

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS



**“VARIACION ESPACIAL Y TEMPORAL DEL FITOPLANCTON
DURANTE EVENTOS DE SURGENCIA EN BAHIA SAN QUINTIN,
B.C. MÉXICO”**

TESIS

QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFIA COSTERA

PRESENTA

ALFREDO FRIAS VELASCO

ENSENADA BAJA CALIFORNIA, MÉXICO. MARZO 2009.

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS
POSGRADO EN OCEANOGRAFÍA COSTERA

**“VARIACION ESPACIAL Y TEMPORAL DEL FITOPLANCTON
DURANTE EVENTOS DE SURGENCIA EN BAHIA SAN QUINTIN,
B.C. MÉXICO”**

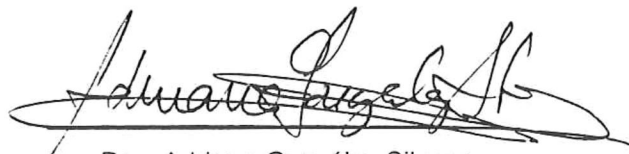
TESIS
QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFÍA COSTERA

PRESENTA

ALFREDO FRIAS VELASCO

Aprobada por:



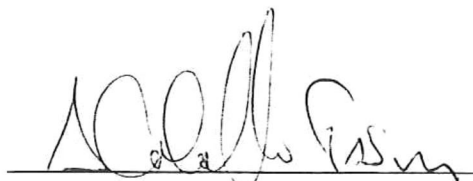
Dra. Adriana González Silvera

Director



Dr. Eduardo Santamaría del Ángel

Sinodal



Dr. Alejandro Cabello Pasini

Sinodal



Dr. Victor Camacho Ibar

Sinoda

Dedicada a

A María

A mis padres.... Julieta y Pedro

A mis suegros Guadalupe y Juan

A mis abuelos.... Delia y Enrique

Agradecimientos

A la Dra. Adriana González Silvera por su infinita paciencia y vocación. Su constante apoyo fue fundamental para llevar este trabajo a buen término.

A los sinodales del comité de tesis: Dr. Eduardo Santamaría del Ángel y al Dr. Alejandro Cabello su apoyo, comentarios y dedicación fueron muy importantes para él término de éste trabajo.

Al Dr. Víctor Camacho Ibar, que apoyó este trabajo en los momentos difíciles con acertados comentarios, préstamo de equipo, muestras y lo más importante: apoyo moral.

Al CONACyT por el apoyo financiero a través de la beca de maestría. Y Al proyecto D40144-F "Respuestas físicas, geoquímicas y biológicas de Bahía San Quintín a los pulsos de agua de surgencia del mar adyacente". Que financió el desarrollo de ésta tesis.

A Oscar Barocio, Eduardo Santamaría, Jorge López Calderón y Roberto Millán, por su apoyo en el largo trabajo de campo, así como en el trabajo de gabinete. A la empresa Agromarinos S.A. por las facilidades durante el periodo de muestreo. También agradezco la toma de muestras de las estaciones, que fue realizado por Eduardo Ortiz, Leslie Aveytua y compañía.

A Socorro Muñoz por su ayuda con la imagen de satélite y mapa. A Bernardo Esquivel, Héctor García y Oscar Barocio por su ayuda en la programación. También agradezco a Laura Rodríguez por sus comentarios y preguntas.

Finalmente agradezco a mi familia y amigos, que nunca me dejaron de apoyar para que terminara ésta tesis.

VARIACION ESPACIAL Y TEMPORAL DEL FITOPLANCTON DURANTE EVENTOS DE SURGENCIA EN BAHIA SAN QUINTIN, B.C. MÉXICO.

Resumen

Bahía San Quintín (BSQ) es una laguna costera de alta productividad biológica donde la principal actividad económica es la maricultura de bivalvos. Las condiciones hidrológicas de la bahía están en función de las mareas, viento y los procesos de surgencia en la zona costera adyacente. Este trabajo se enfocó en el estudio de la variación temporal y espacial del fitoplancton durante un periodo de surgencias en el año 2005 (mayo-junio) que además cubrió un ciclo de mareas completo. Para ello se utilizaron dos estrategias de muestreo: una estación fija y 7 estaciones dentro y fuera de BSQ. Las estaciones fueron muestreadas cada 3 días y se determinó la concentración de clorofila-a (Cl-a) y la estructura de la comunidad del microfitoplancton mediante conteos al microscopio invertido. En la estación fija se ancló un CTD que registró la temperatura y la fluorescencia a lo largo del periodo de muestreo. Además se tomaron dos muestras diarias (en ascenso y descenso de la marea) para estimar la Cl-a y pigmentos accesorios por cromatografía líquida de alta precisión (HPLC). Esto permitió estimar la contribución de los grupos pequeños del fitoplancton, no visibles al microscopio, como nanoflageladas, cianofitas y proclorofitas. Por otro lado, los pigmentos fueron separados en pigmentos fotosintéticos y fotoprotectores para evaluar el nivel de fotoaclimatación de la comunidad. En función de la magnitud del índice de surgencia y el calendario de mareas se identificaron tres escenarios: (1) Surgencia Intensa-Marea Viva, (2) Surgencia Débil-Marea Muerta y (3) Surgencia Media-Marea en transición a Viva. El primer escenario se caracterizó por un incremento en la Cl-a y un afloramiento de la diatomea *Nitzschia spp.* que alcanzó densidades de casi un millón de células por litro frente a la boca de la laguna. Hacia el interior de BSQ, la variación en la temperatura estuvo asociada a cambios en la marea. Las temperaturas más altas se observaron en la bajamar, mientras que las menores en pleamar. La fluorescencia presentó una variación inversa con la marea, presentándose los máximos en la bajamar, asociados a la resuspensión del fitoplancton bentónico y los mínimos en la pleamar, durante la entrada de agua oceánica. La temperatura presentó una tendencia inversa con respecto al índice de surgencia mientras que la fluorescencia se relacionó positivamente con el índice. Por otro lado, los datos diarios de pigmentos estimados por HPLC mostraron que en pleamar la concentración de Cl-a es mayor que durante la bajamar, aunque la señal a lo largo de la serie fue similar. En el escenario dos, las abundancias de diatomeas en la zona adyacente a la boca se redujeron considerablemente y las condiciones de surgencia débil y marea muerta permitieron un mayor tiempo de residencia de los nutrientes que entraron por advección a BSQ. Esto se evidenció en las altas temperaturas alcanzadas en dicho periodo y a mayores concentraciones de Cl-a. Finalmente, en el escenario tres, prevalecieron condiciones de alta turbulencia por la transición a mareas vivas y el inicio de una segunda surgencia intensa. En dicho periodo se presentaron los mínimos de Cl-a dentro de BSQ y la temperatura mínima se observó afuera de la bahía, donde comenzaron a ser muy abundantes los dinoflagelados. Los grupos más abundantes estimados mediante el HPLC fueron las clorofitas, diatomeas y criptofitas, aunque también se evidenció la presencia de crisofitas, prymnesiofitas, cianobacterias y proclorofitas. Los pigmentos fotoprotectores aumentaron su proporción cuando ocurre la resuspensión de diatomeas del fondo, las cuales surgen aclimatadas a bajas irradiancias y al llegar a la superficie responden incrementando la proporción de estos.



Vo.Bo. Dra. Adriana González Silveira

SPATIAL AND TEMPORAL VARIATION OF PHYTOPLANKTON DURING UPWELLING EVENTS IN SAN QUINTIN BAY, B. C. MÉXICO.

Abstract

San Quintin Bay (BSQ) is a coastal lagoon with high biological productivity where the main economic activity is bivalve aquaculture. Hydrographic conditions are driven by tides, winds and upwelling processes in the adjacent coastal zone. This work focused in studying phytoplankton time and spatial variability during an upwelling event in 2005 (May-June) that also occurred during a complete tide event. Two sampling strategies were used: a fixed station and seven stations outside and inside BSQ. Stations were sampled every 3 days and it has been measured chlorophyll-a concentration (Chla) and community structure through microscopic enumeration. In the fixed station a CTD registered temperature and fluorescence during the complete studied period. Besides, twice a day, samples were taken to analyze Chla and pigment concentration using high precision liquid chromatography (HPLC). This technique allows the estimation of the contribution of small phytoplankton groups, not visible at microscopy, like nanoflagellates, cyanophytes and prochlorophytes. In addition, pigments were classified in photosynthetic and photoprotector pigments to evaluate the photoacclimation status of these communities. Taking in account the upwelling index and tide calendar three scenarios were identified: (1) Strong Upwelling-Spring tide, (2) Weak Upwelling-Neap Tide and (3) Intermediate Upwelling-Spring to Neap Tide. The first scenario was characterized for high Chla and the bloom of the diatom *Nitzschia* spp. which attained cell densities of almost a million of cells per liter in front of the lagoon mouth. To the interior of the bay, temperature variability was regulated by tide variability. Higher temperature were observed during low tide while the highest during high tide. Fluorescence varied inversely with tide, maximum values during low tide due to the resuspension of benthonic phytoplankton, and minimum values were observed during low tide when oceanic waters were entering the system. Temperature varied inversely in comparison to the upwelling index while fluorescence had a positive relationship. In addition, daily HPLC pigment concentration showed higher Chla values during high tide although there were little variation along the series. For the second scenarios, diatom densities were lower in the zone adjacent to the lagoon mouth and the condition of weak upwelling and neap tide allow a higher residence time of nutrients that enter the lagoon. This situation leads to the highest temperatures of the study period and higher Chla. Finally, during the third scenarios prevailed high turbulence conditions because of spring tide transition and the beginning of the second period of upwelling. In such situation Chla were at minimum inside BSQ and the lowest temperature was observed outside the bay, where dinoflagellates begun to increase. Phytoplankton dominant groups identified through HPLC were chlorophytes, diatoms and cryptophytes, although the presence of crysophytes, prymnesiophytes, cyanobacteria and prochlorophytes were evidenced. Photoprotector pigments increased their proportion when diatoms were resuspended from bottom, which come acclimated to low irradiances and increase those pigments in response to the high surface irradiances.



Vo.Bo. Dra. Adriana Gonzalez Silvera

CONTENIDO

I.INTRODUCCIÓN.....	1
I.1.ANTECEDENTES.....	4
II.HIPÓTESIS.....	9
III.OBJETIVOS.....	9
III.1.Objetivo general.....	9
III.2.Objetivos particulares.....	9
IV. ÁREA DE ESTUDIO.....	10
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
V.1. Variabilidad Espacial.....	11
V.2. Variabilidad Temporal.....	14
V.2.1. Variables físicas.....	14
V.2.2. Descripción de las variables físicas.....	15
V.2.3. Concentración de Clorofila-a.....	16
V.2.4. Cuantificación de microfitoplancton.....	17
V.3. Variación temporal de nutrientes, temperatura, Clorofila-a y densidad de microfitoplancton en las aguas costeras adyacentes a BSQ.....	18
V.4. Estimación de pigmentos por HPLC.....	19
V.4.1. Proporciones de pigmentos respecto a la Clorofila-a total.....	21
VI. RESULTADOS.....	22
VI.1. El Índice de Surgencia.....	22
VI.2. La Marea.....	23
VI.3. Variación temporal de nutrientes, temperatura, Clorofila-a y densidad de microfitoplancton en las aguas costeras adyacentes a BSQ.....	24
VI.4. Identificación de escenarios en función de las condiciones físicas.....	28
VI.5. Series de tiempo de la temperatura, la fluorescencia y su relación con la marea en los distintos escenarios.....	29
VI.5.1. Escenario I (Surgencia intensa y mareas vivas del 4 al 9 de junio).....	29
VI.5.2. Escenario II (Surgencia débil y marea muerta del 13 al 17 de junio).....	31
VI.5.3. Escenario III (Surgencia media y transición a marea viva del 20 al 24 de junio).....	33
VI.5.4. Relación entre las series de tiempo de la temperatura, la fluorescencia y la marea.....	35
VI.5.5. Respuesta de la temperatura y la fluorescencia a la surgencia.....	36
VI.5.6. Relación entre las series de tiempo de temperatura, fluorescencia y el índice de surgencia en los distintos escenarios.....	38
VI.6. Variación temporal del microfitoplancton en la estación fija.....	39
VI.6.1. Variación temporal de los pigmentos medidos por HPLC.....	40
VI.6.2. Proporción de pigmentos diagnósticos y de los pigmentos fotoprotectores y fotosintéticos respecto a la Cl_{TOT}	46
VI.7. Variación espacial del microfitoplancton y la Clorofila hacia el interior de SQ.....	50
VII.DISCUSIONES.....	53
VII.1. Efecto de la surgencia en la variación temporal del microfitoplancton frente a BSQ.....	53
VII.2. Efecto de la marea en la variación temporal de la temperatura y la fluorescencia.....	58
VII.3. Efecto de la surgencia en la variación temporal de la temperatura y la fluorescencia.....	62
VII.4. Variación temporal de los grupos fitoplanctónicos estimados por HPLC.....	63
VII.5 Variación espacial de la clorofila y el microfitoplancton dentro de BSQ.....	71
VIII. CONCLUSIONES.....	74
IX. BIBLIOGRAFIA.....	77

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Área de estudio, los colores indican la profundidad en metros y se enumeran las estaciones empleadas en éste trabajo. En la estación 26 se instaló la estación fija 13
- Figura 2. Índice de surgencia diario frente a BSQ (30° N 119° O). Los puntos pequeños corresponden al dato diario y los grandes a los días del muestreo de las estaciones. Las líneas punteadas indican el periodo de muestreo en la estación fija. 23
- Figura 3. Serie del nivel del mar en BSQ, referido a la Bajamar media inferior. Los círculos a la mitad indican los cuartos decrecientes y crecientes, el círculo blanco la luna nueva y el negro la luna llena. Los recuadros grises indican los periodos de mareas vivas de mayor amplitud. Mientras que el negro la marea muerta de menor amplitud 24
- Figura 4. Serie de la concentración de nutrientes y la temperatura en la estación 1 durante el periodo de muestreo. La línea de rombos representa a los silicatos, la línea de cuadros los nitratos (eje Y izquierdo) y la línea con triángulos es la temperatura (eje Y derecho)..... 25
- Figura 5. Variación temporal del microfitoplancton y de la Cl-a en la estación 1. Las barras indican la densidad de células/L (eje Y izquierdo). La línea con cuadros es la concentración de Cl-a (eje Y derecho). 26
- Figura 6. Serie de la concentración de nutrientes y la temperatura en la estación 3 durante el periodo de muestreo. La línea de rombos representa a los silicatos, la línea de cuadros los nitratos (eje Y izquierdo) y la línea con triángulos es la temperatura (eje Y derecho)..... 27
- Figura 7. Variación temporal del microfitoplancton y de la Cl-a en la estación 3. Las barras indican la densidad de células por litro (eje Y izquierdo). La línea con cuadros es la concentración de Cl-a (eje Y derecho). 28
- Figura 8. Serie de tiempo de la temperatura (línea gruesa) y del nivel del mar (línea delgada) durante el periodo del 4 al 9 de junio del 2005..... 30
- Figura 9. Serie de tiempo de la fluorescencia (línea gruesa) y del nivel del mar (línea delgada) durante el periodo del 4 al 9 de junio del 2005..... 31
- Figura 10. Serie de tiempo del nivel del mar (línea delgada) y temperatura 32 (línea gruesa) durante el periodo del 13 al 17 de junio. 32
- Figura 11. Serie de tiempo de la fluorescencia (línea gruesa) y del nivel del mar (línea delgada) durante el periodo del 13 al 18 de junio del 2005..... 33
- Figura 12. Serie de tiempo de la temperatura y del nivel del mar durante el periodo del 20 al 24 de junio del 2005. La línea gruesa indica la temperatura, la línea delgada indica el nivel del mar..... 34

Figura 13. Serie de tiempo de la fluorescencia y del nivel del mar durante el periodo del 20 al 24 de junio del 2005. La línea gruesa indica la fluorescencia, la línea delgada indica el nivel del mar en metros (eje Y derecho).	35
Figura 14. Serie de tiempo filtrada del índice de surgencia (línea delgada) y de temperatura (línea gruesa) durante el periodo del 29 de mayo al 25 de junio del 2005.	37
Figura 15. Serie de tiempo filtrada del índice de surgencia y la fluorescencia durante el periodo del 29 de mayo al 25 de junio del 2005. La línea negra corresponde al índice y la línea gris indica la fluorescencia.	38
Figura 16. Variación temporal del microfitoplancton y de la Cla-a en la estación fija.	40
Figura 17. (A). Concentración de la Cla total en la serie de tiempo. Los círculos indican las muestras tomadas durante flujo y los triángulos durante el reflujo. (B) Concentración de los pigmentos Fucoxantina (FUC), Aloxantina (ALO) y Clorofila b (Cl-b) durante el flujo. (C) Concentración de la FUC, ALO y Cl-b durante el reflujo	43
Figura 18. (A) Concentración promedio diaria de pigmentos Prasincoxantina (PRA), Violaxantina (VIOL), Diadinoxantina (DIAD), Luteína (LUT) y Divinil-Cla (DVA). (B). Concentración promedio diaria de pigmentos Peridinina (PER), Butanoloxifucoxantina (BUT), Diatoxantina (DIAT) y Hexanoloxifucoxantina (HEX)	45
Figura 19. Proporciones de pigmentos diagnósticos respecto a la Cla _{TOT} de las diatomeas (círculos), nanoflagelados (triángulos) y criptofitas (rombos) durante el flujo (A) y reflujo (B).	48
Figura 20. (A) Proporciones de pigmentos diagnósticos respecto a Cla _{TOT} de proclorofitas (rombos), cianofitas (círculos) y dinoflagelados (triángulos). Los símbolos con relleno indican las muestras durante el flujo y los símbolos vacíos el muestreo en reflujo. (B) Proporciones de pigmentos respecto a la Cla _{TOT} . Pigmentos fotosintéticos PSC (rombos) y pigmentos fotoprotectores PPC (círculos). Los símbolos con relleno indican el muestreo en flujo y los símbolos vacíos el muestreo en reflujo.	49
Figura 21. Variación temporal del fitoplancton y de la Cl-a en las estaciones 8 (A), 14(B) y 19 (C).	51
Figura 22. Variación temporal del fitoplancton y de la Cl-a en las estaciones 28 (A) y 30 (B).	53
Figura 23. Correlaciones entre el nivel del mar y la fluorescencia los días 6 y 16 de junio del 2005.	61
Figura 24. Porcentaje de abundancia relativa de los grupos de microfitoplancton en la estación fija.	69

INDICE DE TABLAS

Tabla I. Volúmenes, alturas y tiempo de sedimentación para las muestras de microfitoplancton fijadas con lugol.	18
Tabla II. Grupos fitoplanctónicos y sus pigmentos diagnósticos	21
Tabla III. Pigmentos incluidos en los carotenoides fotosintéticos y fotoprotectores.	22
Tabla IV. Escenarios propuestos en función de las condiciones físicas.....	28
Tabla V. Resultados de las correlaciones cruzadas entre marea-temperatura y marea-fluorescencia para los tres escenarios. n= número de datos. Max r = Máximo coeficiente de correlación. Retraso (h) = el desfase en horas en la r máxima.	36
Tabla VI. Resultados de las correlaciones cruzadas de las series filtradas de marea y la temperatura, la marea y la fluorescencia en distintos periodos. n= número de datos. Max r = Máximo coeficiente de correlación. Retraso (h) es el desfase en horas en la r máxima.	39

I. INTRODUCCIÓN

Los estuarios y lagunas costeras son ecosistemas que se caracterizan por su alta producción biológica y gran capacidad para procesar materiales que son intercambiados entre los ambientes terrígenos y oceánicos (Roegner y Shanks, 2001). Al ser ambientes productivos y protegidos, las lagunas costeras son refugio y fuente de alimentación para poblaciones de peces juveniles. Las lagunas también son el sitio idóneo para actividades como la acuicultura de peces y moluscos (Yañez-Arancibia, 1994; García-Esquivel *et al.* 2004).

A diferencia de los estuarios donde existe aporte de nutrientes por los ríos, las lagunas costeras dependen principalmente del océano adyacente como suministro de nutrientes. Estos a su vez, son introducidos al interior de dichos sistemas mediante las corrientes de marea. Por lo anterior, la estacionalidad de los aportes de nutrientes a estos sistemas depende de las corrientes y en general a eventos de meso-escala como son los afloramientos de aguas profundas o surgencias (Mann y Lazier, 1991).

Los eventos de surgencia suceden en la costa Oeste de los continentes, los vientos alisios con dirección hacia el ecuador causan un estrés friccional sobre la superficie del océano, generando corrientes en el mismo sentido que el viento. Sin embargo, el efecto de la rotación de la tierra provoca que el agua de la superficie del mar se mueva hacia fuera de la costa. Esta es entonces reemplazada por una masa de agua que *aflora o surge* de profundidades de 50, 100 metros o más, la cual se caracteriza por ser más fría y salada, además de tener altas concentraciones de nitratos, fosfatos y silicatos (Mann y Lazier, 1991). Los bordes orientales más importantes por su producción biológica son la corriente de las Canarias frente a la península Ibérica y NO de África, la corriente de Benguela frente al SO de África, la corriente de Perú frente a la costa O de Sudamérica y el sistema de la corriente de California (SCC), al O de Norteamérica (Falkowsky y Raven, 1997).

En la región sur del SCC la surgencia ocurre a lo largo del año, aunque las mayores intensidades suceden en el verano de mayo a junio y su duración es variable, puede ser tan corta como un día o tan larga como una semana o más (Mann y Lazier, 1991; Lassiter *et al.* 2006).

Durante los periodos de surgencia, el ecosistema consiste de una capa de agua turbulenta, fría y rica en nutrientes, que esta rodeada por zonas de alta estabilidad. Esta estructura en conjunto se expande y/o contrae de acuerdo a la intensidad del forzamiento físico. La duración de la surgencia es importante porque puede ser tan corta que ocurre a la misma escala de tiempo en que se da el crecimiento del fitoplancton (Estrada y Blasco, 1985; Wilkerson *et al.* 2006).

A corto plazo, la variabilidad en la biomasa y composición del fitoplancton está influenciada por diversos forzamientos físicos y/o procesos biológicos. Los físicos incluyen los desplazamientos verticales de los gradientes de clorofila por ondas internas ó la redistribución del fitoplancton por el efecto de corrientes superficiales debidas al viento. Los biológicos como la migración diurna de los dinoflagelados, la migración vertical del zooplancton ramoneador, o los distintos ritmos de división celular, son algunos ejemplos (Cloern *et al.* 1989).

En los eventos de surgencia, también afloran a la superficie quistes y organismos fitoplanctónicos en fase de latencia que mantienen su metabolismo bajo. Conforme la surgencia pasa, ocurren periodos de relajación en donde los organismos están expuestos a mayores intensidades de luz, que asociados con las altas concentraciones de nutrientes, responden comenzando a fotosintetizar y a dividirse rápidamente. En ésta fase puede ocurrir que los nutrientes se agoten y que organismos pequeños como las bacterias comiencen a usar los nutrientes regenerados. Este ciclo desde la surgencia hasta el agotamiento de nutrientes puede ocurrir de 5 a 7 días. Mientras que del inicio de la relajación hasta el agotamiento de nutrientes pueden pasar 3 días solamente (Wilkerson *et al.* 2006).

La composición y estructura de tallas de la comunidad de fitoplancton en los ecosistemas costeros de surgencia es importante para determinar la cantidad de producción nueva. Las diatomeas han sido reconocidas como el grupo dominante cuando nitrógeno nuevo penetra la zona eufótica. Este grupo tiene altas tasas de división y una razón favorable de fotosíntesis-respiración y suele ser acompañado por grupos como los dinoflagelados y flagelados de menor tamaño (Lassiter *et al.* 2006; Wilkerson *et al.* 2006).

En las lagunas costeras existen otros factores que influyen en la variación de la biomasa y composición del fitoplancton, como son las mareas. Estas alteran la biomasa de diversas maneras, como por ejemplo a través de la resuspensión de fitoplancton bentónico o la advección horizontal. En este sentido, la influencia es tanto en la variación espacial como temporal aunque la evaluación de estos efectos de forma aislada es difícil y no han surgido generalizaciones consistentes que los expliquen (Cloern *et al.* 1996).

La mayor parte de los estudios sobre el efecto de la surgencias en el fitoplancton se han realizado en la zona costera. Los primeros trabajos donde se comenzaron a ver similitudes entre diferentes sistemas de surgencia (Estrada y Blasco, 1985) mostraron que las zonas de surgencia de Perú y Cabo Blanco (NO África) presentaban gran abundancia de diatomeas como *Thalassiosira spp.*, *Chaetoceros spp.*, *Rhizosolenia spp.* y *Nitzschia spp.*

El fitoplancton cuenta con un pigmento ubicuo llamado clorofila, éste es el principal pigmento encargado de absorber la luz para la fotosíntesis (Kirk, 1994). Tradicionalmente se ha supuesto que la concentración de clorofila es una medida de la biomasa del fitoplancton. Sin embargo, existe una gran cantidad de pigmentos fotosintéticos accesorios que ayudan a capturar la luz cuando ésta no se encuentra disponible en cantidades necesarias, por ejemplo en zonas profundas o zonas de alta turbidez como puede ser un estuario. Por otro lado en condiciones de altos niveles de luz, se puede dañar el aparato fotosintético y por ello, los organismos han desarrollado mecanismos de fotoprotección, que no son otra cosa que pigmentos fotoprotectores (Falkowsky y Raven, 1997).

Los pigmentos accesorios y fotoprotectores han sido aislados y cuantificados gracias a la implementación de técnicas de cromatografía líquida de alta precisión (HPLC, por sus siglas en inglés) (Jeffrey *et al.* 1997). Los trabajos anteriores han permitido encontrar pigmentos característicos a cada grupo fitoplanctónico, lo que ha dado pauta al estudio de aquellos grupos que por su pequeño tamaño no habían sido encontrados en los conteos de fitoplancton mediante el microscopio óptico (Kirk, 1994).

