



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS



**“VARIABILIDAD DEL FITOPLANCTON EN RESPUESTA A
PROCESOS FÍSICOS EN LA BAHÍA SEBASTIÁN VIZCAÍNO, BAJA
CALIFORNIA, MÉXICO”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN
OCEANOGRAFÍA COSTERA**

PRESENTA

MARIANA STEPHANIE LARIOS MUÑIZ

Ensenada, Baja California, México. Agosto 2020

VOTOS APROBATORIOS

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

**VARIABILIDAD DEL FITOPLANCTON EN RESPUESTA A
PROCESOS FÍSICOS EN LA BAHÍA SEBASTIÁN VIZCAÍNO, BAJA
CALIFORNIA, MÉXICO.**

TESIS

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

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFÍA COSTERA

PRESENTA

MARIANA STEPHANIE LARIOS MUÑOZ

APROBADO POR:



Dra. Adriana G. González Silvera

Directora de tesis



Dr. Eduardo Santamaría del Ángel

Sinodal



Dr. Jorge M. López Calderón

Sinodal

AGRADECIMIENTOS

Como cada logro, este va dedicado a mis padres y hermana. Sin ese aliento y motivación, difícilmente se lograría mi día de hoy. INFINITAS GRACIAS POR LA INSPIRACIÓN.

Le agradezco a mi comité de tesis, la Dra. Adriana Gisel González Silvera, el Dr. Eduardo Santamaría del Ángel y al Dr. Jorge López Calderón, por la perseverancia, los consejos y el apoyo en la realización de este trabajo. Desde la colecta de muestras en los cruceros, y el apoyo en la información satelital y estadística, pero también en el laboratorio con el HPLC, muchas gracias por permitirme la oportunidad de ser parte de su equipo.

Al Dr. Reginaldo Durazo por el apoyo en facilitarnos la información de altimetría para mejor interpretación de los datos.

A María Ester Guzmán Hernández por el apoyo en facilitarnos la información de sus observaciones al microscopio, sin duda fueron de gran ayuda.

A la Facultad de Ciencias Marinas en la Universidad Autónoma de Baja California que se ha vuelto mi segunda casa y a todos los que forman parte de ella, gracias por la hospitalidad que los caracteriza.

A CONACYT por el apoyo brindado mediante la beca otorgada (no. 927633) para la realización de mis estudios de Maestría en Oceanografía Costera en la Facultad de Ciencias Marinas.

A la Secretaría de Marina por el apoyo en la colecta de muestras hidrográficas, así como la facilitación de las mismas.

A todos los que formaron parte de las dos campañas de muestreo, gracias por su excelente labor.

Gracias a todos aquellos que formaron parte en cada etapa de este proceso.

RESUMEN

En este trabajo se evaluó la distribución de la biomasa y composición taxonómica del fitoplancton dentro de la Bahía Sebastián Vizcaíno (BC, México) en relación a los cambios de las condiciones físicas medidas durante agosto de 2017 (verano) y abril de 2018 (primavera). Para ello se colectaron datos de temperatura, salinidad y fluorescencia usando un perfilador CTD en 9 (2017) y 16 (2018) estaciones. Además, se recolectaron muestras de agua en profundidades discretas (superficie y máximo subsuperficial de fluorescencia) para medir la concentración de pigmentos en el fitoplancton mediante el uso de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). La composición taxonómica del fitoplancton a nivel de grupo fue evaluada a partir de los pigmentos diagnósticos mediante el programa de quimiotaxonomía CHEMTAX. Como complemento de la información *in situ*, se analizaron imágenes satelitales de la temperatura superficial del mar, concentración de clorofila *a* (C_{la}), coeficiente de atenuación de luz a 490 nm y de corrientes geostroficadas. Los resultados muestran que la circulación en la bahía es dominada por un remolino anticiclónico y el predominio del agua de la Corriente de California (CC). En verano se observó la influencia del Agua Tropical Superficial en los primeros metros de la columna de agua, y del Agua Ecuatorial Subsuperficial (AESs) en el fondo. Las concentraciones de C_{la} en verano variaron entre 0.2 y 1.84 mg/m³ con los mayores valores observados alrededor de los 30 m de profundidad asociados al agua de la CC. Se observó la presencia de un segundo aumento en la C_{la} por debajo de los 80 m en las estaciones con influencia del AESs. Las primnesiofitas fueron el grupo fitoplanctónico con mayor abundancia en los máximos subsuperficiales, mientras que, en superficie, predominaron las cianobacterias y el género *Prochlorococcus*. En primavera, las aguas de la surgencia observada al norte de la bahía (Punta Canoas) ingresaron hacia su interior promoviendo un aumento en las concentraciones de C_{la}, las cuales variaron entre 0.2 y 2.24 mg/m³. Durante este periodo, se observó un aumento en la abundancia de diatomeas en las estaciones influenciadas por las aguas de surgencia, aunque las primnesiofitas siguieron presentándose como el grupo de mayor abundancia. Los resultados analizados en este trabajo muestran que las primnesiofitas son un grupo permanente en la bahía, independiente de la época del año, mientras el crecimiento de diatomeas se ve determinado por las aguas de surgencia. Finalmente, se pudo observar que, a pesar de que el CHEMTAX brinda información valiosa sobre los grupos fitoplanctónicos presentes, es recomendable complementar los resultados con ayuda de otros métodos para realizar una mejor caracterización taxonómica de la comunidad, y así realizar una evaluación más completa de las comunidades fitoplanctónicas presentes y su papel en las redes tróficas locales.

ÍNDICE

VOTOS APROBATORIOS	2
AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	4
TABLAS Y FIGURAS	6
1 INTRODUCCIÓN	9
2 ANTECEDENTES	13
3 OBJETIVO GENERAL	15
3.1 OBJETIVOS PARTICULARES	16
4 ÁREA DE ESTUDIO	16
5 METODOLOGÍA	17
5.1 Muestreo	17
5.2 Criterio para la toma de muestras discretas	18
5.3 Determinación de la concentración de pigmentos por Cromatografía Líquida de Alta Precisión (HPLC).....	19
5.4 Análisis CHEMTAX.....	19
5.5 Información satelital.....	21
5.6 Análisis estadístico	22
6 RESULTADOS	23
6.1 CRUCERO DE AGOSTO 2017	23
6.1.1 Información satelital.....	23
6.1.2 Masas de agua.....	28
6.1.3 Datos hidrográficos.....	29
6.1.4 Pigmentos y grupos fitoplanctónicos.....	36
6.2 CRUCERO DE ABRIL 2018	38
6.2.1 Información satelital.....	38
6.2.2 Masas de agua.....	38
6.2.3 Datos hidrográficos.....	44
6.2.4 Pigmentos y grupos fitoplanctónicos.....	52
6.2.5 Comparación de variables hidrográficas y biológicas entre cruceros.....	52
6.2.6 Análisis estadístico	52
7 DISCUSIÓN	58
7.1 Hidrografía y distribución de la Cla durante agosto de 2017	58
7.2 Composición taxonómica del fitoplancton durante agosto 2017	62
7.3 Hidrografía y distribución de la Cla durante abril de 2018.....	66
7.4 Composición taxonómica del fitoplancton durante abril 2018	69
8 CONCLUSIONES	72
9 REFERENCIAS	73
10 Anexos	83

TABLAS Y FIGURAS

Tabla 1. Pigmentos del fitoplancton utilizados como bio-marcadores diagnóstico (adaptada de Jeffrey et al., 1997).	13
Tabla 2. Razones de pigmento por grupo fitoplanctónico, usadas como entrada al programa CHEMTAX.	20
Tabla 3. Mediana, mínimo y máximo (Intervalo) de las variables hidrográficas y biológicas medidas durante los cruceros realizados en agosto de 2017 y abril de 2018. n representa el número de datos. Cl_a_f indica la concentración de Cl_a medida por el fluorímetro. La abundancia de los grupos fitoplanctónicos esta reportada como contribución a la Cl_aT (Cl_a+DVCl_a) en mg/m^3 y entre paréntesis se indica el porcentaje de contribución de cada grupo a la comunidad.	55
Tabla 4. Análisis de correlación entre la concentración de Cl_a y Diatomeas y Primmiesiofitas en abril de 2018. VA y VB indican que la correlación se evaluó solamente para los datos de las secciones A y B. Se indica r_{crit} y se considera que la correlación es estadísticamente significativa cuando $r_p > r_{crit}$	57
Figura 1. Área de estudio, localizada en la Bahía de Sebastián Vizcaíno (Baja California), donde se indican la localización de las estaciones de muestreo consideradas en este estudio.	17
Figura 2. Imágenes de la SST ($^{\circ}C$) de los días 13 (a), 14 (b) y 15 (c) de agosto 2017 y compuesta mensual (d).	24
Figura 3. Imágenes de la concentración de Cl_a (mg/m^3) durante los días 13 (a), 16 (b) y 17 (c) de agosto 2017, y compuesta mensual (d).	26
Figura 4. Profundidad de la zona eufótica (m) determinada a partir de la imagen de K_d490 promedio de los días del crucero (9 al 17 de agosto de 2017).	27
Figura 5. Imagen de las anomalías del nivel del mar y flujos geostroficóicos en el Pacífico oriental mexicano durante los días del 9 al 17 de agosto de 2017. La barra de colores indica la anomalía del nivel del mar (cm), donde valores negativos indican depresiones y positivos indican elevaciones. Los flujos geostroficóicos están indicados por las flechas, cuya longitud está directamente relacionada a la velocidad.	28
Figura 6. Diagramas de temperatura potencial (Θ , $^{\circ}C$) y salinidad absoluta (g/kg) para todas las estaciones recorridas durante el crucero realizado en agosto de 2017 (Fig. 1). Las barras de colores indican a) concentración de Cl_a (mg/m^3) y b) concentración de oxígeno disuelto ($\mu mol/kg$). Cada punto en el diagrama está asociado a la paleta de colores indicada a la derecha. Los contornos de línea gris continua indican las isopicnas (kg/m^3).	29
Figura 7. Transectos de variables hidrográficas a) Temperatura ($^{\circ}C$), b) Salinidad, c) concentración de Cl_a (mg/m^3). La línea blanca representa la isopicna de $25.4 kg/m^3$ y los puntos blancos representan la profundidad de las muestras tomadas in situ. El nombre de la estación se encuentra arriba de cada transecto. La mayoría de las estaciones transcurrieron del 10 al 13 de agosto de 2017	31
Figura 8. Transectos de variables hidrográficas a) Temperatura ($^{\circ}C$), b) Salinidad, c) concentración de Cl_a (mg/m^3). La línea blanca representa la isopicna de $25.4 kg/m^3$ y los puntos blancos representan la profundidad de las muestras tomadas in situ. El nombre de la estación se encuentra arriba de cada transecto. La mayoría de las estaciones transcurrieron del 10 al 13 de agosto de 2017	33

Figura 9. Transectos de variables hidrográficas a) Temperatura (°C), b) Salinidad, c) concentración de Cla (mg/m ³). La línea blanca representa la isopicna de 25.4 kg/m ³ y los puntos blancos representan la profundidad de las muestras tomadas in situ. El nombre de cada estación se encuentra arriba de cada transecto. La mayoría de las estaciones transcurrieron del 10 al 13 de agosto de 2017	35
Figura 10. Porcentaje de contribución de los grupos del fitoplancton (a) en superficie y (b) en el máximo subsuperficial, para cada sección. El recuadro rojo señala la única muestra tomada del segundo máximo subsuperficial. Las barras de colores corresponden a los grupos listados en la leyenda. Los círculos blancos indican la concentración de Cla (mg/m ³ , eje derecho).....	37
Figura 11. Imágenes compuestas de SST (°C) de los días 12 (a), 13 (b) y 14 (c) de abril 2018, y compuesta mensual (d).....	39
Figura 12. Imágenes compuestas de concentración de Cla (mg/m ³) de los días 6 (a), 12 (b) y 13 (c) de abril 2018, y compuesta mensual (d).....	41
Figura 13. Profundidad de la zona eufótica (m), compuesta promedio de los días 3 al 14 de abril de 2018.....	42
Figura 14. Promedios de anomalías del nivel del mar (cm) en el Pacífico oriental mexicano durante los días del 3 al 14 de abril de 2018. La barra de colores indica la velocidad de los flujos geostroficados.....	43
Figura 15. Diagrama de temperatura potencial = TP (Θ, °C) y salinidad absoluta (g/kg) para todas las estaciones recorridas durante el crucero realizado en abril de 2018 (Fig. 1). La barra de colores indica la concentración de clorofila (mg/m ³) y cada punto en el diagrama está asociado a esta paleta. Los contornos de líneas gris continua indican las isopicnas (kg/m ³).....	44
Figura 16. Transectos de variables hidrográficas. a) Temperatura (°C), b) Salinidad, c) concentración de Cla (mg/m ³). La línea blanca representa la isopicna de 25 kg/m ³ y los puntos blancos representan la profundidad de las muestras tomadas in situ. El nombre de cada estación se encuentra arriba de cada transecto. La mayoría de las estaciones transcurrieron del 5 al 13 de abril de 2018.....	45
Figura 17. Transectos de variables hidrográficas. a) Temperatura (°C), b) Salinidad, c) concentración de Cla (mg/m ³). La línea blanca representa la isopicna de 25 kg/m ³ y los puntos blancos representan la profundidad de las muestras tomadas in situ. El nombre de estación se encuentra arriba de cada transecto. La mayoría de las estaciones transcurrieron del 5 al 13 de abril de 2018.....	47
Figura 18. Transectos de variables hidrográficas. a) Temperatura (°C), b) Salinidad, c) concentración de Cla (mg/m ³). La línea blanca representa la isopicna de 25 kg/m ³ y los puntos blancos representan la profundidad de las muestras tomadas in situ. El nombre de estación se encuentra arriba de cada transecto. La mayoría de las estaciones transcurrieron del 5 al 13 de abril de 2018.....	49
Figura 19. Transectos de variables hidrográficas. a) Temperatura (°C), b) Salinidad, c) concentración de Cla (mg/m ³). La línea blanca representa la isopicna de 25 kg/m ³ y los puntos blancos representan la profundidad de las muestras tomadas in situ. El nombre de estación se encuentra arriba de cada transecto. La mayoría de las estaciones transcurrieron del 5 al 13 de abril de 2018.....	51
Figura 20. Porcentaje de contribución de los grupos del fitoplancton (a) en superficie y (b) en el máximo subsuperficial, para cada sección. Las barras de colores corresponden a los	

grupos listados en la leyenda. Los círculos blancos indican la concentración de Cla (mg/m^3 , eje derecho)..... 53

