

Comparación temporal y espacial de factores bióticos y abióticos en la Bahía
Bioluminiscente en La Parguera y Puerto Mosquito en Vieques.

por

Brenda María Soler Figueroa

Tesis sometida en cumplimiento parcial
de los requisitos para el grado de

Maestro de Ciencias Marinas

en

Oceanografía Biológica

Universidad de Puerto Rico
Recinto de Mayagüez

Julio 2006

Aprobada por:

Juan G. González Lagoa, PhD
Miembro del Comité Graduado

Fecha

Miguel Sastre, PhD
Miembro del Comité Graduado

Fecha

Roy Armstrong, PhD
Presidente del Comité Graduado

Fecha

Fernando Gilbes, PhD
Representante de Estudios Graduados

Fecha

Nilda Aponte, PhD
Directora del Departamento

Fecha

RESUMEN

Las bahías bioluminiscentes han sido objeto de estudio científico por ser ecosistemas naturales diferentes a otros ecosistemas marinos. Entre las características principales de éstas podemos mencionar que son relativamente llanas, poseen aberturas estrechas que dan hacia el mar y están bordeadas por sistemas de manglar. Durante doce meses (enero 2003 a diciembre 2003) se realizaron estudios en la Bahía Bioluminiscente, La Parguera y en Puerto Mosquito; Vieques, Puerto Rico, con el objetivo principal de comprobar si las diferencias existentes en la abundancia y composición de especies entre ambas bahías se deben a diferencias en la concentración de nutrientes. Este estudio confirmó que existen diferencias significativas entre las principales poblaciones de dinoflagelados presentes en ambas bahías. *Pyrodinium bahamense* resultó ser la especie numéricamente dominante en Puerto Mosquito con un promedio anual de 286,411 células/l. El promedio anual en la Bahía Bioluminiscente fue de 50,618 células/l. Por otro lado en la Bahía Bioluminiscente *Ceratium furca* dominó parte del año sobre *Pyrodinium bahamense* con un promedio anual de 97,850 células/l, mientras que en Puerto Mosquito su concentración anual fue de 11,172 cél./l. La prueba estadística ANOVA de dos vías no encontró diferencias significativas en la concentración de nutrientes entre la Bahía Bioluminiscente y Puerto Mosquito. Por lo tanto, se sugiere que este parámetro no es la causa de las diferencias en las poblaciones de dinoflagelados entre ambas bahías.

ABSTRACT

Bioluminescent bays are unique natural marine ecosystems. Some of their principal characteristics are that they are relatively shallow, surrounded by mangrove systems and have a narrow entrance to the sea. Two bioluminescent bays in Puerto Rico (Bahía Bioluminiscente and Puerto Mosquito) were surveyed monthly throughout one year (January 2003 to December 2003). The main objective of this study was to determine whether the differences in abundance and composition of the principal dinoflagellate populations between the two bays are due to differences in nutrient concentrations. This study confirms that there are significant differences in the species composition between the two bays: *Pyrodinium bahamense* is the numerically dominant species of dinoflagellate in Puerto Mosquito, with an annual average concentration of 286,411 cells/l. The annual average concentration in Bahía Bioluminiscente was 50,618 cells/l. On the other hand, in Bahía Bioluminiscente *Ceratium furca* dominated over *P. bahamense* part of the year with an annual concentration of 97,850 cells/l; the concentration in Puerto Mosquito was 11,172 cells/l. A two-way ANOVA test found no significant differences in nutrient concentrations between Bahía Bioluminiscente and Puerto Mosquito. Therefore, this study suggests that nutrient concentrations is not the causal factor of the differences in dinoflagellate populations between the two bays.

Brillas, y porque brillas respiro. Enciende todas tus
luces, -yo te pido- ; ¡enciéndelas! -ya casi en un
suspiro-. Nado en ti y resplandezco, nado en ti y me
iluminas... **Anabakaena**

A la luminiscencia de mi VIDA...

Alberto José Soler Figueroa

Y a mis padres

que siempre con todo su AMOR

hacen que las cosas sean cada día mejor

AGRADECIMIENTOS

Deseo reconocer y dar mis más sinceras gracias a todas las personas que de una forma u otra *brillaron* con su presencia, aportación y colaboración durante la realización de la siguiente investigación. Al Dr. Juan G. González Lagoa, una de las razones de ser de este trabajo; por todas sus enseñanzas; por ser un gran maestro; por su motivación, apoyo, comprensión y entendimiento, un millón de gracias. Deseo agradecer además al resto de mi comité, al Dr. Roy Armstrong y al Dr. Miguel Sastre por sus consejos, sugerencias y paciencia en la preparación de esta tesis.

Quedo muy agradecida con el Dr. Alfredo E. Sanjuan, por su ayuda desinteresada; por todas las técnicas enseñadas; por su compañía en los muestreos y consejos siempre útiles. Gracias al Dr. Aldo Croquer por su gran ayuda, más que apreciada, en la realización de los análisis estadísticos.

Doy gracias al equipo de “Biobay Conservation Group” en Vieques, en especial a Sharon Grasso y Frank Celeste por el suministro de parte del equipo utilizado en este trabajo y por las visitas nocturnas a Puerto Mosquito; gracias a Carlos Bermúdez, Mark Martin y Mariela Goyco por hacer de los muestreos; una de las etapas más pesadas del estudio, unos más amenos e interesantes.

Al Laboratorio de Biología Molecular y a todas las personas que lo componen va mi más profundo agradecimiento por su aliento, ánimo y amistad; por adoptarme en su laboratorio y hacerme sentir parte de él. Deseo agradecer además al Laboratorio de Química Oceanográfica por permitirme utilizar su equipo e instrumentación. Doy gracias al Departamento de Ciencias Marinas y a todos en Isla Magueyes, en especial a nuestras secretarias Zulma, Lilivette y Taty por siempre decir presente.

Gracias al Centro de Recursos para Ciencias e Ingeniería por toda la ayuda económica brindada y suministro de material de laboratorio utilizado durante este estudio.

CONTENIDO

RESUMEN	II
ABSTRACT	III
AGRADECIMIENTOS	VI
CONTENIDO	VIII
LISTA DE TABLAS	X
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE APENDICES	XIII
INTRODUCCION	14
ESTUDIOS PREVIOS	18
1. PATRONES DE CIRCULACIÓN	18
2. VIENTO	20
3. PRECIPITACIÓN.....	22
4. NUTRIENTES.....	23
5. OTROS ESTUDIOS RELACIONADOS	25
AREA DE ESTUDIO	26
1. BAHÍA BIOLUMINISCENTE	26
2. PUERTO MOSQUITO.....	27
METODOLOGIA	30
RESULTADOS	36
1. DATOS HIDROLÓGICOS	36
1a. Bahía Bioluminiscente, La Parguera.....	36
1b. Puerto Mosquito, Vieques.....	40
2. DATOS BIOLÓGICOS.....	45
2a. Bahía Bioluminiscente	45
2b. Puerto Mosquito.....	46
3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	48
3a. Densidad anual de <i>Pyrodinium bahamense</i> y <i>Ceratium furca</i>	48
3b. Abundancia mensual <i>Pyrodinium bahamense</i> y <i>Ceratium furca</i>	53
3c. Correlaciones entre los dinoflagelados y varios parámetros fisicoquímicos.....	54
3d. Concentración de nutrientes en la Bahía Bioluminiscente y Puerto Mosquito ..	59
DISCUSIÓN	62
1. CONDICIONES HIDROLÓGICAS EN LA BAHÍA BIOLUMINISCENTE Y PUERTO MOSQUITO	62
1a. Temperatura y Salinidad.....	62
1b. Clorofila a.....	67
1c. Nutrientes	73

2. PATRONES DE ABUNDANCIA DE LOS DINOFLAGELADOS EN LA BAHÍA	
BIOLUMINISCENTE Y PUERTO MOSQUITO	77
2a. <i>Comparaciones espaciales y temporales</i>	77
CONCLUSIONES	87
REFERENCIAS	89

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. CORRELACIONES ANUALES ENTRE LAS ESPECIES Y LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN LA BAHÍA BIOLUMINISCENTE.....	57
TABLA 2. CORRELACIONES ANUALES ENTRE LAS ESPECIES Y LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN PUERTO MOSQUITO	58
TABLA 3. PRUEBA DE ANOVA DE 2 VÍAS (DATOS TRANSFORMADOS A LA RAÍZ TERCERA)	60
TABLA 4. PRUEBA DE ANOVA DE 2 VÍAS (DATOS TRANSFORMADOS A LA RAÍZ TERCERA)	60
TABLA 5. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS OBSERVADOS EN VARIOS ESTUDIOS PREVIOS Y EN ESTE ESTUDIO EN LA BAHÍA BIOLUMINISCENTE.....	65
TABLA 6. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS OBSERVADOS EN ESTUDIOS PREVIOS Y EN ESTE ESTUDIO EN PUERTO MOSQUITO.....	66
TABLA 7. DISTRIBUCIONES TEMPORALES EN LAS POBLACIONES DE DINOFLAGELADOS EN LA BAHÍA BIOLUMINISCENTE. COMPARACIONES CON ESTUDIOS PREVIOS.....	84
TABLA 8. DISTRIBUCIONES TEMPORALES EN LAS POBLACIONES DE DINOFLAGELADOS EN PUERTO MOSQUITO. COMPARACIONES CON ESTUDIOS PREVIOS	85

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. <i>PYRODINIUM BAHAMENSE</i> VAR. <i>BAHAMENSE</i>	15
FIGURA 2. MAPA DE PUERTO RICO Y DE LAS BAHÍAS BIOLUMINISCENTES ESTUDIADAS .	29
FIGURA 3. BAHÍA BIOLUMINISCENTE; LA PARGUERA, LAJAS, PUERTO RICO.....	34
FIGURA 4. PUERTO MOSQUITO, VIEQUES, PUERTO RICO.....	35
FIGURA 5. TEMPERATURA Y SALINIDAD PROMEDIO EN LA BAHÍA BIOLUMINISCENTE	37
FIGURA 6. PRECIPITACIÓN PROMEDIO EN LA BAHÍA BIOLUMINISCENTE	38
FIGURA 7. CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE LA CLOROFILA A EN LA BAHÍA BIOLUMINISCENTE	38
FIGURA 8A. CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE NITRATOS, AMONIA Y SILICATOS EN LA BAHÍA BIOLUMINISCENTE	39
FIGURA 8B. CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE NITRITOS Y FOSFATOS EN LA BAHÍA BIOLUMINISCENTE.....	40
FIGURA 9. TEMPERATURA Y SALINIDAD PROMEDIO EN PUERTO MOSQUITO	41
FIGURA 10. PRECIPITACIÓN PROMEDIO EN PUERTO MOSQUITO.....	42
FIGURA 11. CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE LA CLOROFILA A EN PUERTO MOSQUITO .	43
FIGURA 12A. CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE NITRATOS, AMONIA Y SILICATO EN PUERTO MOSQUITO.....	44
FIGURA 12B. CONCENTRACIÓN PROMEDIO DE NITRITOS Y FOSFATOS EN PUERTO MOSQUITO.....	44
FIGURA 13. DENSIDAD POBLACIONAL DE <i>PYRODINIUM BAHAMENSE</i> EN LA BAHÍA BIOLUMINISCENTE	45
FIGURA 14. DENSIDAD POBLACIONAL DE <i>CERATIUM FURCA</i> EN LA BAHÍA BIOLUMINISCENTE.....	46
FIGURA 15. DENSIDAD POBLACIONAL DE <i>PYRODINIUM BAHAMENSE</i> EN PUERTO MOSQUITO.....	47
FIGURA 16. DENSIDAD POBLACIONAL DE <i>CERATIUM FURCA</i> EN PUERTO MOSQUITO....	47
FIGURA 17. DENSIDAD ANUAL DE <i>PYRODINIUM BAHAMENSE</i>	50
FIGURA 18. DENSIDAD ANUAL DE <i>CERATIUM FURCA</i>	50
FIGURA 19. DENSIDAD ANUAL DE <i>PYRODINIUM BAHAMENSE</i> ENTRE ESTACIONES.....	51
FIGURA 20. DENSIDAD ANUAL DE <i>CERATIUM FURCA</i> ENTRE ESTACIONES	51
FIGURA 21. DENSIDAD ANUAL DE <i>PYRODINIUM BAHAMENSE</i> ENTRE LOCALIDADES, ENTRE ESTACIONES Y ENTRE PROFUNDIDADES	52
FIGURA 22. DENSIDAD ANUAL DE <i>CERATIUM FURCA</i> ENTRE LOCALIDADES, ENTRE ESTACIONES Y ENTRE PROFUNDIDADES.	52
FIGURA 25. CONCENTRACIONES ANUALES DE NUTRIENTES EN LA BAHÍA BIOLUMINISCENTE Y PUERTO MOSQUITO	60
FIGURA 26. CONCENTRACIONES PROMEDIOS EN NUTRIENTES	61
FIGURA 27. DIFERENCIAS EN LA CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES.....	61
FIGURA 28. VALORES PROMEDIOS EN SALINIDAD Y PRECIPITACIÓN EN LA BAHÍA BIOLUMINISCENTE	63
FIGURA 29. VALORES DE SALINIDAD Y PRECIPITACIÓN EN PUERTO MOSQUITO	64
FIGURA 30. SALINIDAD EN LA BAHÍA BIOLUMINISCENTE Y PUERTO MOSQUITO.....	66

FIGURA 31. DENSIDAD POBLACIONAL DE <i>P. BAHAMENSE</i> Y CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA A EN LA BAHÍA BIOLUMINISCENTE	70
FIGURA 32. DENSIDAD POBLACIONAL DE <i>C. FURCA</i> Y CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA A EN LA BAHÍA BIOLUMINISCENTE	71
FIGURA 33. DENSIDAD POBLACIONAL DE <i>P. BAHAMENSE</i> Y CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA A EN PUERTO MOSQUITO.....	71
FIGURA 34. DENSIDAD POBLACIONAL DE <i>C. FURCA</i> Y CONCENTRACIÓN DE CLOROFILA A EN PUERTO MOSQUITO.....	72
FIGURA 35. CONCENTRACIÓN CLOROFILA A Y PRECIPITACIÓN EN LA BAHÍA BIOLUMINISCENTE	72
FIGURA 36. CONCENTRACIÓN CLOROFILA A Y PRECIPITACIÓN EN PUERTO MOSQUITO .	73
FIGURA 37. CONCENTRACIÓN DIARIA <i>P. BAHAMENSE</i> EN PUERTO MOSQUITO.....	83

LISTA DE APENDICES

APÉNDICE 1. LATITUD Y LONGITUD DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO	94
--	----

INTRODUCCION

Puerto Rico se enorgullece de contar con uno de los ecosistemas más impresionantes debido a su belleza natural y que más atrae la atención tanto de turistas como de científicos que visitan nuestra isla: las Bahías Bioluminiscentes. Por bioluminiscencia se entiende la emisión de luz por organismos vivos. Esta resulta de la catálisis de la oxidación de la luciferina por la enzima luciferasa (Hastings, 1983).

La bioluminiscencia en las bahías de Puerto Rico (ie. Bahía Bioluminiscente en La Parguera y Puerto Mosquito en Vieques), es causada por organismos microscópicos llamados dinoflagelados. Estos pertenecen al reino protista y poseen características tanto de plantas (llevan a cabo fotosíntesis), como de animales (poseen flagelos los cuales le dan movilidad). La especie que predomina en nuestras bahías es *Pyrodinium bahamense var. bahamense* (Margalef, 1957; Figura 1). El nombre del género *Pyrodinium* proviene del griego *pyros* que significa fuego y *dinos* que significa girar.

Muchas veces encontramos dentro de las bahías manchas o enjambres causados por agregaciones espaciales y temporales de fitoplancton (ie. dinoflagelados). Se han propuesto varias ideas para explicar el por qué estos organismos se agregan de esta manera. Margalef (1957, 1961) propone un mecanismo llamado densificación costera, esto es: el patrón de circulación del

agua es lento por lo que los organismos al ser positivamente fototácticos (Seliger y McElroy, 1968), se pueden sostener en la superficie para llevar a cabo los procesos de fotosíntesis sin ser arrastrados por las corrientes.

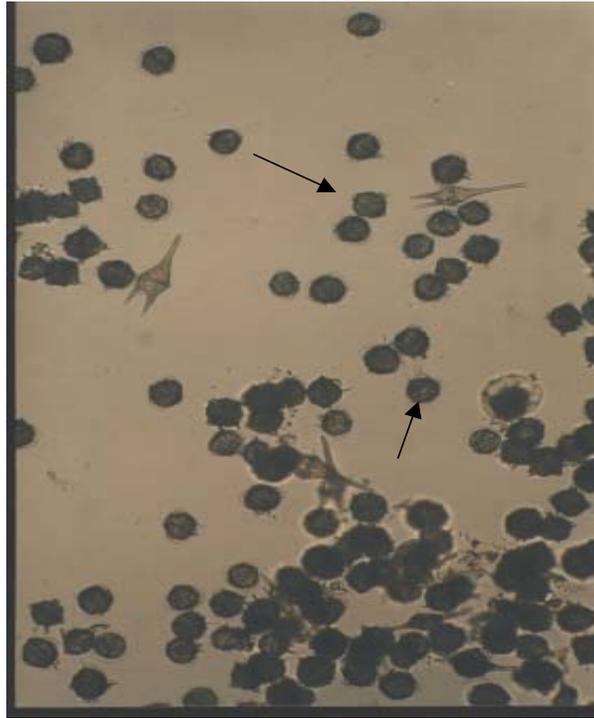


Figura 1. *Pyrodinium bahamense var. bahamense*

Al poseer las bahías una abertura pequeña hacia el mar se previene el que muchos de los organismos sean expulsados hacia fuera de la misma. Además, debido a que las bahías son relativamente llanas y las tasas de evaporación y transpiración son altas, el agua que entra por la superficie se vuelve más salada, más densa y se hunde hasta llegar al fondo. Esta agua más densa se mueve mar afuera lo que permite que las poblaciones de *Pyrodinium bahamense var. bahamense* queden atrapados en la bahía. Otros autores sugieren que el viento, la lluvia y la disponibilidad de nutrientes y vitaminas, son

factores importantes para que las poblaciones de dinoflagelados logren retenerse en estos lugares.

Al conocer la complejidad de procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en las bahías, se hicieron estudios con el propósito de entender la dinámica de estos procesos y sus posibles interacciones en la Bahía Bioluminiscente en La Parguera y Puerto Mosquito en Vieques.

En estudios previos (Seixas, 1983 y 1988; Walker, 1997) se demostró que en algunas ocasiones en la Bahía Bioluminiscente domina otra especie de dinoflagelado no bioluminiscente, *Ceratium furca*; mientras que en Puerto Mosquito *P. bahamense* es el organismo dominante la mayor parte del tiempo (Walker, 1997). ¿A qué se debe esta diferencia en la dominancia de especies entre ambas bahías?

Son pocos los estudios que se han realizado sobre la dinámica de nutrientes existentes en dichas bahías y como se sabe que éstos son importantes para el crecimiento de las poblaciones fitopláncticas, entendemos que es de vital importancia conocer la dinámica de nutrientes existente en ambas bahías y su relación, si alguna, con las poblaciones de *P. bahamense* y *C. furca*. El objetivo principal de este estudio es comprobar si las diferencias en la abundancia y composición de especies entre ambas bahías se deben a diferencias en la concentración de nutrientes. De este modo se responde al

reclamo de Walker (1997) de la necesidad de extender la investigación para entender la dinámica de las poblaciones de dinoflagelados bioluminiscentes, considerando los aspectos biológicos, químicos, distribución de nutrientes y patrones hidrográficos, así como las posibles interacciones entre éstos.

ESTUDIOS PREVIOS

Harvey (1952) explica en sus estudios que en el mar los dinoflagelados constituyen uno de los organismos causantes de la bioluminiscencia; menciona que lo que ocurre es una reacción química que envuelve la oxidación de un compuesto, luciferina, en presencia de la enzima luciferasa. Según Margalef (1957), la especie causante de la bioluminiscencia en las bahías de Puerto Rico es *Pyrodinium bahamense*. También menciona la presencia de otros organismos en la Bahía Bioluminiscente; entre ellos *Ceratium furca*, *Dinophysis caudata ventricosa*, *Pyrophacus horologium steinii*, *Peridinium divergens*, *Prorocentrum micans*, *Peridinium quinquecorne* y *Cochlodinium polykrikoides*.

1. Patrones de circulación

El flujo de agua en las bahías, su profundidad y la abertura que las conecta con el mar son importantes para mantener las poblaciones existentes de dinoflagelados. Coker y González (1960) dejan saber que debido a las condiciones de marea existentes en la Bahía Bioluminiscente; la ausencia de ríos y la baja precipitación y escorrentía, las tasas de intercambio de agua de la bahía con el mar afuera son relativamente bajas permitiendo una mayor concentración de fitoplancton. Esto es confirmado por el trabajo de Margalef (1961) el cual sugiere la importancia de estos parámetros y dice que la concentración del fitoplancton en las bahías está relacionada con la reducción en

el intercambio con el exterior. También informa, que la marea tiene importancia escasa en relación con las comunidades litorales, pero que las corrientes que producen estas mareas pueden afectar notablemente al desarrollo de las comunidades planctónicas en bahías poco profundas. Además Margalef (1961) describe el patrón de circulación del agua de la siguiente manera: “la distribución general de salinidades, temperaturas y densidades señala de manera inequívoca la aproximación del agua de alta mar hacia la costa en la superficie, movimiento que ha de ser compensado por una circulación en sentido inverso por encima del fondo”.

Carpenter y Seliger (1968) encuentran que las variaciones en bioluminiscencia en un mismo sitio son producidas por el patrón de flujo de las corrientes y no debido a la migración vertical de *Pyrodinium bahamense* que ellos suponían. En el 1968, el Departamento del Interior de Estados Unidos reconoce que uno de los factores cruciales para el mantenimiento de las bahías bioluminiscentes lo es la tasa de intercambio del agua de la bahía con el agua de mar. Cada bahía tiene su propia tasa de intercambio de agua, si ésta es alterada desaparecería la bioluminiscencia.

Seixas (1988) encuentra que la distribución superficial de los dinoflagelados más que reflejar las habilidades fototácticas de los organismos, se explican en función de la duración, intensidad, posición y movimiento de las zonas de agregación bajo la acción de los patrones de circulación de la bahía. En

conclusión, el agua menos densa que entra del exterior genera patrones de circulación superficial y flujos compensatorios profundos de agua más densa que sale de la bahía. Este patrón permite el establecimiento de regiones de acumulación en sitios específicos de la bahía (Margalef, 1961; Smayda, 1970; Seliger et al., 1971; Seixas, 1983 y 1988).