Por otro lado, la proporción de pigmentos accesorios respecto a los fotoprotectores, da información sobre el grado de fotoaclimatación de los organismos a las condiciones de luz donde se encuentran distribuidos. De manera que la técnica de HPLC es una herramienta útil para conocer qué grupos de fitoplancton están presentes en una masa de agua y como éstos grupos contribuyen a la biomasa fitoplanctónica total, además de dar información sobre su aclimatación al entorno (Kirk, 1994; Falkowsky y Raven, 1997; Omachi, 2003; Trees *et al.* 2000).

I.1 ANTECEDENTES

La variación espacial en las zonas de surgencia ha sido documentada desde la década de los ochentas cuando Schnack y Elbrachter (1981) reportaron que las aguas costeras del NO de África estaban dominadas por diatomeas centrales, mientras que en las aguas oceánicas dominaron los microflagelados. Más recientemente, estudios realizados frente a la costa Norte de California (Wilkerson *et al.*, 2006) mostraron que después de la surgencia se dan periodos de relajación donde ocurren afloramientos de fitoplancton, principalmente diatomeas. Estas se encontraron en mayor abundancia sobre la plataforma a profundidades menores a los 100 m y se requirió una ventana de 3 a 7 días de relajación para que se acumulara la clorofila.

Los estudios realizados en cuerpos de agua interiores se han dado principalmente en estuarios de Oregon, Washington y la Bahía de San Francisco (USA), siendo el último el más estudiado. Cloern (1996) hace una revisión de los trabajos realizados dentro de la

bahía de San Francisco y presenta ejemplos de variaciones en el fitoplancton tanto espacial como temporalmente y explora los mecanismos causantes de dichas variaciones. Reporta que estos fueron tanto físicos como biológicos, como frentes de marea que causan afloramientos, resuspensión de fitoplancton bentónico, afloramiento y posterior limitación por nitrógeno causada por el mismo fitoplancton, periodos de calma y periodos de vientos provenientes del Oeste, por mencionar algunos casos.

Algunos estuarios en Oregon han sido estudiados con énfasis en los cultivos de ostión que ahí se producen. Roegner y Shanks (2001) analizaron series de tiempo de clorofila (Cl-a) dentro de un estuario (Bahía Willapa) y observaron que la advección de agua de surgencia hacia el interior del sistema mantiene a los organismos filtradores que son cultivados.

En la costa NO de la península de Baja California, se encuentra el sistema lagunar Bahía San Quintín (BSQ), que ha sido estudiado desde los setentas debido a su potencial para la acuicultura (Álvarez-Borrego *et al.* 1975; Álvarez-Borrego y Chee-Barragan, 1976). Los primeros trabajos realizados en BSQ (Lara-Lara *et al.* 1980) mostraron que la variación temporal de los nutrientes, salinidad, Cl-a y fitoplancton en la boca del sistema, se debían a la alternancia en los eventos de surgencia. Mientras que la temperatura varió debido a la marea semidiurna. Los autores identificaron a la turbulencia inducida por el viento como el principal causante de la alta turbidez que se presenta. Por otro lado, reportaron a las diatomeas como el grupo más abundante cerca de la boca y mayores abundancias de microflagelados hacia los extremos de ambos brazos. La mayor productividad primaria se reportó en superficie durante los periodos de relajación.

Millán-Núñez *et al.* (1982), analizaron series de tiempo para 3 estaciones dentro de la bahía y la boca, e identificaron a la marea como el forzamiento que importa nutrientes hacia el interior del sistema. Estos nutrientes fueron consumidos por el fitoplancton a partir del periodo de relajación en la surgencia y se agotaron por completo 8 ó 9 días después. Sin embargo, el fitoplancton no siempre estuvo dominado por las diatomeas cerca de la boca, ya que los dinoflagelados llegaron a ser los dominantes en

algunos muestreos. Mientras que en las estaciones internas, las diatomeas dominaron en abundancia sobre los dinoflagelados y ambos grupos tuvieron grandes variaciones temporales, mientras que el grupo de microflagelados presentó abundancias muy estables a lo largo del estudio e incluso no encontraron un incremento en el número de estos organismos de la boca hacia el interior.

Camacho-Ibar *et al.* (2003) estudiaron los flujos de fósforo y nitrógeno, así como la producción neta de Bahía San Quintín durante dos temporadas distintas, agosto y febrero. Encontraron que en ambas temporadas el sistema es fuente neta de fósforo y consumidor neto de nitrógeno. La heterotrofia neta del sistema en verano está determinada principalmente por la importación de fitoplancton generado en el océano adyacente durante la surgencia. Por otro lado reportaron que el área adyacente al océano exporta hacia el interior del brazo Oeste grandes cantidades de carbono, esta fuente neta de carbono hacia el interior se debe principalmente a la demanda de alimento por los ostiones que ahí se cultivan.

Recientemente, Aveytua-Alcázar (2008) simuló mediante un modelo acoplado físico-biogeoquímico la dinámica de Bahía San Quintín (BSQ) en una estación cercana a la boca de la bahía, con la finalidad de entender cómo los factores físicos y biogeoquímicos controlan la concentración de nutrientes. Sus resultados más relevantes revelan que la estacionalidad del fitoplancton y de la macroalga *Ulva spp.* dentro de BSQ está determinada por los aportes de nitratos y ambos grupos alcanzan su máximo crecimiento durante la época de surgencias. A este respecto, Aveytua-Alcázar (2008) simuló el balance dinámico del nitrógeno en época de surgencias, encontrando que en la primavera del 2004, el stock de nitrógeno fue de $\sim 850 \text{ mmol m}^{-2}$; de éste, 600 mmol m^{-2} están en bentos y 250 mmol m^{-2} en el sistema pelágico. Este nitrógeno se encuentra distribuido en diferentes compartimentos (productores primarios, nitrógeno orgánico disuelto y particulado, bacterias, zooplancton y macrobentos). El stock de nitrógeno en el fitoplancton fue de $5.7 \pm 1.5 \text{ mmol m}^{-2}$ y representa $\sim 3 \%$ del stock vegetal total. El stock

de *Ulva spp.* fue de $128 \pm 13 \text{ mmol m}^{-2}$, equivalente al ~57 % del stock vegetal total y *Zostera marina* representa ~40% del stock vegetal (Aveytua-Alcázar, 2008).

El stock de nitrógeno en el fitoplancton fue bajo. Sin embargo, su tasa de consumo fue de 4 mmol m^{-2} , similar a la tasa de consumo de *Ulva spp.* (5 mmol m^{-2}). Lo anterior indica que *Ulva spp.* puede jugar un papel importante en el consumo de nitrógeno en BSQ debido a su alta biomasa y su capacidad de capturar nitrógeno. Si bien el stock de fitoplancton es pequeño comparado con las macrofitas, su contribución a la productividad primaria neta a nivel de ecosistema puede ser del mismo orden de magnitud que las macrofitas (Aveytua-Alcázar, 2008). La autora simuló las concentraciones de nitratos, clorofila-a y temperatura para 6 días entre junio-julio 2005 durante surgencia y cubriendo tanto mareas vivas como muertas, encontrando que la magnitud del transporte de las propiedades entre BSQ y el océano se da por la combinación de la marea y las surgencias. El transporte fue mayor durante la surgencia en mareas vivas. Bajo estas condiciones se observó una diferencia de $3 \pm 1 \text{ } \mu\text{M}$ de nitratos con respecto a mareas vivas sin surgencias.

Trabajos recientes sobre la estructura de la comunidad de fitoplancton en Bahía San Quintín (Millán-Núñez *et al.* 2004; Moreno-Miranda, 2007) han podido elucidar la importancia de células de menor tamaño como cianobacterias y proclorofitas en este ecosistema. Esto a partir de la utilización de cromatografía líquida de alta precisión (HPLC), y de la identificación de pigmentos diagnóstico. Millán-Núñez *et al.* (2004), a partir del análisis de una serie de tiempo de 24 horas en una estación cercana a la boca de la bahía, reportaron por primera vez la presencia del pigmento divinil-clorofila-a, característico de las proclorofitas. Esto no había sido reportado anteriormente porque estos organismos no pueden ser vistos con el uso de microscopio convencional. Por otro lado, los autores también encontraron una abundancia constante del pigmento aloxantina, característico de las criptofitas, indicando que éste varió de manera similar a la clorofila-a, por lo que su abundancia dentro del sistema es importante.

Moreno-Miranda (2007) analizó la distribución del fitoplancton y de pigmentos por HPLC en Bahía San Quintín, reportando la presencia de criptofitas y diatomeas como los grupos más abundantes dentro del sistema. Las criptofitas dominaron en abundancia en todas las estaciones muestreadas, mientras que las diatomeas y los dinoflagelados disminuyeron de la boca hacia el interior del sistema. Los datos de HPLC mostraron que los pigmentos de criptofitas y diatomeas, contribuyeron de igual manera a la clorofila total. También reportó que los grupos de las clorofitas, las prasinofitas y dinoflagelados contribuyeron en menor medida al porcentaje total de la clorofila. Sin embargo, su corto periodo de muestreo (30 de mayo al 8 de junio 2004) no permitió ver la variación temporal en el fitoplancton y su relación con la surgencia. Por otro lado, respecto a los pigmentos accesorios y protectores, Moreno-Miranda (2007) reportó la presencia de 4 pigmentos accesorios y 2 fotoprotectores, encontrando éstos últimos en bajas concentraciones, por lo que sugiere que el estado fisiológico del fitoplancton no es resultado de la exposición a altas irradiancias.

Tomando en cuenta los estudios anteriores, el presente trabajo pretende estudiar el efecto de la surgencia en la variación temporal del fitoplancton con base en un muestreo espacial y en una serie de tiempo más larga que la estudiada por Moreno-Miranda (2007). Para ello se realizaron dos estrategias de muestreo, en una estación fija y en estaciones dentro y fuera de Bahía San Quintín (BSQ) con la finalidad de ver la variabilidad del fitoplancton en el océano adyacente y cómo éste entra al sistema y se modifica dentro de él. El periodo de estudio comprendió del 29 de mayo al 25 de junio del 2005, cubriendo un ciclo de mareas completo durante la temporada de surgencias de primavera.

II. HIPÓTESIS

La variación diurna de la biomasa del fitoplancton en BSQ se debe a la marea. A mediano plazo, los pulsos intermitentes de surgencia frente a BSQ son los responsables de la variabilidad temporal y espacial del fitoplancton dentro de la bahía.

Los periodos posteriores a la surgencias crean condiciones de estratificación en la columna de agua adyacente a BSQ con altas concentraciones de nutrientes, bajo estas condiciones se generan afloramientos de fitoplancton. En este escenario, asociado con mareas muertas esperaríamos encontrar las más altas concentraciones de fitoplancton (células por litro y de clorofila) dentro y fuera del sistema.

Si al interior de BSQ existe una mayor abundancia de criptofitas como se ha reportado anteriormente, en condiciones de surgencia y marea viva sería posible identificar mediante los pigmentos por HPLC una comunidad distinta de fitoplancton que proviene del mar adyacente.

Si el fitoplancton dentro de BSQ está aclimatado a la alta turbidez, esperaríamos encontrar mayores concentraciones de pigmentos fotosintéticos (accesorios) en las muestras durante reflujo y mayor concentración de pigmentos fotoprotectores durante flujo.

III. OBJETIVOS

III.1. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar la variación temporal de la comunidad fitoplanctónica en Bahía San Quintín durante los eventos de surgencia ocurridos en Mayo-Junio del 2005.

III.2. OBJETIVOS PARTICULARES

Identificar la variación temporal de los eventos de surgencia y describir la respuesta del fitoplancton en el océano adyacente a Bahía San Quintín.

Describir la variación temporal de la fluorescencia y la temperatura así como su relación con la marea y el índice de surgencia en una estación fija dentro de la bahía.

Estimar la variabilidad temporal de la concentración de pigmentos y carotenoides del fitoplancton durante el flujo y reflujo en la estación fija.

Describir la variación espacio-temporal de la clorofila-a y del fitoplancton en estaciones ubicadas hacia el interior del sistema.

IV. ÁREA DE ESTUDIO

BSQ se localiza en la costa Oeste de la península de Baja California, aproximadamente a 200 km al sur de Ensenada, cerca de los 30° 27' N y 116 ° 00'O. La región es árida con una precipitación media anual de 150 mm y ocurre en su mayoría de octubre a marzo (Camacho-Ibar *et al.* 2003). Es una laguna costera en forma de "Y" y cuenta con dos brazos, al oeste Bahía Falsa y al este Bahía San Simón o Bahía San Quintín (Fig. 1). El sistema cubre en total un área aproximada de 42 km² y tiene una sola boca que conecta con el mar adyacente. Su profundidad promedio es de 2 m y presenta canales con profundidad promedio de 10 m que permiten la navegación.

La marea es del tipo semi diurna y su amplitud durante marea viva es de 2.4 m. En las mareas más bajas el 20% del fondo queda expuesto al aire y los sedimentos que se observan son desde limos hasta arenas gruesas (Chávez de Nishikawa y Álvarez Borrego, 1974). A lo largo del año la zona está dominada por condiciones de alta evaporación lo que hace al sistema presentar condiciones de hipersalinidad, por lo que existe un gradiente de salinidad al igual que de temperatura que van en aumento de la boca hacia el interior de ambos brazos (Millán-Núñez *et al.* 1982). En verano los tiempos de residencia son del orden de 13 días y durante el invierno son de 20 días. Esto debido a la mayor intensidad de los vientos que facilitan la expulsión del agua de la bahía hacia el océano por la superficie, mientras que por el fondo las corrientes son hacia el interior (Flores-Vidal, 2006).

BSQ está influenciada por las surgencias costeras que se presentan a lo largo del Sistema de la Corriente de California, que son más intensas durante mayo y junio (Lara-Lara, *et al.* 1980). Durante estos eventos aflora a la superficie agua rica en nutrientes que incentiva la producción primaria, generándose afloramientos de fitoplancton, principalmente diatomeas y dinoflagelados. La abundancia de estos grupos y de la producción primaria decrece hacia los extremos internos del sistema, debido principalmente a la turbulencia y a la limitación de nutrientes. Estos, son remineralizados en el interior de BSQ provocando mayores concentraciones de fósforo que es exportado hacia el océano adyacente, mientras que los nitratos pueden ser consumidos por las macrofitas como *Ulva spp.* y *Zostera marina* (Camacho-Ibar *et al.* 2003; Zertuche *et al.* 2009). En el interior de BSQ el nanoplancton, específicamente las criptofitas son muy abundantes y su contribución a la clorofila total es del 25 al 40 % (Moreno-Miranda, 2007).

V. MATERIALES Y METODOS

Para cuantificar las variaciones del fitoplancton en el área de estudio, la estrategia de muestreo se dividió en dos partes: espacial y temporal. La primera consistió en muestrear estaciones hacia el interior de ambos brazos del sistema, además de incluir muestras en la parte externa y en la boca. Por otro lado, la variación temporal consistió en la instalación de equipo y toma de muestras diarias en una estación fija en el canal Oeste de Bahía Falsa.

V.1 VARIABILIDAD ESPACIAL

Del 31 de mayo al 25 de junio del 2005, se muestrearon 7 estaciones cada tres días (figura 1). Para ello se empleo una lancha motor fuera de borda. Las estaciones abarcaron la zona exterior a la laguna y el interior de ambos brazos. Se tomaron

muestras de agua superficial mediante un contenedor de plástico de 4 litros forrado de aluminio adherible.

Por razones de navegación y accesibilidad, todas las estaciones se visitaron con marea alta, por lo que el muestreo se realizó en dos días consecutivos, en el primero se cubrieron las estaciones 1, 3, y 8 y en el segundo las estaciones 14, 19, 28 y 30. Es decir, a lo largo del periodo de estudio se realizaron 9 muestreos en total, con espacio de 3 días entre muestreos.

A bordo de la embarcación, se preparó la muestra para medición de la concentración de Clorofila-a (Cl-a); para ello, se filtraron por presión positiva 290 ml de agua a través de un filtro de fibra de vidrio GF/F y 25 mm de diámetro. Estas muestras fueron mantenidas a temperaturas inferiores a 0 °C y en oscuridad hasta su lectura en laboratorio como se describe en la sección (V.2.3).

En tierra, se instaló un laboratorio de campo en las instalaciones de la ostrícola Agromarinos (estación 26, Figura 1). En este sitio se prepararon muestras para la cuantificación e identificación del fitoplancton de las estaciones. Para ello se almacenaron 250 ml de agua en una botella oscura de alta densidad (Nalgene) y se preservó la muestra agregando 2.5 ml de lugol, posteriormente en el laboratorio se prepararon para su lectura al microscopio invertido como se describe en la sección (V.2.4).

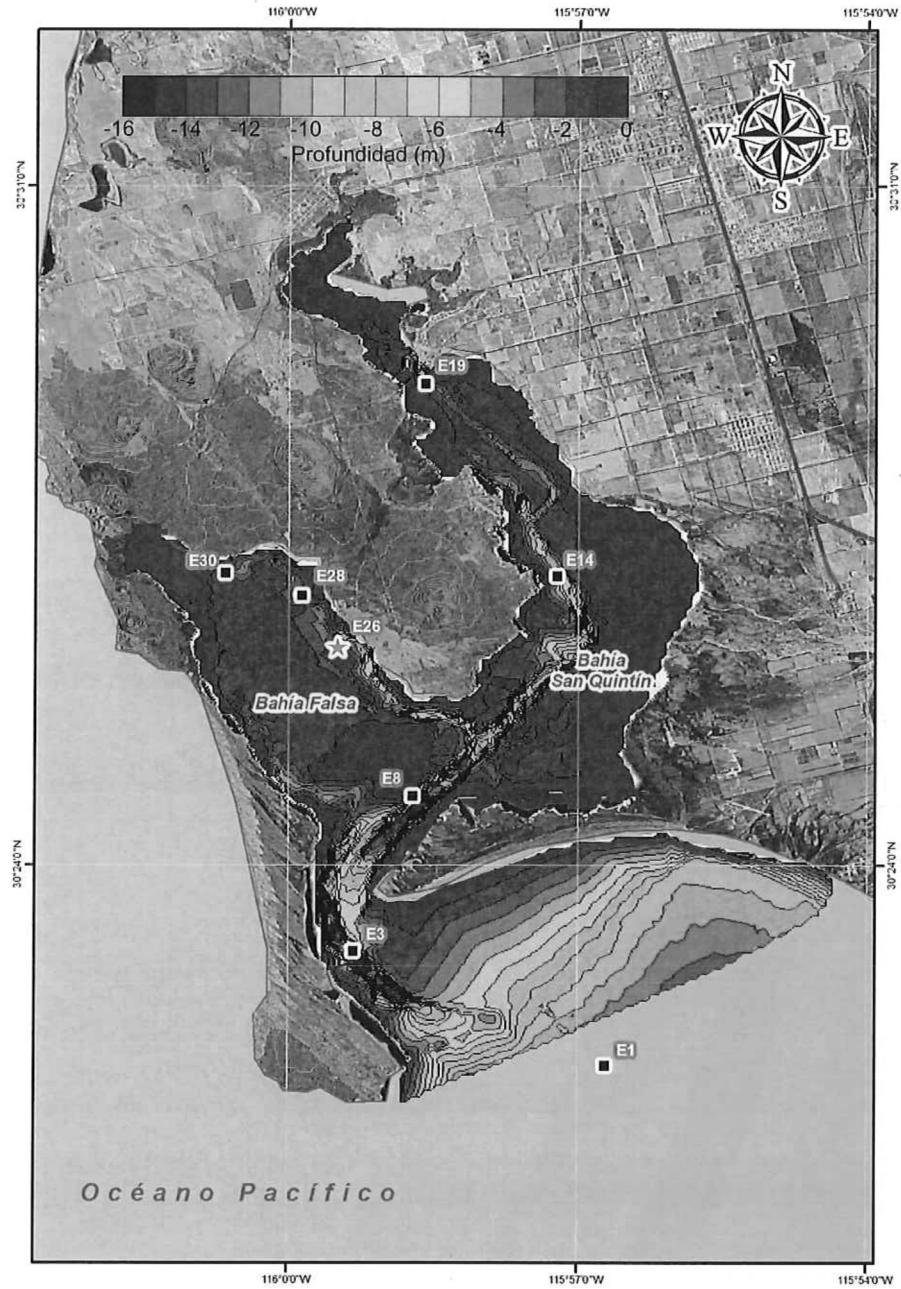


Figura 1. Área de estudio, los colores indican la profundidad en metros y se enumeran las estaciones empleadas en éste trabajo. En la estación 26 se instaló la estación fija.

V.2. VARIABILIDAD TEMPORAL

Del 29 de mayo al 25 de junio se mantuvo instalado en la estación 26 un CTD que midió de manera casi continua la temperatura, presión, conductividad y fluorescencia. Durante el día, desde las 8:00 hs hasta las 18:00 hs se tomaron muestras cada dos horas para el análisis de clorofilas y fitoplancton. Además, dos veces al día durante el flujo y el reflujos se colectaron muestras para la cuantificación de pigmentos por HPLC.

V.2.1. Variables físicas

Un CTD (Ocean Sensors OS200) equipado con fluorómetro (Chelsea Aquatrak III) se mantuvo anclado en la estación durante todo el periodo de muestreo. Los aparatos se anclaron a un flotador sobre el canal principal (lado Este de Bahía Falsa), donde la profundidad es de 6 m y el equipo se mantuvo de 0.7 a 1 m de profundidad. Los datos fueron capturados con una frecuencia de medición de 3 seg.

Para identificar la intensidad de la surgencia durante el periodo de estudio, se utilizó el índice de surgencia de Bakun. Estos datos fueron obtenidos de una boya de la NOAA instalada a 30 °N 119 °O, se extrajeron los datos diarios y cada 6 horas de la página www.pfeg.noaa.gov.

Datos del nivel del mar fueron extraídos mediante el programa Mar 6 (Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada). La serie tiene una frecuencia de 10 minutos y está referida a la bajamar media inferior (BMI) en metros.

Para poder comparar las diferentes variables, a los datos del CTD se les aplicó un filtro de paso bajo, que consiste en promediar los datos cada 10 minutos eliminando valores extremos, posteriormente fueron promediados a una hora. El mismo procedimiento fue aplicado a los datos del nivel del mar. Para el índice de surgencia que originalmente está dado cada 6 horas fue interpolado linealmente para cada periodo de 6

horas utilizando las dos observaciones consecutivas para obtener una serie del índice cada hora en dicho intervalo.

Lo anterior con la finalidad de tener las series de CTD, marea e índice de surgencia a una misma escala de tiempo y poder hacer comparaciones entre éstas.

V.2.2 Descripción de las variables físicas

Para describir a detalle las series de tiempo que se midieron con el CTD, primeramente se graficaron las series del índice de surgencia de Bakun y del nivel del mar. De esta manera se identificaron escenarios dentro del periodo en estudio, usando como criterio el traslape de las diferentes condiciones de estas dos variables. Por ejemplo: surgencia de intensidad alta, media o débil, con marea viva o muerta. Hechos los escenarios, se procedió a hacer una descripción de la variación diurna de la temperatura y la fluorescencia con respecto a la marea.

En los distintos escenarios se realizaron análisis de correlación cruzada de Pearson entre las series del CTD (fluorescencia y temperatura) y la marea como variable independiente. Esto se realizó con el objeto de medir el desfase donde se presentó el máximo grado de asociación lineal entre las variables medidas y la marea.

Para poder identificar si existe una señal en las variables temperatura o fluorescencia debidas exclusivamente a la surgencia, fue necesario filtrar el efecto de la marea en los datos de temperatura, fluorescencia e incluso el índice de surgencia. Por ello se empleó un filtro de media móvil con longitud de 24 horas.

La media móvil se calculó promediando los grupos consecutivos de las observaciones en la serie, en función de la longitud del filtro empleado, que fue de 24 horas dado que en este intervalo se da la marea semidiurna (Roegner y Shanks, 2001). Los datos así obtenidos para cada serie, se colocaron al centro del primer grupo empleado para obtener la primer media móvil. De esta manera la serie así filtrada se encuentra desfasada 12 horas con respecto al inicio de la serie original, de la misma

manera que la serie obtenida termina 12 horas antes del final de la serie. Con los datos así filtrados se graficaron series de tiempo entre la temperatura, la fluorescencia y el índice de surgencia, de manera que se identificaran visualmente tendencias y relaciones entre dichas variables. Para cuantificar dichas relaciones y ver su grado de asociación lineal, así como el desfase entre una señal y otra, se realizaron correlaciones cruzadas utilizando el coeficiente de correlación de Pearson para los distintos escenarios planteados al inicio de esta sección, siendo el desfase aquél donde se encontró el mayor grado de asociación.

V.2.3. Concentración de Clorofila-a

La determinación de Cl-a se realizó mediante el método de fluorescencia (Arar y Collins, 1992). El filtro con la muestra fue descongelado y colocado en acetona al 90%. El extracto fue mantenido en un congelador y en oscuridad durante 24 horas. Transcurrido este tiempo, los tubos aún en oscuridad se aclimataron a temperatura ambiente y posteriormente se leyeron en el fluorómetro.

Utilizando un fluorómetro Turner Designs 12 se estimó la fluorescencia del extracto a 3 sensibilidades distintas. A continuación, la muestra se acidificó con 2 gotas (0.08-0.1 ml) de HCl 0.01 N, se mezcló la solución y transcurridos 90 segundos tras acidificar, la fluorescencia fue registrada nuevamente a las mismas sensibilidades.

Para el cálculo de concentración de Clorofila-a (Cl-a), se empleó la siguiente fórmula (Arar y Collins, 1997):

$$\mu\text{g/L} = \frac{(\text{RF})(\text{FS})(\text{Ve})(\text{fd})}{(\text{Vm})}$$

donde: RF = la fluorescencia sin acidificar, FS = Factor de respuesta de la calibración para dicha sensibilidad (Gain), Ve = Volumen del extracto en litros, fd = factor de dilución y Vm = Volumen de la muestra filtrada en litros.