Figura 21. Diagramas de dispersión que muestran la relación entre la concentración de Cla (mg/m^3) y la concentración (mg/m^3) de diatomeas (a, b, c) y primnesiofitas (d). En (a) solo se graficaron los datos de las secciones A y B en superficie; en (b) se graficaron los datos de todas las secciones en subsuperficie; en (c) se graficaron los datos de las secciones A y B en subsuperficie; en (d) los datos son todas las estaciones, solamente de superficie. Para cada grafica se indica el coeficiente r_p y el número de datos..... 57

Figura 22. Comparación de la profundidad de la zona eufótica (m) entre las dos temporadas de muestreo, verano de 2017 (izquierda) y abril de 2018 (derecha). 68

Figura 23. Comparación de las anomalías del nivel del mar (cm) entre las dos temporadas de muestreo, verano de 2017 (izquierda) y abril de 2018 (derecha). 69

ANEXOS

Anexo 1. Fotos tomadas en microscopio Zeiss, de la muestra tomada del segundo máximo de Cla en la estación VD2 localizado a 60 metros de profundidad, en agosto de 2017. 83

Anexo 2. Promedio de las razones de salida arrojadas por CHEMTAX en superficie durante el crucero realizado en agosto de 2017. 84

Anexo 3. Promedio de las razones de salida arrojadas por CHEMTAX en la profundidad del máximo de clorofila durante el crucero realizado en agosto de 2017. 84

Anexo 4. Promedio de las razones de salida arrojadas por CHEMTAX en superficie durante el crucero realizado en abril de 2018. 85

Anexo 5. Promedio de las razones de salida arrojadas por CHEMTAX en la profundidad del máximo de clorofila durante el crucero realizado en abril de 2018. 85

Anexo 6. Promedio, mínimo (MIN) y máximo (MAX) en concentración de pigmentos (mg/m^3) durante el crucero realizado en agosto de 2017. n representa el número de datos. 86

Anexo 7. Promedio, mínimo (MIN) y máximo (MAX) en concentración de pigmentos (mg/m^3) durante el crucero realizado en abril de 2018. n representa el número de datos. 87

1 INTRODUCCIÓN

El fitoplancton marino se encuentra formado por microalgas que viven suspendidas en el agua, las cuales llevan a cabo diversas funciones ecológicas que le confieren una importancia básica dentro de los ecosistemas costeros y pelágicos de todo el mundo (Hernández-Becerril et al., 2015). Estos organismos constituyen la principal fuente de alimento para la vida en el océano, por lo que la dinámica de las comunidades del fitoplancton es centralmente importante para la estructura y función de dicho ecosistema (Kiorboe, 1993). Como productores primarios, el fitoplancton es el responsable de convertir carbón inorgánico en carbón orgánico o biomasa que estará disponible para los siguientes niveles tróficos (Kirk, 2011). Es por esto que las cadenas tróficas de los ambientes marinos dependen principalmente del fitoplancton, quien a su vez depende de nutrientes esenciales que se encuentran normalmente agotados en la superficie, pero son abundantes en el océano profundo (Reimer y Rodríguez, 2014). Por esta razón, se ha establecido que la presencia y distribución del fitoplancton, así como de la productividad primaria en la columna de agua, estarán definidas por la disponibilidad de nutrientes y luz (Cullen, 2015), factores limitadores del crecimiento, los cuales, a su vez son regulados por procesos físicos de circulación oceánica, dinámica de la capa de mezcla, surgencias, entre otros (Behrenfeld et al., 2006).

El fitoplancton lleva a cabo el proceso de la fotosíntesis, el cual es regulado por la energía proveniente de la luz, cuya captación la realizan los pigmentos (Falkowski y Raven, 2007). Estos pigmentos se clasifican en clorofilas, carotenoides y ficobiliproteínas (Jeffrey et al., 1997). De las clorofilas, la más abundante es la clorofila *a* (C*a*), considerada como el pigmento universal, ya que se encuentra en todos los productores primarios terrestres y marinos, incluyendo el fitoplancton. La única excepción es la cianobacteria *Prochlorococcus* *sp.* que tiene como pigmento equivalente a la Divinil clorofila *a* (DVC*a*) (Jeffrey et al., 1997). El principal papel de la C*a* (o DVC*a*) está en la captación de energía para el proceso

fotosintético, la cual se centra en las longitudes de onda del azul (~440 nm) y rojo (~675 nm) del espectro electromagnético (Kirk, 2011). Por otro lado, otros pigmentos como las clorofilas b y c, así como los carotenoides y ficobiliproteínas, tienen la función de absorber luz a longitudes de onda donde la Cla no lo hace, por lo que se les denomina como pigmentos accesorios (Bricaud et al., 2004). En particular, algunos pigmentos son específicos de ciertos grupos algales, o son comunes entre algunos de ellos, y pueden ser usados como bio-marcadores selectivos de ciertos grupos del fitoplancton (Jeffrey et al., 1997). La identificación y cuantificación de la mayoría de los pigmentos en aguas naturales puede ser realizada por cromatografía líquida de alta precisión (HPLC por sus siglas en inglés) (Jeffrey et al., 1997). Este método es relativamente rápido, puede ser usado para analizar una gran cantidad de muestras (Roy y Garrido, 2013) y es complementario al análisis tradicional de muestras usando un microscopio. En especial, algunos grupos del fitoplancton son muy pequeños, menores a 5 μm , y estos no se pueden observar en un microscopio óptico (Vidussi et al., 1996). Sin embargo, la detección de algún pigmento específico permite inferir la presencia de cierto grupo a pesar de que este no es visible al microscopio. Por ejemplo, el pigmento Zeaxantina ha sido usado para inferir la presencia de cianobacterias. Por otro lado, el pigmento DVCl_a es exclusivo de *Prochlorococcus*, mientras la 19'Hexanoiloxifucoxantina (19'Hex) es exclusiva de las primensiofitas (Jeffrey et al., 1997). Una lista de los pigmentos característicos de los grupos fitoplanctónicos en el océano se presenta en la Tabla 1.

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 las de menor tamaño (Araujo et al., 2016). Adicionalmente, la composición taxonómica del fitoplancton determina en gran medida la estructura trófica del ecosistema pelágico y la transferencia de materia orgánica a través de estos niveles tróficos o hacia capas oceánicas más profundas y es considerada una

expresión de la diversidad o complejidad propia del ecosistema (Rodríguez, 2005; Finkel et al., 2010). Es por ello que, poder inferir el tamaño dominante de la comunidad fitoplanctónica a partir del conocimiento de los grupos que se encuentran presentes en una muestra de agua, representa una aproximación valiosa, ya que conocer la distribución de la biomasa fitoplanctónica de acuerdo a su tamaño es fundamental en la caracterización de los flujos de energía en el ecosistema oceánico (Rodríguez, 2005). Se admite que, en general, las células pequeñas son características de aguas oceánicas oligotróficas y estratificadas (Barocio-León et al., 2006), mientras que células grandes dominan las aguas costeras mesotróficas a eutróficas, así como frentes y zonas de afloramiento donde se producen grandes entradas de nitrato y predomina la producción nueva (Chisholm, 1992). En este contexto, la variabilidad regional del tamaño medio de las células del fitoplancton ha sido interpretada como resultado de estrategias biológicas relacionadas con la incorporación de nutrientes (Malone, 1980) pero también como una consecuencia directa de la dinámica vertical de masas de agua (Rodríguez et al., 2001). Esto finalmente, se encuentra relacionado a los flujos de carbono y a la transferencia de energía en los ecosistemas acuáticos, los cuales, a su vez, se vuelven mucho más intensos en las zonas costeras (Hernández-Ayón et al., 1997).

Los ecosistemas costeros representan una pequeña porción de todos los mares, pero juegan un papel ecológico y económico muy importante debido a las diferentes interacciones químicas, físicas y biológicas que ocurren entre el continente y el mar adyacente. Por esta razón, se considera indispensable el estudio y conocimiento de la variabilidad hidrográfica y la dinámica de las aguas oceánicas y costeras, así como su relación con la distribución de las comunidades biológicas. En particular, la región costera de la Península de Baja California (PBC), bañada por las aguas del Oc. Pacífico, tiene una gran importancia ecológica y económica. Diferentes estudios han reportado su variabilidad estacional e interanual como respuesta a los procesos oceanográficos (Gaxiola-Castro y Durazo, 2010). Esta región forma un sistema marino productivo, que se caracteriza por la

presencia de estructuras oceanográficas persistentes y una marcada variabilidad estacional, regida por los patrones de vientos y corrientes (Espinosa-Carreón et al., 2004; Soto-Mardones et al., 2004; Jerónimo-Moreno y Gómez-Valdés, 2006). Debido a su forma alargada, la PBC se localiza en un amplio intervalo latitudinal, por lo que abarca características de climas templados y tropicales (Martínez-Fuentes et al., 2016). La zona de transición está localizada en el paralelo 28, a la mitad de la península, donde se encuentra la prominencia costera más grande de la península, la Bahía de Sebastián Vizcaíno (BSV) (Palacios-Hernández et al., 1996). Esta es de particular importancia ya que está definida como la zona limítrofe entre dos provincias biogeográficas; la zona norte con características templadas y la sur con características tropicales (Mancilla-Peraza et al., 1993; Hernández-Rivas et al., 2000; Durazo, 2015; Martínez-Fuentes et al., 2016).

Así mismo, estas condiciones de una zona de clima transicional subtropical-templado, la hacen un hábitat de alta diversidad biológica, reflejado principalmente en la presencia de diferentes especies de peces y mamíferos marinos (Palacios-Hernández et al., 1996; Martínez-Fuentes et al., 2016). Además, se considera como zona de retención, alimentación y crianza de múltiples especies de peces, sobre todo de pelágico costeras de gran valor comercial, lo que ha llevado a que sea identificada como un Centro de Actividad Biológica (Hernández-Rivas et al., 2000). Su importancia económica, la cual es resultado de esa gran riqueza ecológica, la ha llevado a ser reconocida en dos ocasiones por el Comité del Patrimonio Mundial de la UNESCO por su valor natural y cultural. En 1988 fue nombrada como Reserva de la Biosfera de El Vizcaíno. Al ser del tipo marino-terrestre, abarca 2.546.790 ha que la configuran como una de las reservas más extensas del mundo, representando el 10% de las áreas naturales protegidas de México (Crespo-Guerrero y Jiménez-Pelcastre, 2016).

Tabla 1. Pigmentos del fitoplancton utilizados como bio-marcadores de grupos algales (adaptada de Jeffrey et al., 1997).

Abreviaciones	Pigmentos	Grupos
Cla	Clorofila <i>a</i>	Todos excepto <i>Prochlorococcus</i>
DVCl_a	Divinil Cl _a	<i>Prochlorococcus</i>
Clc₃	Clorofila <i>c</i> ₃	Primnesiofitas
Clb	Clorofila <i>b</i>	Clorofitas Prasinofitas
Fuco	Fucoxantina	Diatomeas Primnesiofitas
Peri	Peridinina	Dinoflagelados
19'But	19'Butanoiloxifucoxantina	Primnesiofitas Crisofitas
19'Hex	19'Hexanoiloxifucoxantina	Primnesiofitas
Alo	Aloxantina	Criptofitas
Zea	Zeaxantina	Cianobacterias, <i>Prochlorococcus</i> , Clorofitas
Pras	Prasinoxantina	Prasinofitas

2 ANTECEDENTES

La BSV se encuentra influenciada por el Sistema de la Corriente de California (SCC) (Portela et al., 2016), el cual es caracterizado por el flujo hacia el sur del Agua Subártica del Pacífico (ASAP), que es transportada por la Corriente de California (CC) y fluye entre la superficie y los 200 m de profundidad (Reid et al., 1958; Durazo, 2015), y la Masa de Agua Ecuatorial (MAE), la cual es transportada por la Contracorriente de California (CCC) (Durazo, 2015), que fluye hacia el polo entre los 200 y 300 m de profundidad (Sverdrup et al., 1942; Reid et al., 1958; Mancilla-Peraza et al., 1993; Durazo, 2015). El ASAP está caracterizada por presentar baja temperatura (10°C-20°C), baja salinidad (32.5-33.8), alto contenido de oxígeno disuelto y nutrientes. La MAE está caracterizada por bajo contenido de oxígeno disuelto, alta salinidad y alto contenido de nutrientes (Mancilla-Peraza et al., 1993, Durazo, 2015).

