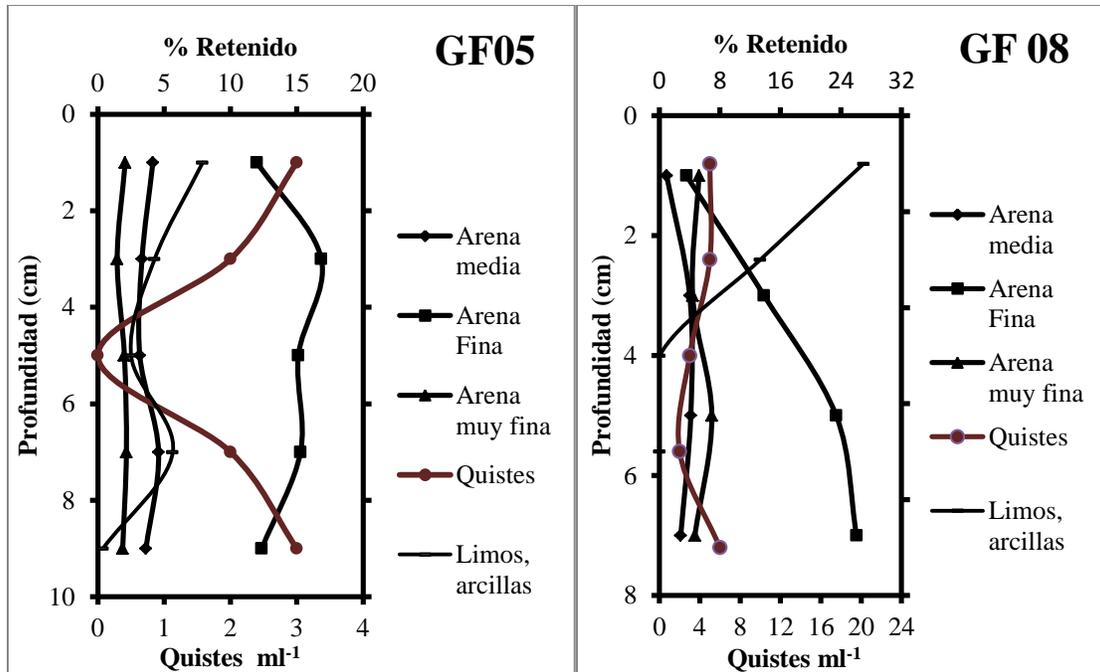


Figura 16. Porcentajes retenidos correspondientes a las Arenas Medias, Arenas Finas, Arenas muy finas y limos y arcillas en las distintas profundidades para los puntos GF05 y GF08. Recolectado en marzo del 2012 en el Golfo de Fonseca.

En el núcleo GF 09 (fig. 17), se puede observar una predominancia de arenas muy finas en los primeros centímetros, disminuyendo con la profundidad. Las arenas medias como las finas tienen un porcentaje similar en la superficie del 4%, manteniéndose constantes con la profundidad sin mucha variación. Este núcleo es el que contenía mayor porcentaje de fracciones menores a 0.020 mm contenía, con un 46.15%; presentándose con poca variación a través de la profundidad.

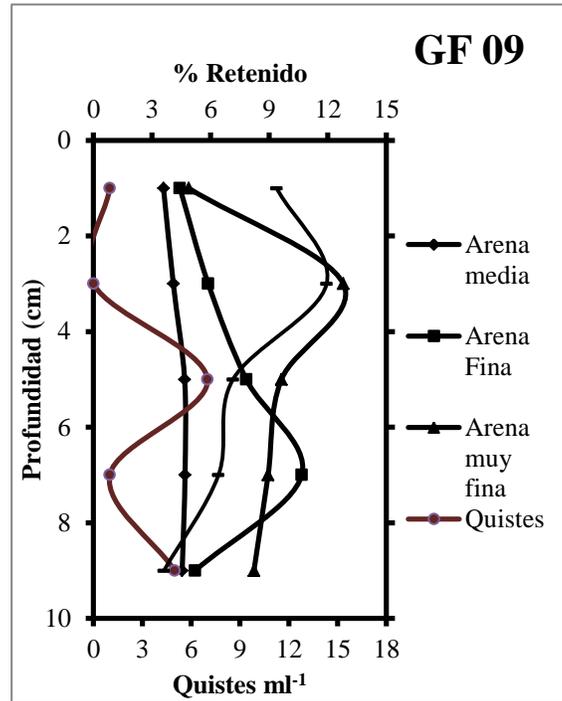


Figura 17. Porcentajes retenidos correspondientes a las Arenas Medias, Arenas Finas, Arenas muy finas y limos y arcillas en las distintas profundidades para el punto GF09. Recolectado en marzo del 2012 en el Golfo de Fonseca.

En general las arenas finas se presentaron en mayores cantidades en los puntos GF01, GF05 y GF08, y que además son los más cercanos a la línea de costa. Mientras que los puntos GF04 y GF09 que estaban más alejados de la playa, registraron mayores cantidades de arenas del tipo medias y del tipo muy finas. En cuanto a la abundancia de quistes los puntos que mayor representatividad de especies tuvieron son los cercanos a la costa, coincidiendo con las arenas finas.