2. Viento

Ryther (1955) dice que uno de los parámetros más importantes para las explosiones poblacionales del fitoplancton en aguas costeras es la ausencia de viento. Small (1963) encontró que el viento es el factor más importante en la distribución horizontal y vertical del fitoplancton en lagos costeros. Este no sólo puede mover y concentrar a las poblaciones, sino que también afecta indirectamente el tamaño de las mismas. Por otro lado, el viento puede ejercer influencia en el potencial de productividad ya que puede transportar nutrientes, materia orgánica suspendida y, posiblemente, zooplancton. La cantidad de luz que penetra también puede variar ya que el viento afecta la superficie del agua y si éste es fuerte puede causar turbidez al levantar sedimentos del fondo. Cintrón (1969) sugiere que el viento es un factor importante en la ecología de la bahía ya que debido a su influencia ocurre mezcla del agua y movimientos en las poblacionales del fitoplancton.

En sus estudios realizados en Oyster Bay, Jamaica, Seliger et al. (1970) encuentran que el viento es el factor principal que determina los patrones temporales en la acumulación de agua de río dentro de la bahía ya que éste es el que produce una rápida tasa de intercambio de agua dentro de la misma. Seliger et al. (1971) también realizaron estudios de las poblaciones de dinoflagelados en la Bahía Bioluminiscente. Ellos sugieren un modelo que explica la dinámica de dinoflagelados en dicha bahía: cuando hay condiciones de viento fuerte, éste empuja las poblaciones de *Pyrodinium bahamense*, los cuales se encuentran en la superficie por ser positivamente fototácticos, hacia dentro de la bahía. Mientras tanto, las poblaciones de *Ceratium furca* al ser negativamente fototácticos, son arrastradas hacia fuera de la bahía debido al flujo de agua del fondo. Por otro lado, cuando existen condiciones de calma, los flujos de la marea predominan en determinar las poblaciones de dinoflagelados: cuando ésta baja arrastra consigo las poblaciones de *Pyrodinium bahamense* que se encuentran en la superficie.

Carvajal (1976) sugiere que las variaciones en salinidad combinada con la dirección y velocidad del viento, en algunos casos, tiene una influencia mayor sobre la bioluminiscencia que la disponibilidad de nutrientes. Otros autores han encontrado que la acumulación de fitoplancton es el resultado de las interacciones espacio-temporales entre los factores que promueven la estructura del ambiente (biológicos y químicos) y los que lo destruyen (mezcla por turbulencia) (Therriault y Platt, 1978). Ellos también concluyen que los procesos

físicos, principalmente la mezcla turbulenta, juegan un papel importante en la dinámica de la distribución del fitoplancton. Therriault et al. (1978) encuentran que los procesos físicos (ie. cuando la velocidad del viento es mayor a 5 m s^{-1}) dominan sobre los procesos químicos y biológicos al controlar la variabilidad espacial del fitoplancton.

Seixas (1983, 1988) encuentra que los vientos del sureste dominan en la zona de la Bahía Bioluminiscente. Este patrón tiende a mover el agua en dirección noroeste y genera acumulaciones de organismos en el área este y en el extremo suroeste de la bahía. El concluye que cambios en la dirección del viento pueden producir alteraciones importantes en la dinámica del fitoplancton y en la distribución de éste dentro de la bahía.

3. Precipitación

Prakash y Rashid (1968) sugieren que las lluvias fuertes son un prerequisite para las explosiones poblacionales de dinoflagelados en aguas costeras y que la intensidad de estos pulsos poblacionales están relacionados a las sustancias húmicas y a los factores nutricionales que traen consigo las esorrentías causadas por la lluvia. Estas esorrentías además, favorecen divisiones rápidas de dinoflagelados debido a que crean condiciones de baja salinidad. Cintrón (1969) encontró que en la Bahía Bioluminiscente hay dos picos marcados en la productividad primaria y en la concentración de clorofila *a*, uno en primavera y otro en otoño. Esos picos se relacionaban a un aumento en la precipitación para

la misma época. Asimismo, Seixas (1983) deja saber que los incrementos progresivos en biomasa durante su estudio parecen suceder a los períodos más lluviosos del año. También, en otro de sus estudios (Seixas, 1988) señaló que la precipitación es un factor importante que podría explicar los cambios sucesionales de dinoflagelados que observó durante un año.

4. Nutrientes

La disponibilidad de nutrientes es otro de los factores que han sido relacionados al desarrollo y aumento de las poblaciones de dinoflagelados. Pomeroy (1956) propone que los nutrientes constituyen uno de los mecanismos para que ocurran las explosiones poblacionales de dinoflagelados. Burkholder y Burkholder (1958) informan en sus estudios que los dinoflagelados en las bahías bioluminiscentes requieren grandes aportaciones de nutrientes para poder llevar a cabo los procesos fotosintéticos. Según ellos, la Bahía Bioluminiscente es bioluminiscente debido a las altas concentraciones de dinoflagelados, especies que se sabe son dependientes de la vitamina B12 para su crecimiento.

Taylor et al. (1966), encuentran que el agua de la bahía bioluminiscente Oyster Bay, Jamaica, es rica en nutrientes inorgánicos. Estos altos niveles se pueden atribuir a la aportación de nutrientes provenientes del río; a la aportación de materia orgánica proveniente del manglar o debido al metabolismo de los organismos bénticos. Burkholder et al. (1967) encuentran que la explosión poblacional de *Cochlodinium sp.* en la Bahía Bioluminiscente está relacionada a

factores nutricionales que entran por el brazo oeste de la bahía bajo condiciones de escorrentías. Cintrón (1969) sugiere que los nutrientes arrastrados por las escorrentías causadas por la lluvia fueron los responsables por el aumento en productividad primaria que ocurrió en primavera y otoño durante su estudio.

Seixas (1983) encontró que las concentraciones promedio de nitratos más nitrito y ortofosfatos registrados resultaron significativamente dependientes del mes de muestreo. Marquéz (1989) encuentra que las concentraciones de nutrientes son importantes para el establecimiento de organismos bioluminiscentes.

El estudio más reciente sobre la dinámica de los nutrientes presentes en la Bahía Bioluminiscente fue el realizado por Sanjuan y González (1998). En este trabajo encuentran que las altas concentraciones de fitoplancton estaban relacionadas con altos niveles de nutrientes, con patrones espaciales y temporales. Además, ellos sugieren que el proceso de amonificación es un proceso clave para liberar nitrógeno de los sedimentos a la columna de agua, lo que resulta en una alta productividad primaria en la bahía.

En conclusión, podemos concurrir con Sanjuan (1999) en que las bahías bioluminiscentes se originan en lugares con condiciones climáticas adecuadas, características físicas y patrones de corrientes combinados para proveer un ambiente óptimo que permita la proliferación de dinoflagelados bioluminiscentes.

5. Otros estudios relacionados

Existen otros tipos de estudios relacionados con la bioluminiscencia donde varios autores han estudiado el comportamiento de la bioluminiscencia al estimular los organismos mecánicamente (Seliger et al., 1962; Soli, 1966; Yentsch y Laird, 1968; Biggley et al. 1969). Otros autores sugieren que los cambios en las poblaciones de dinoflagelados en la columna de agua se deben a la migración vertical de estos organismos (Yentsch et al., 1964; Eppley et al., 1968). También, otros autores han estudiado el efecto de la bioluminiscencia en las tasas de ingestión de los copépodos (Esaias y Curl, 1972; White, 1979).

Odum et al. (1959) realizaron las primeras medidas de productividad primaria en la Bahía Bioluminiscente utilizando la técnica de botellas claras y oscuras y encontraron que la respiración excede a la producción. Clarke y Breslau (1960) reportaron una intensidad luminosa de 10^{-6} w/cm² a cuatro metros de profundidad y un coeficiente de extinción de 0.43 en la bahía. MacLaughlin y Zahl (1961) reportaron el cultivo de *Pyrodinium bahamense* en aguas enriquecidas de la bahía. González (1965) efectuó mediciones de nutrientes, producción primaria, transparencia y clorofila; y encontró evidencias de fluctuaciones estacionales.

AREA DE ESTUDIO

1. Bahía Bioluminiscente

La Bahía Bioluminiscente, mejor conocida como la Bahía Fosforescente, está localizada en Lajas, en la costa suroeste de Puerto Rico (17° 58' N; 67° 2' W), a 3.2 km al este de La Parguera (Figura 2). El área estimada de la bahía es de .19 Km² con una profundidad promedio de 3.5 m, la profundidad máxima es de 4.5 m. La zona de máxima profundidad está localizada cerca del margen oeste donde el perfil vertical es más abrupto (Seixas, 1988). Posee una abertura de aproximadamente 100 – 150 m de ancho la cual la conecta con el mar (Clarke y Breslau, 1960). Esta bahía se caracteriza por poseer forma ameboide y tres brazos o canales orientados hacia el Norte (Seixas, 1983). La bahía está bordeada por bosques de manglar dominados por *Rhizophora mangle*. Podemos encontrar además *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* y *Conocarpus erectus*, los cuales son de vital importancia para la supervivencia de estos ecosistemas marinos (Burkholder y Burkholder, 1958; Coker y González, 1960). En la entrada de la bahía existen arrecifes de coral y yerbas marinas como *Thalassia testudinum*, *Syringodium filiforme* y *Halodule sp.* (Seixas, 1988). Las aguas de la bahía se caracterizan en poseer una alta turbidez debido a la alta concentración de fitoplancton; detritus del manglar; y al transporte y resuspensión de los sedimentos causada por el viento, peces y drenaje de terrenos adyacentes después de fuertes lluvias (González, 1967). De igual modo, Cintrón (1969) informó que la bahía posee una baja transparencia.

Estudios realizados por Clarke y Breslau (1960) demostraron que la bahía posee un coeficiente de extinción (K) promedio de 0.43 desde la superficie hasta 4 m de profundidad. Alrededor de un 18 % de la luz incidente llega al fondo de la bahía. Los rasgos geológicos en La Parguera son el resultado de deformaciones de piedra caliza a principios del Cretáceo (Glynn, 1973). Los sedimentos del fondo están compuestos mayormente de lodo fino; espículas de esponjas, diatomeas, ostrácodos y remanentes de yerbas marinas y hojas de manglar (Margalef, 1961). La bahía se caracteriza por altas tasas de evaporación causadas por las condiciones áridas de la región del suroeste de Puerto Rico (Seixas, 1988). Los vientos alisios del este y sureste prevalecen la mayor parte del tiempo (Glynn, 1973; Seixas, 1988). Seixas (1988) encontró que los organismos fitoplácticos se concentran en la parte suroeste y este de la bahía como resultado de su fisiografía, patrón de circulación y el viento del sureste.

2. Puerto Mosquito

Puerto Mosquito, también conocido como Caño Hondo está localizado en la costa sur de la isla de Vieques la cual se encuentra a 16 Km de la costa este de Puerto Rico (18° 6' N; 65° 26' W) (Figura 2). En Vieques existen otras dos bahías bioluminiscentes (Puerto Ferro y Bahía Tapón) pero la de Puerto Mosquito es la más grande de todas con una extensión de .65 Km² acres y una profundidad promedio de 2.7 m. La profundidad máxima es de aproximadamente 3.7 m (Connelly, 1993). Estudios realizados por Mitchell (2003, datos sin publicar)

revelaron que el área superficial de Puerto Mosquito es de 212 acres y que el volumen de agua es de aproximadamente 120,295,000 l. También encontró que existe una barra de arena de aproximadamente 1 m de profundidad en la entrada de la bahía. En la entrada también existen arrecifes de coral hacia el mar abierto y yerbas marinas como *Thalassia testudinum* y *Syringodium filiforme* (Bernache, 1995). Las tres bahías yacen entre capas formadas a lo largo del margen sur de un terreno volcánico elevado que comprende la roca sólida de la Isla. La roca volcánica está entrelazada con lechos sedimentarios formados de coral y otros invertebrados que se depositaron allí hace aproximadamente 60 millones de años (Bernache, 1995). Al igual que la Bahía Bioluminiscente en La Parguera, Puerto Mosquito posee una abertura estrecha que da hacia el mar y está bordeada por sistemas de bosques de manglar. Las especies más abundantes son *Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans*. Los sedimentos del fondo están compuestos mayormente de arcillas blancas. Al oeste de la bahía existe un santuario de aves.

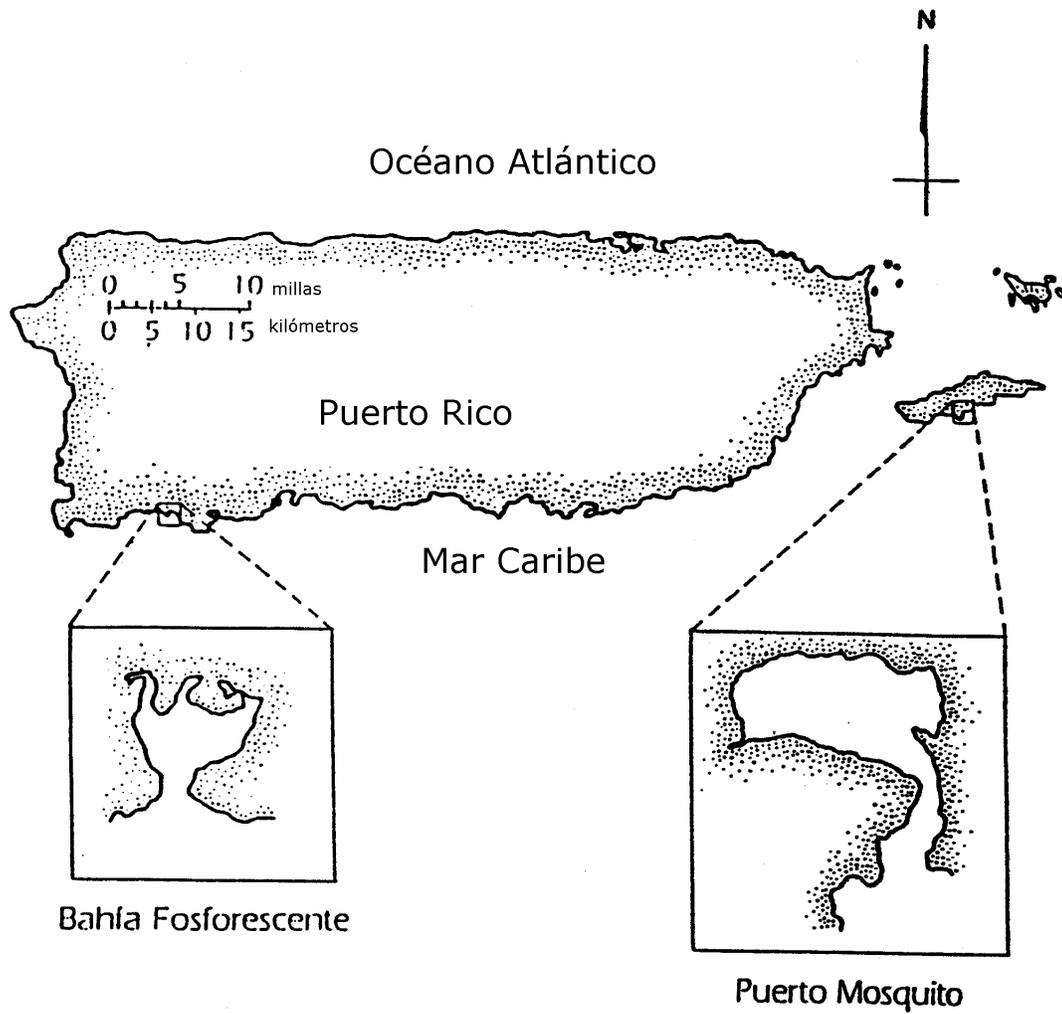


Figura 2. Mapa de Puerto Rico y de las bahías bioluminiscentes estudiadas (Adaptado de Walker, 1997).

METODOLOGIA

Se realizaron medidas mensuales, desde enero del 2003 hasta diciembre del mismo año, en la Bahía Bioluminiscente, La Parguera (mejor conocida como la Bahía Fosforescente) y en Puerto Mosquito, Vieques con el propósito de determinar si existe relación alguna entre las poblaciones de *Pyrodinium bahamense* y *Ceratium furca*, y entre estas poblaciones y las concentraciones de nutrientes y otros parámetros fisicoquímicos. El objetivo principal de este estudio fue probar si las diferencias en las poblaciones de dinoflagelados entre ambas bahías son el resultado de diferencias en la concentración de nutrientes. Las medidas se realizaron en dos estaciones en cada bahía a dos profundidades; en la superficie y a dos metros de profundidad (Figuras 3 y 4). Las estaciones de muestreo no se escogieron al azar, éstas representan áreas donde se espera encontrar la máxima concentración de organismos bioluminiscentes, según estudios previos. La latitud y longitud de las estaciones de muestreo se establecieron utilizando un GPS Garmin V (Apéndice 1). Se hicieron triplicados de todas las muestras tomadas para hacer los análisis estadísticos pertinentes.

Para determinar la dinámica de las poblaciones de *Pyrodinium bahamense* y *Ceratium furca*, se hicieron conteos de las especies en ambas bahías. Para esto se colectaron muestras de plancton durante el día (entre 6:00 am y 8:00 am aproximadamente en cada bahía) utilizando una bomba eléctrica de agua, conectada a una manguera. Se filtraron 7.7 l de agua de mar a través de un filtro de 25 μm y se concentró a un volumen de 50 ml. Estas muestras se

preservaron en formalina y agua de mar a un 5 % aproximadamente. En el laboratorio, de los 50 ml se tomaron .008 ml utilizando una pipeta y se colocaron en una laminilla con un cubreobjeto (esta medida se utilizó ya que es la cantidad correcta para que “no falte” y “no sobre” muestra en la laminilla al colocar el cubreobjeto). Luego, para minimizar el margen de error, se procedió a contar 3 veces cada triplicado utilizando un microscopio OLYMPUS BH-2. Se colectaron además, utilizando el mismo sistema de la bomba de agua, muestras para medir clorofila *a*. Estas se filtraron *in situ* utilizando jeringuillas de 60 ml con un portafiltros y filtros de fibra de vidrio Whatman. Se filtraron de 60 a 200 ml de agua de mar en cada estación. Luego se procedió a remover cuidadosamente el filtro con pinzas especiales para así evitar contaminación. Estos se colocaron en tubos de centrífuga de 10 ml previamente cubiertos con papel de aluminio para evitar degradación por luz y llevados al laboratorio. Luego permanecieron en oscuridad y temperaturas de congelación hasta el momento de la extracción. El procedimiento para la extracción se hizo siguiendo las técnicas de Welschmeyer (1994); se le añadieron 10 ml de acetona 90% a cada muestra filtrada y luego se mantuvieron en el congelador por 24 horas. La clorofila *a* se midió por fluorimetría utilizando un fluorómetro Turner Designs AU10.

Se tomaron muestras mediante el mismo sistema de la bomba de agua para las medidas de salinidad en cada estación y en cada profundidad con un refractómetro de mano (± 1 ‰) AQUATIC Eco-systems. La temperatura se midió

con un termómetro de mercurio convencional, con una escala de 0-100 calibrado en grados Celsius (± 0.1 °C).

Los datos de precipitación para la Bahía Bioluminiscente se obtuvieron de la estación de la NOAA en Magueyes, La Parguera, Lajas, Puerto Rico. Para Puerto Mosquito los datos de precipitación se obtuvieron a través de la página web www.srh.noaa.gov/rfcshare/precip_analysis

Para cuantificar la concentración de nutrientes se utilizaron botellas de polietileno de 500 ml las cuales se llenaron con agua filtrada recolectada con la bomba de agua y luego fueron preservadas con 50 μ l de HgCl_2 . Las muestras se pusieron en un refrigerador (a una temperatura aproximada de 10 °C) hasta el momento de las determinaciones. Se midió la concentración de nitrato, nitrito, fosfato y silicato en ambas bahías utilizando las técnicas de Strickland y Parsons (1972). La concentración de amonía se determinó utilizando el método de Solórzano (1969). Se hicieron las lecturas de absorbancia con un espectrofotómetro Perkin Elmer modelo Lambda-bio.

Para el análisis estadístico se utilizó el programa de “Statistics for Windows” versión 7.1. Primero se determinó si los datos obtenidos seguían una distribución normal utilizando la prueba estadística de Kolmogorov – Smirnov. Debido a que los datos obtenidos no siguieron una distribución normal se utilizaron las siguientes pruebas estadísticas no paramétricas: para

determinar diferencias en las densidades poblacionales de *P. bahamense* y *C. furca* se utilizó la prueba estadística de Kruskal- Wallis ANOVA; para determinar relaciones entre las especies de dinoflagelados y algunos parámetros fisicoquímicos (ie. temperatura, salinidad, concentración de clorofila *a*, fosfatos, silicatos, amonía, nitritos y nitratos) se utilizó la prueba estadística de Correlaciones por rangos de Spearman y para medir diferencias en las concentraciones de nutrientes entre ambas bahías se utilizó un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías (Townend, 2002).