Dentro de BSV, los primeros 60 m de profundidad suelen presentar condiciones templadas (15–17 °C), de baja salinidad (~33.5), característico de la influencia del agua de la CC (Martínez-Fuentes et al., 2016; Portela et al., 2016). En invierno, cuando el flujo de la CC es más intenso, la columna de agua se caracteriza por intensos procesos de mezcla, lo que provoca una distribución vertical de la temperatura y salinidad casi homogénea y poco estable. Diagramas TS estacionales de la región IMECOCAL indican que el mínimo relativo de salinidad, asociado con el núcleo de la CC, se encuentra alrededor del intervalo de densidades de 24.5 y 25 kg/m³ (Durazo *et al.*, 2010).

Por otro lado, en verano se ha identificado una estratificación en tres capas principales: en la capa superficial se encuentran las temperaturas más altas, principalmente al final del verano (>21°C), la capa intermedia o de transición en temperatura (termoclina) se asocia generalmente con mínimos de salinidad durante la primavera y el verano, y la capa inferior que presenta relativamente baja temperatura (<13°C) (Mancilla-Peraza et al., 1993, Martínez-Fuentes et al., 2016; Durazo, 2015).

Esta dinámica de corrientes y masas de agua producen y modulan movimientos que llevan a la formación de procesos de escala espacial y temporal como son remolinos y estructuras de mesoescala. En especial, en el área central de BSV, se ha reportado la formación de un remolino anticiclónico (McEwen, 1916; Dawson, 1952; Wyllie, 1960; Palacios-Hernández et al., 1996), derivado de la advección hacia el sur de la CC, del efecto de Coriolis sobre la circulación superficial y de la forma alargada de la bahía. Se ha determinado que el remolino anticiclónico tiene un diámetro de ~60 km y una profundidad máxima de 60 m (Amador-Buenrostro et al., 1995; Martínez-Fuentes, 2015) y ha sido descrito como una característica semipermanente de la circulación de la bahía (Palacios-Hernández et al., 1996).

El fitoplancton en la BSV se ha caracterizado por presentar una variabilidad estacional marcada, con baja biomasa hacia finales de verano y otoño, mientras que

durante primavera y principios de verano se observan aumentos significativos (Martínez-Fuentes et al., 2016), con registros de hasta 5 mg/m³ que se extienden a lo largo de la costa noreste de la bahía (Martínez-Fuentes et al., 2016; Vásquez-Ortiz et al., 2017). En general, los primeros 50 m de profundidad han sido considerados como un ambiente mesotrófico (Cla >1 mg m⁻³) con producción biológica alta que mantiene las condiciones necesarias para el crecimiento y desarrollo de la cadena trófica marina (Almazán-Becerril et al., 2012; Martínez-Fuentes et al., 2016).

Por otro lado, la variabilidad estacional de la distribución del zooplancton ha sido estrechamente asociada a la actividad de las surgencias y a la variabilidad en la circulación de gran escala en la región central de BSV (Lavaniegos et al., 1997). Estas a su vez determinan los cambios en la biomasa y composición taxonómica del fitoplancton, ya que aportan una mayor concentración de nutrientes que favorece su crecimiento (Gaxiola-Castro et al., 2010). Sin embargo, pocos trabajos describen la distribución de la Cla en relación a la circulación de las masas de agua en BSV. Algunos autores han atribuido las altas concentraciones de Cla a la circulación anticiclónica (Hernández-Rivas et al., 2000; Gaxiola-Castro et al., 2010; Almazán-Becerril et al., 2012), aunque se menciona que la composición taxonómica no es dominada por diatomeas, sino más bien por diferentes grupos de eucariotas (Almazán-Becerril et al., 2012). Sin embargo, son escasos los trabajos que describen la composición taxonómica de los grupos algales dentro de la bahía y en regiones aledañas. Por esto, aún se desconoce de forma detallada cuáles son los patrones estacionales de distribución de los grupos de fitoplancton en la BSV.

3 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la variabilidad de la biomasa y composición taxonómica de la comunidad fitoplanctónica como respuesta a los procesos físicos en Bahía de Sebastián Vizcaíno (Baja California) durante el verano (agosto) de 2017 y primavera (abril) de 2018.

3.1 OBJETIVOS PARTICULARES

- Describir la distribución vertical de la temperatura, salinidad, fluorescencia y oxígeno disuelto en la Bahía de Sebastián Vizcaíno durante agosto de 2017 y abril de 2018.
- Describir la composición de la comunidad fitoplanctónica en la Bahía de Sebastián Vizcaíno mediante pigmentos diagnóstico y quimiotaxonomía en agosto de 2017 y abril de 2018.
- Evaluar la variabilidad vertical de la biomasa fitoplanctónica y su composición taxonómica en respuesta a los cambios en las condiciones hidrográficas entre agosto de 2017 y abril de 2018 en Bahía Vizcaíno.

4 ÁREA DE ESTUDIO

La BSV está limitada por la costa de Punta María a Punta Eugenia y por las Islas Cedros y Natividad (Fig. 1). Tiene forma semicircular y, aproximadamente, 110 km de diámetro, 11,500 km² de área y 76 m de profundidad promedio. Mantiene amplia comunicación con el océano adyacente a través del canal entre Isla Cedros y Punta María, de cerca de 90 km de ancho y 150 m de profundidad máxima (Mancilla-Peraza et al., 1993). El Canal de Kellet, entre las islas Cedros y Natividad, tiene aproximadamente 15 km de ancho y 45 m de profundidad máxima. El Canal de Dewey, entre Isla Natividad y Punta Eugenia, tiene del orden de 7.5 km de ancho y 30 m de profundidad máxima. En el litoral interior de la bahía se encuentran las lagunas litorales Ojo de Liebre, Guerrero Negro y Manuela. La bahía está comprendida en una región de clima desértico, sin descargas de agua dulce y con régimen de vientos dominantes del noroeste (Mancilla-Peraza et al., 1993; Durazo et al., 2010).

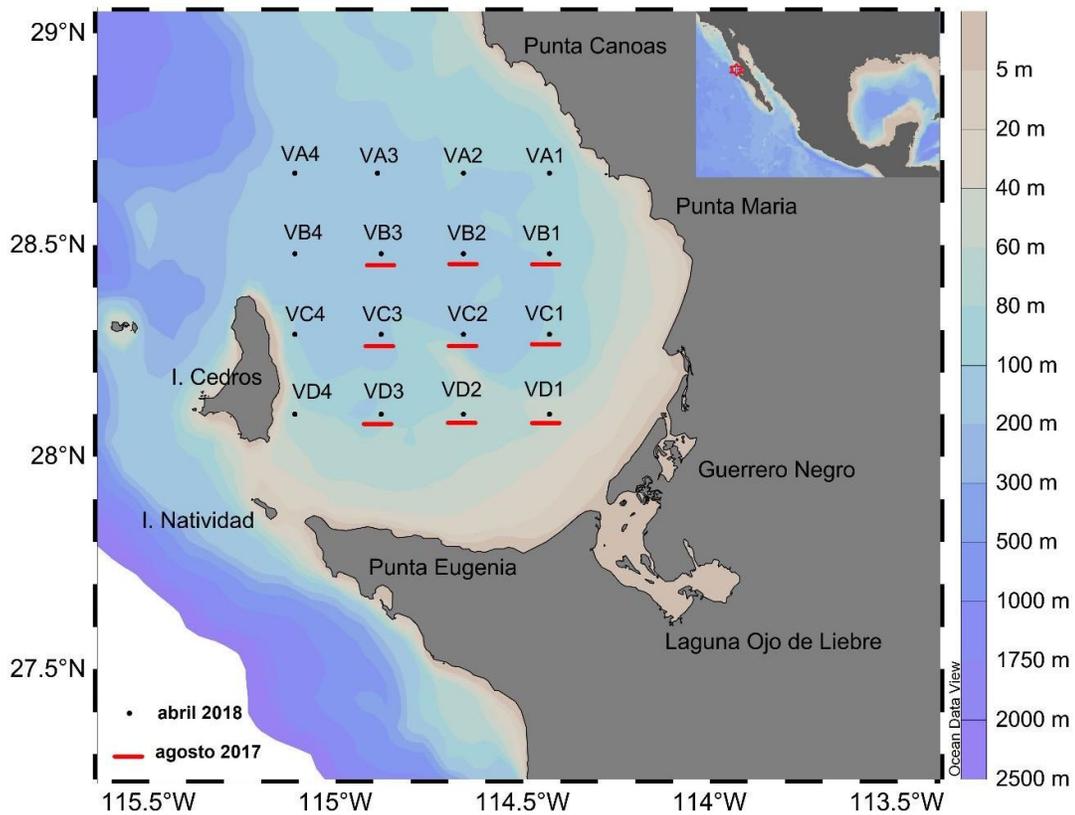


Figura 1. Área de estudio, localizada en la Bahía de Sebastián Vizcaíno (Baja California), donde se indica la posición de las estaciones de muestreo consideradas en este estudio.

5 METODOLOGÍA

5.1 Muestreo

Entre el 2017 y 2018 se realizaron dos cruceros oceanográficos a bordo del buque de investigación ARM “Río Tecolutla” (BI-08). Estos cruceros formaron parte del proyecto **“Estudio integral para la determinación del polígono para vertimiento de materiales producto del dragado en la BSV”**, en los cuales se trabajó en colaboración con la Secretaría de Marina (SEMAR).

El primer crucero, denominado “VIZCAINO-ZV-2017”, se realizó entre los días 9 a 17 de agosto de 2017, durante el cual se recorrieron nueve estaciones (Fig. 1). Posteriormente, del 3 al 14 de abril de 2018, se realizó el segundo crucero oceanográfico denominado “DINÁMICA-ZV-0318”, el cual abarcó la serie de nueve estaciones realizadas

durante el primer crucero, más siete estaciones añadidas en la periferia del cuadrante, completando un total de dieciséis estaciones.

5.2 Criterio para la toma de muestras discretas

En cada una de las estaciones se realizó la colecta de información *in situ* y continua mediante un CTD (*Conductivity Temperature Depth*) Sea-Bird SBE19plus, el cual llevaba acoplado: un fluorímetro WET Labs ECO-AFL/FL (utilizado en muestreo de agosto de 2017) o un fluorímetro WET Labs WETstar (utilizado en el muestreo de abril de 2018) y un oxímetro SBE 43 (utilizado solamente en el muestreo de agosto de 2017), los cuales fueron adaptados a una roseta oceanográfica.

La variabilidad termohalina de las masas de agua se caracterizó por la relación entre la temperatura potencial (Θ) y la salinidad absoluta (diagramas T-S), y los intervalos termohalinos de las masas de agua se obtuvieron de Portela et al. (2016).

Con base en el perfil de fluorescencia, se definieron tres profundidades para la colecta de agua para los análisis biológicos: en superficie, en el máximo de fluorescencia y en algunas estaciones por debajo de éste. En cada una de estas profundidades se obtuvieron muestras para la medición de la concentración de pigmentos del fitoplancton a partir del filtrado de ~ 2 Litros de agua de cada profundidad a través de filtros Whatman GF/F de 25 mm de diámetro y mediante un sistema de filtrado positivo. Posteriormente, los filtros se almacenaron envueltos en papel aluminio y se congelaron en nitrógeno líquido para su posterior lectura y análisis en laboratorio.

5.3 Determinación de la concentración de pigmentos por Cromatografía Líquida de Alta Precisión (HPLC)

En el laboratorio, el análisis de pigmentos del fitoplancton se realizó siguiendo los protocolos de Van Heukelem y Thomas (2001) y Thomas (2012). A proceder con el análisis, los filtros GF/F se retiraron del nitrógeno líquido y los pigmentos se extrajeron con acetona al 100%, con vitamina E como estándar interno. Para optimizar la extracción, las muestras se ultrasonificaron durante 10 s, se centrifugaron a 143 3000 rpm durante 10 min y posteriormente se almacenaron durante la noche en un congelador. Los sobrenadantes fueron filtrados a través de filtros de membrana de PTFE (tamaño de poro de 0.2 μm) para eliminar los residuos del filtro y restos celulares. Se vertió un volumen de 1000 μL de cada muestra en 2 ml de viales de vidrio, los cuales luego se colocaron en un sistema HPLC AGILENT 1260 con una bomba cuaternaria y un Zorbax Eclipse XDB-C8 y una columna 4.6150 mm, tamaño de partícula de 3.5 micrómetros. Se usaron tres solventes para el sistema de HPLC: solvente A (70:30%, metanol: 28 mM TbAA, pH 6.5), solvente B (100% metanol), y solvente C (100% acetona). La calibración se realizó con patrones de pigmentos individuales cuyas concentraciones se determinaron espectrofotométricamente usando los coeficientes de absorción aplicados por la mayoría de los laboratorios (Hooker et al., 2009) y del vendedor comercial, DHI Agua y Medio Ambiente (Hørsholm, Dinamarca). Los límites promedio de detección para los volúmenes de filtración y extracción utilizados en este trabajo son 004 y 013 mg/m^3 , respectivamente (Thomas, 2012).

