

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS



CARACTERIZACIÓN BIO-ÓPTICA DE LA BAHÍA DE TODOS
SANTOS (ENSENADA, BAJA CALIFORNIA)

TESIS

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

MAESTRO EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFÍA COSTERA



PRESENTA

RAMÍREZ ALTAMIRANO YESSICA LIZBETH

ENSENADA BAJA CALIFORNIA

Resumen

El objetivo de este trabajo fue evaluar la variabilidad espacial y temporal de las propiedades bio-ópticas de la Bahía de Todos Santos (Ensenada-Baja California) con base en datos medidos entre 2016 y 2018. Los datos se obtuvieron de seis estaciones distribuidas en tres regiones: central, oceánica y costera y los resultados se analizaron considerando época fría y época cálida. La evaluación de la composición taxonómica de la comunidad fitoplanctónica se realizó mediante análisis al microscopio, y a partir de la concentración de pigmentos medida por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) y el programa para quimiotaxonomía CHEMTAX. Se evaluaron los coeficientes de absorción de luz por el fitoplancton ($a_{ph}(\lambda)$), detrito ($a_d(\lambda)$) y materia orgánica disuelta cromofórica ó CDOM ($a_{CDOM}(\lambda)$). Las mayores concentraciones de clorofila *a* se observaron durante la época fría y en particular en la estación B6, localizada cercana al puerto de Ensenada. Durante esta temporada el grupo dominante fueron las diatomeas, con el predominio del género *Chaetoceros* sp., mientras que en la época cálida el dominante fué *Hemiaulus* sp. Los dinoflagelados fueron el segundo grupo más abundante, y el género *Prorocentrum* sp. predominó en ambas épocas. El CHEMTAX mostró la contribución de otros géneros de menor tamaño como clorofitas y primnesiofitas, además de las diatomeas, para ambas épocas. Las cianobacterias predominaron en la época cálida. el CHEMTAX se mostró muy apropiado para la evaluación de la comunidad fitoplanctonica, en especial de los grupos más pequeños, pero no permitió la detección apropiada de los dinoflagelados. por esto, se recomienda que ambas técnicas sean siempre usadas en conjunto (Microscopio y Chemtax). Los componentes que dominan la absorción de luz en la BTS son el CDOM y el fitoplancton, a pesar de que se observan diferencias espaciales y temporales en la contribución diferenciada de cada uno. En las estaciones costeras cercanas al estero de Punta Banda y a la zona portuaria, la contribución por el CDOM tiende a ser mayor, probablemente debido a aportes orgánicos provenientes de estas fuentes. Además, nuestros resultados indican que esta región presenta una mayor variabilidad espacio temporal, probablemente asociado a los procesos de circulación superficial y a la profundidad. En particular durante este estudio, se pudo evaluar un florecimiento del dinoflagelado *Lingulodinium polyedrum*, el cual se concentró en la estación B6 con una abundancia de 145,300 cel/L y una concentración de clorofila *a* de 11 mg/m³. En particular, este florecimiento provocó cambios en la forma espectral de $a_{ph}(440)$, $a_d(440)$ y $a_{CDOM}(440)$, lo que representa un elemento potencial para la detección por sensores remotos de esta especie. Finalmente, se recomienda dar continuidad al monitorio de las propiedades bio-ópticas de la BTS, para conocer y generar información que ayuden a entender el funcionamiento espacial y temporal de la misma y como potencial insumo para la prevención de los riesgos asociados a florecimientos algales nocivos y/o otro tipo de eventos que alteran la calidad del agua.

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

**CARACTERIZACIÓN BIO-ÓPTICA DE LA BAHÍA DE TODOS
SANTOS (ENSENADA, BAJA CALIFORNIA)**

TESIS

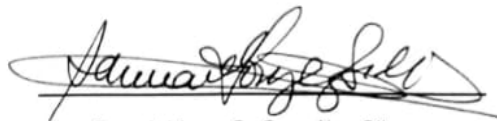
QUE PARA CUBRIR PARCIALMENTE LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA
OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFÍA COSTERA

PRESENTA

YESSICA LIZBETH RAMÍREZ ALTAMIRANO

Aprobado por:



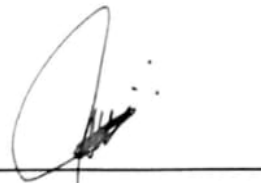
Dra. Adriana G. González Silvera

Directora de tesis



Dr. Eduardo Santamaría del Ángel

Sinodal



Dr. Jorge Manuel López Calderón

Sinodal

Dedicatoria

A mi familia que siempre la llevo en el corazón.

A mis padres por el apoyo, amor y confianza que me han brindado en todos los años de mi formación personal y profesional. Por darme inspiración para lograr todos mis sueños. Muchas gracias por confiar en mí y por enseñarme a que todo sacrificio vale la pena. Con la más profundo admiración y respeto, este logro es más suyo que mío. A mi padre por ser el ejemplo del mejor hombre del mundo, porque siempre me guía para tomar las mejores decisiones. A mi madre por todos esos consejos de vida, por cobijarme y escucharme aún en la distancia. A mi hermana, que es el claro ejemplo de la mujer que quiero llegar a ser. Por toda esa admiración que te tengo. Eres mi mejor amiga, consejera y juez, pero sin duda lo haces con el amor más puro.

A mis amigas Benia, Ale, Cris. Mary, por todas esas aventuras y enseñanzas. Por convertirse en mi pequeña familia Ensenadense la cual voy a atesorar en mi corazón con muchísimo amor y cariño. Gracias por apoyarme de manera incondicional.

Finalmente agradezco a Charly, por su apoyo incondicional, amor y confianza. Por estar conmigo en todo momento desde que nos conocimos. Porque esto es sólo una de las metas que compartiremos.

AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradezco a mi comité de tesis conformado por la Dra. Adriana González Silvera, Dr. Eduardo Santamaria del Ángel y al Dr. Jorge Manuel López Calderón, por su orientación, consejos y apoyo durante la elaboración de este trabajo, así como en mis estudios de Posgrado.

A la Dra. Adriana González Silvera, por incluirme en el grupo de trabajo POPEYE, por todas sus enseñanzas profesionales y personales.

A la Universidad Autónoma de Baja California, por permitirme realizar mis estudios de Posgrado en el programa de Maestría Oceanografía Costera en la Facultad de Ciencias Marinas y en el Instituto de Investigaciones Oceanológicas de la UABC.

A CONACYT por la beca otorgada (No. De becario 632126) para la realización de mis estudios de Maestría en Oceanografía Costera.

A todos los integrantes del grupo de trabajo POPEYE viejos y nuevos, que me ayudaron a la realización de este trabajo.

A mi amiga incondicional Benia, mi compañera de aventuras desde que llegué a Ensenada. Te agradezco de todo corazón todo lo que has hecho por mí, por escucharme, tolerarme en mis peores ratos y por ofrecerme un abrazo en todo momento.

“Caracterización Bio-óptica de la Bahía de Todos Santos (Ensenada, Baja California)”.

“Los sueños se convierten en realidad, si los deseamos lo suficiente”.

Peter Pan

INDICE GENERAL

1. Introducción	- 1 -
1.2 Estudio de la comunidad fitoplanctónica	- 7 -
1.3 Propiedades ópticas del agua	- 9 -
2. Hipótesis	- 13 -
3. Objetivo General	- 13 -
3.1 . Objetivos Particulares	- 13 -
4. Área de estudio y antecedentes	- 13 -
5. Metodología	- 17 -
5.1 Muestreo en campo	- 17 -
5.2 Análisis en el laboratorio	- 18 -
5.2.1 Identificación y abundancia del fitoplancton	- 19 -
5.2.3 CHEMTAX	- 21 -
5.2.4 Coeficiente de absorción de luz por la materia orgánica disuelta cromofórica (CDOM)	- 22 -
5.2.5 Coeficiente de absorción de luz por el material particulado	- 23 -
5.2.6 Análisis estadístico	- 24 -
6. Resultados	- 24 -
6.1 Composición de la comunidad fitoplanctónica determinada por microscopio	- 25 -
6.2 Análisis de pigmentos	- 31 -
6.3 Abundancia celular de acuerdo con CHEMTAX	- 34 -
6.4 Propiedades de absorción de luz	- 42 -
6.5 Análisis estadísticos	- 48 -
6.5 Florecimiento fitoplanctónico (junio 2017)	- 50 -
7. Discusión	- 57 -
7.1 Variabilidad espacial y temporal de la abundancia del fitoplancton y la Chla	- 57 -
7.2 Composición taxonómica de la comunidad fitoplanctónica	- 59 -
7.3 Propiedades bio-ópticas	- 62 -
7.4 Características bio-ópticas de un florecimiento de dinoflagelado	- 68 -
8. Conclusiones	- 71 -

9. Referencias _____ - 71 -

Anexos _____ I

Anexo 1. Matrices de salida del CHEMTAX generada para cada muestreo _____ I

Anexo 2. Abundancias de los géneros de diatomeas observadas durante la época fría. _____ IV

Anexo 3. Abundancias de los géneros de dinoflagelados observados durante la época fría. _____ V

Anexo 4. Abundancias de los géneros de crisofitas y nanoflagelados observados durante la época fría. _____ VI

Anexo 5. Abundancias de los géneros de diatomeas observados durante la época cálida. _____ VII

Anexo 6. Abundancias de los géneros observados durante la época cálida. _____ VIII

Anexo 7. Abundancias de los géneros observados de crisofitas y nanoflagelados durante la época cálida. _____ IX

Anexo 8. Abundancias de los géneros de diatomeas observados durante el florecimiento de junio 2017 _____ X

Anexo 9. Abundancias de los géneros de dinoflagelados observados durante el florecimiento de junio del 2017. _____ XI

Anexo 10. Abundancias de los géneros de crisofitas y nanoflagelados observados durante Junio de 2017. _____ XII

Anexo 11. Dinoflagelados observados al microscopio. _____ I

Anexo 12. Diatomeas observadas al microscopio _____ II

Anexo 13. Crisofitas y nanoflageladas observadas al microscopio _____ III

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Pigmentos, abreviatura y grupo fitoplanctónico que los contiene (Jeffrey et al., 1997). _____ - 3 -

Tabla 2. Fechas de muestreo (día, mes y año). La fecha resaltada en rojo fue un muestreo afectado por un florecimiento del dinoflagelado *Lingulodinium polyedrum* _____ - 17 -

Tabla 3. Pigmentos considerados para la quimiotaxonomía, los pigmentos en negrita indican el pigmento utilizado como biomarcador (Tabla 4). _____ - 21 -

Tabla 4. Matriz de entrada del CHEMTAX. Tomada y modificada de Araujo et al. (2016). _____ - 22 -

Tabla 5. Géneros observados al microscopio (general y por época). _____ - 25 -

Tabla 6. Mínimo, máximo, mediana, número de datos (n) y porcentaje de contribución de los cuatro grupos identificados en las 6 estaciones de muestreo para la época fría. _____ - 27 -

Tabla 7. Mínimo, máximo, mediana, número de datos (n) y porcentaje de contribución de los cuatro grupos identificados en las 6 estaciones de muestreo para la época cálida. _____ - 27 -

Tabla 8. Intervalos de variación (mínimo y máximo), número de datos (n) mediana y % de contribución de los pigmentos detectados por el HPLC para la época fría. _ - 31 -

Tabla 9. Intervalos de variación (mínimo y máximo), número de datos (n), mediana y porcentaje (%) de contribución de los pigmentos observados en la época cálida. - 32 -

Tabla 10. Mínimo, máximo, mediana de la contribución relativa de los grupos fitoplanctónicos a la Chla (mg/m^3) determinados mediante el CHEMTAX, número de datos (n) y porcentaje de contribución general para la época fría y época cálida. _____ - 35 -

Tabla 11. Mínimo, máximo, mediana, número de datos (n) y porcentaje de contribución de los grupos fitoplanctónicos detectados por el CHEMTAX durante la época fría en las seis estaciones de muestreo. En negritas se marcan aquellos grupos cuyo porcentaje de contribución fue mayor al 10%. _____ - 35 -

Tabla 12. Mínimo, máximo, mediana, n y porcentaje de contribución de los grupos fitoplanctónicos detectados por el CHEMTAX durante la época cálida en las seis estaciones de muestreo. En negritas se marcan aquellos grupos cuyo porcentaje de contribución fue mayor al 10%. _____ - 36 -

Tabla 13. Mínimo, máximo, mediana, número de datos (n) y porcentaje de contribución de los tres coeficientes de absorción $a_{\text{CDOM}}(440)$, $a_{\text{ph}}(440)$ y $a_{\text{d}}(440)$, para la época fría y época cálida. _____ - 42 -

Tabla 14. Mínimo, máximo, mediana, número de datos (n) y porcentaje de contribución de los coeficientes de absorción $a_{\text{CDOM}}(440)$, $a_{\text{ph}}(440)$, $a_{\text{d}}(440)$ y el coeficiente de atenuación difusa (K_{d}). Para las seis estaciones de muestreo durante la época fría. _____ - 43 -

- Tabla 15.** Mínimo, máximo, mediana, número de datos (n) y porcentaje de contribución de los coeficientes de absorción, $a_{CDOM}(440)$, $a_{ph}(440)$, $a_d(440)$. Para las seis estaciones de muestreo durante la época cálida. _____ - 43 -
- Tabla 16.** Resultados de la prueba estadística Wilcoxon Rank Sum Test para evaluar diferencias entre época fría y cálida, para la región central, para las variables indicadas en la primera columna. Se indican el número de datos por época (n), el estadístico T calculado (T_{frio} , $T_{cálido}$), y los valores críticos (TL y TU). La última columna indica si la decisión fue de igualdad o diferencia (ver metodología para detalles del método). (Wilcoxon 1945, Wilcoxon y Wilcoxon 1963) utilizando los valores críticos (TL, TU) en Wilcoxon et al., 1970. Se indica en negritas las variables cuya diferencia fue significativa. _____ - 49 -
- Tabla 17.** Resultados de la prueba estadística Wilcoxon Rank Sum Test para evaluar diferencias entre época fría y cálida, para la región oceánica para las variables indicadas en la primera columna. Se indican el número de datos por época (n), el estadístico T calculado (T_{frio} , $T_{cálido}$), y los valores críticos (TL y TU). La última columna indica si la decisión fue de igualdad o diferencia (ver metodología para detalles del método). (Wilcoxon 1945, Wilcoxon y Wilcoxon 1963) utilizando los valores críticos (TL, TU) en Wilcoxon et al., 1970. Se indica en negritas las variables cuya diferencia fue significativa. _____ - 49 -
- Tabla 18.** Resultados de la prueba estadística Wilcoxon Rank Sum Test para evaluar diferencias entre época fría y cálida, para la región costera para las variables indicadas en la primera columna. Se indican el número de datos por época (n), el estadístico T calculado (T_{frio} , $T_{cálido}$), y los valores críticos (TL y TU). La última columna indica si la decisión fue de igualdad o diferencia (ver metodología para detalles del método). (Wilcoxon 1945, Wilcoxon y Wilcoxon 1963) utilizando los valores críticos (TL, TU) en Wilcoxon et al., 1970. Se indica en negritas las variables cuya diferencia fue significativa. _____ - 50 -
- Tabla 19.** Abundancias totales observadas al microscopio (Cel/L) y concentración de Chla (mg/m^3) durante el florecimiento de junio del 2017. _____ - 52 -
- Tabla 20.** Concentración de pigmentos detectados por el HPLC durante el florecimiento de junio del 2017 en las seis estaciones de muestreo. _____ - 52 -
- Tabla 21.** Valores de absorción del $a_{ph}(440)$, $a_{CDOM}(440)$ y $a_d(440)$ de las 6 estaciones de muestreo durante el florecimiento de L. polyedrum en junio del 2017. _____ - 54 -

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Espectros de absorción individual de algunos pigmentos del fitoplancton extraídos en solvente (tomado de Bricaud et al., 2004). _____ - 4 -
- Figura 2.** Espectro de absorción de luz (la paleta de colores abajo representa los colores en el visible) por los diferentes componentes del agua (datos tomados del muestreo de la estación ANTARES BAJA CALIFORNIA). _____ - 11 -
- Figura 3.** Área de estudio. Se indican las estaciones muestreadas en este estudio, donde la B1 representa la región central, la B2 y B3 la región oceánica, y las B4, B5 y B6 la región costera. _____ - 14 -
- Figura 4.** Cámaras de sedimentación utilizadas para la técnica Uthermol (25 y 50 ml). - 19 -
- Figura 5.** Porcentaje de contribución de los grupos de la comunidad fitoplanctónica, a) época fría y b) época cálida. El color café representa a las diatomeas, el rojo a los dinoflagelados, el gris a las crisofitas y el amarillo a los nanoflagelados. _____ - 26 -
- Figura 6.** Mediana de la abundancia fitoplanctónica (cel/L) para la a) época fría y b) época cálida. _____ - 26 -
- Figura 7.** Porcentaje de contribución a la abundancia total de los cuatro grupos analizados al microscopio por crucero y para a) época fría y b) época cálida. _____ - 29 -
- Figura 8.** Índice de diversidad S-W (puntos) y abundancia de grupos (cel/L) para cada estación y crucero en época fría (a) y época cálida (b). _____ - 30 -
- Figura 9.** Mediana de la concentración de Chla (mg/m^3), para las seis estaciones de muestreo durante la época fría (a) y época cálida (b). _____ - 33 -
- Figura 10.** Porcentaje de contribución de los pigmentos detectados por el HPLC, a) época fría y b) época cálida. _____ - 34 -
- Figura 11.** Mediana de los grupos fitoplanctónicos presentes en las seis estaciones de muestreo durante la época fría. El color café corresponde a las diatomeas, el rojo a los dinoflagelados, el amarillo a las primnesiofitas, el verde a las clorofitas, gris a las criptofitas, anaranjado a las cianobacterias y azul a las crisofitas. Nota: escala diferente en la estación B6. _____ - 38 -
- Figura 12.** Mediana de los grupos fitoplanctónicos presentes en las seis estaciones de muestreo durante la época cálida. El color café corresponde a las diatomeas, el rojo a los dinoflagelados, el amarillo a las primnesiofitas, el verde a las clorofitas, gris a las criptofitas, anaranjado a las cianobacterias y azul a las crisofitas. _____ - 39 -
- Figura 13.** Porcentaje de contribución de los grupos fitoplanctónicos obtenidos mediante el CHEMTAX, para la época fría a) y para la época cálida b). _____ - 41 -
- Figura 14.** Medianas de los coeficientes de absorción $a_{\text{CDOM}}(440)$ en color amarillo, $a_{\text{ph}}(440)$ en color verde y $a_{\text{d}}(440)$ en color café en las seis estaciones de muestreo durante la época fría. _____ - 44 -
- Figura 15.** Medianas de los coeficientes de $a_{\text{CDOM}}(440)$ en color amarillo, $a_{\text{ph}}(440)$ en color verde y $a_{\text{d}}(440)$ en color café. Para las seis estaciones de muestreo durante la época cálida. _____ - 45 -
- Figura 16.** Porcentaje de contribución de los tres coeficientes de absorción $a_{\text{CDOM}}(440)$, $a_{\text{ph}}(440)$ y $a_{\text{d}}(440)$, a) época fría y b) época cálida. _____ - 46 -
- Figura 17.** Ajuste potencial del coeficiente $a_{\text{ph}}(440)$ y $a_{\text{ph}}(675)$ respecto a la concentración de Chla. Los círculos negros representan las 23 estaciones estudiadas durante la época fría y los círculos color rojos las 23 estaciones estudiadas durante la época cálida. La línea

azul representa la línea de regresión para los datos de este trabajo, mientras la línea anaranjada representa el ajuste de Barocio-León et al. (2006) determinado para datos de la región oceánica frente a la BTS. _____ - 47 -

Figura 18. Mediana del K_d para las seis estaciones de muestreo durante la época fría (a) y época cálida (b). _____ - 48 -

Figura 19. Análisis al microscopio de la comunidad fitoplanctónica, a) porcentaje de contribución a la abundancia general, b) porcentaje de contribución a la abundancia total por estaciones, c) Mediana de la abundancia fitoplanctónica _____ - 51 -

Figura 20. Conformación de la comunidad fitoplanctónica durante un florecimiento, a) concentración de Chla, b) Grupos detectados por el CHEMTAX, c) Composición quimiotaxonómica por estaciones de muestreo _____ - 54 -

Figura 21. Porcentaje de absorción de los coeficientes de absorción de luz, a) Porcentaje general y b) Porcentaje de contribución por estaciones, durante el florecimiento fitoplanctónico. _____ - 55 -

Figura 22. Espectros de absorción, a) coeficiente $a_{ph}(\lambda)$, b) coeficiente $a_{CDOM}(\lambda)$ y c) coeficiente $a_d(\lambda)$. Los colores indican las 6 estaciones de muestreo (morado B1, naranja B2, verde B3, azul B4, gris B5 y rojo B6). _____ - 56 -

Figura 23. Patrón de circulación superficial en la Bahía de Todos Santos, a) invierno y b) verano. Tomada de: Larrañaga-Fú, 2013. _____ - 58 -

Figura 24. Espectro de absorción del $a_{CDOM}(\lambda)$, para las 6 estaciones de muestreo. Los colores representan los 8 cruceros, café para octubre del 2016, anaranjado febrero del 2017, negro marzo del 2017, azul noviembre 2017, rojo febrero 2018, verde junio 2018, azul oscuro agosto 2018 y rosa octubre 2018. _____ - 66 -

Figura 25. Grafica comparativa entre la mediana de los datos de los demás cruceros (datos en Tabla 14) y aquellos determinados en la estación B6, afectada por el florecimiento de *L. polyedrum*. Las barras azules representan la época fría y anaranjadas la época cálida. Los rombos rojos son los valores en la estación B6, indicados en el eje derecho. _____ - 69 -

Figura 26. Correlación de Spearman donde a) se refiere a la asociación entre la Peridininina y el coeficiente de absorción $a_{ph}(440)$ y el b) a la concentración de Chla y el coeficiente de $a_{CDOM}(440)$. _____ - 70 -

1. Introducción

Los ecosistemas acuáticos cubren alrededor de dos terceras partes de la superficie del planeta. La mayoría se encuentra en los océanos y la zona costera (Cervantes, 2007). En particular, los ecosistemas costeros son muy importantes debido a que son zonas donde ocurren intensas interacciones químicas, físicas y biológicas entre el continente, las aguas dulces y el mar adyacente. Debido a esto, la biología y ecología de las zonas costeras albergan una amplia gama de hábitats que traen consigo una enorme riqueza de flora y fauna de invertebrados y vertebrados (Aznar, 2002). En la zona costera se encuentran diferentes tipos de ecosistemas, como estuarios, lagunas costeras, esteros, bahías, entre otros. Las bahías se definen como una porción del océano que penetra hacia el continente, y tiene una línea de costa que se prolonga hacia el interior y forma indentaciones con una forma cóncava hacia el interior del continente. Pueden tener orígenes diferentes, esto es: producto de una falla, hundimientos locales, vulcanismo o por deslizamientos (Ortiz-Pérez y De la Lanza-Espino, 2006).

México cuenta con 11,000 kilómetros de línea de costa, los cuales están distribuidos en 17 estados de la república. El 70% se localiza en el Océano Pacífico y Golfo de California y los 30% restantes se encuentran en el Golfo de México y Mar Caribe (Lara-Lara et al., 2008). En el país existen 62 bahías de las cuales 58 se encuentran en el área del Pacífico (Ortiz-Pérez y De la Lanza-Espino, 2006). El estado de Baja California se encuentra en las costas del Océano Pacífico, en donde se localiza la Bahía de Todos Santos (BTS), en el municipio de Ensenada. La BTS es una bahía semicerrada cuya economía depende principalmente del comercio marítimo y el turismo, donde también se realizan actividades como la engorda o el cultivo de peces y moluscos. Por lo tanto, se considera de vital importancia tener el conocimiento adecuado de la dinámica marina de la zona y de los mecanismos que generan y proveen que se lleven a cabo dichas actividades (Larrañaga-Fú, 2013).

En los ecosistemas marinos y costeros se lleva a cabo el proceso biológico de la fotosíntesis, donde se transforma la energía solar en energía química para toda la biota, produciendo oxígeno, necesario para la respiración celular y producción de ATP (Kirk, 1994; Falkowski y Raven, 1997; Brewin et al., 2015). Al proceso de convertir el carbono inorgánico en orgánico a través de la fotosíntesis se le conoce como Productividad Primaria (PP) (Kirk, 1994). De manera general, para que se lleve a cabo la fotosíntesis, es necesario de 4

componentes: energía en forma de radiación solar, carbono inorgánico en forma de dióxido de carbono o iones carbonato, nutrientes minerales y agua (Kirk, 1994).

La fotosíntesis es llevada a cabo por el fitoplancton, el cual es considerado como un conjunto de microorganismos acuáticos fotosintetizadores con ciclos de vida cortos que viven suspendidos en la columna de agua. Está formado tanto por organismos procariotas como eucariotas y aportan alrededor del 70% del oxígeno en el planeta (Moss, 2009). El fitoplancton marino constituye la base de la red alimenticia que soporta directa o indirectamente a la biota en los océanos (Aiken et al., 1992). Por lo tanto, se les considera como los principales productores primarios del océano y de las zonas costeras. Estos organismos son un componente fundamental de la naturaleza y son reconocidos como una variable climática esencial en el plan de implementación del Sistema de Observación del Clima Global (IOCCG, 2000).

La fotosíntesis es afectada por distintos factores, siendo la luz el de mayor relevancia. Esta decrece con la profundidad desde intensidades tan altas que pueden dañar el aparato fotosintético del fitoplancton, hasta niveles bajos que no permiten realizar la fotosíntesis (Kirk, 1994). Asimismo, la luz varía también con el tiempo: tanto en el ciclo diurno, incluyendo el paso de nubes durante el día, como en los ciclos estacionales a lo largo del año. La luz que absorbe el fitoplancton se encuentra entre intervalos de longitudes de onda (λ) desde los 400 hasta los 700 nm denominado como la luz visible o radiación fotosintéticamente activa (PAR por sus siglas en inglés) (Kirk, 1994).

El fitoplancton absorbe la luz por medio de la clorofila a (Chla), considerado como el pigmento fotosintético universal que contienen todas las especies vegetales del planeta, con excepción de la cianobacteria *Prochlorococcus*, que contiene un pigmento similar que se denomina Divinil Clorofila a (DVChla). Además, el fitoplancton contiene otros pigmentos, los cuales ayudan a la recolección de luz a longitudes de onda donde la Chla no lo hace, por lo que se les considera como pigmentos accesorios. De manera general, los pigmentos se dividen en tres categorías: clorofilas (a, b, c₁, c₂ y c₃), carotenoides y sus derivados oxigenados conocidos como xantofilas y ficobiliproteínas (aloficocianinas, ficocianinas, ficoeritrinas) (Jeffrey et al., 1997). Algunos pigmentos del fitoplancton pueden ser considerados como biomarcadores o diagnósticos selectivos de ciertos grupos de microalgas (Jeffrey et al., 1997). Esto permite clasificar a los grupos del fitoplancton por su presencia (Tabla 1). No obstante, algunos son compartidos por algunos grupos del

fitoplancton, por lo que la información obtenida a partir de pigmentos biomarcadores debe de analizarse con debidas precauciones (Uitz et al., 2006).

Tabla 1. Pigmentos, abreviatura y grupo fitoplanctónico que los contiene (Jeffrey et al., 1997).

Pigmento	Abreviatura	Grupo algal
Monovinil clorofila <i>a</i>	Chla	Todos los grupos excepto <i>Prochlorococcus</i>
Divinil clorofila <i>a</i>	DVChla	Cianobacterias <i>Prochlorococcus</i>
Clorofila <i>b</i>	Chlb	Clorofitas, Prasinofitas, Euglenofitas
Clorofila <i>c</i> ₂	Chlc ₂	Diatomeas, Dinoflagelados, Primnesiofitas, Rafidofitas y Criptofitas
19'-Butanoiloxifucoxantina	19' But	Crisofitas y Primnesiofitas
Fucoxantina	Fuco	Diatomeas, Primnesiofitas, Crisofitas, Rafidofitas
19'-Hexanoiloxifucoxantina	19' Hex	Primnesiofitas
Peridinina	Peri	Dinoflagelados
Prasinoxantina	Pras	Prasinofitas
Alloxantina	Allo	Criptofitas
Diatoxantina	Diat	Diatomeas, Primnesiofitas
Diadinoxantina	Diad	Diatomeas, Dinoflagelados, Primnesiofitas, Crisofitas, Rafidofitas y Euglenofitas
Violaxantina	Viola	Clorofitas y Rafidofitas
Luteína	Lut	Clorofitas y Rodofitas
Zeaxantina	Zea	Cianobacterias (incluyendo <i>Prochlorococcus</i>) Rodofitas, Proclorofitas, Clorofitas, Estigmatofitas

La captación de energía luminosa por los pigmentos se da de diferentes formas de acuerdo con las longitudes de onda en el visible (400 a 700 nm). La Chla presenta dos máximos de absorción, alrededor de los 440 nm y 675 nm, y los carotenoides absorben entre los 400 y

500 nm (Fig. 1) (Jeffrey et al., 1997). Por lo tanto, la absorción de luz por una comunidad fitoplanctónica va a depender de la absorción individual de cada uno de los pigmentos presentes en dicha comunidad.

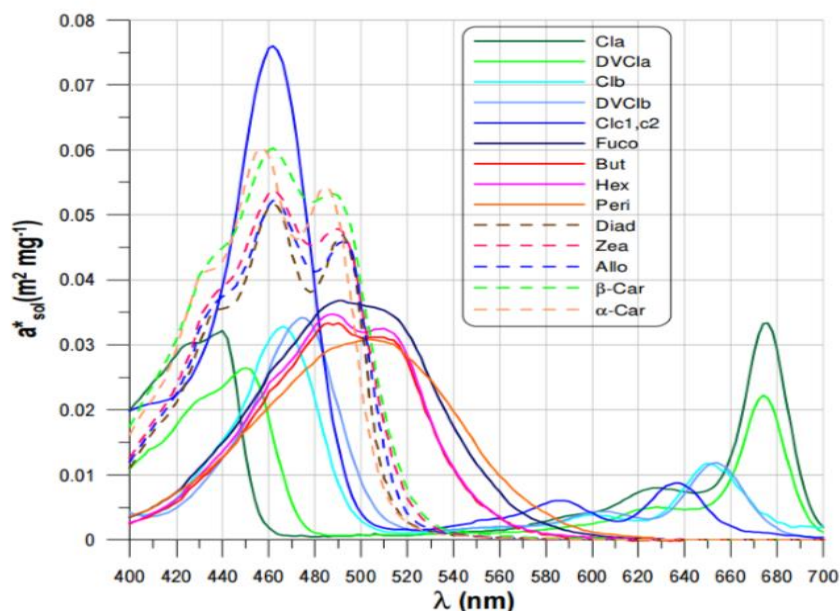


Figura 1. Espectros de absorción individual de algunos pigmentos del fitoplancton extraídos en solvente (tomado de Bricaud et al., 2004).

Los grupos taxonómicos más importantes del fitoplancton marino son las diatomeas, dinoflagelados, criptofitas, crisofitas, prymnesiofitas, clorofitas, prasinofitas y las cianobacterias (Simon et al., 2009). Las cianobacterias son un grupo que forma parte de la división Cyanophyta, se caracterizan por células procariotas que pueden encontrarse en forma unicelular, formando filamentos o colonias. Sus dimensiones van desde 1 a 2 μm de diámetro y los filamentos pueden formar colonias de hasta 2 mm de tamaño (Jeffrey et al., 2011). Las cianobacterias marinas se dividen principalmente en dos géneros, *Synechococcus* y *Prochlorococcus*, y ambos presentan a la zeaxantina (Zea) como un pigmento característico. Por otro lado, la DVChla es exclusiva de *Prochlorococcus*, por lo que se le considera a este pigmento como diagnóstico para este. En este contexto, *Synechococcus* y *Prochlorococcus* dominan numéricamente a la comunidad fitoplanctónica (Partensky et al., 1999; Scanlan, 2009) y son considerados como los organismos fotosintéticos más abundantes en la Tierra, con una contribución sustancial a la biomasa y producción primaria (Mella-Flores et al., 2012). *Synechococcus* está distribuido en las zonas

costeras y en aguas superficiales del océano en condiciones mesotróficas (Partensky et al., 1999, Zwirgmaier et al., 2008). Por otro lado, *Prochlorococcus* prospera preferentemente en zonas tropicales cálidas, estratificadas, y áreas subtropicales en condiciones oligotróficas (Mella-Flores et al., 2012).

Las diatomeas pertenecen a la división Heterkontophyta y son organismos conformados por células eucariotas, se encuentran solitarias, formando colonias o cadenas. Sus dimensiones son de 2 hasta 200 μm y su principal característica es que su pared celular está conformada por sílice (SiO_2) altamente intrincada caracterizada por dos mitades superpuestas (tecas). La morfología de las diatomeas se basa en la simetría radial o bilateral, lo cual las clasifica en diatomeas centradas o penadas, además poseen grandes vesículas de gas, las cuales les confiere mayor flotabilidad. Se localizan en ambientes marinos y de agua dulce, incluido el hielo polar, y su crecimiento es determinado por la disponibilidad de sílice (Jeffrey et al., 1997). Son el grupo más abundante en zonas costeras y regiones de afloramiento, debido a su alto requerimiento nutricional. Algunas diatomeas realizan simbiosis con cianobacterias en aguas oligotróficas; otras diatomeas son endosimbióticas dentro de los foraminíferos y dinoflagelados. El pigmento que se ha caracterizado como indicador de las diatomeas es la fucoxantina (Jeffrey et al., 2011) pero este es también encontrado en otros grupos (Tabla 1).

Las crisofitas pertenecen a la división Heterokontophyta, presentan formas ovoides, coccoides, coloniales o ameboides y pueden presentar flagelos; a su cubierta se le denomina “lórica” (Jeffrey et al., 2011). La mayoría mide de 8 a 15 μm . Su pared celular contiene sílice o pueden estar envueltos en una lórica de celulosa. Se encuentran en ambientes marinos y en agua dulce. Su distribución está determinada ecológicamente por la temperatura y el pH, por lo que tiene preferencia por aguas templadas (Kristiansen y Škaloud, 2016).

Un componente importante del nanoplancton son las primnesiofitas, quienes miden entre 5 y 20 μm de diámetro, y pertenecen a la división Haptophyta (Marchant y Thomsen, 1994). En general son células con formas desde cocos, ameboides, filamentosas y coloniales, en ocasiones cubiertos por escamas calcáreas llamadas cocolitos. Poseen dos flagelos lisos iguales o subiguales, separados por un tercer apéndice denominado haptonema del cual se desconoce su función. Son abundantes en aguas tropicales y subtropicales, con algunos géneros en aguas polares (por ejemplo, *Phaeocystis* sp.). La presencia de cocolitos separa

a un grupo muy importante dentro de las primnesiofitas conocido como Cocolitofóridos. El pigmento diagnóstico de las primnesiofitas es 19'Hex (Jeffrey et al., 2011) (Tabla 1).

Las criptofitas pertenecen a la división Cryptophyta, son un grupo bien definido de flagelados que pertenecen al nanoplancton, son organismos unicelulares ovoides, asimétricos y de 6 a 20 μm de diámetro, generalmente aplanadas (Jeffrey et al., 2011). Se encuentran en hábitats marinos, estuarinos, de agua dulce y en la nieve (Gieskes y Kraay, 1983). Pueden vivir en condiciones de luz escasa y hasta la fecha no hay evidencia de que realicen endosimbiosis (Lewin et al., 2000). El pigmento diagnóstico de este grupo es la Allo, sin embargo, muchas especies son heterotróficas (Tabla 1).