V DISCUSION

En nuestro país los esfuerzos realizados en el estudio de quistes hasta antes de 2007 fueron retomados como complemento al estudio de las células vegetativas en la columna de agua por Orantes y Vieyetz (2007), donde destacaron la presencia *Gymnodinium catenatum*, *Lingulodinium machaerophorum* y *Stelladinium robustum*, en sedimentos; de igual forma Cuellar and Mariona (2007) reportaron 5 especies de quistes en la columna de agua para la zona oriental del país. *Dubridinium caperatum*, *Gymnodinium catenatum*, *Lingulodinium machaerophorum*, *Selenopenhix quanca* y *Pentapharsodinium tyrrhenicum*.

Entre las especies aquí registradas únicamente *Stelladinium robustum* coincide con los registros de Orantes y Vieyetz (2007) encontrado en las playas de La Libertad. Se considera que la diferencia entre los registros probablemente sea de orden metodológico implementado en la recolecta de sedimento, pues su extracción mediante buceo autónomo es muy diferente a realizarlo con un equipo especializado.

El quiste de *Protoperidinium subinermis*, fue el que registró mayor abundancia en el muestreo y en la revisión bibliográfica se observa que es uno de las más ampliamente distribuidos a nivel mundial; Okolodkov (2008) lo reporta junto con *Protoperidinium oblongum* y otros 44 Peridinales más en el arrecife Veracruzano en el Golfo de México. Pena et al. (2005) registró su presencia en Bahía de Todos Santos, también lo registra Radi et al. (2001) en el mar de Bering, relacionando su alta abundancia con las condiciones climáticas e hidrográficas. La especie también es reportada por Harland y Pudsey (2002) en sedimentos de la península Antártica desde el Mioceno donde también se evidencia una total dominancia del género en la zona de estudio describiendo además un característico patrón de circulación oceánica.

Para el caso de *Pyrodinium bahamense*, su quiste ha sido documentado en Baja California en la Isla San José, con abundancias de $9,7 \times 10^3 \text{ g}^{-1}$ a diferencia del Golfo de Tehuantepec donde los quistes de *P. bahamense*, *Bitectatodinium spongium* y *Brigantedinium spp*; se presentaron entre 68 y 494 quistes cm^{-3} ambos lugares caracterizados por ser zonas de afloramientos y alta productividad primaria que según Vázquez (2008) dada por el efecto de los vientos; de igual forma el golfo de Fonseca es influenciado por vientos provenientes del Norte en el verano, pero las islas dispersas y los diversos cambios batimétricos complican su morfología y los patrones de

la circulación de agua (Valle y Bosley 2003). Tanto el Golfo de Tehuantepec como el Golfo de Fonseca pertenecen a ambientes tropicales.

El estudio de Peña et al. (2005) en bahía de Todos Santos evidenció la presencia del quiste de *Pyrodinium b.* mas no generó registro de su abundancia, al igual que Martínez (2011) también documento la presencia de quistes de esta especie en las costas de Sinaloa, Sonora Baja California y Oaxaca, pero su descripción morfológica de la especie si concuerda con el resultado de esta investigación siendo similares en la forma esférica del quiste, en la cubierta característica con procesos tubulares largos cuya terminación puede ser lobulada y asimétrica, además la coloración del citoplasma que es de amarillo a verde, y en los quistes vacíos su pared es incolora.

Este estudio constituye el primer registro del quiste de *Pyrodinium b.* en fase quística para nuestro país y la región; en conjunto se reportaron especies pertenecientes a los grupos Peridinales y Gonyaulacales; de los cuales los Peridinales obtuvieron la mayor abundancia por lo que los organismos heterótrofos dominaron sobre los autótrofos en todas las muestras de sedimentos, tales datos concuerdan con los de Morquecho et al. (2009), Vázquez (2008), Dale (2001), Harland y Pudsey (2002) y Azanza et al. (2004) quienes en sus investigaciones indican la predominancia de especies heterótrofas sobre las autótrofas, atribuyendo el hecho a que estas especies se desarrollan mejor en ambientes con creciente eutrofización.

En nuestro país aún no se tiene un límite establecido que indique cuando una determinada población de quistes representa un factor de riesgo para la formación proliferaciones. Las concentraciones reportadas en el presente trabajo difieren en cuanto a las presentadas por Pospelova et al. (2005) quienes registran 317 quistes g^{-1} en 19 muestras de la bahía de Buzzards, Massachussetts; hay una marcada diferencia con el registro de Radi et al. (2001) contabilizaron entre 2,000 y 25,000 cm^{-3} quistes considerando la región del mar Bering. Las investigaciones citadas concuerdan que dichas zonas son de alta productividad primaria y también como fuente de inculo para futuras proliferaciones.

