

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

SISTEMA ESTUDIOS DE POSGRADO

**FLORACIONES ALGALES EN COSTA RICA, SU
RELACION CON ALGUNOS FACTORES METEOROLOGICOS Y
CONSIDERACIONES SOBRE SUS EFECTOS SOCIOECONOMICOS**

**Tesis sometida a la consideración de la Comisión del
Programa de Estudios de Posgrado en Gestión Integrada de
Áreas Costeras Tropicales de la Escuela de Biología
para optar por el grado de Magister Scientiae**

MARIBELLE VARGAS MONTERO

Ciudad Universitaria "Rodrigo Facio" Costa Rica

2004

DEDICATORIA

*Esta tesis se la dedico a mi esposo
Ricardo y a mi madre Graciela por ser
parte de mi vida y ser el pilar que me
impulsa día a día a seguir adelante*

AGRADECIMIENTOS

Quiero manifestar el más profundo agradecimiento a todos mis compañeros de trabajo del Centro de Investigación en Estructuras Microscópicas CIEMic, así como a todas y cada una de las personas que colaboraron ofreciéndome su apoyo. También, quisiera agradecer a los investigadores del Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología CIMAR, que colaboraron considerablemente con sus proyectos de investigación en la toma de las muestras así como al comité de tesis por la revisión y colaboración en el manuscrito. De la misma forma, quiero agradecer al personal investigador del Parque Marino del Pacífico y a todos los pescadores que me ayudaron durante la recolecta de muestras.

Quisiera agradecer sinceramente a mi tutor Alvaro Morales y a mis asesores Omar Lizano y Jenaro Acuña por toda su dedicación y su ayuda desinteresada durante la realización de esta tesis.


Al Dr. Yasuwo Fukuyo del Asian Natural Environmental Science Center de la Universidad de Tokio, uno de los más prestigiosos y meritorios investigadores mundiales en el campo de las floraciones algales, por haberme brindado su apoyo tanto material como intelectual, para así poder llevar adelante ésta y otras investigaciones en las costas costarricenses.

HOJA DE APROBACION

Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Gestión Integrada de Areas Costeras Tropicales de la Escuela de Biología de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado de Magister Scientiae.



Gerardo Umaña Villalobos M.Sc.
Representante del Decano de Ciencias



Alvaro Morales Ramirez Ph.D.
Director de Tesis



Jenaro Acuña González M.Sc.
Asesor



Omar G. Lizano Rodríguez Ph.D.
Asesor



Margarita Silva Benavides Ph.D.
Representante de GIACT



Maribelle Vargas Montero
Estudiante

INDICE

	Página
Portada	
Dedicatoria	ii
Agradecimientos	iii
Hoja de Aprobación	iv
Índice	v
Resumen	vi
Lista de Cuadros y Figuras	viii
Lista de Láminas	xi
Lista de Abreviaturas	xii
Introducción	13
Objetivo General	21
Objetivos Específicos	22
Materiales y Métodos	
Descripción de los sitios de estudio	23
Metodología	23
Resultados	
A. Descripción de las FAN	29
B. Floraciones Algales Nocivas y aspectos meteorológicos	39
C. Consecuencias sociales y económicas de las FAN	50
Discusión	51
Conclusiones	65
Referencias	67
Apéndice	77

Vargas Montero, Maribelle

Floraciones Algales en Costa Rica, su relación con algunos factores meteorológicos y consideraciones sobre sus efectos socioeconómicos

Tesis de Maestría Escuela de Biología.-San José, C.R.:

M.Vargas M., 2004

90h -4 il.- 61 refs.

Se describen los microorganismos relacionados con las floraciones algales nocivas (FAN) en la costa del Pacífico de Costa Rica y se propone demostrar que algunas condiciones medio ambientales están incidiendo fuertemente en la formación de estas floraciones algales. Se muestreo durante un año los golfos de Papagayo y de Nicoya con la finalidad de recolectar muestras de agua y determinar que especies eran las responsables de formar las discoloraciones observadas en el mar, comparando los datos obtenidos con algunos datos meteorológicos suministrados por el Instituto Meteorológico Nacional y por el Instituto Costarricense de Electricidad.

Durante el año 2003 y mediados del 2004 se observaron 33 floraciones algales en estos golfos, las cuáles en su mayoría fueron producidas por dinoflagelados. Estas FAN se observan principalmente a principios de la época seca, sin embargo, tal parece que en el Golfo de Nicoya se observan durante todo el año. La mayoría de estos dinoflagelados producen quistes de resistencia y este es un factor muy importante para la permanencia de estas especies en la costa.

Algunas investigaciones han demostrado que los vientos tienen un papel determinante en la formación y mantenimiento de las FAN en las costas y este podría ser quizá el factor más significativo de disparo de las floraciones algales, especialmente en el Golfo de Papagayo, sin embargo, se recomienda un estudio más detallado en conjunto con algunos factores oceanográficos.

Este es el primer estudio para determinar cuáles microorganismos producen las floraciones algales nocivas (FAN) en Costa Rica. Se han hecho varios reportes de FAN en Costa Rica, sin embargo, en los últimos cuatro años se han observado con mayor regularidad produciendo mortalidad de peces en las playas y mal olor en el ambiente.

Durante el muestreo se observaron dos especies productoras de toxinas paralizantes en altas concentraciones, por lo que se debería considerar un estudio más exhaustivo de la dinámica de estas especies en la costa del Pacífico de Costa Rica. Las floraciones algales producen un serio problema social y económico al país por lo que se debe controlar el acceso a la extracción de moluscos bivalvos, integrando los aspectos ecológicos y el estudio de las floraciones algales nocivas.

floraciones algales, fitoplancton, dinoflagelados.

Alvaro Morales Ramírez Ph.D.

Sistema de Estudios de Posgrado

Lista de Cuadros y Figuras

Cuadro 1. Determinación de la concentración de microorganismos en la celda de conteo Sedgewick-Rafter (Tomado de Gonzales *et al.* 2002)

Cuadro 2. Floraciones algales observadas en los golfos de Papagayo y Nicoya durante los meses de muestreo y observaciones previas a estas fechas

Cuadro 3. Especies de dinoflagelados productores de FAN durante los meses estudiados y su relación con la producción de dinoquistes.

Cuadro 4. Distribución de especies de fitoplancton más abundantes en el Golfo de Papagayo durante la época de muestreo

Cuadro 5. Distribución temporal de especies de fitoplancton más abundantes en el Golfo de Nicoya durante la época de muestreo

Cuadro 6. Meses de ocurrencia de discoloraciones algales y velocidad del viento imperante días antes de los eventos en el GP.

Cuadro 7. Meses de observación de discoloraciones algales y velocidad del viento imperante días antes de los eventos en el Golfo de Nicoya.

Cuadro 8. Gastos estimados por institución (fuente Informe de la CNMR 2004)

Figuras

Figura 1. Representación esquemática de las potenciales conexiones entre la entrada de nutrientes, la respuesta de las algas y la expresión de los eventos FAN (Tomado de Glibert & Pitcher 2001).

Figura 2. Ubicación de las estaciones de muestreo en los golfos de Papagayo (GP) y Nicoya (GN) ubicados en la costa del Pacífico de Costa Rica.

Figura 3. Densidad celular de los grupos de fitoplancton dominantes de las floraciones algales observadas en los golfos de Papagayo y Nicoya en el periodo comprendido entre enero de 2003 y junio de 2004

Figura 4. Distribución temporal de las floraciones algales en el Golfo de Papagayo y su densidad celular desde mayo de 2003 hasta junio de 2004

Figura 5. Distribución temporal de las floraciones algales en el Golfo de Nicoya y su densidad celular desde enero de 2003 hasta junio de 2004

Figura 6. Promedio de floraciones algales y su distribución temporal observadas en los golfos de Papagayo y Nicoya desde marzo de 2003 hasta junio de 2004

Figura 7. Densidad celular de las floraciones algales observadas en los golfos de Nicoya y Papagayo durante enero del 2003 hasta junio de 2004

Figura 8. Promedio diario de la velocidad del viento y ocurrencia de floraciones algales observadas y documentadas en el Golfo de Papagayo. Las líneas horizontales indican la fecha de la mancha observada y su extensión temporal. (Fuente: Instituto Meteorológico Nacional)

Figura 9. Promedio diario de la velocidad del viento y ocurrencia de floraciones algales observadas y documentadas en el Golfo de Nicoya. Las líneas horizontales indican la fecha de la mancha observada y su extensión temporal. (Fuente: Instituto Meteorológico Nacional)

Figura 10. Imágenes satelitales obtenidas durante el mes de junio del 2004 (Fuente: Servidor NOAA- SIAM-SERVIR-NASA www.siam.servir.nasa.gov)

Lista de Láminas

Lámina 1. Dinoflagelados (microscopio de luz 40X) a. *Akasiwo sanguineum*, b. *Alexandrium* cf. *minutum*, c (microscopio electrónico de barrido)-e. *Alexandrium monilatum*, f-g *Cochlodinium polykrikoides*.

Lámina 2. Dinoflagelados (microscopio de luz 40X) a. *Ceratium dens*, b-c. *Ceratium furca*, d-e. *Dinophysis caudata*, f (microscopio electrónico de barrido)-g. *Gonyaulax spinifera*.

Lámina 3. Dinoflagelados (microscopio de luz 40X) a-b. *Gymnodinium catenatum*, c-d. *Gyrodinium instriatum*, e. *Noctiluca scintillans*, f-h. *Protopteridinium* spp.

Lámina.4. Diatomeas (microscopio de luz 40X) a-c *Chaetoceros* spp., d. *Coscinodiscus* sp. e. *Skeletonema costatum*, f. *Trichodesmium erythraeum*, g (microscopio electrónico de transmisión) -h *PseudoNitzschia pungens*, i-j (microscopio electrónico de transmisión) *PseudoNitzschia multiseriata*.

Lista de abreviaturas

BC	Bahía Culebra
CCSS	Caja Costarricense de Seguro Social
CNMR	Comisión Nacional de Mareas Rojas
ECOHAB	The Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms
FAN	Floraciones Algales Nocivas
GEOHAB	Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms
GN	Golfo de Nicoya
GP	Golfo de Papagayo
ICE	Instituto Costarricense de Electricidad
INCOPESCA	Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura
EMAS	Instituto Mixto de Ayuda Social
IMN	Instituto Meteorológico Nacional
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
MS	Ministerio de Salud
MT	Ministerio de Trabajo

Introducción

Las Floraciones Algales Nocivas (FAN, término que se seguirá usando en este manuscrito) conocidas “mareas rojas”; en el sentido más estricto, son un fenómeno natural que ha ocurrido a lo largo de la historia. Esto se comprueba con la evidencia fósil de ocurrencias de microalgas en altas concentraciones y la mortalidad asociada a la vida marina (GEOHAB 1998). El fitoplancton marino es la base de la cadena alimentaria de los mares y su presencia en los ecosistemas marinos se evidencia de muchas formas, una de ellas es formando FAN masivas que decoloran la superficie del agua y que en algunas ocasiones son beneficiosas para la acuicultura y el funcionamiento de las pesquerías naturales. Sin embargo, pueden tener un efecto negativo produciendo pérdidas económicas severas, ya que algunas veces se encuentran en tan bajas concentraciones, que no son visibles por cambios de coloración en el agua, pero que pueden ser suficientes para causar un brote tóxico, notándose sólo el daño causado por sus potentes toxinas (Hallegraeff *et al.* 1995, Anderson *et al.* 2001).

Según Steidinger & Joyce (1973) la formación de una floración algal se compone de las siguientes cuatro fases:

- I. **Fase de Iniciación:** es la fase donde hay pocas células en el agua, en muchos casos se da el desenquistamiento por procesos de mezcla o transporte lateral de quistes.
- II. **Fase de Desarrollo:** la población de microalgas crece dividiéndose a las máximas tasas permitidas, dependiendo de factores como la luz, la

temperatura, la salinidad, los nutrientes y la depredación por parte del zooplancton.

- III. Fase de Agregación:** es donde se observan las mayores concentraciones de microalgas.
- IV. Fase de Disipación:** es donde la floración declina por medio de diversos mecanismos, dependiendo de la estabilidad de la columna de agua, como limitación de nutrientes, enquistamiento de especies, procesos de inducción sexual en los organismos, presumiblemente asociado con la disminución de los nutrientes, y por depredación del zooplancton.

Es claro que la expansión de las actividades humanas como las pesquerías, la acuicultura, el uso recreativo y el hacinamiento de los pueblos costeros, han aumentado la frecuencia de las FAN, con un significativo costo económico y social (Matsuoka & Fukuyo 2000).

La costa Pacífica de nuestro país posee de tres golfos con características estuarinas muy diversas. Uno de ellos; el Golfo de Papagayo (GP), es considerado uno de los sistemas de afloramiento más intenso de Centroamérica (Fiedler *et al.* 1991). El Golfo de Nicoya (GN) es un estuario tipo tectónico y es considerado uno de los más grandes y sobre explotados de América Central (Vargas 1996). Por último, el Golfo Dulce (GD), que se caracteriza por ser un estuario tipo fiordo, con 210 metros de profundidad (Wolf *et al.* 1996). En estos golfos, se han observado la mayor cantidad de floraciones algales nocivas (FAN) en los últimos años, sin embargo, los más

estudiados en cuanto a fitoplancton se refiere, son el GP y el GN (Viquez & Hargraves 1995, Morales *et al.* 2001, Vargas & Freer 2003).

El GN esta influenciado por la descarga de agua dulce que proviene principalmente de ríos que desembocan en él. Estas plumas de agua dulce dependen de tres ríos, el río Tempisque principalmente, el cual desemboca dentro del golfo, y drena una gran área de tierra utilizada con fines ganaderos y agrícolas. Otro aporte más pequeño lo dan los ríos Barranca y Grande de Tárcoles, en la parte externa del golfo en su costa este (Bartels *et al.* 1984). La batimetría de este estuario indica que en la parte interna, entre la desembocadura del Río Tempisque y la Isla San Lucas, tiene profundidades entre los 0 y 20 m. Asimismo, en la parte externa que abarca desde San Lucas a Cabo Blanco, tiene profundidades entre los 20 a los 200m (Brenes *et al.* 2001).

Debido a su carácter tropical, las variaciones de la temperatura superficial en este golfo son pequeñas y más bien dependen de la radiación solar, por lo que en época seca, es mayor que en época lluviosa. De la misma forma, la salinidad se comporta similarmente a la temperatura, presentando el máximo entre abril y mayo pero extendiéndose a lo largo de todo el golfo. Durante octubre se mantienen las salinidades más bajas (Lizano 1998, Brenes *et al.* 2001). Las Islas Negritos representan una barrera física para la entrada en el fondo de aguas más frías oceánicas que penetran al golfo por la parte occidental, evitando que la temperatura disminuya mucho, por lo que existe un patrón superficial de circulación en el cuál las aguas menos densas se desplazan hacia el mar abierto por el costado oriental, mientras que

las aguas costeras penetran por el extremo opuesto y parte de ellas sufre una deflexión hacia el este cuando alcanzan las Islas Negritos (Voorhis *et al.* 1983).

En cuanto a la estratificación, el GN es un estuario de planicie costera cuya estratificación en términos de temperatura, salinidad y densidad es más acentuada en el golfo interior que en el exterior, manteniéndose fuertemente estratificado en época lluviosa debido a la descarga de los ríos. Contrario a este comportamiento, en época seca, se mantiene todavía estratificado (Epifanio *et al.* 1979 Mata & Blanco 1990, Kress *et al.* 2001). Las descargas del río Tempisque gobiernan los procesos de mezcla en la parte interna del golfo, formándose una masa de agua llamada “agua intermedia”, modificando el agua proveniente de la parte interna del golfo y mezclándolas con las provenientes del océano altamente salobres y nutricionales (Epifanio *et al.* 1979, Kress *et al.* 2001).

La eutrofización, conocida como el proceso de enriquecimiento por el incremento orgánico de un ecosistema (generalmente a través del incremento en las entradas de nutrientes) asociada con los desechos domésticos, industriales y agrícolas, conjuntamente con los procesos de erosión terrígena, pueden estimular los florecimientos algales en las costas (Hallegraeff 1993, Glibert & Pitcher 2001). La respuesta de las microalgas a la entrada de nutrientes al ecosistema puede ser variada, es decir, que puede existir un cambio en la entrada de nutrientes produciendo una alteración en su composición, por lo que se puede perturbar la comunidad algal, o bien, incrementar la biomasa total algal, produciendo los potenciales impactos que conlleva la producción de FAN (Figura 1).

Según Morofío *et al.* (2000), las series de datos de distribución del fitoplancton asociadas a las condiciones oceanográficas imperantes en el momento de las floraciones algales, coinciden con períodos de estratificación térmica y baja concentración de nutrientes. Asimismo, la intrusión de aguas frías y ricas en nutrientes, probablemente relacionada con procesos de afloramiento costero, son muy importantes, ya que podrían manifestar futuros eventos microalgales (Alonso-Rodríguez *et al.* 2000, Mcgillicuddy *et al.* 2003).

Algunas especies de dinoflagelados parecen ser sensibles a condiciones turbulentas en el agua, quebrantando en algunos casos, la floración algal existente. Durante períodos de vientos calmos, las interacciones entre la migración vertical del fitoplancton con las ondas internas en la termoclina, pueden ayudar a concentrar las especies y generar una floración algal, por lo que la sucesión de especies de fitoplancton en diversos ambientes costeros puede darse, entre otros factores, por la proliferación de microalgas nocivas por un crecimiento *in situ*, o por poblaciones alóctonas concentradas en dicha región por causas físicas (Sournia 1978, Taylor 1987).

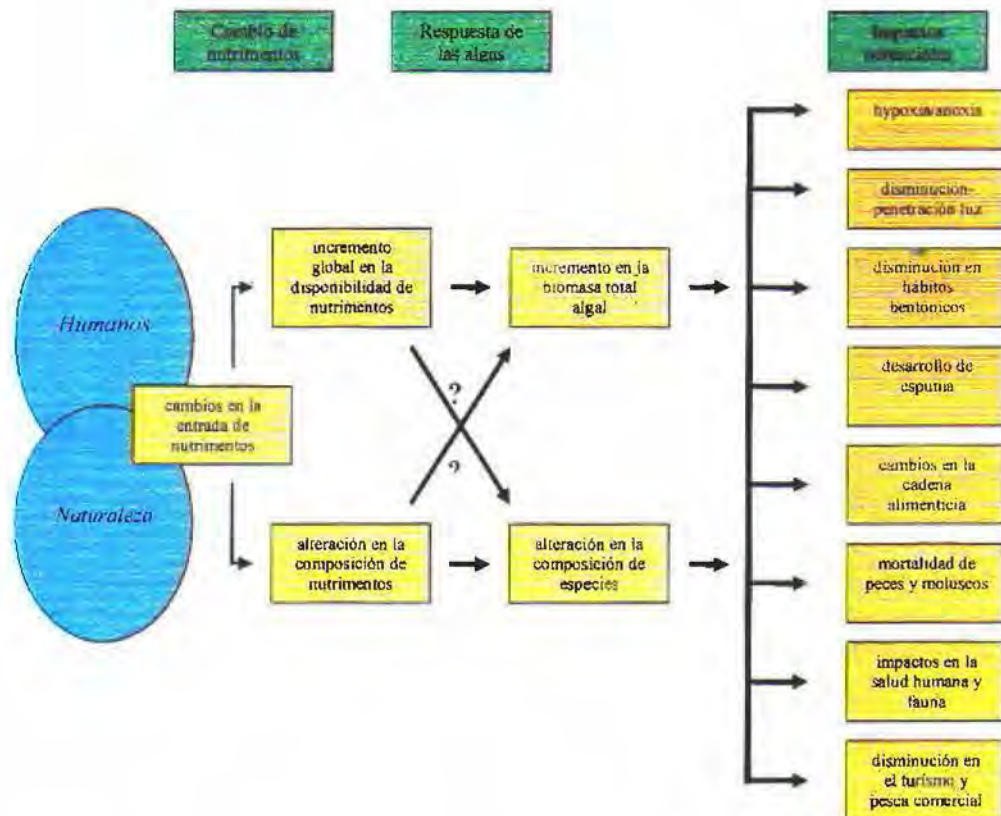


Figura 1. Representación esquemática de las potenciales conexiones entre la entrada de nutrientes, la respuesta de las algas y la expresión de los eventos FAN (Tomado de Glibert & Pitcher 2001).