Los dinoflagelados pertenecen a la división Dinophyta, son organismos unicelulares que pueden formar cadenas, llegan a medir desde 5 hasta 2000 μm . Cada célula está dividida por una faja transversal, lo que resulta de una epitoca (superior) e hipoteca (inferior), poseen dos flagelados que les confieren el movimiento. Asimismo, están cubiertos de placas o “tecas” lo cual les confiere una clasificación como dinoflagelados tecados y atecados (Jeffrey et al., 2011). Están ampliamente distribuidos en océanos templados, tropicales y subtropicales, así como en los polos. Se conocen por desarrollar florecimientos masivos en la zona costera, comúnmente llamadas “mareas rojas” asociado a la acumulación de biomasa fitoplanctónica y por ende a sus pigmentos característicos (García-Mendoza et al., 2016). Además, producen quistes de resistencia cuando no se ven favorecidos por condiciones ambientales, lo que los puede hacer acumularse en el fondo marino. Estos pueden volver a proliferar una vez que las condiciones ambientales son adecuadas para su desarrollo (Peña-Manjarrez et al., 2001; 2005; 2009; Jeffrey et al., 2011).

Las clorofitas o algas verdes, pertenecen a la división Chlorophyta, son organismos unicelulares con o sin flagelo, en forma ovoide o cocoide, de diámetro de 10 a 40 μm (Jeffrey et al., 2011). Su principal característica es presentar un gran cloroplasto en forma de copa. Viven en ambientes marinos costeros o sujetos en el fondo, algunos son capaces de vivir en ambientes extremos de salinidad y de temperatura (Graham, y Wilcox, 2000).

Las prasinofitas pertenecen en la división Chlorophyta y presentan una variedad de formas celulares. Tanto los flagelos como el cuerpo pueden cubrirse con diminutas escarpas orgánicas, llegan a medir de 1 a 40 μm de diámetro. Al igual que las clorofitas, presentan un cloroplasto en forma de copa, sin embargo, presentan una mancha ocular. Llegan a presentar de uno a ocho flagelos insertados en una depresión apical de la célula. Su

distribución es mundial en aguas marinas, estuarinas y de agua dulce, así como en pozas de marea (Jeffrey et al., 2011). Los cambios en tamaño y composición taxonómica de la comunidad están dados en gran medida por factores que promueven que el fitoplancton desarrolle estructuras y estrategia para adaptarse y sobrevivir (e.g. vesículas de gas, formación de colonias, flagelos, formación de quistes).

El fitoplancton responde a la variabilidad fisicoquímica del agua, por lo que se les considera como indicadores biológicos del estado trófico de los ambientes marinos (Bustamente et al., 2016). Por ende, uno de los objetivos primordiales para el estudio del fitoplancton es determinar la abundancia de especies en una muestra de agua, ya que esto va a dar pauta para conocer la sucesión temporal de especies dentro de una comunidad. Además, esto permite caracterizar masas de agua, ya que es de esperar que una especie incremente su concentración en aquellos cuerpos de agua donde las condiciones son favorables para su crecimiento (Villafañe y Reid, 1995; Gracia-Escobar, 2010).

El fitoplancton se puede clasificar por su tamaño celular en: picoplancton (0.2 a 2 μ m), nanoplancton (2 a 20 μ m) y microplancton (20 a 200 μ m) (Sieburth, 1978). La distribución del tamaño del fitoplancton es un factor biológico crucial que determina la dirección y la magnitud de los flujos de energía y carbono en la red trófica en el océano (Riegman et al., 1993), por lo que afecta la productividad del ecosistema. De manera general, se considera que las comunidades dominadas por células más grandes son responsables de la acumulación de biomasa de fitoplancton y dominan los sistemas costeros meso a eutróficos, mientras que las células pequeñas son típicas de los sistemas oligotróficos (Barocio-León et al., 2006; Siokou-Frangou et al., 2009; Solié et al., 2010). La variabilidad regional del tamaño de las células del fitoplancton ha sido interpretada como resultado de estrategias biológicas relacionadas con la incorporación de nutrientes (Malone, 1980) y también como una consecuencia directa de la dinámica vertical de masas de agua (Semina, 1972; Rodríguez, 2005). Por lo tanto, es importante considerar a la sucesión ecológica, proceso fundamental de la dinámica de todos los ecosistemas, donde se manifiestan cambios en la dominancia de ciertos grupos y tamaños celulares en la comunidad fitoplanctónica en cierto periodo de tiempo (Margalef, 1973).

1.2 Estudio de la comunidad fitoplanctónica

Existen diferentes aproximaciones que permiten conocer la composición taxonómica de la comunidad fitoplanctónica. La metodología clásica es mediante el uso de un microscopio óptico invertido, aplicando el método de Utermöhl (1958). Esta técnica presenta la ventaja de poder observar y conocer ciertas características morfológicas propias de una especie, tales como: el tamaño individual de la célula, su forma, la formación de colonias y cadenas, presencia de esporas y asociaciones con otras especies fitoplanctónicas. Sin embargo, una de las desventajas del método es que las células pequeñas ($< 5\mu\text{m}$), entre ellas flagelados y cianobacterias, no son visibles y para poder llegar a su identificación es necesario utilizar otros métodos como microscopios de epifluorescencia y/o citometría de flujo (Tester et al., 1995).

Una aproximación más reciente se basa en el uso de los pigmentos característicos o diagnósticos, la cual permite inferir la contribución de los grupos del fitoplancton a la Chla (Wright et al., 1996; Mackey et al., 1996; Araujo et al., 2016). A su vez, la cuantificación de los pigmentos se realiza mediante el método de cromatografía líquida de alta precisión (HPLC) (Mackey et al., 1998). La relación entre la concentración de estos pigmentos y su distribución en los grupos del fitoplancton se ha denominado quimiotaxonomía y ha contribuido en los últimos años a una mejor comprensión de la distribución y composición de las poblaciones de fitoplancton oceánicas y costeras, especialmente de aquellas del nano y picoplancton (Araujo et al., 2016). Esto se ha realizado a partir del software CHEMTAX (de CHEMical TAXonomy) el cual calcula el porcentaje de cada clase algal presente en el área de estudio a partir de las concentraciones de los pigmentos diagnósticos determinados mediante el HPLC (Mackey et al. 1996). Este programa optimiza la contribución de cada uno de los grupos del fitoplancton respecto a la Chla, a partir de un análisis factorial y un algoritmo de descenso pronunciado, estimando el mejor ajuste de las proporciones de los pigmentos medidos por el HPLC (Mackey et al., 1996, Eker-Develi et al., 2011). El CHEMTAX proporciona información valiosa sobre toda la comunidad fitoplanctónica, incluidos los grupos de pequeño tamaño, que normalmente son difíciles de observar por microscopía óptica (Araujo et al., 2016). Sin embargo, también se deben de considerar las variaciones de esta aproximación, ya que se pueden presentar diferencias en la composición pigmentaria del fitoplancton, desde la fase de crecimiento de los organismos, hasta debido a cambios de luz, temperatura, además de que ciertos pigmentos son compartidos entre grupos (Eker-Develi et al., 2008).

1.3 Propiedades ópticas del agua

El color del mar se puede definir como la respuesta espectral del océano a la entrada de la radiación solar incidente y la contribución de la radiación difusa del cielo (Kirk, 1994). El color del océano está dado principalmente por la interacción de la luz en el agua de mar y las sustancias y/o partículas presentes en ella. Estos constituyentes son la materia orgánica disuelta cromofórica (CDOM), el material particulado en suspensión que incluye al fitoplancton y a las partículas no algales denominadas detritus (orgánicas-inorgánicas) (Kirk, 1994). Las variaciones espaciales y temporales de estos constituyentes van a dominar uno respecto a otro, por lo tanto, esto a permitido clasificar las aguas oceánicas en dos casos: aguas “Caso 1” y aguas “Caso 2” (Morel y Prieur, 1977). Las aguas Caso 1 son aquellas donde domina el fitoplancton, y a este tipo pertenecen las aguas de océano abierto y aguas costeras sin influencia de material terrígeno. Las aguas Caso 2 son aquellas donde el material orgánico disuelto (CDOM) y el sedimento dominan en los constituyentes del agua de mar. Este tipo de aguas se encuentran en la zona costera, estuarios, lagunas en la plataforma continental con grandes aportes de material terrígeno (Kirk, 1994).

Por otro lado, las propiedades ópticas del agua se pueden clasificar en inherentes (POIs) y aparentes (POAs) (Kirk, 1994). Las POIs varían en función de los constituyentes del agua que participan en el proceso de absorción o esparcimiento de la luz (Kirk, 1994). Estas propiedades son el coeficiente de absorción de luz ($a(\lambda)$) y el coeficiente de esparcimiento ($b(\lambda)$), los cuales varían con la longitud de onda (λ). Las POAs son aquellas que están influenciadas por la distribución angular del campo de luz incidente o varían con ella, esto es, presentan una variabilidad diaria asociada al ciclo solar (naciente al poniente). Estas son la reflectancia ($R_w(\lambda)$) y el coeficiente de atenuación para la luz difusa (K_d) (Kirk, 1994).

Como las POIs dependen de los constituyentes del agua, el coeficiente de absorción de luz ($a(\lambda)$) se puede describir como una función de estos (Mitchell et al, 2000):

$$a(\lambda) = a_w(\lambda) + a_p(\lambda) + a_{CDOM}(\lambda) \quad \text{Ecuación 1}$$

donde $a_w(\lambda)$ es el coeficiente de absorción de luz por el agua pura, $a_p(\lambda)$ es el coeficiente de absorción por el material particulado y $a_{CDOM}(\lambda)$ es el coeficiente de absorción por la materia orgánica disuelta cromofórica (o CDOM). La absorción debida al material particulado puede a su vez descomponerse a su vez en:

$$a_p(\lambda) = a_{ph}(\lambda) + a_d(\lambda)$$

Ecuación 2

donde $a_{ph}(\lambda)$ representa el coeficiente de absorción de luz por el fitoplancton y $a_d(\lambda)$ el coeficiente de absorción de luz por el material orgánico y/o inorgánico no vivo, denominado detrito ó partículas no algales (NAP) (Sosik y Mitchell, 1995).

Cada uno de estos componentes presenta un espectro de absorción de luz típico (Fig. 2). Es decir, absorben luz en preferencia a ciertas longitudes de onda en el espectro del visible (400 a 700 nm) ó ultravioleta (250 a 400 nm) (Kirk, 1994). Por lo tanto, se tiene lo siguiente:

1. El agua pura ($a_w(\lambda)$) incrementa la absorción de luz hacia las longitudes de onda más largas;
2. El CDOM ($a_{CDOM}(\lambda)$) presenta una absorción exponencial que se incrementa hacia el UV del espectro;
3. El fitoplancton presenta un espectro de absorción ($a_{ph}(\lambda)$) caracterizado por dos máximos, a 440 y 675 nm, los cuales están relacionados a la absorción por la Chla (Fig.2);
4. El detrito ($a_d(\lambda)$) absorbe con un aumento exponencial hacia los 400 nm, donde presenta su máximo.

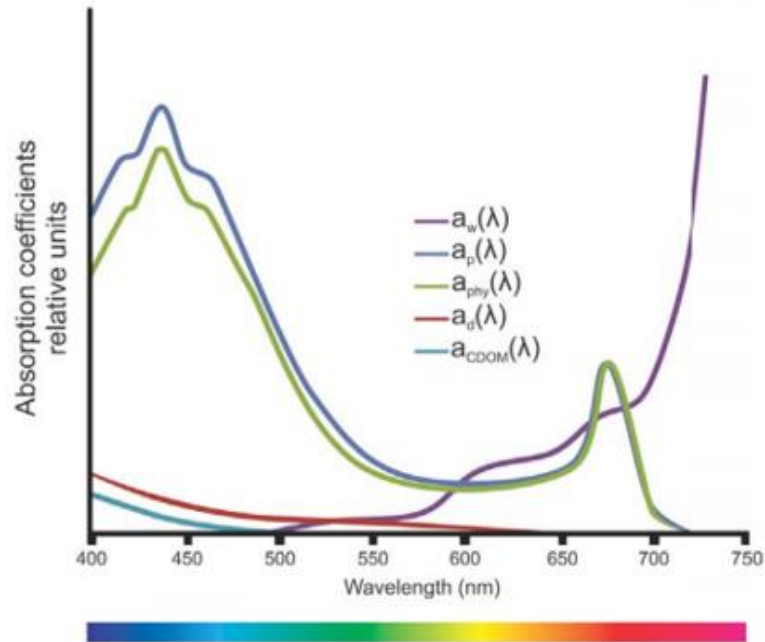


Figura 2. Espectro de absorción de luz (la paleta de colores abajo representa los colores en el visible) por los diferentes componentes del agua (datos tomados del muestreo de la estación ANTARES BAJA CALIFORNIA).

La materia orgánica disuelta cromofórica o “CDOM” por sus siglas en inglés, es considerado como un subproducto de la degradación de las células (Carlson, 2002), el pastoreo de zooplancton o la actividad microbiana (Nelson et al., 1992; Nelson y Siegel, 2002). En las zonas costeras se le asocia a la descarga de ríos u otro aporte continental, en cambio en zonas oceánicas se debe a la degradación del propio material en suspensión (en especial fitoplancton) (Nelson et al., 1998).

El $a_{ph}(\lambda)$ se refiere a la absorción de luz por la comunidad fitoplanctónica y varía de forma directa con la concentración de clorofila-a (Bricaud et al., 2004). Se define el coeficiente de absorción específico ($a^*_{ph}(\lambda)$) al dividir $a_{ph}(\lambda)$ por la concentración de Chla, y es un indicador de eficiencia de absorción de luz (Bricaud et al., 2004). Existen dos factores que afectan la variabilidad de $a^*_{ph}(\lambda)$: el efecto paquete y los diferentes pigmentos que contienen los grupos fitoplanctónicos. El efecto paquete es un aplanamiento variable del espectro $a^*_{ph}(\lambda)$ debido a que en el agua de mar el material biológico no se encuentra disuelto, sino contenido en partículas (Duyens, 1956). Este efecto depende del tamaño de las células y del coeficiente de absorción del material que las forma (Babin et al., 1993; Bricaud et al.,

2004). Es decir, el efecto paquete es mayor en células grandes y altamente pigmentadas por la atenuación de las moléculas pigmentarias circundantes.

De las (POA's) el K_d se refiere a la tasa de variación con la que se extingue la luz que penetra la columna de agua. Esta atenuación ocurre de forma exponencial y varía con la profundidad y la longitud de onda (Kirk, 1994). Tomando en cuenta la penetración de la luz en el agua, y los efectos de la turbidez producida por los constituyentes del agua de mar, es importante medir la atenuación de la luz en las zonas costeras. En particular porque la franja costera se caracteriza por insumos de material en suspensión de diferentes fuentes los cuales presentan cambios espaciales y temporales por la física de estos sitios (Hoepffner y Sathyendranatha, 1992; De'Sa et al., 2006; Lorenzoni et al., 2015).

Las bahías son cuerpos costeros donde se espera que los componentes del agua presenten una gran variabilidad debido a aportes continentales, resuspensión del material del fondo, mayor intensidad de los procesos biológicos, entre otros. En particular, la Bahía de Todos Santos (BTS) (Ensenada, Baja California), es un cuerpo costero semicerrado donde la variabilidad oceanográfica es muy importante tanto espacial como temporalmente. Esta variabilidad es fuertemente influenciada tanto por la batimetría como por la configuración de la línea de costa, así como por el efecto de los procesos locales y remotos generados por el viento, la marea y otros forzantes (Larrañaga-Fú, 2013). La BTS está influenciada por descargas (domésticas e industriales) y escorrentías agrícolas (Gutiérrez-Galindo et al., 2010; Muñoz Barbosa et al., 2012). El 90% de las aguas residuales domésticas y de las industrias de la ciudad de Ensenada se descargan por medio del efluente El Gallo (Zamora-Castro et al., 2007; Muñoz-Barbosa et al., 2012). Debido a esto, se supone también una importante variabilidad de las propiedades bio-ópticas de la bahía y de la comunidad fitoplanctónica. Entretanto, no hay trabajos que hayan evaluado la variabilidad de las propiedades de absorción de luz de la bahía y su relación con sus características físico-químicas y/o biológicas. Por esta razón, este trabajo propone evaluar la variabilidad espacial y temporal de la comunidad fitoplanctónica empleando métodos de microscopía, HPLC y CHEMTAX y la relación con las POIs $a_{CDOM}(440)$, $a_{ph}(440)$, $a_d(440)$ y la POA K_d , en la Bahía Todos Santos (Ensenada, Baja California) con base en cruceros realizados entre 2016 y 2018.

2. Hipótesis

El fitoplancton es el principal constituyente encargado de la absorción de luz en el océano, sin embargo, en la zona costera existen procesos que afectan su dominio y contribución. La BTS es afectada por procesos oceanográficos y de origen antropogénico, por lo que se esperan cambios en las propiedades bio-ópticas y en la composición de la comunidad fitoplanctónica en las diferentes regiones y en diferentes épocas del año.

3. Objetivo General

Evaluar la variabilidad espacial y temporal de las propiedades bio-ópticas de la Bahía de Todos Santos (Ensenada, Baja California) entre 2016 y 2018.

3.1. Objetivos Particulares

- Caracterizar la comunidad fitoplanctónica mediante microscopía, pigmentos y CHEMTAX para conocer su variabilidad espacial y temporal.
- Estimar la variabilidad espacial y temporal del coeficiente de absorción de luz $a_{ph}(\lambda)$, $a_d(\lambda)$ y $a_{CDOM}(\lambda)$ y del coeficiente K_d .
- Estimar la relación que existe entre la comunidad fitoplanctónica y los coeficientes de absorción de luz.

4. Área de estudio y antecedentes

La Bahía de Todos Santos (BTS) se localiza en la costa noroeste de Baja California ($31^{\circ} 40'$ a $31^{\circ} 56'N$ y $116^{\circ} 36'$ a $116^{\circ} 50'W$), aproximadamente 100 km al sur de la frontera México-Estados Unidos (Castro y Hamman, 1989). Es un cuerpo de agua semicerrado con un área aproximada de 260 km². Se encuentra limitada al noroeste (NW) por Punta San Miguel, al suroeste (SW) por Punta Banda y al W por la Isla de Todos Santos (Fig. 3). La mayor parte de la batimetría de la bahía presenta una pendiente suave, con profundidades

de hasta 50 metros. Entre la Isla de Todos Santos y la Península de Punta Banda se encuentra un cañón submarino, el cual sobrepasa los 400 metros de profundidad (Mateos, 2010).

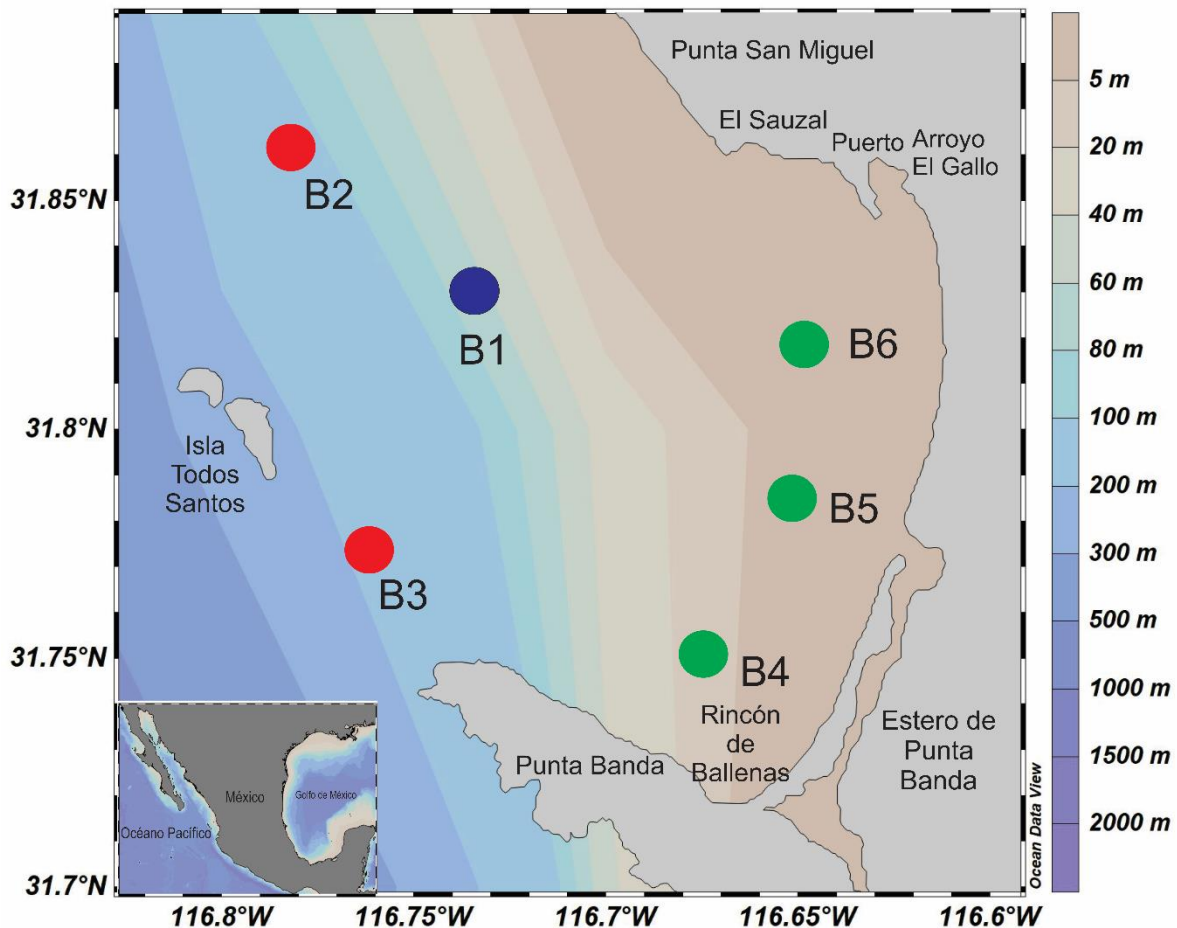


Figura 3. Área de estudio. Se indican las estaciones muestreadas en este estudio, donde la B1 representa la región central, la B2 y B3 la región oceánica, y las B4, B5 y B6 la región costera.

Las características de las aguas superficiales cercanas a la BTS están estrechamente relacionadas con el Sistema de la Corriente de California (SCC), por lo cual ligeros cambios en este provocan grandes cambios dentro de la misma (Mateos et al., 2009). La Corriente de California (CC) transporta agua subártica con dirección al Ecuador, la cual se caracteriza por presentar baja temperatura, baja salinidad y una alta concentración de oxígeno disuelto (Lynn y Simpson 1987). La estacionalidad de la CC está marcada por dos periodos: la época fría (enero a junio), y la cálida (de julio a diciembre) (Millán-Núñez et al., 1996; 1997), siendo

el periodo entre abril y junio cuando surgencias se intensifican frente a la bahía y pueden tener influencia en su interior (Calva-Chávez, 2014).

Los procesos de circulación dentro de la BTS están determinados por la presencia de remolinos ciclónicos y anticiclónicos, los cuales se asocian a su geometría (Mateos, 2010) y determinan mucha de la variabilidad en las comunidades del fitoplancton (Sánchez-Bravo, 2016). Los patrones de circulación han sido evidenciados en varios trabajos, donde se observan corrientes de mayor intensidad en primavera y verano, mientras que lo contrario sucede en invierno y otoño (Cervantes-Audelo, 2013; Larrañaga-Fú, 2013). Las surgencias costeras que se presentan en la zona adyacente de la bahía ocurren todo el año con mayor intensidad en primavera y verano, así como una condición de calentamiento al interior de la bahía que cumple con las condiciones de una trampa de surgencia dada por un frente término en la entrada norte (Calva-Chávez, 2014).

La bahía ha sido afectada por contaminación orgánica (Sañudo-Wilhelmy et al., 1984; Portillo-López y Lizárraga-Partida, 1997) proveniente de El Sauzal, el Puerto de Ensenada y la desembocadura del arroyo El Gallo. En esas ocasiones se reportaron alrededor de 16,000 coliformes fecales en 100 ml de agua en los meses de mayo a agosto, con influencia de hasta 5 km de la costa. Nutrientes como fosfatos (PO_4), nitratos (NO_2) y nitritos (NO_3) alcanzan valores de 5.0, 0.92 y 12 μM , respectivamente, donde las zonas de mayor a menor concentración ha sido la rada del Puerto de Ensenada, El Sauzal y Punta Banda. Esto ocurre fundamentalmente entre los meses de mayo a agosto, que son los meses de mayor producción pesquera y descargas urbanas (Segovia-Zavala et al., 1988).

Referente a la estructura fitoplanctónica de la bahía, se ha observado la existencia de sucesiones fitoplanctónicas. Durante un ciclo anual se observó la dominancia de los dinoflagelados *Peridinium cuadra* y *Gonyaulax poliedra*. Mientras que la diatomea *Nitzschia seriata* fue abundante únicamente en marzo y otoño considerada como células pequeñas que proliferan en periodos de turbulencia y surgencia (Mosqueda-Razo, 1995). Giffard-Mena (1997) también observó una sucesión fitoplanctónica que inició con nanoflageladas, diatomeas y nanoflageladas lo cual es común en zonas templadas y la causa principal es el enriquecimiento local de nutrientes (Marrasé et al., 1989). Recientemente, Jiménez-Herrera (2017) evaluó el cambio en la composición y estructura de la comunidad fitoplanctónica de las aguas de la bahía en el periodo entre el 2014 al 2015. Este estudio mostró que la abundancia celular fue muy baja de agosto a diciembre del año 2014 debido al efecto de un proceso de carácter interanual que afectó la zona

costera de Baja California (El Blob). Por otro lado, para la primavera y parte del verano del 2015, la comunidad fitoplanctónica se recuperó y se registró una abundancia y dominancia de células ciliadas, y un aumento de diatomeas durante la época de surgencias.

En la región sur de la Corriente de California se observaron florecimientos de primavera antes de 1975 de *Prorocentrum micans*, mientras que *Lingulodinium polyedrum* dominaba los florecimientos al final del verano y el otoño (Gregorio y Pieper, 2000; Medina-Elizalde et al., 2016). En la Bahía de Todos Santos, los florecimientos algales asociados a *L. polyedrum* se han incrementado en frecuencia e intensidad desde 1995, lo cual se ha relacionado con el aumento en la temperatura y eutrofización (Peña-Manjarrez et al; 2005, 2009; Ruíz-de-la-Torre et al., 2013). El dinoflagelado *Lingulodinium polyedrum* es una de las especies más frecuentes, cuyo desarrollo se ha dado especialmente durante los meses de mayo a junio (Peña-Manjarrez et al., 2009, Ruiz-de la Torre et al., 2013, Aguilar-Maldonado et al., 2018). Recientemente se ha observado que dentro de la BTS estos florecimientos tienden a presentarse cerca del puerto de Ensenada, por lo cual Ruiz-de-la-Torre et al. (2013) mencionan que el transporte de las corrientes superficiales dentro de la bahía ayuda a su proliferación. También se ha reportado el género *Dinophysis spp.* en eventos de florecimientos algales con potencial tóxico en un periodo de mezcla durante invierno, asociado a una estratificación de la columna de agua por una entrada de agua fría (Sánchez-Bravo, 2016).

Recientemente, se realizó una regionalización dinámica de la BTS (Betancourt, 2017), con base en imágenes de satélite de la turbidez del agua. Se determinó que esta se caracteriza por presentar tres zonas principales: una de influencia oceánica, una central de baja turbidez, y una región costera con valores más altos de turbidez. Se observó que la extensión geográfica de estas está fuertemente influenciada por procesos estacionales e interanuales los cuales a su vez se relacionan a los procesos de circulación superficial dentro de la bahía, así como al aporte de agua dulce durante la época de lluvias. Entretanto, se destacó la necesidad de evaluar también datos de campo para poder confirmar si esa variabilidad también se observa en otras variables ópticas y/o biológicas. En particular, no hay datos que indiquen la variabilidad de las propiedades de absorción de luz por los componentes del agua.

5. Metodología

Se realizaron 9 cruceros en la BTS, entre octubre de 2016 y octubre de 2018 (Tabla 2). Se consideraron 6 estaciones de muestreo, las cuales están ubicadas en las 3 regiones identificadas previamente por Betancourt (2017). Tomando esto en cuenta, las estaciones se dividieron de la siguiente manera; estación B1 (región central), estaciones B2 y B3 (región oceánica), estaciones B4, B5 y B6 (región costera) (Fig. 3). Es importante mencionar que la estación B4 se encuentra cercana a una zona de cultivo de ostiones (organismos filtradores). Por otro lado, la estación B6 se localiza cerca del puerto de Ensenada, por lo que se espera que este sitio se vea afectado por procesos físicos y químicos derivados de esta actividad.

Tabla 2. Fechas de muestreo (día, mes y año). La fecha resaltada en rojo fue un muestreo afectado por un florecimiento del dinoflagelado *Lingulodinium polyedrum*

Fecha de muestreo (día/mes/año)
13 /10/2016
01/02/2017
14/03/2017
02/06/2017
03/11/2017
02/02/2018
12/06/2018
28/08/2018
18/08/2018

5.1 Muestreo en campo

Se utilizó un balde para la recolección de agua de superficie. Un volumen de 250 ml se almacenó en botellas de vidrio color ámbar (previamente lavados) y se mantuvieron refrigeradas en una hielera hasta su llegada a laboratorio. En laboratorio se almacenaron en refrigeración (4 a 8° C) y estas muestras se utilizaron para determinar $a_{CDOM}(\lambda)$. Con el agua restante, se llenaron botellones de alta densidad color ámbar (Nalgene) de 10 L de capacidad, los cuales no permiten la incidencia de luz, y fueron transportados a laboratorio para su uso en otros análisis.

Para la identificación y cuantificación de la comunidad fitoplanctónica, se colocaron 250 ml de agua de mar en botellas de polietileno de alta densidad color ámbar (Nalgene) a las cuales se les agregó 2.5 ml de solución de Lugol alcalino (acetato de sodio) con la finalidad de preservar las células (Thronksen, 1978). Las muestras se etiquetaron con fecha y estación de muestreo y se almacenaron en obscuridad hasta su análisis en el laboratorio.

La transparencia del agua se midió con un disco de Secchi (disco blanco de 30 cm de diámetro). El procedimiento para la toma de esta variable puede ser afectada por dos factores, el ángulo de incidencia del Sol, y del ojo humano, por lo que fue necesario que en todos los nuestros la misma persona realizara esta medición, en un intervalo de tiempo de 10 am a 3pm (Kirk, 1994). Además, solo se tomaron datos cuando los días de muestreo fueron soleados o cuando la nubosidad fue inferior al 50%. Esto permite asumir que hay más luz directa que difusa penetrando la columna de agua, lo que hace que la medición del disco de Secchi sea apropiada para estimar el coeficiente de atenuación de la luz (K_d). El disco de Secchi se dejó caer al agua, y se anotó a que profundidad se dejó de observar, la cual se consideró profundidad del disco de Secchi (Z_{SD}).

Con la Z_{SD} se calculó el coeficiente de atenuación difusa (K_d) considerando el valor de 1.4 donde la profundidad no superó los 12 metros (Holmes, 1970) y 1.7 para profundidades mayores a los 12 metros (Poole y Atkins, 1929):

$$K_d = \frac{1.4}{Z_{SD}} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$K_d = \frac{1.7}{Z_{SD}} \quad \text{Ecuación 4}$$

5.2 Análisis en el laboratorio

En laboratorio, volúmenes de aproximadamente 2 Litros de agua de cada estación se filtraron en duplicado usando filtración positiva a través de filtros de fibra de vidrio Whatman GF/F (25 mm de diámetro). Un filtro se guardó en capsulas tisulares en nitrógeno líquido para posterior medición de $a_p(\lambda)$. El otro filtro se guardó en sobres de papel aluminio, también en nitrógeno líquido, para posterior medición de la concentración de pigmentos.

5.2.1 Identificación y abundancia del fitoplancton

La abundancia de células se estimó mediante la técnica Utermöhl (1958), utilizando un microscopio invertido de contraste de fases Seizz IM, la cual se basa en sedimentar la muestra utilizando columnas de sedimentación de diferentes volúmenes. Antes de iniciar el proceso de sedimentación las muestras de las botellas fueron homogeneizadas girando en diferentes sentidos. Se emplearon columnas de sedimentación de diferentes volúmenes. Para las muestras alejadas de la costa se utilizaron columnas de 100 y 50 ml, y para las muestras costeras se emplearon columnas de 50 y 25 ml (Fig.4).

Una vez homogeneizada la muestra, se colocó la columna encima de una cámara de sedimentación y se dejó en reposo por 24 horas aproximadamente. Una vez pasadas las 24 horas, se deslizó con cuidado la columna y se retiró el volumen de la muestra. Se llevó a cabo el conteo e identificación a géneros y en algunos casos hasta especie reportando la abundancia (cel/L). Esta información luego se agrupó en grandes grupos (diatomeas, dinoflagelados, crisofitas y nanoflageladas).

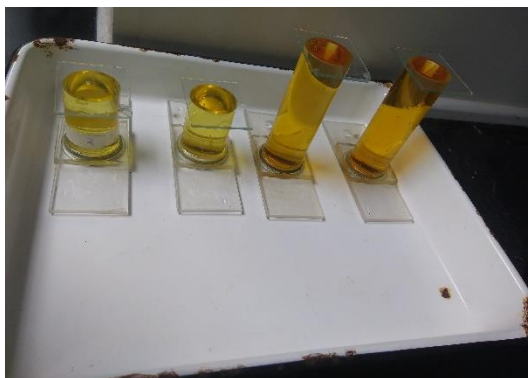


Figura 4. Cámaras de sedimentación utilizadas para la técnica Uthermöhl (25 y 50 ml).

Cabe resaltar que primero se observaron los volúmenes inferiores (50 y 25 ml) a 400x y 200x y posteriormente se analizaron los volúmenes de 100 y 50 ml. Sin embargo, en los segundos volúmenes no se contabilizaron los géneros o especies previamente observados, esto con la finalidad de identificar géneros abundantes y no abundantes. Para calcular la abundancia se consideró lo siguiente:

$$Abundancia \left(\frac{célula}{Litro} \right) = N * \left(\frac{1000}{volúmen} \right) \quad Ecuación 5$$

donde N es el número de células de un taxón encontrado en la cámara, el volumen es la cantidad de agua de la muestra que se sedimentó en ml y 100 es el factor de conversión a litros.

5.2.2 Análisis de pigmentos por HPLC

Los pigmentos fueron analizados con el método propuesto por Van Heukelem y Thomas (2001) y modificado por Thomas (2012). Se utilizó un HPLC marca Agilent 1260, y los pigmentos fueron separados mediante una columna Zorbax Eclipse XDB C8 (150 mm, 3.5 de diámetro de poro) a una temperatura de 60°C, utilizando un sistema de tres solventes (A, B y C). El solvente A: Metanol al 70% y 0.028 M acetato de tetrabutilo de amonio (pH 6.5) al 30%; el solvente B: Metanol al 100% a un flujo de 1 ml/min y el solvente C: 100% acetona.