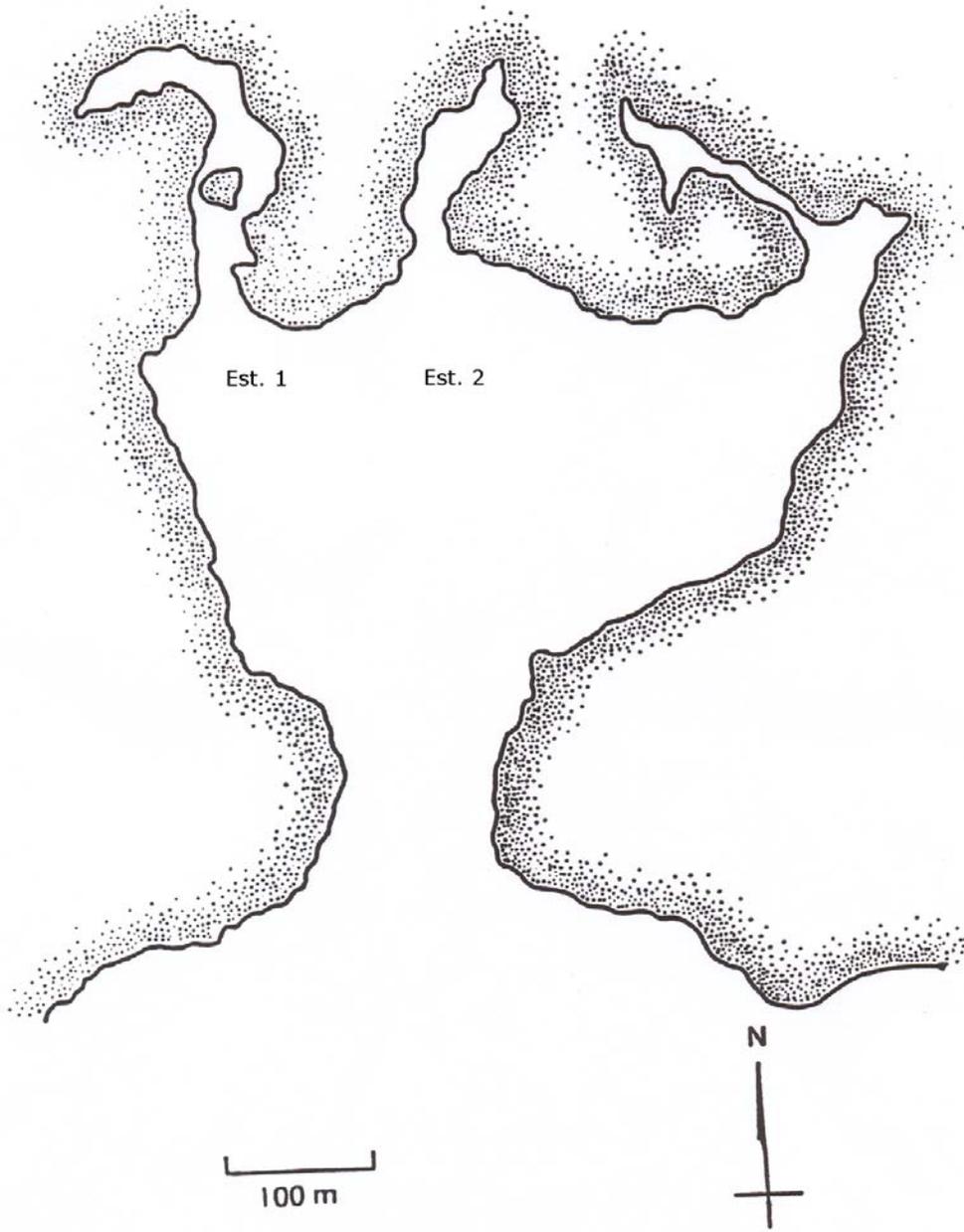


Figura 3. Bahía Bioluminiscente; La Parguera, Lajas, Puerto Rico

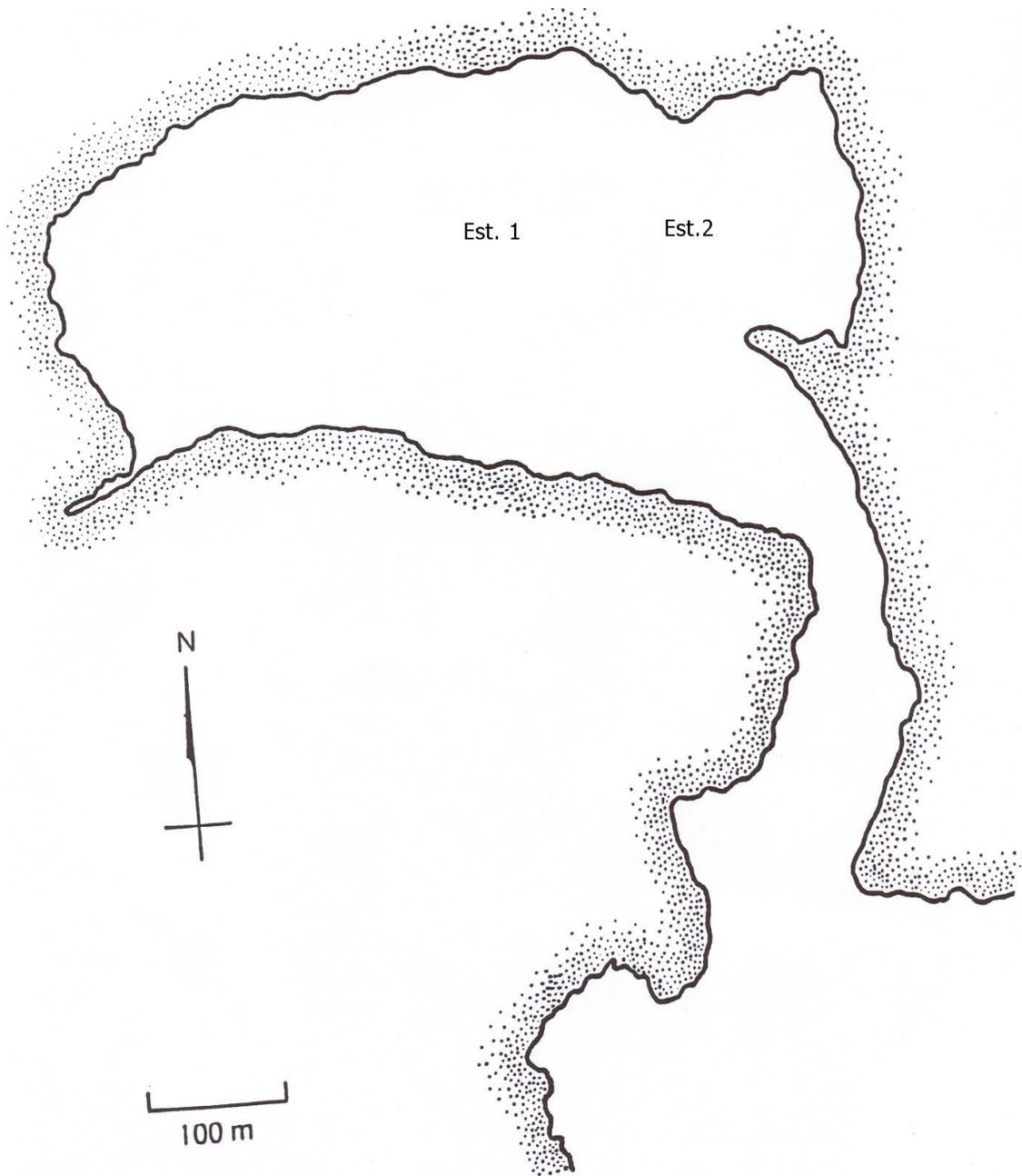


Figura 4. Puerto Mosquito, Vieques, Puerto Rico

RESULTADOS

1. Datos hidrológicos

Los datos obtenidos en las dos estaciones y profundidades de muestreo (en la superficie y a dos metros) generalmente mostraron pocas diferencias. Por esta razón se hicieron las gráficas con los promedios de los parámetros medidos (ie. temperatura, salinidad, clorofila *a*, nutrientes) para cada bahía.

1a. Bahía Bioluminiscente, La Parguera

La temperatura máxima fue de 30.0 °C en septiembre y octubre 2003, la temperatura mínima fue de 26.3 °C en febrero 2003 (Figura 5). La temperatura promedio fue de 28.7 °C. A partir de febrero de 2003 hubo un aumento gradual en temperatura de 26.3 °C hasta llegar a un valor máximo de 30.0 °C en septiembre y octubre, seguido de una disminución marcada en noviembre, hasta llegar a valores de 27.8 °C en diciembre de 2003.

La salinidad máxima fue de 37.8 ‰ en enero de 2003 y la salinidad mínima fue de 33.3 ‰ en noviembre de 2003. Otros valores altos en salinidad (>37.0 ‰) ocurrieron durante los meses de febrero, marzo, mayo y junio (Figura 5). La salinidad promedio fue de 36.3 ‰. A partir de septiembre de 2003, donde la

salinidad fue de 36.5 ‰, ocurrió un descenso gradual hasta llegar a una salinidad de 33.3 ‰ en noviembre de 2003.

Los datos de precipitación para La Parguera demostraron un período de lluvias fuertes durante el mes de noviembre 2003 con un valor de 425 mm; también durante los meses de abril y octubre se registraron altas precipitaciones con valores de 217 mm y 115 mm respectivamente. La precipitación menor ocurrió durante el mes de mayo 2003 con un valor de 7.11 mm. Se registraron además, valores bajos en pluviosidad durante los meses de enero (12 mm), febrero (13 mm), marzo (22 mm), mayo (7 mm) y junio (16 mm) (Figura 6). La cantidad de lluvia anual en La Parguera fue de 1,078 mm, la cual coincide con los datos reportados por Glynn (1973) donde se obtuvo una precipitación anual de 500-1200 mm. Durante el presente estudio, el rango en precipitación fue de 7.1 - 425 mm.

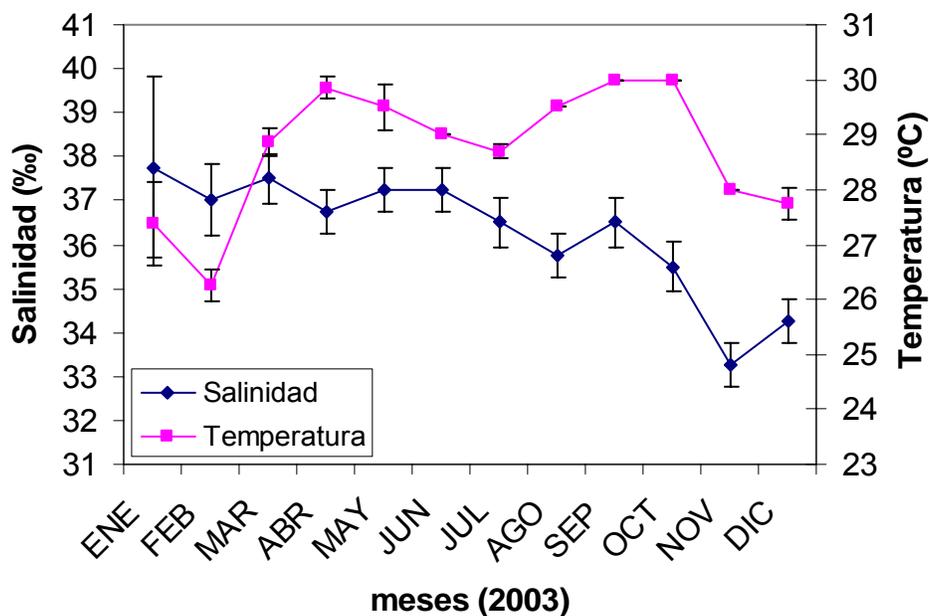


Figura 5. Temperatura y salinidad promedio en la Bahía Bioluminiscente

La concentración máxima de clorofila *a* fue de 12.6 $\mu\text{g/l}$ en enero 2003 y luego hubo un descenso abrupto en febrero con un valor de 2.4 $\mu\text{g/l}$ (Figura 7). La concentración mínima de clorofila *a* fue de 0.81 $\mu\text{g/l}$ en junio 2003. El promedio anual de la clorofila *a* fue 3.17 $\mu\text{g/l}$.

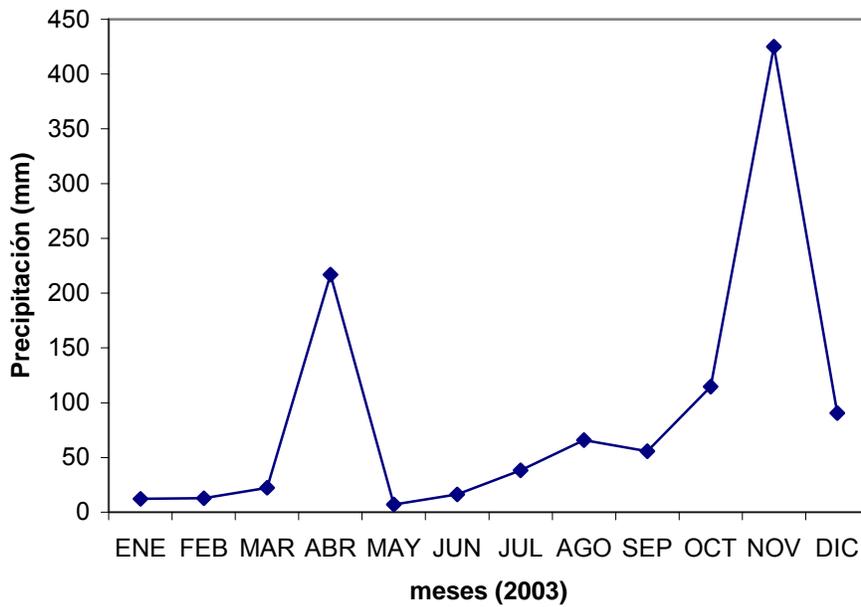


Figura 6. Precipitación promedio en la Bahía Bioluminiscente

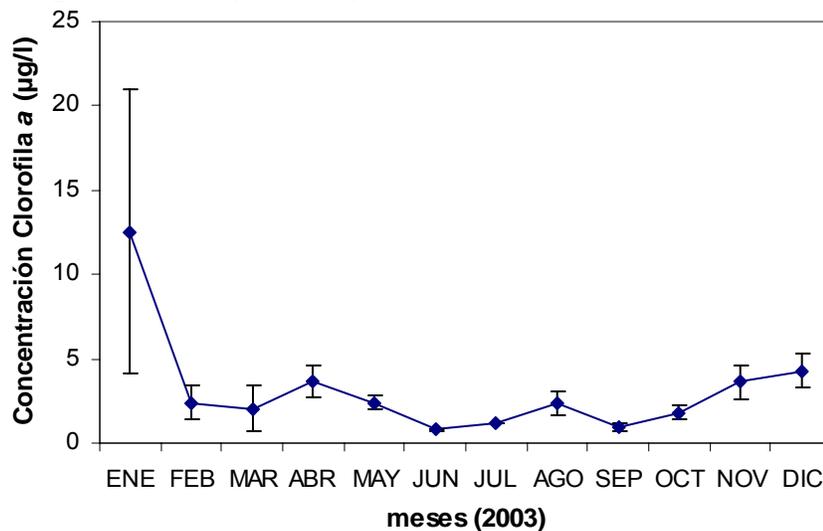


Figura 7. Concentración promedio de la clorofila *a* en la Bahía Bioluminiscente

La concentración promedio de fosfatos para la Bahía Bioluminiscente fue de 0.027 μM . La concentración máxima fue de 0.040 μM en noviembre 2003 y la mínima ocurrió en septiembre con un valor de 0.015 μM . El promedio en la concentración de amonia fue de 3.19 μM . La concentración máxima fue de 6.81 μM en diciembre de 2003 y la mínima fue de 1.65 μM en abril 2003. Para los silicatos la concentración máxima ocurrió en el mes de agosto con un valor de 4.19 μM y la concentración mínima ocurrió en el mes de abril con un valor de 0.43 μM . La concentración promedio de silicato fue de 2.31 μM . La concentración máxima de nitrito fue de 0.29 μM y ocurrió en diciembre de 2003 y la concentración mínima fue de .047 μM en septiembre 2003. La concentración promedio de nitrito fue de 0.12 μM . La concentración promedio de nitrato fue de 0.47 μM y la concentración máxima ocurrió en diciembre con un valor de 1.18 μM . La concentración mínima fue de .14 μM en marzo 2003 (Figuras 8a y 8b).

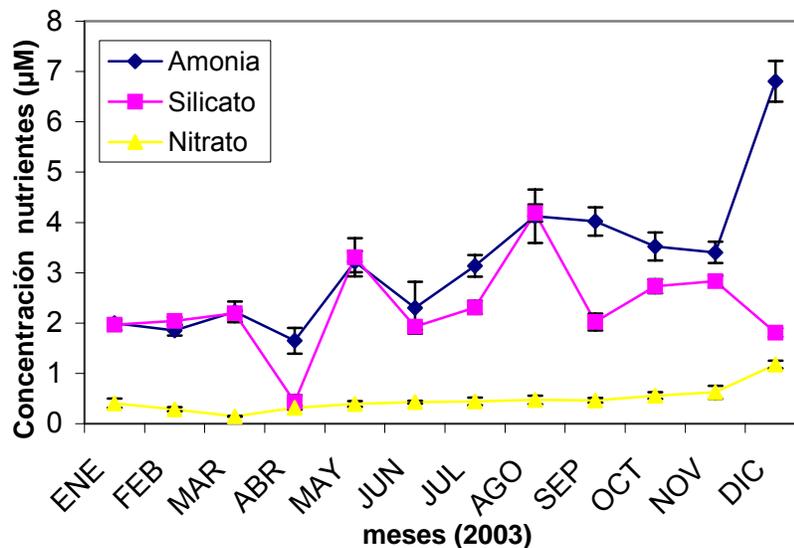


Figura 8a. Concentración promedio de nitratos, amonia y silicatos en la Bahía Bioluminiscente

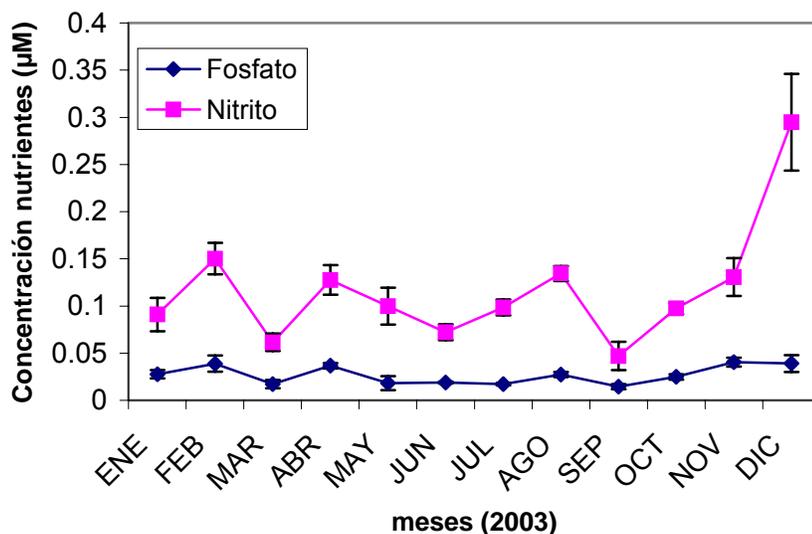


Figura 8b. Concentración promedio de nitritos y fosfatos en la Bahía Bioluminiscente

1b. Puerto Mosquito, Vieques

La temperatura máxima ocurrió durante septiembre y octubre 2003 con valores de 30.0 °C, la temperatura mínima fue de 22.0 °C en diciembre 2003 (Figura 9). A partir de febrero de 2003 hubo un aumento marcado en temperatura de 26.0 a 28.8 °C. En marzo 2003 siguió subiendo hasta que alcanzó valores de 30.0 °C durante septiembre y octubre. Luego de esto se observó una disminución gradual en noviembre con un valor de 28.0 °C seguido de una disminución marcada hasta llegar a valores de 24.0 °C en diciembre de 2003. La temperatura promedio anual fue de 28.2 °C.

La salinidad máxima ocurrió en septiembre con un valor de 37.5 ‰ y la salinidad mínima ocurrió en el mes de noviembre con un valor de 33.8 ‰ (Figura

9). La salinidad promedio fue de 35.5 ‰. A partir de julio de 2003 cuando la salinidad fue de 34.3 ‰ ocurrió un aumento gradual hasta llegar a una salinidad de 37.5 ‰ en septiembre de 2003, luego volvió a descender hasta llegar a un valor de 33.8 ‰ en noviembre 2003.

El máximo en precipitación en Vieques ocurrió en noviembre con un valor de 381 mm. Durante agosto y octubre también se registraron valores altos en precipitación con valores de 102 mm y 152 mm respectivamente. El mínimo en precipitación ocurrió en marzo con un valor de 13 mm; se registraron además valores bajos en pluviosidad durante los meses de mayo, junio y julio con valores de 25 mm (Figura 10). La precipitación anual fue de 1003 mm.

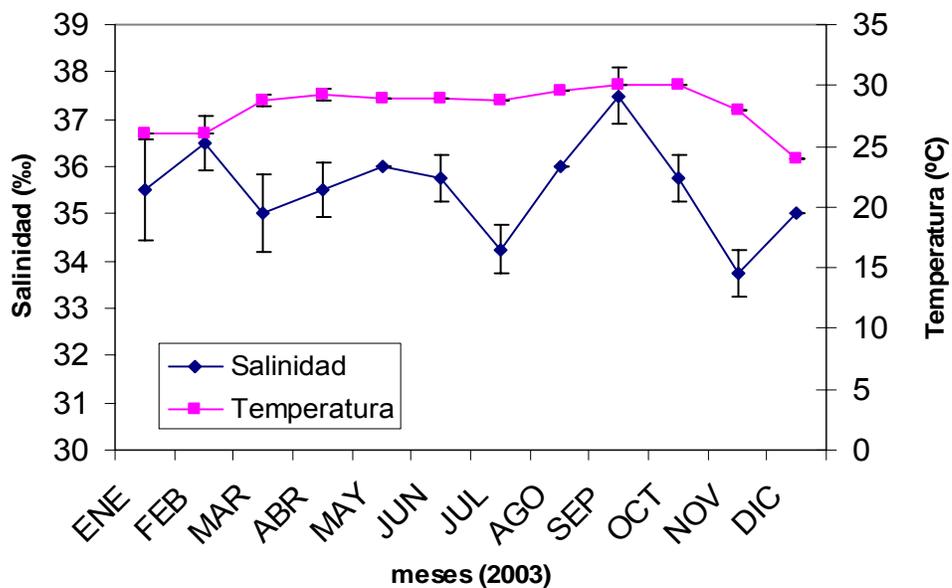


Figura 9. Temperatura y salinidad promedio en Puerto Mosquito

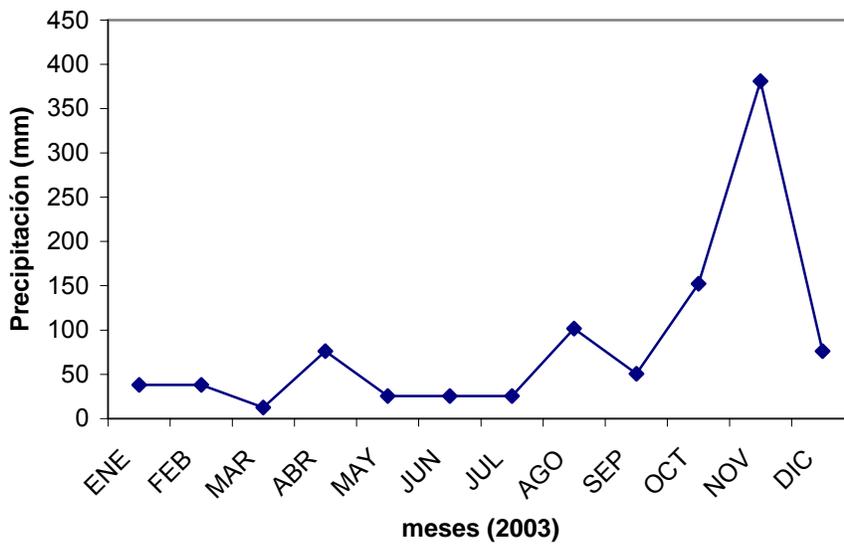


Figura 10. Precipitación promedio en Puerto Mosquito

El nivel máximo de la clorofila *a* ocurrió durante el mes de abril con un valor de 3.71 $\mu\text{g/l}$. La concentración mínima de clorofila *a* fue de 1.13 $\mu\text{g/l}$ en diciembre 2003 (Figura 11). A partir de marzo de 2003 cuando el valor de la clorofila *a* fue de 1.96 $\mu\text{g/l}$, ésta aumentó hasta alcanzar un valor de 3.71 $\mu\text{g/l}$ en abril de 2003. Luego disminuyó gradualmente hasta alcanzar un valor de 1.41 $\mu\text{g/l}$ en junio 2003. El promedio anual de la clorofila *a* fue 1.89 $\mu\text{g/l}$.