5.4 Análisis CHEMTAX

La contribución relativa de los grupos del fitoplancton a la biomasa total (Cla+DVCl_a), fue calculada a partir de los pigmentos específicos de cada clase, con el programa para quimiotaxonomía CHEMTAX v1.95 (Mackey et al., 1996). Para esto, solo se consideraron las muestras de superficie y del máximo subsuperficial. Con base en los pigmentos detectados, se consideraron nueve grupos del fitoplancton: Bacillariofitas (diatomeas), Dinofitas (dinoflagelados), Primmnesiofitas, Clorofitas, Criptofitas, Crisofitas,

Prasinofitas, Cianobacterias y el género *Prochlorococcus*. Las razones iniciales de los pigmentos de las principales clases algales utilizados aquí fueron recopilados de Miranda-Álvarez et al. (2020), a su vez basado en Higgings et al. (2011) y Jeffrey et al. (2011) (Tabla 2). La determinación de la abundancia de los dinoflagelados se basó en el pigmento Peridinina, el cual representa a los que Higgings et al. (2011) llama dinoflagelados Tipo-1 y corresponde a los autotróficos y/o mixotróficos (Thronsen, 1997).

El programa CHEMTAX, se corrió por separado para los datos de superficie y para el máximo subsuperficial, aunque se utilizaron las mismas razones de entrada, de acuerdo a lo indicado por Wright et al. (2009). El producto de cada corrida resultó en 64 matrices de salida, donde cada una de estas matrices es revisada con la finalidad de seleccionar 8 de ellas, con base en el menor error cuadrático medio y considerando los resultados que mejor representan a los pigmentos en las muestras. Finalmente, se realizó un promedio entre las 8 matrices seleccionadas lo que resultó en una matriz final (Tablas 4-7, Anexo) por profundidad.

Tabla 2. Razones de pigmento por grupo fitoplanctónico, usadas como entrada al programa CHEMTAX.

Grupo/Pigmento	C1b	19'But	19'Hex	Alo	Fuco	Peri	Zea	DVCl _a	Clc ₃	Pras	Cl _a
Diatomeas	0	0	0	0	0.62	0	0	0	0	0	1.00
Dinoflagelado	0	0	0	0	0	0.55	0	0	0	0	1.00
Primnesiofitas	0	0.05	0.42	0	0.26	0	0	0	0.17	0	1.00
Clorofitas	0.31	0	0	0	0	0	0.03	0	0	0	1.00
Criptofitas	0	0	0	0.37	0	0	0	0	0	0	1.00
Prasinofitas	0.70	0	0	0	0	0	0.05	0	0	0.24	1.00
Cianobacterias	0	0	0	0	0	0	0.63	0	0	0	1.00
<i>Prochlorococcus</i>	0	0	0	0	0	0	0.38	1.00	0	0	0
Crisofitas	0	0.35	0	0	0.52	0	0	0	0	0	1.00

5.5 Información satelital

Con el objetivo de tener una visión sinóptica del área de estudio, se procesaron datos satelitales derivados de mediciones con resolución espacial a 1 Km, con los cuales se realizaron compuestas diarias multisensor de los días que duraron ambos cruceros. Los sensores utilizados fueron Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer-MODIS TERRA (MODIST_v2014.0; v2018.0), Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer-MODIS-AQUA (MODISA_v2014.0; v2018.0), y Visible and Infrared Imager/Radiometer Suit VIIRS (VIIRS_v2016.0; v2018.0, VIIRS-JPSS1_v2018.0). Los datos multisensor utilizados para construir estas imágenes de Nivel 1b se obtuvieron de la página web de la NASA (Ocean Color Data, <http://oceandata.sci.gsfc.nasa.gov/>). Para el procesado nivel 2, se utilizó el SEADAS V7 (National Aeronautics and Space Administration), con la corrección atmosférica estándar (método NIR) (Carswell et al., 2017). A partir de esto, se derivaron imágenes de concentración de Cl_a, temperatura superficial del mar (SST) y coeficiente de atenuación vertical de luz a 490 nm (Kd490). Las compuestas multisensor se procesaron siguiendo los criterios en Kahru et al. (2012; 2015)

De las imágenes diarias obtenidas para cada periodo de muestreo, se realizó la compuesta promedio para cada una de las variables (SST, Cl_a y Kd490). A partir de la imagen de Kd490 se determinó la profundidad de la zona eufótica (Z_e) para cada crucero mediante la ecuación

$$Z_e = 4.6/Kd490 \quad \text{Ecuación 1}$$

De esta forma es posible estimar la profundidad aproximada hasta donde la luz es suficiente para que el proceso fotosintético se lleve a cabo (Kirk, 2011).

Como apoyo a la descripción de los datos hidrográficos, se utilizaron imágenes de altura de nivel del mar y corrientes geostroficadas previamente procesadas. Los datos se obtuvieron del producto COPERNICUS (copernicus.eu), quienes proveen datos de elevación del nivel del mar en una malla global de ~25 km de resolución espacial. Las

corrientes geostróficas fueron evaluadas a partir de los gradientes horizontales de elevación.

5.6 Análisis estadístico

La correlación entre la Cla y los grupos del fitoplancton más representativos durante el crucero de 2018 fue determinada usando el coeficiente de correlación lineal r de Pearson (r_P), el cual es un análisis estadístico que puede ser utilizado para examinar el nivel de asociación lineal entre dos variables (Zar, 2007).

La premisa de este análisis es que a medida que la distribución de los datos difiere, la dispersión aumenta. r_P es expresado por la covarianza de las dos variables, dividido por el producto de sus desviaciones estándar. La expresión matemática utilizada es:

$$r_P = \frac{(Cov_{A,B})}{SD_A SD_B} \quad \text{Ecuación 2}$$

donde:

- r_P = Coeficiente de correlación de Pearson
- $Cov_{A,B}$ = Covarianza de dos variables, A y B
- $SD_A - SD_B$ = Desviación estándar de A y B

Este análisis da como resultado un valor entre +1 y -1, lo cual indica una correlación directa o inversa, respectivamente y 0 indicaría que no hay correlación lineal. Para determinar si el coeficiente obtenido es significativo, se realiza una prueba de hipótesis, según la cual:

$$H_0: r_P = 0$$

$$H_a: r_P \neq 0$$

Para aceptar o rechazar H_0 , se compararon dos valores; el valor calculado (r_P calculado), y el valor crítico (r_P crítico). Esta se obtiene de una tabla de valores críticos (Nist Sematech, 2003) basados en los grados de libertad ($n-1$) y el error α (en este trabajo se consideró el 5%). r_P crítico es el valor mínimo significativo de r_P . Si r_P calculado $>$ r_P crítico, H_0 se rechaza y la asociación entre las variables es considerada estadísticamente significativa. Si r_P calculado $<$ r_P crítico, H_0 no puede ser rechazado y r_P no es significativo.

6 RESULTADOS

6.1 CRUCERO DE AGOSTO 2017

6.1.2 Información satelital

Durante el periodo de muestreo, solo se obtuvieron tres imágenes con poca nubosidad, y que permitieran observar la distribución de la SST en el área de estudio (Fig. 2), las cuales fueron de los días 13, 14 y 15 de agosto (Fig. 2a-2c). En estas (y en la imagen compuesta del mes de agosto, Fig. 2d) se pueden observar temperaturas que oscilaron entre 16° y 25°C , con las más bajas hacia el norte y los valores más altos hacia el sur de la bahía, en coincidencia con las altas temperaturas observadas hacia el océano adyacente. Al norte, las temperaturas más bajas se encontraron en la zona de surgencias frente a Punta Canoas, cuyas aguas fueron transportadas hacia el sur en forma de una lengüeta que ingresó a la bahía por el lado oeste y que afectó especialmente las estaciones del transecto norte (Fig. 2d). A demás de las mayores temperaturas observadas a lo largo de la costa peninsular, la presencia de un núcleo de mayor temperatura ($\sim 22^\circ\text{C}$) se localizó frente a la Isla de Cedros.

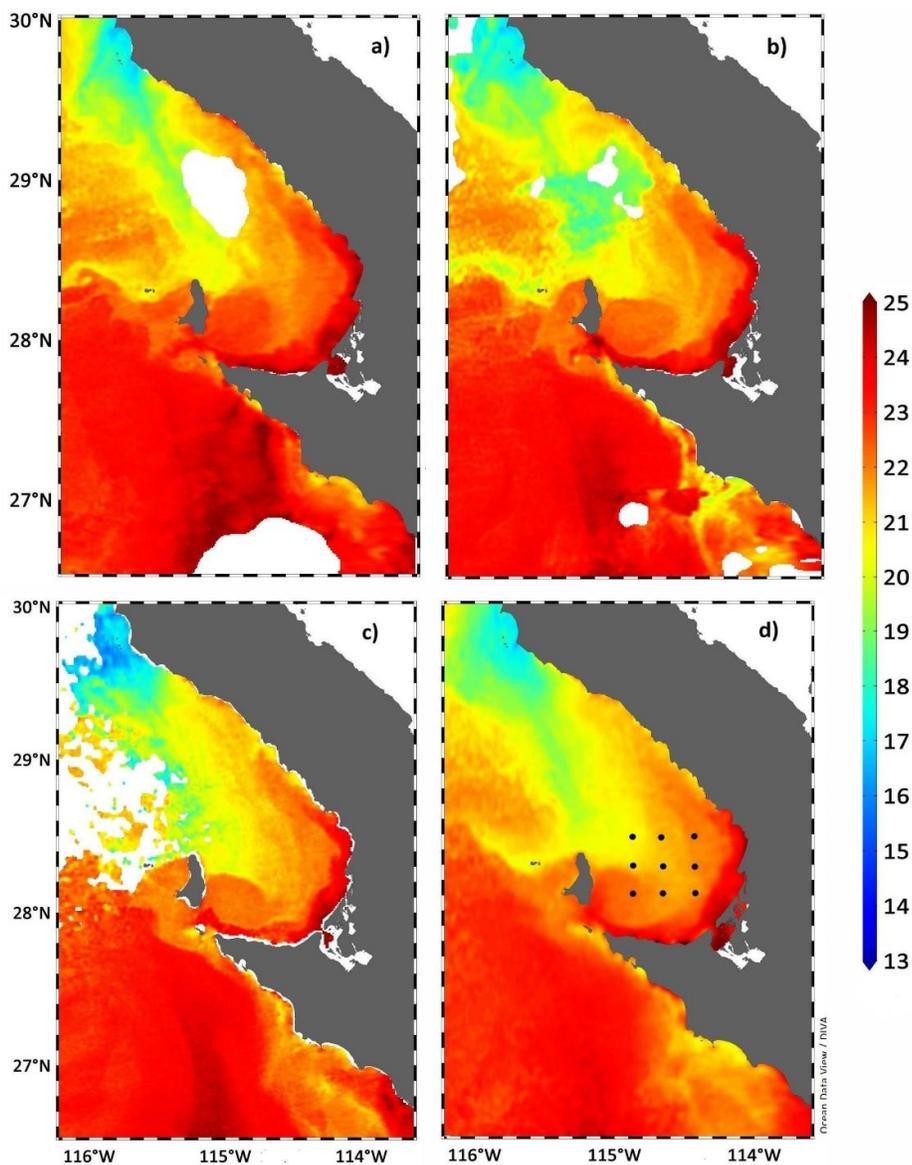


Figura 2. Imágenes de la SST (°C) de los días 13 (a), 14 (b) y 15 (c) de agosto 2017 y compuesta mensual (d).

Las imágenes de Cla también presentaron mucha nubosidad, siendo tres (13, 16 y 17 de agosto) las que permitieron la observación más completa de la región de estudio (Fig. 3a-3c). Así como se observó para la SST, la compuesta mensual (Fig. 3d) muestra los procesos observados en las imágenes diarias (Fig. 3a-3c), y en la cual, fue posible observar concentraciones de Cla entre 0.3 a 2 mg/m³. En general, se observaron las concentraciones más altas hacia el norte (> 1 mg/m³), y relacionadas a la zona de surgencia de Punta

Canoas, y su desplazamiento hacia el sur en coincidencia con el patrón observado en la SST (Fig. 2). Estas disminuyeron hacia el sur de la bahía, y los valores más bajos ($< 0.5 \text{ mg/m}^3$), se encontraron asociados al núcleo de mayor temperatura indicado anteriormente, frente a la Isla de Cedros (Fig. 3).