Para la extracción de los pigmentos, cada filtro GF/F fue retirado del nitrógeno líquido y se colocó en tubos para centrifuga donde se les colocó 4 ml de Vitamina E y acetona al 100% como estándar interno. Cada muestra fue llevada a un vórtex por 10 segundos y posteriormente a un sonicador durante 30 segundos y posteriormente se llevaron a refrigeración (-15°C) por 24 horas. Finalmente, las muestras fueron llevadas a una centrifuga por 10 min a 3000 rpm. Cada muestra se filtró por acrodiscos de membrana PTFE 0.2 µm para evitar que la columna se obstruya con restos de los filtros. Un volumen final de 1 ml fue inyectado en viales de centelleo de 2 ml, los cuales fueron colocados en el compartimiento del TCAS HPLC que se establece a una temperatura de 4°C y el análisis de HPLC se llevó a cabo dentro de 24 h.

Para calcular la concentración de los pigmentos a partir del cromatograma obtenido por HPLC se utilizó la siguiente ecuación:

$$C_{Pi} = \frac{\hat{A}_{C1}}{\hat{A}_{S1}} \frac{V_m}{V_f} \frac{\hat{C}_{Pi}}{V_c} \quad Ecuación 6$$

Donde:

C_{Pi} = concentración del pigmento (mg/L)

$\hat{C}_{pi}$ = Cantidad de pigmento (usualmente en $\mu\text{g}/\text{inyección}$)

V_f = volumen de filtración

V_m = cantidad de solvente de extracción agregado a la muestra

V_c = volumen de la muestra inyectada al HPLC

$\hat{A}_{c1}$ = área del estándar interno inyectado, antes de agregar a la muestra

$\hat{A}_{s1}$ = área del estándar interno inyectado

Los estándares internos se obtuvieron de DHI Water and Environment (Hørsholm, Dinamarca). La calibración del HPLC se realizó con estos estándares, cuyas concentraciones fueron medidas mediante un espectrofotómetro Agilent Cary 100 usando los coeficientes de absorción reportados en la literatura (Hooker et al., 2005) o por la empresa DHI. Los pigmentos detectados fueron: Chla, Chlb, Chlc₁, Chlc₂, Chlc₃, Clorofilidae a, Allo, 19' But, 19' Hex, β -caroteno, Diad, Diat, Fuco, Lut, Peri, Viola, Pras y Zea (Tabla 1).

5.2.3 CHEMTAX

La abundancia relativa de las clases de microalgas que contribuyen a la biomasa total de Chla se calculó utilizando la concentración de pigmentos extraídos mediante HPLC, los cuales se procesaron con el software CHEMTAX versión 1.95 (Mackey et al., 1996).

Las proporciones de los pigmentos biomarcadores de las principales clases de fitoplancton (diatomeas, dinoflagelados, cianobacterias, criptofitas, crisofitas, clorofitas y primnesiofitas), conocida como matriz inicial o “Input”, se obtuvieron de Araujo et al. (2016) (Tabla 3 y 4). Posteriormente, la concentración de pigmentos detectados por el HPLC se cargó al CHEMTAX, el cual realizó un análisis de factor con un algoritmo de descenso para encontrar el mejor ajuste de los datos. El CHEMTAX mostró una serie de 64 matrices de salida ó “output” las cuales indican la contribución de los grupos fitoplanctónicos respecto a la concentración de pigmentos de la matriz inicial (de Souza et al., 2012). Se seleccionaron las matrices con el menor error cuadrático medio (RMSE) y se promediaron el 10% de estas (Anexo 1) (Wright et al., 2009).

Tabla 3. Pigmentos considerados para la quimiotaxonomía, los pigmentos en negrita indican el pigmento utilizado como biomarcador (Tabla 4).

Grupo quimiotaxonómico	Pigmentos usados en CHEMTAX
Prasinofitas	Chla, Chlb, Pras

Clorofitas	Chla, Chlb , Zea , Lut
Criptofitas	Chla, Allo
Diatomeas	Chla, Fuco
Crisofitas	Chla, Chl c ₃ , 19'But
Primnesiofitas	Chla, Chl c ₃ , 19'Hex , Fuco , 19'But
Cianobacterias	Chla, Zea

Tabla 4. Matriz de entrada del CHEMTAX. Tomada y modificada de Araujo et al. (2016).

Grupo/Pigmento	Chlb	19'But	19'Hex	Allo	Fuco	Peri	Zea	Lut	Chl c ₃	Chla
Diatomeas	0	0	0	0	0.62	0	0	0	0	1
Dinoflagelados	0	0	0	0	0	0.56	0	0	0	1
Primnesiofitas	0	0.05	0.42	0	0.27	0	0	0	0.174	1
Clorofitas	0.32	0	0	0	0	0	0.3	0.17	0	1
Criptofitas	0	0	0	0.38	0	0	0	0	0	1
Cianobacterias	0	0	0	0	0	0	0.64	0	0	1
Crisofitas	0	0.66	0	0	0	0	0	0	0.23	1

5.2.4 Coeficiente de absorción de luz por la materia orgánica disuelta cromofórica (CDOM)

La determinación de $a_{CDOM}(\lambda)$ se realizó de acuerdo con la metodología descrita por Mitchell et al. (2000). Las muestras de agua de mar almacenadas se dejaron aclimatar y posteriormente fueron filtradas en un sistema de filtración negativa utilizando filtros Nucleopore de 0.2 μm de abertura de poro y 25 mm de diámetro. Previamente los filtros fueron sumergidos en HCl al 10% durante 10-15 minutos y lavados con agua ultra pura (Bakerwater HPLC Grade).

Se inició filtrando aproximadamente 50 ml de la muestra para ser inmediatamente desechada como procedimiento de lavado y enjuague del matraz. Este procedimiento se repitió dos veces y el tercer filtrado se colocó en una cubeta de 10 cm de longitud la cual se llevó a un espectrofotómetro Agilent Cary 100 para un barrido de la densidad óptica (DO) entre 250 y 800 nm, a una resolución de 1 nm. Esto se registra como densidad óptica de la solución (OD_s). Se utilizó como blanco (OD_b) agua ultra pura (Bakerwater HPLC Grade). Los datos resultantes se aplicaron a la siguiente ecuación (Mitchell et al., 2000):

$$a_{CDOM}(\lambda) = \left(\frac{2.303}{l} \right) ((OD_s(l) - OD_{null}) - (OD_b(l) - OD_{null})) \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde l es la longitud de paso de la celda (10 cm), OD_s es la densidad óptica de la muestra, OD_b es la densidad óptica del blanco y OD_{null} es la densidad óptica del punto nulo (660 nm),

el cual es considerado como la longitud de onda donde no absorbe el CDOM (Mitchell et al., 2000).

5.2.5 Coeficiente de absorción de luz por el material particulado

Para realizar esta medición, los filtros se retiraron del nitrógeno líquido y se impregnaron con 2 gotas de agua de mar filtrada. Cada filtro se llevó a un espectrofotómetro Agilent Cary 100 equipado con esfera integradora, y se les realizó la lectura de la densidad óptica entre los 400 y 800 nm, con resolución de 1 nm. Esta lectura se denomina densidad óptica del material particulado (OD_p). Como referencia se utilizó un filtro limpio remojado en agua de mar filtrada por 24 horas y se le realizó el mismo tratamiento que a las muestras al cual se le denominó como blanco. Después de la lectura de la OD_p los filtros se llevaron a un equipo de filtración donde se les adicionó metanol caliente y se dejaron reposar por 15 minutos con el objetivo de eliminar todo el material pigmentado (Kishino et al., 1985). A seguir se enjuagaron los filtros con agua de mar filtrada y el procedimiento se repitió. Se realizó una nueva lectura en el espectrofotómetro, la cual correspondió a la densidad óptica del material detrítico (OD_d). De esta manera, se obtuvieron los datos para el cálculo del coeficiente de absorción espectral del material particulado ($a_p(\lambda)$, m^{-1}) y del material detrítico ($a_d(\lambda)$, m^{-1}) mediante las siguientes ecuaciones (Mitchell et al., 2000):

$$a_p(\lambda) = \left(2.3003 \frac{S}{V}\right) (C_1(OD_p - OD_{null}) + C_2(OD_p - OD_{null})^2) \quad \text{Ecuación 8}$$

$$a_d(\lambda) = \left(2.3003 \frac{S}{V}\right) (C_1(OD_d - OD_{null}) + C_2(OD_d - OD_{null})^2) \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde OD_p y OD_d son la densidad óptica del filtro con material particulado y detrito respectivamente, OD_{null} se refiere a la corrección por desplazamiento residuales en el filtro (se utilizó el promedio entre los 790 y 800 nm), S es el área afectiva de filtración, V es el volumen filtrado y C_1 y C_2 son los coeficientes de corrección del aumento de la longitud de la trayectoria provocada por la dispersión múltiple en el filtro de fibra de vidrio. Para este trabajo se utilizaron los coeficientes 0.392 y 0.655 (Mitchel et al., 2002).

El coeficiente de absorción del fitoplancton ($a_{ph}(\lambda)$) se determinó por la diferencia entre el coeficiente de absorción del material particulado ($a_p(\lambda)$) y el detrito ($a_d(\lambda)$).

$$a_{ph}(\lambda) = a_p(\lambda) - a_d(\lambda) \quad \text{Ecuación 10}$$

5.2.6 Análisis estadístico

Para evaluar las diferencias entre estaciones (región central, oceánica y costera) y épocas (fría y cálida) se realizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon-Wilcoxon para dos muestras independientes (Wilcoxon, 1945; Wilcoxon y Wilcoxon, 1963; Wilcoxon et al., 1970).

Se calculó el índice de biodiversidad de Shannon para determinar la riqueza de géneros de la siguiente manera (Mangurran, 2004):

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i \quad \text{Ecuación 11}$$

Dónde:

- S es el número de especies
- p_i es n_i/N
- n_i es el número de individuos en los géneros i
- N es el número total de individuos en la comunidad.

6. Resultados

Los resultados que se presentan en los siguientes apartados contemplan 8 de los 9 cruceros realizados. Esto debido a que el crucero 4 (2 de junio del 2017) fue afectado por un florecimiento fitoplanctónico y los datos derivados del mismo se analizaron por separado. Asimismo, del crucero de octubre del 2016 no se obtuvo muestra de la estación B6, y del crucero de febrero del 2017 no se tomó muestra de la estación B1. Esto totaliza 46 muestras de 8 cruceros. Del total de cruceros se consideraron dos épocas: la época fría (febrero,

marzo y noviembre del 2017 y febrero del 2018) y la época cálida (octubre 2016, junio, agosto y octubre del 2018).

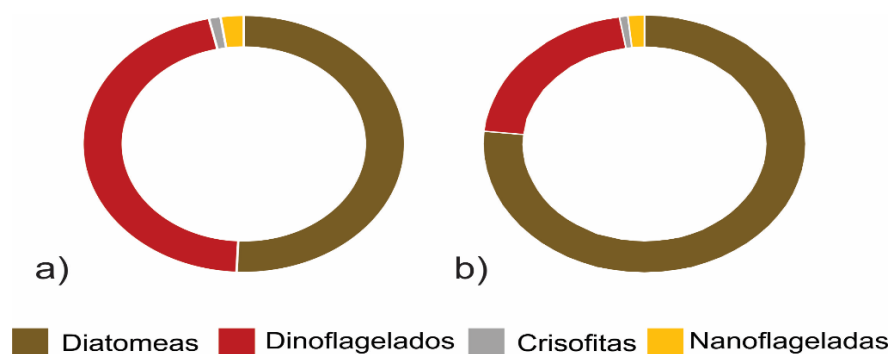
6.1 Composición de la comunidad fitoplanctónica determinada por microscopio

Se observó la presencia de 4 grandes grupos en la BTS: diatomeas, dinoflagelados, crisofitas y nanoflageladas, y se identificaron un total de 61 géneros. De estos, se observaron 49 géneros en la época fría y 44 en la época cálida, donde para ambos escenarios las diatomeas mostraron un mayor número de géneros con 29 en la época fría y 20 en la época cálida (Tabla 5).

Tabla 5. Géneros observados al microscopio (general y por época).

Grupo/Géneros	General	Época fría	Época cálida
Diatomeas	30	28	20
Dinoflagelados	21	15	16
Crisofitas	2	1	2
Nanoflagelados	8	5	6
Total	61	49	44

En la época fría se observó una abundancia total de 109,410 cel/L con un dominio de las diatomeas (51%), seguido de los dinoflagelados (46%) (Fig 5a). Entre los dinoflagelados, el género con mayor contribución fue *Prorocentrum* sp. con una abundancia total de 21,000 cel/L correspondiente al 38% de la contribución por grupo. Para las diatomeas, el género *Chaetoceros* sp. presentó una abundancia de 17,500 cel/L correspondientes al 36% del total de diatomeas. Asimismo, para la época cálida se reportó una abundancia total de 199,620 cel/L, donde las diatomeas predominaron con un 77% (Fig. 5b). En este caso, el género *Hemiaulus* sp. presentó una abundancia de 75,380 cel/L, que corresponde al 51% de la contribución de diatomeas (ver Anexo fotográfico 11 y 12).



%34

Figura 5. Porcentaje de contribución de los grupos de la comunidad fitoplanctónica, a) época fría y b) época cálida. El color café representa a las diatomeas, el rojo a los dinoflagelados, el gris a las crisofitas y el amarillo a los nanoflagelados.

Para poder observar las tendencias generales en la abundancia entre estaciones, se calculó la mediana por estación. Para la época fría (Fig. 6a) la mayor abundancia se observó en la estación B6 con 6,310 cel/L y la menor se observó en la estación B3 con 930 cel/L (Fig. 6a). Este panorama cambió durante la época cálida, ya que la abundancia más alta se observó en la estación B4 con 15,820 cel/L y la más baja se observó en la estación B1 con 5,970 cel/L (Figura 6b).

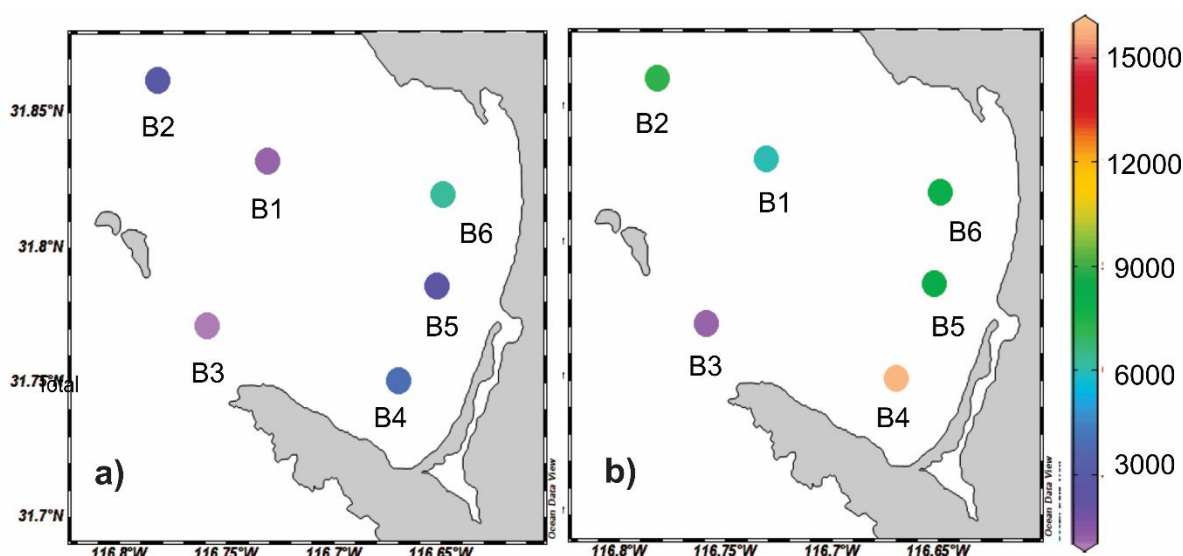


Figura 6. Mediana de la abundancia fitoplanctónica (cel/L) para la a) época fría y b) época cálida.

En la tabla 6 se muestran los intervalos de variación de la abundancia (mínimo y máximo), la mediana y el porcentaje de contribución de cada grupo al total de células durante la época

fría. Se observa que las diatomeas dominaron con un 66% a la contribución total de la comunidad fitoplanctónica en la estación B1. En las estaciones B2 y B3 (región oceánica) los dinoflagelados contribuyeron con un 76% y 73% respectivamente. En la región costera las diatomeas fueron dominantes en las estaciones B4 y B5, mientras en la estación B6 los dinoflagelados y diatomeas fueron muy similares en su contribución.

Durante la época cálida, en la estación B1 dominaron las diatomeas con un 74%, de igual manera para la región oceánica las diatomeas contribuyeron con un 46% y 87% (B2, B3) respectivamente. Finalmente, las diatomeas fueron las más abundantes en la región costera (Tabla 7).

Tabla 6. Mínimo, máximo, mediana, número de datos (n) y porcentaje de contribución de los cuatro grupos identificados en las 6 estaciones de muestreo para la época fría.

	B1					B2					B3				
	Min	Max	Mediana	n	%	Min	Max	Mediana	n	%	Min	Max	Mediana	n	%
Diatomeas	70	3,260	760	3	66	640	10	2,230	3	24	60	2,770	640	3	27
Dinoflagelados	430	1,580	30	3	32	60	12,680	635	3	76	150	9,940	260	3	73
Crisofitas	20	40	30	3	1	20	40	20	3	0	60	60	30	3	0
Nanoflageladas	80	80	80	3	1	10	10	10	3	0	0	0	0	3	0
Total			1,085					2,895					930		
	B4					B5					B6				
	Min	Max	Mediana	n	%	Min	Max	Mediana	n	%	Min	Max	Mediana	n	%
Diatomeas	120	8,540	1,380	4	51	40	8,560	1,290	3	71	40	7,820	2,800	4	45
Dinoflagelados	840	4,280	2,480	4	45	900	1,760	1,000	3	23	1,280	7,620	2,970	4	51
Crisofitas	20	720	40	4	4	40	680	360	3	5	120	800	460	4	3
Nanoflageladas	0	0	0	4	0	80	80	80	3	1	40	120	80	4	1
Total			3,900					2,730					6,310		

Tabla 7. Mínimo, máximo, mediana, número de datos (n) y porcentaje de contribución de los cuatro grupos identificados en las 6 estaciones de muestreo para la época cálida.

	B1					B2					B3				
	Min	Max	Mediana	n	%	Min	Max	Mediana	n	%	Min	Max	Mediana	n	%
Diatomeas	3,420	7,740	4,280	3	72	4,000	7,390	6,460	3	89	4,170	7,850	640	3	54
Dinoflagelados	790	2,190	1,320	3	22	1,450	17,500	635	3	9	380	910	480	3	41
Crisofitas	80	300	290	3	5	40	40	140	3	2	20	120	20	3	2

“Caracterización Bio-óptica de la Bahía de Todos Santos (Ensenada, Baja California)”.

Nanoflageladas	30	280	80	3	1	180	470	10	3	0	40	260	40	3	3
Total			5,970					7,245					1,180		
			B4												
	Min	Max	Mediana	n	%	Min	Max	Mediana	n	%	Min	Max	Mediana	n	%
Diatomeas	1,640	33,560	13,660	3	86	3,760	22,400	7,120	3	87	1,720	7,840	6,480	3	81
Dinoflagelados	520	3,060	2,120	3	13	700	4,380	980	3	12	102	1,640	1,380	3	17
Crisofitas	20	40	40	3	0	20	120	40	3	0	20	60	40	3	1
Nanoflageladas	80	460	0	3	0	20	100	80	3	1	40	360	80	3	1
Total			15,820					8,220					7,980		

Se analizó el porcentaje de contribución de cada grupo por estación y muestreo, considerando ambas épocas (Fig. 7). La época fría presentó una contribución del 80% de dinoflagelados en febrero y marzo del 2017, a pesar de que para marzo se contabilizaron muestras de 3 estaciones (B1, B4 y B6). Sin embargo, esto cambió en noviembre del 2017 y febrero del 2018, donde las diatomeas contribuyeron con más del 70%. En particular, las crisofitas estuvieron presentes durante toda la época, pero su mayor contribución se observó en febrero del 2018 con un 10%. Por otro lado, las nanoflageladas solamente se encontraron en febrero del 2017 y noviembre con valores no mayores al 10% (Fig. 7a).

Para la época cálida (Fig. 7b) se analizaron muestras de 3 cruceros (junio, agosto y octubre del 2018). Se observó que en junio dominaron los dinoflagelados, con un 70% de contribución a la comunidad fitoplanctónica. Sin embargo, en agosto y octubre las diatomeas aportaron alrededor del 60%. El grupo de las crisofitas y nanoflageladas estuvieron presentes durante toda esta época con valores inferiores al 10% de contribución.

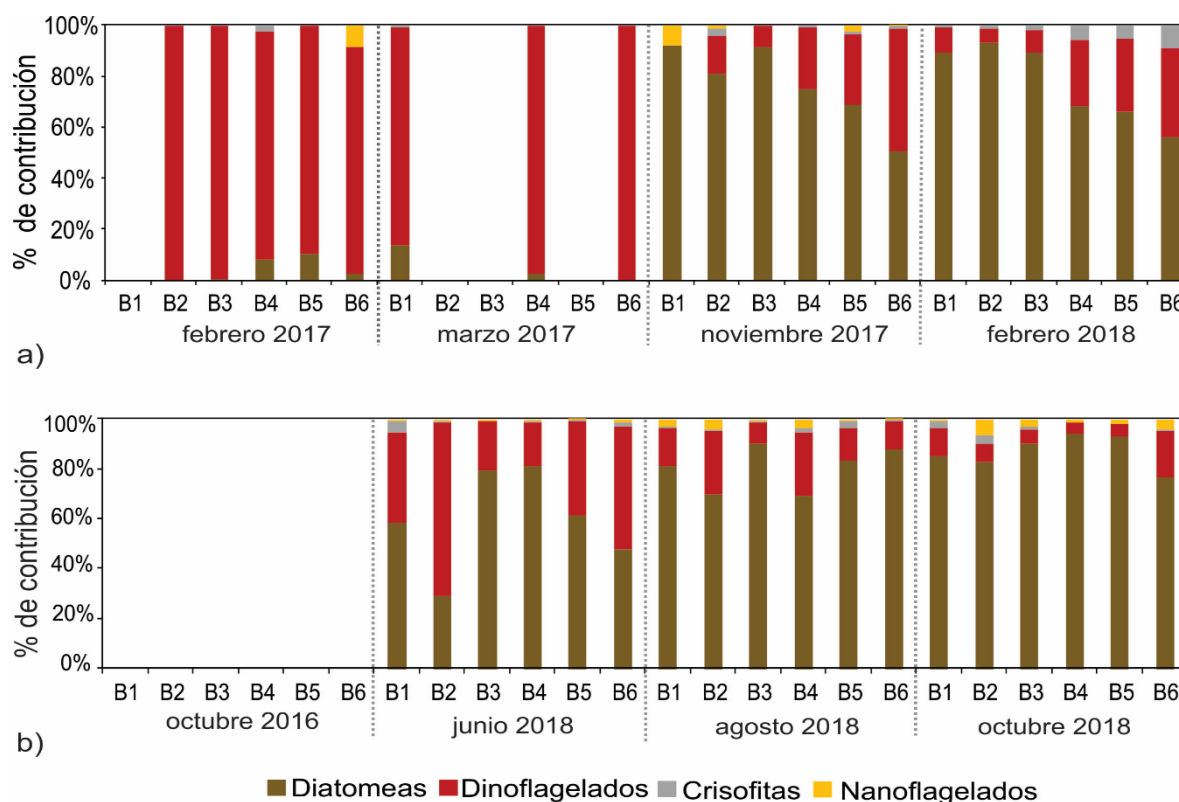


Figura 7. Porcentaje de contribución a la abundancia total de los cuatro grupos analizados al microscopio por crucero y para a) época fría y b) época cálida.

Para evaluar las diferencias en diversidad de géneros, se usó el índice de Shannon-Weaver (S-W) y se comparó a la abundancia celular (Fig. 8). Durante la época fría, los valores más altos de este índice se observaron para noviembre del 2017 y febrero del 2018 para la época fría. Durante marzo del 2017 la estación B2 mostró el valor más bajo de este índice (Fig. 8a). Durante junio del 2018 todas las estaciones mostraron una alta diversidad excepto en la estación B2, lo mismo se observó durante agosto, pero en este muestreo la estación B3 la que mostró un valor bajo en el índice de diversidad. Finalmente, durante el muestreo de octubre se registraron bajas diversidad con excepción de la estación B6 (Fig. 8b).

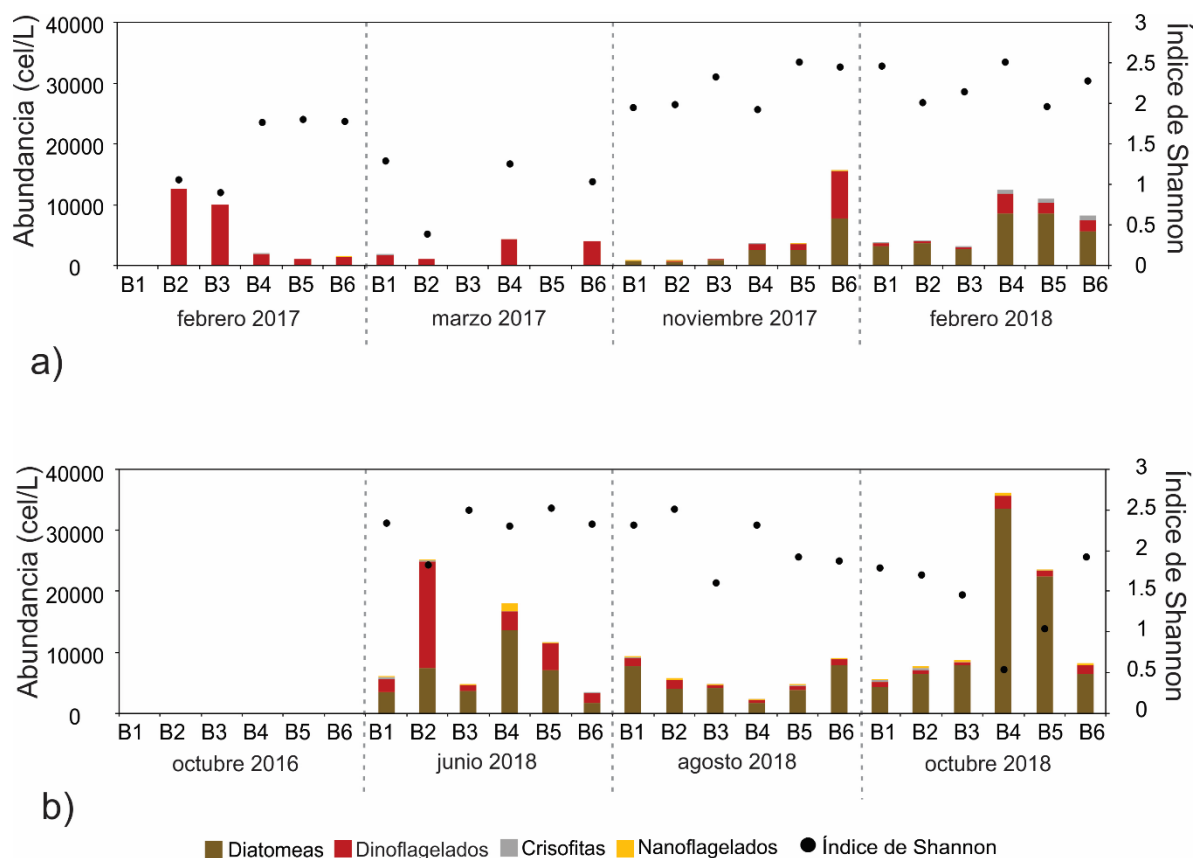


Figura 8. Índice de diversidad S-W (puntos) y abundancia de grupos (cel/L) para cada estación y crucero en época fría (a) y época cálida (b).

6.2 Análisis de pigmentos

Se identificaron 17 pigmentos y, en las tablas 8 y 9 se presentan el mínimo, máximo, mediana y porcentaje de contribución para cada época (Tabla 8 y 9).

Tabla 8. Intervalos de variación (mínimo y máximo), número de datos (n) mediana y % de contribución de los pigmentos detectados por el HPLC para la época fría.

	Min	Max	n	Mediana	%
Clorofilas					
Chla	0.193	3.461	23	0.544	68
Chlb	0.025	0.665	23	0.083	10
Chl c ₂	0.035	0.993	23	0.134	17
Chl c ₃	0.014	0.296	23	0.040	5
Total				0.801	
Carotenos totales					
β caroteno	0.007	3.152	23	0.022	6
19' But	0.007	0.042	20	0.015	4
19' Hex	0.034	0.477	23	0.086	25
Allo	0.003	0.092	16	0.017	5
Diadino	0.008	0.171	23	0.030	9
Diato	0.004	0.021	13	0.010	3
Fuco	0.033	0.886	23	0.101	29
Peri	0.010	0.352	19	0.040	11
Zea	0.011	0.050	21	0.026	7
Total				0.348	
Otros					
Lut	0.008	0.030	2	0.019	31
Neo	0.005	0.079	16	0.010	16
Viola	0.005	0.077	9	0.012	20
Pras	0.007	0.147	21	0.020	32
Total				0.061	

Tabla 9.Intervalos de variación (mínimo y máximo), numero de datos (n), mediana y porcentaje (%) de contribución de los pigmentos observados en la época cálida.

	Min	Max	n	Mediana	%
Clorofilas					
Chla	0.108	1.505	23	0.609	71
Chlb	0.013	0.194	23	0.046	5
Chl c ₂	0.017	0.434	21	0.150	17
Chl c ₃	0.005	0.498	23	0.053	6
Total				0.858	
Carotenos totales					
β carotenos	0.009	0.105	23	0.037	8
19' But	0.006	0.053	20	0.020	4
19' Hex	0.007	0.314	23	0.114	24
Allo	0.003	0.111	20	0.010	2
Diadino	0.004	0.276	23	0.077	16
Diato	0.005	0.047	12	0.012	3
Fuco	0.027	0.299	23	0.135	28
Peri	0.010	0.488	23	0.033	7
Zea	0.010	0.064	23	0.042	9
Total				0.480	
Otros					
Lut	0.005	0.017	2	0.011	24
Neo	0.003	0.030	9	0.008	18
Viola	0.006	0.030	10	0.008	18
Pras	0.006	0.032	5	0.019	41
Total				0.047	

Para conocer el nivel de variabilidad de la Chla, indicador de la biomasa del fitoplancton, se calculó la mediana durante las dos épocas para las seis estaciones de muestreo. En la época fría la concentración de Chla más alta se observó en la estación B6, mientras los valores más bajos se reportaron en las estaciones B2 y B3 (Fig. 9a). Para la época cálida, la concentración de Chla más alta se observó en la estación B2 con 0.82 mg/m³. Sin embargo, en este escenario la concentración más baja de Chla se observó en la B6 con 0.4 mg/m³ (Fig. 9b).

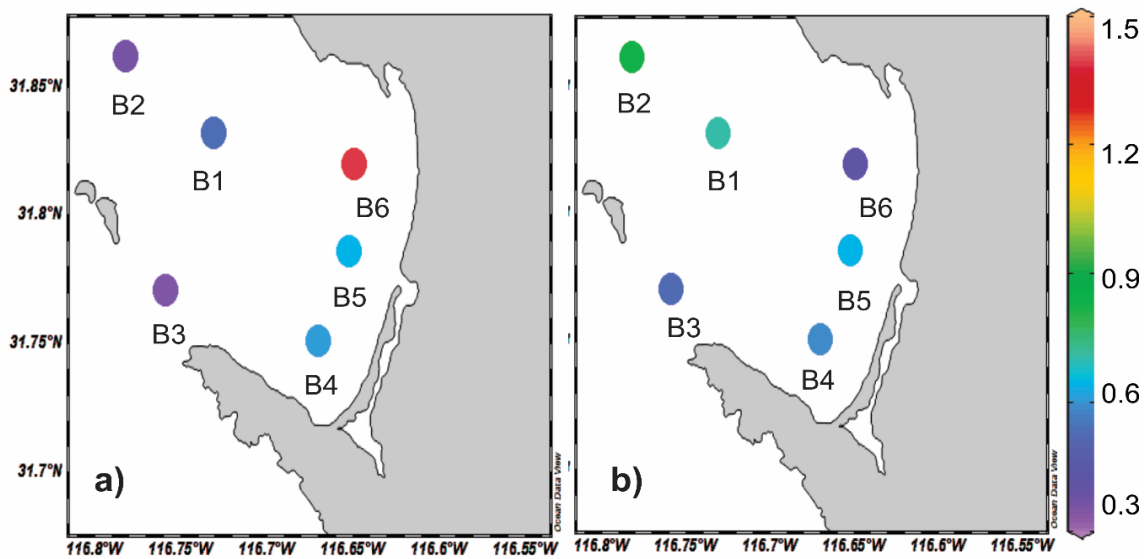


Figura 9. Mediana de la concentración de Chla (mg/(m³), para las seis estaciones de muestreo durante la época fría (a) y época cálida (b).

El porcentaje de contribución de los pigmentos diagnósticos se evaluó también para las dos épocas. Se observa que en la época fría los pigmentos con mayor contribución fueron la Fuco, Chl*b* y 19'Hex, pigmentos que indican la presencia de diatomeas, clorofitas y primnesiofitas (Fig. 10a). Durante la época cálida, la Chl*b* disminuye su contribución, mientras la Chl*c*₃ aumenta, indicando un posible aumento en la presencia de crisofitas y primnesiofitas (Fig. 10b).

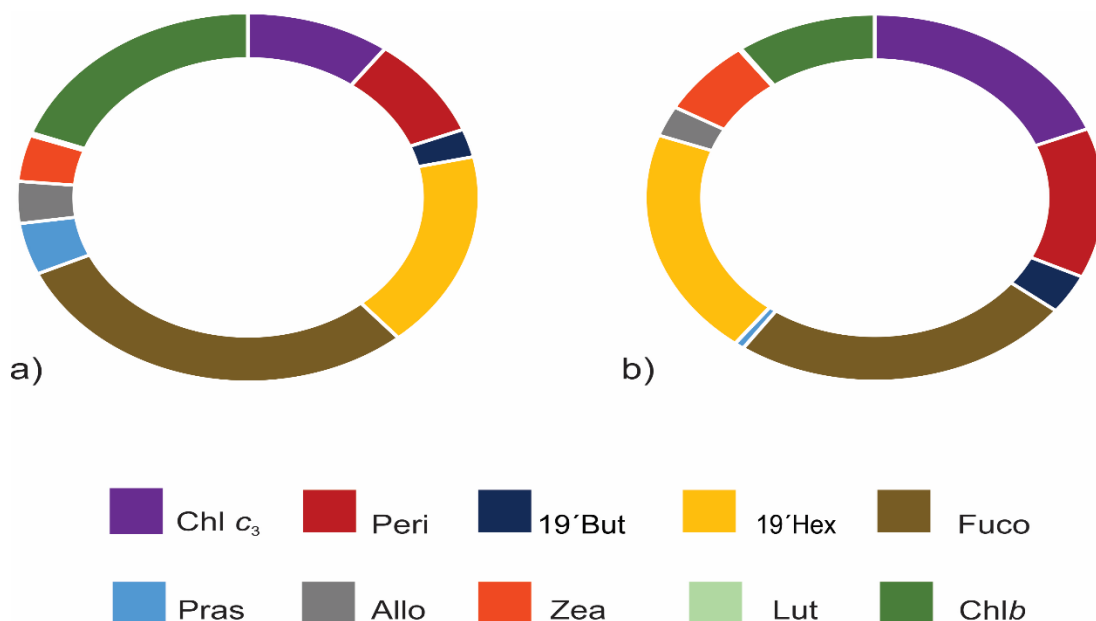


Figura 10. Porcentaje de contribución de los pigmentos detectados por el HPLC, a) época fría y b) época cálida.