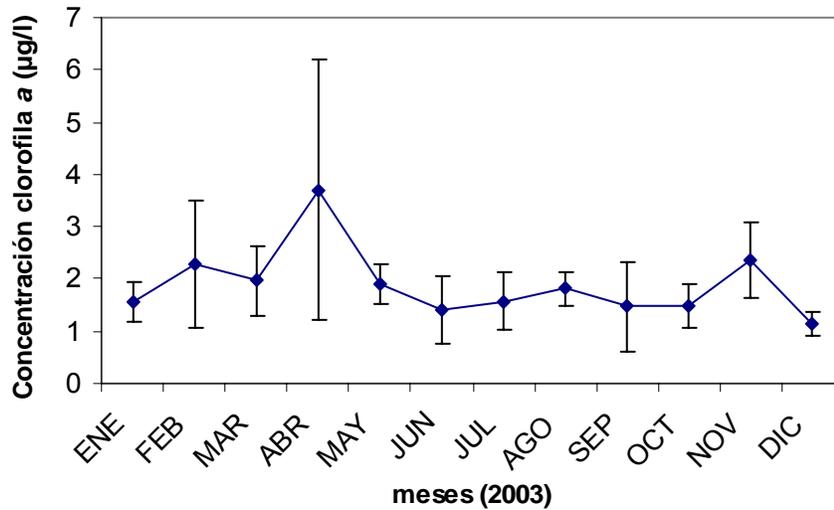


Figura 11. Concentración promedio de la clorofila a en Puerto Mosquito

La concentración promedio de fosfatos para Puerto Mosquito fue de 0.024 μM . La concentración máxima ocurrió en enero con un valor de 0.033 μM y la mínima ocurrió en mayo con un valor de 0.014 μM . La concentración máxima para amonía fue de 4.99 μM en septiembre de 2003 y la mínima ocurrió en febrero con un valor de 1.65 μM . El promedio en la concentración de amonía fue de 3.32 μM . La concentración promedio de silicato para Puerto Mosquito fue de 3.00 μM . La concentración máxima fue de 3.86 μM en octubre de 2003 y la concentración mínima ocurrió en febrero con un valor de 1.78 μM . La concentración máxima de nitrito fue de 0.18 μM en julio de 2003 y la concentración mínima fue de 0.019 μM en mayo 2003. La concentración promedio de nitrito fue de 0.13 μM . La concentración máxima de nitrato fue de 0.74 μM en diciembre 2003 y la concentración mínima fue de 0.10 μM en marzo 2003 (Figuras 12a y 12b). La concentración promedio de nitrato fue de 0.41 μM .

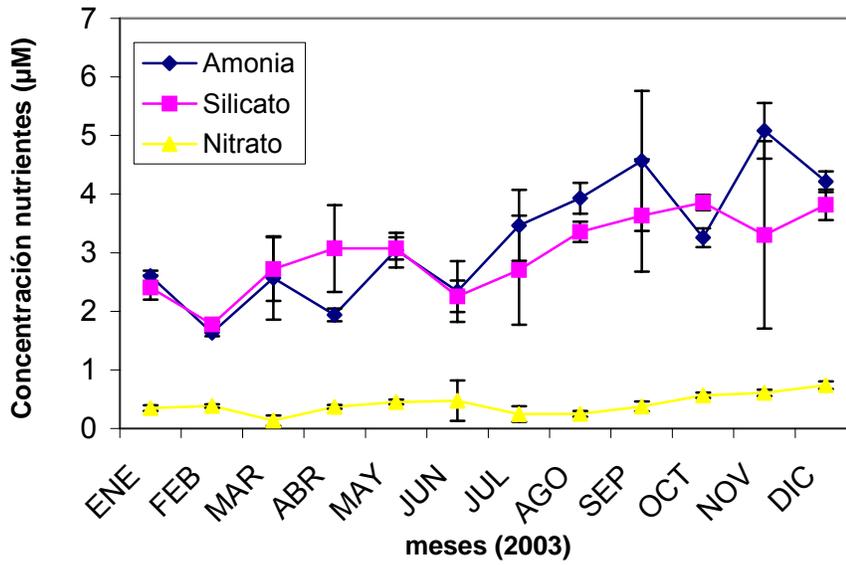


Figura 12a. Concentración promedio de nitratos, amonia y silicato en Puerto Mosquito

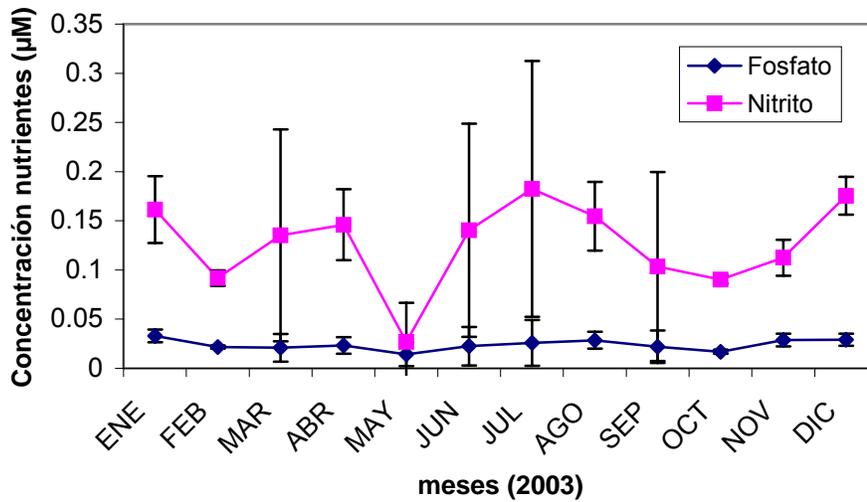


Figura 12b. Concentración promedio de nitritos y fosfatos en Puerto Mosquito

2. Datos biológicos

2a. Bahía Bioluminiscente

El valor máximo para la densidad poblacional de *Pyrodinium bahamense* en la Bahía Bioluminiscente fue de 303,053 células/l durante el mes de marzo. Para *Ceratium furca* fue de 830,199 células/l también durante el mes de marzo. El valor mínimo de *P. bahamense* fue de 12,311 células/l en octubre y el de *C. furca* fue de 1,962 células/l durante el mes de enero (Figuras 13 y 14). El promedio anual de *P. bahamense* en la Bahía Bioluminiscente fue de 50,618 células/l y el promedio anual de *C. furca* fue de 97,852 células/l.

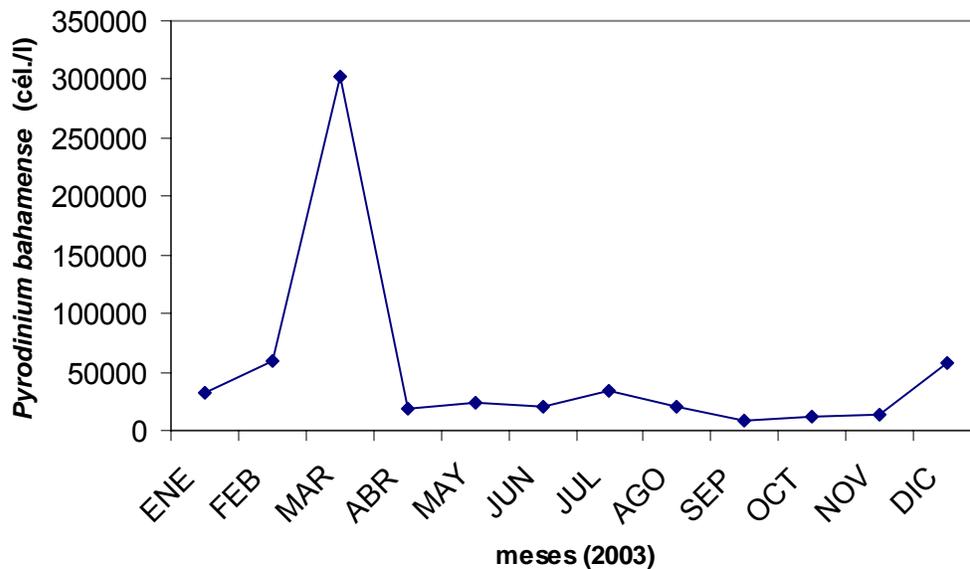


Figura 13. Densidad poblacional de *Pyrodinium bahamense* en la Bahía Bioluminiscente

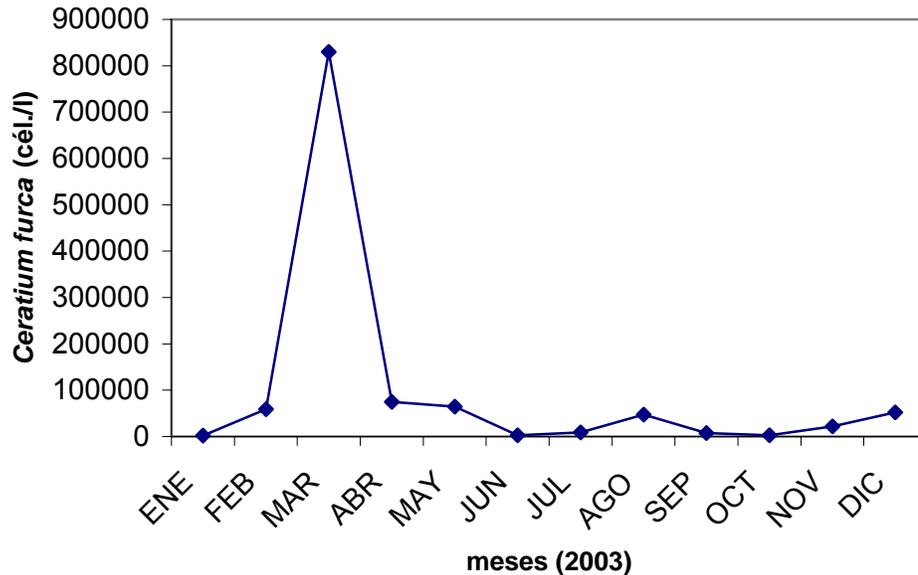


Figura 14. Densidad poblacional de *Ceratium furca* en la Bahía Bioluminiscente

2b. Puerto Mosquito

El valor máximo de la densidad poblacional promedio de *Pyrodinium bahamense* en Puerto Mosquito fue de 511,882 células/l durante el mes de febrero. Por otro lado el valor máximo para la densidad de *Ceratium furca* fue de 25,613 células/l; éste se observó durante el mes de abril. El valor mínimo en la densidad poblacional promedio de *P. bahamense* fue de 3,720 células/l durante el mes de noviembre y para *C. furca* fue de 7,147 células/l durante el mes de febrero (Figuras 15 y 16). El promedio anual de *P. bahamense* durante este estudio fue de 286,411 células/l y el de *C. furca* fue de 11,172 células/l.

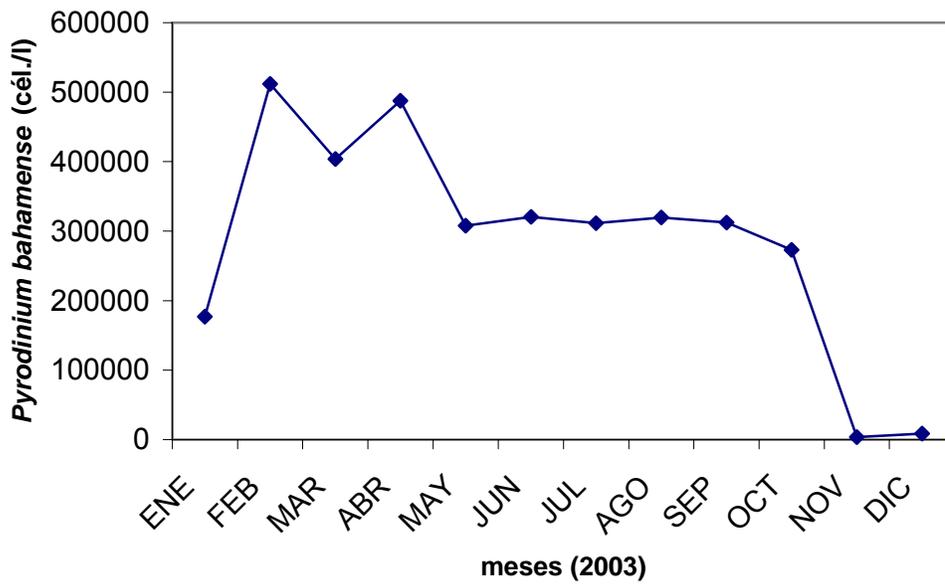


Figura 15. Densidad poblacional de *Pyrodinium bahamense* en Puerto Mosquito

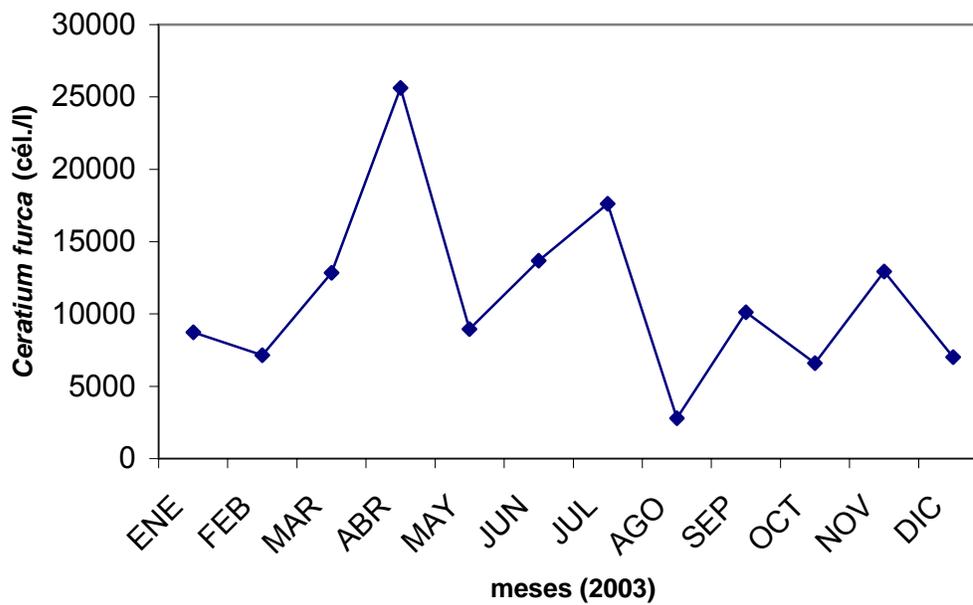


Figura 16. Densidad poblacional de *Ceratium furca* en Puerto Mosquito

3. Análisis Estadístico

3a. Densidad anual de *Pyrodinium bahamense* y *Ceratium furca*

Se utilizó la prueba estadística de Kruskal-Wallis ANOVA para medir diferencias en la densidad anual de especies entre bahías; entre estaciones y entre profundidades. Se encontraron diferencias significativas (Kruskal-Wallis: $H(1, N= 72) = 53.26; p = 0.000$) en la densidad anual de *Pyrodinium bahamense* entre la Bahía Bioluminiscente y Puerto Mosquito. *Pyrodinium bahamense* resultó ser anualmente la especie numéricamente dominante en Puerto Mosquito (Figura 17). Se encontraron además diferencias significativas (Kruskal-Wallis: $H(1, N= 72) = 53.26; p = 0.000$) en la densidad anual de *Ceratium furca* entre la Bahía Bioluminiscente y Puerto Mosquito. *Ceratium furca* resultó ser anualmente la especie numéricamente dominante en la Bahía Bioluminiscente (Figura 18). La prueba de Kruskal-Wallis ANOVA demostró además que en la Bahía Bioluminiscente no existen diferencias significativas (Kruskal-Wallis: $H(3, N= 72) = 66.41 p = 0.06$) en la densidad anual de *P. bahamense* entre la estación uno (BB_1) y la estación dos (BB_2) (Figura 19). Tampoco se encontraron diferencias significativas (Kruskal-Wallis: $H(3, N= 72) = 57.11 p = 1.00$) en la densidad anual de *C. furca* entre la estación uno y la estación dos en la Bahía Bioluminiscente (Figura 20). Para Puerto Mosquito se encontraron diferencias significativas (Kruskal-Wallis: $H(3, N= 72) = 66.41 p = 0.000$) en la densidad anual de *P. bahamense* entre la estación uno (PM_1) y la estación dos (PM_2) (Figura 19); anualmente se encontró una densidad mayor en la estación uno

sobre la estación dos. Para Puerto Mosquito, no se encontraron diferencias significativas (Kruskal-Wallis: $H(3, N=72) = 57.11$ $p = 0.53$) en la densidad anual de *C. furca* entre la estación uno y la estación dos (Figura 20). Por otro lado en la densidad anual *P. bahamense* entre profundidades, para la Bahía Bioluminiscente, no se encontraron diferencias significativas (Kruskal-Wallis: $H(7, N=72) = 67.68$ $p = 1.00$) entre 0 m (BB S) y 2 m (BB 2 m) de profundidad en la estación uno, ni en la estación dos (Figura 21). En Puerto Mosquito se encontraron diferencias significativas (Kruskal-Wallis: $H(7, N=72) = 67.68$ $p = 0.000$) en la densidad anual de *P. bahamense* entre 0 m (PM₁ S) y 2 m (PM₁ 2 m) en la estación uno; se encontró una densidad anual mayor a 0 m de profundidad. En la Bahía Bioluminiscente se encontraron además diferencias significativas (Kruskal-Wallis: $H(7, N=72) = 66.69$ $p = 0.000$) en la densidad anual de *C. furca* entre 0 m y 2 m de profundidad tanto en la estación uno como en la estación dos; su mayor densidad anual ocurrió a los 2 m de profundidad en ambas estaciones. Para Puerto Mosquito no se encontraron diferencias significativas (Kruskal-Wallis: $H(7, N=72) = 66.69$ $p \geq 0.05$) en la densidad anual de *C. furca* entre 0 m y 2 m para la estación uno ni para la estación dos (Figura 22).