V.2.4. Cuantificación de microfitoplancton

Para cuantificar la abundancia del microfitoplancton se empleó la técnica de Utermöhl (1958). Esta consiste en concentrar la muestra mediante una columna de sedimentación. Los volúmenes sedimentados fueron desde 2 ml hasta 100 ml, dependiendo de la concentración de organismos. Es importante señalar que los organismos cuantificados correspondieron solamente al microfitoplancton ($>20 \mu\text{m}$) como son diatomeas y dinoflagelados, ya que el nanofitoplancton ($3\text{-}20 \mu\text{m}$) no fue posible cuantificarlo al microscopio óptico por su tamaño, ya que para ello es necesario un microscopio de epifluorescencia.

El tiempo que se dejó una muestra sedimentar dependió de la altura de la cámara (Tabla I). Las muestras fueron previamente homogeneizadas sin agitar, para evitar la formación de burbujas, esto consistió en dar vueltas a la botella manualmente en diferentes posiciones, pero teniendo cuidado de no agitar la botella.

El volumen sedimentado fue calculado en función de la concentración de Cl-a y del antecedente de que la abundancia del microfitoplancton disminuye de la boca hacia la cabeza de ambos brazos de BSQ. Sin embargo, en casi todas las muestras fueron sedimentados dos volúmenes distintos. Sí en la muestra vista al microscopio se observaban células superpuestas, la muestra se desechaba y se procedía a contar la de menor volumen sedimentado.

Las columnas fueron colocadas en una superficie horizontal, teniendo cuidado de evitar cambios bruscos de temperatura y la luz directa, así como vibraciones sobre la superficie que pudieran provocar la formación de burbujas y la concentración de las células hacia los bordes de la cámara.

Tabla I. Volúmenes, alturas y tiempo de sedimentación para las muestras de microfitoplancton fijadas con lugol.

Volumen de la cámara (ml)	Altura de la cámara (cm)	Tiempo de sedimentación (horas)
2	0.3	3
10	2	8
50	10	24
100	20	48

Para la lectura de la muestra se empleó un microscopio óptico invertido (Leika). Los conteos se hicieron a 200X y se leyó todo el fondo de la cámara, que representa un volumen aproximado de 0.5 ml.

El microfitoplancton fue identificado taxonómicamente hasta nivel de género o familia y fue reportado en grupos funcionales; es decir, diatomeas o dinoflagelados. Cuando un organismo era muy abundante, se trató de identificar hasta nivel de especie y se cuantificó aparte de su respectivo grupo funcional.

La abundancia se reportó en número de células por litro. Empleando la siguiente ecuación:

$$\text{Abundancia} \left(\frac{\text{Cel}}{\text{L}} \right) = \frac{N * 1000}{\text{vol}}$$

Donde: N es el número de células de un taxón determinado en todo el fondo de la cámara, vol es el volumen sedimentado en ml y 1000 es el factor de conversión a litro.

V.3. Variación temporal de nutrientes, temperatura, Clorofila-a y densidad de microfitoplancton en las aguas costeras adyacentes a BSQ

Con el objeto de tener un panorama general de las principales variables químicas y físicas que pueden influenciar la concentración y composición específica del microfitoplancton, se analizaron las series de tiempo de la concentración de nitratos, silicatos y de la temperatura en superficie en las estaciones costeras adyacentes a BSQ (datos proporcionados por Camacho-Ibar, 2007). Las estaciones 1 y 3 son

representativas del agua que está entrando a la laguna y también indican la cantidad de nutrientes disponibles para el fitoplancton (Camacho-Ibar *com. pers.*). Por esta razón, también se graficaron las series de tiempo del microfitoplancton contado en el microscopio y la concentración de Cl-a para ambas estaciones.

V.4. Estimación de pigmentos por HPLC

Dos veces al día, durante el flujo y el reflujo de la marea se filtraron 660 ml de agua para análisis de la concentración de pigmentos por HPLC. Para ello, se emplearon filtros Whatman de fibra de vidrio (GF/F) y se congelaron en nitrógeno líquido para preservarlos hasta su análisis en el laboratorio del Centro de Hidro-Óptica y Sensores Remotos (CHORS, por sus siglas en inglés) en la Universidad Estatal de San Diego, California.

Las clorofilas y carotenoides fueron separadas mediante Cromatografía Líquida de Alta precisión (HPLC, por sus siglas en inglés), empleando el protocolo de Bidigare y Trees (2000). Para ello, se empleó una columna ODS-2 C18, utilizando un sistema de gradiente de tres solventes con flujo de $1 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$.

La detección de los picos de los pigmentos fue realizada mediante un detector de absorción (ThermoQuest UV 6000 scanning diode array detector), de 190 a 800 nm, con una resolución de 1 nm. Un detector de fluorescencia (ThermoQuest FL 3000) se empleó para detectar y cuantificar varios productos de degradación de clorofila que ocurren a muy bajas concentraciones.

Se empleó Cantaxantina como estándar interno para corregir cambios en volumen durante la extracción. La calibración se realizó con estándares de pigmentos para determinar los factores de respuesta individual de los mismos. Las concentraciones de los estándares fueron verificadas mediante un espectrofotómetro utilizando coeficientes de absorción de la literatura (Latasa *et al.* 1996; Jeffrey *et al.* 1997).

La metodología permitió separar 23 pigmentos fotosintéticos y fotoprotectores que contienen los distintos grupos de fitoplancton. A algunos de estos pigmentos, se les

denomina pigmentos diagnósticos, ya que uno o varios de ellos son característicos de cierto grupo de fitoplancton. Esto permitió hacer una estimación más completa de la estructura de la comunidad fitoplanctónica, lo que no es posible lograr mediante la cuantificación de fitoplancton al microscopio, ya que los nanoflagelados (3-20 μ m), las cianobacterias y las proclorofitas (< 3 μ m) son células demasiado pequeñas para ser observadas al microscopio óptico.

El fitoplancton puede ser agrupado en 5 taxa principales: Cianobacterias, Proclorofitas, Nanoflagelados, Dinoflagelados y Diatomeas. Los nanoflagelados incluyen a las Prymnesiofitas, Crisófitas, Criptofitas y algas verdes (Clorophyceae y Prasinophyceae). En el presente estudio, los 5 taxa fueron representados por sus pigmentos diagnóstico (Tabla II): Zeaxantina (ZEA) para cianobacterias, Divinil Clorofila-a (DVA) para proclorofitas, Fucoxantina (FUC) para diatomeas, Peridinina (PER) para dinoflagelados, 19'-hexanoyloxyfucoxantina (HEX) para Prymnesiofitas, 19'-butanoyloxyfucoxantina (BUT) para Crisófitas, clorofila-b (Clb), Neoxantina (NEO), Prasinoxantina (PRA), violaxantina (VIOL) y Luteína (LUT) para algas verdes. Los últimos siete pigmentos en conjunto fueron usados como indicador de nanoflagelados de manera general (Omachi, 2003).

Las Criptofitas fueron separadas de los nanoflagelados debido a su alta abundancia en el sistema (Millán-Nuñez *et al.* 2004; Moreno-Miranda, 2007), siendo éstas representadas por la Aloxantina (ALO). Por otro lado, se cuantificó la Clorofila-a total (Cl_{TOT}) como la suma de la Monovinil Cl-a, Cl-a efímera, Cl-a alomérica y Clorofilide-a como lo sugerido por Jeffrey *et al.* (1997).

Tabla II. Grupos fitoplanctónicos y sus pigmentos diagnósticos

Grupo fitoplanctónico ó Taxa	Pigmentos Diagnóstico	Abreviación de los pigmentos
Cianobacterias	Zeaxantina	ZEA
Proclorofitas	Divinil Clorofila-a	DVA
Nanoflagelados		
Prymnesiofitas	19'-hexanoyloxyfucoxantina	HEX
Crisófitas	19'-butanoyloxyfucoxantina	BUT
Algas Verdes	Clorofila b, Neoxantina, Prasinoxantina, Violaxantina y Luteína	CLb, NEO PRA, VIOL LUT
Criptofitas	Aloxantina	ALO
Dinoflagelados	Peridinina	PER
Diatomeas	Fucoxantina	FUC

V.4.1. Proporciones de pigmentos respecto a la Clorofila-a total

La mayoría de los análisis de quimio-taxonomía reportan proporciones de los pigmentos marcadores (o diagnóstico), respecto a la concentración de Cl_{TOT} para estimar la estructura de la comunidad. Así, los seis grupos de fitoplancton: cianofitas, proclorofitas, nanoflagelados (Tabla II), criptofitas dinoflagelados y diatomeas fueron representados en este trabajo por la concentración de sus pigmentos diagnóstico normalizados por la Cl_{TOT} de la siguiente manera: Cianofitas (ZEA/Cl_{TOT}), proclorofitas ($DVCl_{TOT}/Cl_{TOT}$), nanoflagelados ($HEX+BUT+CLb+NEO+PRA+VIOL+LUT/Cl_{TOT}$), criptofitas (ALO/Cl_{TOT}), dinoflagelados (PER/Cl_{TOT}) y diatomeas (FUC/Cl_{TOT}) (Jeffrey *et al.* 1997).

Con la finalidad de observar tendencias en la variación temporal de los datos, la Cl_{TOT} y la proporción de pigmentos diagnóstico por grupo, fueron separados según el tipo de marea en que fueron tomados, flujo o reflujos y de esta manera fueron graficados contra el tiempo.

Para estudiar el nivel de aclimatación de la comunidad fitoplanctónica a la exposición a la luz, los carotenoides se separaron según su función (Trees *et al.* 2000; Omachi, 2003) en carotenoides fotosintéticos (PSC) y carotenoides fotoprotectores (PPC) (Tabla III) y se normalizaron por la concentración de Cl_{TOT} . Posteriormente, los carotenoides fueron separados según la hora de muestreo, con la finalidad de ver si

existían diferencias en la comunidad del fitoplancton que entra con el flujo y la que sale con el reflujo, finalmente los datos fueron graficados contra el tiempo.

Tabla III. Pigmentos incluidos en los carotenoides fotosintéticos y fotoprotectores.

Función de los Carotenoides	Pigmentos incluidos
Carotenoides fotosintéticos PSC	Fucoxantina 19'-hexanoyloxyfucoxantina 19'-butanoyloxyfucoxantina Prasinoxantina Peridina
Carotenoides fotoprotectores PPC	Violaxantina Zeaxantina Aloxantina Diadinoxantina Diatoxantina Luteína Neoxantina

VI.- RESULTADOS

Para explicar la variación temporal del fitoplancton dentro de Bahía San Quintín, es necesario conocer las condiciones físicas del océano adyacente al sistema. Para ello, se describe primeramente la variación del índice de surgencia como indicador de los periodos de mayor o menor aporte de agua profunda, fría y rica en nutrientes. Posteriormente se describe la variación en la marea durante el periodo de estudio, que es el mecanismo que rige la magnitud y periodo en que entra y sale el agua de BSQ.

VI.1. EL ÍNDICE DE SURGENCIA

A lo largo del periodo de estudio, el índice de surgencia diario (figura 2) presentó valores entre 44 y 220 m³/s/100m de línea de costa. Previo al muestreo el índice se mantuvo dentro del intervalo de baja intensidad o surgencia débil los días del 25 al 28 de mayo. Al inicio del muestreo, el día 29 de mayo, la surgencia presentó una intensidad media con valores por arriba de 100 m³/s/100m, manteniendo valores cercanos hasta el 4 de junio. Se observó un máximo el 6 de junio, cuando se dio una surgencia de intensidad

alta que se mantuvo hasta el día 10 de junio. Posteriormente, el índice llegó al mínimo los días del 13 al 15 de junio, manteniéndose dentro del intervalo de intensidad débil hasta el 17 de junio. Posterior al día 18, el índice vuelve a valores medios de intensidad incrementándose paulatinamente a partir del 19 de junio con un pico el día 22 y se mantiene en el rango hasta el final del muestreo el día 25 de junio.

En resumen, existieron dos periodos de surgencia importantes (Fig. 2). El primero, entre el 5 y 10 de junio de intensidad alta y mayor duración, mientras que el segundo ocurrió entre el 18 y 25 de junio y fue de intensidad media. Mientras que entre el día 12 y el 17 de junio la intensidad se redujo y este periodo fue considerado de surgencia débil.

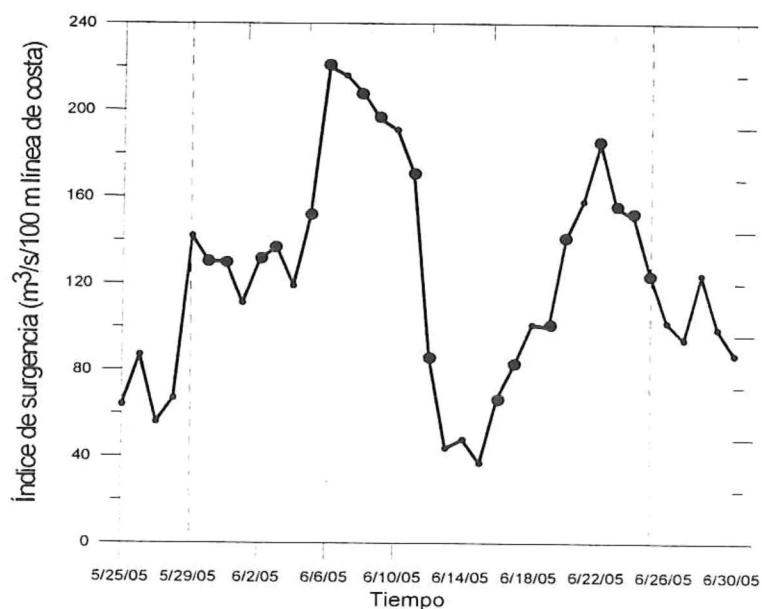


Figura 2. Índice de surgencia diario frente a BSQ (30° N 119° O). Los puntos pequeños corresponden al dato diario y los grandes a los días del muestreo de las estaciones. Las líneas punteadas indican el periodo de muestreo en la estación fija.

VI.2. LA MAREA

En el periodo de estudio se presentó un ciclo de mareas completo (Fig. 3). Al inicio de la serie, del 29 de mayo al 3 de junio la marea se encontró en un periodo de transición entre marea muerta y viva con valores entre 0 y 1.8 m. El día 4 se comenzó a

ver el efecto de la marea viva y éste perduró hasta el día 8 con variaciones en el intervalo de -0.22 a 1.8 m. Del 9 al 12 de junio se presentó la transición entre marea viva y muerta. La marea muerta se presentó entre los días 13 y 17 de junio, donde la variación en el nivel del mar fue de 0.13 a 1.5 m, la mínima de la serie. Del 18 al 19 de junio se observó otro periodo de transición entre marea muerta y viva, dado que la amplitud se reportó entre -0.12 y 1.8 m. Posteriormente, del 20 al 24 de junio se presentó la marea viva de mayor amplitud con valores de -0.47 a 2 m.

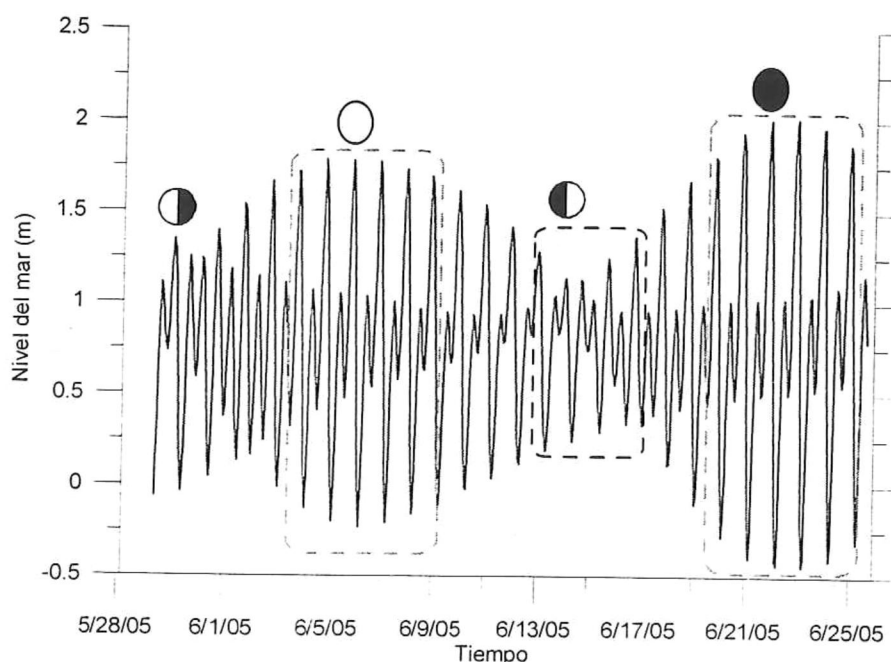


Figura 3. Serie del nivel del mar en BSQ, referido a la Bajamar media inferior. Los círculos a la mitad indican los cuartos decrecientes y crecientes, el círculo blanco la luna nueva y el negro la luna llena. Los recuadros grises indican los periodos de mareas vivas de mayor amplitud. Mientras que el negro la marea muerta de menor amplitud.

VI.3. VARIACIÓN TEMPORAL DE NUTRIENTES, TEMPERATURA, CLOROFILA-A Y MICROFITOPLANCTON EN LAS AGUAS COSTERAS ADYACENTES A BSQ

Tomando en cuenta que la toma de muestras se realizó durante la pleamar, las estaciones 1 y 3 representan al agua costera superficial que penetra a BSQ. De manera que, en esta sección se describen las series de tiempo de la temperatura, nutrientes,

clorofila y microfitoplancton en dichas estaciones con el objeto de conocer las propiedades del agua que entra a BSQ.

Los silicatos y los nitratos siguieron la misma tendencia general a lo largo de la serie (Fig. 4). Del 5 al 12 de junio ambos variaron con mínimos cercanos a $10 \mu\text{M}$ y máximos alrededor $17.5 \mu\text{M}$. El día 12 se observó una disminución que se prolongó hasta un mínimo el 17 de junio con valores de $3 \mu\text{M}$ los nitratos y $7 \mu\text{M}$ los silicatos. A partir del día 20, las concentraciones de ambos nutrientes se incrementaron llegando los silicatos al máximo de $26 \mu\text{M}$ el día 23 de junio. Por otro lado, la temperatura presentó mínimos alrededor de $14 \text{ }^\circ\text{C}$ y máximos de más de $16 \text{ }^\circ\text{C}$, los cuales ocurrieron el primer día de muestreo y el día 17, cuando se dieron los mínimos de nutrientes.

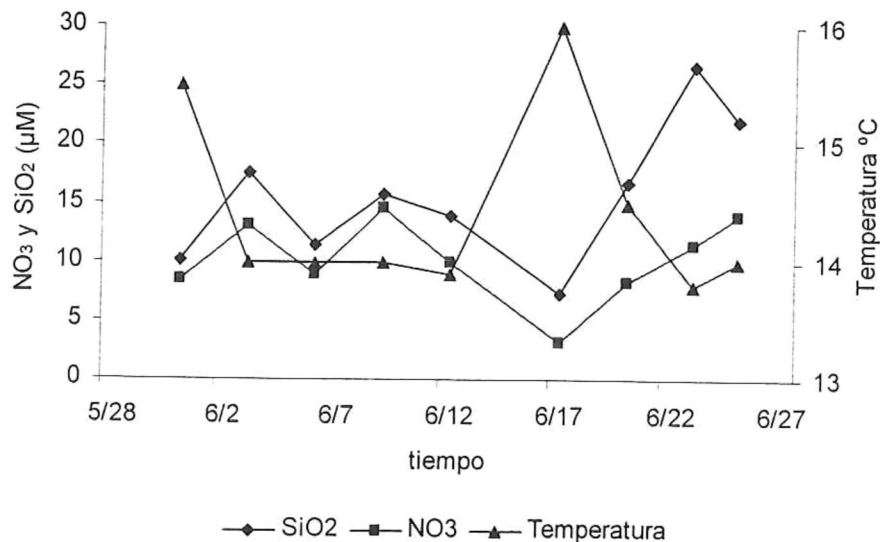


Figura 4. Serie de la concentración de nutrientes y la temperatura en la estación 1 durante el periodo de muestreo. La línea de rombos representa a los silicatos, la línea de cuadros los nitratos (eje Y izquierdo) y la línea con triángulos es la temperatura (eje Y derecho).

Se observó un incremento paulatino en la densidad de células y en la CI-a del 31 de mayo al 9 de junio (Fig. 5). Las diatomeas se incrementaron de 12,400 a un máximo cercano al millón de células por litro el día 12 de junio. Posteriormente, el día 17 disminuyeron a 42,500 células/L. Esta tendencia continuó durante los últimos tres muestreos presentando valores entre 1,000 y 2,000 células/L. Por otro lado, los dinoflagelados se presentaron en muy baja proporción con respecto a las diatomeas.

Estos aumentaron paulatinamente del inicio del muestreo hasta 53,500 el día 12 de junio. A partir del día 17 este grupo se encontró en la misma proporción que las diatomeas, pero el 20 de junio los dinoflagelados duplicaron en número a las diatomeas con 4,800 células/L y aumentaron a casi 20,000 células/L los últimos dos días.

La concentración de Cl-a aumentó paulatinamente de 1 mg m^{-3} el 31 de mayo hasta un máximo de 4.6 mg m^{-3} el 9 de junio. Posteriormente, los valores disminuyeron a casi un miligramo y se mantuvieron hasta el 20 de junio cuando disminuyeron a menos de 1 mg m^{-3} .

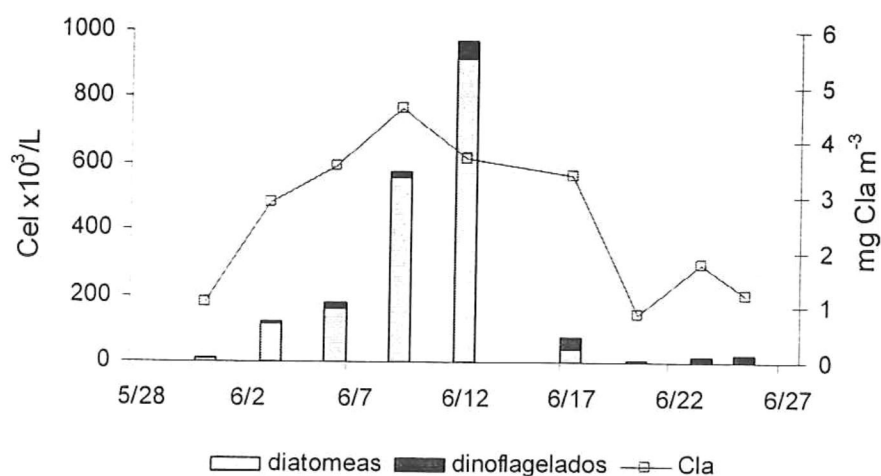


Figura 5. Variación temporal del microfitoplancton y de la Cl-a en la estación 1. Las barras indican la densidad de células/L (eje Y izquierdo). La línea con cuadros es la concentración de Cl-a (eje Y derecho).

En la estación 3, los silicatos y nitratos siguieron la misma tendencia durante todo el muestreo y sus concentraciones fueron similares a la estación 1 (Fig. 6). Se observó un decremento considerable el 17 de junio, volviendo a aumentar para el día 20. La temperatura presentó dos máximos, el primer día de muestreo y el 17 de junio, mientras que el mínimo de $13 \text{ }^{\circ}\text{C}$ se observó el 23 de junio, aumentando casi un grado hacia el final del muestreo.

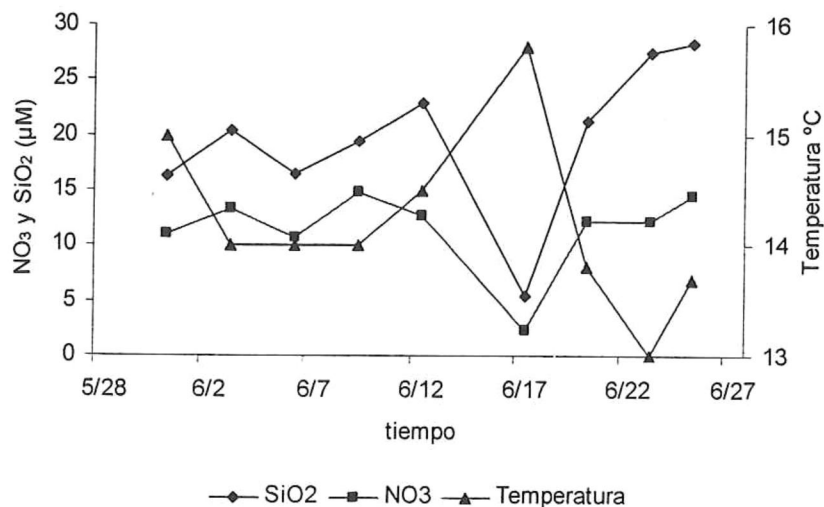


Figura 6. Serie de la concentración de nutrientes y la temperatura en la estación 3 durante el periodo de muestreo. La línea de rombos representa a los silicatos, la línea de cuadros los nitratos (eje Y izquierdo) y la línea con triángulos es la temperatura (eje Y derecho).

En la estación 3, se presentaron densidades celulares menores a la estación 1 (Fig. 7), siendo éstas casi 10 veces menores. Las diatomeas se incrementaron paulatinamente de 10,000 el 31 de mayo hasta más de 100,000 células/L el 12 de junio. Sin embargo, el día 17 disminuyó su densidad y continuó su descenso hasta 1,000 células/L el 25 de junio. Por otro lado, los dinoflagelados presentaron bajas abundancias en los primeros 3 muestreos. Sin embargo el 9 de junio aumentó su densidad y proporción respecto a las diatomeas con 8,400 células/L. Entretanto el 17 de junio se observó una inversión en la proporción de dinoflagelados con respecto a las diatomeas y aumentó hasta cerca de 40,000 el 23 de junio.