Las floraciones algales causan intoxicación y muerte en humanos y animales (Landsberg 2002). En las últimas décadas estos brotes de intoxicación se han incrementado a nivel mundial y están estrechamente relacionados con el consumo de moluscos bivalvos, por medio de los cuales las toxinas llegan al organismo humano al ser utilizados como fuente de alimentación. Los bivalvos se nutren mediante el proceso de filtración de agua marina, que contiene fitoplancton en suspensión y éste es la fuente de su subsistencia, de manera que pueden acumular grandes cantidades de toxinas producidas por las células microalgales durante una FAN (Hallegraeff *et al.* 1995).

En el ámbito mundial, cada país debe dirigir sus recursos para poder organizar a nivel nacional un sistema preventivo para aminorar los efectos nocivos en la salud y en la economía pesquera a causa de las FAN, aplicando planes de contingencia que tengan como objetivos primordiales preparar al personal, definir áreas de mayor riesgo y contar con el equipo instrumental y humano requerido (Cortés 1999, UNESCO 2002 (b)). En Europa, el control sanitario de las biotoxinas marinas es muy estricto, se analizan seis tipos generales de biotoxinas con sus respectivos componentes, basándose en las normas 79/923/EEC (Calidad de las aguas de cultivo), 91/492/EEC (Moluscos bivalvos vivos) y la norma 91/493/EEC (Productos pesqueros). En el caso de algunos países sudamericanos como Chile, Perú y Venezuela, el servicio de salud tiene planes de monitoreo que comprenden la vigilancia y control de los aspectos básicos, como lo son el toxicológico, microbiológico y ambiental. Actualmente México cuenta con un plan de monitoreo en ambas costas y hasta la fecha se han identificado eventos ocasionados por toxinas paralizantes, amnésicas, ciguatoxinas, hepatotoxinas de cianobacterias, ácido okadaico y toxinas diarreicas. El caso de Guatemala es similar al de México ya que cuenta con laboratorios certificados mediante las normas internacionales ISO (International Standard Organization). Este laboratorio lleva a cabo los análisis físicoquímicos y microbiológicos para el registro sanitario y el control de calidad.

Actualmente existen cinco grupos de trabajo internacionales conformados por personeros del área de salud y científicos. Estos grupos se establecieron según su área geográfica y entre estos se encuentra el “Grupo de Trabajo sobre Algas Nocivas de Centroamérica y el Caribe” ANCA, al cuál pertenecen alrededor de 12 países

centroamericanos y del Caribe incluyendo a México, Venezuela y Colombia y al cuál pertenece Costa Rica. El objetivo del grupo es unir esfuerzos regionales para el manejo y el control de las floraciones algales en el istmo.

El primer reporte de FAN en Costa Rica se documentó en 1981 (Hargraves & Víquez 1981), seguido por posteriores reportes en la década siguiente (Mata *et al.* 1990, Víquez & Hargraves 1995). No fue sino hasta el 2001, cuando se reportó la primera FAN en Bahía Culebra (BC), Golfo de Papagayo dominada por el dinoflagelado *Lingulodinium polyedrum* (Morales *et al.* 2001). En seguida, se observaron y documentaron más floraciones algales sobre todo en el GN, dominadas en la mayoría de los casos por dinoflagelados (Vargas-Montero & Freer 2003, Vargas-Montero & Freer 2004a) y algunas de éstas por diatomeas del género *Pseudo-Nitzschia* (Vargas-Montero & Freer 2004b) y por la cianobacteria *Trichodesmium erythraeum* (Vargas-Montero & Freer 2004c). A pesar de esto, existe carencia de información en cuanto a la dinámica temporal de las FAN en las costas de Costa Rica y de cuales especies del fitoplancton producen estas floraciones algales.

Entre los impactos ambientales más visibles en nuestro país, y que se han incrementando en los últimos dos años, tenemos: la mortalidad de peces en las playas, el mal olor producido por las algas y la falta de información que se tiene acerca de las floraciones algales.

En la costa Pacífica costarricense existe una gran cantidad de familias que se dedican a la extracción de moluscos bivalvos para su sustento. Una de las problemáticas que

enfrentan los pescadores artesanales por el fenómeno de las floraciones algales es la disminución en la extracción de moluscos, perjudicando su economía, y teniendo que buscar otras opciones para aliviar su situación económica, entre ellas el turismo.

Debido a que los sectores pesqueros y pobladores costeros que se dedican exclusivamente a la captura y venta de moluscos bivalvos como medio de subsistencia, son los más vulnerables durante los periodos de veda, el Sistema de Salud ante la presencia del fenómeno de las FAN en nuestras costas ha desarrollado una red de vigilancia a nivel nacional, regional y local, conformándose un equipo de trabajo que integran diversas instituciones que investigan nuestros mares, buscando la presencia de estos microorganismos y sus toxinas. Además, a principios de esta década el gobierno de nuestro país ordenó mediante el decreto ejecutivo N. 29328-MAG-S que se conforma la Comisión Interinstitucional para la Prevención y Control de la Marea Roja (La Gaceta 6 de Marzo del 2001), debido principalmente al problema socioeconómico asociado a las floraciones algales que afectaron al país desde finales del año 2000, cuando se presentó una mancha en el agua producida por los dinoflagelados tóxicos *Pyrodinium bahamense* y *Gymnodinium catenatum*.

Objetivo General

Demostrar que algunas condiciones medio ambientales están incidiendo fuertemente en la formación de las floraciones algales en la costa del Pacífico de Costa Rica y en su variación espacio-temporal, esto durante un período de un año de recolecta, para

hacer proyecciones que permitan señalar los períodos de alerta por el posible desarrollo de las FAN.

Objetivos Específicos

- Describir los microorganismos relacionados con las floraciones algales nocivas en la costa pacífica de Costa Rica.
- Cuantificar las concentraciones promedio de los microorganismos productores de FAN en nuestro país.
- Relacionar los principales datos meteorológicos y oceanográficos con el aumento en la concentración de las microalgas.

Materiales y Métodos

Descripción de los sitios de estudio

El GP está ubicado al norte de la costa del Pacífico entre las coordenadas 10°37' N y 85°40' W y esta bajo la influencia del afloramiento estacional durante la época seca de diciembre a abril, donde la temperatura superficial del mar puede ser de 5 a 10°C debajo de la media anual durante varios días (Jiménez 2001a). Los vientos alisios se intensifican de diciembre a mayo, originando un transporte de agua horizontal lejos de la costa, trayendo a la superficie aguas ricas en nutrimentos, fenómeno que refuerza la productividad biológica primaria (Muller-Parker & Cortés 1999). Este golfo se caracteriza por la presencia de arrecifes coralinos. Además, forma un hábitat de protección para muchas especies marinas (Morales *et al.* 2003). Desde hace más de 15 años, el golfo ha sido utilizado para actividades turísticas, lo que ha incrementado los procesos antropogénicos con su consecuente impacto ambiental (Jiménez 2001b).

Metodología

Entre los meses de marzo del 2003 y junio del 2004 se recolectaron muestras de agua en la superficie en 8 estaciones una vez al mes en el GP y en el GN entre enero del 2003 y junio del 2004 una vez por semana para un total de recolecta de 213 muestras de agua a nivel superficial (Figura 2).

La recolecta se hizo con botellas Niskin verticales de un litro de capacidad y una red fitoplanctónica de 20 μm de poro. Las muestras colectadas con botellas Niskin se fijaron *in situ* con disolución de Lugol ácido y las de red fitoplanctónica se fijaron con disolución de glutaraldehído al 5% en amortiguador de cacodilato de sodio. Una vez en el laboratorio, las muestras fueron colocadas en probetas graduadas de 500ml para concentrarlas día a día (eliminando por succión el sobrenadante) pasándolas a probetas de menor volumen (500-250-100-50-25-10ml) hasta obtener un volumen final de 10ml de muestra concentrada (Hallegraeff *et al.* 1995). Una vez concentradas las muestras, se procedió a determinar la densidad celular presente en cada una, utilizando celdas de conteo Sedgewick-Rafter mediante la metodología sugerida por Hallegraeff *et al.* (1995) y Gonzales *et al.* (2002), la cual consiste en los siguientes pasos:

- Agitar la muestra suavemente durante un minuto y colocar 1ml sobre la celdilla de conteo cubriéndola luego con el cubreobjetos, hacer esto para 2 repeticiones
- Agitar suavemente la cámara de conteo para distribuir bien los microorganismos
- Contar el número observado de cada especie empezando desde los cuadros del extremo de derecha a izquierda
- Si la muestra es muy concentrada, es decir proveniente de una FAN se debe contar hasta un máximo de 200 células
- Debe calcularse el factor para cuadros contados "Rf", el cuál es la tasa de conversión para el conteo de células en toda la cámara (Cuadro 1)

- El factor Rf se obtiene dividiendo el número de cuadros de la celdilla (1000) por el número total de cuadros contados, siendo este índice opcional y se utiliza solamente cuando la muestra es muy densa
- Posteriormente se calcula el número de células de microorganismos presentes en la muestra según la fórmula $N. \text{ células} = N. \text{ cel} \times Rf$

Cuadro 1. Determinación de la concentración de microorganismos en la celda de conteo Sedgewick-Rafter (tomado de Gonzales *et al.* 2002).

Número de muestra: GN-12-04-03-Sta. 1

1 ^{er} conteo				2 ^{do} conteo			Número de células/ml		
Especie	N. cel	N. cuadros	Rf	N. cel	N. cuadros	Rf	1 ^{er} conteo	2 ^{do} conteo	Promedio
A	200	20	50	230	25	40	10000	9200	9600
B	10	1000	1	8	1000	1	10	8	9
C	0	1000	1	0	1000	1	0	0	0

Rf= 1000/#total de cuadros contados (en el ejemplo es 1000/20=50)

N. células/ml en el primer conteo= N.cel x Rf (200 x 50=10.000)

Promedio del microorganismo más abundante (A): 9600 cel/ml

Posteriormente las microalgas fueron identificadas taxonómicamente utilizando un microscopio de luz Nikon, con la ayuda de libros clásicos de taxonomía como referencia (Kofoid & Swezy 1921, Dodge 1982, Schiller 1933, Taylor 1987, Fukuyo *et al.* 1990, Fersome *et al.* 1993, Tomas 1997).

Con la ayuda del Instituto Meteorológico Nacional (IMN) se procesaron datos del promedio de la velocidad del viento durante los meses de colecta de muestras en la estación N. 72141 ubicada en Cuajiniquil (GP) y en las estaciones N. 78003 y N. 72141 ubicadas en Chacarita (Puntarenas) y en Lagunilla respectivamente. También, con la ayuda del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) se obtuvieron datos del caudal de los ríos Tempisque (Estación Guardia) y Barranca (Estación Nagatac) durante los meses de muestreo.

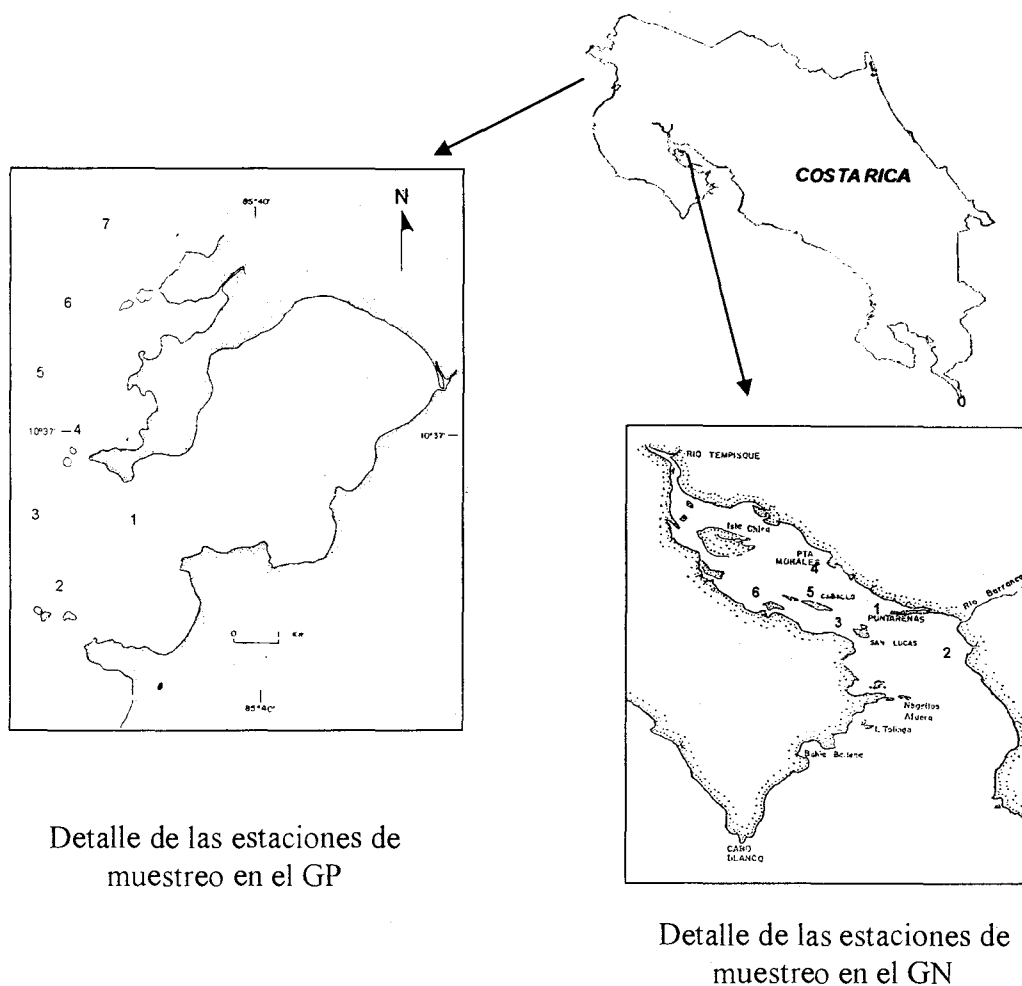


Figura 2. Ubicación de las estaciones de muestreo en los golfos de Papagayo (GP) y Nicoya (GN) ubicados en la costa del Pacífico de Costa Rica

Imágenes satelitales del sitio de la NASA SIAM-SERVIR (The Central America Monitoring and Visualization System www.siam.servir.nasa.gov) tomadas por un satélite de color de agua (MODIS Aqua) correspondientes al área de Mesoamérica durante el mes de Junio del 2004, se obtuvieron para observar las discoloraciones en la costa del Pacífico.

Además, se realizó un análisis socioeconómico sobre el reporte del estado costarricense para atender las diferentes situaciones generadas por los fenómenos

FAN con efectos importantes para las comunidades costeras, utilizando las bases de datos del Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura (INCOPECA) y del Instituto Mixto de Ayuda Social (IMAS).

Resultados

A. Desarrollo de las FAN

Durante la época de muestreo se observó un total de 33 discoloraciones o floraciones algales nocivas (FAN) cercanas a la costa. La mayoría de estas, 24 en total, se observaron en el GN. En el GP se observaron 9 discoloraciones, que se distribuyeron principalmente en Bahía Culebra, Bahía Salinas y Bahía Santa Elena. Asimismo, en conjunto con estos datos se recabó información de eventos observados previamente a estos muestreos, recolectados por proyectos de investigación adscritos a diferentes centros de investigación de la UCR (Cuadro 2).

Cuadro 2 Floraciones algales observadas en los golfos de Papagayo y Nicoya durante los meses de muestreo y observaciones previas a estas fechas

Mes/Año	Fecha de observación	Días de Ocurrencia	Lugar de Ocurrencia
1999			
Abril	7	1	Isla Caballo/GN*
	23	1	Puntarenas
2000			
Enero	26	1	Playa Jobo/GN
Abril	15	1	Bahía Culebra/GP**
Junio	29	1	Puntarenas
Julio	19	1	Puntarenas
Agosto	26	1	Puntarenas
Noviembre	10	1	Puntarenas
2001			
Enero	2-11	9	Puntarenas
Febrero	5	1	Playa Cocos costado este de San Lucas/GN
Octubre	7	1	Puntarenas
Noviembre	11	1	Entre San Lucas y Pan de Azúcar/GN
2002			
Enero	10	1	Caldera
Abril	25	1	Puntarenas
2003			
Mayo	15-16, 22	2 y 1	GP
Junio	19	1	GP
Julio	2, 7	2	Puntarenas
Setiembre	9-13, 30	4 y 1	Puntarenas-Caldera, Pta.Cuchillo/ GN
Octubre	8-14, 18-19, 29-30	6, 2, 2	Paquera-Pta.Cuchillo, Costa de Pájaros, Paquera
Octubre	30	1	GP
Noviembre	2	1	Playa Blanca/GP
Diciembre	2, 12	1, 1	Puntarenas
2004			
Enero	8-10	3	Puntarenas
Febrero	2-3	2	Isla Chira hasta Puntarenas
Marzo	15-19, 22-26	5 y 5	Todo el GN
Abril	06-30	24	Puntarenas, Curú, frente a Isla Tortuga, Pta.Morales/GN
Abril	18	1	Bahía Santa Elena/GP
Mayo	1-3, 8-30	3, 22	Todo el GN y Guanacaste (GP)
Junio	1-9, 10-14	8, 4	Todo el GN, parches más dispersos
Junio	12-14	3	Bahía Sta. Elena/GP

*Golfo de Nicoya, **Golfo de Papagayo

Mediante la determinación de las abundancias celulares, se determinaron las especies del fitoplancton más abundantes, tanto durante la época seca, como en la lluviosa, siendo los dinoflagelados productores de quistes de resistencia, las especies más abundantes en ambos golfos (Figura 3, Cuadro 3).

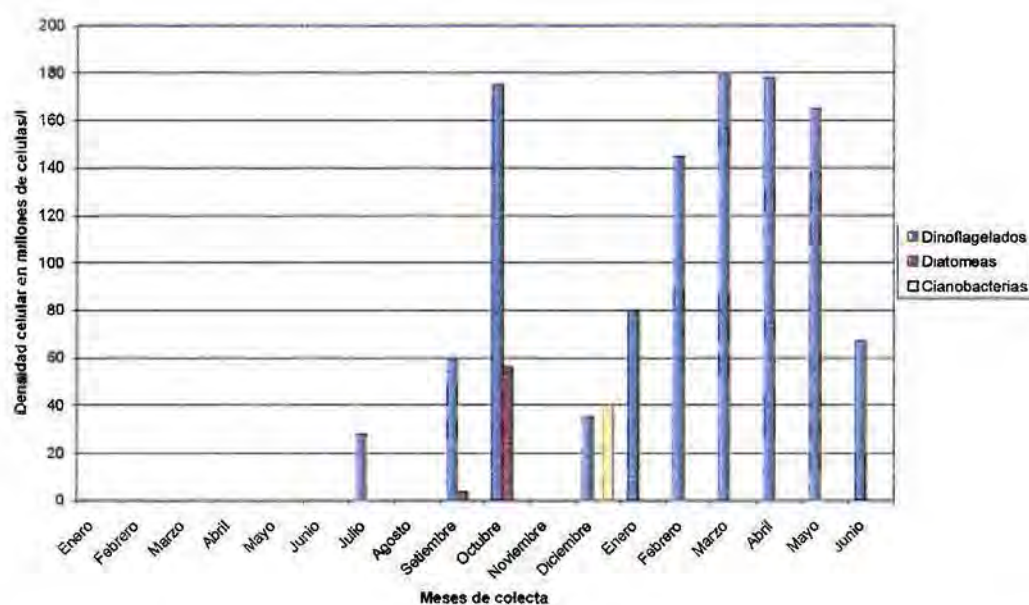


Figura 3. Densidad celular de los grupos de fitoplancton dominantes de las floraciones algales observadas en los golfos de Papagayo y Nicoya en el período comprendido entre enero de 2003 y junio de 2004

Cuadro 3. Especies de dinoflagelados productores de FAN durante los meses estudiados y su relación con la producción de dinoquistes.