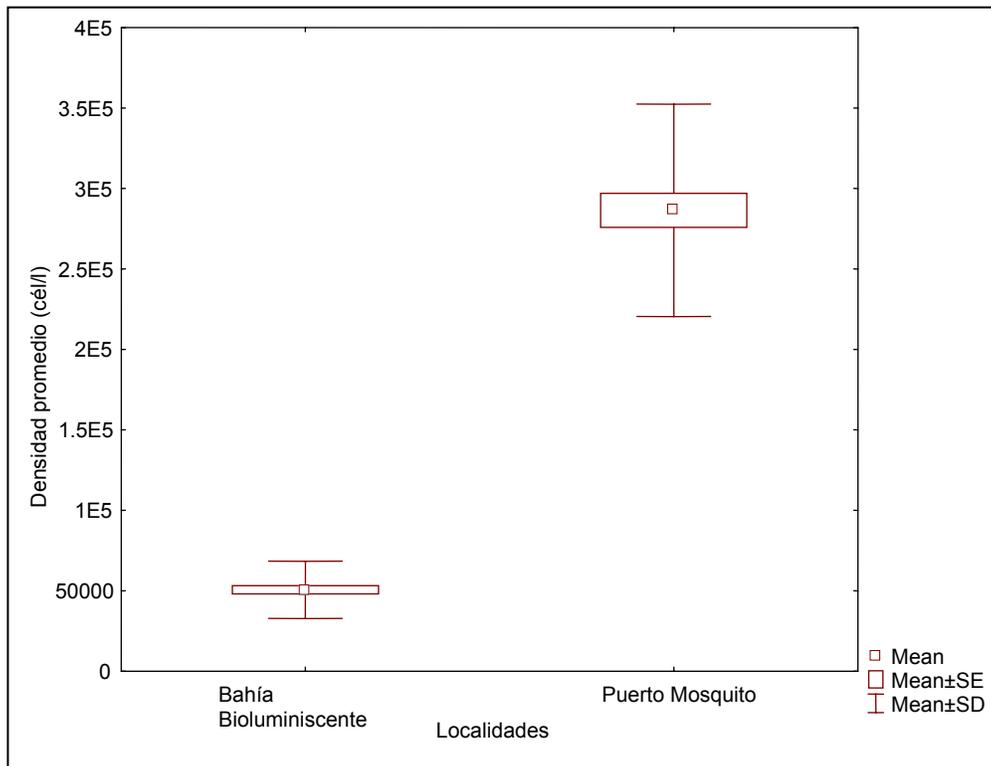


Figura 17. Densidad anual de *Pyrodinium bahamense*

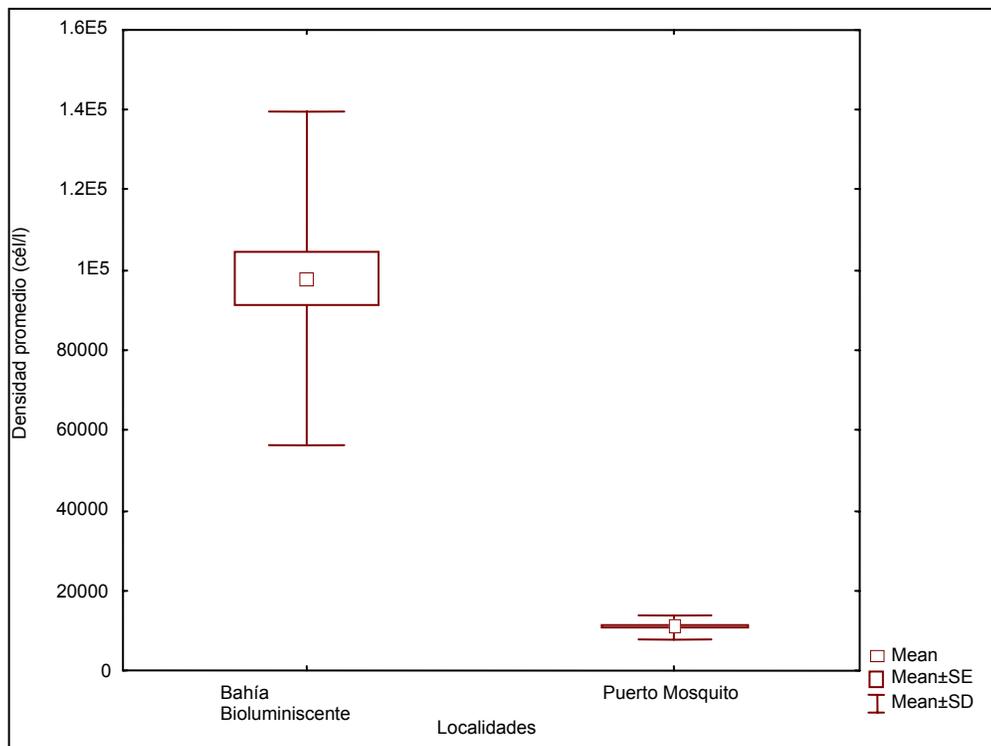


Figura 18. Densidad anual de *Ceratium furca*

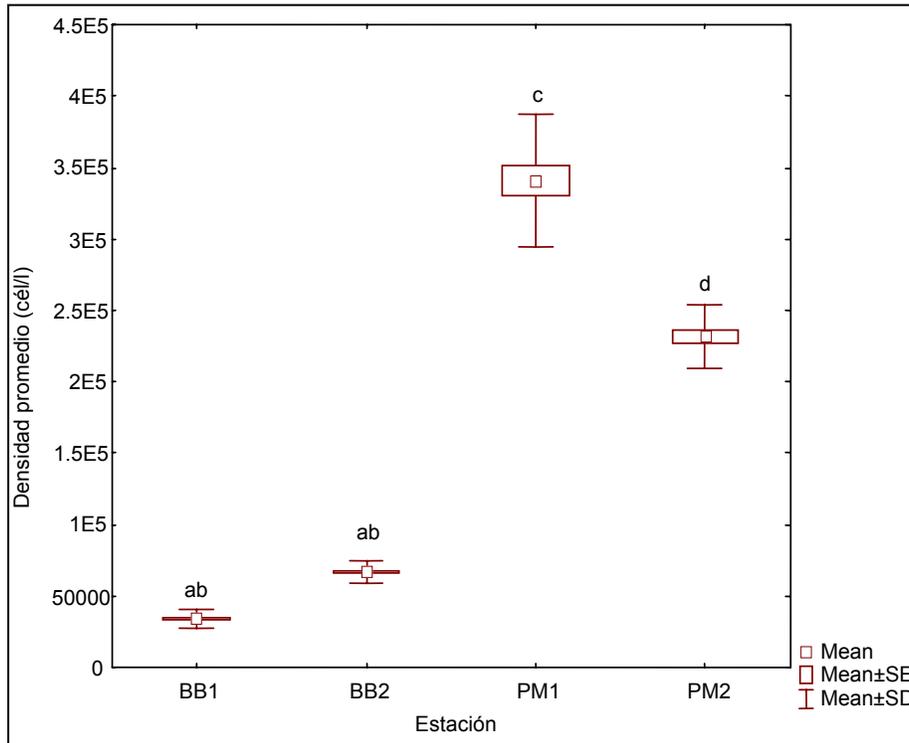


Figura 19. Densidad anual de *Pyrodinium bahamense* entre estaciones

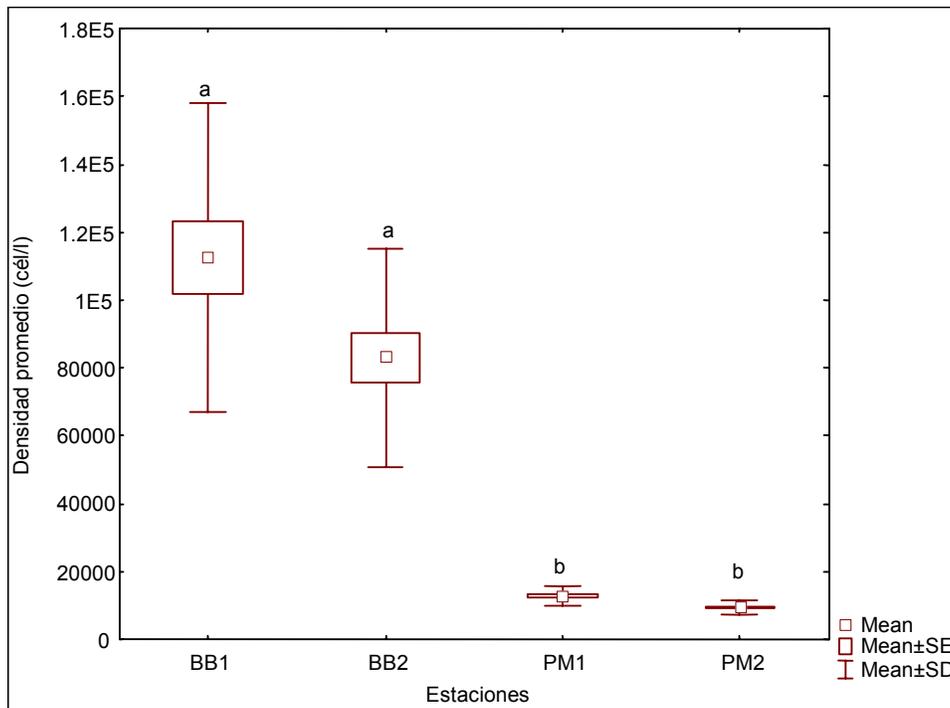


Figura 20. Densidad anual de *Ceratium furca* entre estaciones

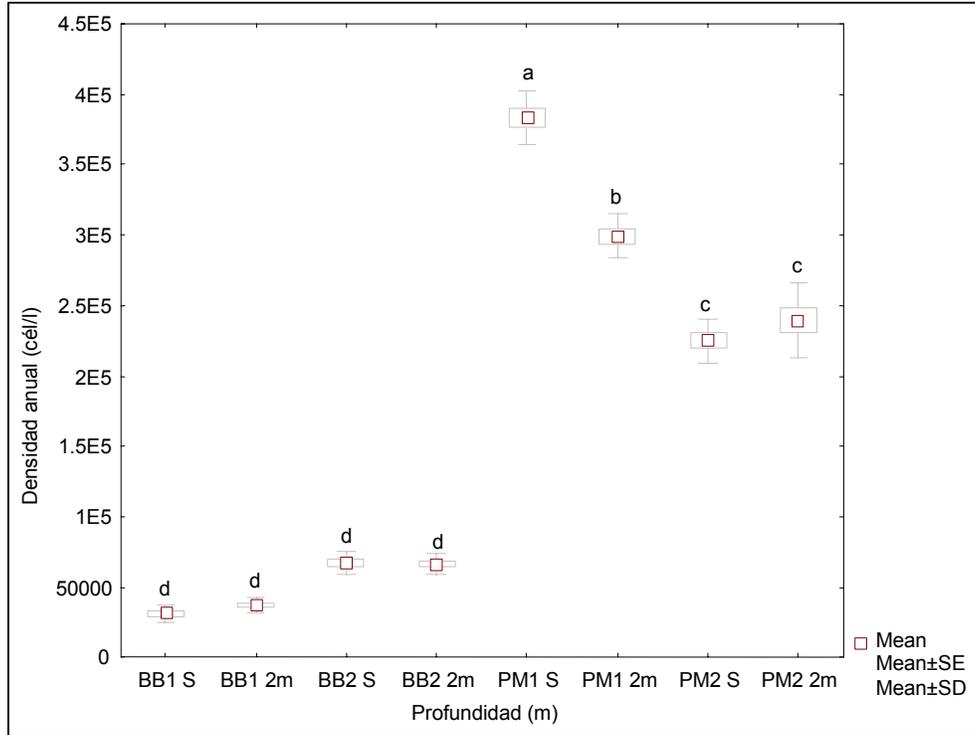


Figura 21. Densidad anual de *Pyrodinium bahamense* entre localidades, entre estaciones y entre profundidades

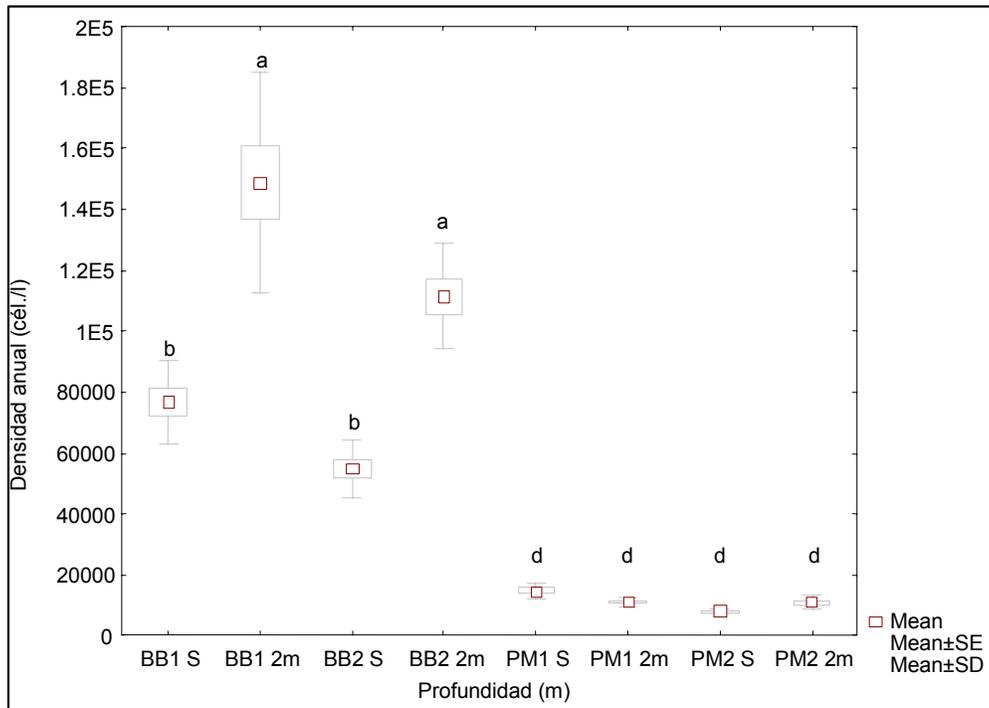


Figura 22. Densidad anual de *Ceratium furca* entre localidades, entre estaciones y entre profundidades.

3b. Abundancia mensual *Pyrodinium bahamense* y *Ceratium furca*

Para probar si las densidades poblacionales de *Pyrodinium bahamense* y de *Ceratium furca* variaron significativamente entre los meses de muestreo también se utilizó la prueba estadística de Kruskal – Wallis ANOVA. En la Bahía Bioluminiscente se encontraron diferencias significativas tanto en la densidad poblacional de *P. bahamense* ($X^2 = 238.97$, $df = 11$, $p = .000$) como en la de *C. furca* ($X^2 = 274.68$, $df = 11$, $p = .000$) entre los meses de muestreo (Figura 23). En Puerto Mosquito también se encontraron diferencias significativas en la densidad poblacional de *P. bahamense* ($X^2 = 244.32$, $df = 11$, $p = .000$) y en la de *C. furca* ($X^2 = 140.02$, $df = 11$, $p = .000$) entre los meses de muestreo (Figura 24).

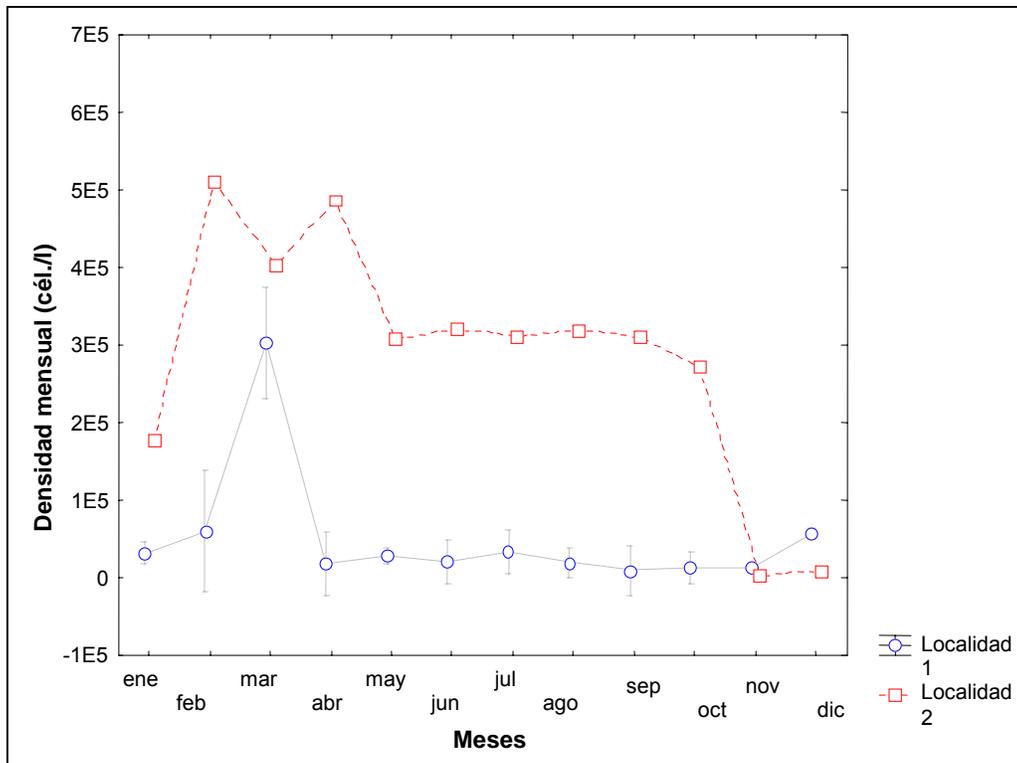


Figura 23. Densidad mensual de *Pyrodinium bahamense*. Loc.1 Bahía Bioluminiscente; Loc. 2 Puerto Mosquito

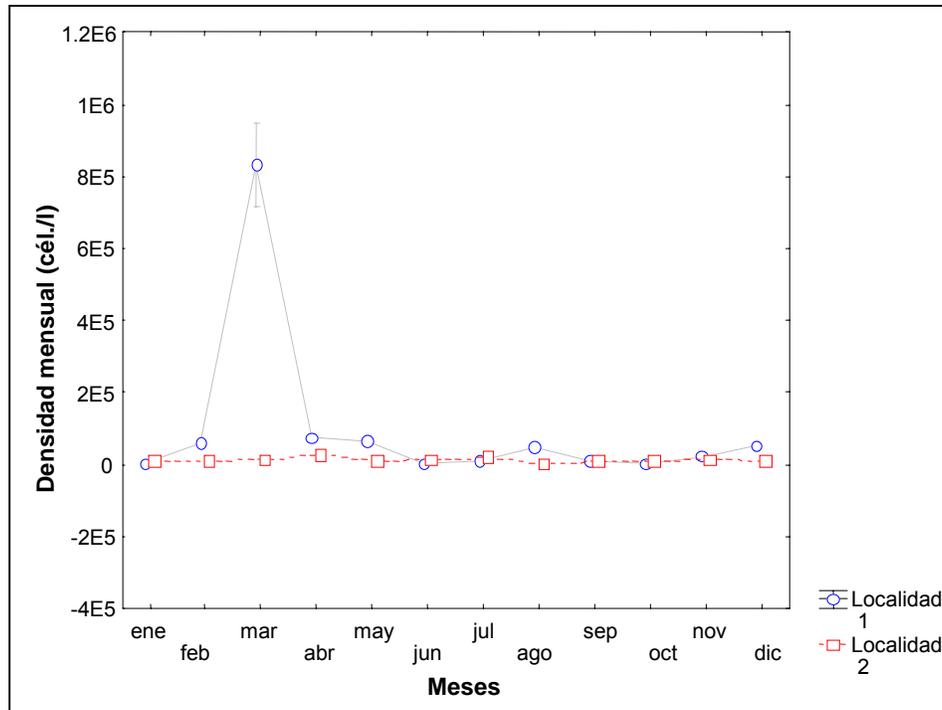


Figura 24. Densidad mensual de *Ceratium furca*. Loc.1 Bahía Bioluminiscente; Loc. 2 Puerto Mosquito

3c. Correlaciones entre los dinoflagelados y varios parámetros fisicoquímicos

Se utilizó la prueba estadística de correlaciones por rango de Spearman ($n = 12$) para medir relaciones entre la densidad anual de las especies y los parámetros fisicoquímicos medidos para cada bahía (Tablas 1 y 2). En la Bahía Bioluminiscente no se encontraron correlaciones significativas y positivas entre la densidad anual de especies y los parámetros fisicoquímicos estudiados; sin embargo las poblaciones de *Pyrodinium bahamense* se correlacionaron significativamente y negativamente ($r = -0.7$; $p \leq 0.01$) con los valores de temperatura. También se encontró una correlación significativa y negativa ($r = -0.8$; $p \leq 0.01$) entre los valores de salinidad y la precipitación. En Puerto Mosquito

tampoco se encontraron correlaciones significativas y positivas entre la abundancia anual de especies y los parámetros fisicoquímicos estudiados; por otro lado se encontró una correlación significativa y negativa ($r = -0.7$; $p \leq .01$) entre las poblaciones de *P. bahamense* y la concentración de amonía.

TABLA 1. CORRELACIONES ANUALES ENTRE LAS ESPECIES Y LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN LA BAHÍA BIOLUMINISCENTE

Variables	<i>P. bahamense</i>	<i>C. furca</i>	Temp.	Salinidad	Chl-a	Amonia	Silicato	Fosfato	Nitrato	Nitrito	Precipitación
<i>P. bahamense</i>	1.00	.406	-.719 **	.453	.224	-.343	-.147	.063	-.476	.217	-.531
<i>C. furca</i>	.406	1.00	-.014	.060	.273	-.203	.063	.119	-.455	.371	.063
Temp.	-.719 **	-.014	1.00	-.158	-.470	.277	.158	-.512	.109	-.418	.316
Salinidad	.453	.060	-.158	1.00	-.014	-.695 *	-.235	-.372	-.846 **	-.502	-.814 **
Chl-a	.224	.273	-.470	-.014	1.00	-.154	-.189	.727 **	.014	.559	.084
Amonia	-.343	-.203	.277	-.695 *	-.154	1.00	.371	-.056	.839 **	.168	.357
Silicato	-.147	.063	.158	-.235	-.189	.371	1.00	-.175	.175	.105	-.035
Fosfato	.063	.119	-.512	-.372	.727 **	-.056	-.175	1.00	.266	.762 **	.385
Nitrato	-.476	-.455	.109	-.846 **	.014	.839 **	.175	.266	1.00	.280	.594 *
Nitrito	.217	.371	-.118	-.502	.559	.168	.105	.762 **	.280	1.00	.280
Precipitación	-.531	.063	.316	-.814	.084	.357	-.035	.385	.594 *	.280	1.00

Nivel de significancia: ** $p \leq .01$, * $p \leq .05$

TABLA 2. CORRELACIONES ANUALES ENTRE LAS ESPECIES Y LOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS EN PUERTO MOSQUITO

Variables	<i>P. bahamense</i>	<i>C. furca</i>	Temp.	Salinidad	Chl-a	Amonia	Silicato	Fosfato	Nitrato	Nitrito	Precipitación
<i>P. bahamense</i>	1.00	.238	.232	.437	.371	-.727 **	-.510	-.434	-.503	-.126	-.417
<i>C. furca</i>	.238	1.00	.014	-.419	.357	-.210	-.434	.014	-.217	.182	-.368
Temp.	.232	.014	1.00	.478	-.070	.116	.418	-.471	.141	-.355	.202
Salinidad	.437	-.419	.478	1.00	-.123	-.218	.018	-.482	-.007	-.535	-.041
Chl-a	.371	.357	-.070	-.123	1.00	-.280	-.301	-.126	-.322	-.224	.042
Amonia	-.727 **	-.210	.116	-.218	-.280	1.00	.713 **	.357	.280	.126	.502
Silicato	-.510	-.434	.418	.018	-.301	.713 **	1.00	-.021	.392	-.147	.647 *
Fosfato	-.434	.014	-.471	-.482	-.126	.357	-.021	1.00	.028	.797 **	.346
Nitrato	-.503	-.217	-.141	-.007	-.322	.280	.392	.028	1.00	-.329	.495
Nitrito	-.126	.182	-.355	-.535	-.224	.126	-.147	.797 **	.329	1.00	-.057
Precipitación	-.417	-.368	.202	-.041	.042	.502	.647 **	.346	.495	-.057	1.00

Nivel de significancia: ** $p \leq 0.01$, * $p \leq 0.05$

3d. Concentración de nutrientes en la Bahía Bioluminiscente y Puerto Mosquito

Para determinar si existen diferencias significativas en la concentración de nutrientes entre ambas bahías y diferencias significativas en la concentración de nutrientes entre los meses de muestreo se utilizó la prueba estadística ANOVA de dos vías (Tablas 3 y 4). Esta prueba también se utilizó para medir si existen diferencias significativas entre las concentraciones de nutrientes estudiados. No se encontraron diferencias significativas ($F(4, 110)=1.29, p=.28$) en las concentraciones de nutrientes entre ambas bahías (Figura 25). Esta prueba además demostró que existen diferencias significativas ($F(44, 60)=2.41, p=0.000$) entre la concentración de nutrientes y los meses de muestreo; se observó la tendencia, en la mayoría de los nutrientes estudiados, de aumentar a finales de año (Figura 26). Se encontraron además diferencias significativas ($F(4, 110)=122.64, p=0.000$) entre las concentraciones de nutrientes siendo amonio y silicato los de mayor concentración (Figura 27).