6.3 Abundancia celular de acuerdo con CHEMTAX

A partir del CHEMTAX, se detectaron siete grupos que conformaron a la comunidad fitoplanctónica, los cuales fueron: diatomeas, dinoflagelados, primnesiofitas, clorofitas, criptofitas, cianobacterias y crisofitas.

La comunidad fitoplanctónica estuvo dominada por las clorofitas, diatomeas y primnesiofitas en las dos épocas del año (Tabla 10). Sin embargo, las clorofitas presentaron una mayor contribución en la época fría mientras las primnesiofitas tendieron a ser más importantes en la época cálida.

El mismo análisis anterior se realizó evaluando cada estación individualmente durante las dos épocas de muestreo (Tabla 11). En la época fría las estaciones B1, B2 y B3 presentaron a las clorofitas como dominantes, con un porcentaje de contribución del 40% y 39%, seguidas de las primnesiofitas y diatomeas. Por otro lado, en las estaciones costeras (B4, B5 y B6) la contribución de las clorofitas baja casi a la mitad, en especial en la estación B4. Por otro lado, donde las clorofitas fueron menos abundantes (B4 y B5) los dinoflagelados aumentaron su contribución en casi tres veces. Finalmente, la mayor contribución de las diatomeas se observó en la estación B6.

Tabla 10. Mínimo, máximo, mediana de la contribución relativa de los grupos fitoplanctónicos a la Chla (mg/m³) determinados mediante el CHEMTAX, número de datos (n) y porcentaje de contribución general para la época fría y época cálida.

Grupo			Época fría		
	Min	Max	Mediana	n	%
Clorofitas	0.06	1.36	0.18	23	34
Primnesiofitas	0.06	0.74	0.14	23	27
Diatomeas	0.04	0.97	0.11	23	21
Dinoflagelados	0.001	0.26	0.03	22	6
Cianobacterias	0.001	0.09	0.03	22	6
Criptofitas	0.002	0.17	0.03	22	6
Crisofitas	0.0001	0.08	0.005	23	1
Total			0.51		

Grupo			Época cálida		
Clorofitas	0.02	0.44	0.13	23	22
Primnesiofitas	0.02	0.53	0.17	23	29
Diatomeas	0.03	0.37	0.14	23	24
Dinoflagelados	0.01	0.59	0.04	23	7
Cianobacterias	0.01	0.10	0.07	23	12
Criptofitas	0.001	0.20	0.03	22	5
Crisofitas	0.0002	0.11	0.01	18	2
Total			0.58		

En la época cálida, las clorofitas, primnesiofitas y diatomeas fueron nuevamente las que presentaron el mayor porcentaje de contribución en todas las estaciones (Tabla 12), pero estos porcentajes fueron muy homogéneos para los tres grupos. Lo que se debe destacar es el aumento en la contribución de las cianobacterias en general, siempre mayor al 10%, aunque no mayor al 16% (estación. B3).

Tabla 11. Mínimo, máximo, mediana, número de datos (n) y porcentaje de contribución de los grupos fitoplanctónicos detectados por el CHEMTAX durante la época fría en las seis estaciones de muestreo. En negritas se marcan aquellos grupos cuyo porcentaje de contribución fue mayor al 10%.

B1	B2	B3
----	----	----

	Min	Max	Mediana	n	%	Min	Max	Mediana	n	%	Min	Max	Mediana	n	%
Clorofitas	0.154	0.186	0.184	3	40	0.066	0.364	0.148	4	39	0.070	0.196	0.129	4	39
Primnesiofitas	0.095	0.146	0.125	3	27	0.070	0.168	0.095	4	25	0.059	0.146	0.095	4	29
Diatomeas	0.071	0.300	0.098	3	21	0.049	0.262	0.091	4	24	0.036	0.304	0.060	4	18
Dinoflagelados	0.005	0.034	0.017	3	4	0.013	0.071	0.016	4	4	0.004	0.214	0.005	3	2
Cianobacterias	0.001	0.066	0.021	3	5	0.004	0.041	0.019	4	5	0.001	0.064	0.028	4	9
Criptofitas	0.006	0.017	0.012	3	3	0.003	0.065	0.004	3	1	0.004	0.174	0.008	4	2
Crisofitas	0.003	0.017	0.006	3	1	0.001	0.015	0.002	4	1	0.0001	0.011	0.004	4	1
Total			0.555					0.375					0.329		
B4					B5					B6					
	Min	Max	Mediana	n	%	Min	Max	Mediana	n	%	Min	Max	Mediana	n	%
Clorofitas	0.026	0.269	0.132	4	24	0.154	0.194	0.171	4	26	0.165	1.362	0.461	7	31
Primnesiofitas	0.080	0.185	0.130	4	24	0.135	0.160	0.153	4	23	0.092	0.743	0.363	7	24
Diatomeas	0.056	0.209	0.119	4	22	0.099	0.430	0.161	4	24	0.095	0.969	0.445	7	30
Dinoflagelados	0.017	0.114	0.075	4	14	0.001	0.255	0.090	4	14	0.021	0.248	0.079	7	5
Cianobacterias	0.007	0.083	0.050	4	9	0.016	0.087	0.036	4	6	0.002	0.068	0.023	3	2
Criptofitas	0.007	0.080	0.037	4	7	0.002	0.061	0.044	4	7	0.023	0.156	0.114	7	8
Crisofitas	0.001	0.080	0.007	4	1	0.002	0.014	0.005	4	1	0.002	0.009	0.006	5	0
Total			0.550					0.661					1.502		

Tabla 12. Mínimo, máximo, mediana, n y porcentaje de contribución de los grupos fitoplanctónicos detectados por el CHEMTAX durante la época cálida en las seis estaciones de muestreo. En negritas se marcan aquellos grupos cuyo porcentaje de contribución fue mayor al 10%.

B1					B2					B3					
	Min	Max	Mediana	n	%	Min	Max	Mediana	N	%	Min	Max	Mediana	n	%
Clorofitas	0.067	0.321	0.151	4	23	0.110	0.291	0.191	4	28	0.043	0.263	0.137	4	26
Primnesiofitas	0.016	0.217	0.170	4	26	0.075	0.271	0.162	4	24	0.016	0.173	0.126	4	24
Diatomeas	0.086	0.370	0.155	4	23	0.102	0.235	0.146	4	22	0.078	0.141	0.130	4	24
Dinoflagelados	0.010	0.168	0.059	4	9	0.034	0.585	0.040	4	6	0.008	0.064	0.028	3	5
Cianobacterias	0.023	0.083	0.079	4	12	0.033	0.097	0.070	4	10	0.014	0.092	0.084	4	16
Criptofitas	0.005	0.047	0.039	4	6	0.016	0.086	0.048	4	7	0.002	0.040	0.015	4	3
Crisofitas	0.0001	0.070	0.007	4	1	0.0001	0.051	0.015	3	2	0.007	0.056	0.010	3	2
Total			0.555					0.672	4				0.530		
B4					B5					B6					
	Min	Max	Mediana	n	%	Min	Max	Mediana	n	%	Min	Max	Mediana	n	%
Clorofitas	0.020	0.534	0.162	4	27	0.021	0.386	0.125	4	22	0.096	0.432	0.170	3	39
Primnesiofitas	0.028	0.298	0.109	4	18	0.030	0.242	0.144	4	25	0.069	0.436	0.096	3	22
Diatomeas	0.030	0.247	0.170	4	29	0.091	0.172	0.138	4	24	0.044	0.190	0.074	3	17
Dinoflagelados	0.006	0.137	0.041	4	7	0.010	0.148	0.049	4	9	0.012	0.288	0.031	3	7
Cianobacterias	0.013	0.102	0.072	4	12	0.018	0.092	0.077	4	13	0.021	0.070	0.050	3	11
Criptofitas	0.012	0.057	0.022	4	4	0.009	0.083	0.030	4	5	0.007	0.204	0.017	3	4
Crisofitas	0.005	0.111	0.014	3	2	0.003	0.064	0.011	4	2	0.003	0.003	0.003	1	1
Total			0.589					0.574					1.502		

Para conocer el nivel de variabilidad espacial de la composición de la comunidad fitoplanctónica, se evaluó la mediana para los siete grupos, durante las dos épocas, para las seis estaciones de muestreo (Figs. 11 y 12). De manera general se observan los mismos patrones explicados arriba, con las mayores abundancias relacionadas a clorofitas,

primnesiofitas y diatomeas. Entretanto, durante la época fría (Fig. 11), la menor abundancia de clorofitas se encuentra en las estaciones B3 y B4, mientras que las diatomeas son más abundantes en la B5 y en especial en la B6. De hecho, la estación B6 mostró la mayor contribución por parte de las clorofitas, diatomeas y primnesiofitas durante esta época. Finalmente, en la estación B3 se observan las menores abundancias de todos los grupos. Las criptofitas fueron más abundantes en las estaciones costeras.

Durante la época cálida (Fig. 12) se observan en general los mismos patrones descritos en la tabla 12. En especial, el aumento en la abundancia de las cianobacterias en todas las estaciones. Entretanto, se destacan las mayores abundancias nuevamente en la estación B6, tanto de clorofitas, primnesiofitas como de diatomeas. Por otro lado, en esta estación la abundancia de cianobacterias fue la menor. Finalmente, la abundancia de criptofitas aumentó considerablemente en las estaciones B1 y B2, en comparación a la época fría.

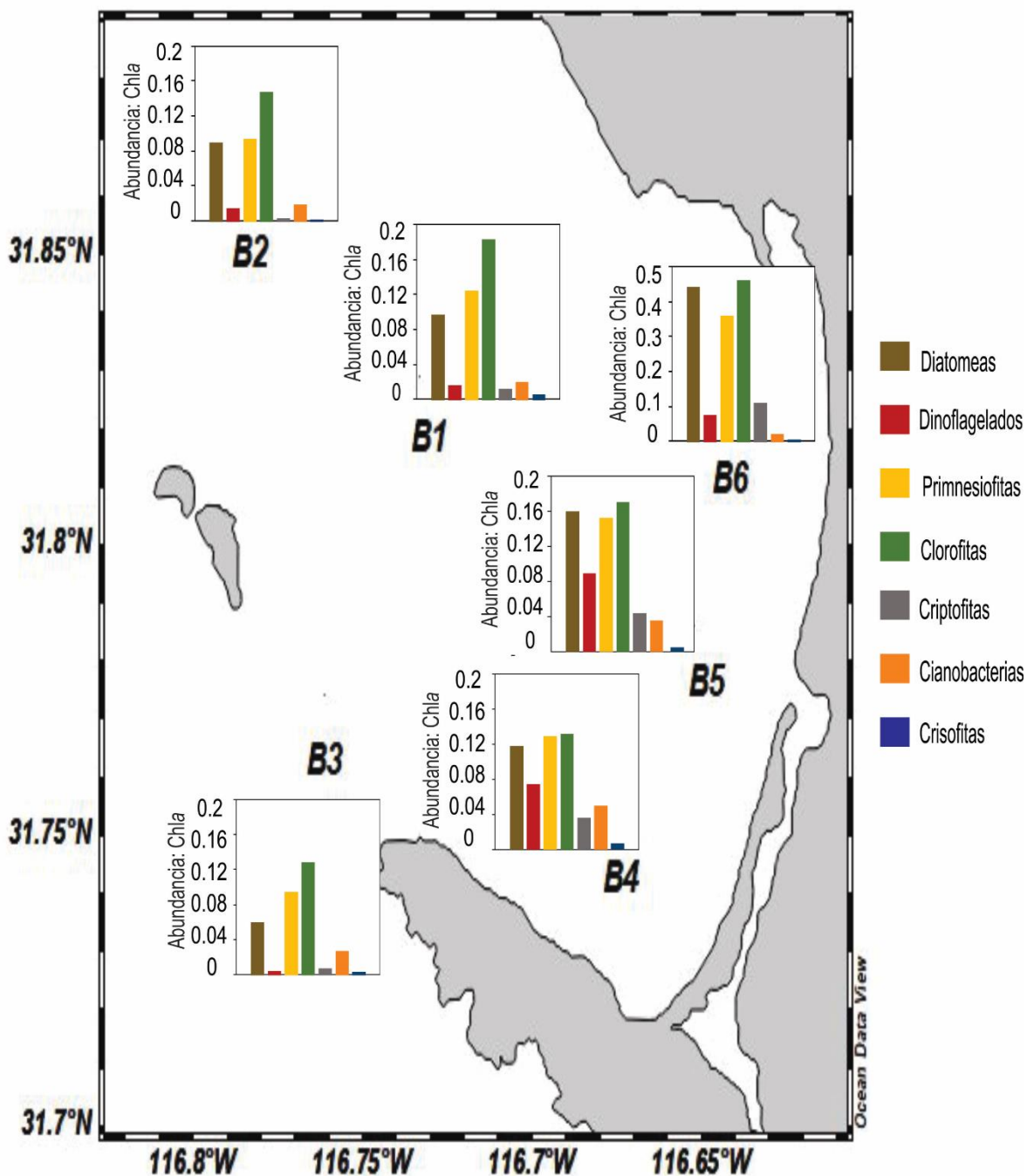


Figura 11. Mediana de los grupos fitoplanctónicos presentes en las seis estaciones de muestreo durante la época fría. El color café corresponde a las diatomeas, el rojo a los dinoflagelados, el amarillo a las primnesiofitas, el verde a las clorofitas, gris a las criptofitas, anaranjado a las cianobacterias y azul a las crisofitas. Nota: escala diferente en la estación B6.

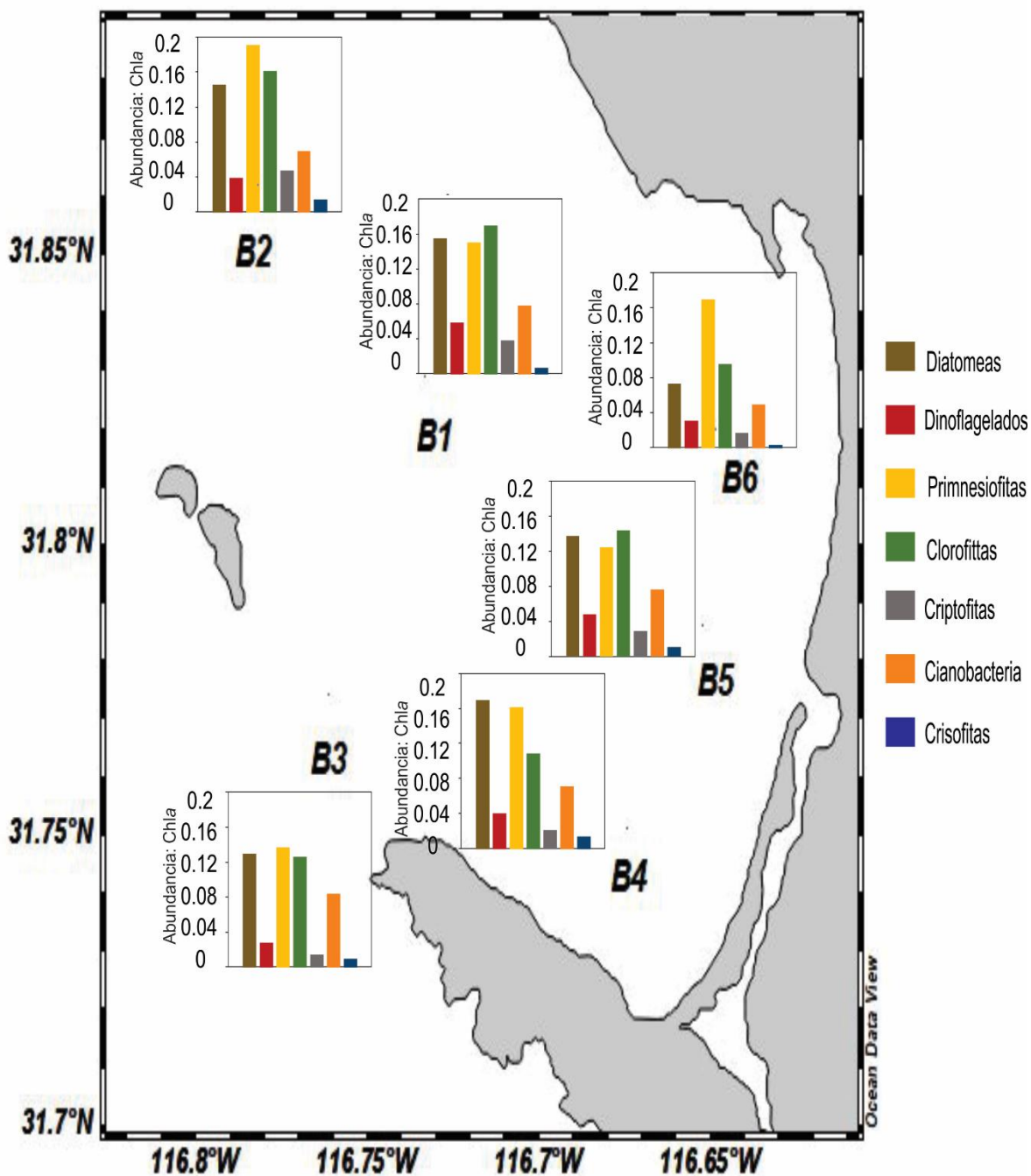


Figura 12. Mediana de los grupos fitoplanctónicos presentes en las seis estaciones de muestreo durante la época cálida. El color café corresponde a las diatomeas, el rojo a los dinoflagelados, el amarillo a las primmesiofitas, el verde a las clorofittas, gris a las criptofittas, anaranjado a las cianobacterias y azul a las crisofittas.

Con el objetivo de evaluar la variabilidad temporal de la composición de la comunidad fitoplanctónica por estaciones y épocas, se analizó el porcentaje de contribución de cada grupo y la concentración de Chla (Fig. 13). Durante la época fría (Fig. 13a) se observaron con mayor frecuencia concentraciones de Chla arriba de 1 mg/m^3 , en especial durante febrero de 2017 y en particular en la estación B6 en noviembre de 2017, cuando esta llegó a 3.5 mg/m^3 . Tomando en cuenta las tendencias observadas en algunos grupos con relación a la Chla, se realizaron algunos análisis de regresión para evaluar el grado de asociación entre estas variables. Para evaluar esta significancia nos basamos en el coeficiente de correlación de Spearman (R_s), a un $\alpha = 0.5$. Se observó una relación directa entre las diatomeas y la Chla, con un coeficiente de $R_s = 0.87$ durante la época fría. En la época cálida la relación directa se mantuvo, pero el grado de correlación disminuyó ($R_s = 0.50$).

La mayor contribución de las clorofitas se observó durante el muestreo de noviembre en las estaciones B1, B2 y B3, quienes contribuyeron con alrededor del 60%. Las diatomeas presentaron la mayor contribución en febrero del 2017 en la estación B5, y febrero 2018 en las estaciones B1, B2 y B6. Se observó que en las estaciones donde aumentó la contribución de las clorofitas disminuyó el de las diatomeas, en particular durante el muestreo de noviembre del 2017. Las primnesiofitas se mantuvieron constantes durante toda la época aportando alrededor del 20%. La mayor contribución de los dinoflagelados fue en febrero del 2017 en las estaciones B3, B4 y B5 aportando alrededor del 40%. Sin embargo, en noviembre del 2017 su contribución no superó el 10%. Las criptofitas mostraron su mayor aporte en febrero del 2017 en la estación B3 con un 20% y febrero del 2018 en la estación B4. La mayor contribución de las cianobacterias fue en marzo del 2017 en la estación B3 aportando un 20%. Las crisofitas arrojaron su más alta contribución en la estación B4 durante febrero del 2018 con un 20%.

Durante la época cálida (Fig. 13b) las concentraciones de Chla fueron similares a la época fría, aunque estas no pasaron de 1.5 mg/m^3 . Así mismo, no se observó la misma relación observada en la época fría para las diatomeas. De hecho, las diatomeas mostraron su más alta contribución en agosto del 2018, aunque en octubre del 2016 y 2018 el aporte de este grupo no superó el 10%. Por otro lado, fue durante estos cruceros cuando las primnesiofitas presentaron su mayor contribución. Por otro lado, las clorofitas presentaron muy poca variación entre estaciones y entre muestreos, con valores alrededor del 20%. La contribución de los dinoflagelados también fue muy baja, con excepción de junio del 2018

cuando esta llegó hasta el 50% en la estación B5. Las cianobacterias estuvieron presentes durante toda la época y su mayor aporte fue en junio del 2018 en la estación B3. Las criptofitas presentaron su mayor aporte en junio con un 15% para las estaciones B5 y B6. Finalmente, la más alta contribución de las crisofitas se observó en octubre del 2016 en todas las estaciones del muestreo con un 10% (Fig.13b).

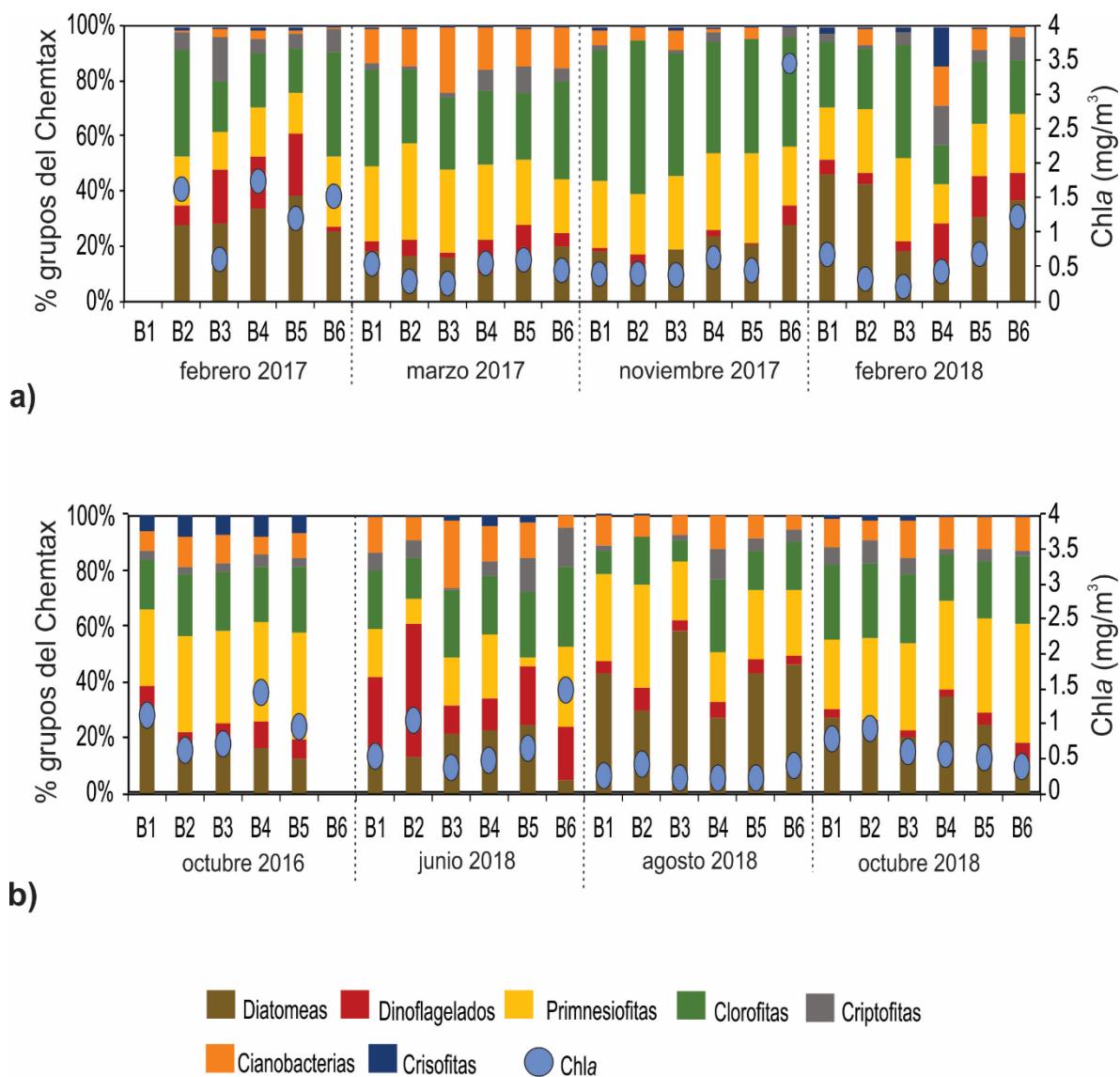


Figura 13. Porcentaje de contribución de los grupos fitoplanctónicos obtenidos mediante el CHEMTAX, para la época fría a) y para la época cálida b).

6.4 Propiedades de absorción de luz

La variabilidad de las propiedades de absorción de luz por el material particulado y disuelto también fueron evaluadas por época. Durante la época fría el coeficiente $a_{CDOM}(440)$ varió entre 0.002 m^{-1} y 0.25 m^{-1} , $a_{ph}(440)$ varió entre 0.23 m^{-1} y 0.28 m^{-1} y $a_d(440)$ entre 0.008 m^{-1} y 0.09 m^{-1} (Tabla 13). Para la época cálida el $a_{CDOM}(440)$ presentó un intervalo de variabilidad entre los 0.003 m^{-1} hasta los 0.26 m^{-1} , el $a_{ph}(440)$ varió entre 0.021 m^{-1} y 0.121 m^{-1} y el $a_d(440)$ varió entre 0.01 m^{-1} y 0.064 m^{-1} . De manera general, durante la época fría la mayor contribución la presentó $a_{ph}(440)$ con un 41%, seguido del $a_{CDOM}(440)$ con un 37% y finalmente el $a_d(440)$ con un 22%. Para la época cálida se observó un aumento por parte del CDOM contribuyendo con un 52%, el $a_{ph}(440)$ disminuyó para este escenario y aportó alrededor del 31%. Finalmente, el $a_d(440)$ mostró un 17% de contribución al coeficiente de absorción de luz (Tabla 13).

Tabla 13. Mínimo, máximo, mediana, número de datos (n) y porcentaje de contribución de los tres coeficientes de absorción $a_{CDOM}(440)$, $a_{ph}(440)$ y $a_d(440)$, para la época fría y época cálida.

	Época fría					Época cálida				
	Min	Max	Mediana	n	%	Min	Max	Mediana	n	%
$a_{CDOM}(440)$	0.002	0.250	0.058	23	37	0.003	0.267	0.094	23	52
$a_{ph}(440)$	0.023	0.281	0.064	23	41	0.027	0.121	0.056	23	31
$a_d(440)$	0.008	0.090	0.034	23	22	0.010	0.064	0.030	23	17
Total			0.156					0.181		

Al evaluar la variabilidad de los coeficientes por estación, se observó que para la época fría (Tabla 14) $a_{ph}(440)$ fue quien contribuyó en mayor proporción a la absorción de luz, con excepción de las estaciones costeras B4 y B5 donde $a_{CDOM}(440)$ aumentó ligeramente su contribución o se igualó a $a_{ph}(440)$. Por otro lado, la mayor contribución de $a_d(440)$ se observó en las estaciones costeras B4 y B5. Así mismo, fueron estas estaciones que presentaron los mayores valores de K_d .

Durante la época cálida (Tabla 15), $a_{CDOM}(440)$ dominó la contribución a la absorción de luz en todas las estaciones, con valores que llegaron al 63% en la estación B1. El fitoplancton contribuyó en menor grado, con mayores porcentajes de $a_{ph}(440)$ en las estaciones costeras. Por otro lado, K_d presentó en general valores más elevados que en la época fría, con el valor más bajo en la estación B5.

Tabla 14. Mínimo, máximo, mediana, número de datos (n) y porcentaje de contribución de los coeficientes de absorción $a_{CDOM}(440)$, $a_{ph}(440)$, $a_d(440)$ y el coeficiente de atenuación difusa (K_d). Para las seis estaciones de muestreo durante la época fría.

	B1					B2					B3				
	Min	Max	Mediana	n	%	Min	Max	Mediana	n	%	Min	Max	Mediana	n	%
$a_{CDOM}(440)$	0.003	0.203	0.049	3	40	0.003	0.250	0.054	4	34	0.002	0.183	0.049	4	37
$a_{ph}(440)$	0.047	0.070	0.050	3	41	0.029	0.108	0.076	4	47	0.023	0.083	0.058	4	44
$a_d(440)$	0.011	0.068	0.023	3	19	0.012	0.090	0.031	4	19	0.009	0.039	0.023	4	18
Total			0.122					0.204					0.129		
K_d	0.106	0.117	0.106	3		0.077	0.142	0.128	4		0.121	0.350	0.158	4	
	B4					B5					B6				
	Min	Max	Mediana	n	%	Min	Max	Mediana	n	%	Min	Max	Mediana	n	%
$a_{CDOM}(440)$	0.003	0.171	0.069	4	40	0.003	0.095	0.062	4	36	0.004	0.177	0.095	4	37
$a_{ph}(440)$	0.050	0.163	0.062	4	36	0.044	0.123	0.068	4	40	0.052	0.281	0.116	4	45
$a_d(440)$	0.015	0.069	0.041	4	24	0.020	0.067	0.042	4	24	0.031	0.075	0.046	4	18
Total			0.171					0.172					0.257		
K_d	0.106	0.311	0.163	4		0.156	0.311	0.228	4		0.106	0.156	0.123	4	

Tabla 15. Mínimo, máximo, mediana, número de datos (n) y porcentaje de contribución de los coeficientes de absorción, $a_{CDOM}(440)$, $a_{ph}(440)$, $a_d(440)$. Para las seis estaciones de muestreo durante la época cálida.

	B1					B2					B3				
	Min	Max	Mediana	n	%	Min	Max	Mediana	n	%	Min	Max	Mediana	n	%
$a_{CDOM}(440)$	0.003	0.270	0.150	4	63	0.004	0.245	0.073	4	47	0.003	0.220	0.096	4	56
$a_{ph}(440)$	0.032	0.088	0.061	4	26	0.042	0.097	0.057	4	37	0.030	0.107	0.048	4	28
$a_d(440)$	0.014	0.040	0.027	4	11	0.016	0.031	0.025	4	16	0.010	0.047	0.029	4	17
Total			0.24					0.15					0.17		
K_d	0.117	0.187	0.148	4		0.127	0.200	0.134	4		0.127	0.215	0.144	4	
	B4					B5					B6				
	Min	Max	Mediana	n	%	Min	Max	Mediana	n	%	Min	Max	Mediana	n	%
$a_{CDOM}(440)$	0.005	0.144	0.101	4	47	0.005	0.137	0.090	4	50	0.005	0.168	0.089	3	52
$a_{ph}(440)$	0.044	0.121	0.075	4	35	0.037	0.071	0.056	4	31	0.027	0.065	0.057	3	33
$a_d(440)$	0.011	0.064	0.037	4	17	0.012	0.040	0.034	4	19	0.013	0.038	0.026	3	15
Total			0.21					0.18					0.17		
K_d	0.122	0.187	0.151	4		0.127	0.165	0.127	3		0.133	0.350	0.156	3	

Se evaluó la variabilidad espacial de los coeficientes de absorción $a_{CDOM}(440)$, $a_{ph}(440)$ y $a_d(440)$ mediante el uso de la mediana. En la época fría (Fig. 14) se puede observar el dominio de $a_{ph}(440)$, en especial en la estación B6 para los tres coeficientes. Por otro lado, la estación B1 presentó los valores más bajos en general (Fig. 14). Lo contrario sucede en la época cálida (Fig. 15) donde la mayor absorción por $a_{CDOM}(440)$ fue en la estación B1, mientras la estación oceánica B2 tuvo los valores más bajos.

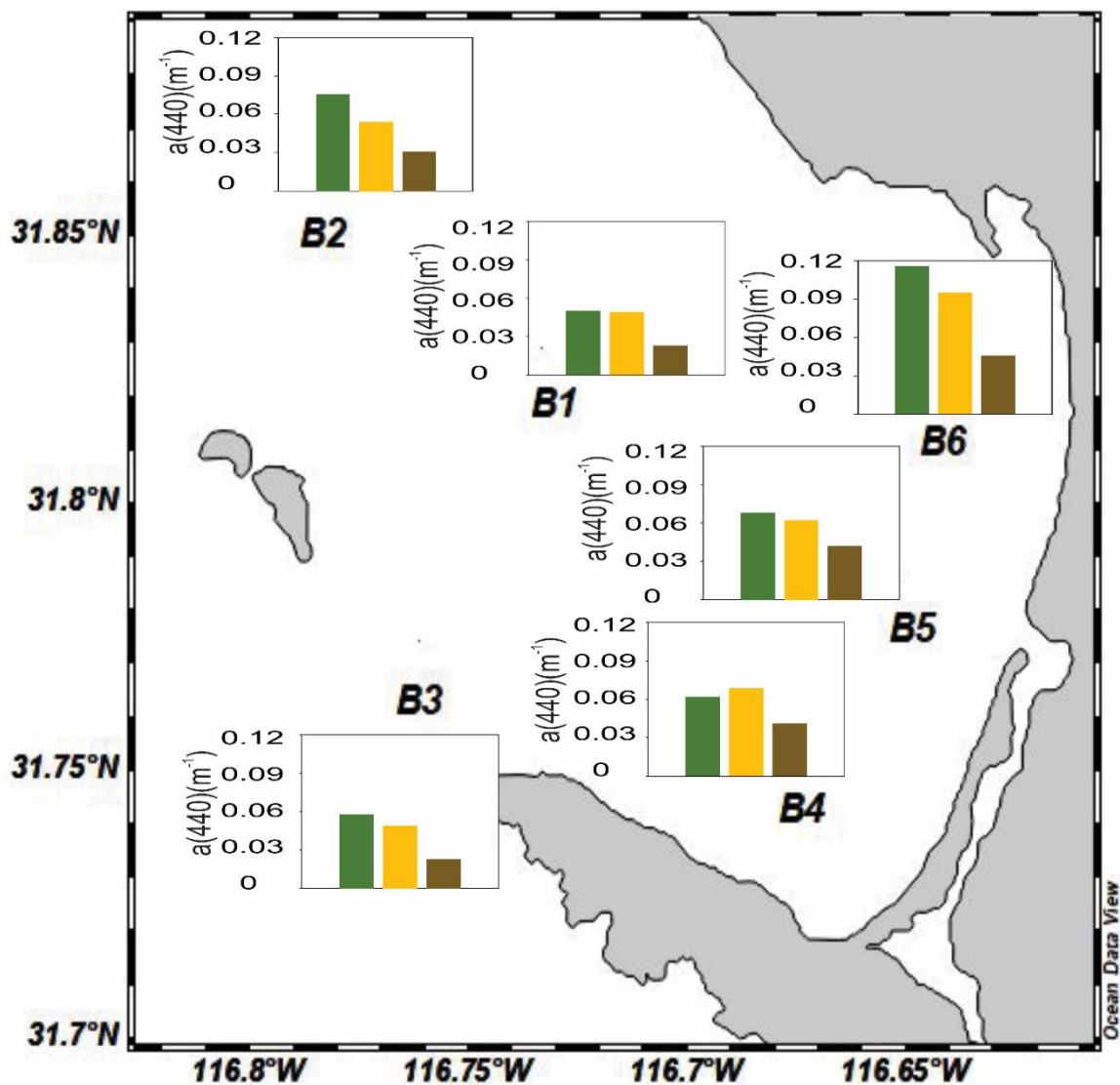


Figura 14. Medianas de los coeficientes de absorción $a_{CDOM}(440)$ en color amarillo, $a_{ph}(440)$ en color verde y $a_d(440)$ en color café en las seis estaciones de muestreo durante la época fría.