Por otro lado las densidades registradas son comparables con las que presenta Lembeye (2004) quien identificó 9 especies de quistes pertenecientes a los géneros *Protoberidinium*, *Protoceratium*, *Scrippsiella*, *Polykrikos* y *Alexandrium*; las abundancias menores fueron de 3 quistes ml^{-1} y las mayores sobrepasaron los 100 quistes ml^{-1} en los fiordos chilenos. También son

comparables con los quistes registrados por Seguel y Sfeir (2010) de *Alexandrium catenella* con 11 quistes cm^3 en sus menores abundancias, y *Protoceratium reticulatum* con 77,3 quistes cm^3 para la misma región de Aysen. Morquecho et al. (2012) para *P. bahamense* de $9.7 \times 10^3 \text{ g}^{-1}$ frente al estado de Nayarit. Es importante indicar que ningún autor indica si tales abundancias pueden ser consideradas como una amenaza para la formación de proliferaciones algales.

Es importante considerar que las comparaciones han sido reportadas para diversas latitudes, por lo que las condiciones de cada ambiente son muy propias y características; también estas son determinadas por los accidentes geográficos, los asentamientos urbanos, la presencia de zonas de productividad (surgencias) y la influencia de la hidrografía. A partir de la revisión bibliográfica se pudo constatar que la mayoría de estudios en quistes documentados se dan principalmente en bahías, esteros, fiordos las cuales en su mayoría son lugares con una baja dinámica y de menor perturbación comparados con las costas de mar abierto.

Uno de los factores clave a considerar en las abundancias de quistes es el tipo de sedimentos, ya que la presencia de limos y arcillas (sedimentos finos) según Blanco (1988) y Dale (1976) son determinantes para la acumulación de quistes. Así los estudios de Pena et al. (2005), Mizushima et al. (2007) y Lembeye (2004) indican que las mayores abundancias de quistes se establecieron en sedimentos limosos y arcillosos. Un estudio realizado en los fiordos chilenos por Seguel y Sfeir (2001) documentaron quistes de *Alexandrium catenella* con un valor máximo de 221,3 quiste cm^{-3} , mientras que otro estudio del mismo autor Seguel et al. (2001) registró los quistes de la misma especie también en el Sur de Chile con abundancias de 16,6 quistes cm^3 y 36,8 quistes cm^3 , deduciendo que las pocas densidades se debió a que el sedimento tenía un bajo contenido de materia orgánica (4,61%) y sedimentos finos con un porcentaje similar de grava. De igual forma en el presente estudio los porcentajes de limos y arcillas fueron muy bajos en comparación con las arenas finas, hecho que probablemente influyo en la abundancia de quistes registrados.

El ambiente sedimentario de la zona de estudio esta determinado principalmente por la dinámica característica de un golfo con la entrada y salida de agua marina, con corrientes superficiales y de fondo típicas en periodos lluvioso, además la circulación inversa del estuario que se da cuando es época seca (Valle y Bosley 2003). Otro factor muy importante que modifica el ambiente sedimentario del golfo es el aporte de la desembocadura del río Goascorán desde la

parte Norte; además de los aportes sedimentarios de las subcuencas del volcán de Conchagua, del río Los Maderos y del río Sirama; donde según Araujo et al. (2010) el aporte anual es de aproximadamente 2.7 millones de m³ de sedimentos por fenómenos erosivos en época lluviosa.

También es importante recalcar que la presencia de organismos bentónicos es otro factor a considerar en la modificación de los ambientes sedimentarios; en las muestras analizadas se encontraron muchos rastros de gusanos tubícolas en los núcleos, además de larvas de peces y varios restos de conchas, elementos que según Blanco (1988) probablemente estuvieron generando perturbación y modificación de las concentraciones de quistes. Esto sin considerar que los quistes en los fondos se encuentran expuestos y a la disposición de la ingesta indiscriminada por parte de otros organismos bentónicos que también pueden modificar las poblaciones de quistes (Ichimi y Montani 2001).

VI CONCLUSIONES

- Se observaron 178 morfotipos de quistes, distribuidos entre los géneros *Pyrodinium*, *Protopteridinium*, *Scrippsiella* y *Alexandrium*.
- El registro de las especies *Protopteridinium subinermis*, *Stelladinium reidii*, *Protopteridinium oblongum*, *Protopteridinium conicoides*, *Protopteridinium sp1*, son reportadas por primera vez para el país. Los géneros *Pyrodinium* y *Alexandrium* además ser primer reporte para el país, también son productores de VPM.
- La abundancia de quistes de dinoflagelados en las muestras de sedimentos fue heterogénea a lo largo de los 10 centímetros de profundidad en los núcleos sedimentarios estudiados y a su vez fueron menores en comparación con los aportes de otras investigaciones donde afirman un potente riesgo de proliferaciones microalgales. Este hecho probablemente se atribuye a que en la zona estudiada, las fracciones de limos y arcillas en las muestras de sedimentos se presentaron en menores proporciones respecto a los otros tipos de arenas, también se considera la dinámica hídrica como factor influyente.
- Las arenas finas se presentaron en mayores cantidades en los puntos GF01, GF05 y GF08, y que además son los más cercanos a la línea de costa. Mientras que los puntos GF04 y GF09 que estaban más alejados de la playa, registraron mayores cantidades de arenas del tipo medias y del tipo muy finas. En cuanto a la abundancia de quistes los puntos que mayor representatividad de especies tuvieron son los cercanos a la costa, coincidiendo con las arenas finas.