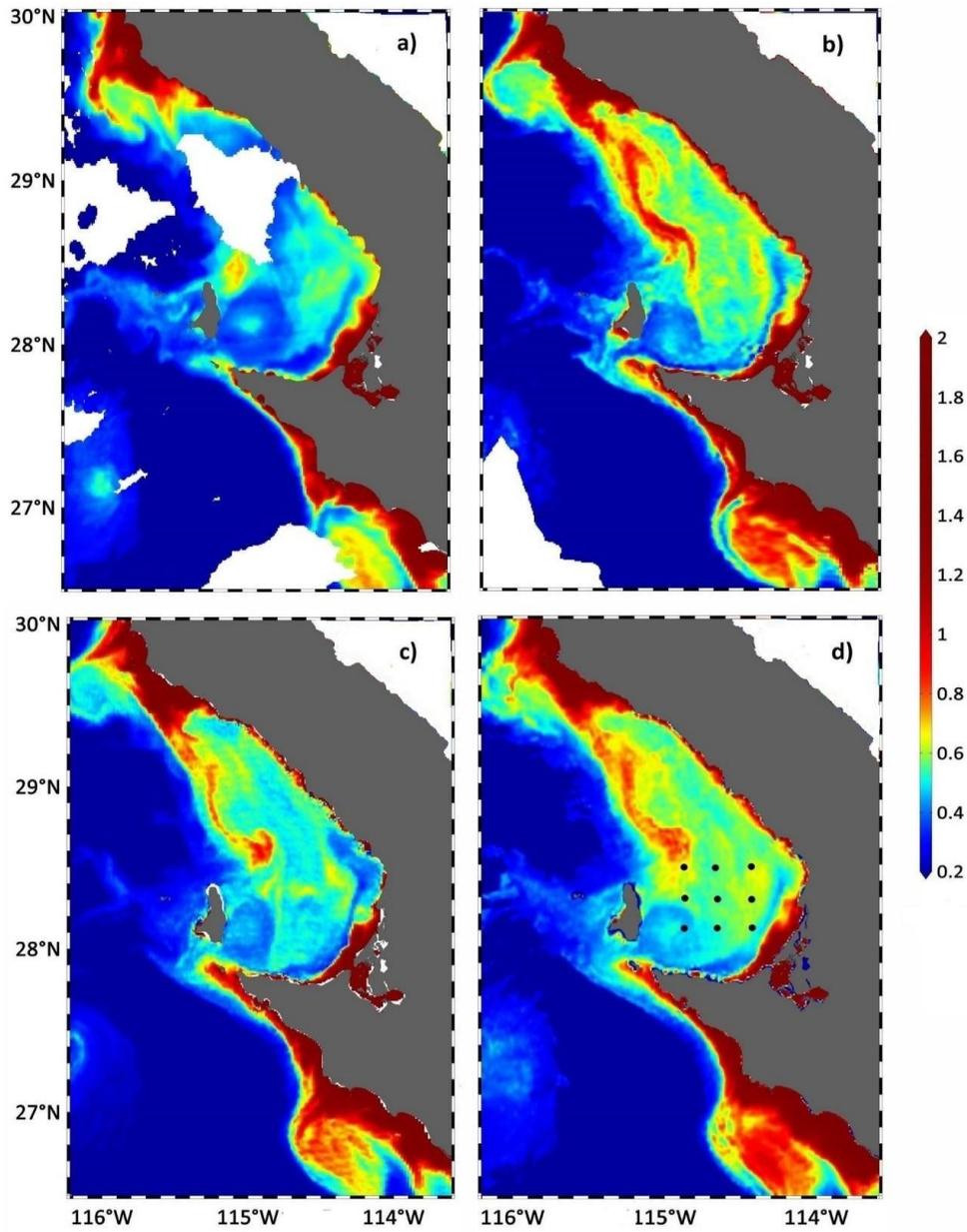


Figura 3. Imágenes de la concentración de Cla (mg/m^3) durante los días 13 (a), 16 (b) y 17 (c) de agosto 2017, y compuesta mensual (d).

La profundidad de la Ze (Fig. 4) en la zona central de BSV, donde se encuentran las estaciones de muestreo, varió entre 50 y 80 m de profundidad, con tendencia a aumentar hacia el sur.

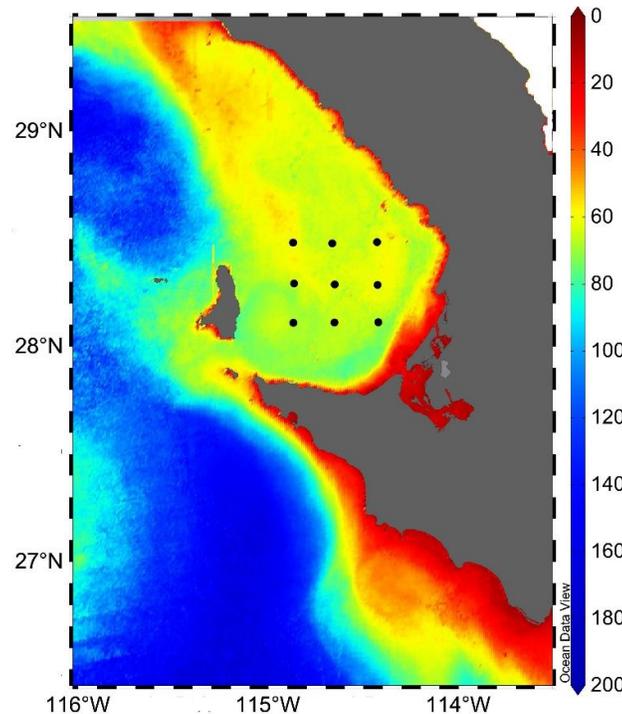


Figura 4. Profundidad de la zona eufótica (m) determinada a partir de la imagen de Kd490 promedio de los días del cruce (9 al 17 de agosto de 2017).

El análisis de los flujos geostroficados (Fig. 5) permitió observar que a lo largo de toda la costa norte de la península existe un predominio de flujos hacia el norte con velocidades de 10 a 15 cm/s. A su vez, se observa la presencia de múltiples estructuras, tanto ciclónicas como anticiclónicas. En especial, cerca de la zona de estudio, entre Isla de Cedros y frente a Punta Eugenia, se observaron dos de estos remolinos (uno ciclónico y el otro anticiclónico) cuyos flujos con mayor velocidad (sobresalen respecto al resto), convergen hacia BSV. Dentro de la bahía se observa la formación de un proceso de circulación de tipo ciclónica con flujos de menor velocidad que promueve una elevación del nivel del mar cercano a la costa y hacia el norte.

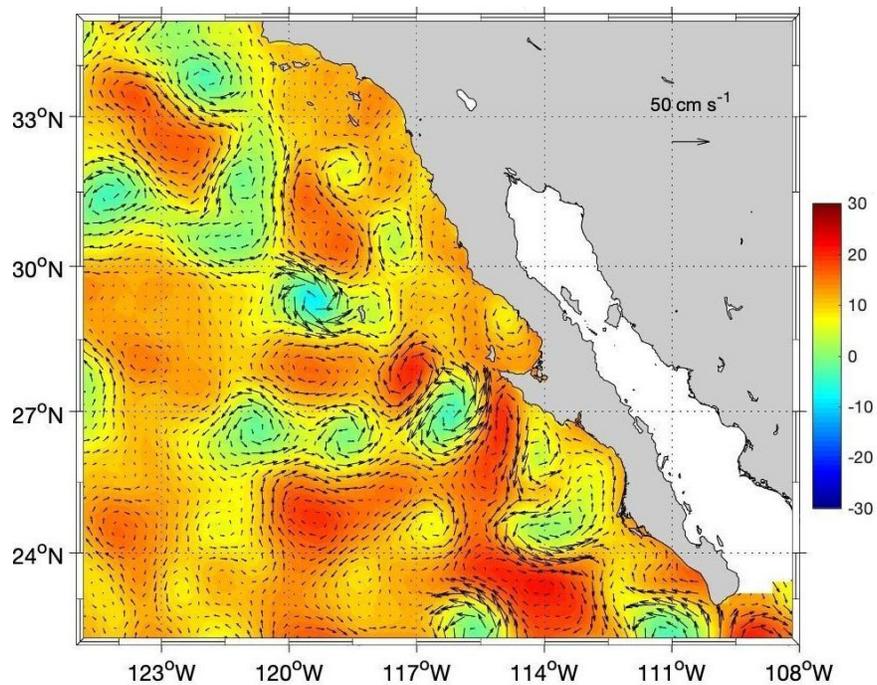


Figura 5. Imagen de las anomalías del nivel del mar y flujos geostróficos en el Pacífico oriental mexicano durante los días del 9 al 17 de agosto de 2017. La barra de colores indica la anomalía del nivel del mar (cm), donde valores negativos indican depresiones y positivos indican elevaciones. Los flujos geostróficos están indicados por las flechas, cuya longitud está directamente relacionada a la velocidad.

6.1.3 Masas de agua

Se elaboró el diagrama T-S (Fig. 6) para representar la distribución de los datos de todas las estaciones muestreadas durante agosto de 2017, el cual se presenta en dos versiones: una sobreponiendo la concentración de Cla (Fig. 6a) y la segunda sobreponiendo la concentración de oxígeno (Fig. 6b). Los intervalos termohalinos indican el predominio de agua de la CC en toda la columna de agua.

En ambos diagramas se puede observar una capa homogénea de baja salinidad desde la superficie hasta la isopicna o anomalía potencial de densidad de $\sim 25 \text{ kg/m}^3$, a partir de la cual, la salinidad comenzó a aumentar presentando la mayor pendiente en $\sim 25.4 \text{ kg/m}^3$ (Fig. 6). Las concentraciones de Cla no mostraron un patrón de distribución definido, ya que concentraciones mayores a 1 mg/m^3 se observan tanto en la capa superficial como

profunda (Fig. 6a). Por otro lado, la concentración de oxígeno presentó valores superiores a los 240 $\mu\text{mol/kg}$ desde la superficie hasta la isopícnica de aproximadamente 25 kg/m^3 a partir de la cual, el oxígeno comenzó a disminuir y alcanzó valores mínimos de hasta 20 $\mu\text{mol/kg}$ por debajo de los 25.4 kg/m^3 (Fig. 6b).

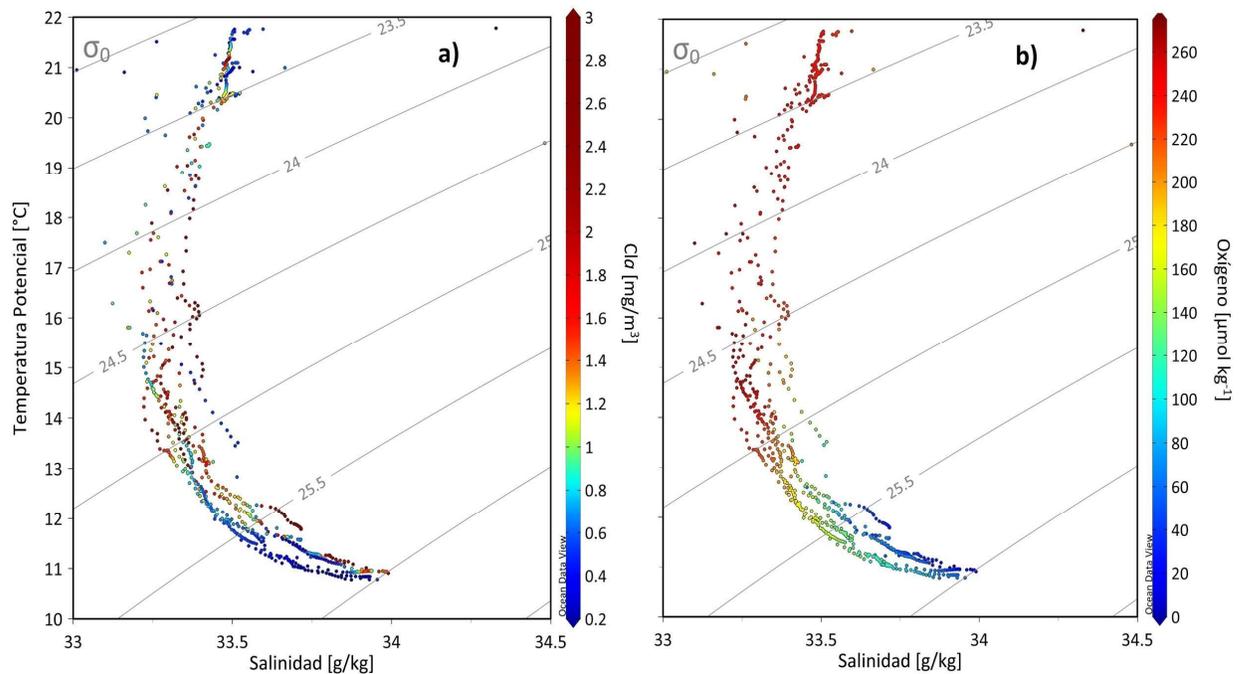


Figura 6. Diagramas de temperatura potencial (Θ , °C) y salinidad absoluta (g/kg) para todas las estaciones recorridas durante el crucero realizado en agosto de 2017 (Fig. 1). Las barras de colores indican **a)** concentración de Chl a (mg/m^3) y **b)** concentración de oxígeno disuelto ($\mu\text{mol/kg}$). Cada punto en el diagrama está asociado a la paleta de colores indicada a la derecha. Los contornos de línea gris continua indican las isopícnas (kg/m^3).

6.1.4 Datos hidrográficos

Se analizó la variabilidad espacial y en profundidad (los primeros 120 metros de la columna de agua) de la temperatura, salinidad y Chl a en tres secciones horizontales dentro de BSV; la sección más al norte formada por las estaciones VB1 a VB3, la sección central (VC1 a VC3) y la sección sureña (VD1 a VD3) (Fig. 1). En cada una de las secciones se

señaló la isopicna de 25.4 kg/m^3 para representar el inicio en la transición de una masa de agua con características diferentes al agua de la CC.

En el transecto B, las temperaturas más cálidas se observaron en superficie y cerca de la costa hacia la estación VB1 (Fig. 7a), con una termoclina entre los 15 y 20 m de profundidad, la cual se volvió más somera hacia afuera de la costa. A su vez, en la estación VB3 se observaron menores temperaturas superficiales ($\sim 19^\circ\text{C}$), así como un núcleo de mínima salinidad (~ 33) (Fig. 7b). La salinidad en superficie fue mayor en las estaciones cercanas a la costa de la península; se observaron salinidades de 33.2 en los primeros metros, la cual aumentó a ~ 33.5 hasta los ~ 18 metros de profundidad. Desde aproximadamente los 20 m hasta alrededor de los 50 m, la salinidad volvió a disminuir, y se mantuvo entre los 33.2 y 33.4. La isopicna de los 25.4 kg/m^3 se observó ubicada alrededor de los 60 m, la cual marcó el inicio de un nuevo aumento gradual en la salinidad, principalmente hacia las estaciones costeras, donde se observó un máximo salino de 34 a los 100 m de profundidad.