TABLA 3. PRUEBA DE ANOVA DE 2 VÍAS (datos transformados a la raíz tercera)

	SS	gl	MS	F	p
Intercepto	199.8316	1	199.8316	443.4992	0.000000
Bahia	0.5225	1	0.5225	1.1596	0.283911
Nutrientes	221.0361	4	55.2590	122.6399	0.000000
Bahia*Nutrientes	2.3182	4	0.5796	1.2862	0.279826
Error	49.5637	110	0.4506		

TABLA 4. PRUEBA DE ANOVA DE 2 VÍAS (datos transformados a la raíz tercera)

	SS	gl	MS	F	p
Intercepto	199.8316	1	199.8316	866.0543	0.000000
Meses	14.0999	11	1.2818	5.5553	0.000005
Nutrientes	221.0361	4	55.2590	239.4882	0.000000
Meses*Nutrientes	24.4602	44	0.5559	2.4093	0.000809
Error	13.8443	60	0.2307		

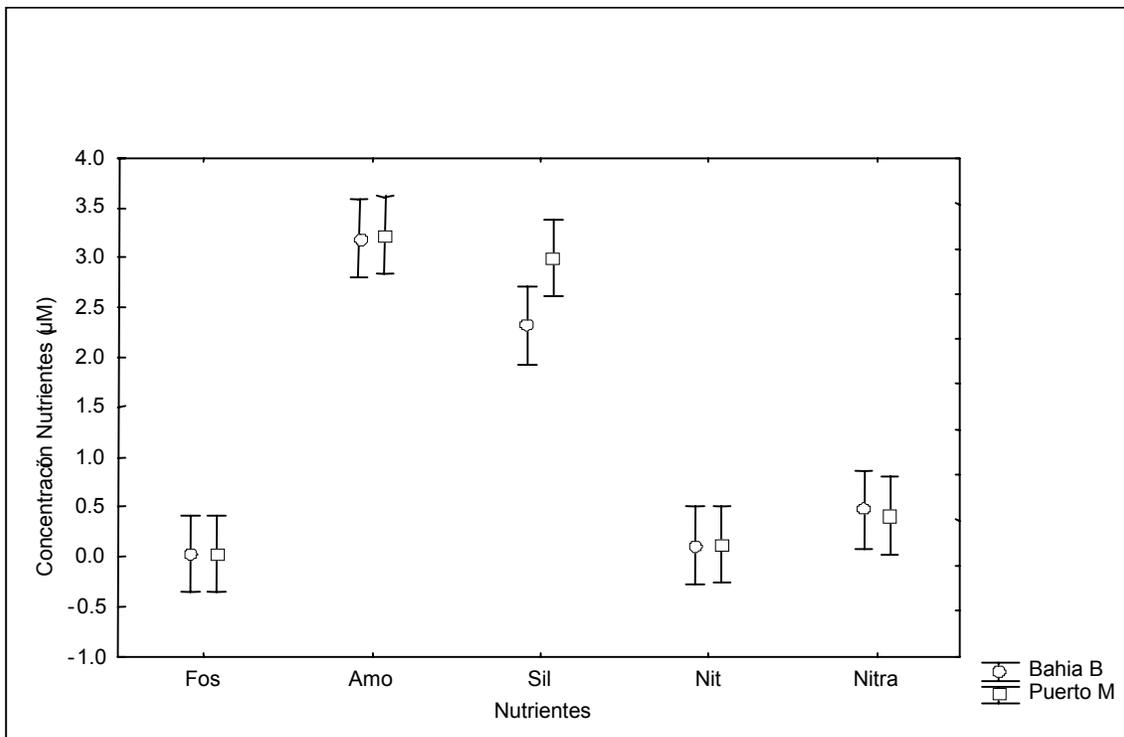


Figura 25. Concentraciones anuales de nutrientes en la Bahía Bioluminiscente y Puerto Mosquito

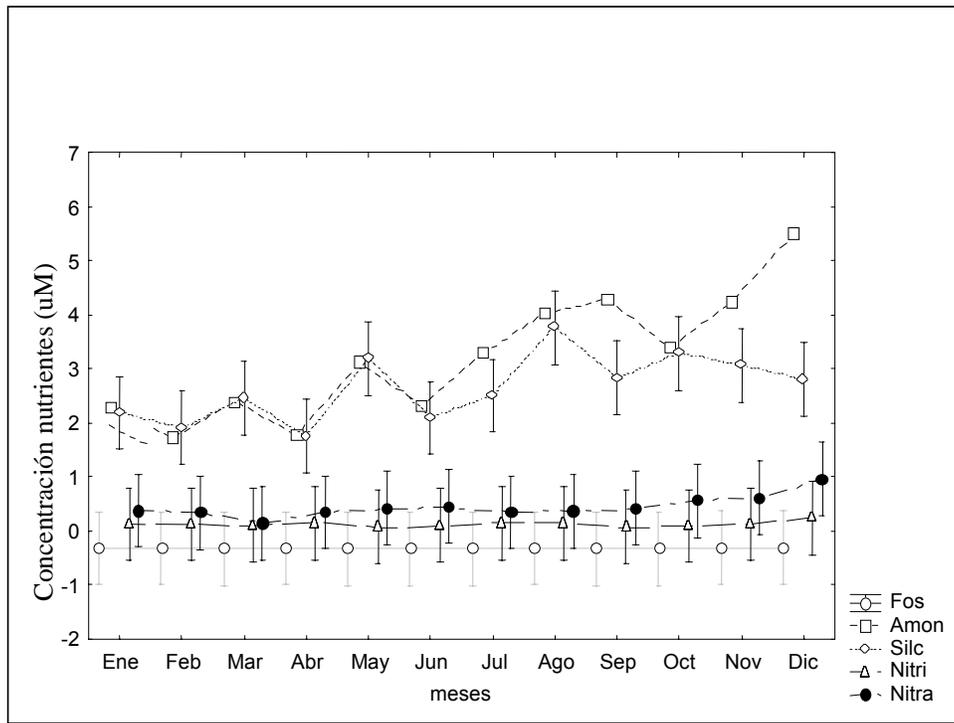


Figura 26. Concentraciones promedios en nutrientes

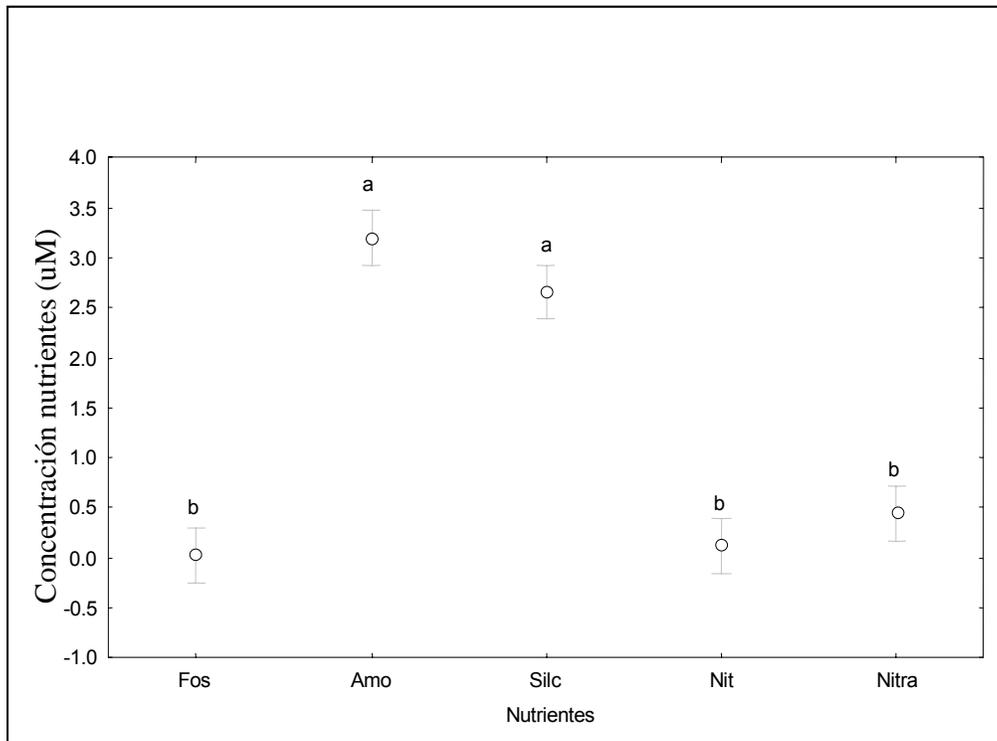


Figura 27. Diferencias en la concentración de nutrientes

DISCUSIÓN

1. Condiciones hidrológicas en la Bahía Bioluminiscente y Puerto Mosquito

1a. Temperatura y Salinidad

Los valores obtenidos de temperatura y salinidad en este estudio concuerdan con los valores obtenidos en estudios previos (Coker y González, 1960; González, 1967; Cintrón, 1969; Smayda, 1970; Seixas, 1983 y 1988; Walker, 1997) (Tablas 5 y 6). Los valores de temperatura obtenidos en ambas bahías son el resultado de las condiciones climáticas en Puerto Rico donde los valores mínimos ocurrieron entre diciembre y febrero y los valores máximos entre mayo y septiembre. En la Bahía Bioluminiscente se encontró una correlación negativa entre los valores de salinidad y la precipitación. y por lo tanto los valores mínimos en salinidad están relacionados con los periodos más lluviosos del año. Esta tendencia se pudo observar durante el pico máximo de precipitación, el cual ocurrió en noviembre en ambas bahías, y en donde en cada caso la salinidad disminuyó notablemente (Figuras 28 y 29). También se puede apreciar lo contrario, los máximos en los valores de salinidad en la Bahía Bioluminiscente ocurrieron durante los meses de enero, febrero, marzo, mayo y junio; periodos cuando se registraron los valores mínimos en precipitación. Estos meses (excepto mayo) están comúnmente asociados a la época de sequía en Puerto Rico (Glynn, 1973). En Puerto Mosquito este patrón no fue tan marcado.

La salinidad en la Bahía Bioluminiscente fue más alta la mayor parte del año y la diferencia existente entre ambas bahías puede ser debido a que el suroeste de Puerto Rico se caracteriza por una alta evaporación la cual excede a la precipitación creando condiciones áridas en esta región de la Isla (Cintrón, 1969; Seixas, 1988) (Figura 30). Margalef (1961) en sus estudios encontró que en Lajas la evaporación es intensa y que supera ampliamente a la precipitación todos los meses excepto en otoño.

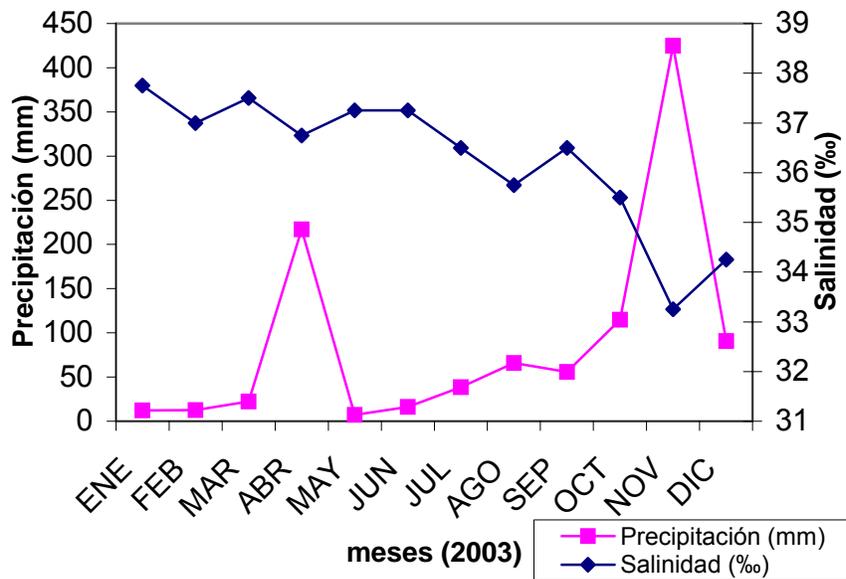


Figura 28. Valores promedio en salinidad y precipitación en la Bahía Bioluminiscente

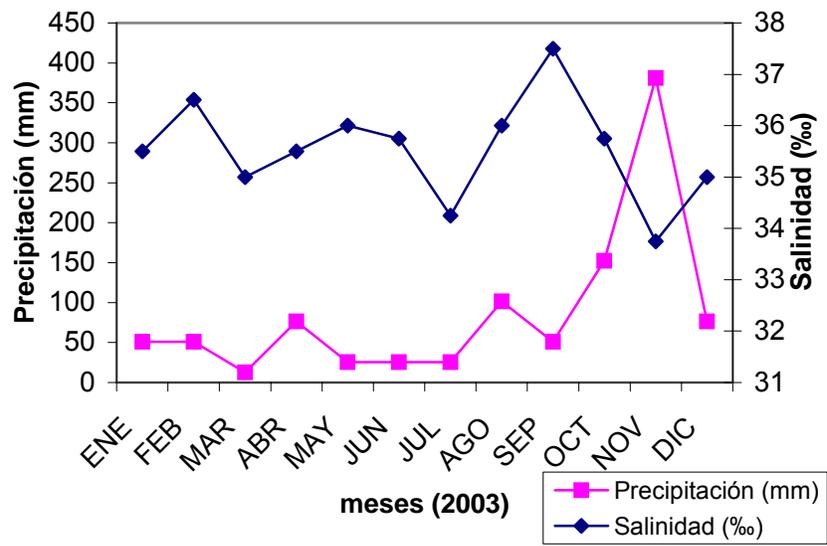


Figura 29. Valores de salinidad y precipitación en Puerto Mosquito

TABLA 5. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS OBSERVADOS EN VARIOS ESTUDIOS PREVIOS Y EN ESTE ESTUDIO EN LA BAHÍA BIOLUMINISCENTE

Parámetro	Rango observado
Temperatura	26.5°C -31.1°C (González, 1967)
	27.8°C-31.1°C (Cintrón, 1969)
	27°C-32°C (Seixas, 1983)
	27°C-30°C (Seixas, 1988)
	25.7°C-31.2°C (Walker, 1997)
	26.3°C-30.0°C (estudio en curso)
Salinidad	34.1‰-36.7‰ (Coker y González, 1960)
	32.96‰-36.88‰ (Cintrón, 1969)
	34.5‰-37.0‰ (Smayda, 1970)
	35‰-38‰ (Seixas, 1983)
	37‰-39‰ (Seixas, 1988)
	33‰-37‰ (Walker, 1997)
	33.3‰-37.8‰ (estudio en curso)
Fosfatos	0.32µM (González, 1967)
	0.06µM-0.56µM (Smayda, 1970)
	0.31µM-0.53µM (Seixas, 1983)
	0.015µM-0.040µM (estudio en curso)
Nitrito	0.25µM (González, 1967)
	0.047µM –0.29µM (estudio en curso)
Nitratos	0.12µM (González, 1967)
	0.01µM-0.70µM (Smayda, 1970)
	0.29µM-0.65µM (Seixas, 1983)
	0.14µM-1.18µM (estudio en curso)
Silicatos	4.37µM (González, 1967)
	0.34µM-0.70µM (Smayda, 1970)
	0.43µM-4.19µM (estudio en curso)

TABLA 6. PARÁMETROS FISIQUÍMICOS OBSERVADOS EN ESTUDIOS PREVIOS Y EN ESTE ESTUDIO EN PUERTO MOSQUITO

Parámetro	Rango observado
Temperatura	25.8°C-30.8°C (Walker, 1997) 22.0°C-30.0°C (estudio en curso)
Salinidad	30‰ - 32‰ (Cintrón, 1969) 32‰-39‰ (Walker, 1997) 33.8‰-37.5‰ (estudio en curso)

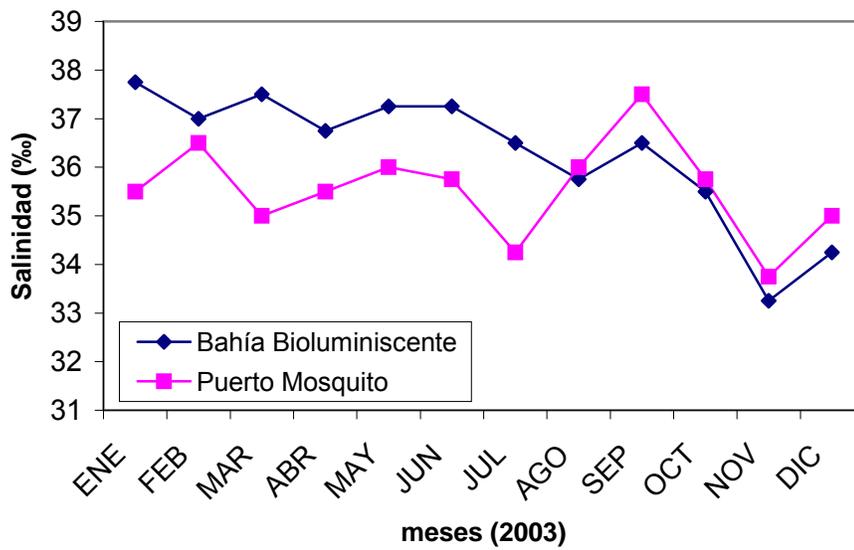


Figura 30. Salinidad en la Bahía Bioluminiscente y Puerto Mosquito

1b. Clorofila a

La prueba estadística de correlaciones de Spearman no demostró correlaciones positivas entre la concentración de clorofila a y las poblaciones de los dinoflagelados estudiados. Aunque no se encontraron correlaciones significativas, si observamos las figuras 31 – 34 se puede apreciar una tendencia de las poblaciones de dinoflagelados a seguir un patrón similar al de la concentración de clorofila a. En la Bahía Bioluminiscente las poblaciones de *Ceratium furca*, las cuales resultaron ser significativa y numéricamente mayores que las poblaciones de *Pyrodinium bahamense*, siguieron un perfil similar al de la clorofila a. También se puede apreciar una tendencia de las poblaciones de *P. bahamense* en Puerto Mosquito, las cuales resultaron ser significativamente mayores a las de *C. furca*, de seguir un perfil similar al de la concentración de clorofila a. Estos resultados podrían sugerir que las poblaciones de dinoflagelados estudiados en ambas bahías son componentes importantes y contribuyen a la concentración total de la clorofila a. Walker (1997) en sus estudios en la Bahía Bioluminiscente encontró correlaciones positivas, aunque no marcadas, entre la concentración total de clorofila a y la abundancia total de dinoflagelados. Ella concluye que los dinoflagelados en esta bahía son precisamente los que contribuyen a la clorofila pero posiblemente existen otros organismos como lo son las diatomeas las cuales aportan a la concentración de clorofila pero en mayores concentraciones. Walker (1997) también encontró correlaciones positivas entre la concentración de clorofila a y las poblaciones

totales de dinoflagelados en Puerto Mosquito y concluyó que los dinoflagelados estudiados son componentes importantes de la clorofila *a* en esta bahía.

Si observamos las figuras 31 y 32 podemos apreciar un pico máximo en clorofila *a* para el mes de enero en la Bahía Bioluminiscente. El día en que se realizó este estudio la dirección del viento provenía del norte y días previos al muestreo seguía un patrón noreste; según estudios previos (Margalef, 1961; Burkholder et al., 1967; Cintrón, 1969; Seixas, 1983) en el brazo oeste de la bahía muchas veces se encuentran parchos de otra especie de dinoflagelado, *Cochlodinium sp.* Debido a la dirección del viento, el cual se sabe es un factor determinante en mover parchos horizontal y verticalmente en la columna de agua (Ryther, 1955; Small, 1963; Cintrón, 1969; Seliger et al., 1970; Carvajal, 1976; Seixas, 1983 y 1988), es posible que la alta concentración de clorofila *a* para este mes esté asociada a la presencia de este organismo el pudo haber sido arrastrado desde el brazo oeste de la bahía hacia las estaciones de muestreo de este estudio. De hecho observando detenidamente las muestras obtenidas se encontró la presencia de esta especie (ie. *Cochlodinium sp.*) y por lo tanto ésta sería una posible causa para la alta concentración de clorofila *a* durante el mes de enero.

Si comparamos los resultados obtenidos en la concentración de clorofila *a* con los valores de precipitación (figuras 35 y 36) se puede apreciar que en los meses más lluviosos del año; abril, agosto, octubre y noviembre; ocurrieron

aumentos en la concentración de clorofila *a*. De hecho se puede observar que ambos parámetros siguieron un patrón similar, esto podría confirmar lo que encontró Cintrón (1969), el cual sugirió que los incrementos en clorofila y producción primaria observados en otoño y primavera podían estar relacionados con el régimen de lluvia. Algunos autores han encontrado que después de fuertes lluvias las poblaciones de dinoflagelados aumentan, especialmente *C. furca* (Glynn et al., 1964; Gold, 1965). Sin embargo, es importante señalar que en este estudio no se encontraron correlaciones significativas entre la concentración de clorofila *a* y la precipitación; tampoco se encontraron correlaciones entre la precipitación y las poblaciones de dinoflagelados, pero existe evidencia suficiente como para indagar al respecto. Karr (1985) deja saber que tanto la lluvia como las escorrentías son consideradas como fuerzas principales las cuales dirigen los sistemas biológicos en regiones tropicales. Es importante recalcar en este punto que la mayoría de las veces las fuertes lluvias traen consigo una disminución en las concentraciones de dinoflagelados y que el aumento en la abundancia de los mismos comienzan después de estos periodos. Seixas (1988) en sus estudios señaló al régimen de precipitación como la fuerza motora que regula la intensidad de los cambios sucesionales en la bahía. Durante la presente investigación, en el mes de noviembre, se pudieron apreciar diferentes características en Puerto Mosquito con relación a los demás meses de muestreo, entre ellas está el hecho de que al filtrar para las muestras de fitoplancton los filtros se taparon y quedaban con material orgánico. Al contar las muestras se observó que las poblaciones de *P. bahamense* disminuyeron

notablemente. Walker (1997) encontró correlaciones positivas en la Bahía Bioluminiscente entre la precipitación y *C. furca*. González (com. pers.) sugiere que esto ocurre debido a que este dinoflagelado está mejor adaptado a las condiciones de baja salinidad que pueden traer consigo las fuertes lluvias. Cintrón (1969) en estudios con cultivos demostró que células de *P. bahamense* se inmovilizaron a salinidades de 25 ‰ mientras que todas estuvieron activas a 30 ‰. Por otro lado Cintrón (1969) encontró que células de *C. furca* poseen salinidades óptimas de 20-25 ‰ y pueden tolerar rangos de 10 ‰ a 40 ‰. En Puerto Mosquito se pudo apreciar un comportamiento similar en donde durante noviembre, mes en donde se registró la mayor pluviosidad del año, se encontró una mayor concentración de *C. furca* con respecto a *P. bahamense*.