VII RECOMENDACIONES

- Se considera de mucha importancia que se enfatice en conocer la distribución de especies de dinoflagelados tóxicos y más aún en las especies que son formadoras de quistes de resistencia.
- Es necesario que se realicen más estudios sobre quistes de dinoflagelados a nivel de toda la zona marino costera de nuestro país. Así como también que se estudien sus poblaciones a mayores profundidades en el sedimentos.
- Se recomiendan realizar estudios batimétricos y de patrones de circulación ya sea en el Golfo de Fonseca y en toda la costa de El Salvador, con el propósito de contar con una mejor caracterización del ambiente marino.
- Para los programas de monitoreo y vigilancia del ambiente marino ya establecidos en nuestro país, se recomiendan que incluyan estudios en sedimentos marinos, a modo de evaluar las poblaciones de quistes de dinoflagelados presentes en los fondos, estimando así el aporte efectivo de las poblaciones de quistes en las proliferaciones microalgales locales.
- Aun es necesario que nuestro país actúe en colaboración con otras universidades o instituciones a nivel regional para generar una mejor contribución en cuanto a la distribución espacial y temporal de especies toxicas y formadoras de quistes. A modo integrar conocimiento y obtener una mejor respuesta temprana ante la formación de proliferaciones recurrentes que muchas veces afectan a nivel regional.

VIII BIBLIOGRAFIA

- Amaya O, G Ruiz, W Rivera, J Espinoza. 2012. Application of a Receptor Binding Assay to the analyses of PSP toxins in four species of shellfish in El Salvador. *Harm. Algae News* No. 45.
- Anderson DM, Y Fukuyo, K Matzuoka. 2003. Cyst Methodologies in: *Manual of Harmful Marine Microalgae*. Edited by GM Hallegraeff, DM Anderson and AD Cembella. UNESCO.
- Anderson DM, CD Taylor, E Armbrust. 1987. The effects of darkness anaerobiosis on Dinoflagellates cyst germination. *Limnology and Oceanography*. 32 (2): 340-351
- Anderson DM, Keafer, B. A. An Endogenous annual clock in the toxic marine dinoflagellate. N° 325, pp 617-17.
- Andersen RA. 2005. *Algal Culturing Techniques*. Elsevier Academic Press. Phycologi society. 589pp.
- Araujo AM, D Escobar, R Menjivar. 2010. La política exterior de el salvador frente a la connotación geopolítica del Golfo de Fonseca en el periodo 2002-2009. Tesis para optar al grado de Licenciatura en Relaciones Exteriores. Universidad de El Salvador. 203 pp.
- Azanza R. et al. 2004. Horizontal dinoflagellate cyst distribution, sediment characteristics and benthic flux in Manila Bay, Philippines. *Phyc. Res.* ; 52: 376–386
- Blanco J. 1988. Distribución vertical y asociación al sedimento de los quistes de dinoflagelados en la ría de Ares y Betanzos. España. *Inv. Pesq.* 52 (3):335-344.
- Boxshall GA. 2006. *La Vida en Suspensión: El Plancton*. Museo de Historia Natural, Reino Unido.
- Cuellar MT, Mariona CG .2007. Abundancia y distribución de dinoflagelados (Dinophyceae Desmophyceae) y diatomeas (Bacillariophyceae) con énfasis en las

- especies nocivas en tres sitios de la zona costera de El Salvador. Tesis para optar al grado de Licenciatura en Biología. Universidad Nacional de El Salvador. San Salvador. 97 p.
- Dale Barrie. 1976. Cyst formation, sedimentation, and preservation: factors affecting dinoflagellate assemblages in recent sediments from trondheimsfjord, Norway Review of Palaeobotany and Palynology, 22: 39—60
- Dale Barrie. 2001. The Sedimentary record of dinoflagellate cysts: looking back to the feature of phytoplank blooms. Scie. Mar. 65 (2): 257-272
- Espinoza J, O Amaya, G Ruiz, Y Alvarado. 2012. Proliferación algal nociva (Marea roja ocurrida en marzo de 2012 en la costa salvadoreña: organismos causantes, ensayos de saxitoxinas y condiciones oceanográficas. Rev. Cien. y Tecn. 17 (23).
- Espinoza J, A Mendoza. 2010. Informe Técnico Laboratorio de Toxinas Marinas. Escuela de Biología. Facultad de Ciencias Naturales y Matemática. Universidad de El Salvador.
- Faust MA, Gullede R. 2002. Harmful marine dinoflagellate. Department of systematic Biology-botany. National Museum of Natural history.42:1-144
- Fensome RA, FJ Taylor, G Norris, WA Sarjeant., D Whartom, G Williams. 1993. A classification of living and fossil dinoflagellate. Micropaleontology Special Publication # 7.
- Fukuyo Y, Taylor F. 1989. Morphological characteristics of dinoflagellates in Hallegraeff and JL Maclean. Biology, epidemiology and management of Pyrodinium red tides. ICLARM.
- Garcés E, I Bravo, M Vila, R Figueroa, M Masó, R Sampedro. 2004. Relationship between vegetative cells and cyst production during *Alexandrium minutum* bloom in Arenys de Mar harbour (NW Mediterranean) Journal of Research. 26 (6):637-645.
- Gierloff- Emden, HG. 1975. La costa de El Salvador. Dirección de publicaciones, Ministerio de Educación. San Salvador. 247 pp.
- Garate LI, C Schmidt, DG Verdugo, G Muñeton, EP Felix. 2007. Dinoflagelados (Dinophyceae) Del Sistema Lagunar Magdalena Almejas. DF. 94 paginas.