Espece	Golfo Papagayo	Golfo de Nicoya	Produce quistes de resistencia	Referencia
<i>Akasiwo sanguineum</i>		√	√	Dale (1983)
<i>Alexandrium cf. ostenfeldii</i>	√		√	Braarud (1945)
<i>Alexandrium monilatum</i>		√	√	Walker & Steidinger (1979)
<i>Ceratium dens</i>	√	√	ND	
<i>Ceratium furca</i>	√	√	ND	
<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	√	√	√	Fukuyo (1982)
<i>Gonyaulax spinifera</i>	√		√	Wall & Dale (1968)
<i>Gymnodinium catenatum</i>		√	√	Anderson <i>et al.</i> (1988)
<i>Gyrodinium instriatum</i>		√	√	Wall & Dale (1968)
<i>Lingulodinium polyedrum</i>	√		√	Wall & Dale (1968)
<i>Noctiluca scintillans</i>		√	ND	

ND: No está documentado

En el GP los dinoflagelados fueron más abundantes en época seca, dominando siempre *Ceratium furca*, seguido por diversas especies del género *Alexandrium* y por *Gonyaulax spinifera*. Particularmente, el GP manifestó altas concentraciones de las diatomeas del género *Pseudo-Nitzschia*, las cuales siempre estuvieron presentes en el agua durante todo el año. Asimismo, en este golfo la abundancia de los dinoflagelados sobre las diatomeas fue muy alta y las mayores concentraciones celulares se observaron durante la época seca (Cuadro 4). En general, durante la época lluviosa en la costa del Pacífico, fue donde más se observó la presencia del

dinoflagelado *Cochlodinium polykrikoides*, debido a las extensas floraciones que este dinoflagelado produjo (Figura 4).

Cuadro 4. Distribución de especies de fitoplancton más abundantes en el Golfo de Papagayo durante la época de muestreo

Temporada	Especie	Densidad celular cel/ml
Epoca seca		
Dinoflagelados		
	<i>Alexandrium cf. ostenfeldii</i>	3.200
	<i>Ceratium furca</i>	21.700-27.600
	<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	1.250
	<i>Dinophysis caudata</i>	600
	<i>Gonyaulax spinifera</i>	300-1.100
	<i>Lingulodinium polyedrum</i>	500
	<i>Prorocentrum micans</i>	500
	<i>Prorocentrum spp.</i>	2.500
	<i>Protoperdinium quinquecorne</i>	2.000
Diatomeas		
	<i>Guinardia sp.</i>	500
	<i>Pseudo-Nitzschia spp.</i>	1.250
Epoca lluviosa		
Dinoflagelados		
	<i>A. monilatum</i>	4.700
	<i>Ceratium dens</i>	4.200
	<i>Ceratium furca</i>	2.000
	<i>C. polykrikoides</i>	71.600
	<i>Gonyaulax spinifera</i>	1.000
	<i>Gymnodinium catenatum</i>	4.400
	<i>Noctiluca scintillans</i>	600
	<i>Prorocentrum lima</i>	500
	<i>Prorocentrum micans</i>	500
Diatomeas		
	<i>Pseudo-Nitzschia pungens</i>	2.500
Cianobacterias		
	<i>Trichodesmium erythraeum</i>	1.500

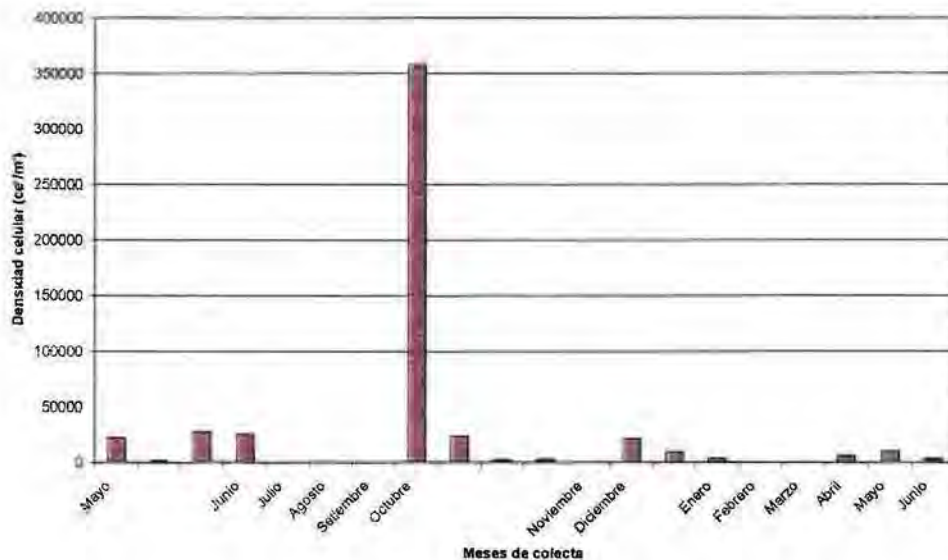


Figura 4. Distribución temporal de las floraciones algales en el Golfo de Papagayo y su densidad celular desde mayo de 2003 hasta junio de 2004

En el GN el sitio donde se observaron con mayor frecuencia estas FAN fue Puntarenas, además, siempre fueron más abundantes los dinoflagelados y esta dominancia se manifestó principalmente durante la época lluviosa (Cuadro 5), siendo también esta época donde se encontraron las mayores concentraciones celulares de diatomeas. Durante el período de estudio, el dinoflagelado *C. polykrikoides* produjo floraciones en toda la costa del Pacífico y éstas se manifestaron desde finales de la época lluviosa del 2003 hasta mediados de la época seca del 2004 (Figura 5).

Cuadro 5. Distribución temporal de especies de fitoplancton más abundantes en el Golfo de Nicoya durante la época de muestreo

Temporada	Especie	Densidad celular cel/ml
Epoca seca		
Dinoflagelados		
	<i>Akasiwo sanguineum</i>	3.600
	<i>Alexandrium catenatum</i>	1.000
	<i>Alexandrium monilatum</i>	600
	<i>Ceratium dens</i>	800
	<i>Ceratium furca</i>	1.000
	<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	7.500-15.000
	<i>Gymnodinium catenatum</i>	3.500
	<i>Gymnodinium instristum</i>	7.500
	<i>Noctiluca scintillans</i>	1.000
Epoca lluviosa		
Dinoflagelados		
	<i>Akasiwo sanguineum</i>	1.600-5.000
	<i>Alexandrium catenatum</i>	1.700
	<i>Alexandrium monilatum</i>	6.700
	<i>Alexandrium fraterculus</i>	1.100
	<i>Ceratium dens</i>	3.000
	<i>Ceratium furca</i>	6.000
	<i>Ceratium vultur</i>	1.000
	<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	175.000
	<i>Dinophysis caudata</i>	12.500
	<i>Diplopsalis sp.</i>	500
	<i>Gonyaulax digitale</i>	1.100-3.000
	<i>Gonyaulax. spinifera</i>	200-4.000
	<i>Gonyaulax polygrama</i>	500
	<i>Gymnodinium catenatum</i>	8.500
	<i>Gymnodinium. impudicum</i>	3.800
	<i>Noctiluca scintillans</i>	3.000
	<i>Prorocentrum lima</i>	200
	<i>Prorocentrum mexicanum</i>	500
	<i>Prorocentrum micans</i>	600
	<i>Protoperidinium pellucidum</i>	500
	<i>Protoperidinium sp.</i>	3.500
	<i>Pyrodinium bahamense</i>	9.500
	<i>Heterocapsa sp.</i>	2.300
	<i>Prorocentrum lima</i>	600
	<i>Protoperidinium pellucidum</i>	200
	<i>Pyrodinium bahamense</i>	200-500
	<i>Scropsiela trochoidea</i>	1.000
Diatomeas		
	<i>Bacteriastrum delicatulum</i>	200
	<i>Chaetocerus curvisetus</i>	600-1.300

<i>Chaetocerus lorenzianus</i>	500-2.000
<i>Chaetocerus radicans</i>	1.000
<i>Cylindroteca clostridium</i>	100-1.100
<i>Coscinodiscus sp.</i>	5.500
<i>Ditylum brightwellii</i>	100
<i>Pseudo-Nitzschia delicatissima</i>	200
<i>Pseudo-Nitzschia pungens</i>	900-2.800
<i>Skeletonema costatum</i>	2.800-9.400
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	500

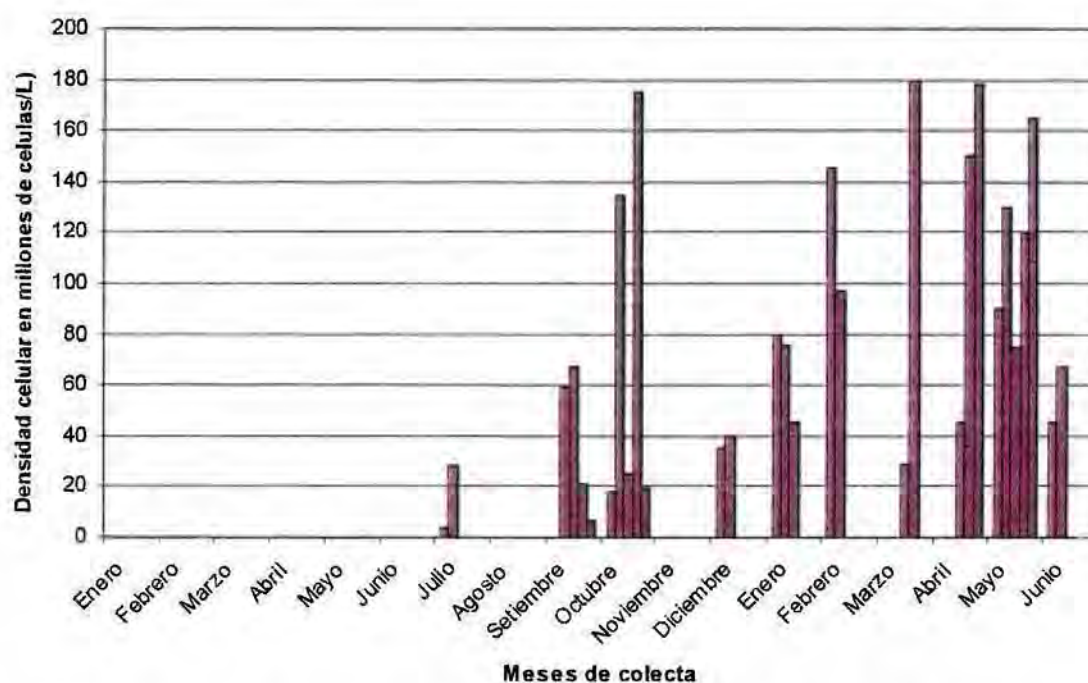


Figura 5. Distribución temporal de las floraciones algales en el Golfo de Nicoya y su densidad celular desde enero de 2003 hasta junio de 2004

En el GP las discoloraciones se observaron principalmente durante los meses de abril y mayo, meses donde se observa la intensificación de la corriente de Costa Rica hacia el Pacífico norte. En este golfo, se colectaron 130 muestras de agua en la superficie, de las cuales nueve fueron floraciones algales visibles y fueron dominadas siempre por dinoflagelados. Las especies representadas son *Alexandrium cf. ostenfeldii*, *A.*

monilatum, *Cochlodinium polykrikoides*, *Gonyaulax spinifera* y varias especies del género *Protoperdinium* (Cuadro 4). Estas floraciones algales ocurrieron entre los meses de octubre y noviembre del 2003 y abril y junio del 2004, siendo en el mes de mayo del 2004 donde ocurrió la permanencia más larga, cuya mancha se observó cerca de 22 días (Cuadro 2). De la misma forma, la mayor concentración celular fue producida por el dinoflagelado *C. polykrikoides* con 35×10^3 cel/ml y se originó en octubre del 2003. En los otros meses de muestreo las FAN mostraron concentraciones celulares más bajas en rangos de entre $3-5 \times 10^3$ cel/ml.

De un total de 83 muestras de agua colectadas en el GN, 23 pertenecían a floraciones algales visibles producidas por dinoflagelados y cianobacterias. Además, se encontraron tres muestras que presentaban altas concentraciones de diatomeas, las cuales no mostraron discoloración en el agua en el momento de la recolecta. Los dinoflagelados que presentaron mayor concentración celular en el agua fueron *C. polykrikoides*, *Akasiwo sanguineum* y *Gyrodinium instriatum* con concentraciones máximas celulares de 25×10^3 , 5.8×10^2 y 5×10^3 cel/ml respectivamente. Estas especies se observaron produciendo floraciones algales principalmente entre los meses de febrero a junio y octubre, en las localidades de Puntarenas, Isla Caballo y Punta Cuchillo. De la misma forma, para el caso de *C. polykrikoides* sus floraciones algales se observaron abarcando todo el GN desde finales de setiembre del 2003 hasta junio del 2004 (Figura 6). La diatomea que produjo mayor concentración celular en el agua fue *Skeletonema costatum* con 9.4×10^2 cel/ml seguida por *PseudoNitzschia pungens* con concentraciones celulares de 5.6×10^2 cel/ml.

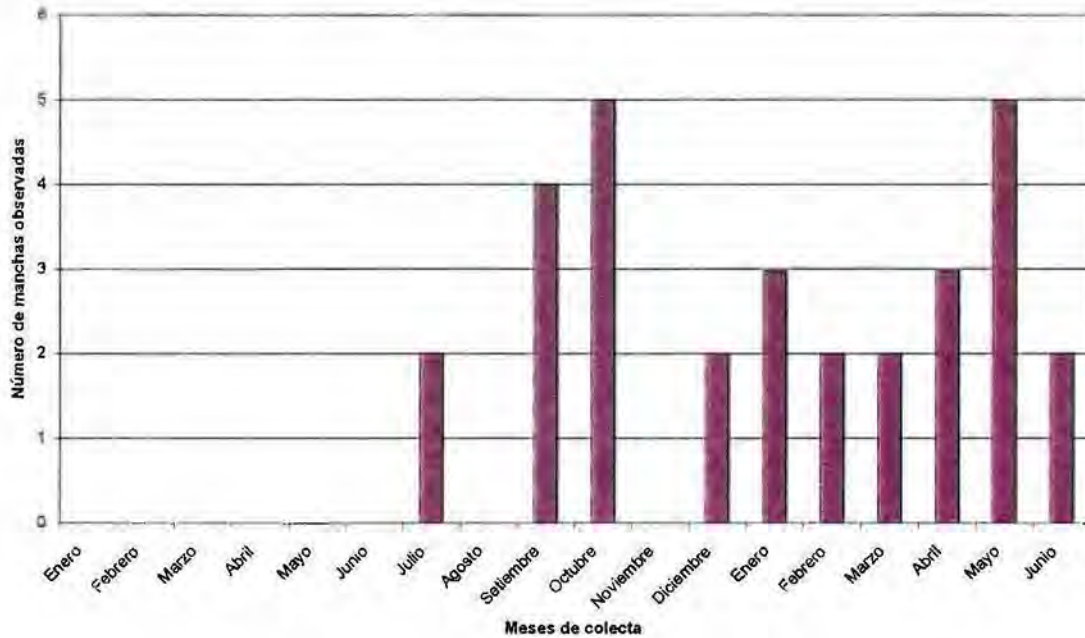


Figura 6. Promedio de floraciones algales y su distribución temporal observadas en los golfos de Papagayo y Nicoya desde marzo de 2003 hasta junio de 2004

En general, las floraciones algales en las zonas de muestreo se originaron principalmente a finales de la época lluviosa entre los meses de setiembre y octubre, no obstante, el fenómeno fue dominante durante la época seca. Si bien es cierto, en el GN fue donde se observó el mayor número de floraciones algales, en el GP fue donde se observó la mayor concentración celular de una FAN, esto en el mes de octubre del 2003 (Figura 7).

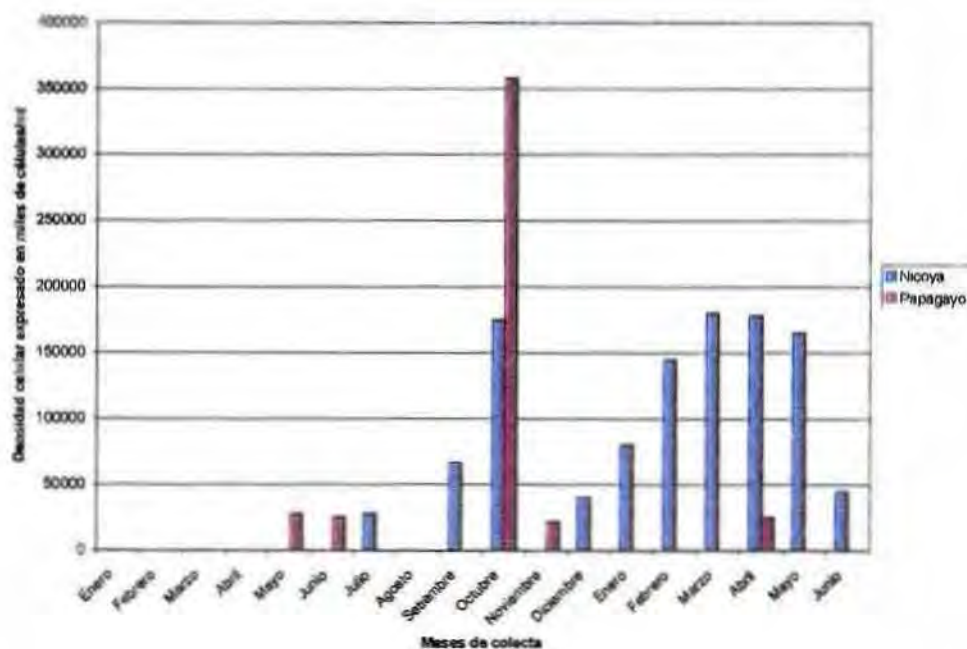


Figura 7. Densidad celular de las floraciones algales observadas en los golfos de Nicoya y Papagayo durante enero del 2003 hasta junio de 2004

Los principales grupos de microalgas que ocasionaron las floraciones algales en ambos golfos, fueron los dinoflagelados seguidos por las diatomeas y una especie de cianobacteria. Los dinoflagelados se presentaron durante todo el año, mientras las diatomeas se observaron a finales de la época lluviosa y la cianobacteria en el mes de enero.