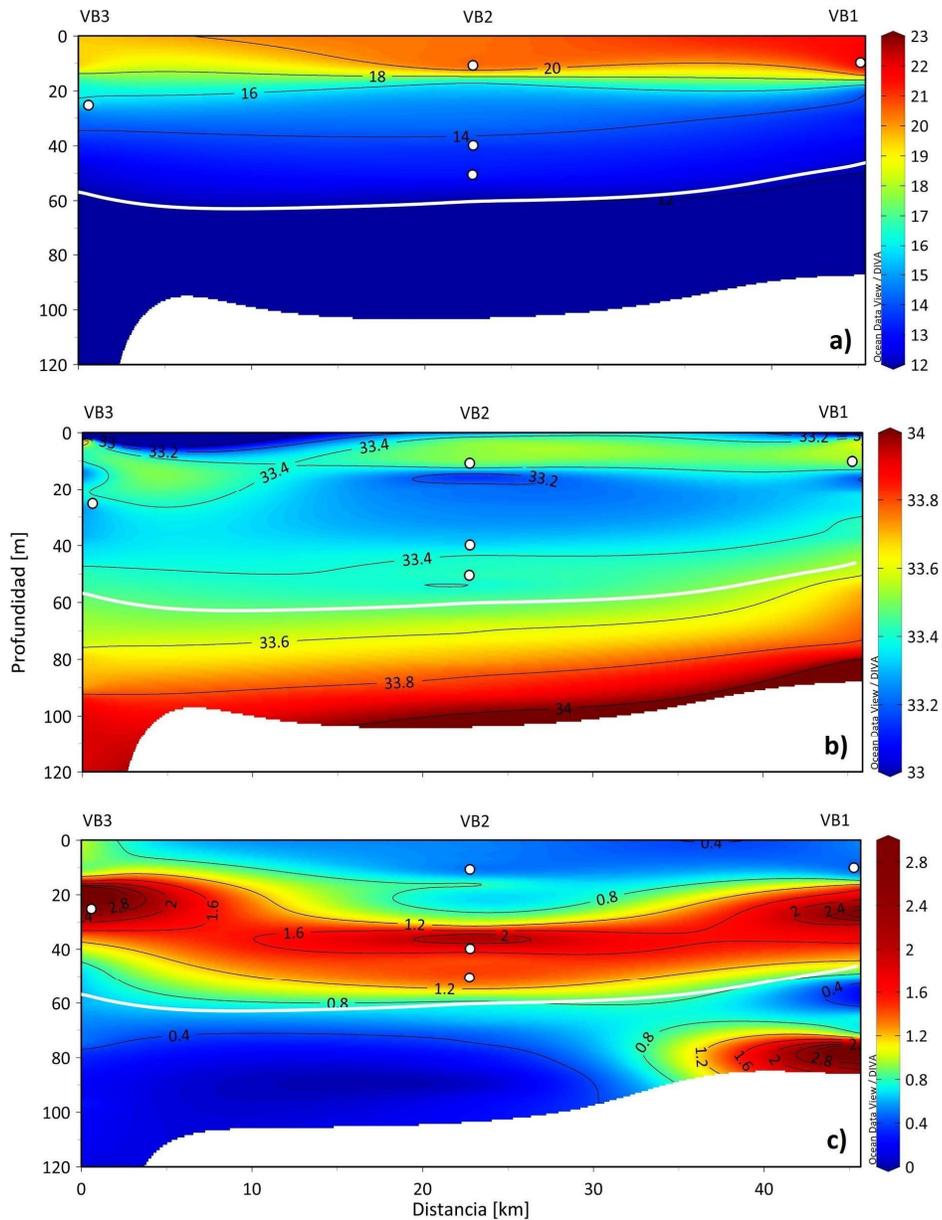


Figura 7. Distribución de las variables medidas con el CTD en el transecto B, donde a) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), b) Salinidad, c) concentración de Cla (mg/m^3). La línea blanca representa la isopicna de $25.4 \text{ kg}/\text{m}^3$ y los puntos blancos representan la profundidad de las muestras tomadas *in situ*. El nombre de la estación se encuentra arriba de cada transecto. La mayoría de las estaciones transcurrieron del 10 al 13 de agosto de 2017

La concentración de Cla se distribuyó en la columna de agua con la formación de un máximo subsuperficial, observado entre aproximadamente los 20 y 50 m de profundidad (Fig. 7c), el cual se encontró más somero en la estación VB1, se hizo más profundo en la BV2, y volvió a hacerse más somero en la VB3. Cabe resaltar que este se ubicó por encima

de la isopicna de los 25.4 kg/m^3 . Pero, en la estación VB1, se formó además un segundo máximo, ubicado por debajo de los 80 m de profundidad, con concentraciones superiores a los 2.8 mg/m^3 .

En la sección C, ubicada al centro de la bahía (Fig. 8a), la temperatura se distribuyó con una capa superficial de agua cálida ($> 20^\circ\text{C}$) de hasta 20 m de profundidad en la estación más costera (VC1) y hasta ~ 30 m de profundidad en la estación más oceánica (VC3). La salinidad (Fig. 8b) en los primeros metros de la columna presentó un núcleo mínimo (< 33.2) únicamente en la estación costera y de 33.4 en las estaciones hacia afuera de la costa. La capa subsuperficial (hasta los ~ 25 m) a lo largo de toda la sección, presentó un aumento de salinidad. Debajo de esta, la cual se ubicó también debajo de la isopicna de los 25.4 kg/m^3 (~ 70 m) y hasta el fondo, la salinidad aumentó gradualmente hasta los 33.8 en las estaciones más oceánicas, con un pico de salinidad de 34 en la estación costera. Cabe hacer notar que hacia la estación costera se observó un ascenso de la isopicna, así como de las isolíneas de salinidad.

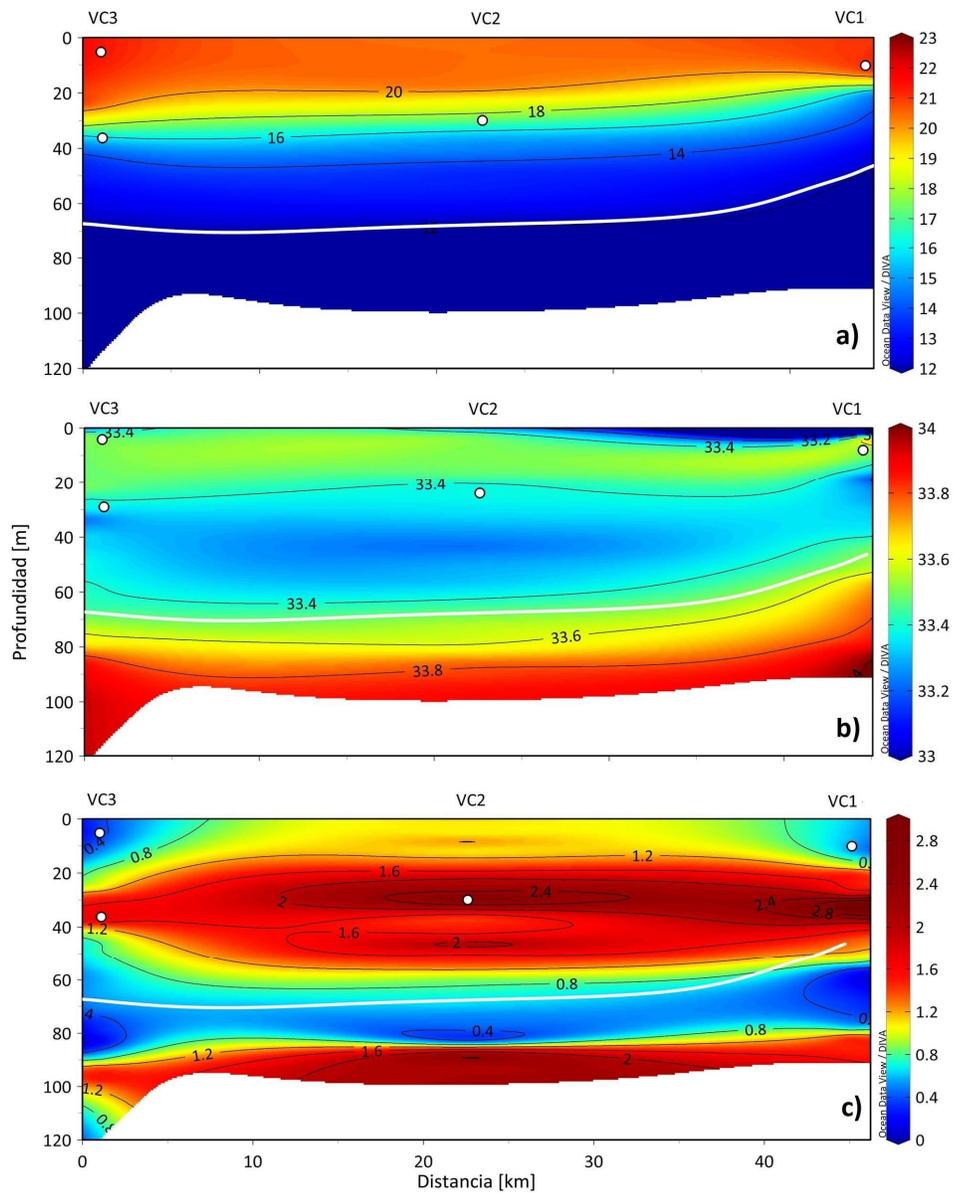


Figura 8. Distribución de las variables medidas con el CTD en el transecto C, donde a) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), b) Salinidad, c) concentración de Chl a (mg/m^3). La línea blanca representa la isopícnica de $25.4 \text{ kg}/\text{m}^3$ y los puntos blancos representan la profundidad de las muestras tomadas *in situ*. El nombre de la estación se encuentra arriba de cada transecto. La mayoría de las estaciones transcurrieron del 10 al 13 de agosto de 2017

La concentración de Chl a en superficie fue menor ($\sim 0.4 \text{ mg}/\text{m}^3$) en las estaciones costera y oceánica y aumentó en la estación central (Fig. 8c). El patrón de distribución vertical muestra nuevamente la formación de un máximo subsuperficial a lo largo de toda la sección, el cual se encontró desde los 20 hasta los 60 metros de profundidad. En especial

en la estación central (VC2) este presentó concentraciones de hasta 2.4 mg/m^3 y estuvo relacionado con la presencia del núcleo subsuperficial de baja salinidad (Fig. 8b) ubicado por encima de la isopícnica de los 25.4 kg/m^3 . A partir de los 60 y hasta los 80 metros la Cl_a disminuyó a 0.4 mg/m^3 . Entre los 80 y 100 metros de profundidad se observó la presencia de un segundo máximo, con concentraciones entre 0.8 y 2 mg/m^3 , mismo que se observó relacionado al núcleo de máxima salinidad encontrado a la misma profundidad (Fig. 8b).

La sección más sureña (trayecto D) presentó una capa superficial de agua cálida ($>20^\circ\text{C}$) hasta los 30 m de profundidad en la estación costera (VD1) y central, la cual se hizo más profunda (~ 50 m) en la estación más cercana a la Isla de Cedros (Fig. 9a). La salinidad (Fig. 9b) fue inferior a 33.4 en los primeros metros de la columna de agua, con un núcleo mínimo de 33 en la estación VD3. En subsuperficie se observó una capa de mayor salinidad (>33.4), la cual se volvió más profunda en la estación oceánica (VD3). Debajo de esta capa, la salinidad volvió a disminuir formando una capa que se hizo más delgada hacia la estación VD3. A partir de los 60 metros (donde se encontró la isopícnica de 25.4 kg/m^3) y hasta los 80 metros de profundidad se observaron las salinidades más altas.