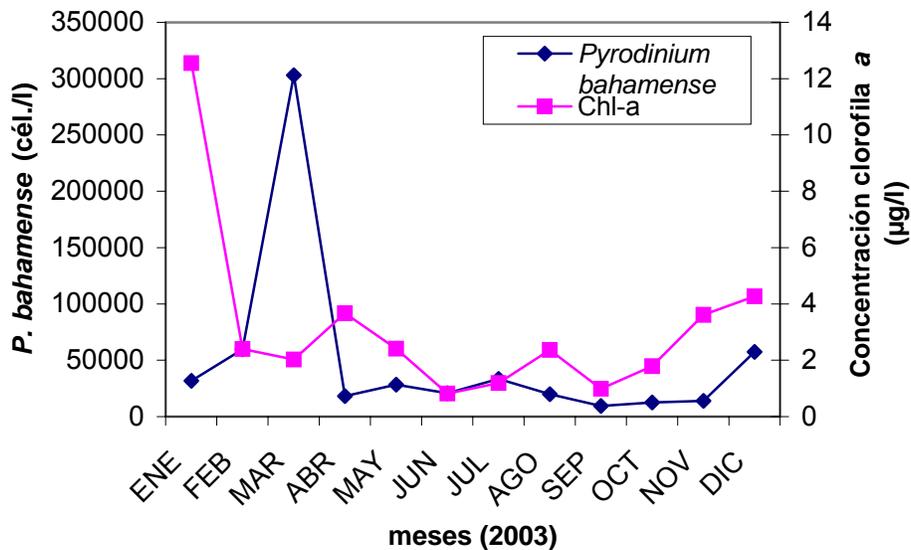


Figura 31. Densidad poblacional de *P. bahamense* y concentración de clorofila a en la Bahía Bioluminiscente

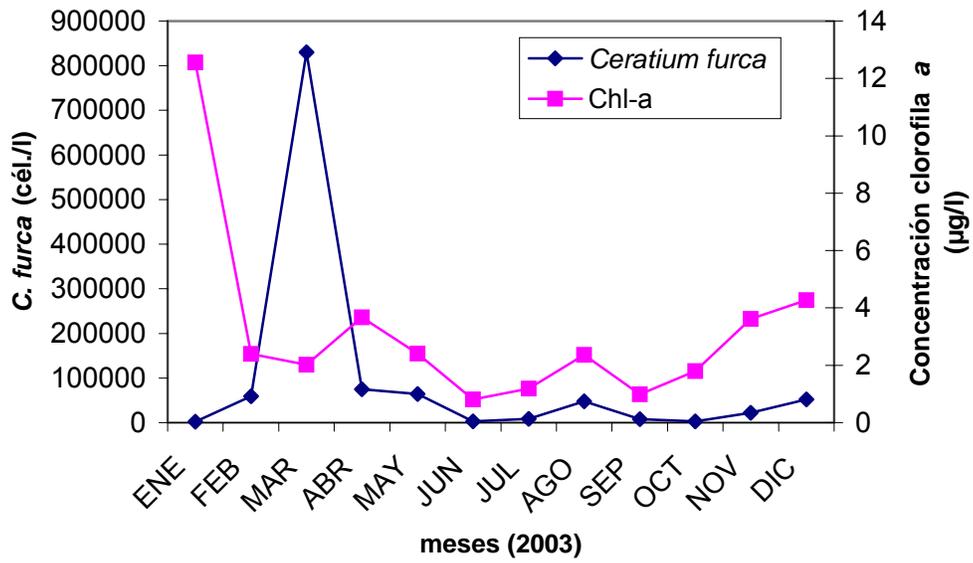


Figura 32. Densidad poblacional de *C. furca* y concentración de clorofila a en la Bahía Bioluminiscente

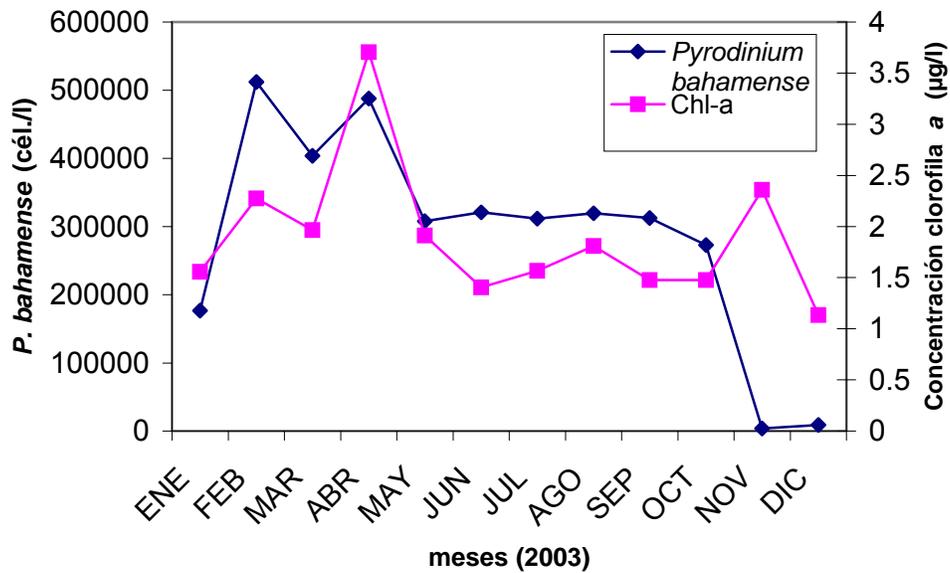


Figura 33. Densidad poblacional de *P. bahamense* y concentración de clorofila a en Puerto Mosquito

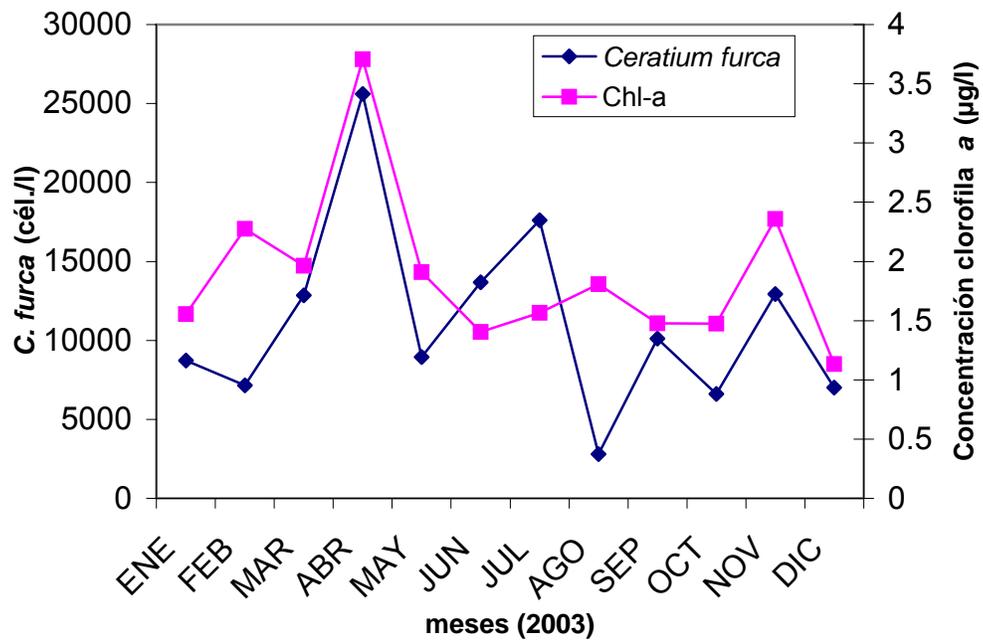


Figura 34. Densidad poblacional de *C. furca* y concentración de clorofila a en Puerto Mosquito

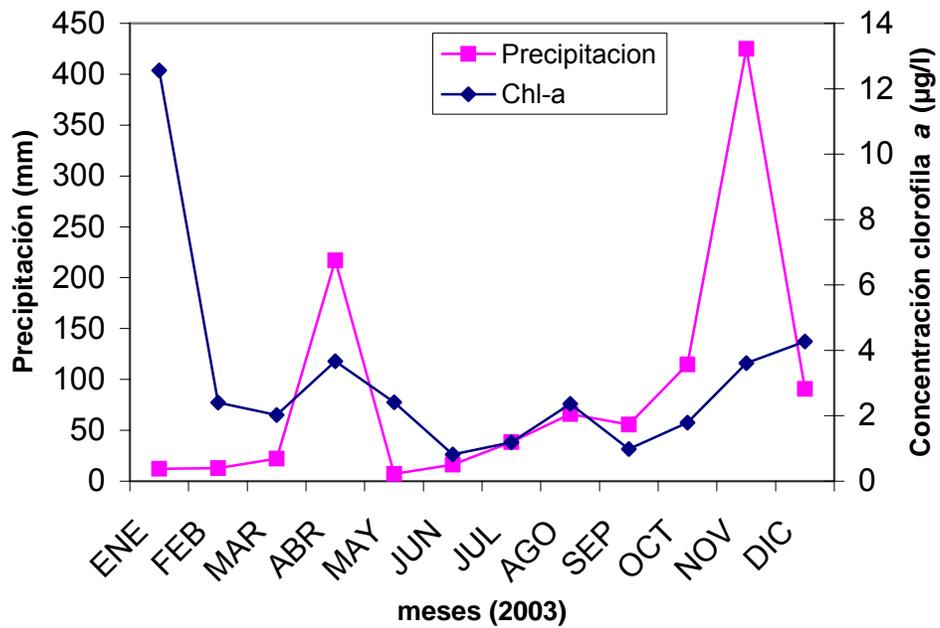


Figura 35. Concentración clorofila a y precipitación en la Bahía Bioluminiscente

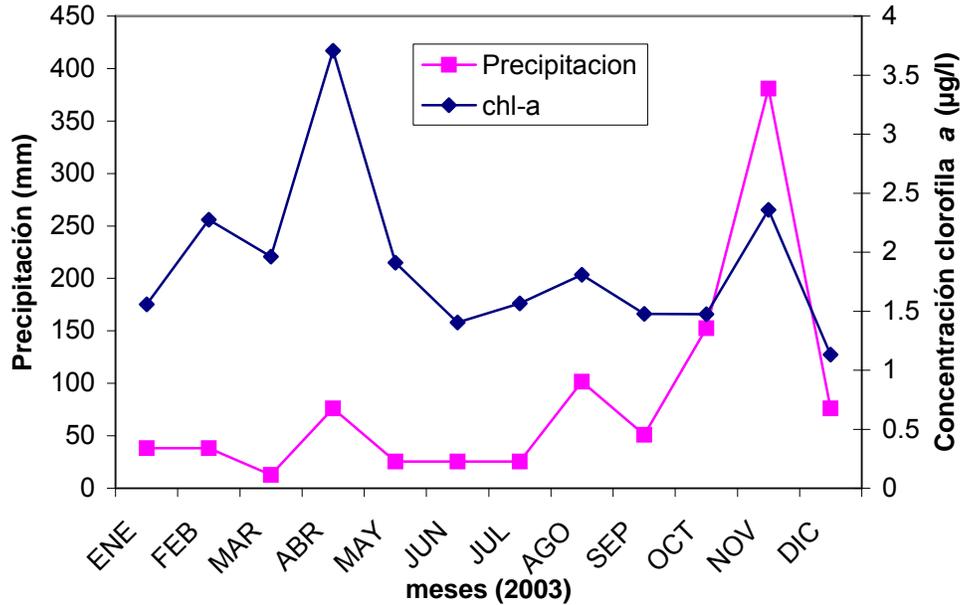


Figura 36. Concentración clorofila a y precipitación en Puerto Mosquito

1c. Nutrientes

No se encontraron correlaciones significativas y positivas entre las poblaciones de dinoflagelados estudiados y la concentración de nutrientes en la Bahía Bioluminiscente ni en Puerto Mosquito. La literatura es extensa en cuanto a comparaciones entre organismos fitoplácticos y concentraciones de nutrientes se refiere. Sin embargo para las bahías estudiadas son pocos los estudios relacionados con el tema y sólo se han hecho observaciones para la Bahía Bioluminiscente. Smayda (1970) realizó estudios con cultivos usando aguas provenientes de la Bahía Bioluminiscente; él sugiere que los estudios de la calidad del agua son ambiguos y complejos ya que incluyen varias reacciones nutricionales, fisicoquímicas, inhibitoras, estimuladoras, etc. que influyen en el

crecimiento del fitoplancton. Deja saber además que los estudios con cultivos son un acercamiento esencial cuando se intenta investigar qué es lo que controla la sucesión y distribución de especies en aguas naturales; el crecimiento de una especie determinada depende del nutriente o de las combinaciones de nutrientes estudiados. Con los resultados obtenidos no se pueden llegar a conclusiones sobre la importancia de algún factor nutricional que influya en la dominancia de una especie sobre otra; la respuesta de los organismos a un determinado nutriente depende además de las condiciones existentes previas al día de muestreo. En este punto hay que aclarar que sí se conoce la importancia de los compuestos nitrogenados (entre ellos el amoníaco, nitrito y nitrato) en los organismos fitoplácticos para la síntesis de las proteínas y los amino ácidos; por otro lado los fosfatos (específicamente los ortofosfatos) son necesarios para el crecimiento y funcionamiento de todas las células y su rol principal estriba en la síntesis molecular y transporte de iones (Reynolds, 1997). Ahora bien, el punto que todavía queda pendiente es si la alternancia entre *P. bahamense* y *C. furca* en la Bahía Bioluminiscente y la dominancia de *P. bahamense* en Puerto Mosquito ocurre como resultado de diferencias en la concentración de nutrientes entre ambas bahías.

La prueba ANOVA de dos vías demostró que no existen diferencias significativas en las concentraciones anuales de nutrientes entre la Bahía Bioluminiscente y Puerto Mosquito. Por lo tanto no se puede concluir que las diferencias en la abundancia y composición de dinoflagelados entre ambas

bahías son debido a diferencias en las concentraciones de nutrientes. Por otro lado el análisis estadístico reveló una interacción significativa entre las concentraciones de nutrientes y los meses de muestreo. Se observaron aumentos graduales a partir de agosto hasta alcanzar valores máximos en noviembre y diciembre. Este patrón se puede observar en la mayoría de los nutrientes estudiados y este comportamiento pudo haber estado relacionado con el comienzo de la época de lluvia la cual se sabe que es de suma importancia debido al aporte de nutrientes y material orgánico que traen consigo las escorrentías, las cuales a su vez sustentan altas densidades de organismos fitoplácticos. Aunque durante el presente estudio sólo se encontraron correlaciones significativas en la Bahía Bioluminiscente entre la concentración anual de nitratos y la precipitación y en Puerto Mosquito con la concentración de silicatos la abundancia de estudios previos existentes sobre el tema nos permiten explicar de cierto modo el asunto. Prakash y Rashid (1968), sugieren que las lluvias fuertes son un prerequisite para las explosiones poblacionales de dinoflagelados en aguas costeras y que la intensidad de estos pulsos poblacionales están relacionados a las sustancias húmicas y a los factores nutricionales que traen consigo las escorrentías causadas por la lluvia. Seixas (1983) estudió las concentraciones de nitratos más nitritos y ortofosfatos en la Bahía Bioluminiscente y Monsio José; él encontró la existencia de interacciones significativas entre los meses de muestreo y las concentraciones de nutrientes y que la tendencia principal ocurrió en el mes de noviembre donde se registraron las concentraciones más altas de nitratos más nitritos. El relacionó sus

resultados con los datos de precipitación registrados para ese año donde el grueso de la lluvia caída ocurrió nueve días previos a su muestreo. Pereira et al., (2001) sugieren que alteraciones en las características químicas y de calidad de agua en estuarios y lagunas costeras ocurren como resultado de los cambios en los flujos biogeoquímicos. Estudios realizados por Twomey y Thompson (2001) en un estuario en Australia indican que la contribución de los nutrientes para la época de verano y otoño era baja en relación al resto del año debido a la baja precipitación y por ende baja escorrentía (época de sequía). Durante la presente investigación se encontraron además diferencias significativas entre las concentraciones de los nutrientes estudiados para ambas bahías siendo los silicatos y el amonio los de mayor concentración. González (1967) encontró que en la Bahía Bioluminiscente la concentración de silicatos era mucho mayor que la de fosfatos, nitritos y nitratos. También encontró que de los nutrientes estudiados el nitrito era el menos concentrado. Los estudios realizados por Sanjuan y González (2000) en la Bahía Bioluminiscente indican que los sedimentos de la bahía se caracterizan por poseer potenciales de redox bajos y material orgánico alto. Ellos sugieren que la amonificación (proceso microbiano en donde el nitrógeno orgánico disuelto es convertido a amonía) es un proceso clave en proveer nitrógeno de los sedimentos a la columna de agua lo cual se requiere para mantener una alta productividad en la bahía. Ellos encontraron además que existen diferencias en las distribuciones en la concentración de amonía la cual es considerada uno de los nutrientes limitantes en el mar y que esto puede explicar las altas densidades de fitoplancton en la bahía. Eppley et

al. (1968) encontraron que algunas especies de dinoflagelados prefieren el amonio sobre el nitrato; ellos sugieren además que la capacidad de asimilar nutrientes nitrogenados parece ser el factor principal en proveer a las poblaciones de dinoflagelados una ventaja competitiva sobre otras especies como por ejemplo las diatomeas.

2. Patrones de abundancia de los dinoflagelados en la Bahía Bioluminiscente y Puerto Mosquito

2a. Comparaciones espaciales y temporales

El análisis estadístico de Kruskal-Wallis ANOVA demostró que existen diferencias significativas en la abundancia y composición anual de especies entre ambas bahías. Estos resultados concuerdan con estudios previos (Seliger et al. 1971; Seixas, 1988 y 1983; Walker, 1997). *Pyrodinium bahamense* resultó ser anualmente la especie numéricamente dominante en Puerto Mosquito con un promedio de 286,411 células/l y sus poblaciones se mantuvieron más altas que las de Bahía Bioluminiscente la mayor parte del año. Por su parte *C. furca* fue anualmente el organismo dominante en la Bahía Bioluminiscente con un promedio de 97,850 células/l. Debido a que *C. furca* no es un dinoflagelado bioluminiscente y al estar presente en altas concentraciones se puede explicar el por qué la disminución en la luminiscencia observada en la Bahía Bioluminiscente. No se encontraron diferencias significativas en la Bahía Bioluminiscente en las poblaciones de dinoflagelados entre la estación uno y la

estación dos. Seixas (1988) sugiere que las corrientes y el viento pueden afectar los parchos moviéndolos a otras partes de la bahía afectando su distribución horizontal y vertical; esto a su vez causa que se afecte la determinación de abundancia en cualquier punto en la bahía. En Puerto Mosquito se encontraron diferencias significativas en las poblaciones de *P. bahamense* entre la estación uno y la estación dos. La mayor concentración anual se observó en la estación uno la cual en este estudio está ubicada más hacia el oeste de la bahía. Esto se puede explicar basándose en la dirección del viento el cual sigue un patrón similar al de la Bahía Bioluminiscente (Carpenter y Seliger, 1968) con patrones mayormente provenientes del suroeste concentrando de esta manera a los organismos en el lado oeste de la bahía. Aunque no se tiene información sobre los patrones de viento en el área de estudio para la época del muestreo esta podría ser una posible causa. Seixas (1988) encontró que en la Bahía Bioluminiscente los organismos se concentran en la parte suroeste de la bahía como resultado de su fisiografía, patrón de circulación y los vientos del sureste.

La prueba estadística de Kruskal Wallis ANOVA demostró que las poblaciones anuales de *C. furca* en la Bahía Bioluminiscente son significativamente diferentes en cuanto a profundidad; su concentración fue mayor en ambas estaciones a 2m de profundidad lo cual podría corresponder a su profundidad fototáctica negativa. En estudios realizados por Seliger et al. (1971) ellos demuestran que *P. bahamense* posee la capacidad de mantenerse en la superficie debido a una respuesta fototáctica positiva mientras que *C. furca*

posee una respuesta inversa. En Puerto Mosquito las poblaciones anuales de *P. bahamense* también resultaron ser significativamente diferentes con la profundidad en donde las concentraciones mayores se registraron en superficie en la estación uno, posiblemente indicativo de su respuesta fototáctica positiva.

La prueba estadística de Kruskal – Wallis ANOVA demostró además que existen diferencias significativas entre los meses de muestreo. El patrón temporal de *Pyrodinium bahamense* y *Ceratium furca* en la Bahía Bioluminiscente demostró un aumento poblacional marcado durante el mes de marzo al cual le siguió una disminución también marcada durante el mes de abril. El aumento ocurrió en las poblaciones de ambas especies aunque el aumento fue más marcado en *C. furca* donde se obtuvieron valores de 830,199 células/l. El resto del año las poblaciones de dinoflagelados estudiados en la Bahía Bioluminiscente se mantuvieron relativamente constantes alternándose como especies dominantes según el mes de muestreo.

Las poblaciones de *P. bahamense* en Puerto Mosquito obtuvieron dos picos mensuales, uno en febrero y otro en abril con valores de 511,882 células/l y 487,464 células/l respectivamente. Durante el mes de noviembre (donde el valor en la precipitación fue de 379 mm) las poblaciones de *P. bahamense* disminuyeron drásticamente con valores de 3,720 células/l; éste fue además el único mes en Puerto Mosquito donde se registró una mayor concentración en las poblaciones de *C. furca* con 12,942 células/l. Glynn et al. (1964) encontraron que

luego del huracán Edith en 1963 se observó una disminución en la intensidad de bioluminiscencia en la Bahía Bioluminiscente debido a que *C. furca* sobrepasó las concentraciones de *P. bahamense*. Por otro lado las poblaciones de *C. furca* fluctuaron a través de todo el año. Los resultados observados demuestran dos picos máximos, uno en abril con concentraciones de 25,613 células/l y otro en julio con concentraciones de 17,609 células/l. Las menores concentraciones ocurrieron durante los meses de agosto con 2,796 células/l y octubre con 6,606 células/l.