- Garate LI, A Gonzales. 2011. Occurrence of *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* along the southern coast of the Baja California Peninsula Marine Pollution Bulletin 62 (2011) 626–630.
- Genovesi B, D Moulliot, A Vaquer, M Laabir, A Pastoureaud. 2007. Towards and optimal sampling strategy for *Alexandrium catenella* (Dinophyceae) benthic resting cysts. Harmfull Algae 6 (6):837-848.
- Guía de Laboratorio de Construcción I, UCA. 1996. “Standard Test Method For Materials Finer Than 75 μm Sieve in Mineral Aggregates by Washing” Método de ensayo estándar para material más fino que la malla N° 200 (75 μm) en agregado mineral por lavado.
- Gómez B. 1999. Elementos de Estadística Descriptiva. 3ª edic. C.R. EUNED. San José, Costa Rica.
- Guardado K, L Castillo, O Amaya, J Espinoza, F Chicas. 2011. Sistema de Información en Línea para la advertencia de mareas rojas en El Salvador. En el periodo abril-octubre 2012. Cienc. y Tecn. Vol.16 (21).
- Hallegraeff GM. 1998. Transport of toxic dinoflagellate via ships ballast water: bioeconomic risk assessment and efficacy of possible ballast water management strategies. Marine Ecology Progress Series 168: 297-309.
- Hallegraeff GM, DM Anderson, AC Cembella. 2003. Harmful Marine Microalgae, Monographs on oceanographic methodology. OIC-UNESCO.793 p.
- Hasle GR, C Thomas. 1996. Identifying Marine Phytoplankton. Academic Press. 570pp.
- Harland R, CJ Pudsey. 2002. Protoperidiniacean dinoflagellate cyst taxa from the Upper Miocene of ODP Leg 178, Antarctic Peninsula. Rev. of Palaeobot. and Palyn. 2460: 1-22
- Herrera N. 2001. Corredor Biológico Golfo de Fonseca El Salvador. Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo.59pp.
- Ichimi K, S Montani. 2001. Effects of deposit feeder ingestion on the survival and germination of marine flagellate cysts. Fisheries Sci. 67: 1178–1180.
- Ichinomiya M, M Nakamachi, A Taniguchi. 2004. A practical method for enumerating cysts of ciliates in natural marine sediments. Aquatic Microbial Ecology.37: 305–310.

- Isla DG, S Rossi, I Fiorillo, E Sañé, J Gili, EA Wolf. 2011. Biochemical characteristics of surface sediments on the eastern Weddell Sea continental shelf, Antarctica: is there any evidence of seasonal patterns. *Polar. Biol.* 34:1125–1133.
- Joyce LB, GC Pitcher. 2004. Encystment of *Zygabikodinium lenticulatum* (Dinophyceae) during a summer bloom of dinoflagellates in the upwelling system. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 59 1-11.
- Karlen DJ, M Miller. 2011. The distribution of *Pyrodinium bahamense* cysts in Old Tampa Bay sediments. Environmental Protection Commission of Hillsborough County.
- Kristian S, M Lidstrom. 2008. Phytoplankton life cycle transformations lead to species-specific effects on sediment processes in the Baltic Sea. *Cont. Shelf Res.* (28) 2488–2495.
- Landsberg JH et al. 2006. Saxitoxin puffer fish poisoning in the United States, with the first report of *Pyrodinium bahamense* as the putative toxin source. *Environ. Health Persp.* 114, 1502–1507.
- Landsberg JH. 2002. The effects of harmful algal blooms on aquatic organisms. *Rev Fish Sci* 10:113–390
- Lembeye VG. 2004. Distribución de quistes de *Alexandrium catenella* y otros dinoflagelados en sedimentos de la zona austral de Chile. *Cien. y Tecn. Mar.* 27 (2): 21-31.
- Martínez TG. 2011. Comparación morfológica y toxicológica de las poblaciones de *Pyrodinium bahamense* Plate del Sur del Golfo de California (México) Tesis para obtener el grado Maestro en Ciencias. (Biología Marina) Universidad Nacional Autónoma de México.
- Marret F, AF Zonneveld. 2003. Atlas of modern organic-walled dinoflagellate cyst distribution. *Rev. of Palaeobot. and Palynol.* 125. 1-200.
- Matsuoka K, Y Fukuyo. 2000. Guia tecnica para el studio de dinoflagelados actuales. WESTPAC-HAB/WESTPAC/IOC. 29pp.
- Matsuoka K, H Shin. 2010. Environmental changes in the Inner Part of Ariak Sound, West Japan Recorded in Dinoflagellated cysts assemblages. *Coastal Environmental and Ecosystem.* A. Ishimatsu and H-J.lie. pp 111-120.