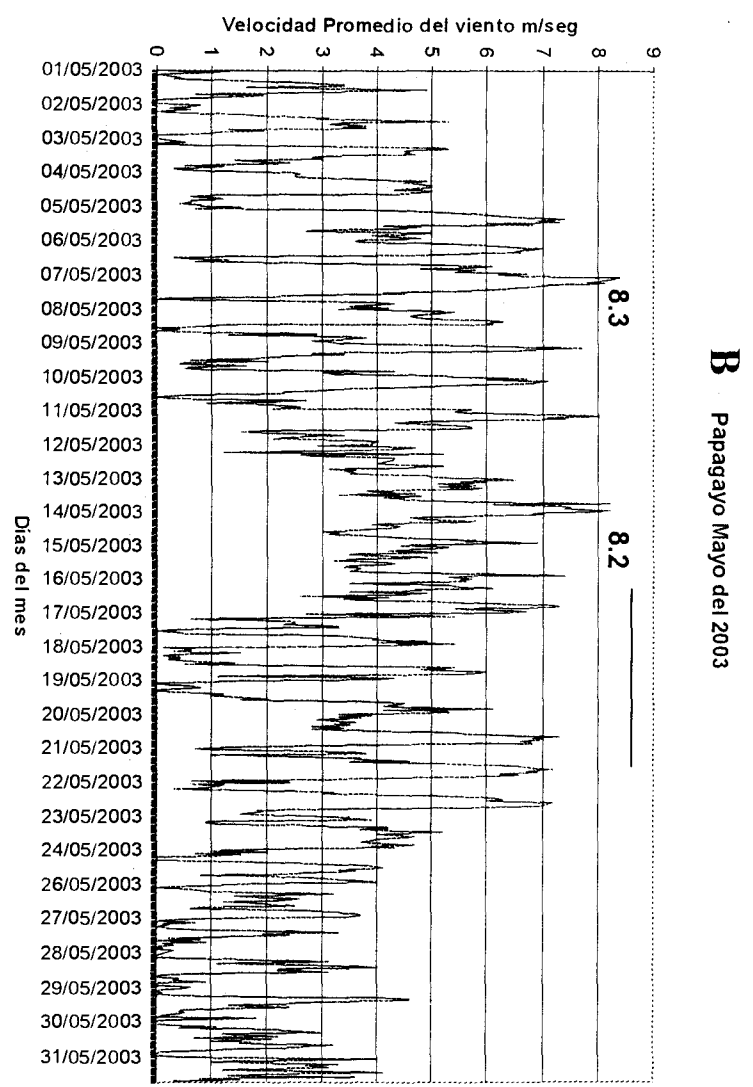
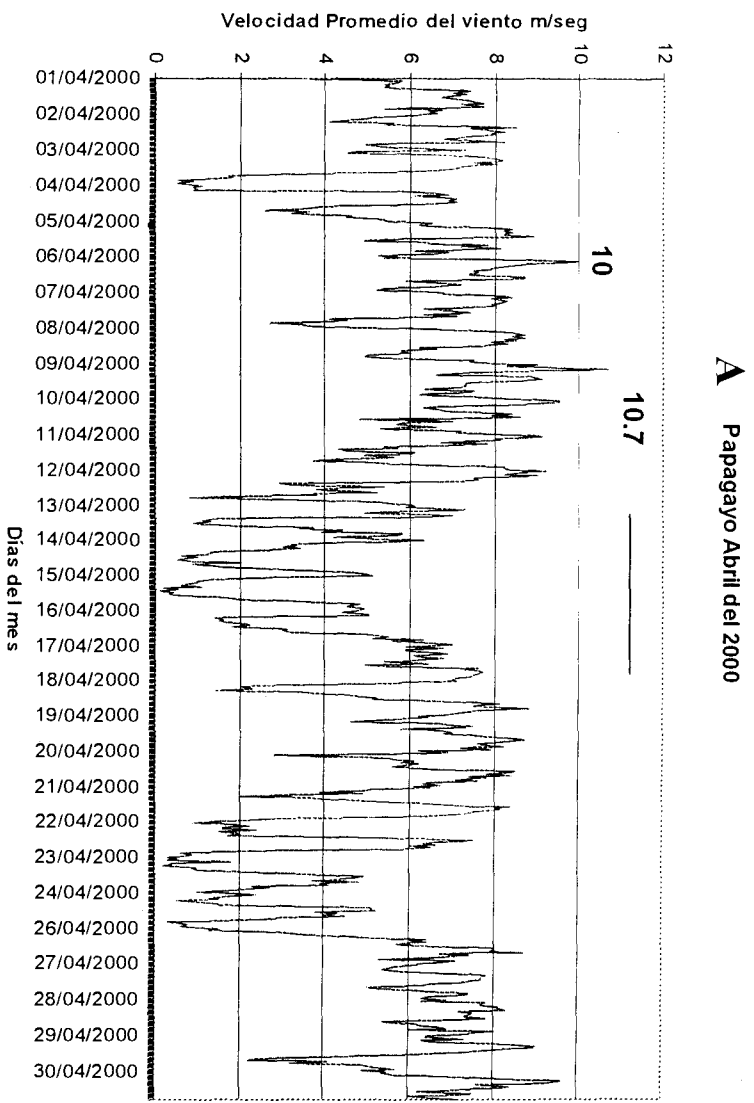
B. Floraciones algales nocivas y aspectos meteorológicos

Según los datos meteorológicos correspondientes al promedio diario de velocidad del viento en la estación del Instituto Meteorológico de Costa Rica ubicada en Cuajiniquil en el GP, procesados para los años 2000 y 2004; los vientos más fuertes

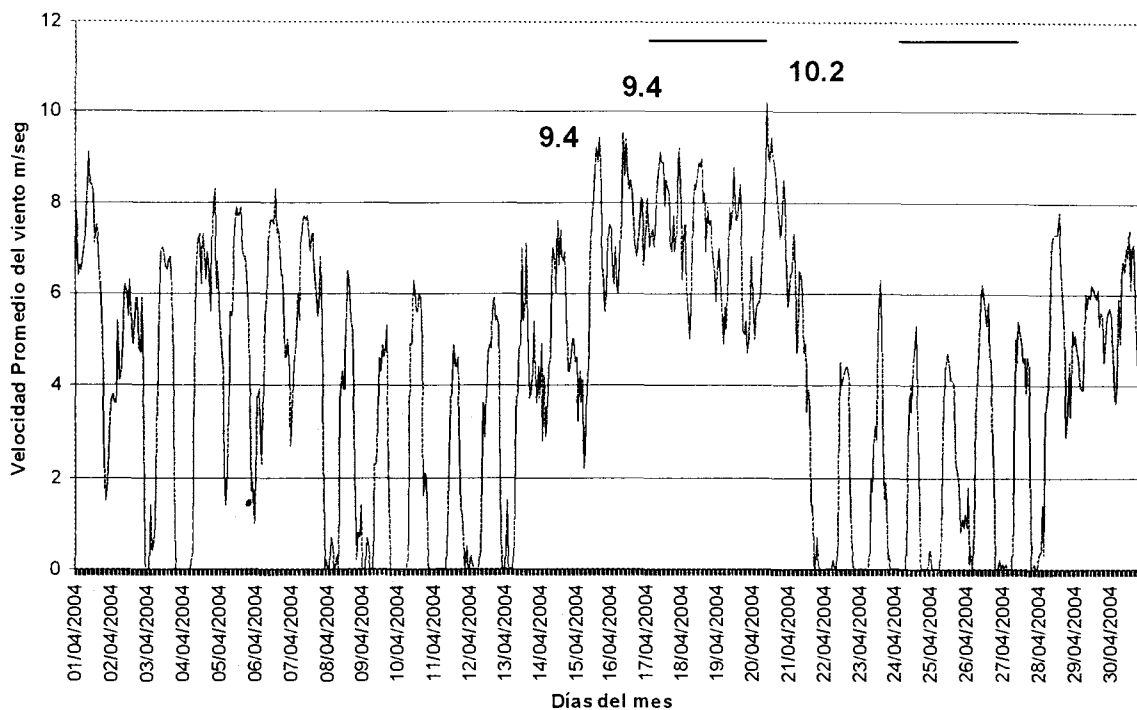
se produjeron durante los meses de abril, provenientes del Noroeste (NE), con promedios de velocidad del viento de 10,7 m/seg (Cuadro 6, figuras 8A y 8C). Asimismo, el mes de mayo manifestó una alta incidencia de vientos provenientes, también del NE, con vientos que alcanzaron un promedio de 8,3 m/seg (Figura 8B). De las 9 discoloraciones observadas en el GP, una de las más extensas temporalmente se observó durante el mes de mayo del 2003, la cual se formó 8 días después de producirse vientos provenientes del NE con promedios de 8,3 m/seg. Esta discoloración fue dominada por el dinoflagelado *C. polykrikoides*, productor de quistes de resistencia que generalmente permanecen enterrados en el sedimento. También, durante mayo del 2004, este mismo dinoflagelado produjo extensas FAN con altas densidades celulares.

Cuadro 6. Meses de ocurrencia de discoloraciones algales y velocidad del viento imperante días antes de los eventos en el GP.

Mes/Año	Vientos máximos observados durante el mes m/seg	Discoloraciones observadas durante el mes	Días de diferencia entre los fuertes vientos y la discoloración
2000			
Abril	10-10,7	1	10 y 5
2003			
Mayo	8.4-8,3	1	14 y 2
Junio	6,7-6.6	1	9 y 8
Octubre	3	1	11
Noviembre	3	1	3
2004			
Abril	9.4-10,2	2	4 y 5



C Papagayo Abril del 2004



Figuras 8A, 8B y 8C. Promedio diario de la velocidad del viento y ocurrencia de floraciones algales observadas y documentadas en el Golfo de Papagayo. Las líneas horizontales indican la fecha de la mancha observada y su extensión temporal. (Fuente: Instituto Meteorológico Nacional)

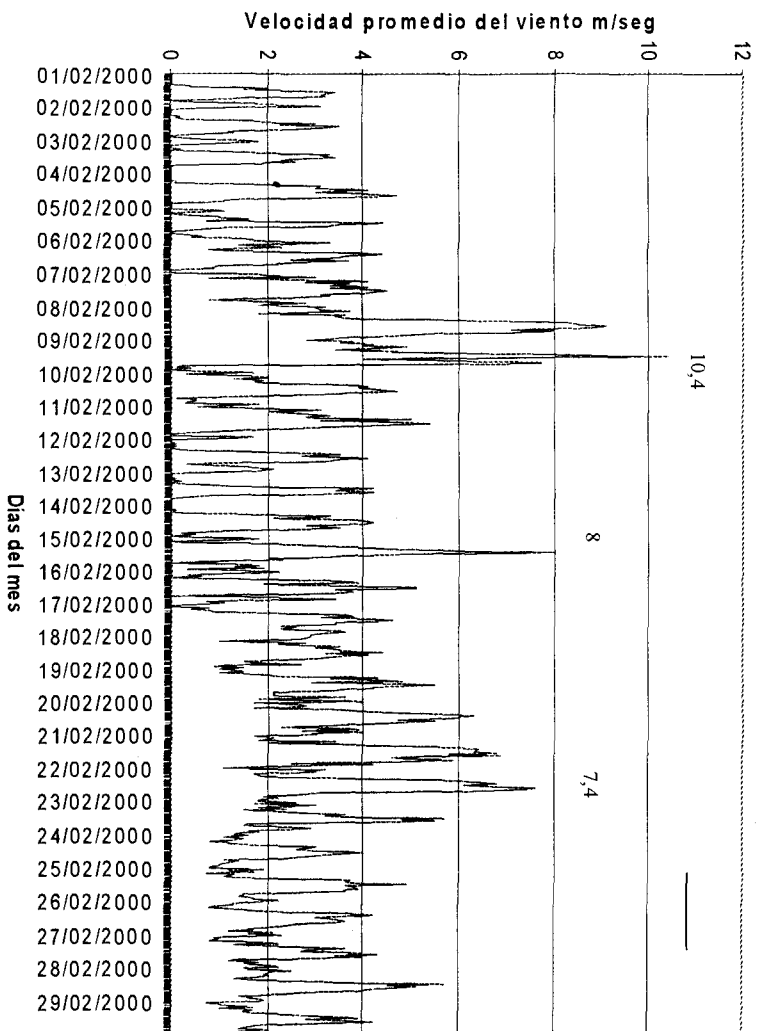
En cuanto al GN, las discoloraciones se manifestaron durante prácticamente todos los meses del año. Sin embargo, la mayoría de éstas se observaron principalmente en época seca, entre los meses de enero-febrero y mayo-junio (Cuadro 7, Figura 5). Los meses más ventosos según los datos meteorológicos promediados por día en las estaciones de Chacarita y Lagunilla, son diciembre con vientos de hasta 10,7 m/seg (Figura 9E); enero con valores de 10 a 10,5 m/seg (Figura 9B, 9D y 9F); febrero con vientos entre 10 y 20 m/seg (Figura 9A, 9C y 9G) y marzo con 11.6 m/seg (Figura 9H).

Cuadro 7. Meses de observación de discoloraciones algales y velocidad del viento imperante días antes de los eventos en el Golfo de Nicoya.

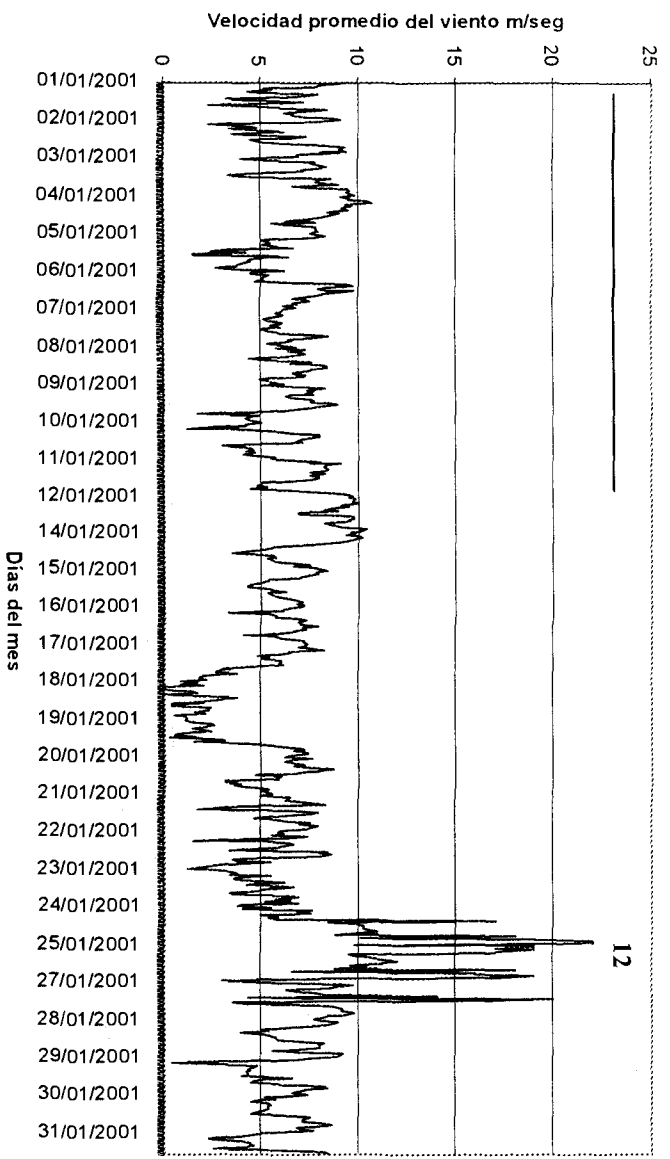
Mes/Año	Vientos máximos observados durante el mes m/seg				Discoloraciones algales observadas durante el mes	Días de diferencia entre los fuertes vientos y la discoloración			
	1 ^{ero}	2 ^{do}	3 ^{ro}	4 ^{to}		1 ^{ero}	2 ^{do}	3 ^{ro}	4 ^{to}
1999									
Abril	8.5	9.7	10.4		2	5	15	4	
2000									
Febrero	10.4	8	7.4		3	17	12	4	
Junio	5.8				1	11			
Julio	5.2	5.8			2	6	1		
Agosto	5.4	4.9	4.8		3	20	18	4	
2001									
Enero	12				1	ND*			
Febrero	20				1	7			
Octubre	6.9				1	6			
Noviembre	8.4				1	3			
2002									
Enero	11.2				1	2			
Abril	10.5	9.2	10.4		3	20	9	1	
2003									
Julio	8.2				1	2			
Setiembre	5.8	5.6	4.9		2	3	11	6	
Octubre	3.5	4.3	7.6		4	0	1	6	
	7.9					5			
Diciembre	8.3	8.4			2	0	3		
2004									
Enero	10.1	9.5			2	5	2		
Febrero	7.5				2	6	0		
Marzo	11	11.6			2	5	3		
Abril	8.4	10.4	10.5		2	2	0		
Mayo	7.1				2	0	2		
Junio	4.1	7			1	0			

ND*(no hay datos) para diciembre del 2000, la discoloración fue a principios del mes de enero, 0: la discoloración ya estaba presente durante esos vientos (Fuente: Instituto Meteorológico Nacional)