En las tablas 7 y 8 se comparan los patrones temporales obtenidos en este estudio con algunos estudios previos. En la Bahía Bioluminiscente Cintrón (1969) encontró durante el mes de junio poblaciones de *P. bahamense* de 100,000 células/l. Seixas (1983) reportó que la distribución temporal de *P. bahamense* y *C. furca* en la Bahía Bioluminiscente exhibió tres etapas definidas: “1. Predominio de *C. furca* en los meses de invierno; con concentraciones de *P. bahamense* de menos de 1,000 células/l. En ese periodo la concentración de *C. furca* alcanzó un máximo de aproximadamente 45,000 células/l en el mes de diciembre. 2. Predominio de *P. bahamense* en los meses de primavera el cual alcanzó su máxima expresión en el mes de abril cuando la concentración de *C. furca* alcanzó el mínimo. A partir de abril la concentración de *C. furca* comenzó a incrementar hasta alcanzar un segundo máximo durante el mes de junio y convertirse nuevamente en el dinoflagelado dominante. 3. Variación conjunta en los valores de abundancia de ambas especies lo cual se reflejó en un máximo

común de aproximadamente 50,000 células/l durante el mes de mayo y descensos simultáneos en la abundancia de ambas especies con valores de menos de 1,000 células/l durante el mes de agosto.” Seixas (1988) reportó otro comportamiento para las poblaciones de *P. bahamense* y *C. furca*; él encontró que *C. furca* exhibió dos máximos definidos uno en primavera y otro en otoño, el mes de septiembre registró las mayores concentraciones de todo el año con valores de aproximadamente 140,000 células/l. Las menores concentraciones se registraron en febrero, mayo y diciembre con valores menores a las 10,000 células/l. Por otro lado *P. bahamense* obtuvo un máximo de alrededor de 250,000 células/l durante el mes de mayo; se observó además un segundo máximo en julio con concentraciones de 20,000 células/l. A partir de octubre las poblaciones de *P. bahamense* disminuyeron a valores no detectables. Walker (1997) en la Bahía Bioluminiscente encontró tres picos máximos en las poblaciones de *P. bahamense* durante los meses de julio, septiembre y abril con concentraciones de aproximadamente 30,000 células/l; las menores concentraciones se registraron en mayo, octubre, noviembre y marzo con valores menores a las 2,000 células/l. Por otro lado las poblaciones de *C. furca* registraron un máximo durante el mes de septiembre con concentraciones de alrededor de 36,000 células/l. Ella encontró además otros dos picos máximos en las poblaciones de *C. furca* durante los meses de julio y agosto. La concentración mínima se registró en diciembre con valores menores a las 2,000 células/l. En Puerto Mosquito, durante su estudio, el máximo en la concentración de *P. bahamense* se registró en diciembre con valores de aproximadamente

170,000 células/l. Se registró además otro pico máximo durante el mes de mayo con alrededor de 125,000 células/l. La menor concentración ocurrió en junio con alrededor de 25,000 células/l. *C. furca* registró un máximo en mayo con alrededor de 4,000 células/l; las concentraciones mínimas ocurrieron durante los meses de julio y enero con menos de 1,500 células/l. En estudios realizados por Seliger y González (2000, datos sin publicar), encontraron en Puerto Mosquito un máximo en la concentración de *P. bahamense* durante el mes de septiembre con valores de aproximadamente 115,000 células/l; el mínimo ocurrió en febrero con concentraciones de alrededor de 20,000 células/l. Estos estudios incluyeron además el comportamiento diario en las poblaciones de *P. bahamense* durante un mes de muestreo (Figura 37). En la gráfica se pueden apreciar las variaciones diarias que ocurrieron en las poblaciones de este dinoflagelado. La importancia de estos resultados reside en el hecho de que cuando se estudian estos tipos de sistemas como los son las bahías bioluminiscentes es difícil predecir con toda seguridad qué es lo que causa ciertas tendencias dentro del sistema. Los cambios observados más que señalar a un factor unidireccional como el responsable del comportamiento de las especies de dinoflagelados indica la influencia de varios factores en conjunto.

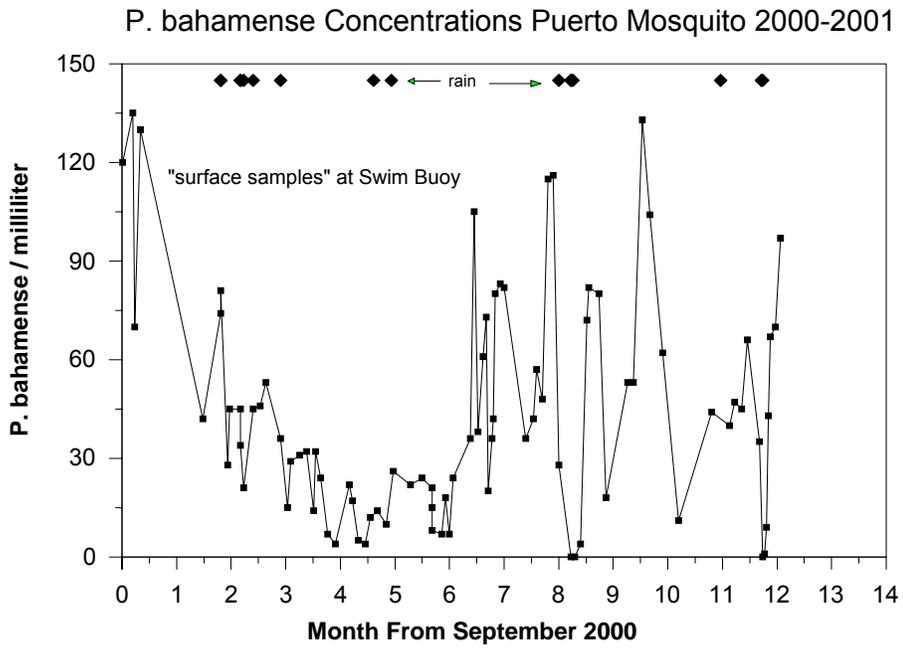


Figura 37. Concentración diaria *P. bahamense* en Puerto Mosquito (septiembre 2000) Seliger y González (datos sin publicar)

TABLA 7. DISTRIBUCIONES TEMPORALES EN LAS POBLACIONES DE DINOFLAGELADOS EN LA BAHÍA BIOLUMINISCENTE. COMPARACIONES CON ESTUDIOS PREVIOS

<i>Autor / Año</i>	<i>Máxima [P. bahamense]</i>	<i>Mínima [P. bahamense]</i>	<i>Máxima [C. furca]</i>	<i>Mínima [C. furca]</i>
Seixas (1988)	mayo, julio	octubre	septiembre	febrero, mayo, diciembre
Walker (1997)	julio septiembre abril	mayo octubre noviembre marzo	septiembre, julio, agosto	diciembre
Estudio en curso	marzo	octubre	marzo	enero

TABLA 8. DISTRIBUCIONES TEMPORALES EN LAS POBLACIONES DE DINOFLAGELADOS EN PUERTO MOSQUITO. COMPARACIONES CON ESTUDIOS PREVIOS

<i>Autor / Año</i>	<i>Máxima [P. bahamense]</i>	<i>Mínima [P. bahamense]</i>	<i>Máxima [C. furca]</i>	<i>Mínima [C. furca]</i>
Walker (1997)	diciembre mayo	Junio	mayo	julio, enero
Seliger (2000)	septiembre	febrero	N/A	N/A
Estudio en curso	febrero	noviembre	abril	febrero

Los datos obtenidos en este estudio nos dan una idea general de algunos aspectos que ocurren en estas bahías. Se puede concluir que un año de estudio no es suficiente para entender los aspectos biológicos y fisicoquímicos que controlan a las poblaciones de dinoflagelados. Los resultados obtenidos en este estudio muestran el comportamiento de las poblaciones de dinoflagelados para el año de estudio y no se puede concluir cuál es el comportamiento general de las bahías. Si observamos los datos y los comparamos con estudios previos se

pueden apreciar las variaciones en abundancia y patrones temporales en las especies de dinoflagelados.

Con este estudio no se pudo determinar qué es lo que causa la diferencia en la abundancia y composición de especies entre la Bahía Bioluminiscente y Puerto Mosquito. Para poder comprender el comportamiento de estos sistemas frágiles que son las bahías es necesario hacer estudios diarios y abarcadores que incluyan no sólo medidas de abundancia y parámetros fisicoquímicos sino que además se incluyan estudios de presa - depredador; patrones de circulación del agua e intercambio con el exterior y estudios de contaminación por hidrocarburos entre otros. Este último punto es sumamente importante debido a la diferencia existente entre las embarcaciones que visitan la Bahía Bioluminiscente y las que visitan Puerto Mosquito. La Bahía Bioluminiscente es visitada diariamente por un gran número de embarcaciones, comerciales y privadas, de motor. En Puerto Mosquito, en su mayoría, los viajes son realizados en una embarcación con motor eléctrico o kayak. Quizás éste sea uno de los puntos claves que ayuden a comprender mejor las diferencias existentes entre la Bahía Bioluminiscente y Puerto Mosquito; y que nos ayuden a conservar tan valiosos sistemas ecológicos.

CONCLUSIONES

1. Se hicieron estudios en dos bahías bioluminiscentes (Bahía Bioluminiscente en La Parguera y Puerto Mosquito en Vieques) con el objetivo principal de verificar si las diferencias existentes entre la abundancia y composición de las principales poblaciones de dinoflagelados entre ambas bahías eran debido a diferencias en la concentración de nutrientes.

2. *Ceratium furca* es anualmente el dinoflagelado numéricamente dominante en la Bahía Bioluminiscente con una concentración promedio de 97,850 células/l. Se encontró un pico máximo en su abundancia durante el mes de marzo con valores de 830,199 células/l. Durante el resto del año las poblaciones de *Ceratium furca* y *Pyrodinium bahamense* se alternaron como especies dominantes.

3. *Pyrodinium bahamense* es el dinoflagelado numéricamente dominante en Puerto Mosquito con una concentración anual de 286,411 células/l. Este dinoflagelado dominó a lo largo de todo el año (excepto en noviembre) y es posiblemente por esta razón que se observa una mayor bioluminiscencia comparado con Bahía Bioluminiscente.

4. En la Bahía Bioluminiscente se encontraron diferencias significativas entre la concentración de *Ceratium furca* a 0 m y a 2 m de profundidad; su mayor concentración ocurrió a los 2 m sugiriendo de esta manera su profundidad fototáctica negativa.

5. Se encontraron diferencias significativas en la concentración de *Pyrodinium bahamense* en Puerto Mosquito entre la estación uno y la estación dos; su mayor concentración ocurrió en la estación uno la cual durante este estudio está ubicada más hacia el oeste de la bahía. Esto ocurrió posiblemente debido a la circulación del viento proveniente del sureste el cual tiende a concentrar los organismos hacia el oeste de la bahía.

6. No se encontraron diferencias significativas en la concentración de nutrientes entre ambas bahías. Por lo tanto no se pudo concluir qué es lo que causa la diferencia en la abundancia y composición de las poblaciones de dinoflagelados estudiados.

7. Se recomiendan hacer estudios diarios y abarcadores que incluyan interacciones entre presa/depredador; circulación del agua e intercambio con el exterior y contaminación por hidrocarburos con el fin de comprender las diferencias existentes entre ambas bahías y así llegar a un mayor conocimiento que permita conservar tan valiosos ecosistemas marinos.

REFERENCIAS

- Bernache-Baker, B. 1995. The Bioluminescent Bays of Vieques. Edición revisada 1-11.
- Biggley, W.H., E. Swift, R.J. Buchanan y H.H. Seliger. 1969. Stimulable and spontaneous bioluminescence in the marine dinoflagellates, *Pyrodinium bahamense*, *Gonyaulax polyedra*, and *Pyrocystis lunula*. J. Marine Physiol. 54: 96-122
- Burkholder, P.R. y L.M. Burkholder. 1958. Studies on B vitamins in relation to productivity on the Bahía Fosforescente, Puerto Rico. Bull. of Marine Science of the Gulf and Caribbean. 8(3): 203-223.
- Burkholder, P.R., L.M. Burkholder y L.R. Almodóvar. 1967. Carbon assimilation of marine flagellate blooms in neritic waters of southern Puerto Rico. Bulletin of Marine Science. 17(1): 1-15.
- Carpenter, J.H. y H.H. Seliger. 1968. Studies at Oyster Bay in Jamaica, West Indies. II. Effects of flow patterns and exchange on bioluminescent distributions. Journal of Marine Research. 26(3): 256-272.
- Carvajal, J.R. 1976. Factores que afectan la bioluminiscencia en algunos sistemas estuarinos y marinos de Puerto Rico. Tercer Simposio del DRNA, P.R. pp.18-55.
- Cintrón, G. 1969. Seasonal fluctuations in a tropical bay. M.S. thesis, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez. 53 pp.
- Clarke, G.L. y L.R. Breslau. 1960. Studies of luminescence flashing in Phosphorescent Bay, Puerto Rico, and in the Gulf of Naples using a portable bathyphotometer. Bull. Inst. Océan. Monaco. 1171: 1-32.
- Coker, R.E. y J.G. González. 1960. Limnetic copepod populations of Bahía Fosforescente and adjacent waters of Puerto Rico. J. Elisha Mitchell Scient. Soc. 76: 8-28.
- Connelly, X. M. 1993. Batimetría de La Bahía Puerto Mosquito. Vieques, Puerto Rico. En: Walker, L.A. 1997. Populations Dynamics of Dinoflagellates in Two Bioluminescent Bays: Bahía Fosforescente and Puerto Mosquito, Vieques. M.S. tesis, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez. 51 pp.

- Eppley, R.W., O. Holm-Hansen y J.D.H. Strickland. 1968. Some variations on vertical migration of dinoflagellates. *J. Phycol.* 4: 333-340.
- Esaias, W.E. y H. Curl. 1972. Effect of dinoflagellate bioluminescence on copepod ingestion rates. *Limnol. and Oceanogr.* 16(5): 741-751.
- Glynn, P. W., L. R. Almodóvar y J. G. González. 1964. Effects of hurricane Edith on marine life in La Parguera, Puerto Rico. *Carib. J. Sci.* 4: 335-345.
- Glynn, P. W. 1973. Ecology of a Caribbean Coral Reef. The *Porites* Reef-Flat Biotope: Part I. Meteorology and Hydrography. *Marine Biology.* 20: 297-318
- Gold, K. 1965. A note on the distribution of luminescent dinoflagellates and water constituents in Phosphorescent Bay, Puerto Rico. *Ocean. Sci.* 1: 77-80
- González, J.G. 1965. Primary productivity of the neritic and offshore waters of western Puerto Rico. Final Report, U.S. Office of Naval Research Contract. #NONR 4318(00). Pp. 11
- Harvey, E.N. 1952. Bioluminescence. Academic Press. New York. Pp. 149
- Hastings, J.W. 1983. Chemistry and control of luminescence in marine organisms. *Bulletin of Marine Science.* 33(4): 818-828.
- Karr, J. R. 1985. Disturbance and vertebrates: an integrative perspective. *En S. T. A. Pickett y P. S. White (Eds.) The Ecology of Natural Disturbance and Patch Dynamics.* Acad. Press. pp. 472
- Margalef, R. 1957. Fitoplancton de las costas de Puerto Rico. *Investigación Pesquera.* 5: 39-52.
- Margalef, R. 1961. Hidrografía y fitoplancton de un área marina de la costa meridional de Puerto Rico. *Investigación Pesquera.* 18: 33-96.
- Marquéz, A. 1989 Estudio comparativo de la bioluminiscencia de la Laguna Piñones (Loiza) y tres sistemas bioluminiscentes de Puerto Rico después del Huracán Hugo. pp. 161- 235.
- McLaughlin, J.J.A. y P.A. Zahl. 1961. In vitro culture of *Pyrodinium bahamense*. *Science* 134: 1878.

- Odum, H.T., P.R. Burkholder y J. Rivero. 1959. Measurements of productivity of turtle grass flats, reefs, and the Bahía Fosforescente of southern Puerto Rico. *Publ. Inst. Mar. Sci. Univ. Texas.* 6: 159-170.
- Pereira-Filho, J., C. A. F. Schettini, L. Rörig y E. Siegle. 2001. Intratidal Variation and net transport of dissolved inorganic nutrients, POC and chlorophyll *a* in the Camboriú river estuary, Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science.* 53, 249-257
- Pomeroy, L.R., H.H. Haskin y R.A. Ragotzkie. 1956. Observations on dinoflagellate blooms. *Limnol. and Oceanogr.* 1: 54-60.
- Prakash, A. M.A. Rashid. 1968. Influence of humic substances on the growth of marine fitoplankton: dinoflagellates. *Limnol. and Oceanogr.* 13(4): 598-606.
- Reynolds, C. S. 1997. Vegetation processes in the pelagic: a model for ecosystems theory. *Ecology Institute.* pp. 370
- Ryther, J.H. 1955. Ecology of autotrophic marine dinoflagellates with reference to red water conditions. En Johnson, F.H. *The luminescence of biological systems. The American Association for the Advancement of Science.* pp. 387-413.
- Sanjuan, A.E. y J.G. González. 1998. Distribution of nutrients in the Phosphorescent Bay at La Parguera, on the southwest coast of Puerto Rico. *Proceedings of the fifty-first annual Gulf and Caribbean Fisheries Institute.* pp. 451-456.
- Sanjuan, A.E. y J.G. González. 1999. Inventario de embarcaciones visitantes de la Bahía Fosforescente de La Parguera y su relación con fases de la luna, meses de muestreo e ingresos económicos generados por la bahía. Informe presentado para el Fideicomiso de Conservación de P.R. 27 pp.
- Seixas, C.E. 1983. Algunas variaciones en la dinámica del fitoplancton en dos bahías del suroeste de Puerto Rico. M.S. tesis, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez. 92 pp.
- Seixas, C.E. 1988. Patrones de distribución espacial y sucesión temporal en poblaciones de dinoflagelados de la Bahía Fosforescente, Puerto Rico. Ph. D. tesis, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez. 88 pp.

- Seliger, H.H., J.H. Carpenter, M. Loftus, W.H. Biggley y W.D. McElroy. 1971. Bioluminescence and phytoplankton successions in Bahía Fosforiscente, Puerto Rico. *Limnol. and Oceanogr.* 16(4): 608-622.
- Seliger, H.H., J.H. Carpenter, M. Loftus and W.D. McElroy. 1970. Mechanisms for the accumulation of high concentrations of dinoflagellates in a Bioluminescent Bay. *Limnol. and Oceanogr.* 15(2): 234-245.
- Seliger, H.H. y W.D. McElroy. 1968. Studies at Oyster Bay in Jamaica, West Indies. I. Intensity patterns of bioluminescence in a natural environment. *Journal of Marine Research.* 26(3): 244-255.
- Seliger, H.H., W.G. Fastie, W.R. Taylor y W.D. McElroy. 1962. Bioluminescence of marine dinoflagellates. *J. Gen. Physiol.* 45: 1003-1017.
- Small, L.F. 1963. Effect of wind on the distribution of chlorophyll a in Clear Lake, Iowa. *Limnol. and Oceanogr.* 8(4): 426-432.
- Smayda, T.J. 1970. Growth potential bioassay of water masses using diatom cultures: Phosphorescent Bay (Puerto Rico) and Caribbean Waters. *Helgoländer wiss. Meeresunters.* 20: 172-194.
- Soli, G. 1966. Bioluminescent cycle of photosynthetic dinoflagellates. *Limnol. and Oceanogr.* 11(3): 355-363.
- Solórzano, L. 1969. Determination of ammonia in natural waters by the phenol hypochlorite method. *Limnol. Oceanogr.* 14:799-801
- Strickland, J.D.H. y T.R. Parsons. 1972. A practical handbook for seawater analysis. *Fish. Res. Bd. Canada. Bull.* 167: 311 pp.
- Taylor, W.R., H.H. Seliger, W.G. Fastie y W.D. McElroy. 1966. Biological and Physical observations on a Phosphorescent Bay in Falmouth harbor, Jamaica, W.I. *Journal of Marine Research* 24(1): 28-43.
- Therriault, J.C., D.J. Lawrence y T. Platt. 1978. Spatial variability of phytoplankton turnover in relation to physical process in a coastal environment. *Limnol. and Oceanogr.* 23(5): 900-911.
- Therriault, J.C. y T. Platt. 1978. Spatial heterogeneity of phytoplankton biomass and related factors in the near-surface waters of an

exposed coastal embayment. *Limnol. and Oceanogr.* 23(5): 888-899.

Twomey, L. y P. Thompson. 2001. Nutrient limitation of the phytoplankton in a seasonally open bar-built estuary: Wilson Inlet, Western Australia. *J. Phycol.* 37, 16-29

Townend, J. 2002. *Practical Statistics for Environmental and Biological Scientists.* Jonh Wiley & Sons. 276 pp.

U.S. Department of Interior. 1968. The bioluminescent bays of Puerto Rico: A plan for their preservation. 48 pp.

Walker, L.A. 1997. Populations Dynamics of Dinoflagellates in Two Bioluminescent Bays: Bahía Fosforescente and Puerto Mosquito, Vieques. M.S. tesis, Universidad de Puerto Rico, Mayagüez. 51 pp.

Welschmeyer, N. A. 1994. Fluorometric analysis of chlorophyll *a* in the presence of chlorophyll *b* and pheopigments. *Limnol. and Oceanogr.* (39)8: 1985-1992

White, H.H. 1979. Effects of dinoflagellate bioluminescence on the ingestion rates of herbivorous zooplankton. *J. exp. mar. Biol. Ecol.* 36: 217-224.

Yentsch, C.S., R.H. Backus y A. Wing. 1964. Factors affecting the vertical distribution of biological luminescence in the euphotic zone. *Limnol. and Oceanogr.* 9(4): 519-524.

Yentsch, C.S. y J.C. Laird. 1968. Seasonal sequence of bioluminescence and the occurrence of endogenous rhythms in oceanic waters off Woods Hole, Massachusetts. *Journal of Marine Research.* 26(2): 127-133.

Apéndice 1. Latitud y Longitud de las estaciones de muestreo

	Bahía Bioluminiscente	Puerto Mosquito
Estación 1	17°58.331N, 67°00.944W	18°06.139N, 65°26.681W
Estación 2	17°58.331N, 67°00.812W	18°06.139N, 65°26.524W