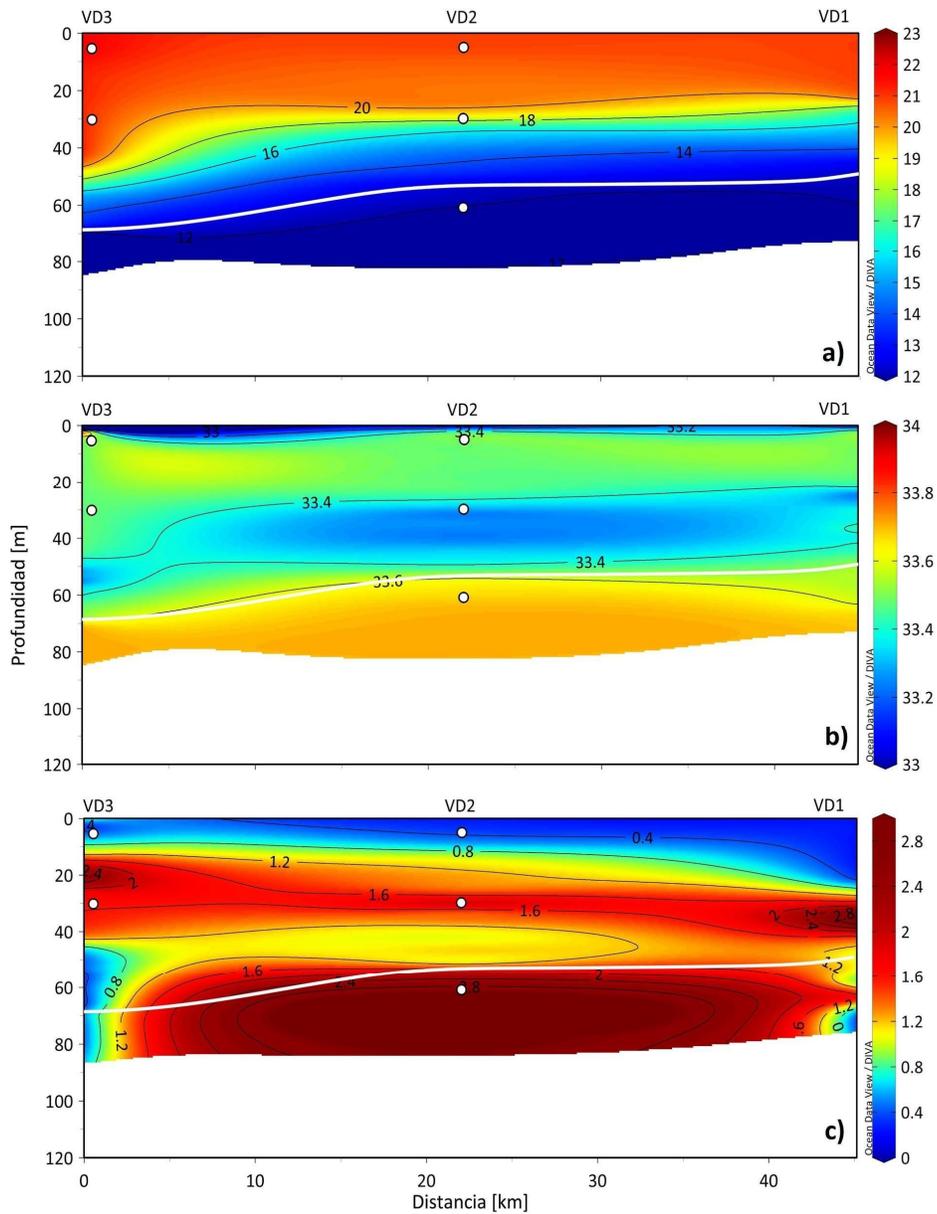


Figura 9. Distribución de las variables medidas con el CTD en el transecto D, donde a) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), b) Salinidad, c) concentración de Cla (mg/m^3). La línea blanca representa la isopicna de $25.4 \text{ kg}/\text{m}^3$ y los puntos blancos representan la profundidad de las muestras tomadas *in situ*. El nombre de cada estación se encuentra arriba de cada transecto. La mayoría de las estaciones transcurrieron del 10 al 13 de agosto de 2017

Las concentraciones de Cla (Fig. 9d) fueron nuevamente bajas ($\sim 0.4 \text{ mg}/\text{m}^3$) en superficie. Un máximo subsuperficial se observó entre los 10 y 40 m, y se ubicó más somero en la estación VD3 que en la VD1. Debajo de los 60 m (y de la isopicna de los $25.4 \text{ kg}/\text{m}^3$)

se formó nuevamente un segundo máximo con concentraciones superiores a 2.8 mg/m³ en la estación VD2.

6.1.5 Pigmentos y grupos fitoplanctónicos

Durante este crucero se tomaron muestras para medición de la concentración de pigmentos en 7 de las 9 estaciones, pero no en todas las profundidades (indicadas en la figura 10). Una lista de los pigmentos detectados, su concentración promedio e intervalos de variación se muestran en la tabla en el Anexo 6. En general, las concentraciones de Cla en superficie (Fig. 10a) se encontraron por debajo de 0.5 mg/m³ en todas las estaciones, mientras que en el máximo subsuperficial (Fig. 10b) las concentraciones fueron de casi 1 mg/m³ (estación VB3 y VC2). Los grupos taxonómicos detectados durante este crucero y los intervalos de variación en su abundancia se describen en la tabla 3 (Sección 7.2.4). En la única muestra tomada en el segundo máximo (VD2), la concentración de Cla se observó de casi 2 mg/m³, donde el grupo fitoplanctónico con mayor contribución fue el de las primnesiofitas con más del 80%, seguido de las diatomeas (Fig. 10b). En general, el grupo taxonómico predominante en ambas profundidades fueron las primnesiofitas, el cual presentó contribuciones entre 32 y 50% (sin considerar la muestra del segundo máximo). *Prochlorococcus* se observó presente en superficie y subsuperficie principalmente en las estaciones al norte (B), con una tendencia a disminuir hacia el sur de la bahía. Las cianobacterias se encontraron predominando en superficie, mientras que las prasinofitas fueron más abundantes en profundidad. Las diatomeas y dinoflagelados se observaron escasas en superficie con un ligero aumento en subsuperficie y con una tendencia a aumentar hacia el sur. Los grupos con menor contribución fueron las crisofitas (presentes principalmente en superficie), las criptofitas (presentes principalmente en subsuperficie) y las clorofitas que no mostraron un patrón vertical definido.

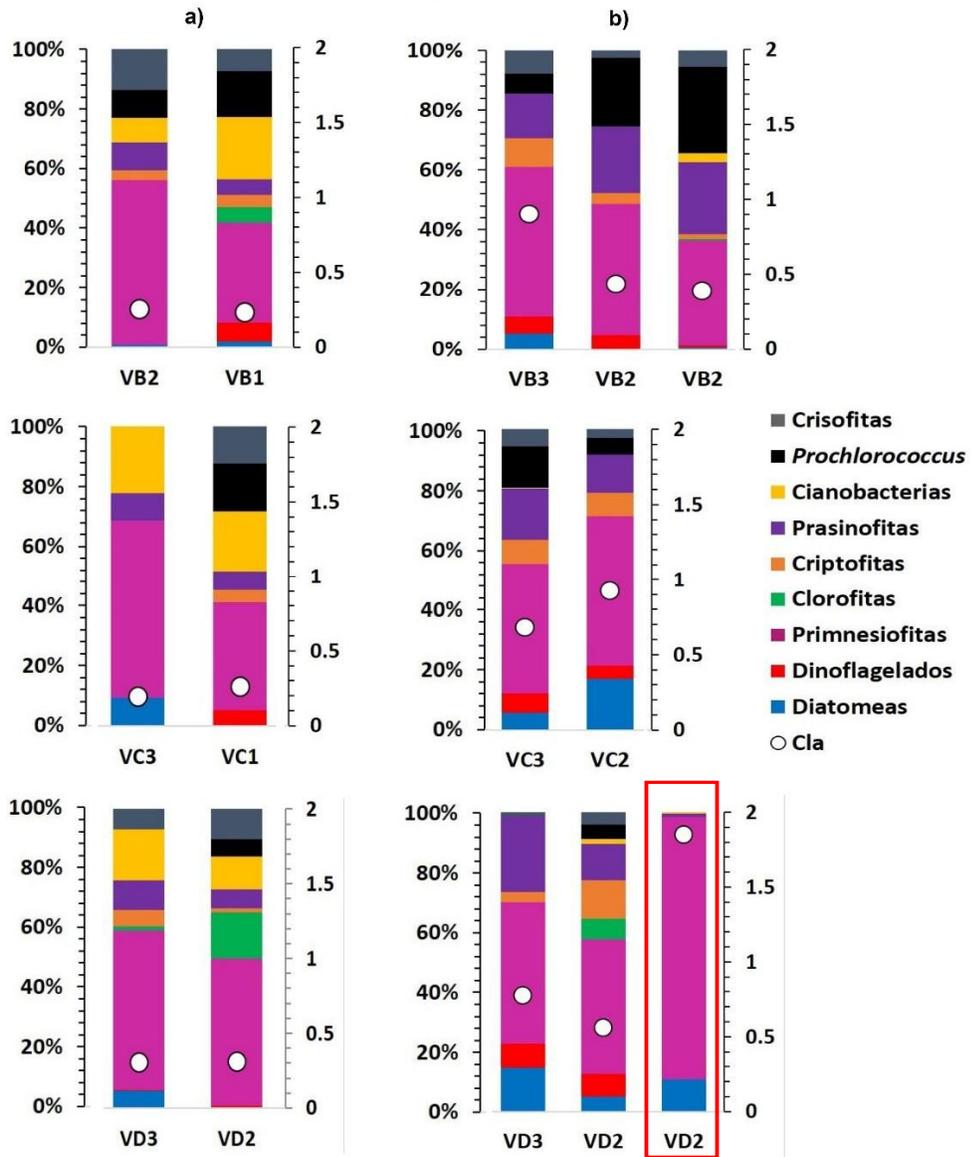


Figura 10. Porcentaje de contribución de los grupos del fitoplancton (a) en superficie y (b) en el máximo subsuperficial, para cada sección. El recuadro rojo señala la única muestra (VD2) tomada del segundo máximo subsuperficial. Las barras de colores corresponden a los grupos listados en la leyenda. Los círculos blancos indican la concentración de Cla (mg/m^3 , eje derecho).

6.2 CRUCERO DE ABRIL 2018

6.2.1 Información satelital

Este crucero se caracterizó por presentar mayor nubosidad que el primero, pero se pudieron obtener tres imágenes de la SST (Fig. 11) que permitieron observar los patrones generales de su distribución. Nuevamente, las temperaturas más bajas ($<14^{\circ}\text{C}$) se observaron en la zona de surgencias frente a Punta Canoas, cuyo desplazamiento hacia el sur y distribución al norte de nuestra zona de estudio, fue visible en todas las imágenes. El ingreso de las aguas de surgencia se observó principalmente por el lado noreste de la bahía, la cual se distribuyó siguiendo la morfología y afectando principalmente a las estaciones cercanas a la costa (Fig. 11d). En las imágenes diarias, así como en el promedio del mes (Fig. 11a, b y d) se observó la formación de una estructura anticiclónica dentro de la bahía, con un núcleo de agua más cálida ($\sim 17^{\circ}\text{C}$) ubicado frente a la isla de Cedros. Es importante destacar las surgencias que también se observaron fuera de la bahía frente a Punta Eugenia y su desplazamiento hacia el sur, la cual se apreció con mayor intensidad el día 13 de abril (Fig. 11b).

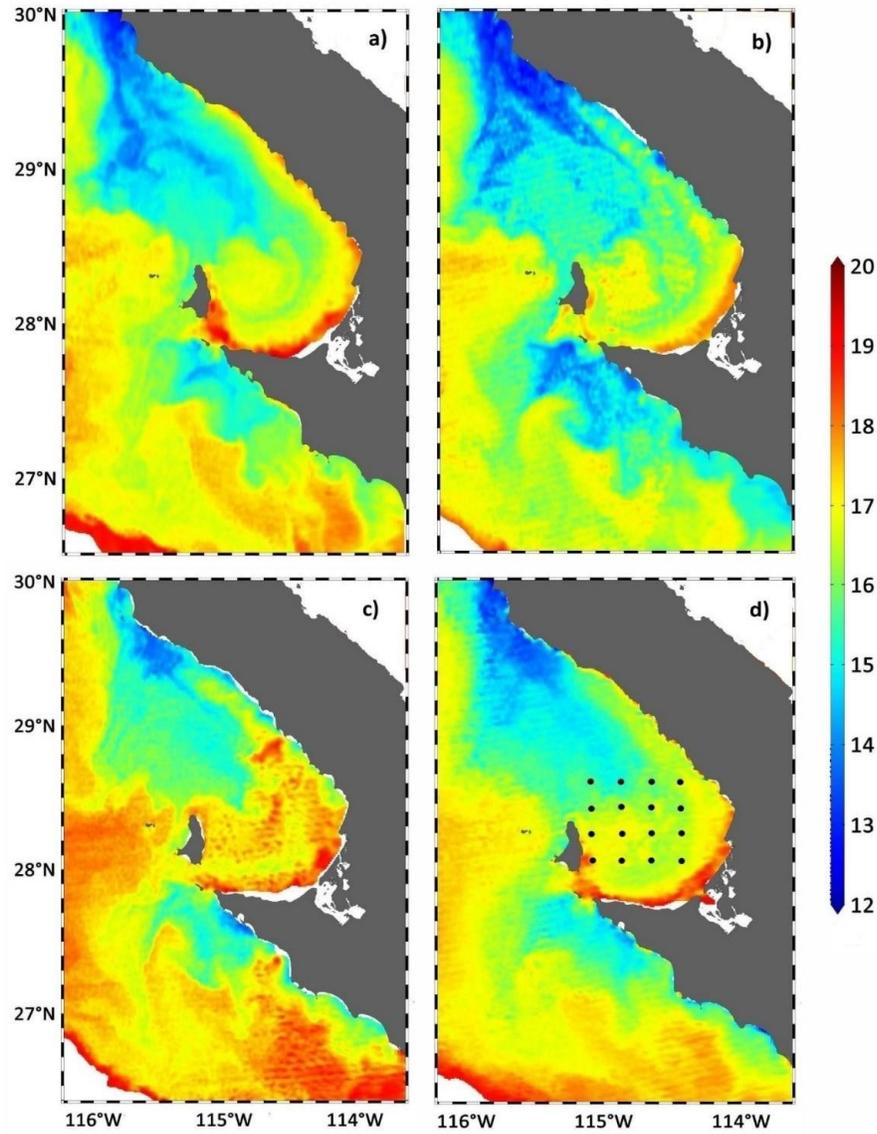


Figura 11. Imágenes compuestas de SST (°C) de los días 12 (a), 13 (b) y 14 (c) de abril 2018, y compuesta mensual (d).