La concentración de Cl-a comenzó con valores cercanos a 1 mg m^{-3} y disminuyó ligeramente hasta el 6 de junio. Posteriormente incrementó de forma gradual hasta un máximo de 5 mg m^{-3} el día 17. A partir de ahí disminuyó hasta valores entre 1 y 2 mg m^{-3} durante los tres últimos muestreos.

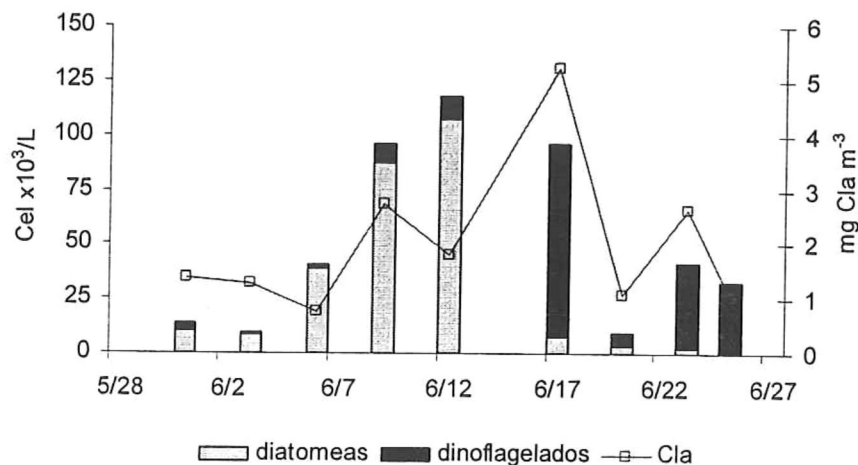


Figura 7. Variación temporal del microfitoplancton y de la Cl-a en la estación 3. Las barras indican la densidad de células por litro (eje Y izquierdo). La línea con cuadros es la concentración de Cl-a (eje Y derecho).

VI.4. IDENTIFICACIÓN DE ESCENARIOS EN FUNCIÓN DE LAS CONDICIONES FÍSICAS

Con la finalidad de describir detalladamente las series de tiempo de la temperatura y la fluorescencia obtenidas con el CTD en la estación fija, se identificaron 3 escenarios (Tabla IV) en función del índice de surgencia y la marea.

Escenario	Periodo	Intensidad de la surgencia	Marea
I	4-9 junio	Alta	Viva
II	13-17 junio	Débil	Muerta
III	20-24 junio	Medía	Viva

En la tabla IV se proponen tres escenarios bajo diferentes condiciones, el escenario I involucra al periodo de surgencia más intenso en la serie y coincide con la primera marea viva. En el escenario II se presentó la menor intensidad en el índice de surgencia al tiempo que se presentó la marea muerta. Finalmente el escenario III se da en la marea viva de mayor amplitud y el índice de surgencia fue de intensidad media. Los escenarios II y III abarcan 5 días completos, mientras que el primero abarcó 6 días.

VI.5. SERIES DE TIEMPO DE LA TEMPERATURA, LA FLUORESCENCIA Y SU RELACIÓN CON LA MAREA EN LOS DISTINTOS ESCENARIOS

VI. 5.1. Escenario I (Surgencia intensa y mareas vivas del 4 al 9 de junio)

El escenario I, contempla los días del 4 al 9 de junio. Sin embargo, el día 9 el sensor de temperatura sufrió una avería, por lo que se tienen datos hasta las 9:00 a.m. Los datos se presentan con frecuencia de una hora y la serie comienza a las 12:00 a.m. del 4 de junio y termina a las 9:00 a.m. del 9 de junio. Para este periodo la temperatura osciló entre 15.2 y 19.5 °C, presentándose la máxima el día 7 cerca del medio día, mientras que la mínima se presentó el mismo día cerca de la media noche (Fig. 8).

El nivel del mar (Fig. 8) tuvo una variación entre 1.8 m en la pleamar superior y -0.23 m en la bajamar inferior. Por otro lado, entre la pleamar inferior y la bajamar superior la variación fue dentro del intervalo de 1 a 0.5 m, respectivamente. En este periodo la temperatura varió entre 18 y 19 °C.

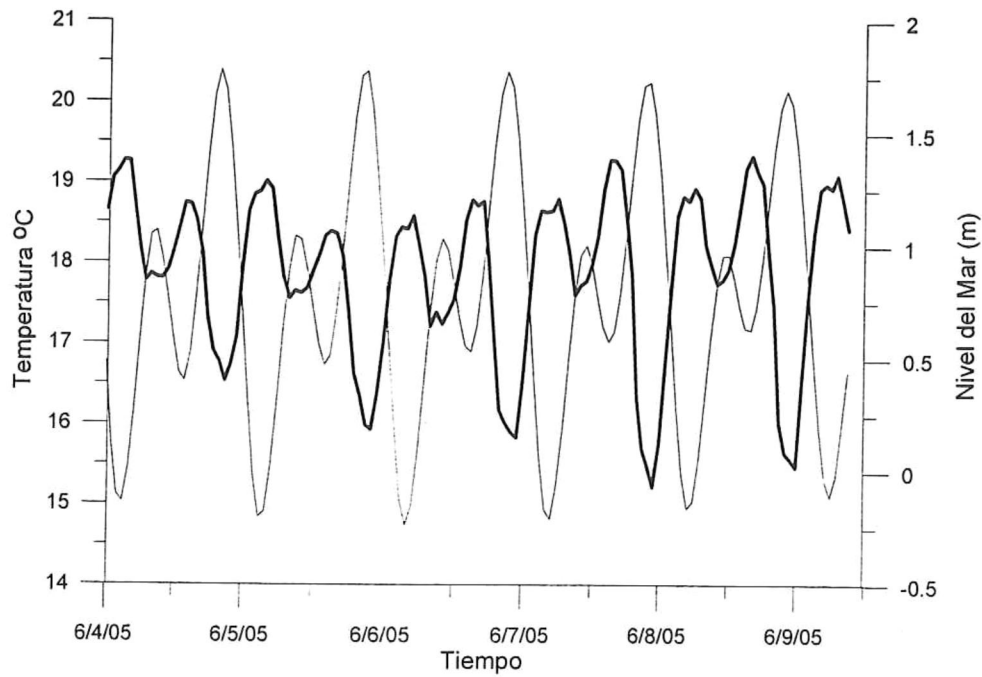


Figura 8. Serie de tiempo de la temperatura (línea gruesa) y del nivel del mar (línea delgada) durante el periodo del 4 al 9 de junio del 2005.

En general, se observó que durante la bajamar inferior se presentaron los máximos de fluorescencia, mientras que los mínimos se dieron durante la pleamar superior (Fig. 9). Los máximos están precedidos por los mínimos diarios que sucedieron durante la pleamar superior. El día 8 los valores comenzaron a disminuir y se presentó el mínimo cerca de la pleamar superior en la madrugada del día 9 de junio.

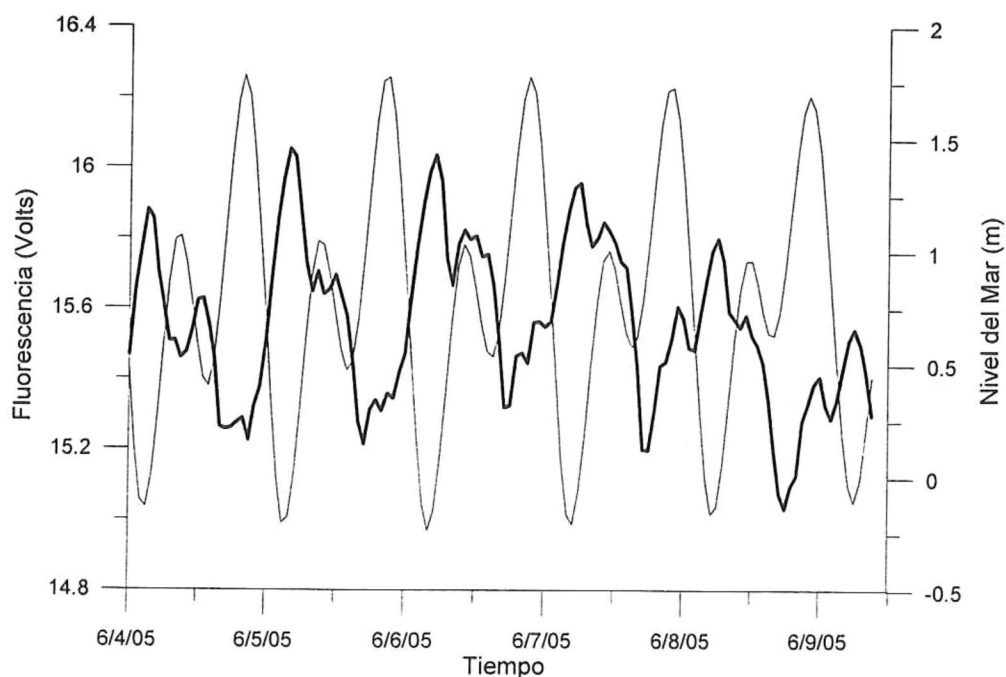


Figura 9. Serie de tiempo de la fluorescencia (línea gruesa) y del nivel del mar (línea delgada) durante el periodo del 4 al 9 de junio del 2005.

VI. 5.2. Escenario II (Surgencia débil y marea muerta del 13 al 17 de junio)

En la serie de temperatura para el periodo del 16 al 17 de junio (Fig. 10). Se observó al igual que en el escenario I, una relación inversa entre temperatura y nivel del mar, presentándose los máximos en la bajamar inferior con valores cercanos a 20 °C, mientras que los mínimos se presentaron próximos a la pleamar superior cerca de los 18 °C.

Por su parte el nivel del mar presentó poca variación los días 13 y 14 de junio, con valores entre 0.25 y 1.10 m. A partir del día 15 la amplitud en la variación de la marea se incrementó y se presentaron valores entre 0.3 y 1.5 m para el 17 de junio, aunque todo este periodo lo consideramos dentro del rango de mareas muertas.

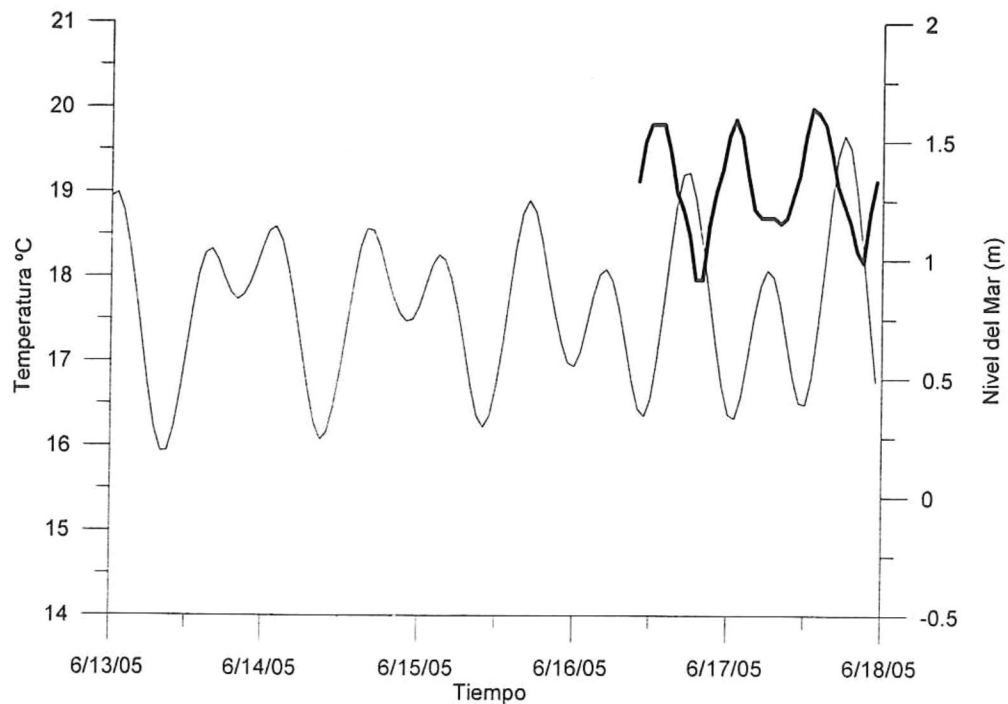


Figura 10. Serie de tiempo del nivel del mar (línea delgada) y temperatura (línea gruesa) durante el periodo del 13 al 17 de junio.

En las series de fluorescencia y marea del escenario II (Fig. 11) fue notoria la presencia de una variación diurna, presentándose los máximos durante la bajamar inferior y los mínimos en la pleamar superior, lo que se observó claramente en el periodo del 15 al 17 de junio. Este último día presentó el mínimo de la serie, mientras que el máximo se observó el 16 de junio.

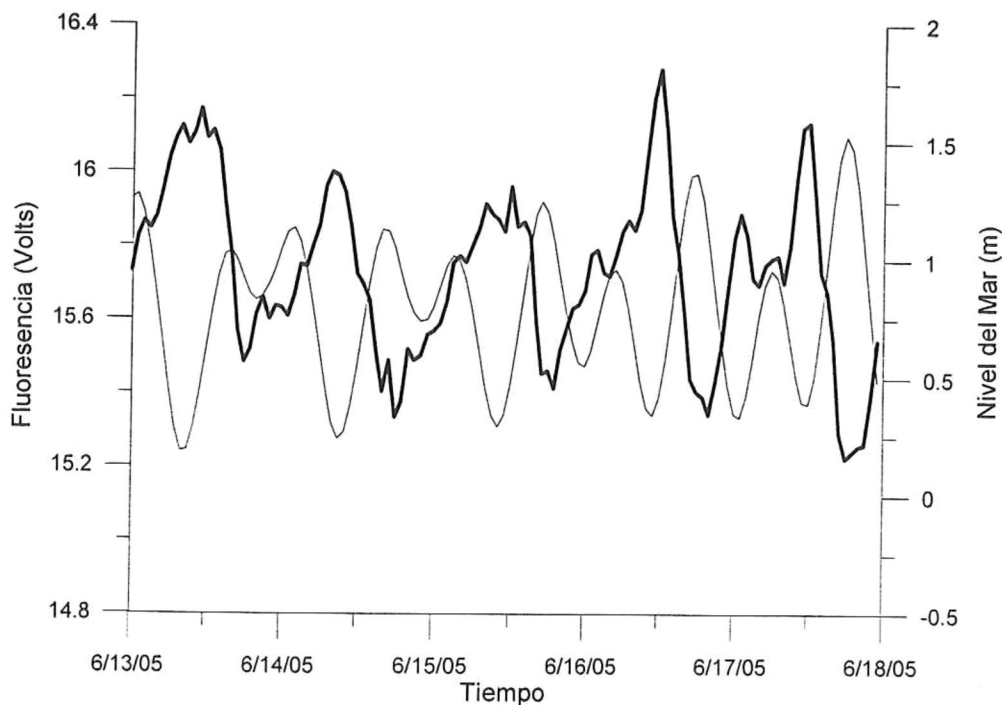


Figura 11. Serie de tiempo de la fluorescencia (línea gruesa) y del nivel del mar (línea delgada) durante el periodo del 13 al 18 de junio del 2005.

VI. 5.3. Escenario III (Surgencia media y transición a marea viva del 20 al 24 de junio)

Este escenario presentó la marea viva de mayor amplitud (Fig. 12), con un intervalo de -0.4 a 2.0 m en la bajamar inferior y la pleamar superior. Por otro lado, el intervalo entre la pleamar inferior y la bajamar superior varió entre 0.5 y 1.1 m.

La temperatura presentó los mínimos de la serie, con una disminución gradual del 20 al 24 de junio, cuando se presentaron valores inferiores a 15 °C que coincidieron con la pleamar superior del 22 al 24 de junio. La diferencia diaria entre los dos máximos de temperatura en la pleamar superior e inferior fue disminuyendo gradualmente, ya que al inicio esta diferencia fue de 19.3 a 20.2 °C, mientras que el día 24 la diferencia fue de 18.1 a 18.3 °C.

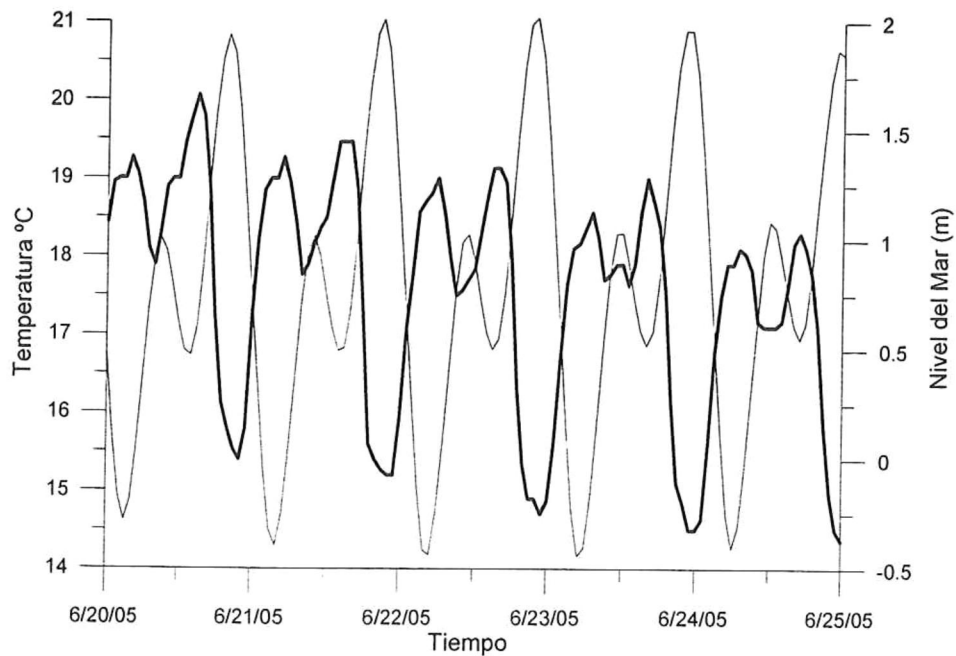


Figura 12. Serie de tiempo de la temperatura y del nivel del mar durante el periodo del 20 al 24 de junio del 2005. La línea gruesa indica la temperatura, la línea delgada indica el nivel del mar.

La fluorescencia (Fig. 13), varió en un intervalo entre 15.2 y 16 Volts, presentándose ambos valores el mismo día 20 y éstos coincidieron con la pleamar superior y la bajamar inferior respectivamente. Posteriormente la fluorescencia varió en un intervalo menor llegando a una mínima variación el 22 de junio.

En relación a la marea, la fluorescencia presentó una relación compleja, ya que uno de los dos picos máximos diarios se presentó poco después de la pleamar superior, mientras que el otro pico máximo se observó cercano a la bajamar inferior. Por otro lado, los mínimos de fluorescencia parecen asociados con el periodo en que la marea está en ascenso hacia la pleamar superior.

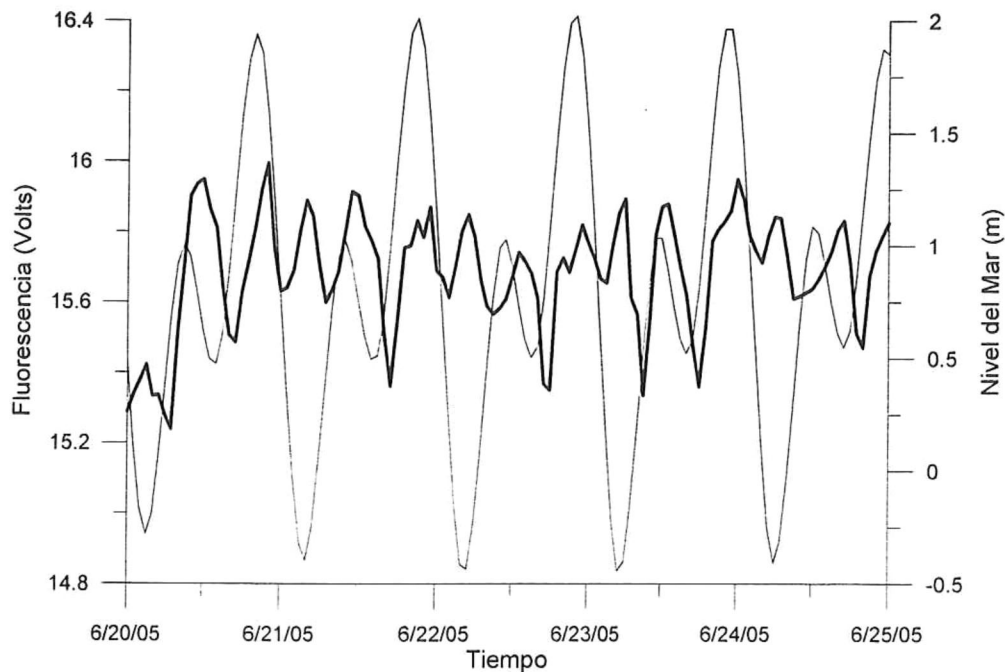


Figura 13. Serie de tiempo de la fluorescencia y del nivel del mar durante el periodo del 20 al 24 de junio del 2005. La línea gruesa indica la fluorescencia, la línea delgada indica el nivel del mar en metros (eje Y derecho).

VI. 5.4. Relación entre las series de tiempo de la temperatura, la fluorescencia y la marea.

Dado que la marea parece ser la causante de la variación en la temperatura y en la fluorescencia, se procedió a analizar la relación entre las variables marea-temperatura y marea fluorescencia para cada escenario (tabla V). El desfase empleado fue aquél donde se encontró la mayor asociación entre las variables. Se presenta la máxima correlación detectada (Pearson) y el desfase de la variable con respecto a la marea donde se encontró dicho máximo. Todas las correlaciones resultaron significativas ($p < 0.05$).

Los valores positivos en el desfase indican que la primera variable en cada lista precede a la segunda variable por el desfase indicado. En todos los escenarios, la correlación entre la marea y la temperatura mostraron una correlación negativa, es decir que a mayor amplitud de marea menor temperatura y a menor amplitud de marea mayor

temperatura. Por otro lado, el tiempo de respuesta fue desde 0 horas hasta 2 horas, dependiendo de la amplitud de marea en cada escenario.

Por otro lado, las correlaciones entre la marea y la fluorescencia fueron negativas para los escenarios I y II, más no para el escenario III. En los primeros dos escenarios el tiempo de desfase de la fluorescencia con respecto a la marea fue desde -2 hasta 2 horas. El desfase negativo se debe a que la fluorescencia en algunas ocasiones presentó un máximo antes de la bajamar inferior. En otras ocasiones la tendencia fue inversa, presentándose el mínimo de fluorescencia posterior a la pleamar superior. Para el escenario III el desfase entre las variables fue positivo y el coeficiente de correlación fue menor.

Tabla V. Resultados de las correlaciones cruzadas entre marea-temperatura y marea-fluorescencia para los tres escenarios. n= número de datos. Max r = Máximo coeficiente de correlación. Retraso (h) = el desfase en horas en la r máxima.

Escenario	Series de tiempo comparadas	n	Max r	Retraso (h)
I	Marea vs Temperatura	130	-0.83	1
I	Marea vs Fluorescencia	130	-0.55 a -0.54	-2 a 1
II	Marea vs Temperatura	38	-0.81	2
II	Marea vs Fluorescencia	120	-0.69 a -0.67	0 a 2
III	Marea vs Temperatura	120	-0.76 a -0.78	0 a 1
III	Marea vs Fluorescencia	109	0.39 a 0.4	2 a 3

VI. 5.5. Respuesta de la temperatura y la fluorescencia a la surgencia

Dado que la marea es la causante de la variación en la temperatura y la fluorescencia dentro de BSQ, fue necesario realizar un filtrado de las variables para quitar dicha señal y así poder evaluar el efecto de la surgencia (Sección V.2.2). El mismo proceso se aplicó a la serie del índice de surgencia y los datos tienen una frecuencia de una hora.

La serie de temperatura se dividió en dos partes, la primera del 29 de mayo al 8 de junio, cuando funcionaba el sensor del CTD y la segunda parte del 16 al 25 de junio con datos provenientes del termógrafo (Fig. 14). En general, se observó una relación inversa entre el índice y la temperatura.

En la primera sección de la serie de temperatura (Fig. 14) se observó al inicio una ligera disminución para el día 31 de mayo. Sin embargo, a partir del 1 de junio los valores aumentaron por encima de los 19 °C el día 3 de junio y disminuyeron paulatinamente hasta 17.5 °C el 6 de junio, siendo que en éste último el índice de surgencia comenzó a aumentar paulatinamente hasta el máximo el 7 de junio.

Los valores máximos del índice de surgencia ocurrieron cuando no hay registro de temperatura. El 16 de junio cuando se reinician los registros de temperaturas se presentaron valores por arriba de los 19 °C el 17 y 18 de junio. Esto como resultado de la baja intensidad de surgencia que se presentó del 13 al 17 de junio. Posteriormente, el índice comenzó a aumentar gradualmente y esto se reflejó en la disminución paulatina de la temperatura hasta valores inferiores a 17 °C al final de la serie.