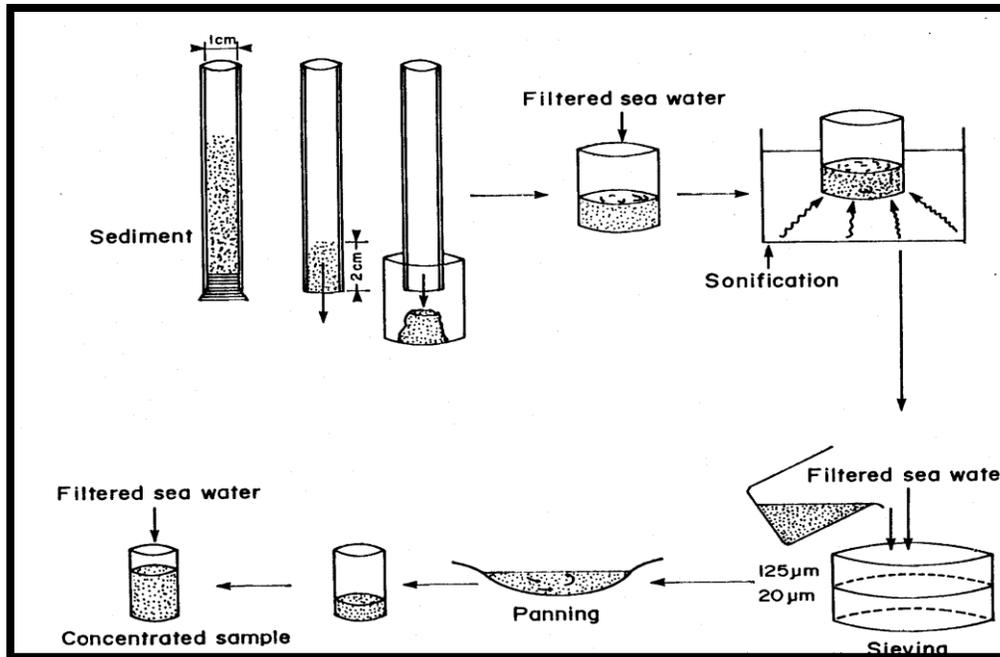
- Matsuoka K, LB Joyce, Y Kotani, Y Matsuyama. 2003 .Modern dinoflagellate cysts in hypertrophic coastal waters of Tokyo Bay, Japan. *Jour. Of Plank. Res.* 25(12):1461–1470.
- Mizushima K, K Matsuoka, y Y Fukuyo. 2007. Vertical distribution of *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* (Dinophyceae) cysts in Ambon Bay and Hurun Bay, Indonesia *Plankton Benthos Res* 2(4): 163–174.
- Monterrosa UAJ. 1993. Caracterización de algas, protozoos e insectos acuáticos presentes en las comunidades planctónicas y bentónicas en las aguas del Río Chagüite (Afluente del Lago de Ilopango), El Salvador. Tesis para optar al grado de Licenciado en Biología. Universidad de El Salvador, Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Escuela de Biología. San Salvador, El Salvador. 245 pp.
- Morquecho L, R Alonso, A Arreola, A Reyes. 2012. Factors associated with moderate blooms of *Pyrodinium bahamense* in shallow and restricted subtropical lagoons in the Gulf of California. *Bot. Mar.* vol. 55 Numero 66.
- Morquecho L, DT Góngora, YB Okolodkov. 2009. Cyst-theca relationships of Gonyaulacales and Peridinales (Dinophyceae) from Bahia Concepcion, gulf of California. *Acta Bot. Mex.* 88:9-29.
- Morquecho L. 2008. Morphology of *Pyrodinium bahamense* Plate (Dinoflagellata) near Isla San José, Gulf of California, Mexico. *Harmful Algae* 7, 664–670.
- Morquecho L, Lechuga DC. 2003. Dinoflagellate cysts in recent sediments from bahía Concepción, Gulf of California. *Botanica Marina*, 46:132-141
- Okolodkov YB. 2008. *Protoperidinium* bergh (dinophyceae) of the national park sistema arrecifal veracruzano, gulf of mexico, with a key for identification. *Acta Botanica Mexicana* 84: 93-149
- Orantes TE, B Vieyetz. 2007. Abundancia y Distribución de *Pyrodinium bahamense* en fase vegetativa y quística, en las playas: El Sunzal, Taquillo y Mizata, Departamento de La Libertad, El Salvador. Tesis para optar al grado de Licenciatura en Biología. Universidad de El Salvador, San Salvador. 122 p.