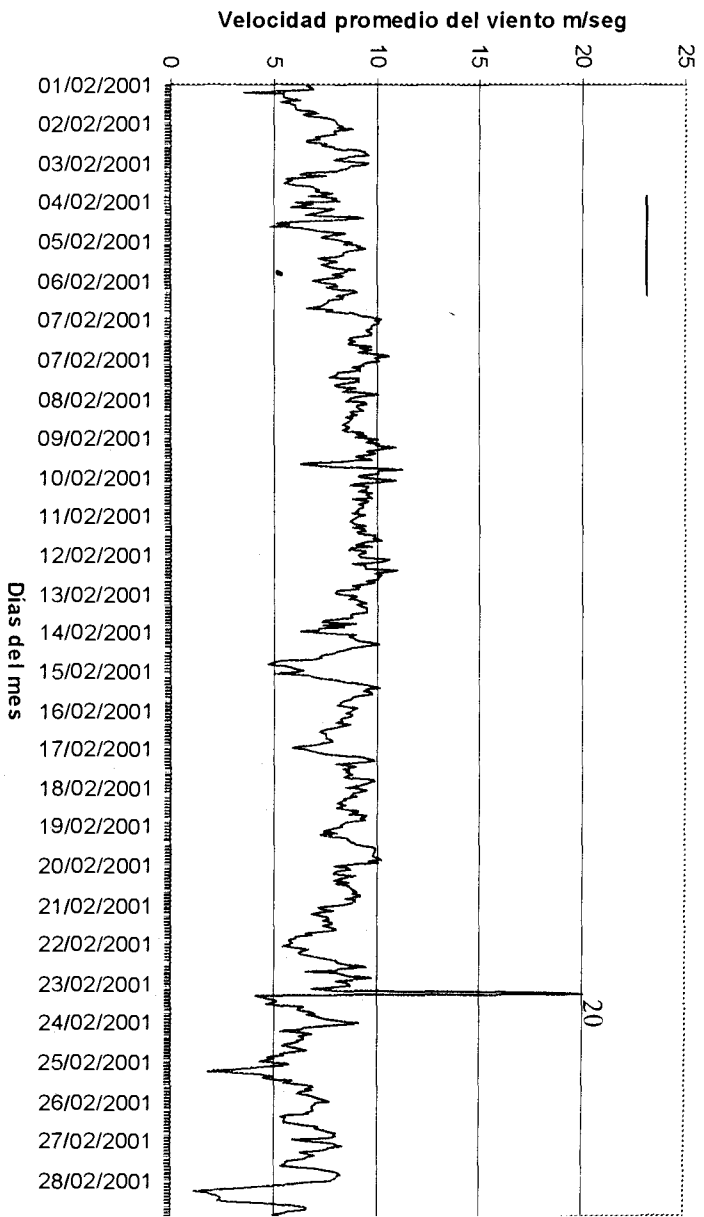
A Golfo de Nicoya Febrero del 2000



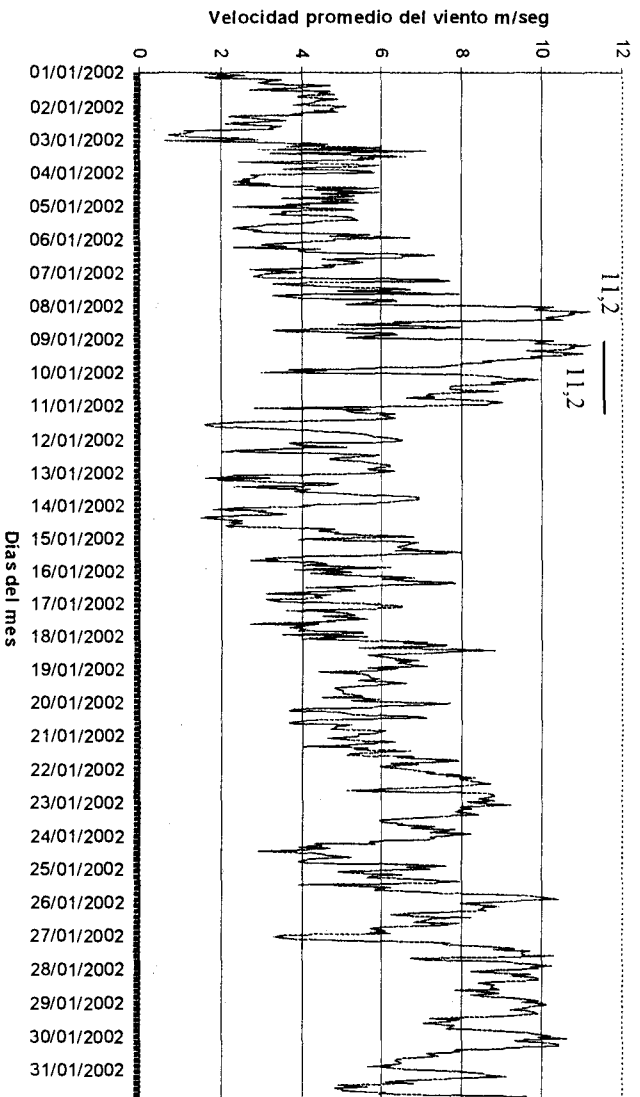
B Golfo de Nicoya Enero del 2001

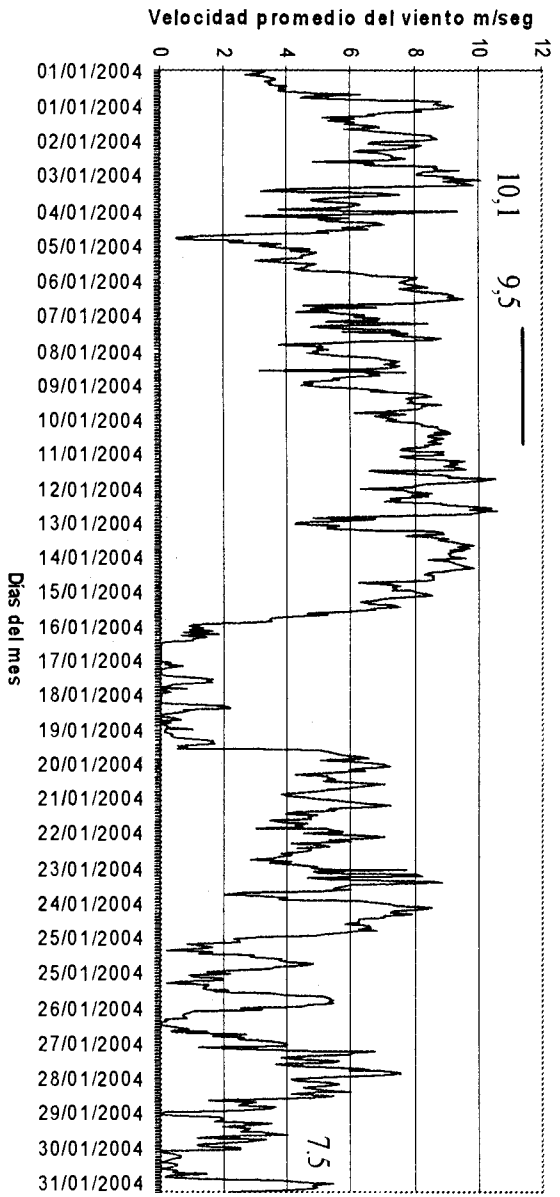


C Golfo de Nicoya Febrero de 2001

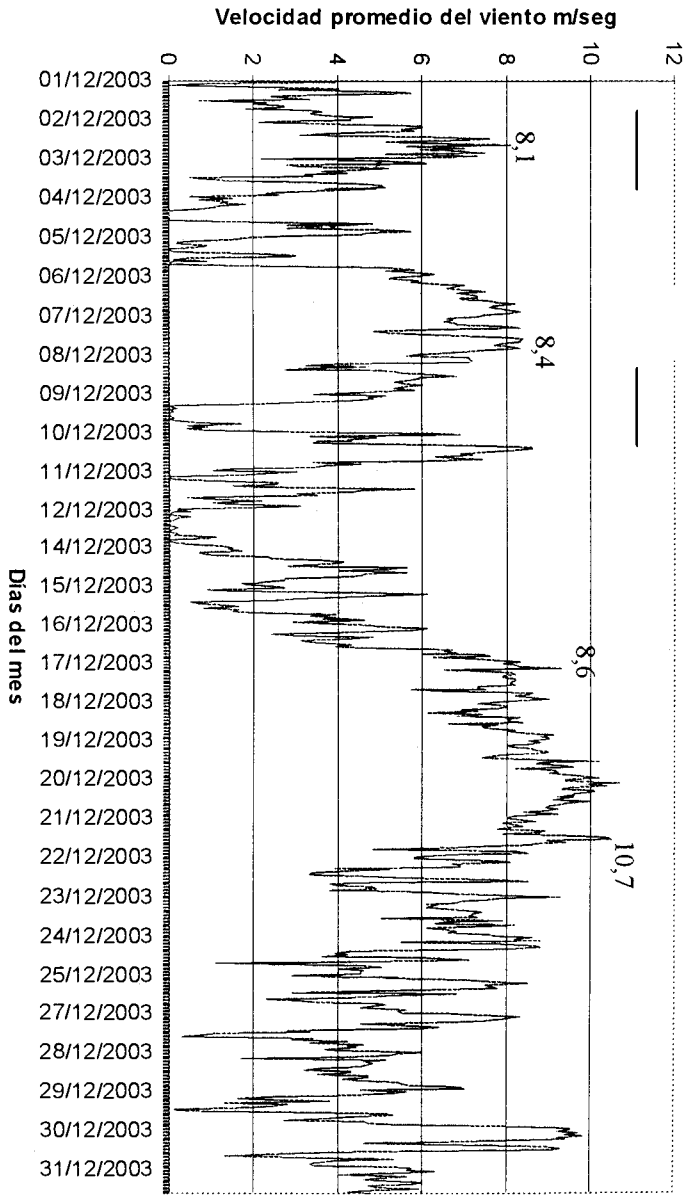


D Golfo de Nicoya Enero del 2002





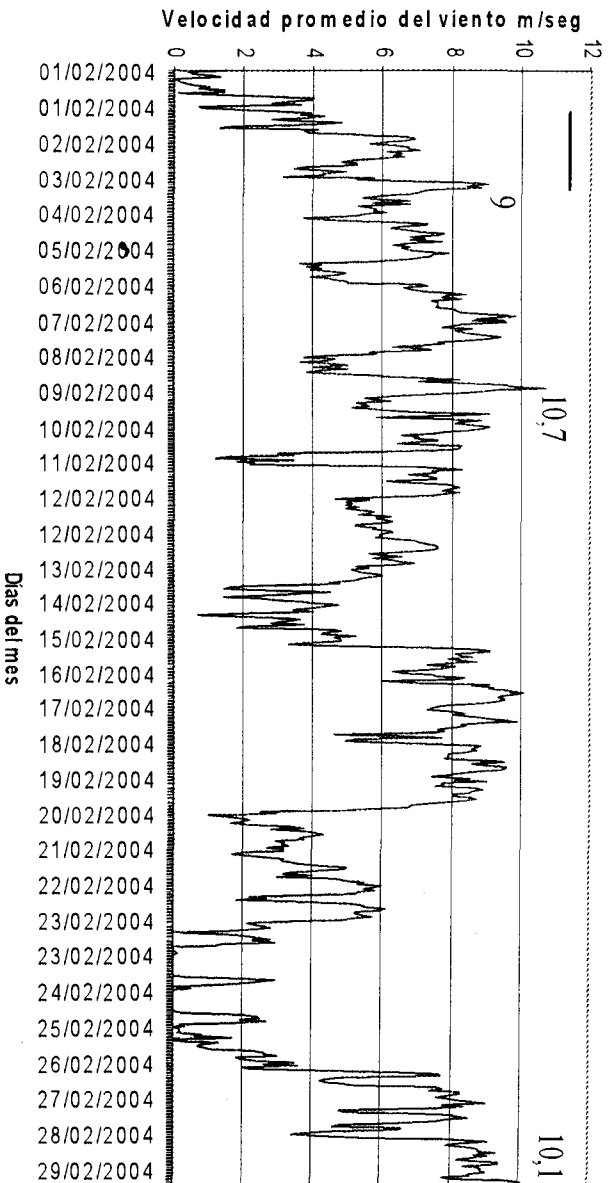
F Golfo de Nicoya Enero del 2004



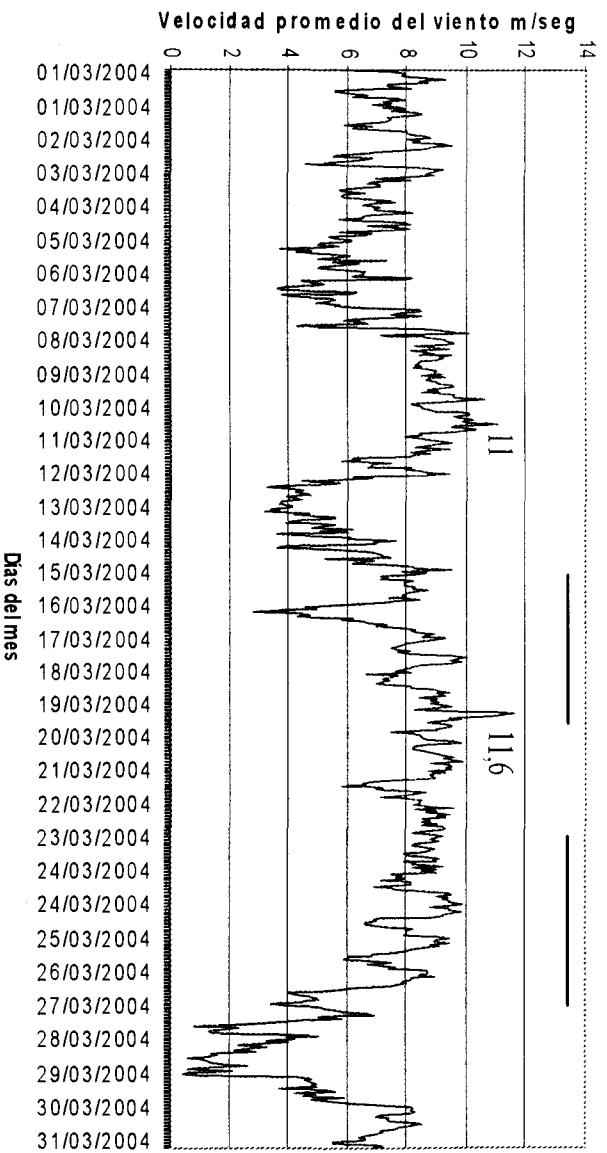
F

Golfo de Nicoya Diciembre del 2003

G Golfo de Nicoya Febrero del 2004



H Golfo de Nicoya Marzo del 2004



Figuras 9A, B, C, D, E, F, G y H. Promedio diario de la velocidad del viento y ocurrencia de floraciones algales observadas y documentadas en el Golfo de Nicoya. Las líneas horizontales indican la fecha de la mancha observada y su extensión temporal. (Fuente: Instituto Meteorológico Nacional)

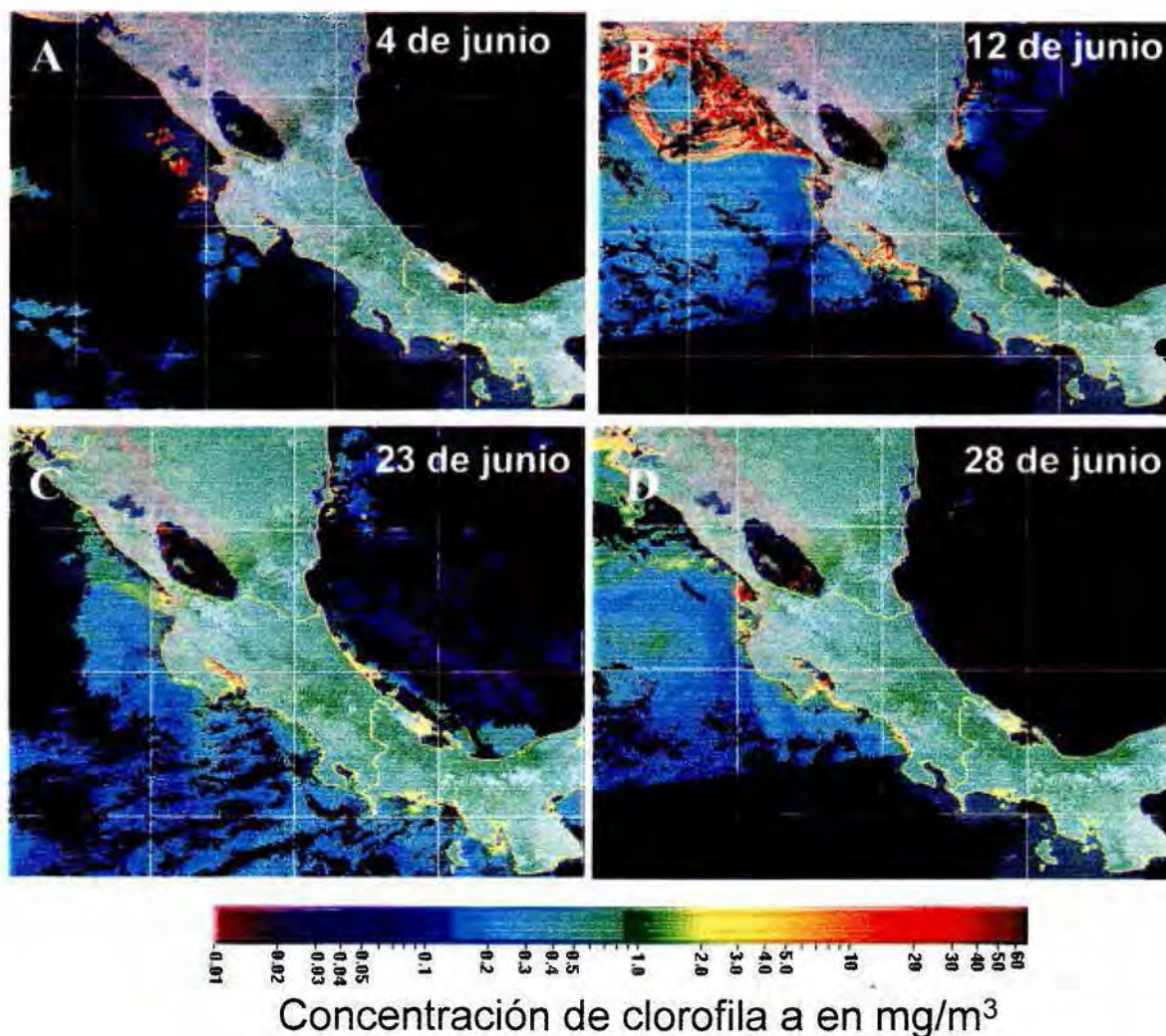
Entre los meses de enero y junio del 2004, se observó la FAN más extensa, dominando los vientos provenientes del norte y del noroeste. De nuevo, el dinoflagelado que dominó esta extensa floración fue *C. polykrikoides*. Los vientos más intensos observados durante los meses de presencia de discoloraciones en ambos golfos tuvieron velocidades entre los 6.7 y los 10.7 m/seg.

Además, durante la floración algal de setiembre del 2003 hubo mortalidad de peces pertenecientes a la familia Lutjanidae en Punta Cuchillo (GN estación 6) los cuales se mantenían en jaulas flotantes. Asimismo, entre los meses de febrero y abril del 2004 se observaron peces muertos en Puntarenas y detrás de la Isla San Lucas (GN estaciones 1 y 3) donde se percibió además de la discoloración, fetidez en el agua. En mayo del mismo año se produjo mortalidad en algunas comunidades coralinas ubicadas en el GP (Carlos Jiménez, comunicación personal). Todas estas floraciones fueron producidas por el dinoflagelado *C. polykrikoides*.

Las imágenes satelitales obtenidas por medio del servidor SIAM-SERVIR de la NASA correspondientes al mes de Junio del 2004 mostraron extensas discoloraciones en la costa del Pacífico costarricense. Las figuras 10A, 10B, 10C y 10D muestran la concentración de clorofila-*a* en el agua en los diferentes golfos, además, de otros países centroamericanos. Las discoloraciones están representadas en las figuras como altas concentraciones de clorofila-*a* (color rojo). Durante el mes de junio del 2004 las floraciones algales fueron frecuentes en los golfos de Papagayo y Nicoya y las altas concentraciones de clorofila-*a*, con valores aproximados a 20mg/m³ de

clorofila- *a*, coinciden con las discoloraciones observadas durante las recolectadas en el campo. Específicamente para los días 12, 23 y 28 de junio hay altas concentraciones de microalgas produciendo FAN en el GN, y en los días 4 y 28 en el GP. Los datos de campo colectados indican que la especie productora de estas altas densidades microalgales es el dinoflagelado *Cochlodinium polykrikoides*.

Figura 10. Imágenes satelitales obtenidas durante el mes de junio del 2004 (Fuente: Servidor NOAA- SIAM-SERVIR-NASA www.siam.servir.nasa.gov)



C. Consecuencias sociales y económicas de las floraciones algales nocivas

Con respecto a los costos requeridos para el estudio de los fenómenos de floraciones algales y manejo del mismo en Costa Rica, nuestro país gasta aproximadamente 300 millones de colones (Cuadro 8).

Cuadro 8. Gastos estimados por institución (fuente Informe de la CNMR 2004)

INSTITUCION	ACTIVIDAD	FRECUENCIA	GASTO UNITARIO (COLONES)	GASTO ESTIMADO (COLONES)
INCOPESCA	Recolección y envío	75 muestras	15.000	4.875,000
MAG	Muestras de agua	325 muestras	15.000	1.125,000
	Muestras de carne de análisis toxicológico en muestras de moluscos	325 muestras	10.000	3.250,000
UNA	Identificación taxonómica y cuantificación de especies de fitoplancton	75 muestras	10.000	750,000
CCSS	Hospitalización	90 pacientes	130.000	11.700,000
CCSS/MS	Atención consulta externa-investigación activa	350 personas	5.631	1.970,850
CCSS	Diseño gráfico de impresión de afiches y folletos			8.100,000
IMAS-MT	Otorgamiento de subsidios	800 beneficiarios		266.500,000
TOTAL				298.270,850

Durante las épocas de veda para la extracción de moluscos bivalvos, especialmente del ostión vaca (*Spondylus calcifer*) y la piangua (*Anadara tuberculosa*), realizadas a principios de 2001 y principios de 2002, el gobierno subsidió a algunas de las familias de pescadores que se dedicaban a la extracción y comercialización de estas especies de moluscos. El IMAS, en conjunto con el INCOPECA, reportó un total de 800 familias que se dedican a la extracción de moluscos bivalvos en toda la costa del Pacífico costarricense, desembolsando un total de aproximadamente 266.500,000 millones de colones en la generación de subsidios a estas familias.

Discusión

Durante el año 2003 y mediados del 2004 se observaron 33 floraciones algales en la costa del Pacífico de Costa Rica. Las discoloraciones observadas en el mar durante los meses de muestreo fueron producidas exclusivamente por dinoflagelados. La mayoría de estos son fotosintéticos y tienen como característica distintiva los pigmentos que poseen en sus cloroplastos, particularidad que les confiere la propiedad de colorear el agua cuando se encuentran en altas concentraciones (Anderson *et al.* 2001). Es por esto, que en los meses de mayor concentración de alguna microalga en particular, se pueden observar manchas en el agua de diferentes tonalidades dependiendo de los pigmentos que produzca la especie.

La formación de estas discoloraciones en la costa del Pacífico se da principalmente a principios de la época seca durante los meses de enero a marzo, observándose un incremento en la época lluviosa, en los meses de octubre y noviembre, debido a que

en época seca los vientos soplan fuertemente mezclando los sedimentos, lo que provoca surgimiento de nutrientes, condición que aprovechan las microalgas para desenquistarse y florecer posteriormente (Mcgillicuddy *et al.* 2003). Comparando estos datos obtenidos con informes de FAN de años anteriores (Hargraves & Viquez 1981, Viquez & Hargraves 1995, Morales *et al.* 2001, Vargas & Freer 2003) ha existido un incremento espacio-temporal de estas floraciones, produciéndose discoloraciones que se distribuyen durante meses y que se extienden desde el GN (incluyendo su parte interna) hasta la parte norte del Pacífico, bordeando Guanacaste (Vargas & Freer 2003). Esta interpretación podría deberse a que en nuestros tiempos existen más facilidades de observación y reporte de estas discoloraciones.

La terminación de un evento de floración algal puede estar seguida por otra floración, resultando una serie de floraciones durante un año, y este fenómeno se ha observado en muchas partes del mundo (Smayda 1995). Desde el año 2001, no se observaban fenómenos tan extensos como el ocurrido desde marzo del 2004 que abarcó todo el GN y el GP. La especie más abundante en esta floración fue el dinoflagelado *Cochlodinium polykrikoides*, el cuál es productor de quistes de resistencia en su ciclo de vida, lo que podría generar posteriores floraciones algales a corto o mediano plazo. La distribución de las floraciones producidas por este dinoflagelado se ha incrementando desde Mayo del 2002 (Vargas & Freer 2004a) hasta el presente, concentrándose principalmente en el GN.

La dominancia de estos microorganismos se puede explicar en el hecho de que los dinoflagelados pueden sobrevivir sobre grandes ámbitos de temperatura y como regla

general son los dominantes en comunidades de aguas tropicales que son más calientes (Taylor 1987). De la misma forma, la mayoría de los dinoflagelados son de aguas salinas y soportan salinidades entre los 20 a 40ups (Taylor 1987). Lizano (1998) demostró que los valores de salinidad en la parte interna del GN pueden bajar hasta 0ups con gradientes significativos en la columna de agua de hasta 24ups y al aumentar la descarga de los ríos la cuña salada penetra más por el fondo mostrando los valores más altos de salinidad.

Según los datos suministrados por el ICE (restringidos) del caudal de agua por parte del río Tempisque al GN, para el mes de junio del 2003 existe un aporte de 79,1 m³/seg aumentando a 138 m³/seg en octubre del mismo año. El mayor aporte de agua por parte del río Barranca al GN tuvo un caudal de 87,1 m³/seg en junio del 2003, observándose un aporte significativo de agua dulce, siendo estos datos significativos ya que esto podría explicar que existe aporte de nutrimentos al GN durante todo el año y su consecuente utilización por parte del fitoplancton formador de floraciones algales (Morales-Ramírez & Brugnoli-Olivera 2001).