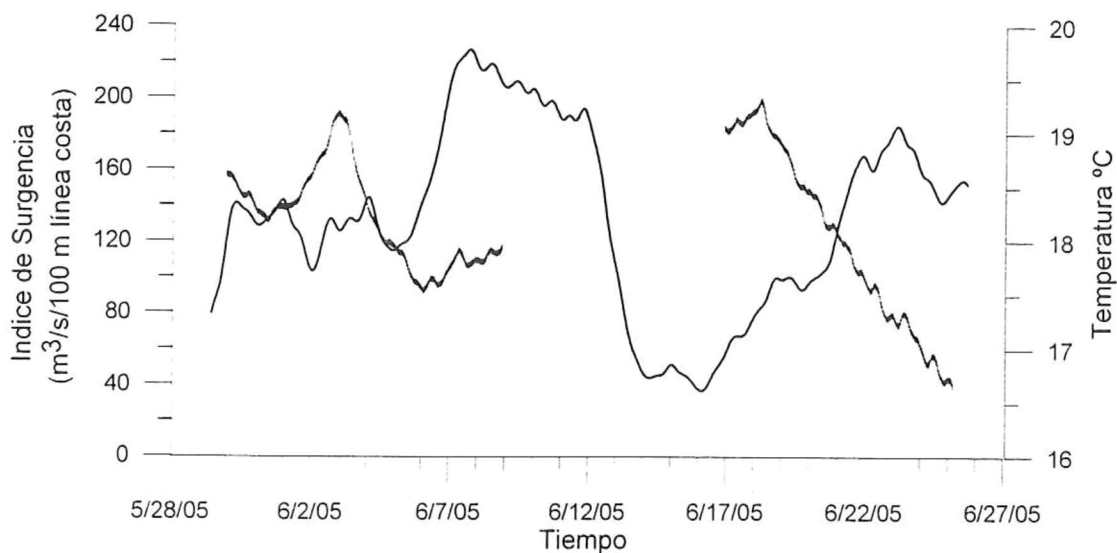


Figura 14. Serie de tiempo filtrada del índice de surgencia (línea delgada) y de temperatura (línea gruesa) durante el periodo del 29 de mayo al 25 de junio del 2005.

Al igual que la serie de temperatura, la de fluorescencia consta de dos secciones, la primera del 29 de mayo al 8 de junio y la segunda del 10 al 25 de junio. Esto debido al retiro del CTD para su revisión al momento de la avería del sensor de temperatura. En la primera sección de la serie, se observó al inicio una disminución en la fluorescencia conforme el índice aumenta (Fig. 15). Sin embargo, a partir del 3 de junio la fluorescencia

aumentó gradualmente hasta el 5 de junio, periodo en el que el índice de surgencia comenzó su aumento y disminuyó ligeramente hacia el día 5. A partir del día 7, la fluorescencia disminuyó paulatinamente, mientras que el índice de surgencia va en aumento y llega a un máximo el día 8. En la segunda sección de la serie de fluorescencia, se registraron valores máximos entre el 11 y 13 de junio. Periodo en el que el índice de surgencia comenzó a disminuir. Al encontrarse el índice de surgencia en sus mínimos del 14 al 16 de junio, la fluorescencia presentó valores altos. A partir del 17 de junio, el índice comenzó a incrementarse paulatinamente, mientras que la fluorescencia fue en descenso gradual hasta un mínimo el 19 de junio, posteriormente vuelve a incrementarse siguiendo la tendencia del índice a aumentar hacia el final de la serie.

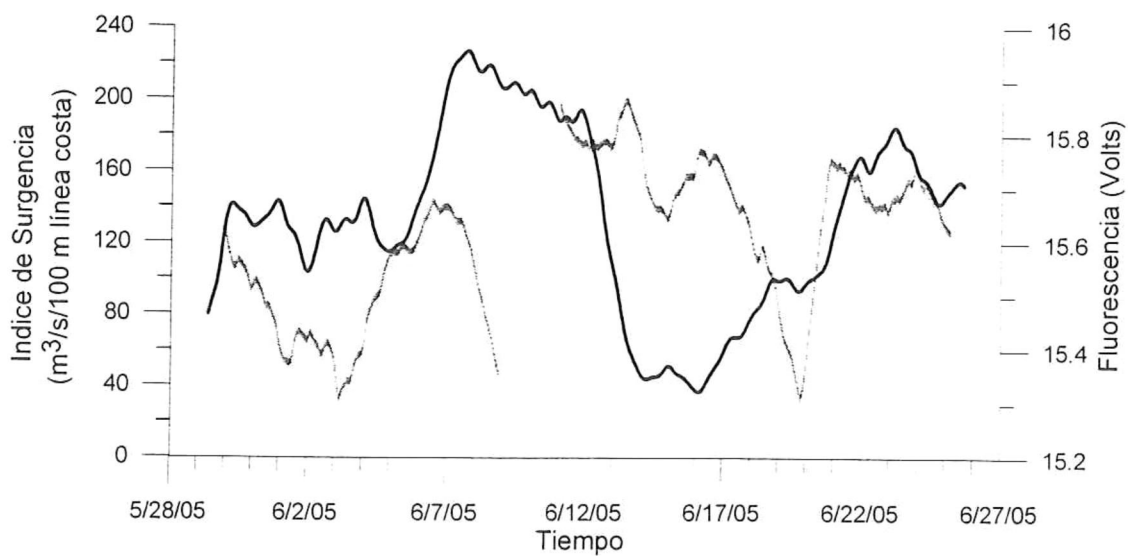


Figura 15. Serie de tiempo filtrada del índice de surgencia y la fluorescencia durante el periodo del 29 de mayo al 25 de junio del 2005. La línea negra corresponde al índice y la línea gris indica la fluorescencia.

VI. 5.6. Relación entre las series de tiempo de temperatura, fluorescencia y el índice de surgencia en los distintos escenarios

Para los distintos periodos donde se compararon datos del índice de surgencia y temperatura, la relación entre las variables fue inversa y el grado de asociación fue menor

a 0.7, aunque el desfase entre las series fue muy diferente. En el periodo del 30 de mayo al 8 de junio fue de 41 a 44 horas, y en el segundo fue de 1 a 6 horas. La correlación del índice con la fluorescencia fue positiva en los dos periodos. En el primero del 30 de mayo al 8 de junio la correlación fue mayor a 0.7 con un desfase de 27 o 28 horas, mientras que para la segunda parte de la serie el desfase fue de 48 horas y la correlación fue de 0.34.

Tabla VI. Resultados de las correlaciones cruzadas de las series filtradas de marea y la temperatura, la marea y la fluorescencia en distintos periodos. n= número de datos. Max r = Máximo coeficiente de correlación. Retraso (h) es el desfase en horas en la r máxima.

Periodo de la serie	Variables comparadas	n	Max r	Retraso (h)
30 May - 08 Jun	Índice de surgencia vs temperatura	240	-0.702	35
30 May - 08 Jun	Índice de surgencia vs fluorescencia	240	0.756	27 a 28
16 Jun-25 Jun	Índice de surgencia vs temperatura	224	-0.883	1
11 Jun-25 Jun	Índice de surgencia vs fluorescencia	340	0.348	48

VI. 6. VARIACIÓN TEMPORAL DEL MICROFITOPLANCTON EN LA ESTACIÓN FIJA

La densidad del microfitoplancton presentó un máximo el primer día de la serie con valores cercanos a 10,000 células por litro (Cel/L), donde dominaron las diatomeas (Fig. 16). Este grupo disminuyó a 2,300 Cel/L el día 3 y aumentó a 3,800 Cel/L el día 6. El 9 de junio los valores decrecieron ligeramente y se mantuvieron dentro de un intervalo entre 2,100 y 2,800 Cel/L hasta el 17 y 18 de junio. El día 20 la densidad de diatomeas aumentó ligeramente a 3,360 Cel/L y disminuyó a 2,200 Cel/L el día 23, esta tendencia continuó el 25 de junio cuando se presentaron 1,700 Cel/L de diatomeas. Por otro lado, los dinoflagelados presentaron valores muy bajos a lo largo de la serie y variaron en un

intervalo de 80 a 580 Cel/L. El 30 de mayo y el 3 de junio tuvieron valores alrededor de 200 Cel/L, el día 6 aumentaron sus valores a 520 Cel/L y cayeron abruptamente el 9 de junio donde se presentó uno de los mínimos de 80 Cel/L. Los días 12 y 15 de junio aumentaron ligeramente las abundancias y de nuevo se presentó el mínimo de 80 Cel/L el 17 y 20 de junio. El máximo se alcanzó el día 23 con 580 Cel/L.

La concentración de Cl-a presentó muy poca variación (Fig. 16), con valores alrededor de un promedio de 2 mg m^{-3} del 30 de mayo al 6 de junio. El día 9 los valores disminuyeron por debajo de 2 mg m^{-3} y posteriormente aumentaron gradualmente hasta el máximo de 3.5 mg m^{-3} el 17 de junio. Para el día 20 los valores disminuyeron y se mantienen cercanos a 1.5 mg m^{-3} hasta el 25 de junio.

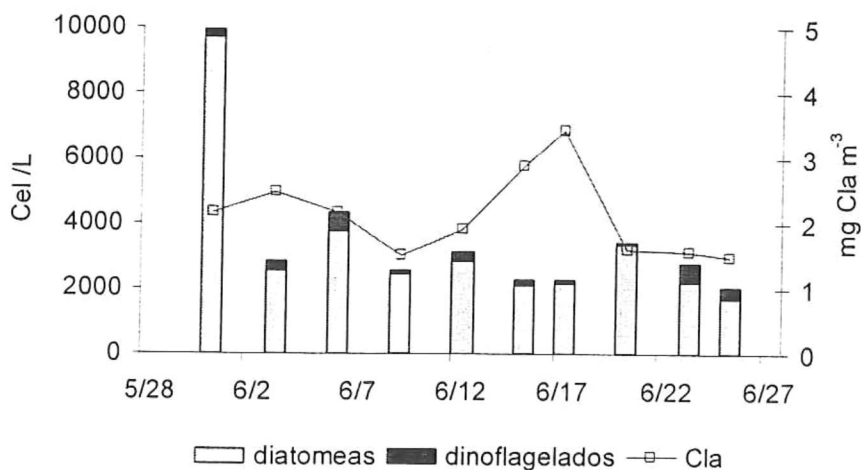


Figura 16. Variación temporal del microfitoplancton y de la Cl-a en la estación fija.

VI.6.1. Variación temporal de los pigmentos medidos por HPLC

La variación de la Clorofila-a total (Cl_{TOT}) medida por HPLC (Fig. 17a) muestra mayores concentraciones durante el flujo que durante el refluo, aunque en general la variación temporal de ambas series es similar. En el flujo la Cl_{TOT} tendió a aumentar del 30 de mayo hasta el 3 de junio donde se reportó el máximo superior a 4 mg m^{-3} y posteriormente disminuyó gradualmente hasta 2 mg m^{-3} el 9 de junio. Aumentó nuevamente por arriba de 3 mg m^{-3} el día 11 y los valores son muy homogéneos del 12 al

14 de junio manteniéndose alrededor de 2.5 mg m^{-3} . Un día después los valores aumentaron gradualmente hasta 3.5 mg m^{-3} el día 19 y tendieron a disminuir a partir del 20 de junio hasta el mínimo de 1.2 mg m^{-3} el 25 de junio.

Durante los muestreos en reflujos, la Cl_{TOT} presentó un incremento de 1.8 mg m^{-3} el 30 de mayo a 2.5 mg m^{-3} el 1 de junio (no hay datos para el día 31 de mayo) donde se mantuvo sin gran variación hasta el día 6. El día 7 los valores cayeron a 1.6 mg m^{-3} y aumentaron ligeramente los días 10 y 11 (no hay datos para los días 8 y 9 de junio). Después de una ligera disminución el día 12, la Cl_{TOT} aumentó gradualmente a partir del día 13 hasta 2.7 mg m^{-3} el día 17. Posteriormente los valores disminuyeron paulatinamente hasta un mínimo de 1.2 mg m^{-3} el 22 de junio y aumentaron por arriba de 1.5 mg m^{-3} para los últimos 3 días de la serie.

La FUC y la Cl-b presentaron una tendencia similar al inicio de la serie, donde los valores fueron en aumento de 0.5 mg m^{-3} hasta por arriba de 0.8 mg m^{-3} el día 2 de junio, día en que se presentó el máximo de FUC (Fig. 17). Posteriormente, los valores de dicho pigmento disminuyeron paulatinamente hasta el 9 de junio, cuando se presentó el mínimo cercano a 0.2 mg m^{-3} . A partir del día 11, los valores aumentaron, hasta encontrarse por encima de 0.8 mg m^{-3} el 19 de junio y paulatinamente disminuyeron a partir del día 20 y hasta el final de la serie. Por otro lado, la Cl-b presentó un incremento para la primer parte de la serie y alcanzó su máximo de 0.85 mg m^{-3} el 5 de junio. Para el día 7 los valores se redujeron a menos de la mitad y se mantuvieron sin cambio los días 8 y 9. Posteriormente, aumentó su concentración hasta un pico de 0.8 mg m^{-3} el 11 de junio y disminuyeron a 0.5 mg m^{-3} el día 13 manteniéndose sin mayor cambio hasta el día 19. Al final del muestreo los valores fueron en decremento paulatino llegando a 0.25 mg m^{-3} el 25 de junio.

La Aloxantina (ALO) aumentó su concentración al inicio de la serie de 0.25 a 0.45 mg m^{-3} los días 5 y 6 de junio, disminuyó ligeramente el 7 y 8. Su concentración aumentó ligeramente el día 10 y a partir de esta fecha los valores decrecieron de manera casi

lineal hasta el 14 de junio, presentando el mínimo por debajo de 0.1 mg m^{-3} los días 24 y 25 de junio.

Durante el reflujo (Fig. 17c), la FUC y la CI-b presentaron una variación temporal similar que durante el flujo (Fig. 17c), pero con menores concentraciones. La FUC presentó una mayor variación de un día a otro. Mientras que en la CI-b la variación entre días fue menor.

La ALO en reflujo presentó diferencias marcadas, ya que la serie comenzó aumentando de 0.15 a 0.45 mg m^{-3} el día 6, un día después los valores cayeron a 0.2 mg m^{-3} y tras una ligera disminución se mantuvieron cerca de este valor hasta el 16 de junio. El día 17 se presentaron valores por arriba de 0.3 mg m^{-3} y de nuevo disminuyen ligeramente el día 19, manteniéndose por debajo de 0.2 mg m^{-3} hasta el final del estudio.

presentan como un único promedio diario (Fig. 18a). Las series de PRA, VIOL, DIAD, LUT y DVA, presentaron una tendencia parecida. Comenzaron disminuyendo del 30 al 31 de mayo para luego aumentar a un máximo el 1 de junio, donde la PRA y la DIAD alcanzaron valores por arriba de 0.1 mg m^{-3} . Posteriormente, todos los pigmentos fueron disminuyendo hasta un mínimo general el día 9 de junio, aunque vuelven a aumentar para el día 10. Todos, con excepción de la DVA, se mantuvieron sin mayor variación hasta el 14 de junio, día en que la DIAD y la PRA comenzaron a aumentar de nuevo llegando la DIAD a un máximo los días 17 y 19 de junio, y la PRA presentó la misma tendencia pero en menor magnitud. En general estos dos pigmentos fueron en decremento hacia el final de la serie. Por otro lado, la LUT y la VIOL presentaron menor variación, ya que a partir del día 14 aumentaron muy ligeramente en concentración alcanzando un pico el 19 y disminuyeron hacia el final de la serie. La misma tendencia la presentó la DVA, si bien no fue cuantificada el día 13, el 14 de junio aumentó por arriba de 0.02 mg m^{-3} y mantuvo valores similares hasta el 17 de junio. Alcanzó un pico superior a 0.06 mg m^{-3} el día 19 y disminuyó abruptamente el día 20. A partir del día 22 aumentó gradualmente llegando a su máximo el 25 de junio.

Los pigmentos que presentaron menores concentraciones a lo largo de la serie fueron la PER, BUT, DIAT y HEX (Fig. 18B). El pigmento en menor concentración fue la BUT que varió dentro de un intervalo de 0 a 0.005 mg m^{-3} . Por otro lado, la HEX, la PER y la DIAT presentaron una tendencia similar pero sus concentraciones estuvieron en el intervalo de 0.005 y 0.055 mg m^{-3} , ya que inician disminuyendo del 30 al 31 de mayo y luego aumentan a partir del 1 de junio. La HEX se mantiene sin mayor cambio entre 0.045 y 0.05 hasta el 6 de junio. Una tendencia parecida se presentó en los valores de PER, y aunque la DIAT tuvo una ligera disminución los días 3 y 4 de junio partir del día 7 la PER, DIAT y DIAD comienzan a disminuir llegando a su mínimo los días 8 y 9 de junio. Posteriormente aumentan y continúan con esta tendencia de incremento hasta el 23 de junio. Para el último día la HEX y la DIAT disminuyeron, mientras que la PER aumentó

ligeramente a su máximo por arriba de 0.05 mg m^{-3} . La PER también presentó un pico aislado para el día 15 de junio con valores cercanos a 0.035 mg m^{-3} .

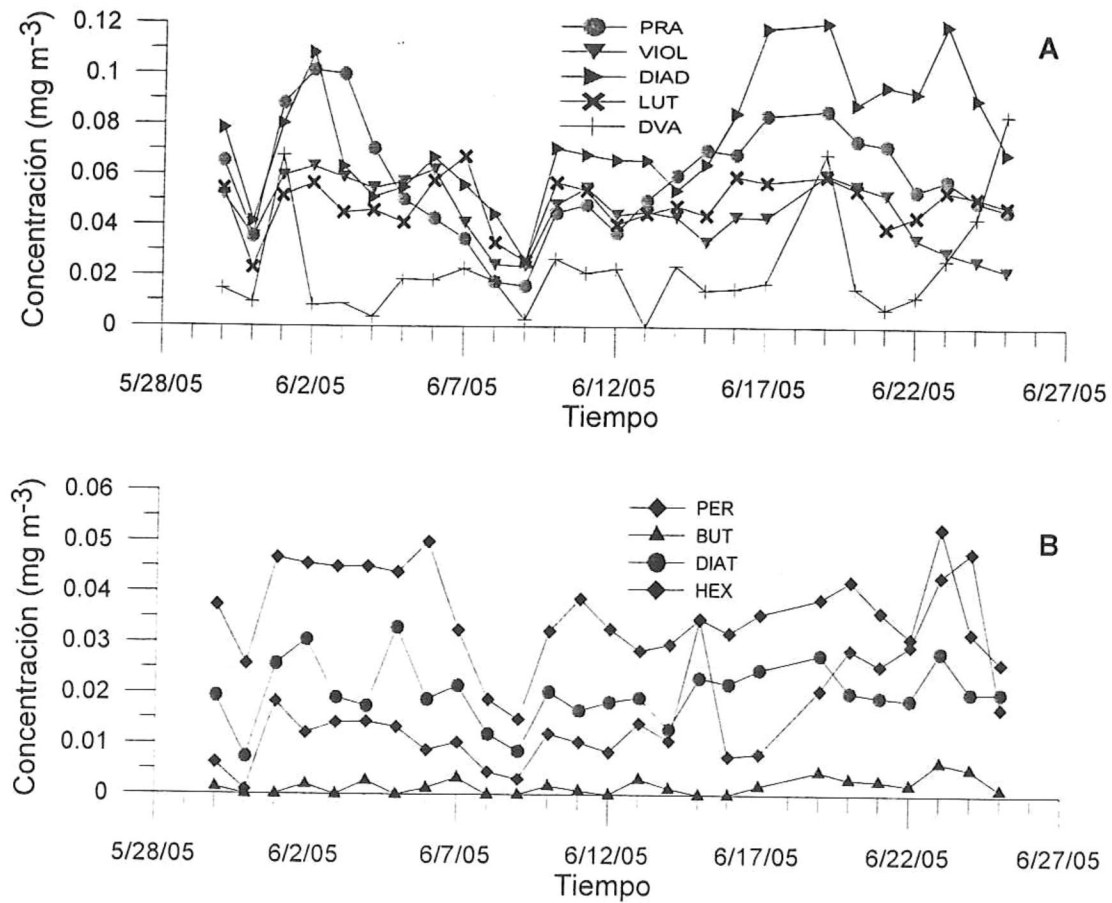


Figura 18. (A) Concentración promedio diaria de pigmentos Prasincoxantina (PRA), Violaxantina (VIOL), Diadinoxantina (DIAD), Luteína (LUT) y Divinil-Cla (DVA). (B). Concentración promedio diaria de pigmentos Peridinina (PER), Butanoloxifucoxantina (BUT), Diatoxantina (DIAT) y Hexanoloxifucoxantina (HEX).

VI.6.2. Proporción de pigmentos diagnósticos y de los pigmentos fotoprotectores y fotosintéticos respecto a la Cl_{TOT}

El pigmento diagnóstico que representa a las diatomeas es la fucoxantina (FUC), mientras que las nanoflageladas son representadas por varios pigmentos: Prasincoxantina (PRA), Violaxantina (VIOL), Luteína (LUT), Butanoloxifucoxantina (BUT), Clorofila-b (Clb), Neoxantina (NEO) y Hexanoloxifucoxantina (HEX). Las criptofitas, también nanoflageladas, están representadas por la Aloxantina (ALO) y se presentan sus resultados de forma aislada debido a su elevada representatividad con respecto a las demás nanoflageladas. La proporción de estos pigmentos con relación a la Cl_{TOT} se muestra en la figura 19. Las series de tiempo de cada pigmento están separadas según la hora de muestreo en flujo (Fig. 19a) y reflujó (Fig. 19b). En general se observó para las diatomeas y criptofitas la misma tendencia en ambos muestreos, pero resalta la diferencia que se presentó en las nanoflageladas, que durante el flujo presentaron valores del doble con respecto al reflujó.

La proporción de FUCO/ Cl_{TOT} , indicativa de la presencia de diatomeas, presentó poca variación del 30 de mayo al 2 de junio y los valores oscilaron alrededor de 0.22. Posteriormente disminuyeron gradualmente por debajo de 0.1 el 5 de junio y en el flujo se mantuvieron próximos a 0.1 hasta el día 12. Durante el mismo periodo en el reflujó, los valores aumentaron hasta 0.17 el día 10, disminuyeron ligeramente el día 12 y partir del 13 de junio la tendencia va en aumento gradual tanto en flujo como en reflujó, llegando a un máximo cercano a 0.25 el día 22 de junio. En la última porción de la serie, los valores tienden a disminuir en ambos muestreos, aunque en flujo se presentó un repunte en los valores el día 25.

La proporción de pigmentos respecto a la Cl_{TOT} que representa a las nanoflageladas (prymnesiofitas, crisofitas y algas verdes), presentó valores mayores durante flujo que durante reflujó (Fig. 19). Al inicio de la serie en flujo y reflujó los valores fueron similares alrededor de 0.3, pero las series se separaron en los siguientes muestreos. Durante el flujo, la proporción fluctuó alrededor de 0.3 del 30 de mayo al 3 de

junio, el 4 de junio los valores comenzaron a aumentar llegando a un máximo el día 5 y los días del 7 al 9 los valores se mantuvieron cercanos a 0.3. Los máximos cercanos a 0.4 se presentaron el 11 y 12 de junio y nuevamente disminuyeron a 0.3 el 13 de junio, donde se mantuvieron sin mayor cambio hasta el final del muestreo, donde hubo un ligero aumento los dos últimos días.

Durante el refluo, la proporción de pigmentos de las nanoflageladas presento valores alrededor de 0.1 a lo largo de la serie, a excepción del primer muestreo donde se encontró el máximo de 0.3 y los días del 20 al 23 donde aumentaron ligeramente a 0.15.

Las criptofitas, representadas por la proporción ALO/Cla_{TOT} , tuvieron valores similares durante flujo y refluo (Fig. 19). Sin embargo, resaltan algunas diferencias. En flujo, la proporción osciló alrededor de 0.1 del 30 de mayo hasta el 2 de junio. Posteriormente, los valores aumentaron gradualmente hasta un máximo cercano a 0.2 el 7 y 8 de junio y fueron disminuyendo paulatinamente hacia el final del muestreo, manteniendo valores cercanos a 0.1. En refluo la proporción a lo largo de la serie fluctuó alrededor de 0.1. Presentó un incremento a partir del 3 de junio y alcanzó un máximo cerca de 0.2 el 6 de junio. Posteriormente, los valores disminuyeron y se mantuvieron alrededor de 0.1 hasta el final del muestreo.

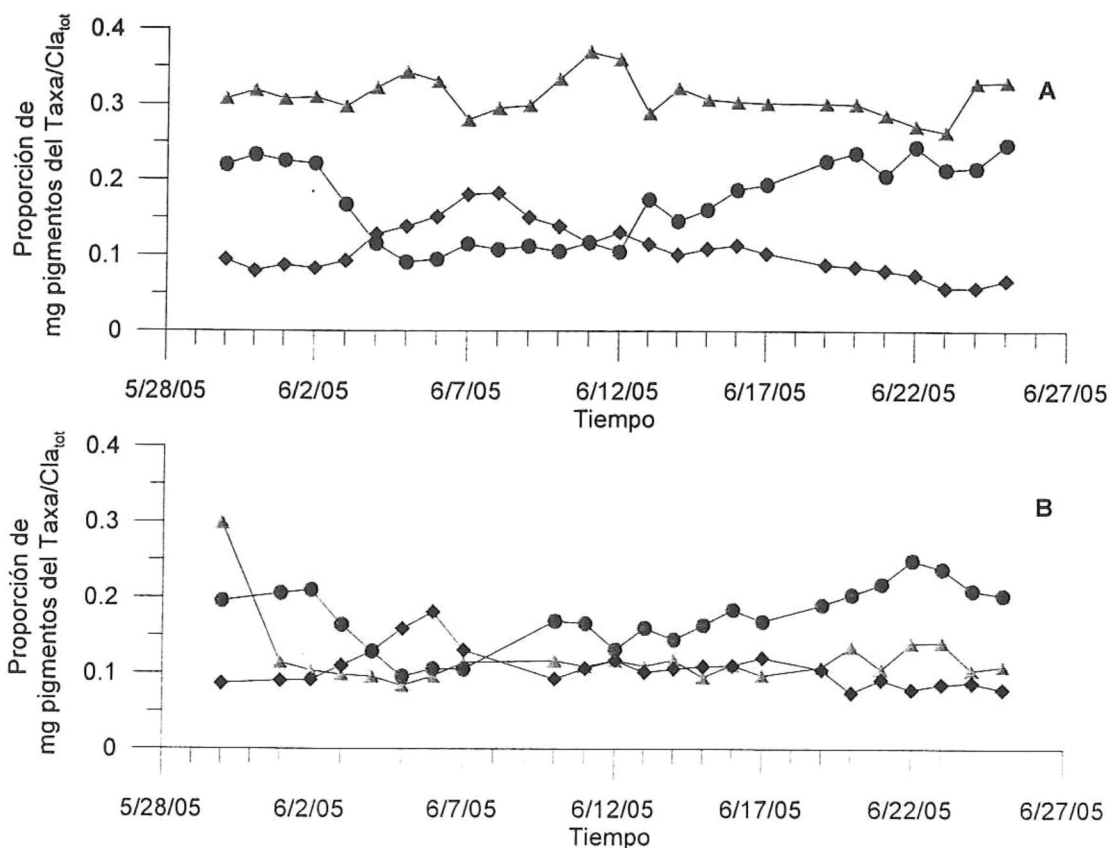


Figura 19. Proporciones de pigmentos diagnósticos respecto a la Cl_{aTOT} de las diatomeas (círculos), nanoflagelados (triángulos) y criptofitas (rombos) durante el flujo (A) y reflujo (B).