- Peña MJ, Gaxiola CG, Helenes EJ, Orellana CE. 2001. Quistes de *Lingulodinium polyedrum*, productor de mareas rojas en la Bahía de Todos los Santos. (Invierno-Primavera, 2000) Ciencias Marinas. 27 (4): 543-558.
- Peña MJ. 2008. Ecología de Dinoflagelados Productores de Florecimientos en la Bahía de Todos Santos, Baja California. Tesis para optar al grado de maestro en ciencias. CICESE. B.C. México.
- Pena JL, J Helenes, G Gaxiola, E Orellana. 2005. Dinoflagellate cysts and Bloom events at Todos Santos Bay, Baja California, Mexico, 1999–2000. Continental Shelf Research 25. 1375–1393.
- Pfaunckuch HO, R Paulson. Grain Size Distribution and Hydraulic Properties. http://faculty.njcu.edu/wmontgomery/Coastal_Zone/Grain%20Size%20Distribution.htm
- Phlips EJ, Badylak S, Bledsoe E, M Cichra. 2006. Factors affecting the distribution of Pyrodinium bahamense var. bahamense in coastal waters of Florida. Mar. Ecol. Prog. Ser. 322: 99-115.
- Pineda V. 2005. Granulometría, mineralogía y geoquímica de los sedimentos marinos del golfo Reloncaví y golfo Corcovado, entre los 42° Y 44° S. CONA-C10F 04-12.
- Pospelova V, GL Chmura, WS Boothman, JS Latimer. 2005. Spatial distribution of modern dinoflagellate cysts in polluted estuarine sediments from Buzzards Bay (Massachusetts, USA) embayments Mar Ecol Prog Ser 292: 23–40.
- Pospelova V, GL Chmura, WS Boothman, JS Latimer. 2001. Dinoflagellate cyst records and human disturbance in two neighboring estuaries, New Bedford Harbor and Apponagansett Bay, Massachusetts (USA). Elsevier 298:81-102
- Pospelova V, S Esenkulova, SC Johannessen, MC O'Brien, RW Macdonald. 2010. Organic-walled dinoflagellate cyst production, composition and flux from 1996 to 1998 in the central Strait of Georgia (BC, Canada): A sediment trap study. Marine Micropaleontology 75. 17–37.
- Price AM, V Pospelova. 2011. High-resolution sediment trap study of organic-walled dinoflagellate cyst production and biogenic silica flux in Sanich Inlet (Canada) Marine Micropaleontology 80:18–43.

- Radi T, A de Vernal, O Peyron. 2001. Relationships between dinoflagellate cyst assemblages in surface sediment and hydrographic conditions in the Bering and Chukchi seas. *Jour. Quarter. Sci.* Vol. 16 pp. 667–680.
- Rochon A, F Marret. 2004. Middle latitude dinofagellates and their cysts: increasing our understanding on their distribution. *Palaeobot. and Palyn.* 128: 1-5.
- Satta T, S Angles, E Garces, A. Luglie, M Padedda, N Sechi. 2010. Dinoflagellate cysts in recent sediments from two semi-enclosed areas of the Western Mediterranean Sea subject to high human impact. *Deep-Sea Research II* 57 (2010) 256–267.
- Sluijs A, J Prossa, H Brinkhuis 2005. From greenhouse to icehouse; organic-walled dinoflagellate cysts as paleoenvironmental indicators in the Paleogene. *Earth-Science Reviews* 68 281–315.
- Seguel M, MA Tocornal, A Sfeir. 2001. Evaluación de la toxicidad en moluscos, quistes y microalgas productoras de toxinas en la XI región. 09 pp
- Seguel M, A Sfeir. 2010. Distribución y quistes de dinoflagelados tóxicos en los canales occidentales de la región de Aysén. *Cien. Y Tecn. del Mar.* 1(33) pp. 43-55.
- Solomon E, M Berg, E Martin. 2001. *Biología.* 5° Edic. McGraw Hill Interamericana. 1200 pp.
- Spector DL. 1984. *Dinoflagellates.* Academic Press. INC. Orlando, Florida vol, 41.
- Steidinger KA, K Tangen. 1996. *Dinoflagellates.* 1997. 387-588. In TOMAS, C. (comp.). *Identifying Marine Phytoplankton.* Academic Press. United States of America. 858 pp.
- Usup A, A Ahmad, K Matsuoka, PT Lim, CP Leaw. 2012. Biology, ecology and bloom dynamics of the toxic marine dinoflagellate *Pyrodinium bahamense* Harmful Algae 14: 301–312
- Tyler M, D Wayne Coats, Anderson DM. 1982. Deposition of dinoflagellate cysts by a frontal Convergence. *Marine Ecology Progress Series.* Vol. 7: 163-178.
- Thibodeau B, A Vernal, A Mucci. 2006. Recent eutrophication and consequent hypoxia in the bottom waters of the Lower St. Lawrence Estuary: Micropaleontological and geochemical evidence. *Marine Geology* 2(3) 37–50

- Usup G, DM Kullis, DM Anderson. 1994. Growth and toxin production of the toxic dinoflagellate *Pyrodinium bahamense* var. *compressum* in Laboratory cultures. *Natural Toxicology*. 2:254-262.
- Valle-Levinson A, KT Bosley. 2003. Reversing circulation patterns in a tropical estuary, *J. Geophys. Res.* 108(C10) 3331.
- Vázquez LB, T Radi, AC Ruiz, A de Vernal, ML Machain, JF Kiehl, C Hillaire. 2008. Organic-walled dinoflagellate cysts and benthic foraminifera in coastal sediments of the last century from the Gulf of Tehuantepec, South Pacific Coast of Mexico. *Marine Micropaleontology* 68, 49–65.