La dinámica de los nutrimentos en la parte interna del GN es persistente por descargas de ríos, por lo que recibe constantemente cantidades apreciables de nutrimentos que se acumulan en las aguas profundas (Voorhis *et al.* 1983, Lizano 1998). Además, la eutrofización antropogénica provoca un incremento en nitrógeno y fósforo, lo que ayuda a las especies del fitoplancton que no necesitan silicatos a enriquecer sus niveles de biomasa, por lo que el crecimiento de las diatomeas se ve limitado (Riegman 1999). Asimismo, los resultados de Epifanio *et al.* (1979),

sugieren que en época lluviosa hay más concentración de nutrimentos en el golfo externo, pero que existe continuidad en la concentración de nutrimentos en época seca, por lo que las especies nadadoras como los dinoflagelados, cuya habilidad les permite migrar verticalmente, establecen una predominancia sobre las diatomeas bajo la columna de agua estable y tranquila, permaneciendo por más tiempo en el agua (Hallegraeff & Fraga 1996).

Al ser el GN un estuario que se mantiene estratificado la mayor parte del año (Kress *et al.* 2001), puede contribuir a que las microalgas permanezcan en la capa de mezcla, prolongando el tiempo de residencia de las floraciones algales. Siendo el golfo un estuario positivo donde el agua dulce entra al golfo por el río Tempisque (Voorhis *et al.* 1983), se mantiene un flujo de nutrimentos que son transportados hacia la parte central moviéndose por corrientes de marea hacia la parte oeste de la península de Nicoya, lo que podría ayudar a concentrar las discoloraciones principalmente hacia el lado de la península de Nicoya, sin embargo, se necesitaría comparar más estaciones de muestreo dentro del golfo para asegurarlo.

Las variaciones de temperatura en ambos estuarios podrían ser un factor importante para la formación de discoloraciones. En el caso del GN siendo pequeña la fluctuación de la temperatura a través del año (Epifanio *et al.* 1979, Brenes *et al.* 2001), las microalgas se ven favorecidas y podrían mantenerse por más tiempo la intensidad de las discoloraciones, ya que estas condiciones forman un ambiente más estable en la costa. Asimismo, las celdillas de Lagmuir ayudan a concentrar el fitoplancton en lugares donde existen vientos calmos, lo que podría terminar

generando una floración algal y se ha demostrado que velocidades del viento mayores a 7 m³/seg mantienen las celdas de Lagmuir, y por lo tanto a concentrar los dinoflagelados (Steindinger & Joyce 1973, Taylor 1987).

El GN recibe las aguas servidas ricas en nutrientes a través de la descarga de los ríos que desembocan en él (Klemas *et al.* 1983, Voorhis *et al.* 1983, Kress *et al.* 2001). Estas características explican la dominancia de los dinoflagelados en el agua superficial durante todo el año y fundamentalmente durante la época seca, ya que son especies que necesitan de altas concentraciones de nutrientes, sobre todo de fosfatos y nitratos además de temperaturas más estables y zonas de poca turbulencia para formar extensas manchas en el agua (Glibert & Pitcher 2001, Anderson *et al.* 2001).

En el GP la variación estacional es más fuerte debido al fenómeno de afloramiento durante la época seca, que trae aguas ricas en nutrientes a la columna de agua (Cortés *et al.* 1999, Jiménez 2001a), observándose estos fenómenos principalmente en abril y mayo, rompiéndose la estratificación en la columna de agua e incrementándose la turbulencia y los nutrientes en la superficie, formándose un ambiente menos estable, lo que a su vez, favorece el surgimiento de quistes que estaban en el fondo para su posterior desenquistamiento en condiciones más estables. Está demostrado que algunas especies pueden detener su ciclo de vida debido a la turbulencia produciendo un efecto negativo en la tasa de crecimiento (Anderson *et al.* 2001).

Asimismo, las floraciones producidas por cianobacterias se producen generalmente en aguas calmas y con fuerte estratificación. Generalmente estos factores incrementan el tiempo de duración en el cuál la comunidad fitoplanctónica se puede desarrollar.

La intrusión de aguas frías y ricas en nutrientes, probablemente relacionada con procesos de afloramiento costero, es muy importante, ya que permite la detección de futuros eventos algales (Morosño *et al.* 2000). Se ha observado que los períodos de mayor concentración de células en la columna de agua corresponden a los períodos de afloramiento o turbulencia por la influencia de los vientos, observando el pico de abundancia de los dinoflagelados al final de este período (Taylor 1987, Anderson *et al.* 2001), motivo por el cuál en época de mayor velocidad del viento en el GP se observan con más regularidad las discoloraciones, especialmente por dinoflagelados que producen quistes de resistencia. Estos quistes provenientes de dinoflagelados con capacidad de nado, germinan y buscan condiciones aptas de luz para desplazarse cuando los vientos cambian a favor de los hundimientos de masas de agua, concentrándose frente a las costas y produciendo las floraciones algales, por lo que generalmente los bancos de quistes se concentran en zonas apartadas y protegidas como es el caso de los manglares (Mcgillicuddy *et al.* 2003). Según estudios de Franks & Anderson (1992) los hundimientos de masas de agua preceden los episodios de floraciones producidas por dinoflagelados tóxicos a lo largo de la costa.

Algunas investigaciones han encontrado que los vientos tienen un papel determinante en la formación y mantenimiento de las floraciones algales en algunas costas centroamericanas (Alonso & Ochoa 2004). Los vientos alisios provenientes del

noreste podrían ser, entre otros, los factores más significativos de disparo de las floraciones algales en nuestras costas, más que la viabilidad de nutrimentos, siendo este último un factor importante para el crecimiento de las microalgas. Algunas especies de dinoflagelados como las especies del género *Alexandrium* y *Pyrodinium*, no parecen verse afectados por el enriquecimiento de nutrimentos costeros, como otros organismos productores de FAN que parecen verse estimulados por la eutrofización antropogénica (Hallegraeff *et al.* 1995). Se sabe que la concentración de nutrimentos disueltos obtenidos por medio de los programas de monitoreo podría ser problemática en la detección temprana de las floraciones algales, ya que la biomasa algal depende de la relación de la concentración de los nutrimentos. Así, en un sistema dinámico, la iniciación de la floración algal está correlacionada con altas concentraciones de nutrimentos, existiendo una correlación negativa entre la biomasa algal y los nutrimentos durante el desarrollo de la floración. El muestreo mensual o bimensual no puede resolver esta dinámica, pero mediciones continuas de la concentración de los nutrimentos en conjunto con la biomasa algal podrían hacerlo (Hallegraeff *et al.* 1995).

Según Taylor (1987) los niveles de nutrimentos que necesita el fitoplancton en general son de 106C:16N:1P. El carbono como C_2 o HCO_3^- puede estar limitado bajo intensas situaciones de intenso crecimiento en cultivo, sin embargo, en el ambiente marino usualmente no juega un papel ecológico importante. El nitrógeno es esencial por su papel como componente principal de todos los aminoácidos y proteínas, y este ha sido considerado el mayor nutriente limitante en el océano. Los dinoflagelados usan las formas oxidadas como nitrato y nitritos así como amonio, siendo este último

inhibitorio en niveles de hasta $200\mu\text{M/l}$ para dinoflagelados formadores de discoloraciones como *Lingulodinium polyedrum* y *Gymnodinium sanguineum*, pero no para algunas especies de diatomeas. El fitoplancton puede utilizar las formas inorgánicas y orgánicas del fosfato en rangos de $30\text{-}300\ \mu\text{M/l}$ y en el agua marina se encuentra principalmente mediante la forma de orthofosfato, principalmente como HPO_4^- .

Según los datos meteorológicos obtenidos, en el GP la mayor incidencia de vientos se observa entre los meses de abril del 2000 y mayo del 2003, lo cual coincide con los fenómenos de floraciones algales, según los datos de campo obtenidos. Un gran número de FAN ocurre después de la inducción de vientos y la estabilización de la columna de agua. Los dinoflagelados parecen ser los menos favorecidos por el enriquecimiento de nutrientes de aguas profundas que las diatomeas, probablemente debido a que las aguas del fondo pueden ser ricas en cobre, inhibiendo a especies sensibles a este elemento (Taylor 1987).

Otra explicación de la incidencia de discoloraciones después de fuertes vientos, podría ser, que al considerarse a la mayoría de los dinoflagelados como organismos heterótrofos obligados, aunque se sabe poco de su nutrición, la mayoría tienen en su célula vacuolas de ingestión de alimento, entre estos se encuentran las especies de los géneros *Ceratium*, *Cochlodinium*, *Gyrodinium*, *Noctiluca*, *Protoberidinium*, *Gonyaulax* y *Akasiwo*, siendo para ellos fácilmente capturar partículas mezclados en la columna de agua después de una fuerte turbulencia (Hallegraeff *et al.* 1995).

En promedio y según los datos de vientos y formación de floraciones algales obtenidos para el GP, vientos más fuertes de 8 m/seg durante la época seca podrían producir una floración algal 6,6 días después, sin embargo esto no se cumple todo el tiempo, por lo que existen otros factores que están afectando la formación de estas discoloraciones, entre ellas la disponibilidad de quistes en el fondo y el factor del reloj biológico interno de disparo de la especie, entre otros (Hallegraeff *et al.* 1995).

En el GN predominan las floraciones y estas se han observado prácticamente durante todos los meses del año. Sin embargo, durante enero, febrero y marzo se observa la mayor cantidad de discoloraciones. Estos meses son los más ventosos del año junto con el mes de diciembre. En promedio vientos mayores de 8m/seg pueden formar una discoloración 5 días después, según los datos obtenidos. En los últimos 4 años, se han observado fenómenos extraordinarios, donde una floración algal o bien varias en forma casi ininterrumpida, pueden extenderse tanto espacial como temporalmente durante más de un año (Vargas & Freer 2003). Un caso parecido a este, pero con menor tiempo de residencia, se observó en el 2004, donde se formó una floración que perduró en el agua intermitentemente desde marzo hasta junio (Vargas-Montero *et al.* 2004 y este documento), donde la diferencia en promedio del viento con años anteriores no ha sido muy significativa. A pesar de esto, se cree que el constante aumento en la eutrofización cultural, podría ser uno de los factores imperantes en el mantenimiento de altas densidades de microalgas en el agua (Hallegraeff *et al.* 1995, Alonso *et al.* 2000, Glibert & Pitcher 2001), por lo que se estaría considerando que el GN es un estuario que se mantiene eutrificado la mayor parte del año, de ahí las discoloraciones casi durante todo el año.

Algunas de las especies que producen floraciones algales en el GP no logran alcanzar la densidad suficiente para hacer lo mismo en el GN, a pesar de encontrarse presentes en la columna de agua en este último lugar. La razón podría estar asociada a las condiciones meramente oceanográficas del sitio, al ser el GP un área de afloramiento costero donde se rompe la estratificación en ciertas épocas del año y las aguas frías y ricas en nutrientes permanecen solo durante algún tiempo, produciendo dinamismo en la columna de agua y por ende, desplazamiento de los quistes de resistencia que están en el fondo del sedimento marino. Todos los dinoflagelados observados durante este estudio, producen quistes de resistencia en su ciclo de vida, por lo que es muy probable que el GP sea un sitio propicio, para que, con los fuertes vientos de abril y mayo y el efecto de las corrientes, las microalgas se concentren y produzcan discoloraciones.

El proceso de iniciación de una floración algal está estimulado por la germinación de los quistes de resistencia (Hallegraeff *et al.* 1995). Se sabe que este proceso está dominado por el crecimiento celular, es decir, que desde el momento de activación del quiste para eclosionar y pasar a la célula vegetativa, el cual puede darse por varios factores oceanográficos como la salinidad y la temperatura del agua, aunado al reloj biológico interno del organismo; pasarán varios días para darse el inicio de la floración (Mcgillicuddy *et al.* 2003). Estos quistes de resistencia proveen un inóculo inicial de células que es lo suficientemente grande para activar la floración. Además es conocido, que del 100% de los quistes en la costa, menos del 15% contribuye en la germinación (Mcgillicuddy *et al.* 2003). Esta podría ser la explicación de las extensas floraciones observadas en nuestra costa del Pacífico, producidas por

dinoflagelados productores de quistes de resistencia, los cuáles producen estas discoloraciones en los meses donde inciden los vientos más fuertes. Aun se desconoce donde se encuentran las camas o bancos de estos quistes en los sedimentos de la plataforma de nuestras costas, sin embargo, estos semilleros podrían ser el motivo de que estas poblaciones de dinoflagelados se hayan podido mantener en tan elevadas concentraciones y distribuidas en prácticamente toda la costa del Pacífico, siendo este un aspecto muy importante para evaluar en futuras investigaciones.

Las imágenes satelitales son de gran ayuda para detectar eventos microalgales en grandes escalas (Furuya *et al.* 2003), tal como se observó en este trabajo. El primer estudio de uso de sensores remotos para entender la distribución del fitoplancton data de 1975 (Anderson *et al.* 2001). En este tipo de imágenes, el color del océano está relacionado con la concentración de clorofila *a* en las cercanías de la superficie del agua, utilizando algoritmos empíricos derivados. Esto ha sido particularmente bueno en mar abierto, donde la variabilidad óptica resulta principalmente de la biomasa algal, no así, en las aguas costeras donde las floraciones algales ocurren; esta tecnología presenta problemas ya que los algoritmos tienen que discriminar la absorción de las algas y la absorción de la materia orgánica disuelta, entre éstas la del sedimento que entra por la descarga de los ríos (Hallegraeff *et al.* 1995).

Recientes estudios tratan de predecir el transporte del fitoplancton tóxico, ya que estas imágenes muestran el borde de las masas de agua. Sin embargo, el fitoplancton tóxico no se puede identificar remotamente y las floraciones tóxicas pueden ocurrir con extremadamente bajas concentraciones de células (1000 cels/l), por lo que este

tipo de imágenes satelitales deben usarse como una herramienta de ayuda a los monitoreos de campo.

A pesar del aumento en las investigaciones sobre FAN en nuestro país, aún existe desconocimiento de cómo los cambios globales y las tendencias de muchos parámetros físicos y químicos, como la temperatura y la radiación ultravioleta, así como el enriquecimiento por nutrientes, puedan afectar e incidir en la formación de estos fenómenos (Anderson *et al.* 1993).

Es evidente la necesidad de evaluar los daños y perjuicios a otras comunidades faunísticas en cuanto a la pérdida económica por la formación de extensas discoloraciones en nuestras costas, a través de estudios constantes a largo plazo y con las estrategias locales o regionales para la dirección de las floraciones algales, para en un futuro mitigar los problemas involucrados.

Algunas de las microalgas involucradas en este estudio producen grandes concentraciones de mucílago y espuma en las playas, en algunos casos produciendo mortalidad de peces (Vargas-Montero & Freer 2004a). Las mortalidades de peces que se han observado en los sistemas de cultivo de peces semintensivos en algunas partes de la costa en Isla Tortuga y Punta Cuchillo en el GN, fueron ocasionadas por dinoflagelados no productores de toxinas como *C. polykrikoides*. No obstante, algunas de estas microalgas pueden dañar las agallas de los peces o producir daños mecánicos a través de la producción de sustancias hemolíticas, ya que mientras que los peces tienen la libertad para nadar y alejarse de las áreas problema, las especies

que se encuentran enjauladas parecen ser vulnerables a tales microalgas (ECOHAB 1995).

Existe incertidumbre sobre la dinámica que tienen las especies del fitoplancton en la costa del Pacífico y cómo estas se han adaptado a nuevos ambientes creados por el hombre. Las especies se ven favorecidas en costas cuyo uso recreativo exige aguas más calmas, estableciendo puertos, rompeolas y playas semicerradas, que para el caso de Costa Rica, serían las marinas proyectadas en el GP, en el estero en Puntarenas y en futuras construcciones en Mata de Limón, Caldera. Esto causa un significativo incremento de los nutrientes, establece nuevos microhábitats con regímenes hidrodinámicos modificados, como alta estabilidad del agua y aumento en el tiempo de residencia de las microalgas (Garcés *et al.* 2000).

Según los datos obtenidos en el presente estudio, en el GP se informa de dos especies de dinoflagelados productores de toxinas paralizantes, a saber *Gymnodinium catenatum* y *Alexandrium ostenfeldii*, y una especie que puede matar peces (*C. polikrykoides*), siendo *A. ostenfeldii* quizá la especie más potente productora de un grupo de neurotoxinas conocidas como saxitoxinas (Yuki 1994). Por lo tanto se debería considerar un estudio más exhaustivo de la dinámica de esta especie en la costa del Pacífico de Costa Rica. Asimismo, en nuestras costas coexisten varias especies potencialmente productoras de intoxicación paralizante por consumo de mariscos, consecuentemente, se debe considerar en los planes de monitoreo, el detectar estas especies, debido a que las especies reconocidas como productoras de toxinas paralizantes en Costa Rica, como el dinoflagelado *Pyrodinium bahamense* y

G. catenatum, no siempre se encuentran presentes en el agua, lo que no significa que los moluscos bivalvos no estén ingiriendo especies productoras de toxinas paralizantes.

El volumen económico generado por la comercialización de moluscos bivalvos en la costa pacífica costarricense, añadido al valor generado en transporte y comercialización, es muy alto, por lo que es de mucha importancia mantener un producto de calidad, en condiciones óptimas para el consumo y esto implica un control exhaustivo de la calidad

El sistema de salud ante la presencia del fenómeno de las FAN en nuestras costas ha desarrollado una red de vigilancia a nivel nacional, regional y local, para esto se conformó un equipo de trabajo que integran diversas instituciones que investigan nuestros mares, buscando la presencia de estos microorganismos y sus toxinas. El gobierno impuso vedas (Decretos Ejecutivos N. 29184-S-MAG y N. 30708-S-MAG) y algunas instituciones científicas han iniciado programas de maricultura sostenible para hacer que la pesca de moluscos no desaparezca como actividad económica de la región y así sostener en parte, la difícil situación de muchas familias que viven de esta actividad, la cual abandonan para incursionar, en otras actividades para las cuáles no están preparadas.

Debido al fenómeno de FAN, el gobierno decretó un subsidio a las familias de pescadores afectadas por las vedas, por un total de 25 millones de colones (Fuente: INCOPESCA). A raíz de estos subsidios, se formaron cada vez más grupos de

pescadores que exigían su ayuda financiera, además de pescadores que extraían ilegalmente los moluscos, lo que generó un problema de falta de capacidad económica para solventar los gastos.

En conclusión, las floraciones algales en Costa Rica producen un serio problema social y económico al país y este ha sido difícil de manejar debido a la gran cantidad de personas que están involucradas. Las ganancias que se pueden obtener de la extracción de moluscos bivalvos no son rentables por la cantidad de personas que se dedican a esta actividad. Asimismo, la pesca artesanal mejora la calidad de vida de las personas aunque existe disminución de mercados por el bajo valor de sus productos. Esto lleva a una urgencia de pasar de los regímenes de libre acceso a los esquemas administrativos para restringir y maximizar las ganancias e integrar los aspectos ecológicos en el estudio de las floraciones algales nocivas.

Conclusiones

1. Las discoloraciones observadas en la costa del Pacífico de Costa Rica son producidas exclusivamente por dinoflagelados a pesar de observarse altas concentraciones de diatomeas en el agua.
2. Los dinoflagelados son los dominantes de las FAN observadas en el Pacífico de nuestro país, seguidos por las diatomeas y una especie de cianobacteria.

3. La mayoría de las especies de dinoflagelados productores de FAN en el Pacífico de nuestro país son productores de quistes de resistencia, lo que los hace especies potencialmente aptas para producir futuras FAN.
4. En el GP las FAN se observaron principalmente a principios de la época seca mientras que en el GN se observaron prácticamente durante todo el año.
5. Los vientos alisios provenientes del NE podrían ser el principal factor de aparición de las FAN en el GP.
6. Existen especies de dinoflagelados que producen extensas discoloraciones tanto espacial como temporalmente en la costa del Pacífico, lo que afecta severamente la economía del país.
7. Durante el muestreo, se encontraron dos especies de microalgas productoras de toxinas paralizantes y una especie que mata peces por mecanismos desconocidos, lo que indica que la costa Pacífica costarricense debe monitorearse para evitar daños a la salud y a la fauna.