Las proporciones de pigmentos respecto a la Cl_{aTOT} que representan a los dinoflagelados (PER), cianobacterias (ZEA) y proclorofitas (DVA) (Fig. 20a) presentan una variabilidad similar tanto en flujo como en reflujo. Las proporciones variaron en un intervalo entre 0 y 0.08 mg m^{-3} . En ambas situaciones, se observó la misma tendencia para los tres grupos, salvo algunos picos máximos aislados de las proclorofitas. Este último grupo, al final del muestreo, presenta una tendencia al incremento tanto en flujo como en reflujo.

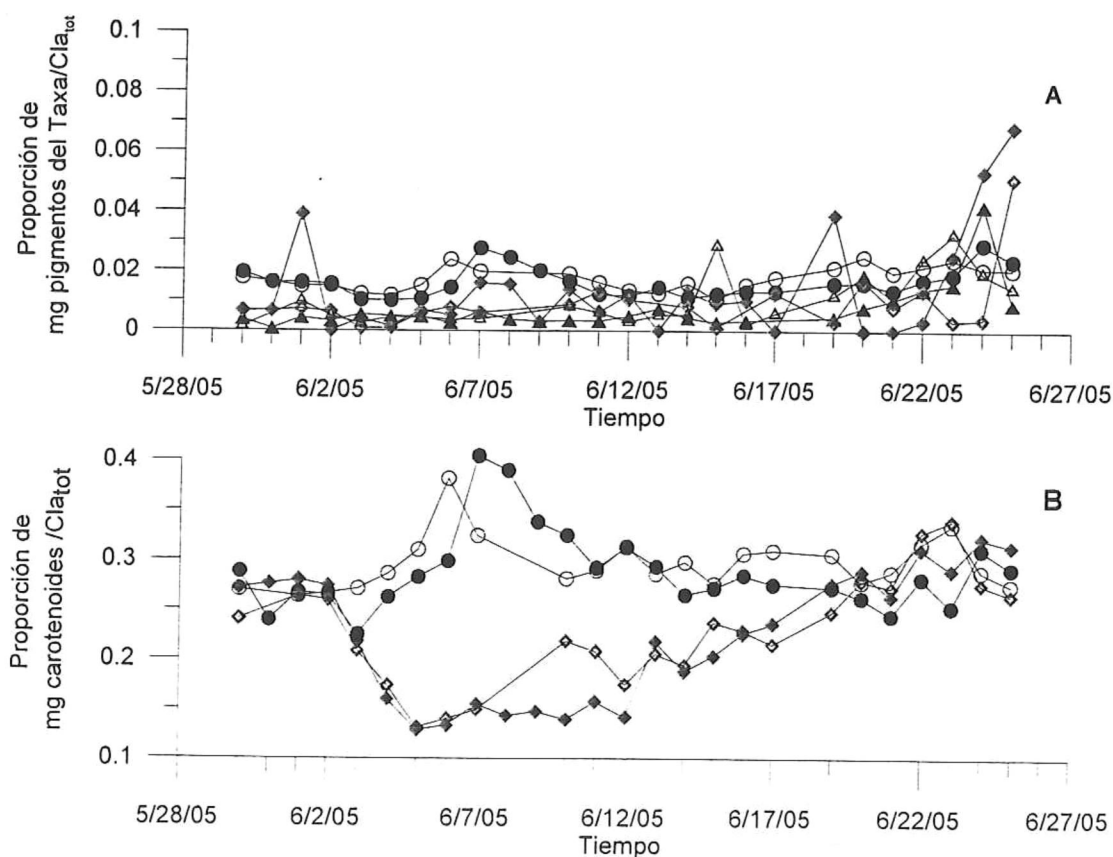


Figura 20. (A) Proporciones de pigmentos diagnósticos respecto a Cla_{TOT} de proclorofitas (rombos), cianofitas (círculos) y dinoflagelados (triángulos). Los símbolos con relleno indican las muestras durante el flujo y los símbolos vacíos el muestreo en reflujó. (B) Proporciones de pigmentos respecto a la Cla_{TOT}. Pigmentos fotosintéticos PSC (rombos) y pigmentos fotoprotectores PPC (círculos). Los símbolos con relleno indican el muestreo en flujo y los símbolos vacíos el muestreo en reflujó.

La proporción de pigmentos fotosintéticos (PSC) y fotoprotectores (PPC) respecto a la Cla_{TOT} (Fig. 20b) durante flujo y reflujó presento algunas diferencias relevantes entre las series. Esto es, aunque al inicio de la serie presentan una proporción similar, a partir del 3 de junio las series se separan y mientras los PSC van en aumento, los PPC disminuyen. El mínimo en PPC se observó el día 5, mientras que el máximo en PSC ocurrió entre uno (reflujó) y dos días (flujo) después. A partir de éste día, los PPC aumentaron paulatinamente mientras que los PSC disminuyeron hasta el día 11, cuando sus valores vuelven a ser similares, manteniéndose fluctuando alrededor de 0.25 hasta el final de la serie.

VI.7. VARIACIÓN ESPACIAL DEL MICROFITOPLANCTON Y LA CLOROFILA HACIA EL INTERIOR DE BSQ

Las series de tiempo de la Cl-a en la estación 8 (Fig. 21a) presentaron concentraciones que variaron en el intervalo de 1.2 a 1.5 mg m⁻³. Sin embargo se presentó un máximo el día 6 que rebasó los 3 mg m⁻³ y que coincidió con un máximo en la densidad de diatomeas que superó las 100,000 Cel/L. En general, la densidad de diatomeas presentó valores alrededor de 10,000 Cel/L con un mínimo de 500 Cel/L. Por otro lado, la densidad de los dinoflagelados fue muy baja, con un máximo de 16,000 Cel/L el 17 de junio. El día 20 se presentaron los mínimos de ambos grupos, aunque los dinoflagelados continuaron siendo más abundantes que las diatomeas. Al final de la serie, el 23 y 25 de junio, las diatomeas vuelven a dominar sobre los dinoflagelados y su densidad aumentó a más de 1,300 Cel/L.

La Cl-a en la estación 14 (Fig. 21b) presentó valores ligeramente más elevados que en la estación 8 y se observan dos máximos de concentración de Cl-a. Uno al inicio del muestreo, con valores cercanos a 2 mg m⁻³ y otro el día 17, con un valor de 2.5 mg m⁻³. Por su parte el microfitoplancton presentó densidades muy bajas en todo el muestreo, que no pasaron de 2,000 Cel/L (nótese la diferencia de escalas en la figura b y c). En general las diatomeas dominaron en densidad sobre los dinoflagelados hasta el 20 de junio, a excepción del 3 de junio donde se presentó el mínimo de dinoflagelados y diatomeas y ambos tuvieron densidades similares. Los días 23 y 25 de junio ambos grupos aumentaron su densidad, los dinoflagelados se presentaron en igual proporción que las diatomeas el 23 y 25 de junio. En este último, se presentó el máximo cercano a 2,000 Cel/L y la densidad de dinoflagelados superó ligeramente a la de diatomeas.

La Cl-a en la estación 19 (Fig. 21c) varió muy poco y presentó valores por debajo de 1 mg m⁻³, con excepción del 30 de mayo y el 17 de junio, donde las concentraciones fueron mayores a 1.2 mg m⁻³. El fitoplancton estuvo dominado por las diatomeas a lo largo de la serie y con excepción de 3 muestreos, sus densidades fueron menores a 500

Cel/L. Los máximos se presentaron el 6 de junio cuando se cuantificaron más de 1,200 Cel/L y los dos últimos días de muestreo se presentaron densidades cercanas a 1,000 Cel/L. Los dinoflagelados se encontraron en todas las muestras, pero su abundancia nunca fue mayor a 60 Cel/L.

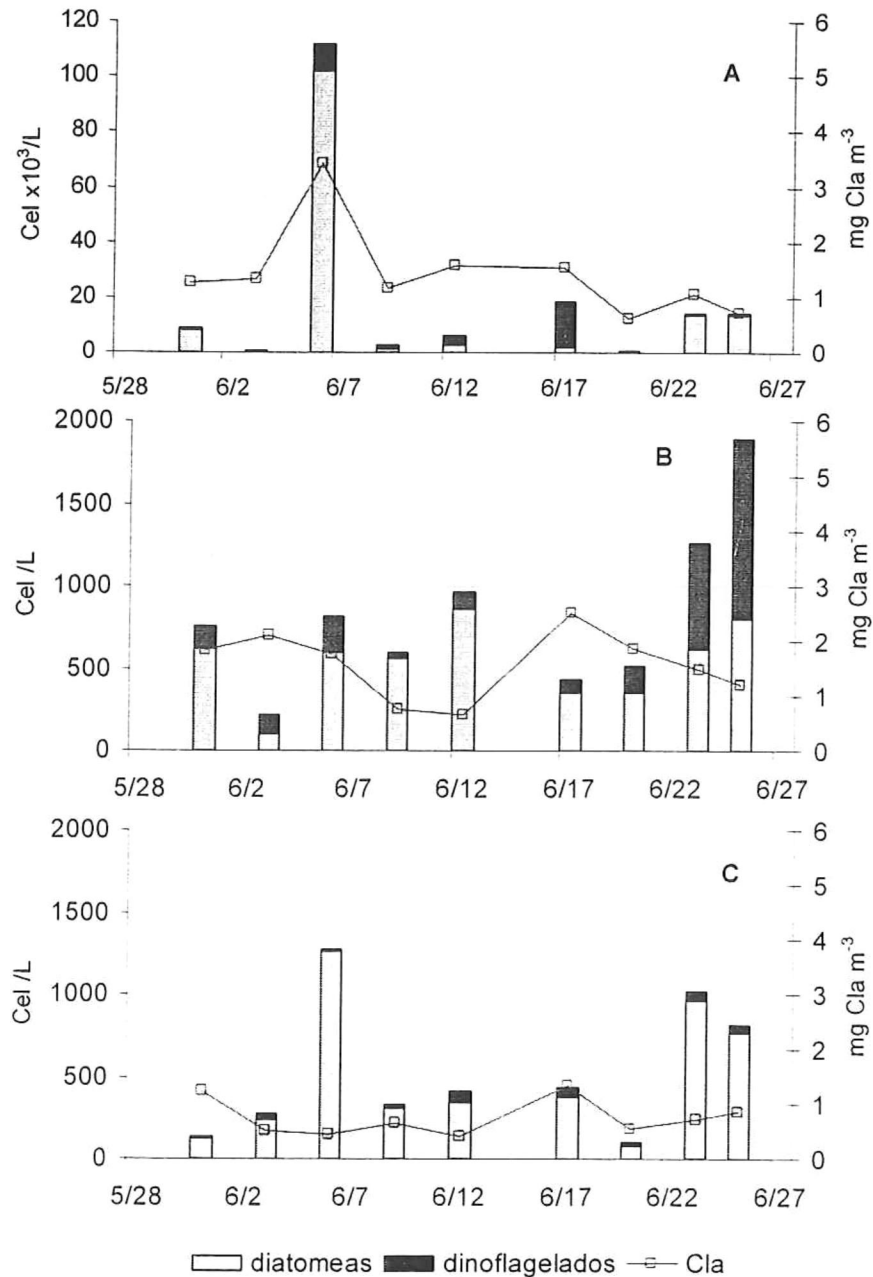


Figura 21. Variación temporal del fitoplancton y de la Cl-a en las estaciones 8 (A), 14(B) y 19 (C).

En la estación 28 (Fig. 22a), la Cl-a mostró poca variación. Al inicio presentó concentraciones cercanas a 1.6 mg m^{-3} , que disminuyeron gradualmente hasta el mínimo de 0.4 mg m^{-3} el 12 de junio. A partir del 17 de junio la Cl-a aumentó su concentración y presentó valores superiores a 1 mg m^{-3} hasta el final de la serie. El microfitoplancton estuvo dominado por las diatomeas, aunque los dinoflagelados siempre estuvieron presentes en las muestras y mantuvieron una proporción variable. Las diatomeas comenzaron con densidades cercanas a 500 Cel/L , tras una ligera disminución el 3 de junio, aumentaron a casi $1,500 \text{ Cel/L}$, después el día 9 disminuyeron nuevamente a los valores del día 3. El 12 de junio se alcanzó un máximo cercano a $2,500 \text{ Cel/L}$. Las densidades se redujeron ligeramente el 17 de junio y se presentaron valores por arriba de $1,000 \text{ Cel/L}$, que fueron en aumento gradual hacia el final del muestreo sin rebasar las $1,500 \text{ Cel/L}$. En éste último periodo, los dinoflagelados presentaron una mayor abundancia que en las muestras anteriores al 12 de junio.

En la estación 30 (Fig. 22b), observamos que la Cl-a varió dentro de un intervalo de 0.4 a 1.2 mg m^{-3} . Comenzó aumentando al máximo el 3 de junio y luego la concentración bajo el día 9, tras un ligero aumento el 12 de junio se redujo de nuevo el 17 de junio y posteriormente fue en aumento a partir del 20 de junio, manteniéndose por arriba de 1 mg m^{-3} los últimos días de la serie. El microfitoplancton por su parte presentó densidades bajas y las diatomeas dominaron en todos los muestreos. El 30 de mayo se presentó una densidad máxima cercana a $3,000 \text{ Cel/L}$ y para el 3 de junio los valores se redujeron considerablemente hasta 500 Cel/L . El día 6 las diatomeas duplicaron su densidad con respecto al muestreo anterior y regresaron a valores cercanos a 500 Cel/L el día 9. Cabe resaltar que del 3 al 9 de junio la densidad de dinoflagelados fue mínima, pero se fue incrementando del 12 al 25 de junio. Las diatomeas por su parte presentaron un segundo máximo el 12 de junio que superó las $2,000 \text{ Cel/L}$. Posteriormente, su densidad se redujo el día 17 de junio, pero se mantuvieron cercanas a $1,000 \text{ Cel/L}$ hasta el final del muestreo.

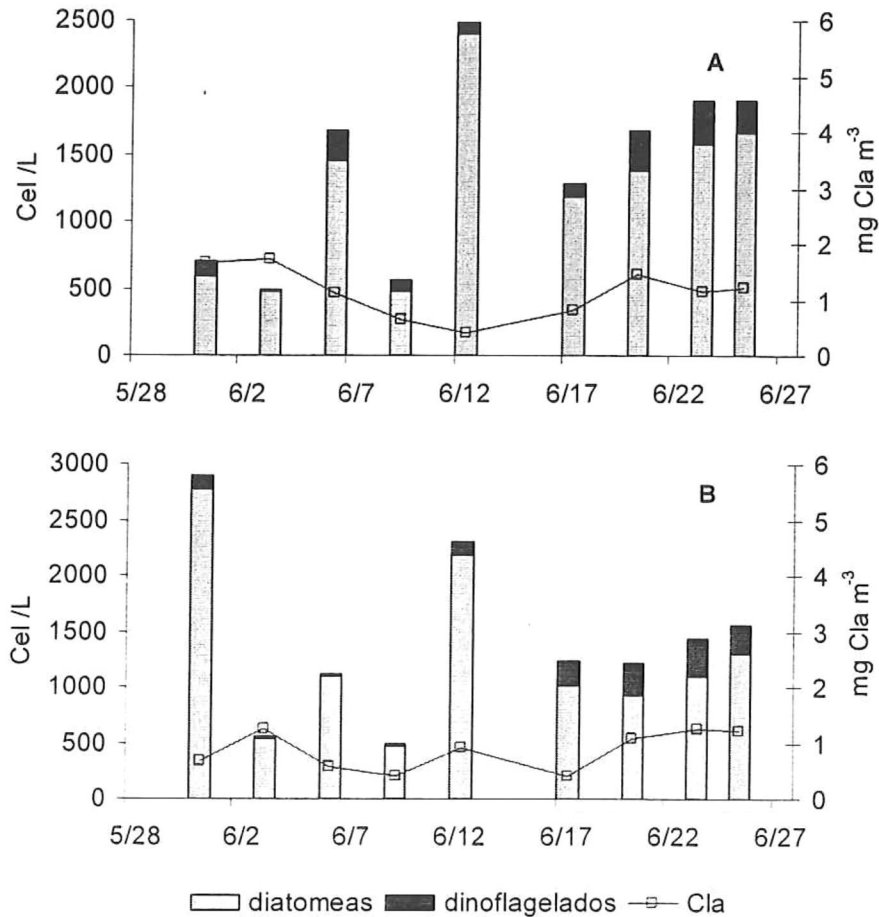


Figura 22. Variación temporal del fitoplancton y de la Cl-a en las estaciones 28 (A) y 30 (B).

VII. DISCUSIONES

VII.1. EFECTO DE LA SURGENCIA EN LA VARIACIÓN TEMPORAL DEL MICROFITOPLANCTON FRENTE A BSQ

La ecología de Bahía San Quintín es profundamente afectada por el dinamismo de las surgencias (Lara-Lara *et al.* 1980; Millán-Núñez *et al.* 1982; Camacho-Ibar *et al.* 2003). En éste periodo de estudio, la intensidad de las surgencias presentó grandes variaciones (Fig. 2) que incluyeron dos eventos extremos, el primero del 6 al 10 de junio, donde el índice rebasó los 200 m³/s/100 m de línea de costa, y el segundo del 12 al 17 de junio, cuando la intensidad fue débil y presentó valores inferiores a 100 m³/s/100 m de

línea de costa. Estos eventos rebasan la magnitud máxima y mínima promedio de los promedios reportados por Rodríguez-Cardozo (2007), que analizó la serie de tiempo del promedio corrido del índice mensual de 1946 a 2005 y encontró valores máximos entre 170 y 140 m³/s/100 m de línea de costa, mientras que el mínimo fue de 70 m³/s/100 m de línea de costa. Cabe destacar que en nuestra serie se reportó un mínimo cercano a 40 m³/s/100 m de línea de costa del 13 al 15 de junio. Por otro lado, el segundo periodo de surgencia se considera de intensidad media y tiene duración del 18 al 25 de junio. La diferencia con respecto al primer evento es que en el segundo se parte de un escenario de surgencia débil o periodo de calma y se alcanza una surgencia de intensidad media en menos días.

A lo largo del muestreo, la marea casi completó un ciclo, presentándose tanto mareas vivas como muertas. Fue peculiar la coincidencia entre las dos mareas vivas con los dos periodos de surgencia que se presentaron (Tabla IV). Esto se ha considerado importante en el transporte advectivo de nutrientes y fitoplancton hacia el interior de BSQ (Aveytua-Alcazar, 2008). De igual manera, el periodo de calma o de baja surgencia coincidió con la marea muerta, donde el nivel del mar varió menos a lo largo de todo el estudio.

Un indicador de la surgencia para el periodo de estudio son las altas concentraciones de nitratos y silicatos reportadas en las estaciones 1 y 3 (Figs. 4 y 6). Las concentraciones de dichos nutrientes estuvieron siempre por arriba de 10 µM en ambas estaciones, a excepción del muestreo el 17 de junio, donde cayeron a un mínimo cercano a 3 µM para el nitrato y de 6 µM en los silicatos. Este periodo coincide con el máximo de temperatura reportado en ambas estaciones que fue cercano a 16 °C mientras que para el resto de la serie, la temperatura osciló entre 14 y 15 °C.

La concentración de nitratos y silicatos, fue similar a valores reportados para la entrada a la boca de BSQ por Millán-Núñez *et al.* (1982) en el verano de 1979. Los autores encontraron que las concentraciones durante el flujo oscilaron por arriba de 10 µM para los nitratos y cercanas a 20 µM para los silicatos. Sin embargo, esta similitud

sólo se encuentra al inicio de su estudio, que coincide con el final de un evento de surgencia.

Por otro lado, la modelación de los flujos de nitratos realizada recientemente por Aveytua-Alcázar (2008) resultó en una subestimación de los valores medidos en campo. Esto ocurrió debido al consumo de nitratos y silicatos por el fitoplancton, principalmente diatomeas. Lo anterior puede explicar el mínimo de estos nutrientes ocurrido durante la ausencia de surgencia y marea muerta, donde se encontraron valores cercanos a 3 μM de nitratos y de 7 μM de silicatos el 17 de junio.

Cuando se comparan los datos de densidad celular y concentración de la Cl-a (Figs. 5 y 7) también se detecta la respuesta de la comunidad del microfitoplancton a la surgencia. Esto es, durante el primer evento de surgencia (6 al 10 de junio) se observa claramente el incremento en la Cl-a y en la densidad celular a medida que pasa el tiempo. Uno de los máximos en Cl-a y densidad celular ocurre justamente al 12 de junio, al final del periodo de surgencia, cuando la densidad celular alcanza un máximo cercano al millón de Cel/L. Este afloramiento fue causado por la diatomea penada *Nitzschia spp.*, organismo dominante en los muestreos de todo este periodo. Por otro lado, en el segundo evento de surgencias (18 al 25 de junio) no se observó la misma respuesta de la comunidad de microfitoplancton que en el primero. En este, tanto la Cl-a como la densidad celular, fueron inferiores. Entretanto, se esperaría un incremento posterior tomando en cuenta la elevación en la concentración de nutrientes al final de este periodo.

Afloramientos del género *Nitzschia spp.* ya han sido reportados para el área cercana a BSQ por Barocio-León *et al.* (2006), quienes encontraron durante noviembre del 2002 un afloramiento de diatomeas constituido principalmente por *Nitzschia spp.* con concentraciones superficiales de Cl-a de 2.35 mg m^{-3} . Si bien su muestreo se realizó fuera de la temporada de surgencias intensas, los autores encontraron que el área frente a BSQ y hasta Punta San Antonio (~50 km al Sur) estuvo dominada por agua fría con altas concentraciones de Cl-a.

En un estudio localizado en la misma área pero realizado durante 2004, Moreno-Miranda (2007) reportó que en la estación 1, *Nitzschia spp.* fue el género más abundante. Sin embargo, durante su periodo de estudio (30 de mayo al 8 de junio 2004) el promedio de Cel/L no fue mayor a 20,000 diatomeas. Por su parte, los primeros estudios de fitoplancton en la boca de BSQ reportaron mayores abundancias de diatomeas que de dinoflagelados y microflagelados durante el verano de 1977 (Lara-Lara *et al.* 1980). La dominancia de diatomeas en zonas de surgencia, se debe aparentemente a que están bien adaptadas a las condiciones de turbulencia, alta energía y altas concentraciones de nutrientes que son típicas de las surgencias costeras (Lassiter *et al.* 2006). En éstas áreas los géneros de diatomeas dominantes que se reportan son *Nitzschia*, *Thalassiosira*, *Chaetoceros* y *Rhizosolenia* (Margalef, 1978; Levasseur *et al.* 1984; Estrada y Blasco, 1985).

Tras el afloramiento de *Nitzschia spp.* el 17 de junio el número de diatomeas en la estación 1 se redujo considerablemente y los dinoflagelados comenzaron a igualar en proporción a las diatomeas e incluso dominan en densidad los últimos días del muestreo llegando a 20,000 Cel/L. Una alternancia temporal de diatomeas a dinoflagelados fue reportada anteriormente para el verano de 1979 por Millán-Núñez *et al.* (1982). Lo mismo observó Moreno-Miranda (2004) reportando incluso una mayor abundancia de dinoflagelados, que alcanzaron las 50,000 Cel/L.

Las mejores condiciones para que el fitoplancton se desarrolle son los periodos de calma que siguen a las surgencias. Wilkerson *et al.* (2006) mencionan que al inicio de la surgencia afloran junto con los nutrientes células fitoplanctónicas que están en latencia o en forma de quistes. Éstas comienzan a fotosintetizar a tasas muy bajas y al terminar el periodo de surgencia, cuando las condiciones de viento están en periodo de relajación, las células responden a las altas concentraciones de nutrientes y al mayor tiempo que están expuestas a la luz, activando sus mecanismos para adquirir la mayor cantidad de nutrientes y carbono para su rápido crecimiento (Kirk, 1994). A éste respecto, Lara-Lara *et al.* (1980) y Millán-Núñez *et al.* (1982) reportaron que durante el periodo de relajación

de la surgencia, el mayor tiempo de residencia en BSQ permitió el incremento en la concentración de Cl-a y en la tasa de asimilación, así como un mayor consumo de nutrientes inorgánicos. Lo anterior explica porque, en el presente trabajo, se observó que tras el primer periodo de surgencias se dio un periodo de calma que asociado al periodo de mareas muertas, propiciaron condiciones óptimas para que las diatomeas llegaran a tan altas densidades. Esto también es evidente en las series de nutrientes y temperatura, donde observamos que el máximo de temperatura del 17 de junio se debió al periodo de calma o de surgencia de baja intensidad que se presentó del 12 al 18 de junio. Esto probablemente llevó a que el intercambio entre el océano y BSQ fuera de menor magnitud, propiciando el calentamiento de las aguas superficiales y probablemente la estratificación de la columna de agua, así como la proliferación de diatomeas, especialmente del género *Nitzschia*.