IX Anexos



Anexo 1. Técnica utilizada para limpiar muestras de sedimentos marinos (Matzuoka and Fukuyo 2000).

Anexo 2 (A). Ubicación de los núcleos de sedimentos recolectados durante la campaña de muestreo (marzo y agosto del 2012).

| MUESTREO | CORE | COOR. NORTE | COORD. OESTE | LONG. (cm) | PROF. (m) |
|-----------------|-------------|--------------------|---------------------|-------------------|------------------|
| 14 MARZO | GF 01 | 13° 11 50.6 | 87° 53 16.7 | 21 | 8 |
| | GF 02 | 13° 11 22.4 | 87° 52 42.7 | 8 | 6 |
| | GF 03 | 13° 10 50.1 | 87° 52 07.8 | 15 | 8 |
| | GF 04 | 13° 11 28.0 | 87° 51 13.8 | 28 | 8 |
| | GF 05 | 13° 12 01.9 | 87° 51 48.7 | 10 | 9 |
| 09 MAYO | GF 06 | 13° 12 35.1 | 87° 52 51.3 | 9 | 8 |
| | GF 07 | 13° 13 03.2 | 87° 51 36.3 | 10 | 6 |
| | GF 08 | 13° 12 14.9 | 87° 51 27.0 | 10 | 6 |
| | GF 09 | 13° 12 06.0 | 87° 50 27.7 | 38 | 8 |
| 31 AGOSTO | GF 10 | 13° 12 00.9 | 87° 52 37.4 | 19 | 6 |
| | GF 11 | 13° 12 59.1 | 87° 50 59.2 | 25 | 7 |
| | GF 12 | 13° 11 27.9 | 87° 51 59.5 | 26 | 8 |
| | GF 13 | 13° 11 57.5 | 87° 51 03.2 | 13 | 8 |
| | GF 14 | 13° 12 29.5 | 87° 50 17.8 | 18 | 9 |
| | GF 15 | 13° 12 00.9 | 87° 52 37.4 | 17 | 9 |

Anexo 2 (B). Frecuencias relativa y porcentual de los quistes de dinoflagelados reportados en el estudio.

| Espece | GF 01 | GF 02 | GF 03 | GF 04 | GF 05 | GF 06 | GF 07 | GF 08 | GF 09 | GF 10 | GF 11 | GF 12 | GF 13 | GF 14 | GF 15 | Frec . | Frec. Rel. | Frec. Rel. % |
|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|---------------|-----------------|
| <i>Pyrod. Baham.</i> | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 | 3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 13 | 0.07821 | 7.821 |
| <i>Prot. Subin.</i> | 0 | 1 | 4 | 2 | 5 | 5 | 6 | 8 | 9 | 2 | 2 | 3 | 12 | 9 | 2 | 70 | 0.39106 | 39.106 |
| Prot. Sp1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 6 | 0 | 2 | 2 | 19 | 0.10615 | 10.615 |
| Prot. oblongum | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 2 | 1 | 1 | 2 | 3 | 1 | 14 | 0.07821 | 7.821 |
| Prot. conicoides | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 | 2 | 5 | 3 | 2 | 1 | 2 | 0 | 1 | 2 | 1 | 22 | 0.12291 | 12.291 |
| Prot. robustum | 1 | 0 | 3 | 1 | 0 | 2 | 7 | 2 | 1 | 1 | 0 | 4 | 4 | 5 | 2 | 33 | 0.18436 | 18.436 |
| Prot. reidii | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 7 | 0.03911 | 3.911 |
| Total | | | | | | | | | | | | | | | | | | 100 % |

Anexo 4. Recuento de los quistes en la profundidad muestreada en los núcleos de sedimento recolectado entre marzo y agosto del 2012, en el Golfo de Fonseca departamento de La Unión.

| Profundidad (cm) | GF01 | GF02 | GF03 | GF04 | GF05 | GF06 | GF07 | GF08 | GF09 | GF10 | GF11 | GF12 | GF13 | GF14 | GF15 |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0 a 2 | 8 | 0 | 5 | 4 | 3 | 1 | 4 | 5 | 5 | 4 | 0 | 0 | 3 | 7 | 2 |
| 2 a 4 | 8 | 1 | 3 | 2 | 2 | 1 | 5 | 5 | 1 | 2 | 9 | 2 | 1 | 5 | 1 |
| 4 a 6 | 3 | 1 | 0 | 2 | 0 | 5 | 7 | 3 | 7 | 0 | 5 | 12 | 6 | 4 | 0 |
| 6 a 8 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 10 | 2 | 0 | 4 | 3 | 2 | 6 | 9 | 4 |
| 8 a 10 | 2 | 0 | 5 | 0 | 3 | 0 | 6 | 6 | 1 | 0 | 0 | 2 | 8 | 5 | 1 |
| sumatorias | 24 | 3 | 14 | 10 | 10 | 10 | 32 | 21 | | 10 | 17 | 18 | 24 | 30 | 8 |
| | | | | | | | | | 14 | | | | | | |