Referencias

Alonso-Rodríguez R., F. Paez-Osuna & R. Cortés-Altamirano. 2000. Trophic Conditions and Stoichiometric Nutrient Balance in Subtropical Waters Influenced by Municipal Sewage Effluents in Mazatlán Bay (SE Gulf of California). *Marine Pollution Bulletin*. Vol. 40 (4):331-339.

Alonso-Rodríguez R. & J.L. Ochoa. 2004. Hydrology of winter-spring "red tides" in Bahía de Mazatlán, Sinaloa, México. *Harmful Algae*. 3:163-171.

Anderson D.M., D. Jacobson, I. Bravo & J.H. Wrenn. 1988. The unique, microreticulate cyst of the naked dinoflagellate, *Gymnodinium catenatum* Graham. *Journal of Phycology*. 24, 255-262.

Anderson D., S. Galloway & J. Joseph. 1993. *Marine Biotoxins and Harmful Algae: A National Plan*. Woods Hole Oceanographic Institution, Technical Report. 46p.

Anderson D.M., P. Andersen, M.V. Bricelj, J.J. Cullen & J.J.E. Rensel. 2001. *Monitoring and Management Strategies for Harmful Algal Blooms in Coastal Waters*. APEC N. 2001-MR-01.1, Asian Pacific Economic Program, Singapore, and Intergovernmental Oceanographic Commission Technical Series No. 59, Paris.

Bartels C., K.S. Price, M. López & W. Bussing. 1984. Ecological assessment of finfish as indicators of habitats in the Gulf of Nicoya, Costa Rica. *Hydrobiologia* 112:197-207.

Braarud T. & I. Pappas. 1945. Experimental studies on the dinoflagellate *Peridinium triquetum*.

Brenes C., S. León & J. Chaves 2001. Variación de las propiedades termohalinas en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 49, supl. 2:145-152.

Cortés J., A. León-Soler, E. Ruiz-Campos & C. Jiménez. 1999. Los arrecifes y comunidades coralinas de Bahía Culebra, Guanacaste, Costa Rica. *Memoria Jornadas de Investigación 1999*. p. 80. San José. Universidad de Costa Rica, Vicerrectoría de Investigación.

Dale B. 1983. Dinoflagellate resting cyst. In G.A. Fryxell (ed.) "Survival strategies of the algae", Cambridge Univ. Press, Cambridge, 69-144.

Dodge, J. 1982. Marine dinoflagellates of the British Isles. London: Her Majesty's Stationery Office. 303p.

ECOHAB. 1995. The Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms, a National Research Agenda. Woods Hole Oceanographic Institution. 66p.

Epifanio C., A.D. Voorhis, J.A. Vargas, D. Maurer & M.M. Murillo. 1979. Physical-Chemical Survey.

Fersome R.A., F.J.R. Taylor, G. Morris, W.A.S. Sarjeant, D.J. Wharbn & G.L. Willians. 1993. A classification of **living and fossil** dinoflagellates. 315p.

Fiedler P., V. Philbrick & F. Chavez. 1991. Oceanic Upwelling and productivity in the eastern tropical Pacific. *Limnol. Oceanogr.* 36:1834-1850.

Franks P.J. & D.M. Anderson. 1992. **Alongshore** transport of a phytoplankton bloom in a buoyancy current: *Alexandrium tamarense* in the Gulf of Maine. *Marine Biology*, 112:153-164.

Fukuyo Y. 1982. Cysts of naked **dinoflagellates**. In Okaichi T. (ed.) *Fundamental studies on the effects of the marine environment on the outbreaks of red tides*, 205-214.

Fukuyo, Y., H. Takano, M. Chihara & K. Matsuoka. 1990. Red Tide organisms in Japan. *An Illustrated Taxonomics Guide*. Japan fisheries Resource Conservation Assotiation. 407p.

Furuya K., Y. Fukuyo, J. Ishizaka & H. Kawamura. 2003. Workshop on Red Tide Monitoring in Asian Coastal Waters. March 10-12 2003. Graduated School of Agricultural and life Sciences The University of Tokyo. 107p.

Garcés, E., M. Masó, M. Vila & J. Camp. 2000. Harmful algae events in the Mediterranean: are they increasing?. *Harmful Algae News*. N. 20: 1,10-11

GEOHAB.1998. Global Ecology and Oceanography of Harmful Algae Blooms: A Plan for Co-ordinated Scientific Research and Co-operation to Develop International Capabilities for Assessment, Prediction and Mitigation. Report from a Joint IOC/SCOR Workshop, Havreholm, Denmark, 13-17 October 1998. 43p.

Glibert, P.M. & G. Pitcher. 2001 Global Ecology and Oceanography of Harmful Algal Blooms. Science Plan. GEOHAB, an International Programme Sponsored by the Scientific Committee on Oceanic Research (SCOR) and the Intergovernmental Oceanographic Commission (UNESCO). 86p.

Gonzales, C., S. Sakamoto, E. Furio, T. Ogata, M. Kodama & Y. Fukuyo. 2002. Practical guide on paralytic shellfish poisoning monitoring in the Philippines. Bureau of Fisheries and Aquatic Resources, JICA. 168p.

Hallegraeff, G.M. 1993 A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia* 32(2): 79-99.

Hallegraeff G.M., D.M. Anderson & A.D. Cembella. 1995. Manual on Harmful Marine Microalgae. Intergovernmental Oceanographic Commission UNESCO. Manuals and Guides N. 33.

Hallegraeff, G.M. & S. Fraga. 1996. Bloom Dynamics of the Toxic Dinoflagellate *Gymnodinium catenatum*, with Emphasis on Tasmanian and Spanish Coastal Waters. En: Anderson D., Cembella A. & Hallegraeff G. Eds. Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms. NATO ASI Series, Vol. 41

Hargraves, P. & R. Viquez 1981. The Dinoflagellate red tide in Golfo de Nicoya, Costa Rica. Rev. Biol. Trop. 29(1): 31-38.

Jiménez C. 2001a. Seawater temperature measured at the surface and at two depths (7 and 12 m) in one coral reef at Culebra Bay, Gulf of Papagayo, Costa Rica. Revista Biología Tropical 49. Supl. 2:153-161

Jiménez C. 2001b. Arrecifes y ambientes coralinos de Bahía Culebra, Pacífico Norte de Costa Rica: aspectos biológicos, económico-recreativos y de manejo. Rev. Biol. Trop. 49 Supl. 2: 215-231.

Klemas, V., S.G. Ackleson & M. M. Murillo. 1983. Water Quality Assessment of the Golfo de Nicoya, Costa Rica. Progress report of 1981-82, Phase I of remote sensing task. Contribuciones Científicas del CIMAR Volumen I.

Kress N., C.S. León, C.L. Brenes, S. Brenner & G. Arroyo. 2001. Horizontal transport and seasonal distribution of nutrients, dissolved oxygen and chlorophyll-*a* in the Gulf of Nicoya, Costa Rica: a tropical estuary. Continental Shelf Research 1-16.

Kofoed, C.A. & O. Swezy. 1921. **The free-living unarmored dinoflagellates.** University of California Press. 538p.

Landsberg J. The Effects of Harmful Algae Blooms on Aquatic Organisms. *In:* Stickney R. Reviews in Fisheries Science. New York: *Fisheries Science*; 2002. 10:113-390.

Lizano, O.G. 1998. Dinámica de las aguas en la parte interna del Golfo de Nicoya ante altas descargas del río Tempisque. *Revista Biología Tropical* 46(6):11-20.

Mata, L.; G. Abarca, L. Marranghello & R. Víquez. 1990. Intoxicación paralítica por mariscos (IPM) por *Spondylus calcifer* contaminado con *Pyrodinium bahamense*, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.*, 38(1):129-136.

Mata A. & Blanco O. 1994. La Cuenca del Golfo de Nicoya: un reto al desarrollo sostenible. 1. ed. Editorial de la Universidad de Costa Rica. 336pp.

Matsuoka, K. & Y. Fukuyo. 2000. **Guía Técnica Para el Estudio de Quistes de Dinoflagelados Actuales.** WESTPAC-HAB, UNESCO. 90p.

Mcgillicuddy D.J R.P. Sissell, C.A. Stock, B.A. Keafer, M.D. Sæller, R.D. Hetland & D.M Anderson. 2003. A mechanism for offshore initiation of harmful algal

blooms in the coastal Gulf of Maine. **Journal of Plankton Research**, Vol.25 (9):1131-1138.

Morales-Ramirez A., R.Viquez, K. Rodriguez & M. Vargas-Montero 2001. Marea roja producida por *Lingulodinium polyedrum* (Peridiniales, Dinophyceae) en Bahía Culebra, Golfo de Papagayo, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 49, Supl. 2:19-23.

Morales-Ramírez A. & E. Brugnoli-Olivera 2001. El Niño 1997-1998 impact on the plankton dynamics in the Gulf of Nicoya, Pacific coast of Costa Rica. *Rev. Biol. Trop. Supl.* 2:103-114.

Morales-Ramírez A., M. Vargas-Montero & O.G. Lizano 2003 HABS in Culebra Bay, Gulf of Papagayo, a small upwelling region in the coast of Costa Rica: What we know and what we need to know. Book of Abstracts, Open Science Meeting on the Core Research Project: HABS in Upwelling Systems. GEOHAB, Portugal 17-20 November 2003.

Moroño A., Y. Pazos & J. Maneiro 2000. Evolución del fitoplancton tóxico y condiciones oceanográficas asociadas, en los años 97-98, en Las Rías Gallegas. *In*: VI Reunión Ibérica sobre fitoplancton tóxico y biotoxinas. Actas de la reunión Sevilla, 5 y 7 de Mayo de 1999. Consejería de Agricultura y Pesca-Comunidad Económica Europea.

Muller-Parker G. & J. Cortés. 2001. Spatial distribution of light and nutrients in some coral reefs of Costa Rica during January 1997. *Rev. Biol. Trop.* 49 Supl. 2: 251-263.

Schiller, J. 1933. Dinoflagellates (Peridineae). Vol. I y II.

Smayda R. 1995. Environmental monitoring. *In*: Hallegraeff G.M., Anderson D.M. & Cembella A.D. (Eds) *Manual of Harmful Marine Microalgae*. IOC Manuals and Guides, No. 33. UNESCO, pp.405-431.

Steidinger K.A. & Joyce E.A. Jr. 1973. Florida Red Tides. State Florida Dept. Ant. Res. Educ. Series 17, 1-26.

Sournia A. 1978. *Phytoplankton Manual*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 335pp.

Taylor F.J.R. 1987. *The Biology of Dinoflagellates*. Botanical Monographs Vol. 21 Blackwell Scientific Publications.

Tomas, C.R. 1997. *Identifying Marine Phytoplankton*. Academic Press. 858p.

UNESCO 2002 (a). *Book of Abstracts of the "4th International Conference on Molluscan Shellfish Safety, Santiago de Compostela España; 2002.*

Vargas J.A. 1996. Ecological dynamics of a tropical intertidal mudflat community. *In: Estuarine Shores: Evolution and Human Alterations*. Edited by K.F. Nordstrom and C.T. Roman. John Wiley & Sons. 55-69.

Vargas-Montero M. & E. Freer. 2003. Co-occurrence of different morphotypes of *Pyrodinium bahamense* during an extensive bloom in the Gulf of Nicoya, Costa Rica. *Molluscan Shellfish Research. Proceedings of the 4th International Conference on Molluscan Shellfish Safety*, Santiago de Compostela, Spain, June 4-8, 2002. 211-217.

Vargas-Montero, M. & E. Freer. 2004a. Presencia de los dinoflagelados *Ceratium dens*, *C. fusus* y *C. furca* (Gonyaulacales: Ceratiaceae) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 52 (1):115-120

Vargas-Montero, M. & E. Freer. 2004b. Floraciones algales de la diatomea toxigénica *Pseudo-Nitzschia* (Bacillariophyceae) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 52 (1):127-132

Vargas-Montero, M & E. Freer. 2004c. Floraciones Algales Nocivas de Cianobacterias (Oscillatoriaceae) y dinoflagelados (Gymnodiniaceae) en el Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Rev. Biol.* (1):121-125

Vargas-Montero M., Freer E., Jiménez- Montealegre R. y Guzmán J. C. Extensive blooms produced by *Cochlodinium polykrikoides*: never before seen in Costa Rica. *Harmful Algae News* (26):7

Viquez R. & P. Hargraves. 1995. Annual Cycle of Potentially Harmful Dinoflagellates in the Golfo de Nicoya, Costa Rica. *Bulletin of Marine Science*, 57(2): 467-475.

Walker L.M. & K. A. Steidinger .1979. Sexual reproduction in the toxic dinoflagellate *Gonyaulax monilata*. *Journal of Phycology*, 15, 312-315.

Wall D. & B. Dale. 1968. Modern dinoflagellate cysts and evolution of the Peridinales. *Microplaleontology*, 14, 265-304.

Wolff M., H.J. Hartmann & V. Koch. 1996. A pilot trophic model for Golfo Dulce, a fjord-like tropical embayment, Costa Rica. *Rev. Biol.Trop.* 44. Supl. 3 215-231.

Voorhis, A.D., C.E. Epifanio, D. Maurer, A.I. Dittel & J.A. Vargas. 1983 The estuarine character of Gulf of Nicoya, an embayment on the Pacific coast of Central America. *Hydrobiologia* 99:225-237.

Yuki K. 1994. First report of *Alexandrium minutum* Halim (Dinophyceae) from Japan. *Jpn. J. Phycol. (Sôrui)* 42: 425-430.

APENDICE

La falta de literatura entendible para todo público así como la observación de las especies involucradas en una floración algal, representan un material muy valioso para el manejo de las mismas. Es por esto que a continuación se da a conocer mediante fotografías tomadas en su mayoría con microscopios de luz convencionales y a bajos aumentos, como se pueden reconocer los microorganismos para hacer una gestión rápida y eficaz para la identificación de estas especies. Las especies fotografiadas se encontraron produciendo discoloraciones en el agua desde enero del 2003 hasta junio del 2004 y a continuación se presentan características de interés para cada una de ellas.

Las especies del fitoplancton observadas produciendo discoloraciones en la costa del Pacífico, se distribuyeron en 8 órdenes y 12 familias del fitoplancton marino. A su vez, se observaron 13 especies de dinoflagelados, 9 especies armadas con placas de polisacáridos y 4 especies desnudas o sin placas sobre su cuerpo; 5 especies de diatomeas, 3 especies centrales y 2 pennadas; además de 1 especie de cianobacteria. A continuación se hace una breve descripción de cada especie o grupo al que pertenecen.

Dinoflagelados

División: Dinophyceae

Subclase: Dinophycidae

Orden: Gymnodiniales Lemmermann 1910

Familia: Gymnodiniaceae Lankester 1885

Especie: *Akasiwo sanguineum* (= *Gymnodinium sanguineum*) Hirasaka 1922

Descripción: Dinoflagelado desnudo, es decir sin placas de polisacáridos recubriendo su cuerpo, 50 µm de largo y 40 µm de ancho, se encontró produciendo floraciones algales en Febrero del 2004 en Isla Caballo en el GN, con concentraciones celulares de hasta $5,8 \times 10^2$ cel/ml. Las discoloraciones observadas son de color café y no producen mal olor y hasta el momento no se ha reportado como especie productora de alguna toxina (Lámina 1a).

Orden: Gonyaulacales F.J.R. Taylor 1980

Familia: Goniodomataceae Lindermann 1928

Especie: *Alexandrium cf. minutum* (Halim 1960)

Descripción: Dinoflagelado armado, 50 µm de largo y 47 µm de ancho, se encontró produciendo una floración en el mes de Junio del 2004 en Bahía Salinas, GP, con concentraciones celulares de hasta 1×10^3 cel/ml. Las discoloraciones observadas son extensas y de color rojizo y no se detectó mal olor. Este dinoflagelado es quizá la especie productora de las toxinas paralizantes más potentes que se conocen, sin

embargo su correcta identificación en Costa Rica se mantiene en estudio (Lámina 1b).

Orden: Gonyaulacales F.J.R. Taylor 1980

Familia: GoniDOMATAceae Lindermann 1928

Especie: *Alexandrium monilatum* (Howell 1953)

Descripción: Dinoflagelado armado. 30 μm de largo y 45 μm de ancho, se encontró produciendo floraciones algales interrumpidas durante finales del 2003 y principios del 2004 en el Golfo de Nicoya, con concentraciones celulares de hasta 3.4×10^2 cel/ml. Las discoloraciones observadas son de color rojizo-café intensas y no se detecta mal olor. Esta especie se encuentra presente prácticamente durante todo el año y aún no se sabe si produce algún tipo de toxina (Lámina 1c-e).

Orden: Gonyaulacales F.J.R. Taylor 1980

Familia: Ceratiaceae Lindermann 1928

Especie: *Ceratium dens* (Ostenfeld & Schmidt 1859)

Descripción: Dinoflagelado armado, 230 μm de largo y 51 μm de ancho, se encontró produciendo floraciones algales en los meses de junio-julio de 2003 en el GP y en noviembre del 2004 en el GN, con concentraciones celulares de hasta 3×10^3 cel/ml. Las discoloraciones observadas por este dinoflagelado son de color rojo intenso, y a pesar de ser la especie dominante en la discoloración siempre está acompañado de otras especies. Este organismo formó discoloraciones en conjunto con *Pyrodinium bahamense* en los años 2000-2001. No se ha determinado que sea una especie tóxica (Lámina 2a)

Orden: Gonyaulacales F.J.R. Taylor 1980

Familia: Ceratiaceae Lindermann 1928

Especie: *Ceratium furca* (Ehrenberg 1859)

Descripción: Dinoflagelado armado, 110 μm de largo y 30 μm de ancho, se encontró produciendo floraciones algales en los meses de junio-julio de 2003 en el GP y en noviembre del 2004 en el GN, con concentraciones celulares de hasta 2×10^3 cel/ml. Las discoloraciones observadas por este dinoflagelado son de color rojo intenso y sin olor aparente. No es tóxico (Lámina 2b-c).

Orden: Gymnodiniales Lemmermann 1910

Familia: Gymnodiniaceae Lankester 1885

Especie: *Cochlodinium polykrikoides* (Margalef 1961)

Descripción: Dinoflagelado desnudo, 30-35 μm de largo y de 20-27 μm de ancho, se encontró produciendo floraciones algales desde los meses de marzo a junio de 2004, abarcando prácticamente toda la costa del Pacífico, con concentraciones celulares hasta de 175×10^6 cel/ml. Las discoloraciones observadas son de un color café-ocre y producen mal olor y espuma abundante en las playas. Se le ha imputado la muerte de peces y de arrecifes coralinos, además sus discoloraciones son muy espesas (Lámina 1f-g).

Orden: Dinophysiales Lindermann 1928

Familia: Dinophyceae Stein 1883

Especie: *Dinophysis caudata* (Saville-Kent 1881)

Descripción: Dinoflagelado armado, 80 μm de alto y 45 μm de ancho, se encontró produciendo floraciones algales en Puntarenas en enero del 2004, con concentraciones celulares de hasta 1.25×10^2 cel/ml. Las discoloraciones observadas son de color café débil y no producen mal olor. Se cree que puede ser tóxico (Lámina 2d-e).

Orden: Gonyaulacales F.J.R. Taylor 1980

Familia: Gonyaulacaceae Lindemann 1928

Especie: *Gonyaulax spinifera* (Claparède & Lachmann 1859)

Descripción: Dinoflagelado armado, 43 μm de ancho y 46 μm de largo, se encontró produciendo una floración en el mes de abril del 2004 en Bahía Santa Elena en el GP, con concentraciones celulares de hasta $3,5 \times 10^6$ cel/l. La discoloración observada fue de color café y no produjo mal olor. Se cree que no produce toxinas (Lámina 2f-g).

Orden: Gymnodiniales Lemmermann 1910

Familia: Gymnodiniaceae Lankester 1885

Especie: *Gymnodinium catenatum* (Graham 1943)

Descripción: Dinoflagelado desnudo, 42 μm de alto y 40 μm ancho, se encontró produciendo floraciones algales durante los meses de diciembre y enero del 2004 en el GN y en julio 2003 en el GP, con concentraciones celulares de hasta 8.5×10^2 cel/ml. Las discoloraciones observadas son de color café-amarillento y no producen mal olor. Este dinoflagelado es altamente tóxico, produce toxinas del tipo paralizante (Lámina 3a-b).