Por otro lado, la rápida disminución en la densidad de diatomeas en el día 17 pudo deberse a varios factores, el hundimiento de las células hacia abajo de la termoclina, la reducción de los nutrientes disponibles, el inicio de un nuevo periodo de surgencia, el cambio en el ciclo de mareas ó el consumo de las diatomeas por el zooplancton. Éste ciclo de relajación de la surgencia y consumo de nutrientes puede tomar de 5 a 7 días (Wilkerson *et al.*, 2006). Por otro lado, la sucesión descrita por Margalef en zonas de surgencia (1962, citado en: Lassiter *et al.*, 2006) establece que un afloramiento de diatomeas que puede crecer en condiciones de alta turbulencia y energía alcanza un pico de abundancia de 4 a 8 días de iniciado. Posteriormente estas células se hunden fuera de la zona fótica y son reemplazadas por diatomeas de mayor tamaño, microflagelados y grandes dinoflagelados. En nuestros resultados observamos que el incremento gradual de diatomeas en la serie de tiempo comenzó bajo condiciones de alta turbulencia debido a la alta intensidad de la surgencia, así como a las mareas vivas que se presentaron. Sin embargo, las condiciones de calma posteriores propiciaron el completo desarrollo del afloramiento de las diatomeas, especialmente *Nitzschia spp.*

Tras el fin del afloramiento de diatomeas, los dinoflagelados comenzaron a ser más abundantes y quizá también el nanofitoplancton. Si bien la magnitud de los dinoflagelados no se comparó con el de las diatomeas, las condiciones en que los dinoflagelados dominaron sobre las diatomeas del 17 al 25 de junio estuvieron caracterizadas por alta turbulencia debido al segundo periodo de mareas vivas y al inicio del segundo episodio de surgencia. Durante este periodo los dinoflagelados fueron más abundantes en la estación 3 que en la estación 1 y las series de temperatura en las estaciones 1 y 3 nos hacen suponer que la columna estuvo parcialmente estratificada (las diferencias llegan a casi 1 °C). Es probable que los dinoflagelados se encontraran mayormente por debajo de la capa de mezcla y por ello sus abundancias fueron tan diferentes entre la estación 1 y la 3.

VII.2. EFECTO DE LA MAREA EN LA VARIACIÓN TEMPORAL DE LA TEMPERATURA Y LA FLUORESCENCIA

El análisis de correlación cruzada efectuado para evaluar el efecto de la marea sobre la temperatura mostró un desfase que coincide con lo reportado por Lara-Lara *et al.* (1980). Estos encontraron un coeficiente de correlación de -0.76 entre la marea y temperatura, aunque el desfase fue nulo entre las variables, lo que probablemente se deba a que su estación se encontraba cerca de la boca. Recientemente Flores-Vidal (2006), mediante el análisis de series de tiempo de correntímetros anclados dentro de BSQ para el mismo periodo que éste estudio, reportó que la variación en las corrientes totales medidas en el fondo es explicada por la marea en un 95%. Por otro lado, en la superficie la variación explicada alcanza el 90 % en el anclaje correspondiente al canal de entrada a Bahía Falsa. Estas mediciones explican porque la temperatura esta tan acoplada a la señal de marea.

Por otro lado, las series de fluorescencia y marea también presentaron una relación inversa en los escenarios I y II (Tabla VI). Sin embargo, existen algunas

particularidades en cada serie. En el escenario I la fluorescencia presentó sus máximos durante la bajamar inferior y un pico de menor magnitud durante la pleamar media inferior, mientras que los mínimos se presentaron poco antes de la pleamar superior. Por otro lado, en el escenario II observamos que hubo un máximo de fluorescencia en la bajamar inferior y un mínimo en la pleamar superior durante los días del 13 al 16 de junio. Fue en éste periodo que se reportaron los valores más altos de fluorescencia a lo largo de toda la serie. Esto puede estar relacionado a las condiciones físicas, ya que fue en éste periodo que se presentó una surgencia débil, posterior a un evento de surgencia de gran intensidad que aportó altas concentraciones de nutrientes. Además, por ser periodo de mareas muertas, el tiempo de residencia es mayor (Aveytua-Alcázar, 2008), por lo que se presentaron las condiciones idóneas para el crecimiento del fitoplancton dentro de BSQ.

Durante el escenario III (transición a mareas vivas con surgencia) los máximos de fluorescencia fueron menores a los reportados en los escenarios I (surgencia muy intensa y mareas vivas) y II (surgencia de débil y marea muerta). En relación a la marea, la fluorescencia presentó valores menores a los reportados en los escenarios I y II. En general la señal de fluorescencia presentó una correlación positiva con la marea. La variación diaria mostró tres máximos diarios, dos durante la pleamar y otro en la bajamar inferior, mientras que el mínimo ocurrió en la transición de bajamar a pleamar. A este respecto, es difícil generalizar, ya que en ocasiones el mínimo ocurrió entre la bajamar superior y la pleamar superior y en otros días se presentó entre la bajamar inferior y la pleamar inferior (Fig. 13). Es importante señalar que se observó un desfase entre las series durante los máximos y mínimos. Dicho desfase fue disminuyendo a partir del 22 de junio y puede ser una respuesta al aporte de nutrientes generado por el segundo periodo de surgencia. Además, la máxima amplitud de marea que se presentó en éste periodo provocó corrientes de marea más intensas y por ende un tiempo de residencia menor (Flores-Vidal, 2006; Aveytua-Alcázar, 2008).

Si bien las correlaciones cruzadas entre la marea y la fluorescencia en los tres escenarios son significativas, no demuestran la alta variabilidad de corto plazo que se observa visualmente en los gráficos (Figs. 9, 11 y 13). A éste respecto Cloern *et al.* (1989) señalan que además de la marea, la resuspensión por el viento, el crecimiento diario, los ciclos de fotosíntesis, consumo por el zooplancton y la migración vertical diaria pueden ser factores que determinen la variabilidad del fitoplancton en una laguna costera y/o estuario. En las series de tiempo de éste estudio, la variación periódica puede deberse a la entrada de agua del mar adyacente en la pleamar y a la resuspensión del fitoplancton bentónico por las corrientes de marea y el viento. Para comprobar esta hipótesis se realizó una correlación simple entre las variables marea y fluorescencia para un día de cada escenario, los días utilizados fueron el 6, 16 y 22 de junio, días en que la variación en la amplitud de mareas fue máxima o mínima (Fig. 23).

Los coeficientes de determinación y las respectivas ecuaciones de la recta de los días 6 y 16 de junio resultaron significativos ($p < 0.05$), mientras que para el día 22 no lo fueron, por lo que no se presenta en la figura. Las correlaciones reportadas demuestran que más del 50 % de la variabilidad en la fluorescencia se debe a la amplitud en la marea. Es importante resaltar la asociación negativa entre los máximos de fluorescencia y los mínimos de marea. A este respecto, Cloern *et al.* (1989) encontraron que en las aéreas profundas de la porción sur de la Bahía de San Francisco, las intensas corrientes confinadas por la batimetría son las responsables de la advección por mareas de la biomasa fitoplanctónica. Por otro lado, Verity *et al.* (1998) demostraron que los efectos del viento y de la marea pueden causar una resuspensión considerable de diatomeas bentónicas en un estuario somero, como es BSQ.

Por otro lado, la nula correlación lineal entre la marea y la fluorescencia el 22 de junio ($R^2 = 0.014$) pudo deberse a que existieron picos máximos de similar magnitud durante la pleamar y la bajamar inferior. En este caso, la señal debida a la resuspensión

durante el refluo y la señal entrante generada durante el flujo, fueron similares debido a la surgencia que se presentó en estas fechas, asociado a la gran amplitud de mareas.

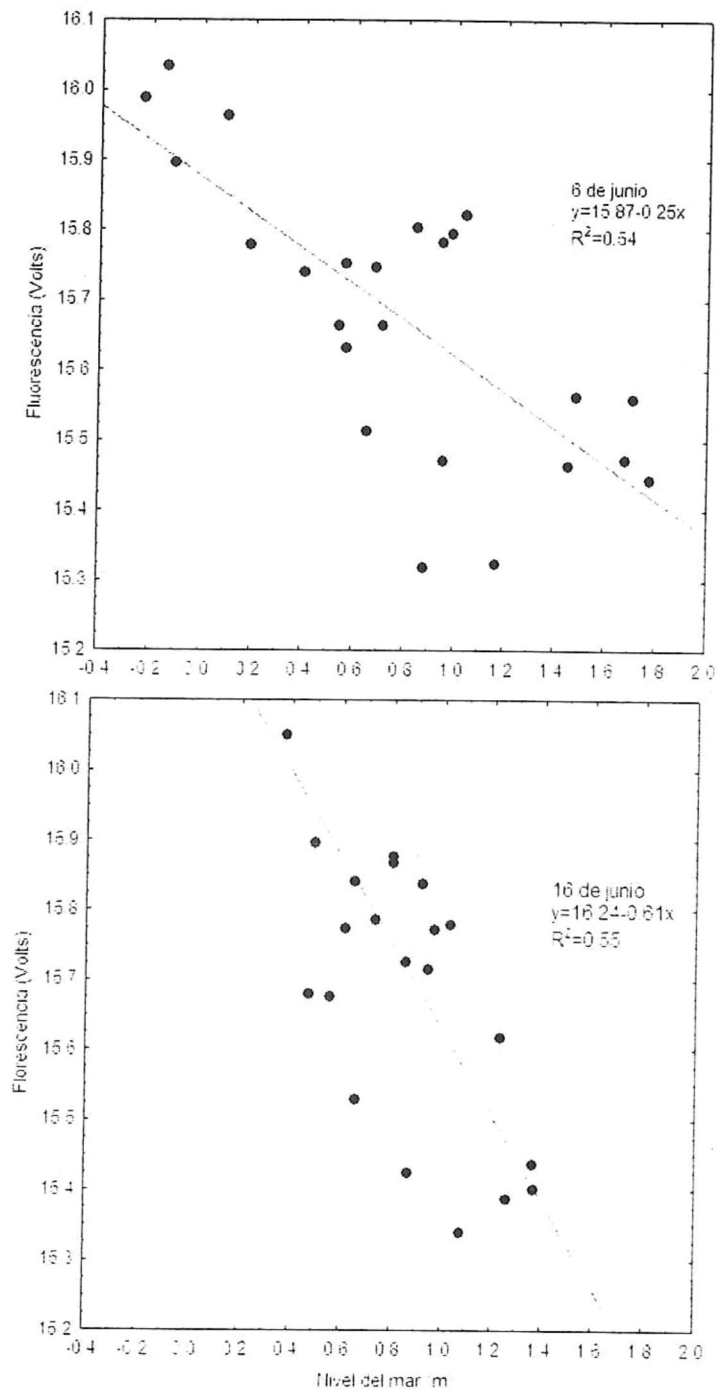


Figura 23. Correlaciones entre el nivel del mar y la fluorescencia los días 6 y 16 de junio del 2005.

VII.3. EFECTO DE LA SURGENCIA EN LA VARIACIÓN TEMPORAL DE LA TEMPERATURA Y LA FLUORESCENCIA

La serie filtrada de la temperatura en la estación fija permitió observar el efecto de la surgencia dentro de BSQ sin la señal de la marea (Fig. 14). La tendencia observada en la primera sección de la serie evidencia que la temperatura es muy sensible a los cambios en la intensidad de la surgencia, como se observa en los dos máximos que se presentaron los días 3 y 7 de junio. Es probable que dichos incrementos de temperatura sean la respuesta a los sutiles decrementos en el índice de surgencia los días 2 y 5 de junio. Esto coincide parcialmente con la correlación cruzada entre las variables donde se encontró un desfase en la temperatura de casi día y medio con respecto al índice. A éste respecto, Roegner y Shanks (2001) reportaron un desfase de 1 a 1.5 días entre el esfuerzo del viento y la temperatura superficial registrada dentro de una laguna costera en Oregon.

El segundo periodo de la serie de temperatura, comenzó casi al momento en que ésta llega a su máximo (18 de junio) como respuesta al periodo de surgencia débil y al final de las mareas muertas y en transición a marea viva. Al comenzar ésta última e iniciar un nuevo evento de surgencia el 19 de junio, la temperatura responde con un descenso paulatino hasta el mínimo que se reportó al final de la serie. De lo anterior, podemos suponer que en la serie de temperatura faltante, los valores comenzaron a disminuir el 8 de junio y quizás a partir del 12 o 13 de junio comenzaron a aumentar. De lo anterior podemos ver la importancia de la sección de datos faltantes, ya que eran clave para cuantificar estadísticamente el desfase existente entre la temperatura dentro de BSQ y la surgencia en los periodos de alta y baja intensidad.

La fluorescencia también responde de manera inversa con el aumento en el índice de surgencia, ya que en la primera sección de la serie, se observa al inicio un decremento en los valores y se llega gradualmente a un mínimo durante la transición a marea viva. Por otro lado, los valores máximos de fluorescencia correspondieron con el término de la surgencia y comienzo del periodo de marea muerta, donde las condiciones

para el crecimiento del fitoplancton fueron óptimas debido a la alta concentración de nutrientes, vientos débiles y marea muerta (Wilkerson *et al.* 2006). A éste respecto, cabe señalar que durante éste periodo, la Cl-a en la estación fija alcanzó su máximo superior a 3 mg m^{-3} (Fig. 16) en los muestreos del 15 y 17 de junio. Por su parte, el microfitoplancton en la estación fija varió entre 2,000 y 3,000 Cel/L del 9 al 17 de junio. La diferencia entre la concentración de Cl-a y la baja densidad de Cel/L reportadas en éste trabajo puede explicarse por la presencia de las criptofitas, reportadas como muy abundantes dentro de BSQ (Moreno-Miranda 2007), con densidades que pudieron llegar a más de 200,000 Cel/L en la estación fija en el verano del 2004. Este grupo no pudo ser cuantificado en este trabajo, pero los datos de pigmentos diagnósticos medidos por HPLC nos indican que la contribución de las criptofitas a la biomasa fitoplanctónica durante nuestro muestreo es significativa.

VII.4. VARIACIÓN TEMPORAL DE LOS GRUPOS FITOPLANCTONICOS ESTIMADOS POR HPLC

Los pigmentos determinados por HPLC en la estación fija, permitieron estimar la presencia de los grupos fitoplanctónicos que no fue posible cuantificar mediante el microscopio, como Criptofitas, Cianobacterias y Prochlorofitas. Además la estrategia de muestreo tuvo como objeto buscar diferencias entre flujo y reflujo al realizar dos muestreos diarios. Durante éstos periodos también fue posible ver la respuesta del fitoplancton a la surgencia y como varían los distintos pigmentos diagnóstico de los grupos.

Las series de tiempo de Cl-a en la estación fija (Fig. 17a) muestran la diferencia que existe entre el flujo y el reflujo. En ambas series resaltan tres episodios característicos. El primero sucedió al inicio de la serie cuando se presentó un máximo muy evidente en el flujo del día 3 de junio, que puede obedecer a la advección del fitoplancton de la estación 1 hacia el interior de BSQ durante el inicio de la marea viva.

Posteriormente se dio una disminución en los valores hasta un mínimo los días del 7 al 9 de junio. Esta disminución obedece a la presencia de las mareas vivas y a la alta turbulencia generada por el evento de surgencia de alta intensidad que se presentó del 6 al 10 de junio. El segundo episodio es posterior a los mínimos antes mencionados. En esta fase los valores fueron en aumento paulatino en flujo y reflujo hasta un máximo el día 19 en flujo y el 17 en reflujo. Esto como una respuesta a las altas concentraciones de nutrientes que afloraron con la surgencia y que introdujo la marea viva mediante advección horizontal durante el periodo del 6 al 10 de junio (Aveytua-Alcázar, 2008). Aunado a que es un periodo de mareas muertas con poco intercambio de BSQ con el mar adyacente, éstas son las condiciones idóneas para el crecimiento del fitoplancton (Lara-Lara *et al.*, 1980). El tercer episodio de las series involucra la disminución en las concentraciones hasta los mínimos, que en el flujo se presentaron el 25 de junio y en reflujo fue el día 22. Esta disminución puede deberse nuevamente a la alta turbulencia generada por la surgencia en el periodo y a las mareas vivas que alcanzaron su máxima amplitud. Es importante señalar que la tendencia reportada en la CI-a medida por HPLC en la estación fija fue similar a la reportada para las estaciones 1 y 3. Esto corrobora que la variación del fitoplancton hacia el interior de BSQ obedece a las condiciones físicas en el océano adyacente (Millán-Nuñez *et al.* 1982).

Los pigmentos diagnóstico más abundantes en concentración fueron los correspondientes a las diatomeas (Fucoxantina), las criptofitas (Aloxantina) y las algas verdes (CI-b). La variación de sus pigmentos en flujo y en reflujo (Fig. 17b y c) siguieron la misma tendencia. Durante el flujo la FUC y la CI-b presentaron una variación similar a la descrita para la CI-a (Fig. 17a). La ALO por su parte aumentó del inicio de la serie hasta un máximo el 5 y 6 de junio en flujo y reflujo, coincidiendo con las mareas vivas. Moreno-Miranda (2007) encontró para la misma estación y temporada durante el 2004, que las concentraciones de FUC, CI-b y ALO fueron las más abundantes y se encontraron en concentraciones similares a las reportadas en este trabajo. Por otro lado,

Millán-Nuñez *et al.* (2004) en una estación cerca de la boca de BSQ en abril del 2001 reportaron pigmentos FUC, ALO, CI-b y ZEA como los más abundantes, los tres últimos presentaron el mismo patrón que la CI-a y mayores concentraciones en flujo que en reflujó. Mientras que la FUC presentó valores muy homogéneos.

La peridina (PER), pigmento indicador de la presencia de dinoflagelados presentó en general concentraciones muy bajas a lo largo del muestreo, éstas variaron entre 0.01 y 0.03 mg m⁻³, pero aumentaron hasta 0.05 mg m⁻³ hacia el final de la serie. Esto coincide con la mayor abundancia de dinoflagelados observada al microscopio en las estaciones 1 y 3 en dichos muestreos (Figs. 5 y 7). Mientras que en la estación fija, su densidad celular mostró un patrón similar, pero con valores bajos de 580 y 340 Cel/L hacia el final del muestreo. Millán-Nuñez *et al.* (2004) reportaron concentraciones similares de PER en la boca de BSQ en noviembre del 2001. En la temporada de surgencias del 2004, Moreno-Miranda (2007) encontró concentraciones superiores a 0.5 mg m⁻³ de PER en las estaciones 1 y 3, mientras que en la estación fija reporta valores de 0.05 mg m⁻³, similares al máximo reportado en el presente trabajo. La presencia conspicua de los dinoflagelados observados al microscopio en este estudio, harían suponer que la PER se encontraría en mayores concentraciones, sin embargo esto no ocurre. Una posible explicación a lo anterior es que los dinoflagelados evolutivamente han hecho simbiosis con otros organismos fotosintéticos, de manera que los dinoflagelados contienen usualmente los pigmentos de sus endosimbiontes. Esta podría ser la razón por la que no presenten altas concentraciones de PER como su principal pigmento fotosintético accesorio, sino otros pigmentos provenientes de sus endosimbiontes (Omachi, 2003).

Reportar la presencia de las crisofitas, prymnesiofitas, cianobacterias y proclorofitas no habría sido posible sin la cuantificación de sus pigmentos diagnósticos (19-hexanoloxyfucoxantina, 19-butanoloxyfucoxantina, Zeaxantina y Divinil Clorofila-a, respectivamente) (Tabla II), aunque los bajos valores también indican que estos grupos

son poco representativos. Resalta el hecho de que en todas las series se observó el mínimo de concentración los días 8 y 9 de junio. Esto puede ser como respuesta a la alta turbulencia generada por la surgencia y a las mareas vivas como se explicó anteriormente. A partir del 10 de junio las concentraciones se mantuvieron sin mucho cambio hasta las mareas vivas, donde repuntaron los pigmentos llegando algunos a su máximo el 23 de junio. En estudios anteriores, las concentraciones de estos pigmentos fueron bajas tanto en estaciones en la boca como en el interior de BSQ (Moreno-Miranda, 2007; Millán-Núñez *et al.* 2004). Cabe señalar que la zeaxantina, indicadora de la presencia de Cianobacterias, fue el más abundante de éste grupo, aunque sus concentraciones nunca superaron 0.1 mg m^{-3} .

Una forma sintética de evaluar la contribución de los grupos del fitoplancton es determinando la proporción de los diferentes pigmentos diagnóstico con respecto a la Clorofila-a total (Cl_{TOT}) (Tabla II, Fig. 19). En el presente trabajo, los grupos que mayormente contribuyeron a la Cl_{TOT} fueron las diatomeas (FUC), las criptofitas (ALO) y las nanoflageladas (principalmente por la contribución de la Cl-b) y estos tres grupos han sido reconocidos como los más abundantes en BSQ (Millán-Núñez *et al.* 2004; Moreno-Miranda 2007).

Las criptofitas han sido reportadas como las más abundantes de las nanoflageladas hacia el interior de BSQ, e incluso contribuyen con más de la tercera parte de la biomasa fitoplanctónica (Moreno-Miranda, 2007), por ello se describió su variación por separado. La proporción de Aloxantina/ Cl_{TOT} no presentó diferencias importantes entre flujo y reflujos y sus valores fueron bajos y estables (Fig. 19). Millán-Núñez *et al.* (2004) reportaron que la aloxantina de las criptofitas varió de la misma manera que la Cl-a, mostrando que este grupo es muy abundante hacia el interior de BSQ. Moreno-Miranda (2007), empleando un microscopio invertido de contraste de fase, cuantificó la densidad de las criptofitas encontrando densidades cercanas a las 50,000 Cell/L en la estación 1 y gradualmente aumentó su densidad hacia el interior del sistema,

alcanzando las 250,000 Cel/L en la estación fija. La dominancia de las criptofitas hacia el interior de BSQ obedece en cierta medida a su capacidad de migración vertical y sus patrones de distribución son resultado de su ritmo circadiano, fototaxia, geotaxia y éstos a su vez se modifican por los factores externos como la luz, la temperatura y nutrientes (Arvola *et al.* 1991). A éste respecto, cabe señalar que BSQ es en general una laguna somera (Fig. 1) con gran abundancia de pasto marino (*Zostera marina*) hacia el interior de los brazos y este pasto puede crear sombreado limitando la disponibilidad de la luz para el fitoplancton (Camacho-Ibar, *comm pers*, 2009). Esto puede ser limitante para las diatomeas, pero favorable para las criptofitas que tienen la capacidad de migrar verticalmente. Sin embargo, cabe resaltar que en el presente trabajo, las clorofitas resultaron más abundantes que las criptofitas en cuanto a la proporción de sus pigmentos con respecto a la Cl_{TOT} , por lo que también se debe considerar su importancia en este ecosistema.

Las diatomeas están representadas por la proporción de fucoxantina/ Cl_{TOT} . Estas presentaron valores similares tanto en flujo como en refluo (Fig 19). Sus concentraciones comenzaron a aumentar a partir del 12 de junio, día en que comienza el periodo de mareas muertas y el periodo de surgencia débil, que son las condiciones de estabilidad que requieren las diatomeas para su máximo crecimiento (Bustillos-Guzmán *et al.*, 1995; Wilkerson *et al.*, 2006). Es notable que a partir del 10 de junio, durante el refluo (Fig 19b), la contribución de las diatomeas fue más abundante que los nanoflagelados y las criptofitas. Esto probablemente como resultado de la resuspensión de diatomeas bentónicas generada por la marea y el viento. A éste respecto, cabe señalar que la mayor parte de las diatomeas cuantificadas al microscopio en la estación fija correspondieron a los géneros *Navicula spp.* y *Cocconeiss spp.* Éstas fueron agrupadas como diatomeas penadas y contribuyeron hasta con el 95% del total de microfitoplancton contado al inicio del muestreo el 30 de mayo (Fig. 24). Por otro lado, el mínimo se alcanzó el día 6 cuando comenzó el afloramiento de *Nitzchia spp.* en la parte externa de BSQ (Fig. 5) y la advección de éstos organismos hacia la estación fija se reflejó en su porcentaje de

abundancia relativa a lo largo de nuestro estudio (Fig. 24). En la estación fija se realizó un estudio de composición de especies de diatomeas en sedimentos superficiales (Hernández-Becerril y Álvarez-Borrego, 1983) y se reportó que el 88% del fitoplancton lo constituyen diatomeas penadas y el 12% centrales. Los géneros más abundantes fueron *Navicula spp.*, *Cocconeis spp.*, *Amphora spp.* y *Opephora spp.* y la composición específica varió muy poco entre muestreos. Moreno-Miranda (2007) analizó la abundancia de los géneros fitoplanctónicos encontrando que *Nitzschia spp.*, *Navicula spp.* y *Cocconeis spp.* fueron las diatomeas más abundantes, con porcentajes de abundancia promedio para todas las estaciones de 14, 12 y 9.8 %, respectivamente. La constante presencia de las diatomeas penadas cuantificadas con microscopio y mediante la proporción de su pigmento respecto a la Cl_{TOT} , nos indican que estas son una fuente importante de contribución al fitoplancton total, lo que es favorecido por la turbulencia debida al efecto del viento y a la marea que resuspenden al fitoplancton bentónico.

La serie de tiempo de la proporción de pigmentos/ Cl_{TOT} que representa a las nanoflageladas (pymnesiofitas, crisofitas y algas verdes) (Fig. 19a y b) presentaron diferente comportamiento en flujo y reflujo. En el flujo la variación fue mayor y se mantuvo relativamente estable con valores altos, aunque se presentó un máximo alrededor del 12 de junio. Por otro lado, en reflujo los valores fueron bajos y oscilaron poco en todo el muestreo. La alta proporción de las nanoflageladas se debe principalmente a la contribución de la Cl-b, pigmento diagnóstico de las clorofitas. Entretanto, existe otra fuente de Cl-b proveniente de los gametos y esporas de la macroalga *Ulva spp.* La biomasa de *Ulva spp.* es mayor en primavera e inicio del verano (Zertuche *et al.* 2009). A este respecto, Aveytua-Alcázar (2008) calculó que *Ulva spp.* contribuye con el 57% del stock vegetal total dentro del sistema.