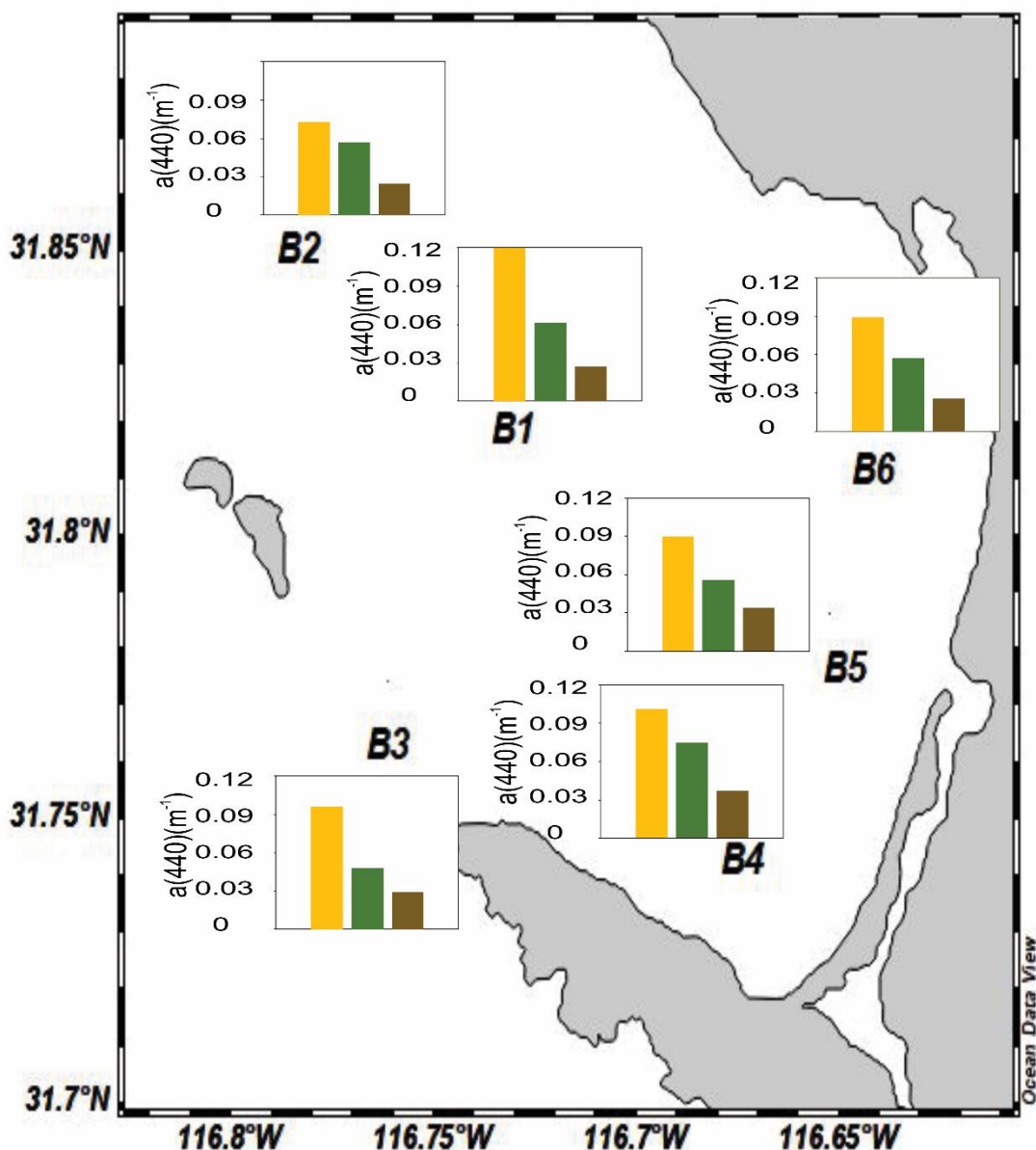
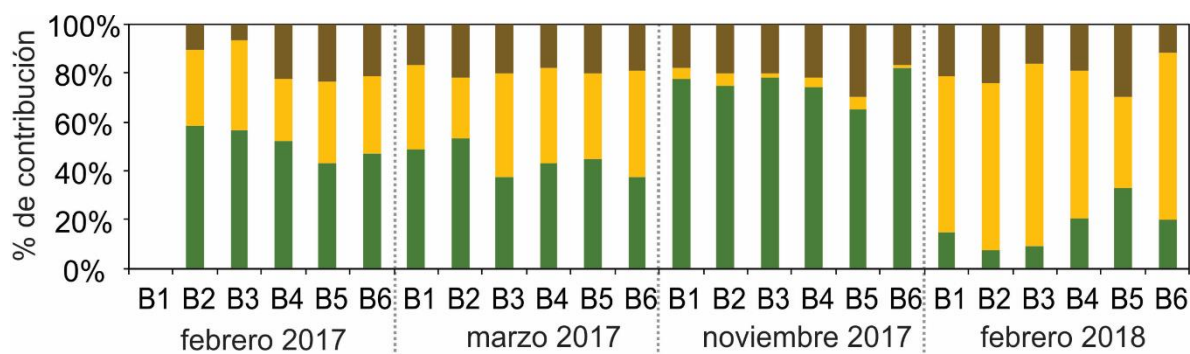


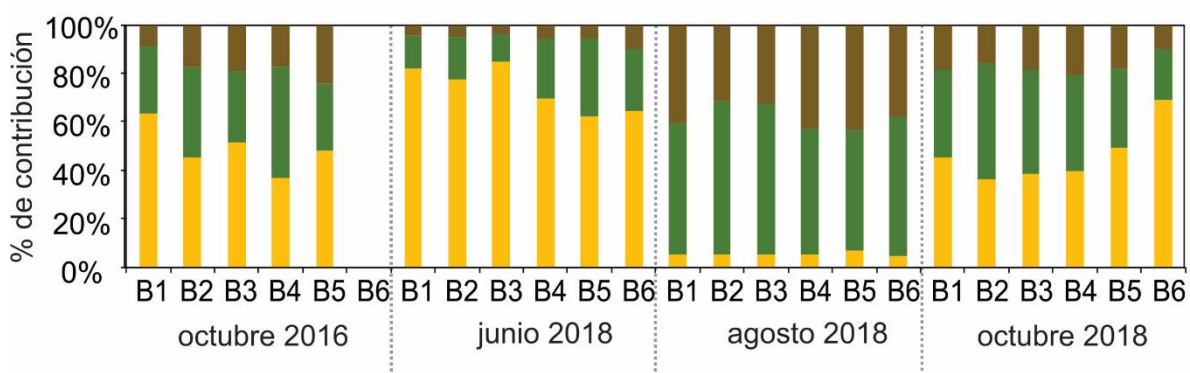
Figura 15. Medianas de los coeficientes de $a_{CDOM}(440)$ en color amarillo, $a_{ph}(440)$ en color verde y $a_d(440)$ en color café. Para las seis estaciones de muestreo durante la época cálida.

Para evaluar la variabilidad temporal de los coeficientes de absorción, se analizó el porcentaje de contribución de cada uno, por estaciones de muestreo y épocas. En la época fría (Fig 16a) se reportó la máxima contribución del $a_{ph}(440)$ de manera general, como ya se había mencionado anteriormente (Tabla 14, Fig. 14). Entretanto, se destaca la variabilidad temporal, ya que por ejemplo $a_{ph}(440)$ presentó una muy baja contribución en febrero del 2018, cuando $a_{CDOM}(440)$ domina en hasta un 70% a la absorción de luz. Por

otra parte, durante la época cálida, se reportó en general la mayor contribución del $a_{CDOM}(440)$ (Tabla 15, Fig. 15). Pero también en esta época se observaron cambios de acuerdo con el crucero. En particular, agosto 2018 se caracterizó por una mínima contribución por $a_{CDOM}(440)$, mientras $a_{ph}(440)$ aumentó en hasta un 60% (Fig. 16b).



a)



b)

$a_{CDOM}(440)$ $a_{ph}(440)$ $a_d(440)$

Figura 16. Porcentaje de contribución de los tres coeficientes de absorción $a_{CDOM}(440)$, $a_{ph}(440)$ y $a_d(440)$, a) época fría y b) época cálida.

El $a_{ph}(\lambda)$ aumenta en función a la concentración de la Chla de acuerdo a una función de potencia, en particular a los 440 y 675 nm debido a la contribución por la Chla (Bricaud et al., 2004). Con los datos de los ocho cruceros contemplados en este estudio se evaluó esta

relación (Fig. 17). El coeficiente de determinación (R^2) para $a_{ph}(440)$ fue de 0.49, mientras que para $a_{ph}(675)$ este fue de 0.61.

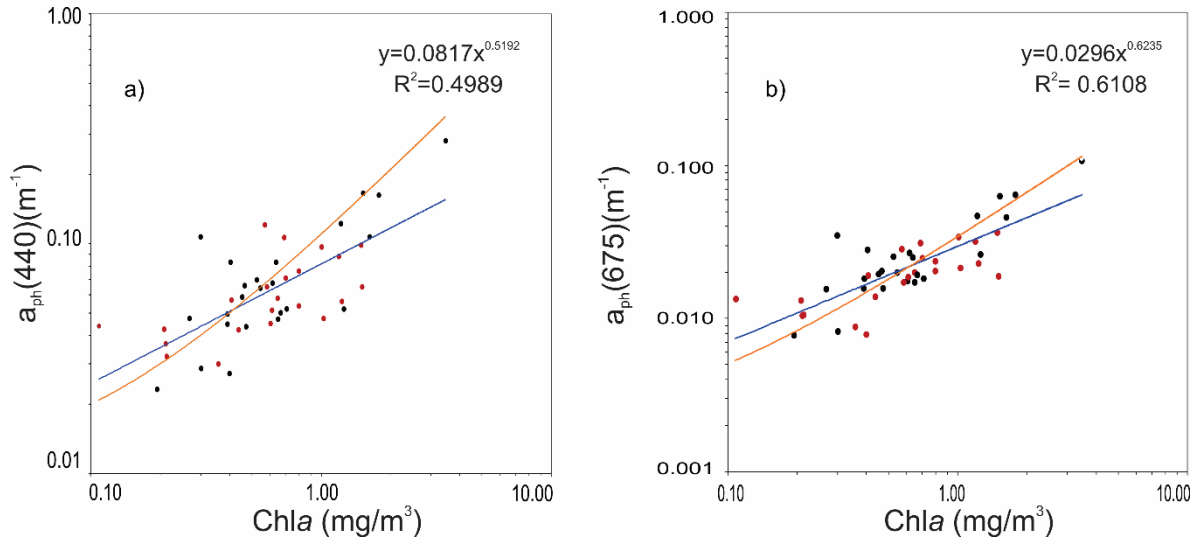


Figura 17. Ajuste potencial del coeficiente $a_{ph}(440)$ y $a_{ph}(675)$ respecto a la concentración de Chl a. Los círculos negros representan las 23 estaciones estudiadas durante la época fría y los círculos color rojos las 23 estaciones estudiadas durante la época cálida. La línea azul representa la línea de regresión para los datos de este trabajo, mientras la línea anaranjada representa el ajuste de Barocio-León et al. (2006) determinado para datos de la región oceánica frente a la BTS.

La variabilidad espacial y temporal del K_d se evaluó con base en la mediana (Fig. 17). Durante la época fría (Fig. 18a), se observó que la estación B5 presentó un K_d más alto y en la estación B1 el más bajo. Este comportamiento cambio para la época cálida donde se registró un mayor K_d en la estación B6 y el más bajo en la estación B5 (Fig. 18b).

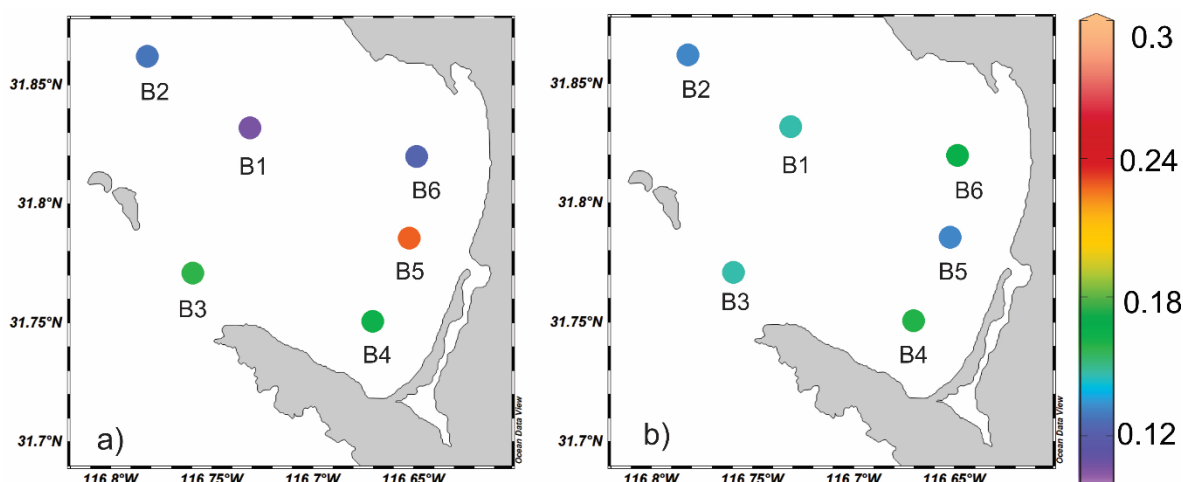


Figura 18. Mediana del K_d para las seis estaciones de muestreo durante la época fría (a) y época cálida (b).

6.5 Análisis estadísticos

Los análisis estadísticos permitieron observar diferencias significativas entre las dos épocas de muestreo. Las variables contrastadas fueron los 7 grupos fitoplanctónicos derivados del CHEMTAX (diatomeas, dinoflagelados, primnesiofitas, clorofitas, criptofitas, cianobacterias, crisofitas), la concentración de Chla, $a_{ph}(440)$, $a_{CDOM}(440)$, $a_d(440)$ y K_d . Esta comparación se realizó mediante la prueba estadística Wilcoxon-Wilcoxon para dos muestras independientes, la cual consiste en asignar valores (o rangos) a los datos originales de cada variable. Posteriormente, se realiza la suma de estos rangos para cada variable por cada época, los cuales van a representar los valores calculados (T_{frio} y $T_{cálido}$). A seguir, con base en el número de observaciones de cada muestra (n_{frio} y $n_{cálido}$) y el valor $1-\alpha=0.95$, se obtienen los valores críticos de las tablas W-W (Wilcoxon y Wilcoxon, 1970) para dos muestras independientes (TL y TU) los cuales indican los límites inferiores (TL) o superiores (TU) que permitirán aceptar o rechazar la hipótesis de igualdad. La interpretación de esta prueba consiste en que los valores calculados deben estar dentro de los límites de TL y TU. Si alguno de ellos cae fuera de este intervalo significa que las diferencias son significativas. Para saber cuál de las épocas presentó un mayor o menor aporte de una variable, se debe de considerar los valores calculados.

Las diferencias entre épocas se evaluaron por región. Los resultados muestran que para la región central (Tabla 16, est. B1), los dinoflagelados, criptofitas, cianobacterias, $a_{CDOM}(440)$

y K_d tuvieron diferencias significativas, donde el mayor aporte fue durante la época cálida. En la región oceánica (Tabla 17, est. B2 y B3), las diferencias significativas fueron para los dinoflagelados, cianobacterias, crisofitas y K_d . Finalmente, en la región costera los resultados fueron más heterogéneos entre las variables analizadas (Tabla 18, est. B4, B5 y B6). En particular, no se observaron diferencias significativas para los dinoflagelados o cianobacterias, contrario a lo observado para las otras regiones. Por otro lado, se observaron diferencias significativas para diatomeas, clorofitas, criptofitas y crisofitas. Además, también para la concentración de Chla, $a_{ph}(440)$, $a_d(440)$ y K_d , pero no para $a_{CDOM}(440)$, lo que indica que los patrones de variabilidad en la región costera son diferentes a los observados en las demás regiones.

Tabla 16. Resultados de la prueba estadística Wilcoxon Rank Sum Test para evaluar diferencias entre época fría y cálida, para la región central, para las variables indicadas en la primera columna. Se indican el número de datos por época (n), el estadístico T calculado (T_{frio} , $T_{cálido}$), y los valores críticos (TL y TU). La última columna indica si la decisión fue de igualdad o diferencia (ver metodología para detalles del método). (Wilcoxon 1945; Wilcoxon y Wilcoxon 1963) utilizando los valores críticos (TL, TU) en (Wilcoxon et al., 1970). Se indica en negritas las variables cuya diferencia fue significativa.

Variables	n		Valores calculados		Valores críticos 1- α =0.95		Fría vs cálida
	n_{frio}	$n_{cálido}$	T_{frio}	$T_{cálido}$	TL	TU	Decisión
Diatomeas	3	4	11	17	6	18	=
Dinoflagelados	3	4	9	19	6	18	≠
Primnesiofitas	3	4	11	17	6	18	=
Clorofitas	3	4	12	16	6	18	=
Criptofitas	3	4	9	19	6	18	≠
Cianobacterias	3	4	7	21	6	18	≠
Crisofitas	3	4	13	15	6	18	=
Chla	3	4	10	18	6	18	=
$a_{CDOM}(440)$	3	4	9	19	6	18	≠
$a_{ph}(440)$	3	4	12	16	6	18	=
$a_d(440)$	3	4	11	17	6	18	=
K_d	3	4	9	19	6	18	≠

Tabla 17. Resultados de la prueba estadística Wilcoxon Rank Sum Test para evaluar diferencias entre época fría y cálida, para la región oceánica para las variables indicadas en la primera columna. Se indican el número de datos por época (n), el estadístico T calculado (T_{frio} , $T_{cálido}$), y los valores críticos (TL y TU). La última columna indica si la decisión fue de igualdad o diferencia (ver metodología para detalles del método). (Wilcoxon 1945; Wilcoxon y Wilcoxon 1963) utilizando los

valores críticos (TL, TU) en (Wilcoxon et al., 1970). Se indica en negritas las variables cuya diferencia fue significativa.

	n		Valores calculados		Valores críticos 1- α =0.95		Fría vs cálida
	n _{frio}	n _{cálido}	T _{frio}	T _{cálido}	TL	TU	Decisión
Diatomeas	8	8	55	81	50	86	=
Dinoflagelados	7	8	45	75	39	73	≠
Primnesiofitas	8	8	54	82	50	86	=
Clorofitas	8	8	70	66	50	86	=
Criptofitas	7	7	47	58	37	68	=
Cianobacterias	8	8	44	92	50	86	≠
Crisofitas	8	8	48	72	50	86	≠
Chla	8	8	54	82	50	86	=
a _{CDOM} (440)	8	8	58	78	50	86	=
a _{ph} (440)	8	8	70	66	50	86	=
a _d (440)	8	8	67	69	50	86	=
K_d	8	8	45	91	50	86	≠

Tabla 18. Resultados de la prueba estadística Wilcoxon Rank Sum Test para evaluar diferencias entre época fría y cálida, para la región costera para las variables indicadas en la primera columna. Se indican el número de datos por época (n), el estadístico T calculado (T_{frio}, T_{cálido}), y los valores críticos (TL y TU). La última columna indica si la decisión fue de igualdad o diferencia (ver metodología para detalles del método). (Wilcoxon 1945; Wilcoxon y Wilcoxon 1963) utilizando los valores críticos (TL, TU) en (Wilcoxon et al., 1970). Se indica en negritas las variables cuya diferencia fue significativa.

	n		Valores calculados		Valores críticos 1- α =0.95		Fría vs cálida
	n _{frio}	n _{cálido}	T _{frio}	T _{cálido}	TL	TU	Decisión
Diatomeas	12	11	166	110	100	164	≠
Dinoflagealdos	12	11	159	117	100	164	=
Primnesiofitas	12	11	148	128	100	164	=
Clorofitas	12	11	171	105	100	164	≠
Criptofitas	12	11	167	109	100	164	≠
Cianobacterias	11	11	106	147	100	164	=
Crisofitas	12	7	84	106	47	73	≠
Chla	12	11	167	109	100	164	≠
a _{CDOM} (440)	12	11	147	129	100	164	=
a_{ph}(440)	12	11	167	109	100	164	≠
a_d(440)	12	11	168	108	100	164	≠
K_d	12	11	155	98	100	164	≠

6.5 Florecimiento fitoplanctónico (junio 2017)

El muestreo realizado el 2 de junio del 2017 fue afectado por un intenso florecimiento del dinoflagelado *Lingulodinium polyedrum*, lo que determinó que las variables analizadas presentaran valores muy extremos. Por esta razón, se decidió evaluarlo de forma independiente dentro de esta sección.

El análisis al microscopio mostró qué, de manera general, la comunidad fitoplanctónica en las seis estaciones de muestreo estuvo dominada en un 95% por los dinoflagelados (Fig. 19a) y solamente en un 5% por las diatomeas, a pesar de que esto presentó variaciones de acuerdo con la estación (Fig. 19b, c). La abundancia total más alta durante esta condición se registró en la estación B6 con 164,433 cel/L de la cual 145,300 cel/L correspondieron a *L. polyedrum* (Fig. 19c). La más baja abundancia se registró en la estación B2 con alrededor de 8,480 cel/L de la cual 4,020 cel/L pertenecen a *L. polyedrum*. En Tabla 19 se indican las abundancias de todos los grupos observados al microscopio durante este muestreo, el porcentaje de contribución de *L. polyedrum* y la concentración de Chla.

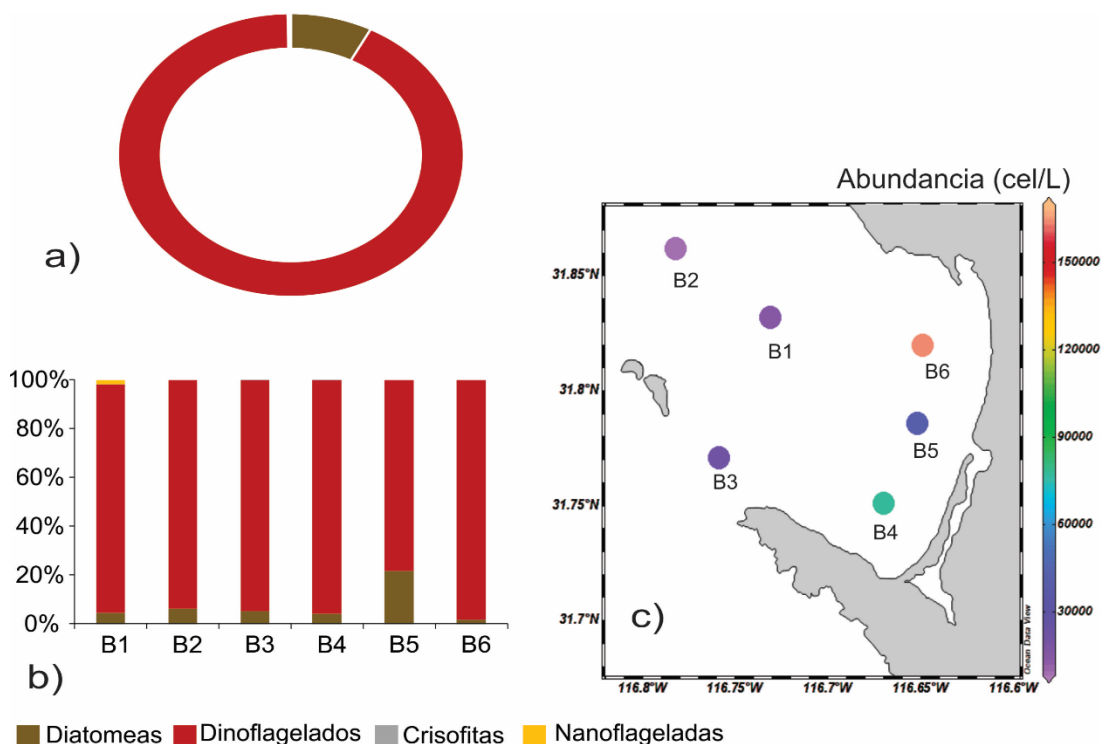


Figura 19. Análisis al microscopio de la comunidad fitoplanctónica, a) porcentaje de contribución a la abundancia general, b) porcentaje de contribución a la abundancia total por estaciones, c) Mediana de la abundancia fitoplanctónica

Tabla 19. Abundancias totales observadas al microscopio (Cel/L) y concentración de Chla (mg/m³) durante el florecimiento de junio del 2017.

	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Diatomeas	690	540	1,110	3,107	9,053	567
Dinoflagelados	14,570	7,940	19,560	73,467	32,680	163,767
Crisofitas	20	0	10	240	0	0
Nanoflagelados	300	0	0	0	0	0
Total	15,580	8,480	20,680	76,813	41,733	164,333
Abundancia de	8,100	4,020	9,240	46,333	25,133	145,300
<i>L. polyedrum</i>						
% de contribución	52	47	45	60	60	88
<i>L. polyedrum</i>						
Chla (mg/m³)	1.3	1	2	6	2	11

La concentración más alta de Chla se presentó en la estación B6 con 11.3 mg/m³ y la más baja se observó en la estación B2 con 1 mg/m³ (Fig. 20a). De los pigmentos detectados, el de mayor concentración fue la Peridinina con 20.4 mg/m³ en la estación B6 (Tabla 20).

Tabla 20. Concentración de pigmentos detectados por el HPLC durante el florecimiento de junio del 2017 en las seis estaciones de muestreo. Color verde indica la concentración el pigmento diagnóstico de los dinoflagelados.

	B1	B2	B3	B4	B5	B6
Clorofilas						
Chla	1.3	1	1.9	5.8	2.4	11.3
Chlb	0.09	0.13	0.28	0.43	0.15	0.34
Chl c ₂	0.32	0.18	0.45	1.79	0.71	0
Chl c ₃	0.02	0.02	0.08	0.45	0.08	12.14
Carotenos totales						
β caroteno	0.08	0.08	0.09	0.21	0.10	0.34
19' But	0	0	0.02	0	0	0
19' Hex	0.03	0.03	0.12	0.61	0.15	0.16
Allo	0.02	0.01	0.07	0.10	0.03	0.11
Diadino	0.16	0.10	0.21	0.85	0.35	2.95
Diato	0	0	0.02	0.06	0.03	0.16
Fuco	0.09	0.13	0.24	1.01	0.20	0.24
Peri	0.48	0.22	0.43	2.02	1.01	20.43
Zea	0.24	0.27	0.15	0.08	0.15	0.06
Pigmentos terciarios						

Lut	0	0	0	0	0	0
Neo	0.02	0.02	0.04	0	0	0
Viola	0.01	0.01	0.02	0.08	0.02	0.05
Pras	0.02	0.02	0.03	0	0.01	0.01

La aplicación del programa CHEMTAX permitió evaluar también la participación de otros grupos a la comunidad fitoplanctónica. El CHEMTAX confirmó la alta contribución por los dinoflagelados (50%), pero también mostró una alta contribución por primnesiofitas (19%) y clorofitas (12%) (Fig. 20 b). Al realizar el análisis por estación (Fig. 20c), fue posible observar que los dinoflagelados tuvieron una mayor contribución en las tres estaciones de la región costera (B4, B5 y B6), en particular en la estación B6, de acuerdo con lo observado al microscopio. Las primnesiofitas también fueron más abundantes en estas tres estaciones, particularmente en las estaciones B4 y B6. Aquí es importante destacar que las crisofitas solo fueron detectadas en la estación B6. Por otro lado, en las estaciones de la región central y oceánica (B1, B2 y B3), se observa el aumento en la contribución de cianobacterias y clorofitas. En particular, las clorofitas fueron más abundantes en la estación B3. A su vez, la contribución de las diatomeas fue poco variable con un máximo del 18% en la estación B4, aunque es importante notar que no se detectaron en la estación B6.

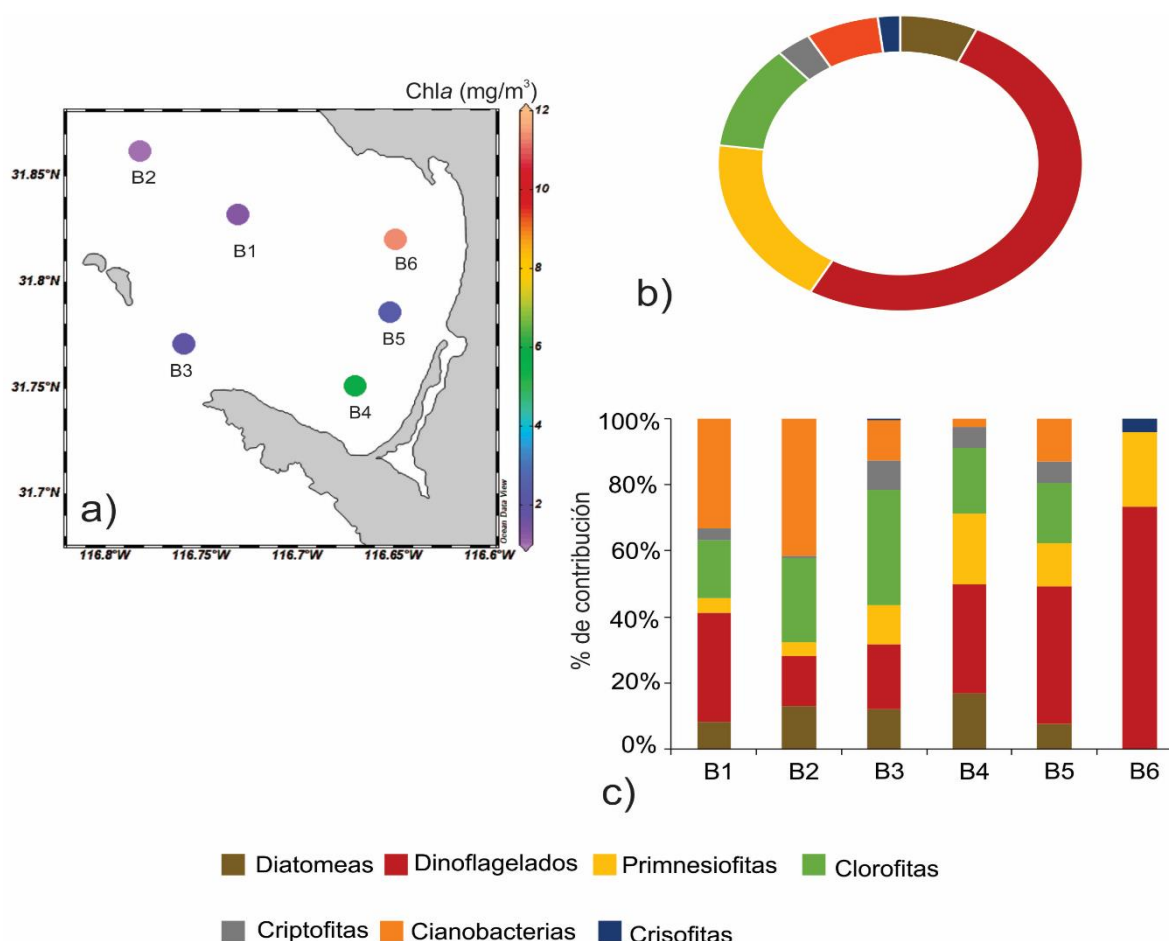


Figura 20. Conformación de la comunidad fitoplanctónica durante un florecimiento, a) concentración de Chla, b) Grupos detectados por el CHEMTAX, c) Composición quimiotaxonómica por estaciones de muestreo.

Los coeficientes de absorción $a_{ph}(440)$, $a_{CDOM}(440)$ y $a_d(440)$ presentaron sus valores más altos en la estación B6 (Tabla 21). También se evaluó el porcentaje de contribución de los coeficientes de absorción durante este muestreo, y se observó que en general $a_{ph}(440)$ presenta la mayor contribución a la absorción de luz, seguido de $a_{CDOM}(440)$ y $a_d(440)$ (Fig.21a). La mayor contribución de $a_{ph}(440)$ se registró en la estación B6 con alrededor del 90%, el cual va disminuyendo gradualmente hacia las estaciones oceánicas (B1 y B2), con un aumento del $a_{CDOM}(440)$. La contribución de $a_d(440)$ fue inferior al 15% y poco variable entre estaciones (Fig. 21b).

Tabla 21. Valores de absorción del $a_{ph}(440)$, $a_{CDOM}(440)$ y $a_d(440)$ de las 6 estaciones de muestreo durante el florecimiento de *L. polyedrum* en junio del 2017.

B1	B2	B3	B4	B5	B6
----	----	----	----	----	----

$a_{ph}(440)$	0.138	0.129	0.143	0.351	0.205	3.661
$a_{CDOM}(440)$	0.070	0.074	0.065	0.102	0.083	0.144
$a_d(440)$	0.028	0.030	0.027	0.051	0.042	0.296

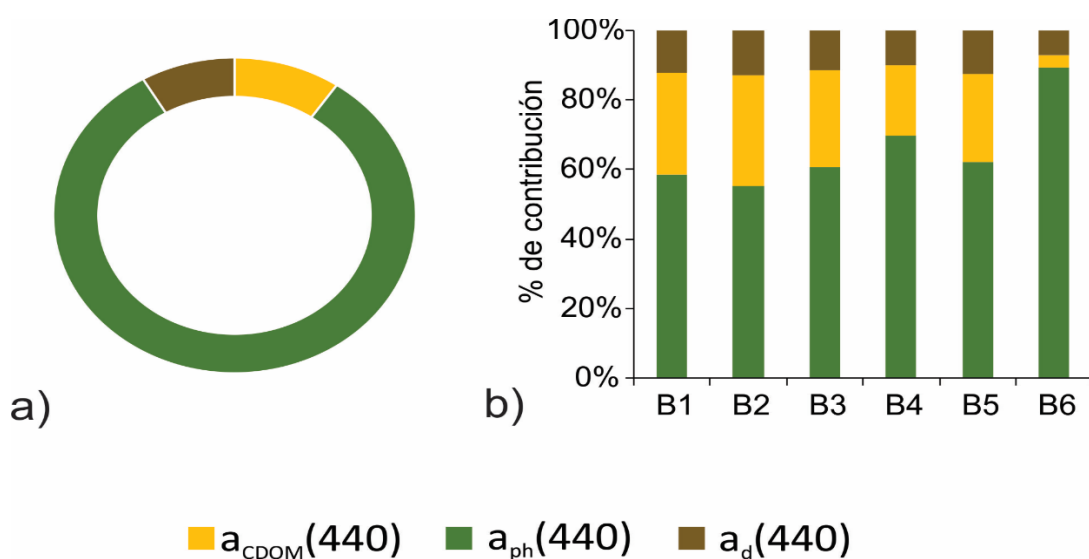


Figura 21. Porcentaje de absorción de los coeficientes de absorción de luz, a) Porcentaje general y b) Porcentaje de contribución por estaciones, durante el florecimiento fitoplanctónico.