Orden: Gymnodiniales Lemmermann 1910

Familia: Gymnodiniaceae Lankester 1885

Especie: *Gyrodinium instriatum* (Freudenthal & Lee 1963)

Descripción: Dinoflagelado desnudo, 45 μm de alto y 36 μm de ancho, se encontró produciendo una floración durante el mes de octubre del 2003 en Punta Cuchillo en el GN, con concentraciones celulares de hasta 5×10^2 cel/ml. Las discoloraciones observadas son de color verdoso y no producen mal olor, además, está probado que este dinoflagelado sirve para alimento de larvas de rotíferos (Lámina 3c-d).

Orden: Noctilucales Haeckel 1894

Familia: Noctilucaeae Kent 1881

Especie: *Noctiluca scintillans* (Macartney) Kofoid & Swezy 1921

Descripción: Dinoflagelado desnudo con un gran tentáculo en su cuerpo, 180 μm de diámetro, se observó produciendo floraciones algales interrumpidas durante varios meses, especialmente a finales de la época lluviosa y principios de la seca en Puntarenas y Punta Morales principalmente, con concentraciones celulares de hasta 200 cel/ml. Las discoloraciones observadas son de color rojo intenso, no producen mal olor y de noche produce biolumiscencia en el agua. No es tóxico pero sus extensas manchas en el agua pueden reducir el oxígeno y matar peces (Lámina 3e).

Orden: Gonyaulacales F.J.R. Taylor 1980

Familia: Protoperidinaceae F.J.R. Taylor 1987

Especie: *Protoperidinium* (Bergh 1881)

Descripción: Dinoflagelados armados, con diámetros entre las 37-120 μm de alto y 31-80 μm de ancho, se observaron en altas concentraciones acompañando algunas floraciones algales, especialmente en el GP, con concentraciones celulares de hasta 3.5×10^2 cel/ml. Aún no se conoce si estas especies son tóxicas (Lámina 3f-h).

Diatomeas

Orden: Biddulphiales

Familia: Chaetocerotaceae Ralfs

Especie: *Chaetoceros* (Ehrenberg 1844)

Descripción: Diatomeas centrales, que se observan en altas concentraciones sobre todo en verano en el mes de abril en Punta Morales e Isla Pan de Azúcar y otras localidades principalmente en la parte interna del GN y son un importante fuente de alimento en la cadena alimenticia, pero sus floraciones pueden ser dañinas para las branquias de los peces (Lámina 4a-c).

Orden: Biddulphiales

Familia: Coscinodiscaceae Kützing 1844

Especie: *Coscinodiscus* spp.

Descripción: Diatomeas centrales, se observaron principalmente en el GN, en el Estero de Puntarenas en el mes de noviembre. (Lámina 4d).

Orden: Biddulphiales

Familia: Thalassiosiraceae Lebour 1930

Especie: *Skeletonema costatum* (Greville 1865)

Descripción: Diatomeas centrales, muy comunes en el GN sobre todo alrededor de la Isla San Lucas en el mes de noviembre, tienden a formar largas cadenas. (Lámina 4e).

Orden: Biddulphiales

Familia: Bacillariaceae Erhenberg 1831

Especie: *PseudoNitzschia pungens* (Grunow & Cleve)

Descripción: Diatomeas pennadas, formadoras de altas densidades celulares en el GN cerca de Isla San Lucas y Pan de Azúcar sobre todo en el mes de abril, no produce discoloraciones en el agua y podría ser tóxica (Lámina 4g-h).

Orden: Biddulphiales

Familia: Bacillariaceae Erhenberg 1831

Especie: *PseudoNitzschia multiseriata* (Hasle)

Descripción: Diatomeas pennadas, se observaron principalmente en el GP y no se observaron discoloraciones en el agua, sin embargo. Sus densidades celulares fueron bajas, sin embargo estas células se observaron acompañando las floraciones algales producidas por los dinoflagelados. Es una especie productora de ácido domoico (Lámina 4i-j).

Cianobacterias

Orden: Nostocales

Familia: Oscillatoriaceae

Especie: *Trichodesmium erythraeum*

Descripción: Cianobacteria marina, productora de tricomas que tienden a aglutinarse en grupos de filamentos de hasta 30 tricomas, se observó produciendo floraciones algales en mayo en el GN, y se observó en el agua principalmente hasta principios de la época lluviosa en el GP. Las floraciones algales producidas por esta cianobacteria se observan de color rojo intenso y producen fiebre, mareos y dolor de cabeza por aerosoles expulsados al aire (Lámina 4f).

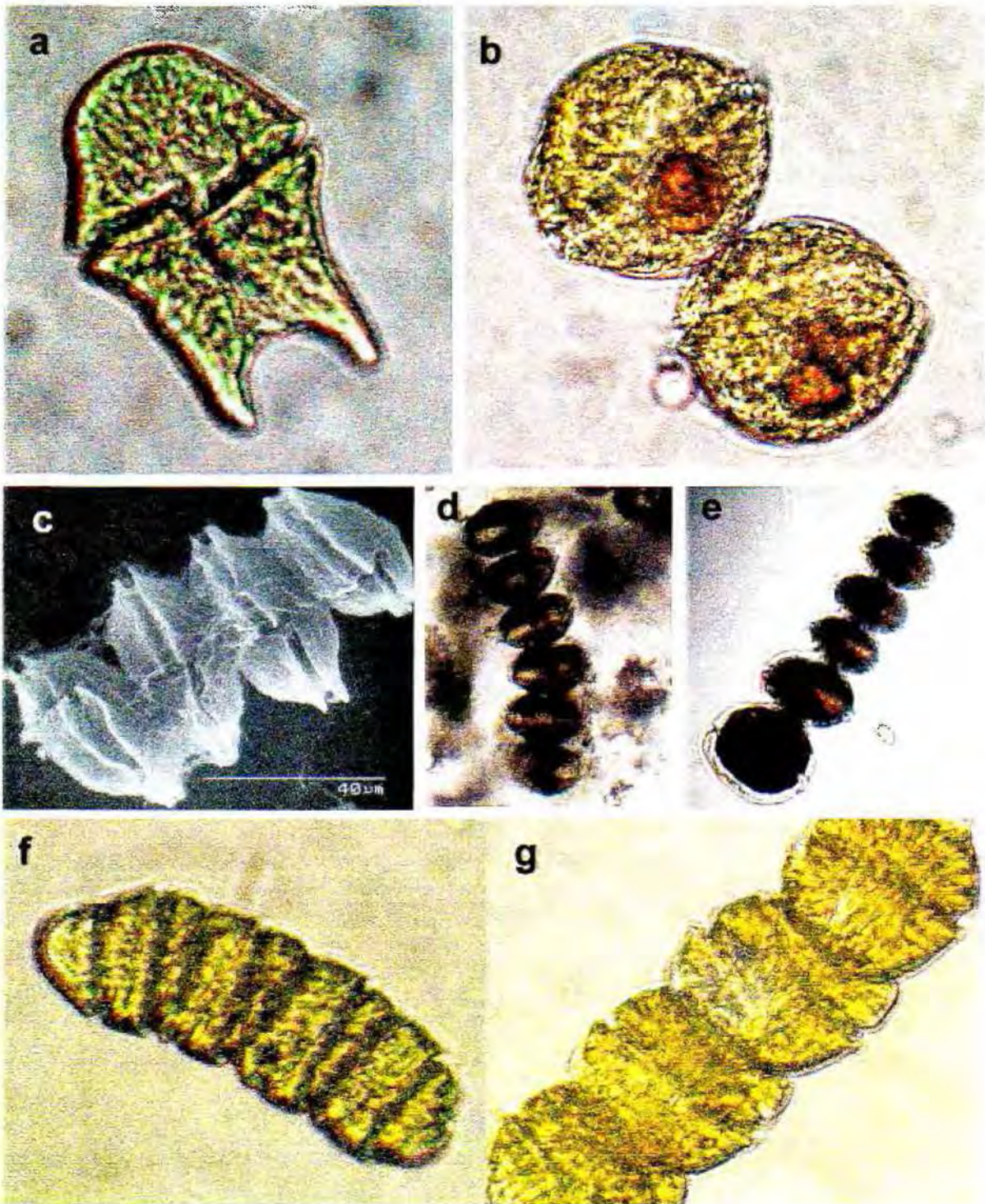


Lámina 1. Dinoflagelados. a. *Akasiwo sanguineum*,
 b. *Alexandrium cf. minutum*, c-e. *Alexandrium monilatum*,
 f-g- *Cochlodinium polykrikoides*.

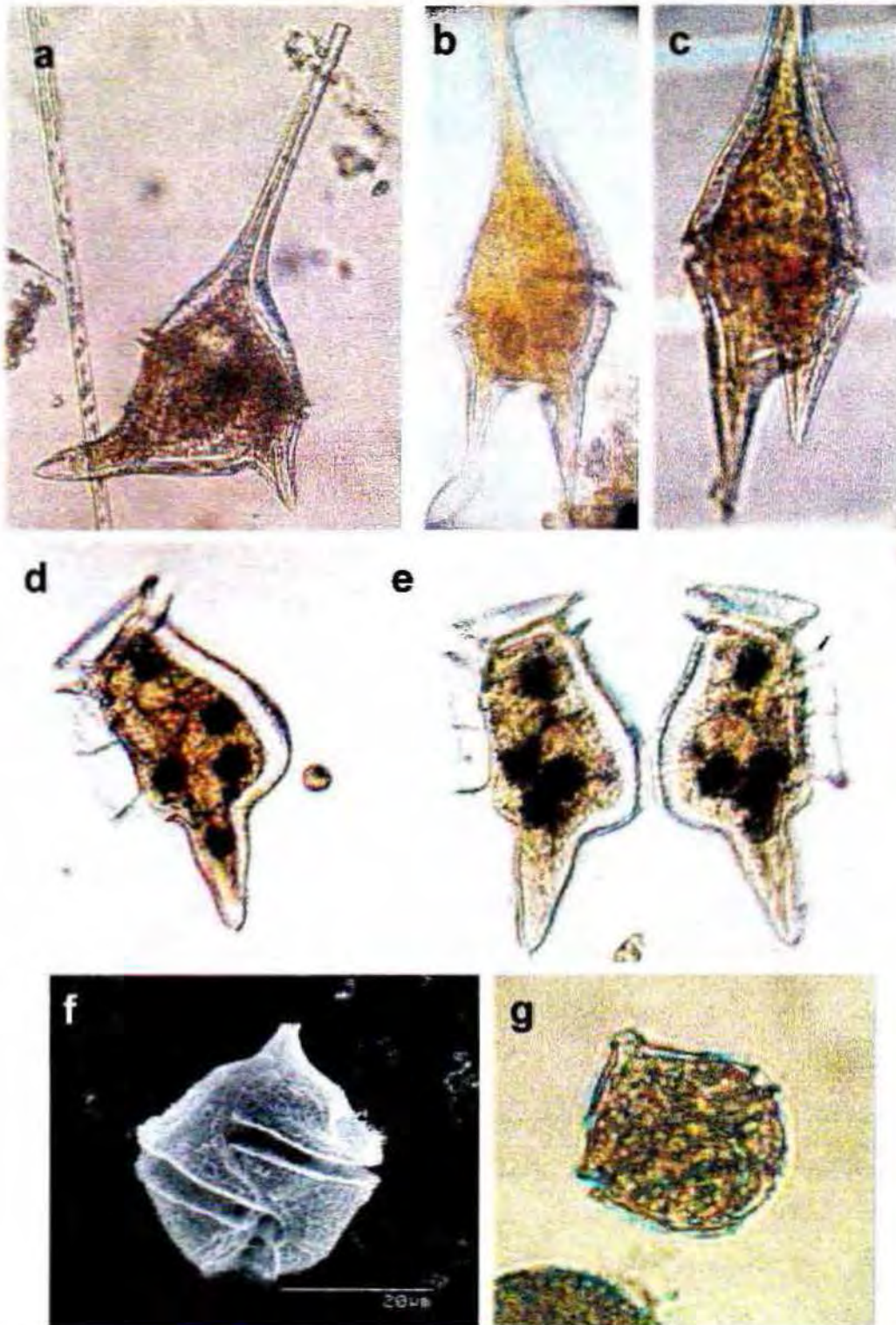


Lámina 2. Dinoflagelados. a. *Ceratium dens*,
 b-c. *Ceratium furca*, d-e. *Dinophysis caudata*,
 f-g- *Gonyaulax spinifera*.

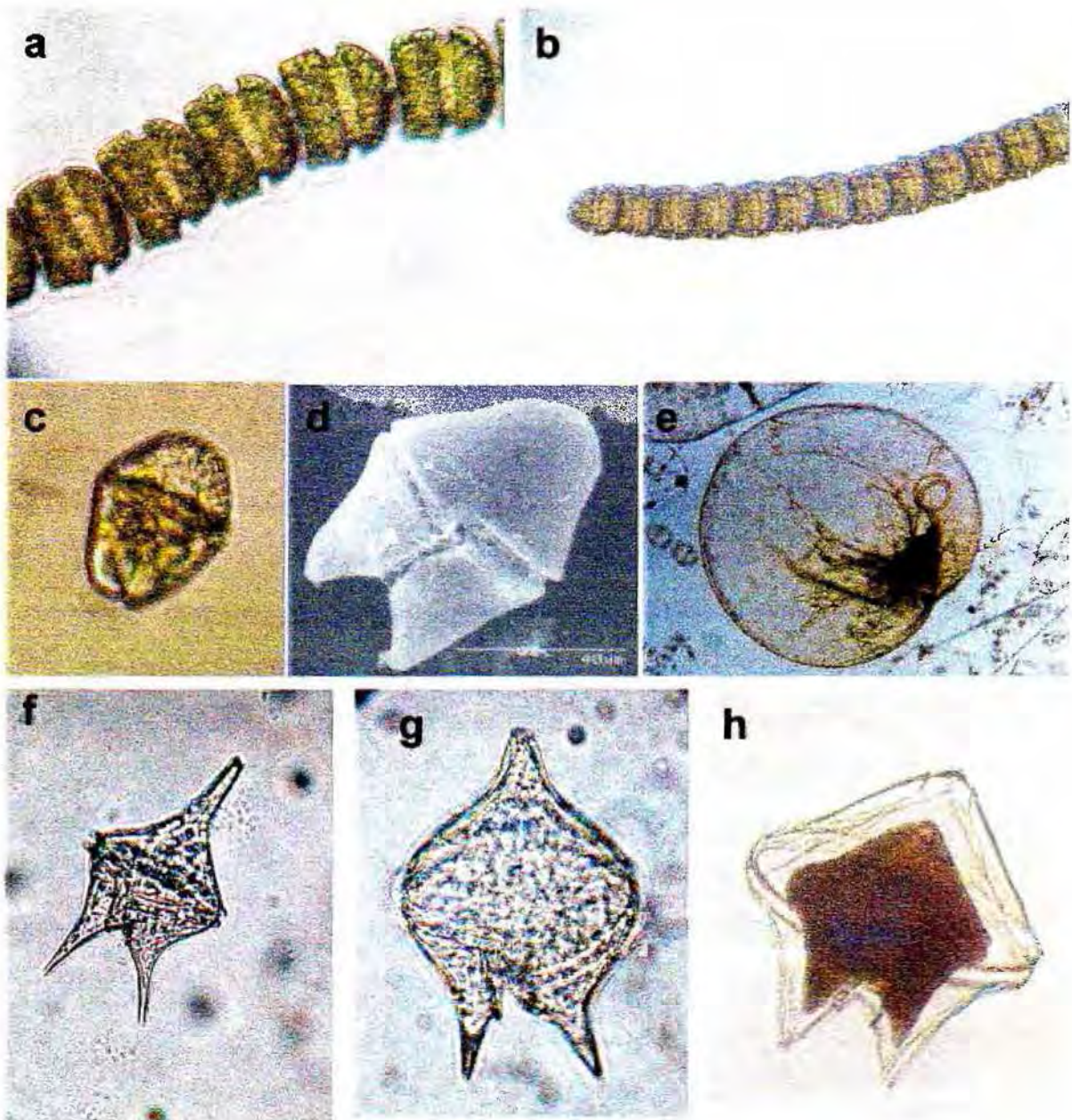


Lámina 3. Dinoflagelados. a-b. *Gymnodinium catenatum*, c-d. *Akasiwo sanguineum*, e. *Noctiluca scintillans*, f-h. *Protoperidinium* spp.

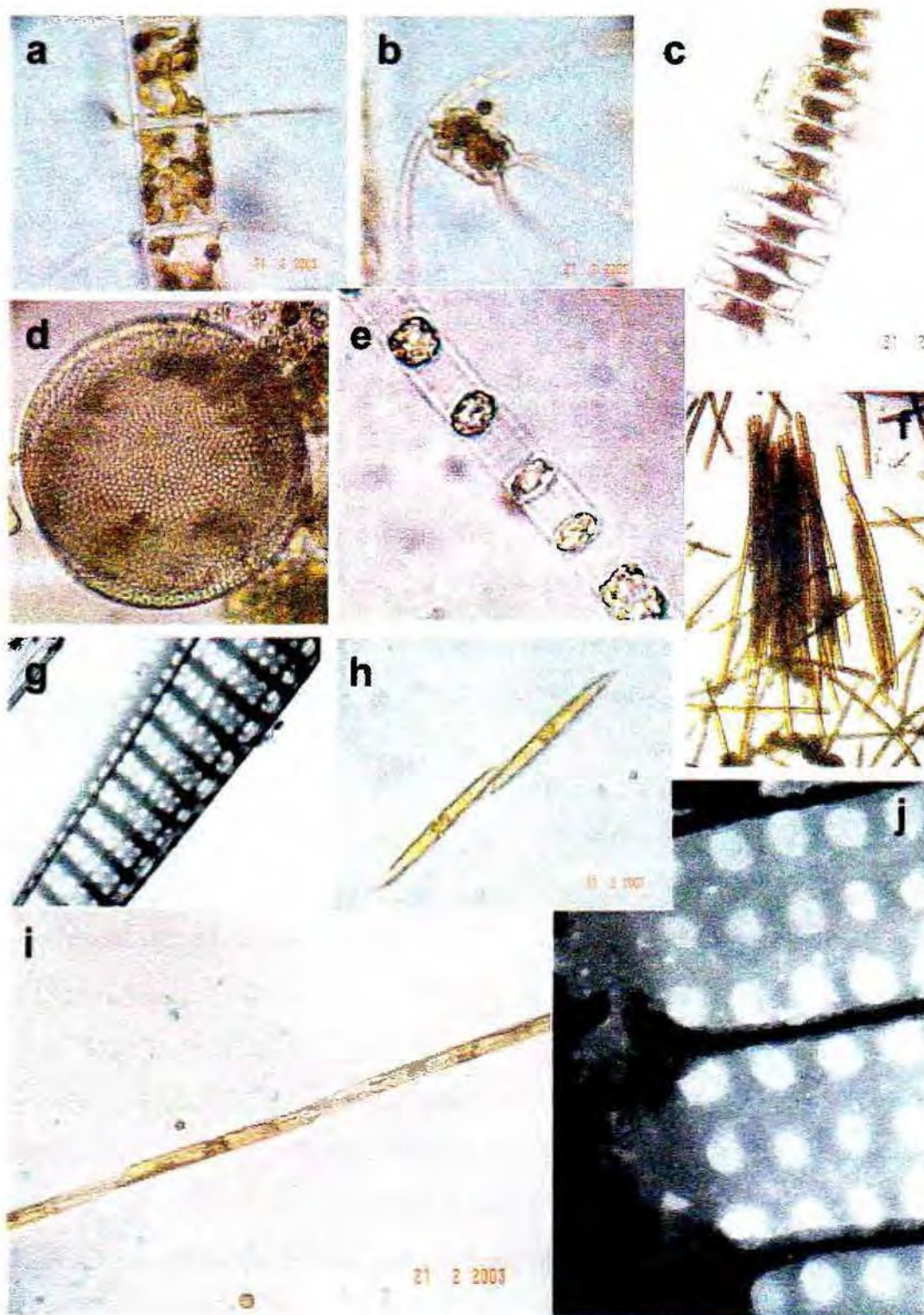


Lámina 4. a-c. *Chaetoceros* spp., d. *Coscinodiscus* sp. e. *Skeletonema costatum*, f. *Trichodesmium erythraeum*, g-h. *PseudoNitzschia pungens*, i-j. *PseudoNitzschia multiseries*