Se ha reportado para la Bahía de Monterey (California, USA) así como en el resto de la costa del Pacífico de Norte América, que *Ulva lobata* libera sus células reproductivas en primavera y verano durante las mareas vivas. Las células reproductivas contienen dos flagelos que les permite moverse para buscarse unos a otros, también les

ayuda a incrementar su dispersión, y al ser capaces de fotosintetizar son fototáticos positivos por lo que tienden a buscar luz, como hacen los demás grupos de nanoflagelados (Beach *et al.* 1995; Melkonian, 1980). Lo anterior podría hacer que la proporción de nanoflagelados, especialmente las clorofitas, esté sobrestimado. Además los gametos y esporas de *Ulva spp.* son menores a 10 μm , por lo que no es posible distinguirlos al microscopio óptico.

La contribución de los dinoflagelados evaluada mediante la proporción Peridinina/Cla_{TOT} indicó su baja representatividad, ya que los valores fueron menores a 0.02 casi toda la serie, sin existir variación considerable en flujo y reflujo (Fig 20a). Sin embargo, hacia el final del muestreo los valores aumentaron por arriba de 0.04. Esto coincide con la mayor densidad de dinoflagelados contados al microscopio, tanto en las estaciones 1 y 3 como en la estación fija. En ésta última los dinoflagelados contribuyen con más del 20% de las células/L totales el 25 de junio. Moreno-Miranda (2007) reportó porcentajes de contribución de los dinoflagelados del 25 % del total de células en las estaciones 1, 2 y 6 y su contribución fue en decremento hacia el interior de ambos brazos de la bahía.

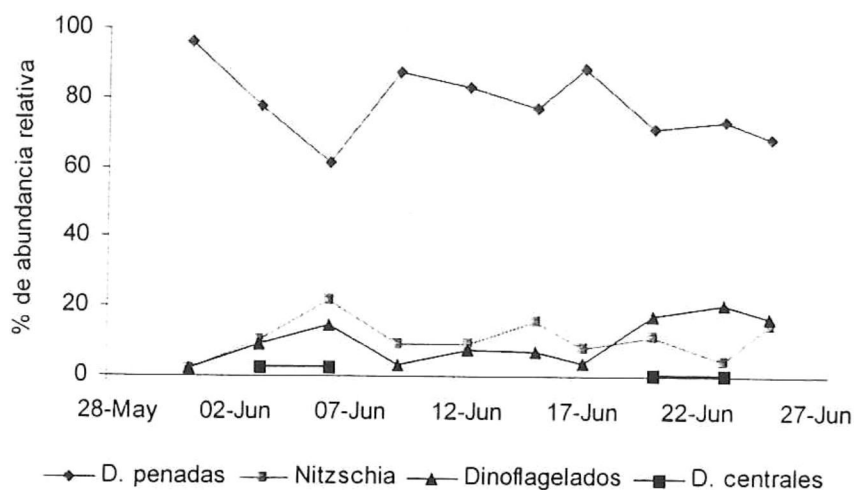


Figura 24. Porcentaje de abundancia relativa de los grupos de microfitoplancton en la estación fija.

Las proclorofitas y cianofitas (Figura 19b) presentaron concentraciones muy bajas y una mínima variación entre flujo y reflujó. Ambos grupos presentaron un máximo entre el 6 y 8 de junio y tras mantenerse estables durante las mareas muertas, vuelven a incrementarse hacia el final del muestreo. Lo anterior nos hace suponer que quizá estos organismos estén siendo importados hacia el interior de BSQ. A este respecto, Moreno-Miranda (2007) reportó las concentraciones de pigmentos de ambos grupos en un gradiente negativo desde la estación 1 hasta las estaciones más internas. Sus datos muestran que la Zeaxantina y la Divinil-CI-a son más abundantes en las estaciones afuera de BSQ y en la boca, mientras que disminuyen gradualmente hacia el interior del brazo Este (San Simón). Para el brazo Oeste (Bahía Falsa) el autor encontró que la concentración de Zeaxantina es similar a la de las estaciones afuera y en la boca de BSQ. Por otro lado, la Divinil-CI-a no presenta un gradiente marcado, aunque sus valores si son menores que en las estaciones de la boca y fuera de ella. Las proclorofitas se han reportado como abundantes en trabajos previos (Millán-Nuñez *et al.*, 2004). Sin embargo, dicho estudio fue realizado en abril, temporada donde las surgencias son de menor intensidad y en esa ocasión las concentraciones de CI-a no fueron superiores a 0.55 mg m^{-3} , que se considera como condiciones oligotróficas. A éste respecto Bustillos-Guzmán *et al.* (1995) en la costa NO del Mar Mediterráneo, encontraron que las proclorofitas sólo fueron abundantes durante condiciones de estratificación, mientras que las cianobacterias fueron más abundantes durante etapas de mezcla y se acumularon en la capa superficial.

La proporción de pigmentos accesorios (PSC) respecto a los pigmentos fotoprotectores (PPC), provee información sobre el grado de fotoaclimatación de los organismos a las condiciones de luz donde se encuentran distribuidos (Omachi, 2003; Barocio-León *et al.* 2006). Las proporciones de pigmentos accesorios (PSC) y fotoprotectores (PPC) respecto a la CI-a mostraron poca diferencia entre el flujo y el reflujó. La mayor cantidad de PPC estuvo influenciada por la contribución de la Aloxantina en este grupo de pigmentos y es por ésta misma razón que su variación temporal se

asemeja a la de las criptofitas. Las mayores proporciones de PPC se asocian a células aclimatadas a altas irradiancias (Eisner *et al.*, 2003; Kirk, 1994). En BSQ esto puede ser explicado por las condiciones de alta turbulencia, como sucede del 3 al 9 de junio. Para estas fechas Flores-Vidal (2006) reportó corrientes superficiales debidas al viento en los primeros 3 metros de la columna, con velocidades de hasta 20 cm s^{-1} con dirección SE. Esta corriente transporta por la superficie fitoplancton proveniente de la zona norte de Bahía Falsa, zona que es muy somera y altamente turbulenta por el efecto del viento. En dicho periodo los PPC aumentan su proporción considerablemente, esto como mecanismo de fotoprotección a las altas irradiancias. Lo anterior coincide con el aumento en la proporción de diatomeas. Por esta razón, se puede asumir que las diatomeas, al ser resuspendidas del fondo, están aclimatadas a irradiancias bajas y al llegar a la superficie donde hay mayores irradiancias, responden incrementando los pigmentos fotoprotectores (PPC), mientras los PSC comienzan a disminuir. Al presentarse, después del 12 de junio, condiciones de calma y mareas muertas, los PSC aumentaron su proporción y los PPC se mantuvieron sin mayor variación.

VII.5. VARIACIÓN ESPACIAL DE LA CLOROFILA Y EL MICROFITOPLANCTON DENTRO DE BSQ

Hacia el interior de la bahía, la primer estación muestreada fue la número 8 (Fig. 1), que está ubicada sobre el canal principal, donde la profundidad supera los 10 m. Esto provoca que en el área existan corrientes intensas en toda la columna. Esto sucede principalmente en mareas vivas, donde la circulación depende principalmente de la marea y la influencia del viento es menor (Flores-Vidal, 2006). Debido a esto, las mayores concentraciones de Cl-a y microfitoplancton se presentaron el día 6 de junio, siendo su magnitud igual a los valores en la estación 1 (Fig. 5). Posteriormente, los valores de Cl-a y densidad celular se redujeron drásticamente manteniéndose muy estables durante el periodo de marea muerta y surgencia de débil. Bajo estas condiciones, la circulación en

el área se vuelve de dos capas, la capa superficial (primeros 3 m) está dominada por el efecto del viento, creando corrientes superficiales intensas y que alcanzan magnitudes de 40 cm s^{-1} con dirección S-SE (Flores-Vidal, 2006). Por lo que es probable que los valores de Cl-a y de microfitoplancton representen al agua que proviene del interior de Bahía Falsa, a excepción del muestreo el 6 de junio. Sin embargo, las altas densidades de dinoflagelados el 17 de junio nos indican la entrada de agua oceánica. Esto puede obedecer al debilitamiento del viento que se presentó en el periodo. Cabe señalar que para estas fechas, las estaciones 1 y 3 estuvieron dominadas por los dinoflagelados.

Las estaciones 14 y 19 hacia el interior de BSQ (Fig.1) presentaron algunas similitudes en la variación de la Cl-a, más no en magnitud ya que en la estación 14 los valores siempre duplicaron en cantidad a los de la estación 19. Los dos máximos en la Cl-a se encontraron al inicio de la serie y el 17 de junio. Este último puede asociarse a la estabilidad causada por el debilitamiento de los vientos en estas fechas y al periodo de mareas muertas. A este respecto, Flores-Vidal (2006) explica que el debilitamiento del viento provocó la disminución de la corriente superficial que normalmente es hacia fuera de la bahía, mientras que por debajo de la superficie, la corriente es hacia el interior. Probablemente, en esta zona también se presenta una circulación de dos capas, una capa superficial generada por el viento con corrientes hacia fuera de la bahía y una corriente en el fondo que va hacia el interior del brazo Este. Al igual que en la estación 8, este patrón de circulación se vería afectado por las mareas vivas y mareas muertas, como se explicó anteriormente.

La menor densidad de microfitoplancton y de Cl-a con respecto a las estaciones más cercanas a la boca, puede obedecer a la limitación de nutrientes que se presentan hacia la cabeza del brazo Este, a la gran abundancia de *Zostera marina* que puede generar sombreado al fitoplancton y a un mayor retraso en el intercambio de las propiedades del agua (Camacho-Ibar *et al.*, 2007). La predominancia de las diatomeas respecto a los dinoflagelados en las estaciones 14 y 19 puede obedecer a la resuspensión de diatomeas bentónicas, ya que la profundidad en estas estaciones es de

6 y 4 m, respectivamente. Esto se corrobora por el hecho de que se encontraron mayores abundancias de diatomeas en la estación 19 durante los días de mayor surgencia y con marea viva.

Por otro lado, la presencia de dinoflagelados podría indicarnos la influencia de agua oceánica. A este respecto, en la estación 14 es evidente que la mayor abundancia de dinoflagelados con respecto a las diatomeas se presentó los días 6, 23 y 25 de junio, periodos de mareas vivas donde la circulación está mayormente influenciada por la marea (Flores-Vidal, 2006). La densidad promedio de diatomeas y dinoflagelados reportada por Moreno-Miranda (2007) en las estaciones 14 y 19 fueron similares a las encontradas en éste trabajo. Sin embargo, la abundancia de criptofitas que reportó fue mayor a 150,000 Cel/L en ambas estaciones. Esto indica que la variación de la Cl-a en nuestras estaciones también podría atribuirse a la presencia de criptofitas y otras nanoflageladas, células pequeñas adaptadas a condiciones de alta turbulencia (Bustillos-Guzmán *et al.*, 1995).

En el brazo Oeste fueron seleccionadas dos estaciones para evaluar la variabilidad espacial. Estas fueron las estaciones 28 y 30, localizadas al norte de la estación fija, que es una zona somera con profundidades de 2 a 3 m (Fig. 1). En general, estas estaciones presentaron concentraciones de Cl-a menores a 1 mg m^{-3} y con poca variación a lo largo del tiempo. Debido a su ubicación están fuertemente afectadas por el efecto del viento que resuspende las diatomeas del fondo y por ello éste grupo es dominante en ambas estaciones, aunque se presentaron mayores densidades en la estación 28 que en la 30. En cambio, Moreno-Miranda (2007) reportó mayores abundancias de diatomeas en la estación 30 que en la 28 y también reporta abundancias cercanas a 150,000 Cel/L de criptofitas. Por otro lado, en nuestro trabajo los dinoflagelados se encontraron en proporciones muy pequeñas y su aumento en la abundancia los días del 20 al 25 de junio obedece al mayor intercambio de agua por la marea. Cabe recordar que en éste periodo, en la estación 3, representativa de las aguas oceánicas, los dinoflagelados se encontraron dominando en abundancia.

VIII. CONCLUSIONES

En las aguas costeras adyacentes a BSQ las condiciones de surgencia traen a la superficie agua fría con altas concentraciones de nutrientes. Bajo estas condiciones se incrementan las concentraciones de Cl-a como reflejo de la mayor abundancia de diatomeas. Una indicación de esto es el afloramiento de *Nitzchia spp* que alcanzó su máximo desarrollo durante el periodo de relajación de la surgencia, esto es siete días después de empezada la surgencia.

El término del afloramiento de diatomeas se asoció a la baja concentración de nitratos y silicatos en superficie. En este periodo las concentraciones de Cl-a continuaron siendo altas debido al aumento en la densidad de dinoflagelados. Las máximas concentraciones de Cl-a y dinoflagelados el 17 de junio en la estación 3 sustentan el hecho de que los dinoflagelados se encontraron por debajo de la capa de mezcla consumiendo los nutrientes regenerados tras el colapso de las diatomeas y al mismo tiempo evitando la turbulencia generada por el aumento en el índice de surgencia.

Hacia el interior de BSQ, específicamente en la estación fija, las series de tiempo del CTD permitieron cuantificar la relación de la marea con la temperatura y la fluorescencia bajo diferentes condiciones. La temperatura es un indicador de la entrada de agua oceánica y su relación con la temperatura fue inversa, presentándose los máximos de temperatura durante la bajamar y los mínimos en pleamar. Por otro lado, la fluorescencia presentó mayores variaciones, con sus máximos valores asociados a los periodos de bajamar, es decir cuando el agua está saliendo de la laguna. Esto se asocia a la alta turbulencia generada durante este periodo que acarrea fitoplancton bentónico aclimatado a bajas irradiancias. La fluorescencia, por otro lado, presentó valores más bajos durante la pleamar que trae consigo fitoplancton del océano adyacente.

El filtrado de la señal de marea en las series del índice de surgencia, temperatura y fluorescencia resultó en series de tiempo donde se refleja la señal del agua oceánica que penetra al interior de BSQ. En el caso de la temperatura, observamos que existe un

desfase del máximo de surgencia con el mínimo de temperatura. La relación entre la fluorescencia y la surgencia presentó mayor variación, pero podemos concluir que los máximos de la fluorescencia se asociaron al periodo de surgencia baja entre el 13 y 17 de junio cuando existieron condiciones de calma y altas concentraciones de Cl-a aunados a un mayor tiempo de residencia.

La Cl-a medida mediante HPLC corrobora la tendencia que se observó en la fluorescencia. En los valores diarios de Cl-a, observamos que las concentraciones más bajas se presentaron durante las mareas vivas en periodo de surgencia alta. Mientras que en el periodo de surgencia débil, aunado a la marea muerta, se propiciaron las condiciones ideales para el crecimiento del fitoplancton dentro de BSQ, cuando se alcanzaron los máximos en biomasa.

Los pigmentos diagnóstico medidos por HPLC evidenciaron la presencia de criptofitas, clorofitas, prymnesiofitas, proclorofitas y cianofitas, mismos que no es posible ver al microscopio convencional. La contribución de los pigmentos diagnósticos de estos grupos a la Cl-a total permitió determinar que las nanoflageladas (principalmente clorofitas), las diatomeas y las criptofitas fueron los grupos más abundantes.

Las criptofitas y las nanoflageladas responden favorablemente a las condiciones de mezcla e inestabilidad debidas al efecto del viento e incluso dominaron sobre las diatomeas bajo estas condiciones. Por otro lado, la contribución de las diatomeas fue más abundante a partir de que terminó la surgencia de alta intensidad y comenzó la marea muerta asociada a la surgencia débil. Estas son las condiciones de máximo crecimiento en las diatomeas. Por otro lado, la resuspensión de diatomeas bentónicas en el resto de la serie se vio reflejado en la alta contribución del pigmento de éste grupo a la Cl-a total.

Los pigmentos fotoprotectores (PPC) aumentan su proporción considerablemente como mecanismo de fotoprotección a las altas irradiancias. Las diatomeas, al ser resuspendidas del fondo, están aclimatadas a irradiancias bajas y al llegar a la superficie

donde hay mayores irradiancias, responden incrementando la proporción de estos pigmentos (PPC).

La evaluación de la variación espacial dentro de BSQ, mostró que las diatomeas son el grupo dominante del microfitoplancton hacia el interior de la misma, ya que la resuspensión por el viento y las mareas provocan que dichos organismos se mantengan suspendidos en la columna. Sin embargo, la presencia de dinoflagelados evidenció la entrada de agua oceánica durante las mareas vivas.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez-Borrego, S., G. Ballesteros-Grijalva, G. y A. Chee-Barragan. 1975 Estudio de algunas variables fisicoquímicas superficiales en Bahía San Quintín, en verano e invierno. *Ciencias Marinas* 2:1-9.
- Álvarez-Borrego, S. y A. Chee-Barragan. 1976. Distribución superficial de fosfatos y silicatos en Bahía San Quintín, B.C. *Ciencias Marinas* 3: 51-61.
- Arar E.J y G.B. Collins 1992. In Vitro Determination of Chlorophyll-a and Phaeophytin-a in Marine and Freshwater Phytoplankton by Fluorescence. Method 445.0 Version 1.1 U.S. Environmental Protection Agency, Environmental Monitoring Systems Laboratory, Office of Research and Development, Cincinnati, OH.
- Arvola L., A. Ojala, F. Barbosa y S.I. Heaney. 1991. Migration behaviour of three Cryptophytes in relation to environmental gradients: and experimental approach. *Journal of British Phycology* 26: 361-379.
- Aveytua-Alcázar L. 2008. Modelación de la dinámica biogeoquímica en una laguna costera. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada Baja California. 240 pp.
- Barocio-León O. A., R. Millán-Nuñez, E. Santamaría-del-Ángel, A.González-Silvera A. y C. C. Trees. 2006 Spatial variability of phytoplankton absorption coefficients and pigments off Baja California during November 2002. *Journal of Oceanography* 62:873-888.
- Beach, K. S., C.M. Smith, T. Michael, H.W.. Shin. 1995. Photosynthesis in reproductive unicells of *Ulva fasciata* and *Enteromorpha flexuosa*: implications for ecological success. *Marine Ecology Progress Series* 14(125): 229-237.
- Bustillos-Guzmán J., H. Claustre y J-C. Marty. 1995. Specific phytoplankton signatures and their relationship to hydrographic conditions in the coastal northwestern Mediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series*. 124:247-258.

- Camacho-Ibar V.F., J.D. Carriquiry y S.V. Smith. 2003. Non-conservative P and N fluxes and net ecosystem production in San Quintín Bay, México. *Estuaries* 25 (5): 1220-1237.
- Camacho-Ibar, V.F., Hernández-Ayón, J.M., Santamaría-del-Angel, E., Daesslé-Heuser, L.W. y Zertuche González, J.A. (2007). Relación de las surgencias con los stocks de carbono en Bahía San Quintín, una laguna costera del NW de México. En: Hernández-de la Torre B, Gaxiola-Castro G. (eds.), *Carbono en Ecosistemas Acuáticos de México*. INE, CICESE. pp. 355-370.
- Chávez de Nishikawa, A.G. y S. Álvarez-Borrego, 1974. Hidrología de la Bahía de San Quintín, Baja California, en invierno y primavera. *Ciencias Marinas* 1(2): 31-61.
- Cloern J.E., T.M. Powell y Huzzey L.M. 1989. Spatial and temporal variability in South San Francisco Bay (USA). II Temporal Changes in salinity, suspended sediments, and phytoplankton biomass and productivity over tidal time series. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 28:599-613.
- Cloern, J. E. 1996. Phytoplankton bloom dynamics in coastal ecosystems: A review with some general lessons from sustained investigation of San Francisco Bay, California. *Reviews of Geophysics* 34:127-168.
- Eisner, L.E., M.S. Twardowski y T.J. Cowles, 2003. Resolving phytoplankton photoprotective:photosynthetic carotenoid ratios on fine scales using in situ spectral absorption measurements. *Limnology and Oceanography*. 48:632-646.
- Eppley, R. W., O. Holm-Harisen y J.D. H. Strickland, 1968. Some observations on the vertical migration of dinoflagellates. *Journal of Phycology*. 4(4): 33-340.
- Estrada M. y D. Blasco, 1985. Phytoplankton Assemblages in Coastal Upwelling Areas. *Internacional Symposium on the Most Important Upwelling Areas off Western Africa (Cape Blanco and Benguela)*. 1: 379-402.
- Falkowsky P.G. y J.A. Raven, 1997. *Aquatic Photosynthesis*, Blackwell Science. Massachusetts. 375 pp.

- Farfán B.C. y Álvarez-Borrego S. Contenidos de carbono y nitrógeno en zooplancton y pasto marino (*Zostera marina*) de Bahía San Quintín, Baja California. *Ciencias Marinas* : 125-133.
- Flores Vidal X., 2006. Circulación residual en Bahía San Quintín, B.C. México. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Ensenada, B.C. 80 p.
- García-Esquivel, Z. M.A. González Gómez, F. Ley Lou y A. Mejía Trejo (2004). Potencial Ostrícola del brazo oeste de Bahía San Quintín: biomasa actual y estimación preliminar de la capacidad de carga. *Ciencias Marinas* 30(1A): 61-74.
- Granda A. P. y R. A. Alvarez, 2008. The Annual cycle of nanoflagellates in the Central Cantabrian Sea (Bay of Biscay). *Journal of Marine Systems* 72(1-4):298-308.
- Jeffrey, S.W., R.F.C., Mantoura y S.W. Wright, 1997. *Phytoplankton pigments in oceanography: guidelines to modern methods*. Paris, UNESCO Publishing.
- Hernández-Becerril D. U. y S. Álvarez-Borrego, 1983. Diatomeas bentónicas en Bahía San Quintín, B.C. *Ciencias Marinas* 9(2):121-131.
- Kirk, J. T. 1994. *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems*. Cambridge University Press. Cambridge 401 pp.
- Lara-Lara J.R. S.A. Álvarez-Borrego y L.F. Small. 1980. Variability and tidal Exchange of Ecological Properties in a Coastal Lagoon. *Estuarine and Coastal Marine Science*. II, 613-637.
- Lassiter, A.M., F. P. Wilkerson, R. C. Dugdale y V. E. Hogue. 2006. Phytoplankton assemblages in the CoOP-WEST coastal upwelling area. *Deep Sea Research II*. 53: 3063-3077.
- Levasseur M, J.C. Therriault y L. Legendre. 1984. Hierarchical control of phytoplankton sucesión by physical factors. *Marine Ecology Progress Series* 19:211-222.
- Mann K.H. y J.R.N Lazier. 1991. *Dynamics of marine ecosystems, biological-physical intereactions in the oceans*. Blackwell Scientific publications . Cambridge. 466 pp.

- Margalef, R. 1978. Phytoplankton communities in upwelling areas: the example of NW Africa. *Oceanologica Acta* 3: 97-132.
- Melkonian, M. 1980. Flagellar roots, mating structure and gametic fusion in *Ulva lactuca* (Ulvales). *Journal of Cell Science* 46: 149-169.
- Millán-Núñez R. S.A. Álvarez-Borrego y D.M. Nelson. 1982. Effects of physical phenomena on the distribution of nutrients and phytoplankton productivity in a coastal lagoon. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 15: 317-335.
- Millán-Núñez R., E. Millán-Núñez, S. Álvarez-Borrego, C.C. Trees y E. Santamaría-del-Ángel. 2004. Variabilidad de la comunidad del fitoplancton en Bahía San Quintín estimada mediante el análisis de pigmentos. *Ciencias Marinas*:30(1A) 35-43.
- Moreno-Miranda C. 2007. Variabilidad espacial de la composición taxonómica del fitoplancton en Bahía San Quintín Tesis de Maestría Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C. 81 p.
- Omachi, C. Y. 2003. Investigation of primary productivity along the Atlantic Meridional transect (50° N a 33° S) through fast repetition rate fluorometry. PHD. Thesis. School of Earth, Ocean and Environmental Sciences. University of Plymouth, UK.
- Rodríguez Cardoso L. 2007. Valoración económica de las surgencias en bahía San Quintín , B.C. Tesis de Maestría Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, B.C. 72 p.
- Roegner, G.C. y Shanks A.L. 2001. Import of coastally derived Chlorophyll a to South Slough, Oregon. *Estuarios* 24 (2): 244-256.
- Schnack S.B., M. Elbrachter. 1981. On the food of calanoid copepods from the northwest African upwelling region. *Coastal Estuarine Science* 1: 433-439.
- Trees, C.C., D.K. Clark, R.R. Bidigare, M.E. Ondrusek y J.L. Mueller. 2000. Accessory pigments versus chlorophyll a concentrations within the euphotic zone: A ubiquitous relationship. *Limnology and Oceanography*. 45(5):1130-1143.

- Ütermohl H. 1958. Zur Vervollkommnung der qualitativen Phytoplankton-Methodik. Mitteilungen der International Vereinigung für theoretische und Angewandte Limnologie 9: 1-38.
- Verity P.G., J.O. Blanton, J. Amft, C. Barans, D. Knott, B. Stender y E. Wenner. 1998. Influences of physical oceanographic processes on chlorophyll distributions in coastal and estuarine waters of the South Atlantic Bight. Journal of Marine Research. 56: 681-711.
- Wilkerson F.P., A.M. Lassiter, R.C. Dugdale, A. Marchi y V. Hogue. 2006. The phytoplankton bloom response to wind stress events and upwelled nutrients during the CoOP WEST study. Deep Sea Research II. 53: 3023-3048.
- Yañez-Arancibia, A., A.L. Lara Domínguez y D. Pauly. 1994. Coastal lagoons as fish habitats, p. 363-376. In B. Kjerfve (ed), Coastal lagoon Processes. Elsevier, Amsterdam. The Netherlands.
- Zertuche-González, J.A. (aceptado Enero 2009), Camacho-Ibar, V.F., Pacheco-Ruiz, I., Cabello-Pasini, A., Galindo-Bect, L.A., Guzmán-Calderón, J.M. Macías-Carranza, V., Espinoza-Avalos, J. (2009) The role of *Ulva spp.* as a temporary nutrient sink in a coastal lagoon with Oyster cultivation and upwelling influence. Journal of Phycology.