Se evaluaron los espectros de absorción totales de los tres componentes y la forma espectral de $a_{ph}(\lambda)$ (Fig. 22). Para eliminar la diferencia de magnitud debido a los cambios en la concentración de los pigmentos, se normalizó $a_{ph}(\lambda)$, lo cual consiste en dividir $a_{ph}(\lambda)$ por el valor máximo registrado (alrededor de 440 nm) (Barocio-León et al., 2006). Se destaca que en la estación B6 la forma del espectro de absorción (Fig. 22b) difiere de los demás, con un aumento acentuado en la absorción entre los 450 y 550 nm. Por otro lado, tanto $a_{CDOM}(\lambda)$ como $a_d(\lambda)$, también presentan una curva espectral en esta estación que difiere de los demás. En $a_{CDOM}(\lambda)$ (Fig. 22d) se destaca un máximo alrededor de los 330 nm, mientras en $a_d(\lambda)$ (Fig. 22c) este se observa alrededor de los 420 nm.

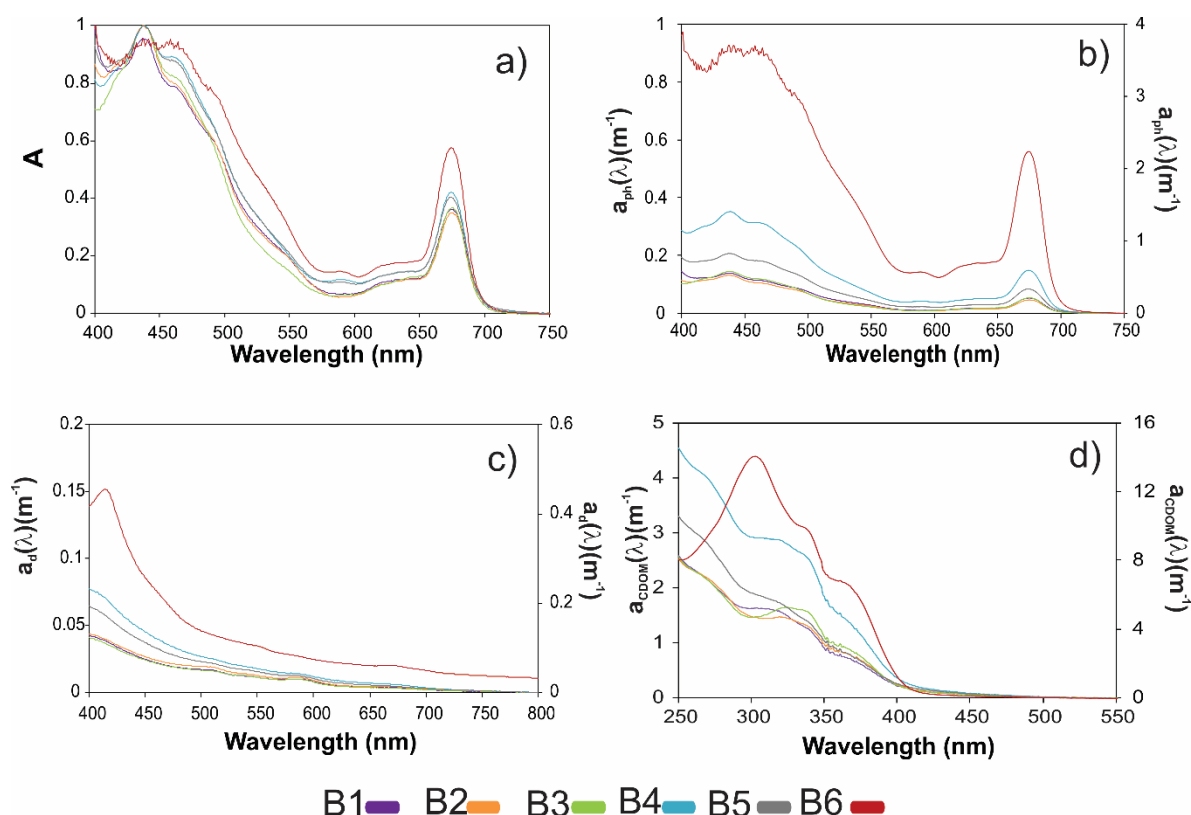


Figura 22. Espectros de absorción, a) coeficiente $a_{ph}(\lambda)$, b) coeficiente $a_{CDOM}(\lambda)$ y c) coeficiente $a_d(\lambda)$. Los colores indican las 6 estaciones de muestreo (morado B1, naranja B2, verde B3, azul B4, gris B5 y rojo B6).

7.Discusión

7.1 Variabilidad espacial y temporal de la abundancia del fitoplancton y la Chla.

La biomasa y la composición de especies del fitoplancton oceánico son parámetros clave en los estudios ecofisiológicos dedicados a la productividad primaria de los océanos (Veldhuis et al., 2003). Una forma de cuantificar la biomasa fitoplanctónica es utilizando la abundancia y/o la concentración de Chla, los cuales varían dependiendo de diversos factores químicos y físicos de una zona (Anderson et al., 1996). En este estudio se observó que la abundancia y la concentración de Chla en la BTS varían espacialmente y con la época del año (Fig. 6 y 9). En la época fría la mayor concentración de Chla ocurre en general en la estación B6 (Fig. 9), donde también se observaron las abundancias de fitoplancton más elevadas (Fig. 6), la cual se localiza en la zona costera y en particular cercana al Puerto de Ensenada. Por otro lado, en la época cálida la mayor concentración de Chla se observó en la estación B2, considerada representativa de la zona oceánica adyacente. Entretanto, la mayor abundancia celular se observó en la estación costera B4, a pesar de que las demás estaciones costeras (B5 y B6) y la B2 también presentaron altas abundancias y muy similares entre ellas. Finalmente, es importante mencionar que en la época fría las altas abundancias celulares se relacionaron a una fuerte contribución por diatomeas y dinoflagelados (Tabla 6), mientras que en verano los dinoflagelados presentaron una contribución mínima, y las diatomeas representaron más del 70% de la comunidad en todas las estaciones (Tabla 7). Para poder entender la distribución de la abundancia y de la biomasa del fitoplancton en la bahía, es necesario considerar los procesos de circulación de corrientes dentro de ella.

La BTS es un cuerpo de agua semicerrado con una fuerte influencia de la CC (Mateos, 2010), la cual ingresa a la bahía por el NW, entre Punta San Miguel y la Isla Todos Santos y al sureste (SE) entre la Isla Todos Santos y la Península Punta Banda (Fig. 3) (Calva-Chávez, 2014). Esa relación entre las aguas de la CC y el interior de la bahía puede ser representada por las estaciones B2 y B3 (Betancur, 2016). Entretanto, la estación B3 se localiza sobre un canal profundo (~ 300 m), donde las corrientes que salen de la bahía se intensifican (Mateos et al., 2009). Recientemente, se propuso un modelo que explica el patrón de la circulación superficial de la bahía y en particular sus diferencias entre invierno

y verano (Mateos, 2010; Larrañaga-Fú, 2013). Para invierno, la circulación de la bahía se caracteriza por la presencia de dos remolinos (Fig. 23): uno ciclónico localizado frente a San Miguel, donde se localiza la estación B1 (región central), y uno anticiclónico frente al Puerto de Ensenada donde se ubica la estación B6. En particular, la circulación de este remolino transporta agua desde el norte de la bahía (estación B6) hacia el sur, donde se ubican las estaciones B4 y B5. Por otro lado, en verano, la circulación de la bahía está dominada en su totalidad por un remolino ciclónico que presenta su centro cercano de la estación B6. En esta condición la estación B6 sería afectada por aguas que provienen de la zona sur de la bahía. Este patrón de circulación conlleva que existen zonas donde la acumulación física del fitoplancton se vea favorecida. Un estudio similar se realizó en Bahía de los Ángeles (Santamaría-del-Ángel et al., 1992) donde se comprueba que la acumulación física de células se debe a la reducción de la energía cinética turbulenta asociada a la morfología de la costa. Esto puede también aplicarse a nuestra área de estudio.

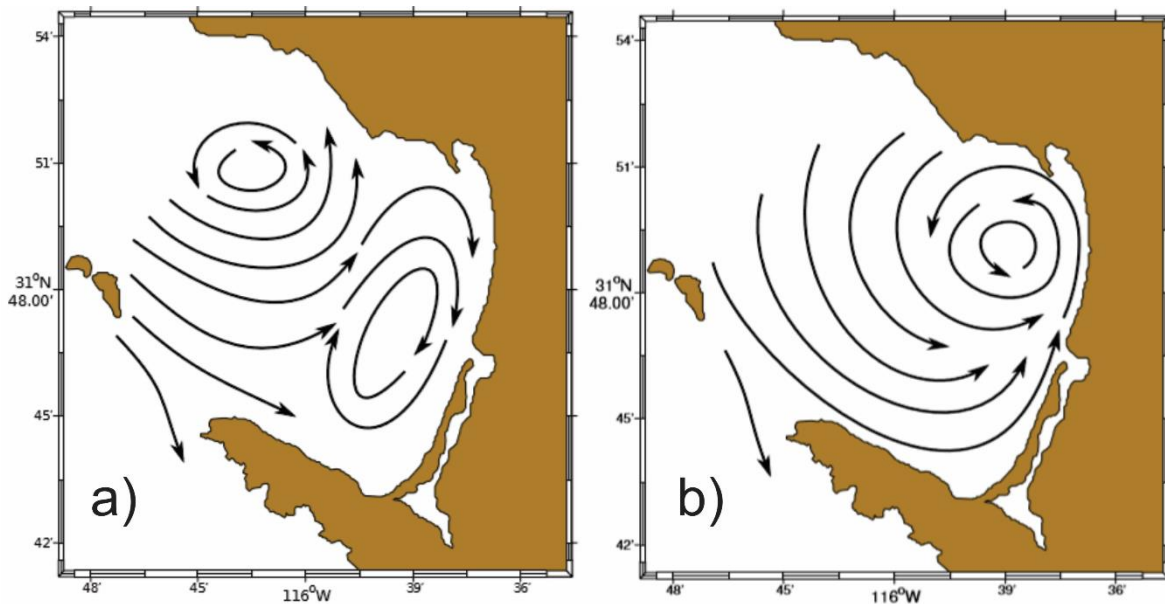


Figura 23. Patrón de circulación superficial en la Bahía de Todos Santos, a) invierno y b) verano. Tomada de: Larrañaga-Fú, 2013.

Por otro lado, la zona oceánica adyacente se caracteriza por la presencia de surgencias costeras relacionadas al Sistema de la Corriente de California, las cuales se intensifican en primavera y verano (Durazo, 2015). Este fenómeno explica que las mayores concentraciones de Chla en la época cálida sean observadas en la estación B2. De hecho,

Barocio-León et al. (2006) observaron el efecto de las surgencias en una estación localizada muy cercana a la B2. Así mismo, el efecto de las surgencias sobre la biomasa y la composición taxonómica del fitoplancton ha sido también observado en otras bahías de la región, como Bahía San Quintín (Gracia-Escobar et al., 2014), y relacionado al transporte de agua profunda, fría con bajo contenido de oxígeno y rica en nutrientes.

Los análisis estadísticos permitieron confirmar diferencias significativas en la concentración de Chla entre las dos épocas para la región costera (Tabla 18), la cual fue mayor durante la época fría. Por otro lado, no se observaron diferencias significativas entre las épocas estudiadas en la región oceánica (Tabla 16 y 17). A pesar de que durante la época cálida se observara una mayor concentración de Chla en la estación B2 (región oceánica), la circulación superficial de las corrientes, la morfología de la bahía y la línea de costa, parecen promover en gran medida una mayor acumulación de biomasa fitoplanctónica en esta zona, en especial en las estaciones B4 y B6, como sugerido por Ruiz de la Torre et al. (2013).

7.2 Composición taxonómica de la comunidad fitoplanctónica

Mediante el uso del CHEMTAX se pudo reconocer a las clorofitas, primnesiofitas y diatomeas como los grupos que contribuyeron con al menos el 70% al total de la comunidad fitoplanctónica (Tabla 11 y 12). Entretanto, la contribución relativa de estos grupos varió espacial y temporalmente. Considerando que el fitoplancton responde a los procesos físicos de una zona (Bustamante et al., 2016), es muy probable que la comunidad fitoplanctónica durante la época fría presente una composición distinta en este sitio en comparación con la región central y oceánica. En la época fría (Tabla 11) las estaciones central y oceánicas (B1, B2 y B3) presentaron un mayor porcentaje de contribución por las clorofitas, mientras que en las estaciones costeras los tres grupos presentan una contribución muy similar. En la época cálida todas las estaciones presentaron un patrón similar en la contribución de estos tres grupos, sumado a un aumento en la contribución de las cianobacterias. Esto indica que en la época cálida la distribución espacial del fitoplancton dentro de la bahía es más homogénea.

Por otro lado, es importante destacar que las clorofitas y diatomeas presentaron diferencias significativas en su abundancia entre la época fría y cálida, pero solamente para las estaciones costeras (Tabla 18). Esto también es una indicación de que los patrones de

variación de la zona costera son diferentes aquellos en las estaciones oceánicas. En las estaciones central y oceánicas, las diferencias entre épocas fueron marcadas por los dinoflagelados y cianobacterias, con una mayor contribución de ambos grupos en la época cálida. Las cianobacterias se distribuyen en todo el mundo tanto en regiones costeras como áreas oceánicas mesotróficas y se ha relacionado a la presencia de la picocianobacteria *Synechococcus* (Zwirgmaier et al., 2008), considerada como un género con una amplia diversidad fisiológica (Sohm et al., 2016). Su presencia en la zona costera adyacente a la BTS ha sido determinada en varios estudios (Linacre et al., 2010; 2017) pero en este trabajo su mayor contribución se observó durante toda la época cálida. Es importante considerar que las cianobacterias se ven más favorecidas en condiciones de bajas concentraciones de nutrientes que otros grupos de mayor tamaño (nano y microplancton), debido a su mayor razón superficie/volumen (Bouman et al. 2011). Por otro lado, el pigmento biomarcador de las cianobacteras, la Zeaxantina, es un pigmento fotoprotector que puede aumentar su concentración como respuesta a mayores incidencias luminosas como las observadas en verano (Bricaud et al., 2004). Esto puede llevar a que los resultados del CHEMTAX sobrestimen la abundancia de este grupo. Se recomienda que estudios futuros incorporen otras metodologías como citometría de flujo para comprobar si el aumento en cianobacterias en verano sea reflejo de un aumento en abundancia celular o debido a fotoaclimatación.

Finalmente, a pesar de que la abundancia de dinoflagelados fue baja, esta tiende a aumentar también en la época cálida, lo que no coincide con lo observado al microscopio. Los datos de microscopio mostraron que los dinoflagelados contribuyeron con casi el 80% a la comunidad fitoplanctónica, en especial en la época fría (Fig. 7). La diferencia entre los datos de microscopio y el CHEMTAX se puede deber a que no todos los dinoflagelados presentan el pigmento peridinina, diagnóstico de este género en el CHEMTAX (Tabla 4). De hecho, la peridinina contribuyó solamente con el 7% (época cálida) y el 11% (época fría) al total de los carotenoides (Tabla 8). Cabe mencionar que los dinoflagelados pueden presentar diferentes hábitos alimenticios, es decir, además de autotrófos (realizan fotosíntesis), pueden ser mixotróficos y/o heterotróficos, por lo cual no siempre contienen peridinina. Esto les confiere una mayor adaptación y supervivencia respecto a otros grupos (Throndsen, 1978; Smayda, 2002; Taylor et al., 2008), pero al mismo tiempo esto representa que su detección no es posible mediante la quimiotaxonomía. Esto ha sido observado por otros trabajos como el de Swan et al. (2016), quienes reportaron bajas concentraciones de peridinina, pero abundancias significativas de este grupo. Por otro lado,

el microscopio permitió determinar que el género dominante en la BTS para ambas épocas fue *Prorocentrum* sp. Este género ya ha sido reportado en estudios anteriores en la BTS (Sánchez-Bravo, 2016; Jiménez, 2017), pero en particular Sánchez-Bravo (2016) reportó abundancias más altas en verano. Sin embargo, las mayores abundancias reportadas en el presente estudio fueron mayores durante la época fría. En BSQ este género se le ha asociado a la influencia de las aguas de surgencia tanto en invierno como verano (Gracia-Escobar et al., 2015), lo que puede sugerir que este género presenta mayor afinidad a aguas más frías.

Por otro lado, el análisis al microscopio permitió observar que a pesar de que la contribución de las diatomeas no cambió entre las épocas (Fig. 13, Tabla 11 y 12), si ocurrió un cambio en el género dominante. Durante la época fría *Chaetoceros* sp. dominó mientras en la época cálida fue *Hemiaulus* sp. Asimismo, se observó una asociación significativa entre las diatomeas y la Chla, lo que indica que los aumentos en biomasa dentro de la bahía están en gran parte determinados por las diatomeas, en particular en la época fría cuando la correlación entre estas variables fue más significativa ($R_{\text{Spearman}}=0.87$). Esta tendencia ha sido observada en otras regiones oceánicas (Fureya et al. 2003; Descy et al., 2009) y costeras (Schlüter et al., 2000) y se han explicado como resultado de un mayor crecimiento de las diatomeas en ambientes costeros más ricos en nutrientes. En particular, *Chaetoceros* sp. presenta grandes estrategias de aclimatación, de manera que pueden ser tolerantes a las fluctuaciones ambientales, por lo que se les considera como un género de amplia distribución, tanto en el océano como en las zonas costeras (Reynolds, 1997; Nogueira et al., 2000; Valencia-Villa, 2013). Este género ha sido reportado como dominante para la BTS en estudios anteriores (Cabrales-Talavera, 2010; Jiménez, 2017) y en otros sistemas costeros cercanos como Bahía San Quintín (Gracia-Escobar et al., 2015). Por otro lado, se tiene registro del género *Hemiaulus* sp. en la BTS solamente en el trabajo de Sánchez-Bravo (2016), aunque no se le consideró como dominante.

Las clorofitas no fueron observadas al microscopio, lo que puede indicar que las especies presentes son de tamaño inferior a 5 μm . Entretanto, se ha observado que las clorofitas son más abundantes en condiciones mesotróficas y de aguas bien mezcladas (Bouman et al., 2011), lo que podría explicar el dominio de este grupo durante la época fría.

Por otra parte, un grupo muy abundante entre las primnesiofitas son los cocolitofóridos, grupo que pertenece al nanoplancton y es caracterizado por presentar en sus exoesqueletos placas de carbonato de calcio denominadas cocolitos (Billard e Inouye,

2004), lo que los hace de fácil visualización e identificación al microscopio. En nuestro estudio no observamos cocolitofóridos, por lo que los resultados del CHEMTAX pueden estar relacionados a la presencia de otras primnesiofitas que no pudieron ser observadas al microscopio debido a su tamaño. Por otro lado, durante la época cálida se observó la especie *Phaeocystis globosa* (Anexo 7). Esta especie tiene la peculiaridad de presentar dos formas de vida en su ciclo (Lancelot et al., 1987; Schoemann et al., 2004). La primera es considerada como etapa móvil, cuando llegan a medir de 3 a 10 μm , presentan dos flagelos y un apéndice denominado haptonema. La segunda consiste en la formación de colonias (desprovistas de flagelos) envueltas en una matriz mucilaginosa de polisacáridos, considerada como fase no móvil (Lancelot et al., 1987; Schoemann et al., 2004). En este estudio, *P. globosa* fue observada en su fase no móvil, considerada como una estrategia eficiente que surge como respuesta a la reducción en las concentraciones de nutrientes (Schoeman et al., 2004). En las zonas costeras es común encontrar florecimientos de *P. globosa* asociadas a descargas de aguas continentales, de zonas urbanizadas y de actividad industrial las cuales proporcionan nutrientes al medio y una vez agotados, dan condiciones para la proliferación de este género (Lancelot et al., 1987). En este estudio, *P. globosa* fue observada en las estaciones costeras y oceánicas, lo que varió con el crucero. En particular su distribución más amplia se observó en octubre del 2018. Entretanto, no se observó que estuviera relacionada en particular con las zonas más cercanas a la costa. Esto puede indicar que su presencia en la bahía se debe más a la época del año que a aportes urbanos.

7.3 Propiedades bio-ópticas

Las propiedades ópticas inherentes de los cuerpos costeros, definidas como los coeficientes de absorción y esparcimiento de la luz por el agua y sus componentes (disueltos y particulados), tienen una estrecha relación con cambios en la calidad del agua (IOCCG, 2017) y en la comunidad de fitoplancton (Betancur-Turizo et al., 2018). Así mismo, tanto el color como la transparencia del agua están directamente relacionados con la contribución diferenciada de los componentes del agua a esas propiedades (IOCCG, 2008). En particular, el estudio de la variabilidad espacial y temporal de la absorción de luz se ha recomendado para apoyar estudios de ecología de cuerpos costeros (Melin y Vantrepotte, 2015).

En la BTS se observó que los componentes que dominan la absorción de luz son el CDOM y el fitoplancton (Tabla 13), a pesar de que se observan diferencias espaciales y temporales en la contribución diferenciada de cada uno (Fig. 14, 15 y 16). En la época fría el fitoplancton tuvo la mayor contribución a la absorción de luz en la mayoría de las estaciones (Tabla 14, Fig. 14), con excepción de la estación B4 donde el CDOM fue más importante y en la B5 donde estos componentes se igualaron. Por otro lado, en la época cálida (Tabla 15, Fig. 15) el componente de mayor contribución fue el CDOM en todas las estaciones. El CDOM es considerado como un subproducto de la degradación de las células fitoplanctónicas, lisis por virus, excreción de metabolitos por bacterias y el zooplancton o la actividad microbiana (Nelson et al., 1992; Nelson et al., 2002). Sin embargo, en las zonas costeras también se le asocia a la descarga de ríos, re-supensión de materiales del fondo u otro aporte continental (Nelson y Siegel, 1997). Muchos estudios han encontrado una correlación positiva entre el CDOM y la concentración de Chla, cuando este proviene de la degradación del mismo fitoplancton (Coble, 2007). Entretanto, en nuestro estudio esto no se observó (datos no se muestran), lo que indica que el CDOM proviene de otras fuentes. Como ya se ha mencionado, la BTS tiene influencia de la descarga del arroyo El Gallo, la desembocadura del Estero de Punta Banda, la descarga de los desechos urbanizados de la ciudad de Ensenada, los productos derivados de la actividad portuaria, así como de la actividad acuícola. En particular la estación B4 se encuentra cercana a la desembocadura del estero y también a la zona de actividad acuícola, la cual se basa principalmente en el cultivo de moluscos bivalvos (Carta Estatal Pesquera, 2015-2019). Estos organismos son filtradores, es decir aprovechan de la columna de agua la materia orgánica particulada (fitoplancton) y lo devuelven al medio de manera disuelta (Owen, 1974). Por otro lado, el estero de Punta Banda es una zona somera rica en materia orgánica, donde las mareas promueven el intercambio entre su interior y las aguas adyacentes, lo que probablemente aporta materia orgánica disuelta. Estos dos factores pueden explicar por qué este componente fue más importante en las estaciones B4 y B5 durante la época fría. Por otro lado, su mayor contribución en todas las estaciones en la época cálida puede deberse a las mayores temperaturas en este periodo del año que promueven un incremento en los procesos de degradación de la materia orgánica. A pesar de esto, dentro de cada época, estos porcentajes pueden llegar a cambiar. Por ejemplo, en febrero 2018 (época fría, Fig. 16a), el CDOM contribuyó con entre el 40 y 60% a la absorción de luz. Por otro lado, en agosto 2018 (época cálida, Fig. 16b) el fitoplancton fue quien presentó la mayor contribución a la absorción de luz. Esto es indicación de la fuerte variabilidad temporal que se puede

encontrar dentro de la BTS en términos de absorción de luz. Esto concuerda con varios trabajos (Babin et al., 2003; Riddick et al., 2015; Betancur-Turizo et al., 2018; entre otros), que han reportado que aguas interiores (bahías, estuarios y zonas costeras más dinámicas) presentan una mayor variabilidad en la contribución de la absorción de luz en comparación a aguas oceánicas, lo que les confiere una mayor complejidad para la evaluación de los procesos biogeoquímicos involucrados.

A pesar del alto porcentaje de contribución a la absorción de luz por el CDOM, los intervalos de variación de $a_{\text{CDOM}}(440)$ fueron más bajos que los reportados para otras zonas costeras someras. Por ejemplo, Riddick et al. (2015) reportan valores promedios de $a_{\text{CDOM}}(440)=0.58 \text{ m}^{-1}$ en un lago en Europa. Por otro lado, Betancur-Turizo et al. (2018) reportaron valores promedios de 0.14 m^{-1} (máximos de 0.39 m^{-1}) en las aguas muy turbias del Alto Golfo de California. En este trabajo, el valor más alto observado fue de 0.25 m^{-1} (est. B2, época fría, Tabla 14). En términos de magnitud, la variabilidad temporal de este parámetro tampoco fue significativa en la mayoría de las estaciones (Tabla 16). En este aspecto, se debe considerar que el CDOM es altamente reactivo a la luz, lo que implica que es destruido rápidamente cuando expuesto a la luz solar (Coble, 2007). Eso ha llevado a que algunos trabajos (Del Vecchio y Blough, 2004), reporten que $a_{\text{CDOM}}(440)$ disminuye durante los meses de verano debido al aumento de radiación solar y a lo que se denomina como “blanqueamiento” o “photobleaching”. Nuestros datos indican que en la mayoría de la bahía $a_{\text{CDOM}}(440)$ no cambia significativamente durante el periodo cálido (Tabla 16), incluso este aumenta en la estación B1. Esto sugiere que existe un aporte de CDOM constante en la época cálida que puede estar compensando su foto destrucción y mantiene los valores constantes o incluso más elevados en comparación a la época fría. Por ejemplo, Sánchez-Bravo (2016) menciona que durante verano y otoño (época cálida), la columna de agua en la bahía presenta condiciones de estratificación provocando bajos regímenes de mezcla, lo que promueve una mayor cantidad de materiales disueltos y en suspensión en la capa superficial.

Aquí es importante mencionar que en la estación B2 se observó el valor más alto de $a_{\text{CDOM}}(440)$ y también las abundancias más altas del dinoflagelado *Prorocentrum* sp. (Tabla 14 y 15, Anexo 3 y 6). Como observado anteriormente, algunos dinoflagelados, y en particular *Prorocentrum* sp, son organismos mixotróficos, y pueden alimentarse de compuestos orgánicos e inorgánicos (Corréa-Almada et al., 2017). La elevada

concentración de CDOM en esta estación sugiere que este pudo ser un factor que favoreció la alta abundancia de estos organismos.

Finalmente, es importante destacar diferencias en la forma del espectro $a_{CDOM}(\lambda)$ (Fig. 24), ya que esta se puede relacionar a su origen o incluso a la presencia de exudados característicos de algunos organismos (vegetales o animales) (Coble, 2007). Por ejemplo, algunos crustáceos como copépodos o eufásidos, producen CDOM cuya absorción máxima se encuentra entre los 250 y 275 nm. Algunos radiolarios formadores de colonias producen CDOM con absorción máxima alrededor de los 300 nm. Finalmente, máximos entre 300 y 360 nm han sido asociados a aminoácidos tipo microsporina (MAAs), los cuales en particular son producidos por algunos dinoflagelados formadores de florecimientos algales nocivos (como *L. polyedrum*) y cianobacterias como *Trichodesmium*. En general, el aumento de la absorción de luz en esas longitudes de onda se ha observado en una gran variedad de organismos marinos los cuales producen MAAs como forma de protección contra la radiación UV (Shick y Dunlap, 2002). En este estudio se observó un aumento en absorción (Fig. 24) particularmente acentuado alrededor de los 300 nm en las estaciones B1 y B2, especialmente en agosto y octubre del 2018. En el área de estudio, existen comunidades de pastos marinos y macroalgas en zonas aledañas a la Isla de Todos Santos (Aguilar-Rosas et al., 2010) que podrían ser fuentes de CDOM. Por ejemplo, el estudio de Hullatt et al. (2009) muestra que los exudados de ciertas macroalgas aportan CDOM, lo que se deriva en un incremento en la absorción alrededor de los 300 nm. Se recomienda que estudios futuros se realicen para evaluar el papel del CDOM dentro de la bahía, incluyendo su origen y papel ecológico.

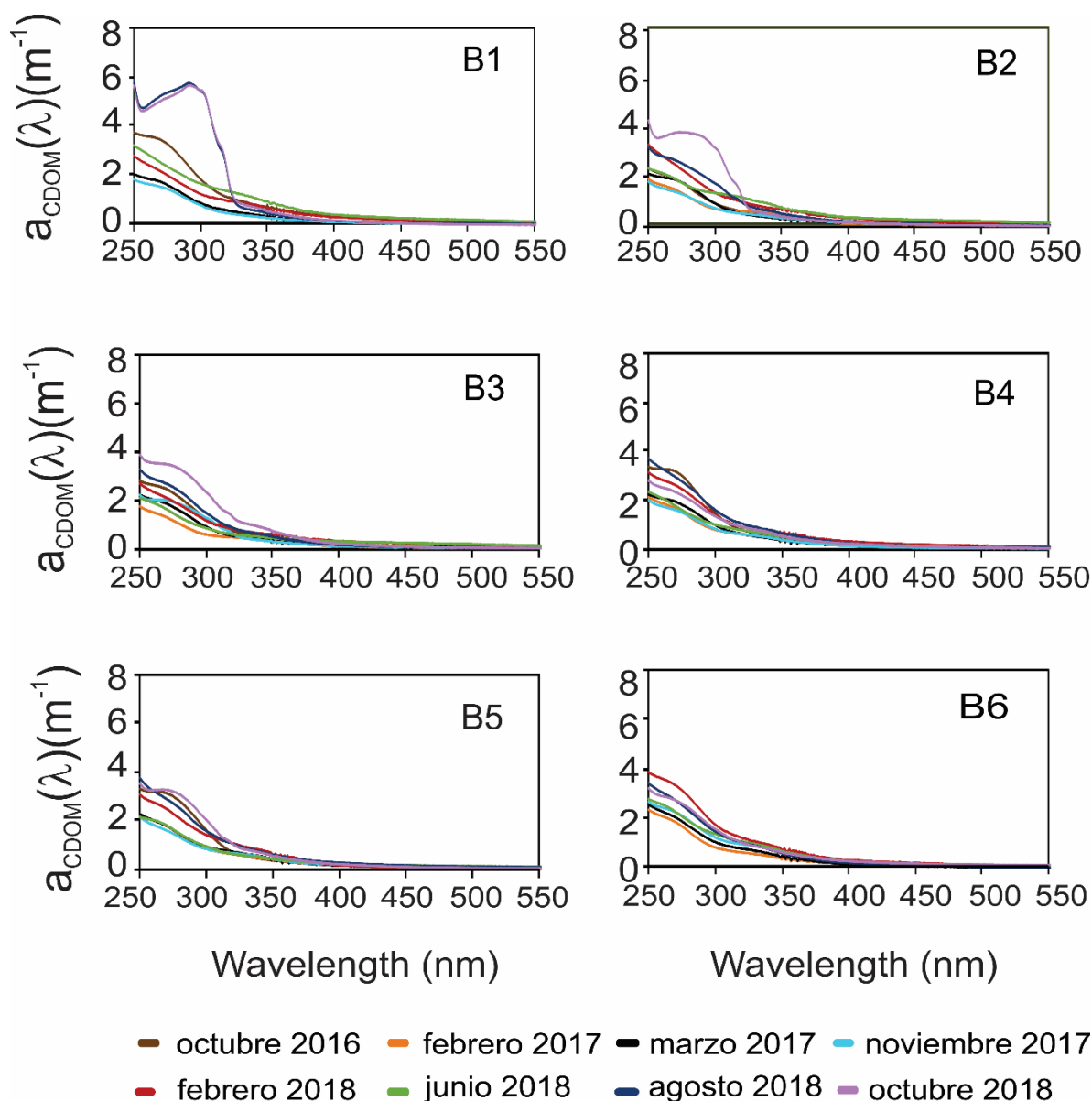


Figura 24. Espectro de absorción del $a_{CDOM}(\lambda)$, para las 6 estaciones de muestreo. Los colores representan los 8 cruceros, café para octubre del 2016, anaranjado febrero del 2017, negro marzo del 2017, azul noviembre 2017, rojo febrero 2018, verde junio 2018, azul oscuro agosto 2018 y rosa octubre 2018.

El $a_{ph}(\lambda)$ se refiere a la absorción de luz por la comunidad fitoplanctónica y varía de forma directa con su biomasa, la cual suele ser representada por la concentración de Chla (Bricaud et al., 2004). En este estudio, $a_{ph}(440)$ y $a_{ph}(675)$ se relacionaron según una función de potencia con la Chla (Fig. 17), a pesar de que esta relación fue más significativa a los 675 nm ($R^2=61\%$) que a los 440 nm ($R^2=50\%$). Esto se ha observado en otros trabajos

(Babin et al., 2003; Bricaud et al., 2004; Barocio-León et al., 2006) y está relacionado al hecho de que a los 440 nm no solamente la Chla participa de la absorción de luz, si no que muchos pigmentos carotenoides también contribuyen, mientras que a los 675 nm solo la Chla contribuye a la absorción de luz (ver Fig. 1). Se comparó el ajuste observado en nuestros datos con los de Barocio-León et al. (2006), quien trabajó con datos de la región oceánica adyacente a la bahía, y se observó que nuestros datos presentan mayor dispersión en ambas longitudes de onda. Un punto importante que considerar es que los datos presentados en este estudio son de origen costero, donde los procesos de mezcla y circulación de corrientes tienen una gran influencia en la conformación de la comunidad fitoplanctónica, en el tamaño celular predominante, en procesos de fotoaclimatación y por ende en la concentración de Chla y pigmentos accesorios, lo que conlleva a una mayor dispersión en estas relaciones (Babin et al., 2003; Bastidas-Salamanca et al., 2014).

Por otra parte, la absorción del detrito $a_d(\lambda)$ o materia orgánica particulada no algal hace referencia a partículas orgánicas no vivas y minerales inorgánicos (IOCCG, 2006). Es común que el espectro de absorción del detrito sea similar al del CDOM, ambos formando una exponencial cerca del UV, lo que sugiere que estos componentes pueden compartir algunos cromóforos (Babin et al., 2003). En nuestro estudio la contribución del $a_d(440)$ fue mayor durante la época fría respecto a la época cálida (Tabla 13). De manera espacial, durante la época fría, la mayor contribución del detrito se observó en la región costera en especial en las estaciones B4 y B5 (Tabla 14, Figura 14). A pesar de que durante la época cálida la contribución de este coeficiente fue menor, también se observó que en la región costera se presentaron las altas contribuciones en especial en la estación B5 (Tabla 15, Fig. 15). Como ya fue mencionado anteriormente, la estación B5 se encuentra cerca de la boca del Estero de Punta Banda, el cual tiene una estrecha comunicación con la BTS y transporta sedimento mediante el flujo y reflujo de la marea (Ortiz et al., 2003; Sánchez et al., 2009). Esto sugiere que la región costera recibe materiales de diferente origen lo cual podrían favorecer a la absorción de la luz por el detrito. En relación con esto, se observó que el K_d o el coeficiente de atenuación difusa presenta mucha variabilidad en las zonas costeras debido a la alta productividad biológica, insumos de material derivado de los continentes y la re-suspensión de sedimento (Lorenzoni et al., 2015). Para la BTS se observaron los valores de K_d más altos en las estaciones B5 y B6 en ambas épocas, lo que era esperado considerando que son las estaciones más someras. De manera general este coeficiente presentó diferencias significativas entre épocas (Tabla 18), con valores más

bajos durante la época cálida para la región costera. Esto era esperado debido a que durante la época fría se reportaron las mayores contribuciones de $a_d(440)$.

7.4 Características bio-ópticas de un florecimiento de dinoflagelado

Durante nuestro periodo de estudio, la BTS fue afectada por un florecimiento del dinoflagelado *Lingulodinium polyedrum*, en junio de 2017, caracterizado por abundancias de hasta 145,300 cel/L y Chla de hasta 11 mg/m³ (Tabla 19). Esta especie produce florecimientos frecuentemente en la BTS, especialmente durante los meses de verano (Peña-Manjarrez et al., 2008). Se desconocen los procesos que determinan el florecimiento de los dinoflagelados en esta área, pero se ha propuesto que la estratificación de la columna de agua y la disponibilidad de nutrientes favorecen el aumento en la abundancia de células vegetativas o la germinación de quistes bentónicos (Orellana-Cepeda et al., 1993; Gregorio y Pieper, 2000; Peña-Manjarrez et al., 2001; Ruíz-de-la-Torre et al., 2013).

En este estudio todas las estaciones estuvieron dominadas por *L. polyedrum*, a pesar de que la mayor biomasa y abundancia de células se observó en las estaciones costeras, pero en particular en la B6 (Fig. 19 y 20a). Estudios anteriores (Ruiz de la Torre et al., 2003) indican que el desarrollo y mantenimiento de florecimientos en el área cercana al puerto de Ensenada, y donde se ubica la estación B6, es producto de una acumulación mecánica del material fitoplanctónico favorecido por vientos y por la circulación predominante en esa época del año (ver Fig. 25b), i.e., el remolino ciclónico centrado en esa área. Por otro lado, la determinación de la composición de pigmentos y del uso del CHEMTAX, permitió evaluar la comunidad fitoplanctónica asociada a *L. polyedrum* que no fue observada al microscopio. Estos grupos fueron las clorofitas, primnesiofitas y cianobacterias. Pero en particular en la estación B6, el CHEMTAX permitió inferir la presencia de primnesiofitas y crisofitas (Fig. 20c); esta última solamente detectada en esa estación.

Durante este muestreo, la absorción de luz fue dominada por el fitoplancton (Fig. 21), como era de esperarse dada las altas concentraciones de Chla observadas, con una menor contribución por parte del CDOM. En particular en la estación B6 $a_{ph}(440)$ alcanzó el valor de 3.66 m⁻¹, valor muy superior a los observados en los otros periodos de muestreo, donde el máximo llegó a 0.25 m⁻¹ (Fig. 25). A pesar de que los coeficientes de absorción $a_{CDOM}(440)$

y $a_d(440)$ durante el florecimiento también presentaron valores superiores a la mediana de los otros cruceros (Fig. 25), estos no fueron tan altos como $a_{ph}(440)$. En particular $a_d(440)$ se elevó mucho más que $a_{CDOM}(440)$.

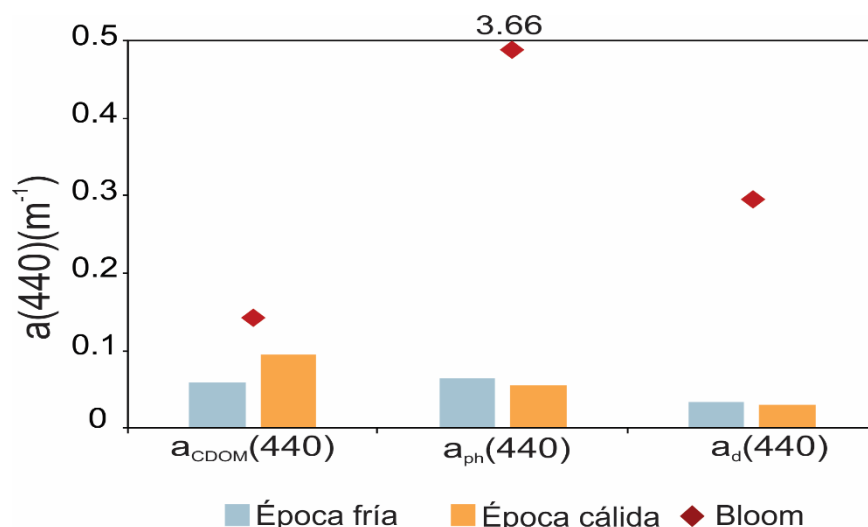


Figura 25. Grafica comparativa entre la mediana de los datos de los demás cruceros (datos en Tabla 14) y aquellos determinados en la estación B6, afectada por el florecimiento de *L. polyedrum*. Para $a_{ph}(440)$ se indica el valor fuera de escala.

La forma espectral de $a_{ph}(\lambda)$ fue también evaluada (Fig. 22a,b) y el espectro de la estación B6 también se observa diferente a los demás. En especial este presenta un incremento a los 460 nm tan acentuado como el de los 440 nm. A los 460 nm se presenta el máximo de absorción por la peridininina (Barocio-León et al., 2008), pigmento cuya concentración en esta estación fue incluso superior al de la Chla (Tabla 20). De hecho, se observó una correlación altamente significativa entre la concentración de peridininina y $a_{ph}(440)$ (Fig. 26a). Por otro lado, a pesar de que los valores de $a_{CDOM}(440)$ durante este crucero fueron inferiores a los observados en los demás periodos de muestreo, se observó también una correlación altamente significativa con la Chla (Fig. 26b), lo que no había sucedido en los cruceros anteriores. Esto significa que durante el florecimiento el CDOM es resultante de procesos relacionados al fitoplancton, como la producción de exudados y/o relacionado a la acción de pastoreadores o bacterias sobre las mismas células (Coble, 2007).

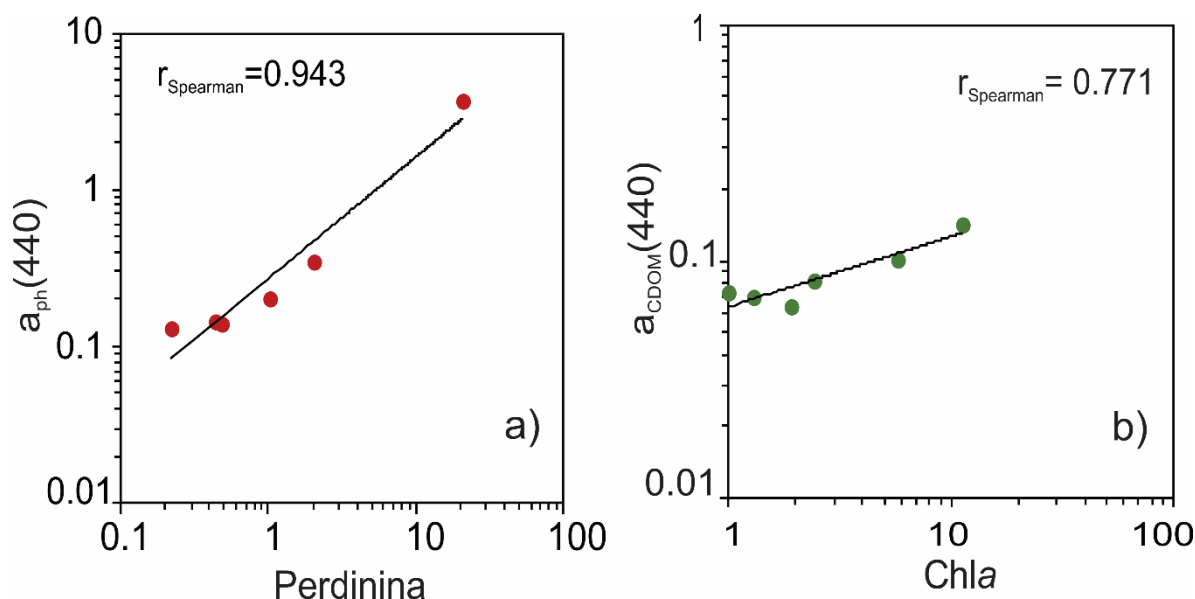


Figura 26. Correlación de Spearman donde a) se refiere a la asociación entre la Peridinin y el coeficiente de absorción $a_{ph}(440)$ y el b) a la concentración de Chla y el coeficiente de $a_{CDOM}(440)$.

Barocio-León et al. (2008) evaluaron las características bio-ópticas de un florecimiento de quistes de *L. polyedrum* en la costa de Baja California. El espectro de absorción en este evento fue muy similar al observado en este trabajo, a pesar de que las concentraciones de peridinin fueron de apenas 2.6 mg/m³. A pesar de la diferencia en concentración de peridinin, la forma espectral parece ser característica de florecimientos de esta especie.

Por otro lado, $a_d(\lambda)$ y $a_{CDOM}(\lambda)$ también presentaron una forma espectral peculiar y diferente al de las demás estaciones (y épocas) (Fig. 22c, d). En $a_d(\lambda)$ se observó un incremento inusual alrededor de los 412 nm. En $a_{CDOM}(\lambda)$ este se presenta a los 300 nm, con un valor que supera los 12 m⁻¹. Como fue mencionado anteriormente, este máximo ha sido relacionado a la absorción de luz por las MAAs, lo que es particularmente frecuente en florecimientos de esta especie (Conmy et al., 2004; Coble, 2007). Estas características representan un elemento potencial para el monitoreo de la zona costera, donde estos florecimientos pueden causar daños importantes a la economía y salud de la población. De hecho, los trabajos de Aguilar-Maldonado et al. (2018; 2019) proponen la incorporación de los coeficientes $a_{ph}(443)$, $a_d(443)$ y $a_{CDOM}(443)$ en un índice (IOP) que permitiría la evaluación de florecimientos algales nocivos utilizando sensores remotos. Entretanto, los datos de este trabajo muestran que, en particular en florecimientos de *L. polyedrum*, sería importante también incorporar la medición de $a_d(412)$ y $a_{CDOM}(300)$.

8.Conclusiones

Este trabajo es el primero en evaluar la variabilidad espacial y temporal de las propiedades bio-ópticas de la Bahía de Todos Santos. Esto permitió realizar la caracterización de tres regiones, las cuales presentan diferencias entre si y para las diferentes épocas. En particular la región costera mostró ser la más variable y afectada por procesos relacionados a la cercanía de la costa (influencia del Puerto de Ensenada, estero de Punta Banda, y zona de cultivo de moluscos bivalvos). Esto indica que las actividades económicas que se realizan en este sitio, como la acuicultura y actividad portuaria, son un factor que determina las características bio-ópticas de esta región.

Este trabajo es el primero en evaluar la composición de la comunidad fitoplanctónica empleando quimiotaxonomía (CHEMTAX) en conjunto con el microscopio. Nuestros resultados muestran la importancia del uso de ambas aunque se recomienda seguir realizando comparaciones entre ambas aproximaciones en estudios futuros para mejorar la precisión del CHEMTAX. En particular, nuestros resultados mostraron que el CHEMTAX no fue eficiente para la detección de los dinoflagelados, por lo que será necesario incorporar ajustes al programa para poder evaluar de forma más eficiente a este grupo.

Por otra parte, los FAN's de *L. polyedrum* dentro de la bahía son un fenómeno que se ha observado con mayor frecuencia en el área de estudio en los últimos años, en especial en la región costera. Las particularidades de la forma espectral de los componentes asociados al florecimiento representan un elemento potencial para la detección por sensores remotos de esta especie. Por esta razón, se recomienda dar continuidad al monitoreo de las propiedades bio-ópticas de la BTS, para conocer y generar información que ayuden a entender el funcionamiento espacial y temporal de la misma y como potencial insumo para la prevención de los riesgos asociados a florecimientos algales nocivos y/o otro tipo de eventos que alteran la calidad del agua.

9.Referencias

- Aguilar-Maldonado, J.A., Santamaría-del-Ángel, E., González-Silvera, A. y Sebastián-Frasquet, M.T. (2019). Detection of Phytoplankton Temporal Anomalies Based on Satellite Inherent Optical Properties: A Tool for Monitoring Phytoplankton Blooms. *Sensors*, 19(3339), 1-13. doi:10.3390/s19153339
- Aguilar-Maldonado, J.A., Santamaría-del-Ángel, E., González-Silvera, A., Cervantes-Rosas, O.D., López, L.M., Guitiérrez-Magness, A., Cerdeira-Estrada, S. y Sebastián-Frasquet, M.T. (2018). Identification of Phytoplankton Blooms under the Index of Inherent Optical Properties (IOP Index) in Optically Complex Waters. *Water*, 10(129), 1-17. doi:10.3390/w10020129
- Aguilar-Rosas, R., Aguilar-Rosas, L.E., Ávila-Serrano, G.E., González-Yajimovich, O., and Becerril-Bodadilla, F. (2010). Submareal macroalgae of the Todos Santos Bay, Baja California, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 81, 601-618.
- Aiken, J. M. (1992). Remote sensing of ocean biology in relation to global climate change. *J. Phycol.*, 28, 579-590.
- Anderson, R. B. (1996). A comparison of HPLC pigment signatures and electron microscopic observations for oligotrophic water os the North Atlantic and Pacific Oceans. *Deep-Sea Res. II*, 517-537.
- Araujo, V.M.L., Borges, M.C.R., Tavano, V.M., Eiras, G.C.A. y O'Neil, B.M. (2016). Contrasting patterns of phytoplankton pigments and chemotaxonomic groups along 30°S in the subtropical South Atlantic Ocean. *Deep-Sea Research I*.
- Aurin, D.A., Dierssen, H.M., Twardowski, M. y Roesler, C. (2010). Optical complexity in Long Island Sound and implications for coastal ocean color remote sensing. *Journal of Geophysical Research*, 115.
- Aznar, J. M. (2002). Recursos mundiales, la guía global de planeta. España: Ecoespaña.
- Babin, M. S. (2003). Variations in the light absorption coefficients of phytoplankton, nonalgal particles, and dissolved organic matter in coastal waters around Europe. *Journal of Geophysical research*, 108(C7).
- Babin, M., Therriault, C.J., Legendre L. y Condal, A. (1993). Variations in the specific absorption coefficient for natural phytoplankton assemblages: Impact on estimates of primary production. *Limnology and Oceanography*, 38(1), 154-177.
- Barocio-León, O.A., Millán-Núñez, R., Santamaría-del-Ángel, E., González-Silvera, A. y Charles C. Trees. (2006). Spatial Variability of Phytoplankton Absorption Coefficients and Pigments off Baja California during November 2002. *Journal of Oceanography*, 62, 873-885.
- Barocio-León, O.A., Millán-Núñez, R., Santamaría-del-Ángel, E., González-Silvera, A., Trees, C.C. y Orellana-Cepeda, E. (2008). Bio-optical characteristics of a phytoplankton bloom event off Baja California Península (30-31°N). *Continental Shelf Research*, 28, 672-681. doi:10.1016/j.csr.2007.12.002

- Bastidas-Salamanca, M., González-Silvera, A., Millán-Núñez, R., Santamaría-del-Ángel, E. y Frouin R. (2014). Bio-Optical Characteristics of the Northern Gulf of California during June 2008. *International Journal of Oceanography*. doi:10.1155/2014/384618
- Betancourt, A. (2017). Regionalización dinámica de la Bahía de Todos Santos con base en imágenes satelitales. Ensenada, B.C., México: Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California.
- Betancur-Turizo, S.T., González-Silvera, A., Santamaría-del-Ángel, E., Jing. T. y Frouin R. (2018). Evaluation of Semi-Analytical Algorithms of Retrieve Particulate and Dissolved Absorption Coefficients in Gulf of California Optically Complex Waters. *Remote Sensing*, 10(1443). doi:10.3390/rs10091443
- Billard, C. e Inouye, I. (2004). What is new in coccolithophore biology? En Y. J. Thierstein H.R., Coccolithophores. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Blondeau-Patissier, D., Gower, J.F.R., Dekker, A.G., pHINN, s.r., Brando, V.E. (2014). A review of ocean color remote sensing methods and statistical techniques for the detection, mapping and analysis of phytoplankton blooms in coastal and open oceans. *Prog. Oceanogr.*, 123, 123-144.
- Blough, N.V., Del Vecchio, R. (2002). Chromophoric DOM in the Coastal Environment, In "Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter" (D.A. Hansell and C.A. Carlson, Eds.):. San Diego: Academic Press.
- Bouman, H.A., Ulloa, O., Barlow, R. et al. (2011). Water-column stratification governs the community structure of subtropical marine picophytoplankton. *Environ Microbiol Rep*, 3, 473-482. doi:10.1111/j.1758-2229.2011.00241.x
- Brewin, R.J., Sathyendranath, S., Müller, D., Brockmann, C., Deschamps, P.Y., Devred, E. y Groom, S. (2015). The Ocean Colour Climate Change Initiative: III. A round-robin comparison on in-water bio-optical algorithms. *Remote Sensing of Environment*, 162, 271-294. doi:10.1016/j.rse.2013.09.016
- Bricaud, A. B. (1995). Variability in the chlorophyll-specific absorption coefficients of natural phytoplankton: analysis and parameterization. *Journal of Geophysical Research*, 100(7), 13321-13332.
- Bricaud, A. H. (2004). Natural variability of phytoplankton absorption in oceanic waters: Influence of the size structure of algal populations. *Journal of Geophysical Research*(109), 1-12.
- Bustamante, L.C., Carmenate, F.M., Margarita, I.g. y Loza. A.S. (2016). Phytoplankton communities as indicators of the trophic status of Playas del Este, La Habana, Cuba. *Rev. Mar. Cost*, 8(2), 75-92.
- Cabral-Talavera, G. (2010). Distribución espacial y temporal de diatomeas del género *Pseudo-nitzschia* sp y concentración de ácido domoico en la región de la Bahía de Todos Santos, B.C., MÉXICO. Ensenada Baja California: Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.

- Calva-Chávez, M. (2014). Variación estacional y sinóptica de la trampa de surgencia en la Bahía de Todos Santos, B.C. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, 62.
- Carta Estatal Pesquera de Baja California 2000-2015. (junio de 2019). Obtenido de <http://www.sepescabc.gob.mx/x/salaDePrensa/difusionAcciones/docs/CartaEstatalPesquera.pdf>
- Cervantes, M. (2007). Conceptos fundamentales sobre ecosistemas acuáticos y su estado en México. En Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México (pág. 297). México: INE-SEMARNAT.
- Cervantes-Audelo, I. (2013). Análisis de circulación y dispersión en la Bahía de Todos Santos, Baja California. Tesis de Maestría en Ecología Marina. Puerto Ángel, Oaxaca: Universidad del Mar.
- Chávez, F. (1996). Forcing and biological impact of onset of the 1992 El Niño in central California. *Geophysical. Res. Letters*(54 (1-4)), 265-268.
- Coble, P.G. (2007). Marine Optical Biogeochemistry: The Chemistry of Ocean Color. *Chem. Rev.*, 107, 402-418.
- Conmy, R. N., Coble, P.G., Chen, R.F., y Bernard-Gardner, G. (2004). Optical properties of Colored Dissolved Organic Matter in the northern Gulf o México. *Mar. Chem.*, 89, 127-144. doi:10.1016/j.marchem.2004.02.010.
- Corréa-Almada, E.V., Fernandes-de-Carvalho, W. y Mattos-Nascimento,S. (2017). Investigation of phagotrophy in natural assemblages of the benthic dinoflagellates *Ostreopsis*, *Prorocentrum* and *Coolia*. *Brazilian Journal of Oceanography*, 65(3), 392-399. doi:org/10.1590/S1679-87592017140706503
- Cruz-Colin, M.E. y Cupul-Magaña, L.A. (1997). Erosion and sediment supply of sea cliffs of Todos Santos Bay, Baja California, From 1970 to 1991. *Ciencias Marinas*, 23(3), 303-315.
- D'Sa, E., Miller, R.L. y Del Castillo, C. (2006). Bio-optical properties and ocean color algorithms for coastal waters influenced by the Mississippi River during a cold front. *Applied Optics*, 45, 7410-7428.
- Del Vecchio, R. y Blough N.V. (2004). On the Origin of the Optical Properties of Humic Substances. *Environmental Science y Technology*, 38, 3885-3891. doi:10.1021/es049912h
- Descy, J.P., Sarmiento, H., Higgins, W.H. (2009). Variability of phytoplankton pigment ratios across aquatic environments. *Eur. J. Phycol*, 44(3), 319-330.
- Duysens, L.M.N. (1956). The flattening of absorption spectrum of suspensions, as compared to that of solutions, *Biochim. Biophys. Acta.*, 19, 1-12.
- Eker-Develi, E. B.-D.-L. (2008). Phytoplankton class determination by microscopic and HPLC-CHEMTAX analyses in the southern Baltic Sea. *Marine Ecology Prog Ser.*, 359, 69-87.

- Falkowski, P.G. y J.A. Raven. (1997). Aquatic photosynthesis. Blackwell Science. Massachusetts, USA.
- Flombaum P, Gallegos J.L., Gordillo R.A., Rincon J, Zabala L.L., Jiao N. et al., (2013). Present and future global distributions of the marine Cyanobacteria *Prochlorococcus* and *Synechococcus*. *Pro. Natl. Acad. Sci USA*, 10, 9824-9829.
- Fureya, K. Hayashi, M., Yubashita, Y y Ishikawa, A. (2003). Phytoplankton dynamics in the East China Sea in spring and summer as revealed by HPLC-derived pigment signatures. *Deep-Sea Res. II*, 50, 367-387.
- García-Mendoza, E., Quijano-Scheggia, S.I., Olivos-Ortiz., A. y Núñez-Vázquez, E.J. (2016). Florecimientos Algaes Nocivos en México. Ensenada, México: CICESE.
- García-Mendoza, E.D., Rivas, Olivos-Ortiz, A., Almazan-Becerril, A., Castañeda-Vega, C y Peña-Manjarrez. (2009). A toxic *Pseudo-nitzschia* bloom in Todos Santos Bay, Northwestern Baja California, México. *ELSEVIER*, 8, 493-503. doi:10.1016/j.hal.2008.10.002
- Gieskes, W.W.C. y Kraay, G.W. (1983). Dominance of *Cryptophyceae* during the phytoplankton spring bloom in the central North Sea detected by HPLC analysis of pigments. *Mar. Biol*, 75, 179-85.
- Giffard-Mena, I. (1997). Variación de fitoplancton con relación a las aguas residuales en la Bahía de Todos Santos, B.C. Tesis de Licenciatura. Ensenada B.C.: Universidad Autónoma de Baja California,.
- Gracia-Escobar, M.F., Millán-Núñez, R., González-Silvera, A., Santamaría-del-Ángel, E., Camacho-Ibar, V.F. y Trees, C.C. (2014). Changes in the Abundance and Composition of Phytoplankton in a Coastal Lagoon during Neap-Spring Tide Conditions. *Open Journal of Marine Science*, 80-100.
- Gracia-Escobar, M.F., Millán-Núñez, R., Valenzuela-Espinoza, E., González-Silvera, A. y Santamaría-del-Ángel, E. (2015). Changes in the composition and Abundance of Phytoplankton in a Coastal Lagoon of Baja California, México, During 2011. *Scientific Research*, 5, 169-181.
- Graham, L.E. y Wilcoxon, L.W. (2000). Green algae. En *Algae*.
- Gregorio, E.D. y Pieper, R.E. (2000). Investigations of red tides along the Southern California Coast. *Bull. Southern California Acad. Sci.*, 99, 147-160.
- Gutiérrez-Galindo, E.A., Muñoz-Barbosa, A., Mandujano-Velasco, M.R., Daesselé, L.W., Orozco-Borbón, M.V. (2010). Distribution and enrichment of silver and cadmium in coastal sediments from Bahía Todos Santos, Baja California, México. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 85, 391-396.
- Harris, G.P. (1986). Phytoplankton ecology, structure, function and fluctuation. Londres: Chapman and Hall.

- Hoepffner, N. y Sathyendranath, S. (1992). Bio-optical characteristics of oastal waters: Absorption spectra of phytoplankton and pigment distribution in the western North Atlantic. *Limnology and Oceanography*, 37, 1660-1679.
- Holmes, W.R. (1970). The secchi disk in turbid coastal waters. *Limnol. Oceanogr.*, 15, 688-694.
- Hulatt, C.J., Thomas, D.N., Bowers, D.G., Norman, L. Y Zhang, C. (2009). Exudation and decomposition of chromophoric dissolved organic matter (CDOM) from some temperate macroalgae. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 84, 147-153.
- IOCCG. (2000). Remote Sensing of Ocean Colour in Coastal, and the Other Optically-Complex, Waters. En N. 3. Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group, Sathyendranath, S. Canada: IOCCG. Dartmouth.
- IOCCG. (2008). Why Ocean Colour? The Socetal Benefits of Ocean-Colour Techonology. En T. H. Platt, *Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group. No. 7*. IOCCG, Darmouth, Canda.
- Jeffrey S.W., Simon W. Wright y Manuel Zapata. (2011). Microalgal classes and their signature pigments. En L. C. Roy S., *Phytoplankton pigments: (págs. 3-77)*. United Kingdom: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS.
- Jeffrey, S. M. (1997). *Phytoplankton pigments in Oceanography: Guidelines and Modern Metods*. Paris: UNESCO Publishing.
- Ji, Z. (2008). *Hydrodynamics and Water Wauality: Modeling Rivers, Lakes, and Estuaries*. John Wiley and Sons.
- Jiménez, H. (2017). Cambios en la estructura de la comunidad fitoplanctónica de la Bahía de Todos Santos durante la época de agosto 2014 a diciembre de 2015. Ensenada, Baja California, México: Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas.
- Jiménez, R. (1983). Cocolitoforidos identificados en el fitoplancton de aguas ecuatorianas. *Acta Oceanografía del Pacífico. INOCAR*, 2, 402-441.
- Jones, R.I. (2000). Mixotrophy in planktonic protists: an overview. *Freshw Biol.*, 45, 219-226.
- Keith, D.J., Yoder, J.A., y Freeman, S.A. (2002). Spatial and Temporal Distribution of Coloured Dissolved Organic Matter (CDOM) in Narragansett Bay, Rhode Island: Implications for Phytoplankton in Coastal Waters. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 55, 705-717. doi:10.1006/ecss.2001.092
- Kirk, J. (1994). *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kirk, J. (2011). *Light and phptosynthesis in aquatic ecosystems*. Cambrige University Press.
- Kishino, M., Takahashi, N., Okami, N. y Ichimura, S. (1985). Estimation of the spectral absorption coefficients of phytoplankton in the sea. *Bulletin of Marine Science*, 37, 634-642.

- Kristiansen, J., y Skaloud P. (2016). Chrysophyta. En J. e. Archibald, Handbook of the Protists (págs. 2-31). Springer International Publishing Switzerland. doi:10.1007/978-3-319-32669-6_43-1
- Lancelot, C., Billen, Gilles, Sournia, A., Welsse, T., Colijn, F., Veldhuis, J.W.M., Davies, A. y Wassman P. (1987). Phaeocystis Blooms and Nutrient Enrichment in the Continental Coastal Zone of the North Sea. *AMBIO*, 16(1), 38-46.
- Lara-Lara et al. (2008). Los ecosistemas marinos. En CONABIO, Capital natural de México, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. (págs. 135-159). México: CONABIO.
- Larrañaga-Fú, M. (2013). Variabilidad de la circulación superficial de la Bahía de Todos Santos, Baja California, México. Ensenada, Baja California: Tesis de Licenciatura en Oceanología, Facultad de Ciencias Marinas, UABC.
- Lepistö L. y Holopainen, A. (2003). Occurrence of Cryptophyceae and katablepharids in boreal lakes. *Hydrobiologia*, 502, 307-310.
- Lewin, R.A., Krienitz, L., Goericke, R., Takeda, H. y Hepperle, D. (2000). Picocystis salinarum gen. et. sp. nov (Chlorophyta) a new picoplanktonic green alga. *Phycologia*, 39, 560-65.
- Li, Zhiyong. (2009). Advances in Marine, Symbiotic Cyanobacteria. En P. M. Gault, Handbook on Cyanobacteria (págs. 464-472). New York: Nova Science Publishers Inc.
- Lorenzoni, L., Toro-Farmer, G., Varela, R., Guzman, G., Rojas, J., Montess, E. y Muller-Karger, F. (2015). Characterization of phytoplankton variability in the Cariaco Basin using spectral absorption, taxonomic and pigment data. *Remote Sensing of Environment*, 167, 259-268.
- Lynn, R. a. (1987). The California Current System: The seasonal variability of its physical characteristics. *Journal of Geophysical Research*, Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ciencias Marinas(92), 12,947-12,966.
- Mackey, M. H. (1998). Algal class abundances in the western equatorial Pacific: Estimation from HPLC measurements of chloroplast pigments using CHEMTAX. *Deep Sea Res*, 1(45), 1141-1468.
- Mackey, M.D., Mackey, D.J., Higgins, W.H. y Wright, S.W. (5 de December de 1996). CHEMTAX - a program for estimating class abundances from chemical markers: application to HPLC measurements of phytoplankton. *Marine Ecology Progress Series*, 144, 265-283.
- Malone, T. (1980). Algal size. En M. I., The physiological ecology of phytoplankton (págs. 433-464). Oxford, UK.: Blackwell Scientific Publications.
- Mangurran, A.E. (2004). Measuring Biological Diversity. Blackwell Science Ltd, a Blackwell Publishing company.

- Marchant, H.J. y Thomsen, H.A. (1994). Haptophytes in polar waters. . En y. L. Green J.C., In The Haptophyte algae (págs. 209-28). Oxfor: Clarendon Press.
- Margalef, R. (1993). Teoría de los sistemas ecológicos. Universitat de Barcelona.
- Mateos-Farfan, E. (2010). Modelación de la circulación costera estacional en la región norte de Baja California y sur de California y de la Bahía de Todos Santos. Tesis de Doctorado. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.
- Mateos, E., Marione, S.G. y Parés-Sierra, A. (2009). Towards the numerical simulation of the summer circulation in Todos Santos Bay, Ensenada, B.C., México. *Ocean Modelling*(27), 107-112.
- Medina-Elizalde, J., García-Mendóza, E., Ruíz-de la Torre, M.C., Peña-Manjarrez, J.L., Sánchez-Bravo, Y.A. y Paredes-Banda, P.E. (2016). Florecimientos algales nocivos y su impacto ecológico, económico y a la salud pública en la costa occidental de la península de Baja California. En E. Q.-S.-O.-V. García-Mendoza, *Florecimientos algales nocivos en México* (pág. 438). Ensenada, Baja California, México: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada CICESE.
- Mélin, F. y Vantrepotte, V. (2015). How optically diverse is the coastal ocean? *Remote Sensing of Environment*, 160, 235-251. doi:org/10.1016/j.rse.2015.01.023
- Millán-Núñez, R. Á.-B. (1996). Relationship between Chlorophyll maximum and surface Chlorophyll concentration in the California Current System. *CalCOFI Report*, Vol. 37, 241-250.
- Millán-Núñez, R., Álvarez-Borrego, S. y Trees. C.C. (1991). Modeling the vertical distribution of chlorophyll in the California Current System. *Journal of Geophysical Research*, 102(4), 8587-8595.
- Mitchell, B. (2000). Algorithms for determining the absorption coefficient of aquatic particulates using the quantitative filter techniques (QFT). *SPIE- Ocean Optics*(1302), 137-148.
- Mitchell et al., (2000). Determination of spectral absorption coefficients of particles, dissolved material and phytoplankton for discrete water samples. En *Ocean Optics Protocols for Satellite Ocean Color Sensor Validation*, Revision 2, G.S. Fargion y Mueller, J.L, (págs. 125-153). NASA/TM-2000-209966.
- Mitchell, B.G. y Kiefer, D.A. (1988). Chlorophyll a specific absorption and fluorescence excitation spectra for light-limited phytoplankton. *Deep-Sea Res.*, 35, 639-663.
- Morel, A, y Bricaud, A. (1981). Theoretical results concerning light absorption in a discrete medium, and application to specific absorption of phytoplankton. *Deep-Sea Research*, 28, 1375-1393.
- Morel, A. a. (2001). Bio-optical properties of oceanic waters: a reappraisal. *J. Geophys. Res*, 106, 7163-7180.
- Morel, A., y Prieur L. (1977). Analysis of variations in ocean color. *Limnology and oceanography*, 22, 709-722.

- Mosqueda-Razo, C. (1995). Variabilidad anual de la estructura del fitoplancton de red en el área norte de la Bahía de Todos Santos, Baja California (1990). Tesis de Licenciatura. Ensenada, B.C.: Universidad Autónoma de Baja California.
- Moss, B. (2009). Ecology of fresh waters: man and medium, past to future. Oxford: Blackwell Science.
- Muñoz-Barbosa, A., Gutiérrez-Galindo, E.A, Daesslé, L.W., Orozco-Borbón, M.V., y Segovia-Zavala, J.A. (2012). Relationship between metal enrichment and a biological adverse effects index in sediments from Todos Santos Bay, northwest coast of Baja California, México. *Marine Pollution Bulletin*, 64, 405-409.
- Nelson, N. P. (1993). Phytoplankton Light absorption and the package effect in California coastal waters. *Marine Ecology Progress Series*, 94, 217-227.
- Nelson, N.B., Siegel, D.A. y Michaels, A.F. (1998). Seasonal dynamics of colored dissolved material in the Sargasso Sea. *Deep Sea Res*, 45, 931-947.
- Nelson, N.B. y Siegel, D.A. (2002). Chromophoric DOM in the Open Ocean. En D. y. Hansell, *Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter*, D.A. (págs. 547-578). San Diego, CA.: Academic Press.
- Noriega, E., Ibañez, F., y Figueiras, F.G. (2000). Effect of meteorological and hydrographic disturbances on the microplankton community structure in the Ría de VIGO (NW Spain). *Marine Ecology Progress Series*, 203, 23-45.
- Orellana-Cepeda, E., Morales-Zamorano, L.A. y Castro-Castro, N. (1993). A conceptual model of coastal red tides off Baja California. VI Int. C. Toxic Mar. Phytoplankton, 152.
- Ortiz, M., Huerta-Tamayo, L. e Hinojosa, A. (2003). Transporte de sedimento por atracción de marea en el estero de Punta Banda, Baja California, México. *GEOS*, 23(3), 283-294.
- Ortiz-Pérez, M.A. y De la Lanza Espino, G. (2006). Diferenciación del espacio costero de México: un inventario regional, Serie Textos universitario. Texto de Geografía, UNAM, 138.
- Owen, G. (1974). Feeding and digestion in the bivalvia. *Advances in Comparative Physiology and Biochemistry*, 5, 1-35.
- Peña-Manjarrez, J.L. (2008). Ecología de Dinoflagelados Productores de Florecimientos en la Bahía de Todos Santos, Baja California. Tesis de Doctorado en ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.
- Peña-Manjarrez, J.L., Gaxiola-Castro, G. y Helenes-Escamilla, J. (2009). Environmental factors influencing the variability of *Lingulodinium polyedrum* and *Scrippsiella trochoidea* (Dinophyceae) cyst production. *Ciencias Marinas*, 35(1), 1-14.
- Peña-Manjarrez, J.L., Gaxiola-Castro, G., Helenes-Escamilla, J. y Orellana-Cepeda, E. (2001). Cysts of *Lingulodinium polyedrum*, RED TIDE PRODUCING ORGANISM IN THE TODOS SANTOS BAY (WINTER-SPRING, 2000). *Ciencias Marinas*, 27(4), 543-558.

- Peña-Manjarrez, J.L., Helenes, J., Gaxiola-Castro, G. y Orellana-Cepeda, E. (2005). Dinoflagellate cysts and bloom events at Todos Santos Bay, Baja California, México, 1999-2000. *Continental Shelf Research*, 1375-1393.
- Pérez-Brunius, P., López, M. y Pineda, J.P. (2006). Hydrographic conditions near the coast of northwestern Baja California: 1997-2004. *Continental Shelf Research*, 26(8), 885-901.
- Poole, H.H. y Atkins, W.R.G. (1929). Photo-electric measurement of submarine illumination throughout the year. *J. Mar. Biol. Ass*, 16, 297:324.
- Portillo-López, A., Lizárraga-Partida, M.L. (1997). Detección de *Vibrio cholerae* O1 en diferentes hábitats de la Bahía de Todos Santos, Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 23, 435-477.
- Raymond, J. (1980). Plankton and productivity in the oceans. *Phytoplankton* (2° Edición ed.). Pergamon Press.
- Reynolds, C.S. (1997). Vegetation processes in the pelagic: a model for ecosystem theory. En O. Kinne, *Excellence in ecology*. Ecology Institute (pág. 371). Oldendorf/Luhe.
- Riegman, R., Kuipers, B.R., Noordeloos, A.A.M. y Witte, H.J. (1993). Size- differential control of phytoplankton and the structure of plankton communities, *Neth. J. Sea Res.*, 31(3), 255-265. doi:10.1016/0077-7579(93)90026-O.
- Rodríguez, J. (2005). La estructura de tamaños dle plancton: un tópico interdiscipinar y Margalefiano. *Revista científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente, Ecosistemas.*, 14, 40-51.
- Rousseaux, CS., Gregg W.W. (2015). Recent decadal trends in global phytoplankton composition. *Global Biogeochem Cycles*, 29, 1674-1688.
- Ruiz-de la Torre, M.C., Maske, H., Ochoca, J., Almeda-Jauregui, CO. (2013). Maintenance of Coastal Surface Blooms by Surface Temepature Stratification and Wind Drift. *PLos ONE*, 8(4). doi:10.1371/journal.pone.0058958
- Saduño-Wilhelmy, S.A., Morales-Yañez, A., Vargas-Flores, J.A. (1984). Contaminación Fecal en la Baía de Ensenada, Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 10(1), 7-17.
- Sánchez, A. C.-Ó. (2009). Comparación de modelos de transporte de sedimento en la Bahía de Todos Santos, Baja California, México. *Boletín de la sociedad geológica mexicana*, 61(1), 13-24.
- Sánchez, A., Carriquiry, J., Barrera J. y López-Ortíz, B.E. (2009). Comparación de modelos de transporte de sedimento en la Bahía de Todos Santos, Baja California, México. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, 61(1), 13-24.
- Sánchez-Bravo, Y.A. (2016). Distribución espacio-temporal del dinoflagelado *Dynophysis fortii*, productor de toxinas lipofilicas en la Bahía de Todos Santos, Baja California, México. Ensenada, Baja California, México: Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.

- Santamaría-del-Angel, E., Millán-Núñez, R., y Cajal-Medrano, Ramón. (1992). Effect of turbulent kinetic energy on the spatial distribution of chlorophyll a in a small coastal lagoon. *Ciencias Marinas*, 18(4), 1-16.
- Santamaria-del-Ángel, E., Soto, I., Millán-Nuñez, R., González-Silvera, A., Wolny, J., Cerdeira-Estrada, S., Cajal-Medrano, R., Muller-Karger, F., Cannizzaro, J., Padilla-Rosas, Y., et al. (2015). Experiences and Recommendations for Environmental Monitoring Programs. En *Environmental Science, Engineering and Technology*; Sebastia-Frasquet, M-t. (pág. 32). Hauppauge, NY. USA.: Nova Science Plublishers.
- Santander, C. (2012). Variación temporal de los pigmentos y caracterísitcas Bio-ópticas del fitoplancton en la estación Anteres Baja California. Ensenada, Baja California, México: Universidad Autónoma de Baja California.
- Sathyendranath, S., Lazzara, L. y Prieur, L. (1987). Variations in the spectral values of specific absorption of phytoplankton. *Limnology and Oceanographyc*, 32(2), 403-415.
- Scanlan, D.J., Ostrawski, M., Mazard, S., Dufresne, A., Garczarek, L., Hess, W. R., Post, A. F., Hagermann, M., Paulsen, I., y Partensky, F. (2009). Ecological genomics of marine picocyanobacteria. *Mircoiol. Mol. Biol. Rev*, 73, 249-299.
- Schoemann, V., Becquevort, S., Stefels, J., Rousseau, V., y Lancelot, C. (2005). Phaeocystis blooms in the global ocean and their controlling mechanisms: a review. *Jornal of Sea Research*, 53, 43-66.
- Schlüter, L. M. (2000). The use of phytoplankton pigments for identifying and quatifying phytoplankton groups in coastal areas: testing the influence of light and nutrients on pigment/chlorophyll "a" ratios. *Marine Ecology Progress Ser.*(192), 49-63.
- Segovia-Zvala, J.A., Rivera-duarte, I., Del Valle-Villorín, F.J. (1988). Efectos de desechos orgánicos en las zonas adyacentes a los efluenets en bahía de Todos Santos: Nutrientes. *Ciencias Marinas*, 14(1), 81-94.
- Semina, H.J. (1972). The size of phytoplankton cells in the Pacific Ocean. *International Revue Gesamten Hidrobiologie*, 57, 177-205.
- Sieburth, J. M. (1978). Pelagic ecosystem structure: Heterotrophic compartments of plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnology and Oceanography*, 23(6), 1978, 1256-1263.
- Simon, N.A. Cras L., Foulon E. y Lemée R. (2009). Diversity and evolution of marine phytoplankton. *C.R. Biologies*, 332, 159-170.
- Siokou-Frangou, I., Christaki, U., Mazzochi, M. G., Ribera, D´Alcala, M., Vaque, D. y Zingone, A.,. (2009). Plankton in the open Mediterranean Sea. A review , *Biogeosciences D.*, 6(6), 11187-11293. doi:10.5194/bgd-6-111872009.
- Smayda, T. (2002). Adaptive ecology, growth strategies and the global bloom expansion of dinoflagellates. *J. Oceanogr*, 58, 281-294.

- Sohm, J.A., Ahlgreen, N.A., Thomson, Z.J., Williams C., Moffet, J.W., Saito, M.A., Webb, E.A. y Rocap, G. (2016). Co-occurring *Synechococcus* ecotypes occupy four major oceanic regimes defined by temperature, macronutrients and iron. *THE ISME Journal*, 10, 333-345. doi:10.1038/ismej.2015.115
- Solié, M., Krstulović, N., Kuspilić, G., Nincević Gladan Z., Bojanic N., Sestanovic, S., Santic, D. y Ordulj, M. (2010). Changes in microbial food web structure in response to changed environmental trophic status: A case study of the Vranjic Basin (Adriatic Sea),. *Mar. Environ, Res*, 70(2), 239-249. doi:10.1016/j.marenvres.2010.05.007.
- Sosik, H. a. (1995). Light absorption by phytoplankton, photosynthetic pigments and detritus in the California Current System. *Deep-Sea Research I*, 42(10), 1717-1748.
- Swan, C.M., Vogt, M., Gruber, N. y Laufkoetter, C. (2016). A global seasonal surface ocean climatology of phytoplankton types based on CHEMTAX analysis of HPLC pigments. *Deep-Sea Research I*, 109, 137-156.
- Taylor, F.J.R., Hoopenrath, M. y Saldarriaga, J.F. (2008). Dinoflagellate diversity and distribution. *Biodiversity and Conservation*, 17(2), 407-418.
- Tester, P. G. (1995). Evaluating phytoplankton dynamics in the Newport River estuary (North Carolina, USA) by HPLC-derived pigment profiles. *Marine Ecology Progress(24)*, 237-245.
- Thomas, C. (2012). The HPLC Method, Chapter 6. En *The Fifth SeaWiFs HPLC Analysis Round-Robin Experiment (SeaHARRE-5)* (págs. 63-72).
- Thronsdon, J. (1978). Preservation and storage. En S. A., *Phytoplankton Manual . Monographs on Oceanographic Methodology* (Vol. 6, págs. 69-74). Paris: UNESCO.
- Uitz, J., Claustre, H., Morel, A., y Stanford, B.H. (2006). Vertical distribution of phytoplankton communities in open ocean: An assessment based on surface chlorophyll. *Journal of Geophysical Research*, 111.
- Utermöhl, H. (1958). Vervollkmmung der quentitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitteilungen der International Vereinigung fur heorestische und Angewandted Limnologie*, 1-38.
- Valencia-Villa, J. (2013). Variación estacional del fitoplancton en uan estación nerítica del Canal de Mallorca (Mediterráneo Occidental): 2000-2001. Tesis de Doctorado. Universidad de Coruña.
- Van Heukelem, L. y Thomas, C. (2001). Computer assited high-performance liquid chromatography method development with applications to the isolation and analysis of phytoplankton pigments. *J. Chromatogr. A*.
- Veldhuis, M.J.W. y Gijsbert, W.K. (2003). Phytoplankton in the subtropical Atlantic Ocean: towards a better assessment of bioass and composition. *Deep-Sea Research I*, 51, 507-530.
- Villafañe, V. y. (1995). Métodos de microscopia para la cuantificación del fitoplancton, *Manual de Métodos Ficologicos*, Alveal, K., Ferreiro, M.E., Oliviera, E.C. y Ferreiro, M.A. Chile.

- Wilcoxon, F., Katii, S.K. y Wilcoxon, R. (1963). Critical Values and Probability Levels for the Wilcoxon Rank Sum Test and the Wilcoxon Signed Rank Test. Pearl, River, N.Y.: American Cyanamid Co and Florida State University.
- Wilcoxon-F. (1945). Individual Comparisons by Ranking Methods. Biometrics Bulletin, 1, 80-83.
- Wilcoxon-F., Katti, S.K. y Wilcoxon R. (1970). Critical Values and Probability Levels for the Wilcoxon Rank Sum Test and the Wilcoxon Signed Rank Test. En H. a. Owen, Selected Tables in Mathematical Statistic (págs. 171-259). Chicago: Makham Publishing Co.
- Wright, S. W. (1996). Analysis of phytoplankton of the Australian sector of the Southern Ocean: composition of microscopy and size frequency data with interpretations of pigment HPLC data using the CHEMTAX matrix factorisation program. Marine Ecology Progress(144), 285-298.
- Wright, S.W., Ishikawa, A., Marchant, H.J., Davidson, A.T., Van del Enden, R., Nash, G.V. (2009). Composition and significance of picophytoplankton in Antarctic waters. Polar Biol., 797-808.
- Zamora-Castro, J., Paniagua-Michel, J. y Lezman-Cervantes, C. (2007). A novel approach for bioremediation of a coastal marine wastewater affluent based don artificial microbial mats. Marine biotechnology, 10, 181-189.
- Zwirgmaier, K., Jardillier, I., Ostrowski, M., Mazard, S., Garczarek, I., Vault, D., Not, F., Massana, R., Ulloa, O., and Scalan, D.J. (2008). Global phylogeography of marine Synechococcus and Prochlorococcus reveals a distinct partitioning of lineages among oceanic biomes. Environ Microbiol, 10, 147-161.

Anexos

Anexo 1. Matrices de salida del CHEMTAX generada para cada muestreo

	oct-16									
	Chlb	19'But	19'Hex	Allo	Fuco	Peri	Zea	Lut	Chlc ₃	Chla
Diatomeas	0	0	0	0	0.389	0	0	0	0	0.611
Dinoflagelados	0	0	0	0	0	0.507	0	0	0	0.493
Primnesiofitas	0	0.029	0.269	0	0.126	0	0	0	0.115	0.461
Clorofitas	0.298	0	0	0	0	0	0.019	0.019	0	0.664
Criptofitas	0	0	0	0.332	0	0	0	0	0	0.668
Cianobacterias	0	0	0	0	0	0	0.387	0	0	0.613
Crisofitas	0	0.127	0	0	0	0	0	0	0.626	0.247
	feb-17									
	Chlb	19'But	19'Hex	Allo	Fuco	Peri	Zea	Lut	Chlc ₃	Chla
Diatomeas	0	0	0	0	0.405	0	0	0	0	0.595
Dinoflagelados	0	0	0	0	0	0.500	0	0	0	0.500
Primnesiofitas	0	0.028	0.257	0	0.120	0	0	0	0.132	0.463
Clorofitas	0.305	0	0	0	0	0	0.024	0.020	0	0.652
Criptofitas	0	0	0	0.351	0	0	0	0	0	0.649
Cianobacterias	0	0	0	0	0	0	0.363	0	0	0.637
Crisofitas	0	0.196	0	0	0	0	0	0	0.445	0.358
	mar-17									
	Chlb	19'But	19'Hex	Allo	Fuco	Peri	Zea	Lut	Chlc ₃	Chla
Diatomeas	0	0	0	0	0.407	0	0	0	0	0.593
Dinoflagelados	0	0	0	0	0	0.516	0	0	0	0.484
Primnesiofitas	0	0.027	0.270	0	0.107	0	0	0	0.141	0.455
Clorofitas	0.299	0	0	0	0	0	0.018	0.018	0	0.665

“Caracterización Bio-óptica de la Bahía de Todos Santos (Ensenada, Baja California)”.

Criptofitas	0	0	0	0.302	0	0	0	0	0	0.698
Cianobacterias	0	0	0	0	0	0	0.375	0	0	0.625
Crisofitas	0	0.191	0	0	0	0	0	0	0.457	0.352
nov-17										
	Chlb	19'But	19'Hex	Allo	Fuco	Peri	Zea	Lut	Chlc ₃	Chla
Diatomeas	0	0	0	0	0.390	0	0	0	0	0.610
Dinoflagelados	0	0	0	0	0	0.511	0	0	0	0.489
Primnesiofitas	0	0.026	0.267	0	0.122	0	0	0	0.136	0.450
Clorofitas	0.296	0	0	0	0	0	0.017	0.018	0	0.669
Criptofitas	0	0	0	0.290	0	0	0	0	0	0.710
Cianobacterias	0	0	0	0	0	0	0.409	0	0	0.591
Crisofitas	0	0.164	0	0	0	0	0	0	0.457	0.379
feb-18										
	Chlb	19'But	19'Hex	Allo	Fuco	Peri	Zea	Lut	Chlc ₃	Chla
Diatomeas	0	0	0	0	0.416	0	0	0	0	0.584
Dinoflagelados	0	0	0	0	0	0.544	0	0	0	0.456
Primnesiofitas	0	0.029	0.282	0	0.132	0	0	0	0.121	0.436
Clorofitas	0.279	0	0	0	0	0	0.019	0.021	0	0.681
Criptofitas	0	0	0	0.261	0	0	0	0	0	0.739
Cianobacterias	0	0	0	0	0	0	0.383	0	0	0.617
Crisofitas	0	0.091	0	0	0	0	0	0	0.614	0.295
jun-18										
	Chlb	19'But	19'Hex	Allo	Fuco	Peri	Zea	Lut	Chlc ₃	Chla
Diatomeas	0	0	0	0	0.406	0	0	0	0	0.594
Dinoflagelados	0	0	0	0	0	0.506	0	0	0	0.494
Primnesiofitas	0	0.028	0.288	0	0.109	0	0	0	0.138	0.436
Clorofitas	0.281	0	0	0	0	0	0.018	0.021	0	0.680
Criptofitas	0	0	0	0.330	0	0	0	0	0	0.670

“Caracterización Bio-óptica de la Bahía de Todos Santos (Ensenada, Baja California)”.

Cianobacterias	0	0	0	0	0	0	0.390	0	0	0.610
Crisofitas	0	0.132	0	0	0	0	0	0	0.544	0.323
	ago-18									
	Chlb	19' But	19' Hex	Allo	Fuco	Peri	Zea	Lut	Chlc ₃	Chla
Diatomeas	0	0	0	0	0.391	0	0	0	0	0.609
Dinoflagelados	0	0	0	0	0	0.520	0	0	0	0.480
Primnesiofitas	0	0.028	0.294	0	0.123	0	0	0	0.114	0.441
Clorofitas	0.282	0	0	0	0	0	0.019	0.020	0	0.680
Criptofitas	0	0	0	0.314	0	0	0	0	0	0.686
Cianobacterias	0	0	0	0	0	0	0.368	0	0	0.632
Crisofitas	0	0.067	0	0	0	0	0	0	0.727	0.205
	oct-18									
	Chlb	19' But	19' Hex	Allo	Fuco	Peri	Zea	Lut	Chlc ₃	Chla
Diatomeas	0	0	0	0	0.391	0	0	0	0	0.609
Dinoflagelados	0	0	0	0	0	0.510	0	0	0	0.490
Primnesiofitas	0	0.028	0.271	0	0.125	0	0	0	0.115	0.461
Clorofitas	0.293	0	0	0	0	0	0.017	0.018	0	0.671
Criptofitas	0	0	0	0.327	0	0	0	0	0	0.673
Cianobacterias	0	0	0	0	0	0	0.384	0	0	0.616
Crisofitas	0	0.099	0	0	0	0	0	0	0.643	0.259

Anexo 2. Abundancias de los géneros de diatomeas observadas durante la época fría.

Grupo/Género	febrero 2017						marzo 2017						noviembre 2017						febrero 2018							
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B1	B2 10	B3 10	B4	B5	B6	B1	B2	B3	B4	B5	B6	cel/L 20	%
Diatomeas													60		10			160							270	1
Amphora sp.					40													120			80	380	440	40	1,110	2
Asteromphalus sp.				40			10													60					60	0
Bacteriastrium sp.																										
Biddulphia sp.																				60						
Chaetoceros sp.			60	120									300			960	320	2,000	600	1,780	1,020	3,280	4,760	2,300	17,500	36
Coscinodiscus sp.										120			140	80	60	320	640	720			40	80		40	2,240	5
Cylindrotheca sp.														10		20	160	600	300	100	140	600	160	280	2,370	5
Cymbella sp.																						20			20	0
Eucampia sp.													20		10					80	80		160		350	1
Fragilaria sp.																							40		40	0
Guinardia sp.													40	10	100	80	440	1,120		180	200	400	480	480	3,530	7
Hemiaulus sp.															60	20			470	40		360			950	2
Leptocylindrus sp.																			320	120		480	560		1,480	3
Licmophora sp.																20					10	40			70	0
Lyrella sp.													60												60	0
Melossira sp.																	240	360	280			280	20	140	1,320	3
Navicula							20							240	140	100	360	200	140	70	120	120	40		1,550	3
Nitzschia sp.														80	140		160	160	80			200			820	2
Odontella sp.																	60	500	30						590	1
Plantoniella sp.																		20							20	0
Pleurosigma sp.																				10			40	20	70	0
Pseudonitzschia sp.							20							100	140	800	320	1,640	400	540	660	2,040	2,120	1,480	10,260	21
Rhabdonema sp.																			20						20	0
Rhizosolenia sp.							30						20	110	100	280	80	40	80	100	120	20	20		1,000	2
Skeletonema sp.													80				300								380	1
Surirella sp.																							200		200	0
Thalassionema sp.						40									120			460	380	300	240	280	20		1,840	4
Thalassiosira sp.													40												40	0
Total	0	0	60	160	40	40	70	10	0	120	0	0	760	640	890	2,600	2,540	7,820	3,260	3,740	2,770	8,540	8,560	5,560	48,180	100

Anexo 3. Abundancias de los géneros de dinoflagelados observados durante la época fría.

Grupo/Genero	febrero 2017						marzo 2017						noviembre 2017						febrero 2018							
Dinoflagelados	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B1	B2	B3	B4	B5	B6	cel/L	%
Alexandrium sp.																		20							20	0
Ceratoperidinium sp.																						40			40	0
Coccolodinium sp.		160		600	160	200																			1,120	2
Dinophysis sp.		160					120			100	80						160	60	20				120	20	840	2
Gymnodinium sp.							10			80								1,780						180	2,050	4
Gyrodinium sp.					40												40				20	340	40		480	1
Lingulodinium sp.		40					120			1,480	1,880						120	460	180	30	30	320	80	60	4,800	9
Noctiluca sp.										40										10	100	1,400	500		2,050	4
Ornithocercus sp.																							40		40	0
Oxytoxum sp.		120	260	120	40													120			20			80	760	1
Podolampas sp.																						60			60	0
Prorocentrum sp.		5,200	4,720	560	240	360	1,040	1,040		1,000	980		40	40	400	60	3,400	80	10	30	360	600	840	21,000	38	
Protoperidinium sp.		160	60	160	120	80	10			360	40		20	20	440	440				60	10	200	280	400	2,860	5
Scrippsiella sp.		480	100	40	320	400																			1,340	2
Tripos sp.		6,360	4,800	240	80	240	280			1,220	1,080			20		80	1,940	150	120	10	520	140	260	17,540	32	
Total	0	12,680	9,940	1,720	1,000	1,280	1,580	1,040	0	4,280	0	4060	0	60	80	840	900	7,780	430	230	220	3,240	1,760	1,880	55,000	

Anexo 4. Abundancias de los géneros de crisofitas y nanoflagelados observados durante la época fría.

Grupo/Género	febrero 2017						marzo 2017						noviembre 2017						febrero 2018						cel/L	%
	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B1	B2	B3	B4	B5	B6		
Crisofitas																										
<i>Dictyocha sp.</i>				40			40							20		20	40	120	20	40	60	720	680	800	2,600	100
Total	0	0	0	40	0	0	40	0	0	0	0	0	0	20	0	20	40	120	20	40	60	720	680	800	2,600	100
Nanoflagelados																										
<i>Chattonella sp.</i>						80																			80	24
<i>Fibrocapsa sp.</i>													80												80	24
<i>Euglena sp.</i>																	80								80	24
<i>Teleaulax sp.</i>																		40							40	12
<i>Phaeocystis sp.</i>						40								10											50	15
Total	0	0	0	0	0	120	0	0	0	0	0	0	80	10	0	0	80	40	0	0	0	0	0	0	330	100

Anexo 5. Abundancias de los géneros de diatomeas observados durante la época cálida.

Grupo/Género	junio 2018						agosto 2018						octubre 2018							
Diatomeas	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B1	B2	B3	B4	B5	B6	cel/L	%
<i>Asteromphalus</i> sp.	20						40					20	30		20				130	0
<i>Bacteriastrium</i> sp.			100	20	40		20		20	40					20				260	0
<i>Chaetoceros</i> sp.	240	420	660	1,580	2,460	400	140	80	20	280	520	160	230	240	30		300	1,080	8,840	6
<i>Coscinodiscus</i> sp.	10	60		60	40									20					190	0
<i>Diploneis</i> sp.		20																	20	0
<i>Eucampia</i> sp.			140							40									180	0
<i>Guinardia</i> sp.	300	640	60	140	160	560	1,420	800	1,300	480	1,280	2,280	840	1,700	780	480	780	1,280	15,280	10
<i>Hemiaulus</i> sp.			120	180			3,000	1,020	2,380	600	1,680	3,160	2,750	3,680	3,470	32,520	17,340	3,480	75,380	51
<i>Leptocylindrus</i> sp.		280	440	400	640	460	300				200								2,720	2
<i>Licmophora</i> sp.				80	20														100	0
<i>Melossira</i> sp.												160							160	0
<i>Navicula</i>	310	1,280	140	440	360	200	380	200	60		40	20	40	40	50	120	60	60	3,800	3
<i>Nitzschia</i> sp.	2,040	3,860	840	5,540	1,520		1,680	980	100	80	20	240	300	760	3,420	120	2,880	200	24,580	17
<i>Odontella</i> sp.							40												40	0
<i>Pseudonitzschia</i> sp.	200	700	340	1,880	280		280	280	100	120		200	40		40		1000	280	5,740	4
<i>Rhabdonema</i> sp.																			0	0
<i>Rhizosolenia</i> sp.	180	120	660	1,140	440	80	440	520	20		20		50	20	20	320	40	100	4,170	3
<i>Skeletonema</i> sp.					240			120	160			1,600							2,120	1
<i>Surirella</i> sp.									10										10	0
<i>Thalassionema</i> sp.	120	10	160	2,200	920	20													3,430	2
Total	3,420	7,390	3,660	13,660	7,120	1,720	7,740	4,000	4,170	1,640	3,760	7,840	4,280	6,460	7,850	33,560	22,400	6,480	147,150	100

Anexo 6. Abundancias de los géneros observados durante la época cálida.

Grupo/Género	junio 2018						agosto 2018						octubre 2018							
Dinoflagelados	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B1	B2	B3	B4	B5	B6	cel/L	%
<i>Blepharocysta</i> sp.							40												40	0
<i>Coccolodinium</i> sp.	660	1,080	100	840	680	160	300	20	20	80	120	400	40	60		40	140	400	5,140	12
<i>Dinophysis</i> sp.		140			80									10					230	1
<i>Gymnodinium</i> sp.	80	20		320	80	80							10			20	80	40	730	2
<i>Gyrodinium</i> sp.	60						320	400	50	80	80	40				240	160	240	1,670	4
<i>Heterocapsa</i> sp.															50				50	0
<i>Lingulodinium</i> sp.	300	2,680	80	480	400	280	20	20								20		20	4,300	10
<i>Oxytoxum</i> sp.	220	680	120	600	360		100	100	20		40	80	10	10	10	120		100	2,570	6
<i>Podolampas</i> sp.								10	20				30	20					80	0
<i>Polykrikos</i> sp.									30										30	0
<i>Prorocentrum</i> sp.	400	12,300	460	520	1,600	120	140	600	100	200	240	80	430	320	60	400	160	100	18,230	44
<i>Protoperidinium</i> sp.	70	320	100	160	260	180	40	100	20	40	40	120	30	60	10				1,550	4
<i>Pyrophacus</i> sp.		30				140			40					20	30				260	1
<i>Scrippsiella</i> sp.							240	180	40	80	80	120	120	60	300	1,200	400	480	3,300	8
<i>Torodinium</i> sp.			30		40						20					40			130	0
<i>Tripos</i> sp.	400	250	20	140	880	680	120	20	40	40	80	180	120		20	40	40		3,070	7
Total	2,190	17,500	910	3,060	4,380	1,640	1,320	1,450	380	520	700	1,020	790	560	480	2,120	980	1,380	41,380	100

Anexo 7. Abundancias de los géneros observados de crisofitas y nanoflagelados durante la época cálida.

Grupo/Género	junio 2018						agosto 2018						octubre 2018							
Crisofitas	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B1	B2	B3	B4	B5	B6	cel/L	%
<i>Dictyocha sp.</i>	300	80		40	40	60	80	40	20	40	120	20	110	80	30	20			1,080	65
<i>Octatis sp.</i>		60											180	220	90		20	20	590	35
Total	300	140	0	40	40	60	80	40	20	40	120	20	290	300	120	20	20	20	1,670	100
Nanoflagelados																				
<i>Chattonella sp.</i>	40		40					100	40	80	40	40							380	13
<i>Fibrocapsa sp.</i>													10	20					30	1
<i>Eutreptia sp.</i>																	40		40	1
<i>Leucocryptos sp.</i>		60		40									10	10		20			140	5
<i>Phaeocystis sp.</i>		120		140	20		280	140						440	260	440	60	360	2,260	79
<i>Pyraminonas sp.</i>													10						10	0
Total	40	180	40	180	20	0	280	240	40	80	40	40	30	470	260	460	100	360	2,860	100

Anexo 8. Abundancias de los géneros de diatomeas observados durante el florecimiento de junio 2017

Grupo/Género	Jun-2017							
Diatomeas	B1	B2	B3	B4	B5	B6	cel/L	%
Chaetoceros sp.			80				80	1
Coscinodiscus sp.	300	100	400	733	240	67	1,840	13
Cylindrotheca sp.		40	70		80		190	1
Fragilaria sp.			20				20	0
Guinardia sp.	20			240	6213		6,473	47
Hemiaulus sp.							0	0
Leptocylindrus sp.				160			160	1
Lyrella sp.		10					10	0
Melossira sp.		200					200	1
Navicula	100	60	300	387	400	200	1,447	11
Nitzschia sp.	160	10		987	120		1,277	9
Odontella sp.							0	0
Plantoniella sp.	30					67	97	1
Pleurosigma sp.			10	200			210	2
Pseudonitzschia sp.		120	200		600		920	7
Rhabdonema sp.							0	0
Rhizosolenia sp.	40				80		120	1
Thalassionema sp.			20				20	0
Thalassiosira sp.					600		600	4
Total	650	540	1,100	2,707	8,333	334	13,664	100

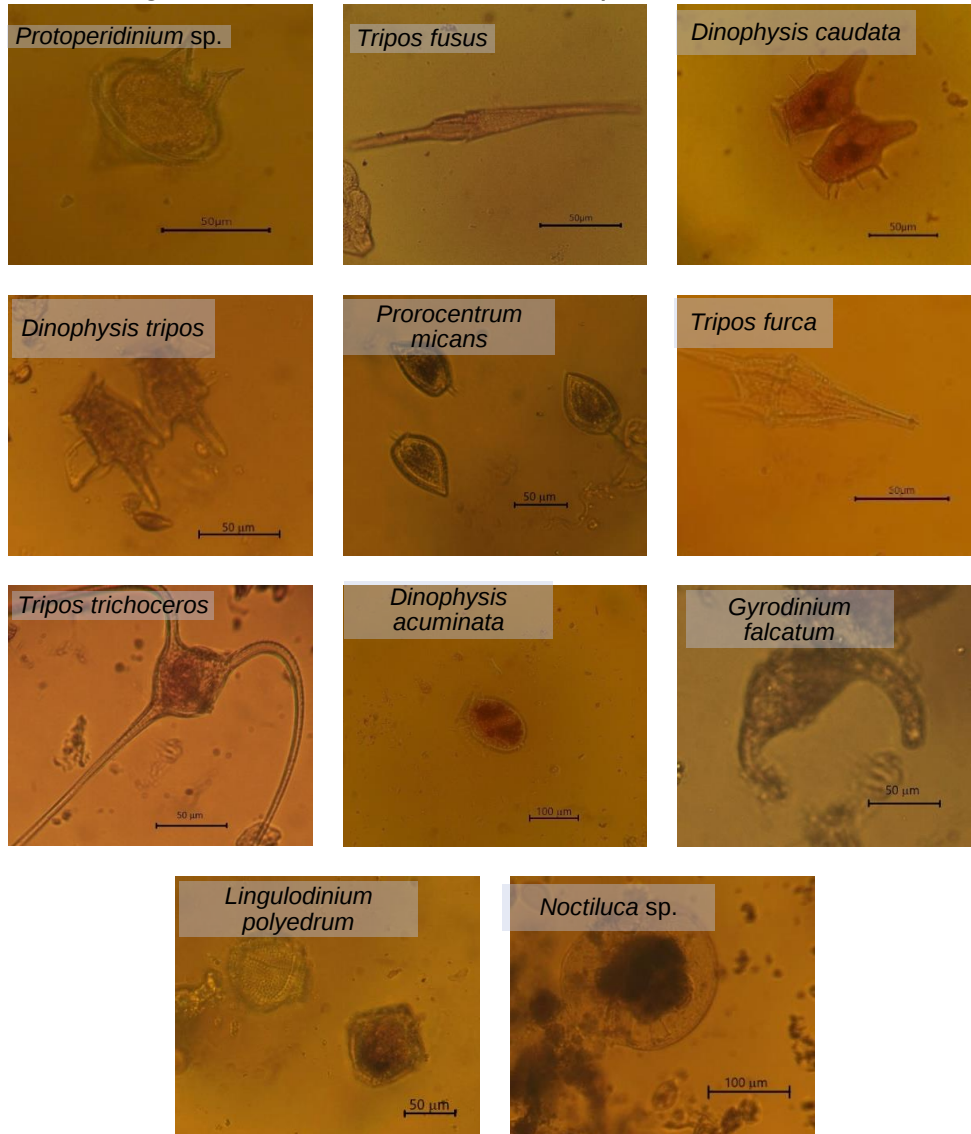
Anexo 9. Abundancias de los géneros de dinoflagelados observados durante el florecimiento de junio del 2017.

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	cel/L	%
Dinoflagelados								
<i>Alexandrium sp.</i>	1,000						1000	0
<i>Centrodinium sp.</i>					40	133	173	0
<i>Dinophysis sp.</i>			10		40	133	183	0
<i>Gymnodinium sp.</i>	660	1,000	2,320	8,933		5,300	18,213	6
<i>Lingulodinium sp.</i>	8,100	4,020	9,240	46,333	25,133	145,300	238,126	76
<i>Noctiluca sp.</i>			50		40		90	0
<i>Ornithocercus sp.</i>			20				20	0
<i>Oxytoxum sp.</i>	20		240	533	1,000	600	2,393	1
<i>Prorocentrum sp.</i>	2,500	1,600	8,200	11,800	2,267	8,900	35,267	11
<i>Protoperidinium sp.</i>	540	10				800	1,350	0
<i>Tripos sp.</i>	1,710	1,240	840	5867	3,467	2,600	15,724	5
Total	14,530	7,870	20,920	73,466	31,987	163,766	312,539	100

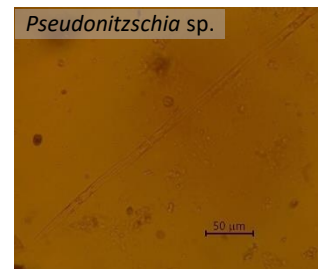
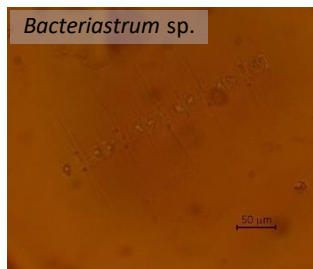
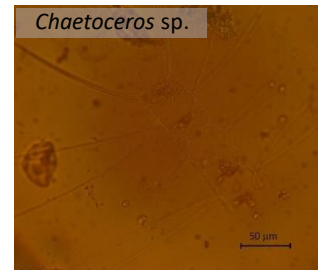
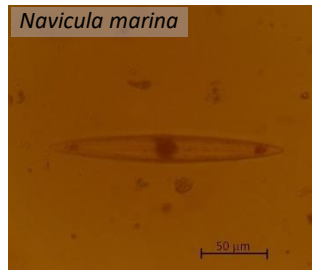
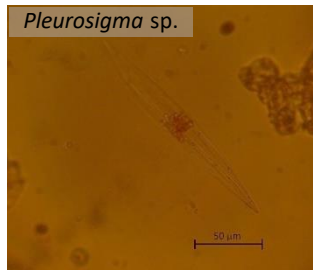
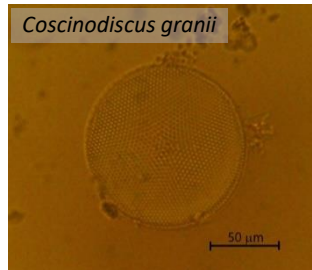
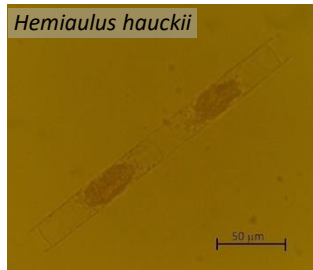
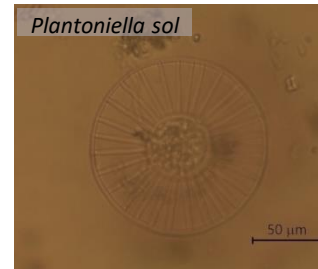
Anexo 10. Abundancias de los géneros de crisofitas y nanoflagelados observados durante Junio de 2017.

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	cel/L	%
Crisofitas								
<i>Dictyocha sp.</i>			10	240			250	93
<i>Octatis sp.</i>	20						20	7
Total	20	0	10	240	0	0	270	100
Nanoflagelados								
<i>Phaeocystis sp.</i>	300						300	100

Anexo 11. Dinoflagelados observados al microscopio.



Anexo 12. Diatomeas observadas al microscopio



Anexo 13. Crisofitas y nanoflageladas observadas al microscopio