Las concentraciones de Cla fueron mucho más elevadas respecto a lo observado en el crucero anterior (Fig. 12), con valores que alcanzaron hasta 2 mg/m^3 y que se distribuyeron sobre una región muy extensa, desde Punta Canoas y hacia el interior de la bahía. Su distribución espacial se dio siguiendo la morfología de la costa y evidenció una estructura anticiclónica que también fue visible en las imágenes de la SST (Fig. 11). Esta estructura anticiclónica se caracterizó por tener su centro frente a la isla de Cedros, donde

las concentraciones de Cla disminuyeron considerablemente ($\sim 0.6 \text{ mg/m}^3$), en coincidencia con las mayores SST (Fig. 11).

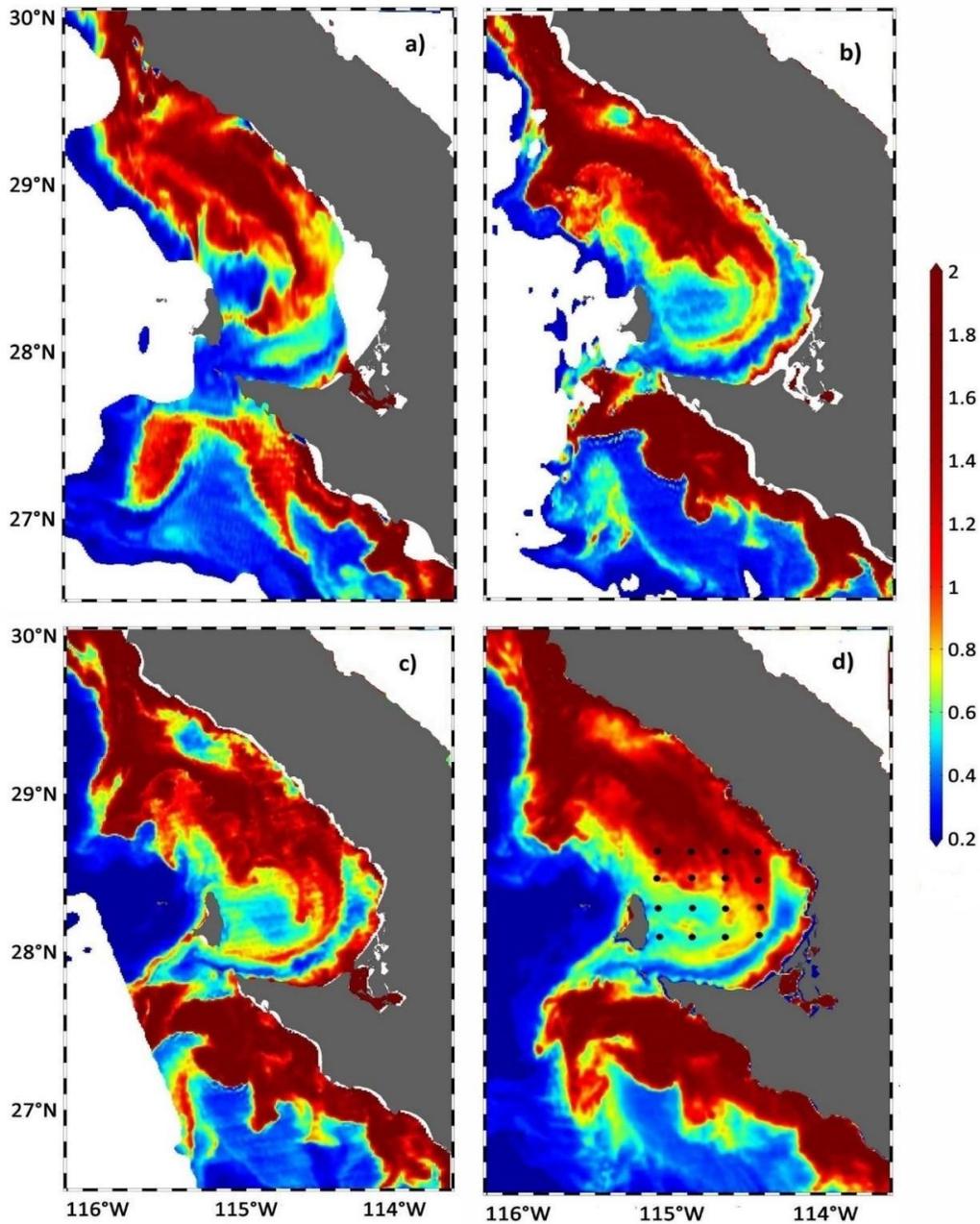


Figura 12. Imágenes compuestas de concentración de Cla (mg/m^3) de los días 6 (a), 12 (b) y 13 (c) de abril 2018, y compuesta mensual (d).

La profundidad de la Ze (Fig. 13) varió entre 20 y 60 m de profundidad en las estaciones de muestreo, con un aumento hacia el sur y los máximos observados frente a la Isla de Cedros. Cabe mencionar que los datos generados para este crucero se vieron muy

afectados por la nubosidad, lo que indica que el promedio puede estar sobrestimando los datos para cada día de crucero, esto es que la Ze puede haber sido menor.

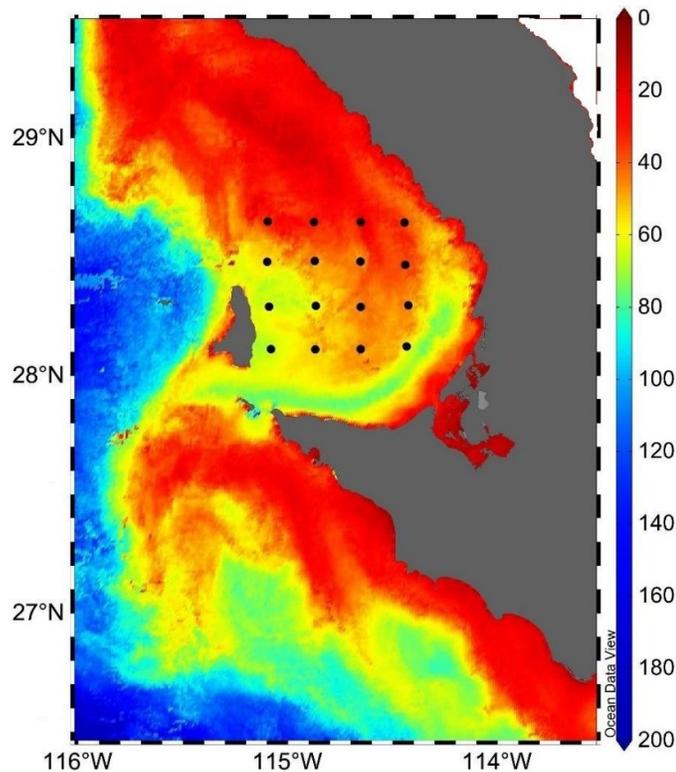


Figura 13. Profundidad de la zona eufótica (m), compuesta promedio de los días 3 al 14 de abril de 2018.

Los flujos geostroficados indican un predominio hacia el sur (Fig. 14), y la circulación dentro de la bahía muestra una tendencia ciclónica con flujos que se dirigen hacia la costa. Así mismo, estos flujos fueron en general de menor velocidad, respecto al crucero de

agosto. Nuevamente, frente a Punta Eugenia se observa el encuentro de dos estructuras contrarias, una anticiclónica al sur, y una ciclónica al norte.

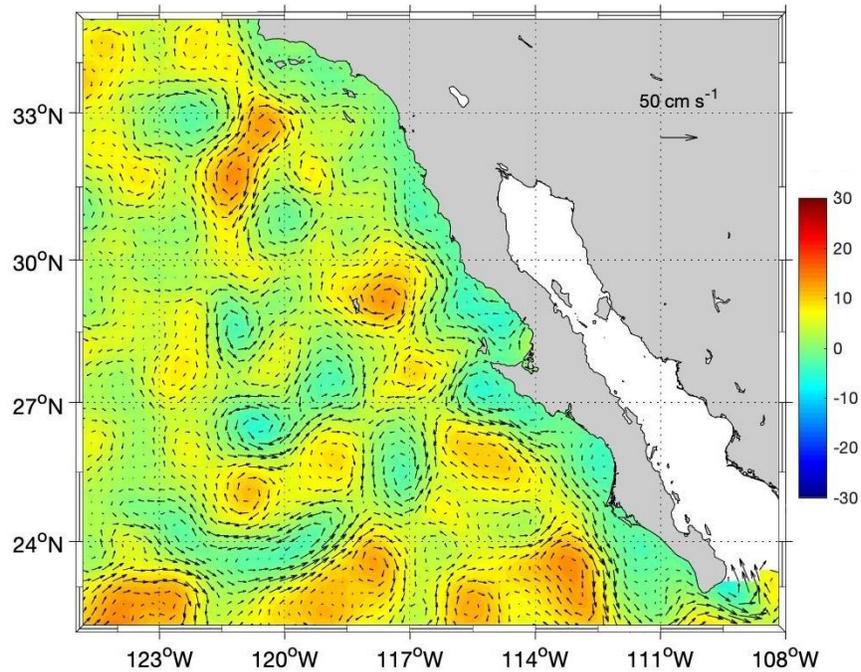


Figura 14. Promedios de anomalías del nivel del mar (cm) en el Pacífico oriental mexicano durante los días del 3 al 14 de abril de 2018. La barra de colores indica la velocidad de los flujos geostroáficos.

6.2.2 Masas de agua

El siguiente diagrama T-S (Fig. 15) representa la distribución de los datos de todas las estaciones muestreadas durante abril de 2018. Los intervalos termohalinos indican nuevamente el predominio de agua de la CC en toda la columna de agua.

Se observó una capa con salinidades alrededor de 33.5, la cual se mantiene desde la superficie hasta la isopícnica de los 25 kg/m³ (Fig. 15) A partir de este punto, la salinidad aumentó hasta concentraciones de 34.3. Por otro lado, las mayores concentraciones de Cla (>1 mg/m³) (Fig. 15) se encontraron distribuidas principalmente en la capa superficial entre la isopícnica de 24.5 y 25 kg/m³.

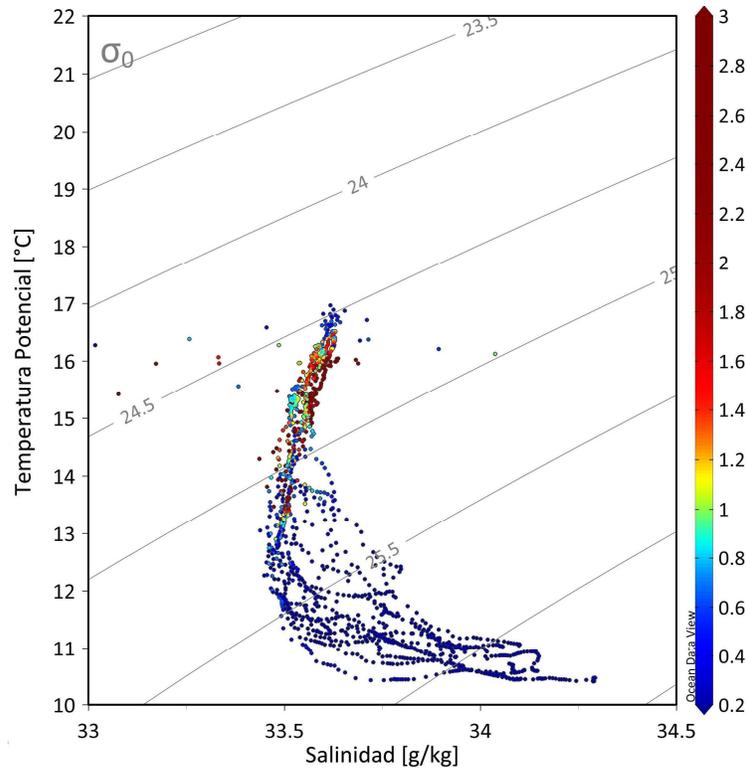


Figura 15. Diagrama de temperatura potencial = TP (Θ , °C) y salinidad absoluta (g/kg) para todas las estaciones recorridas durante el crucero realizado en abril de 2018 (Fig. 1). La barra de colores indica la concentración de clorofila (mg/m^3) y cada punto en el diagrama está asociado a esta paleta. Los contornos de líneas gris continua indican las isopícnas (kg/m^3)

6.2.3 Datos hidrográficos

En la primera sección de estaciones (VA1 a VA4), la temperatura presentó máximos de 16°C hasta aproximadamente los 10 metros de profundidad (Fig. 16a). A su vez, la isoterma de los 12°C muestra un ligero hundimiento entre las estaciones VA3 y VA4, lo que concuerda con lo indicado por la isopícnica de $25 \text{ kg}/\text{m}^3$, aunque en general esta se encontró por encima de los 20 m de profundidad. Por debajo de esta, se observaron temperaturas muy homogéneas. La salinidad (Fig. 16b) varió entre 33 y 34, con los mínimos en los primeros metros de la columna de agua a lo largo de toda la sección. En subsuperficie (entre los 10 y 20 metros), se observó la presencia de dos núcleos con salinidad superior a 33.8 ubicados entre las estaciones VA2 y VA4, y que se extiende hacia la VA1 con salinidad

ligeramente menor (~ 33.6). La salinidad vuelve a disminuir entre los 20 y 60 m, y se vuelve a incrementar gradualmente a partir de ahí.

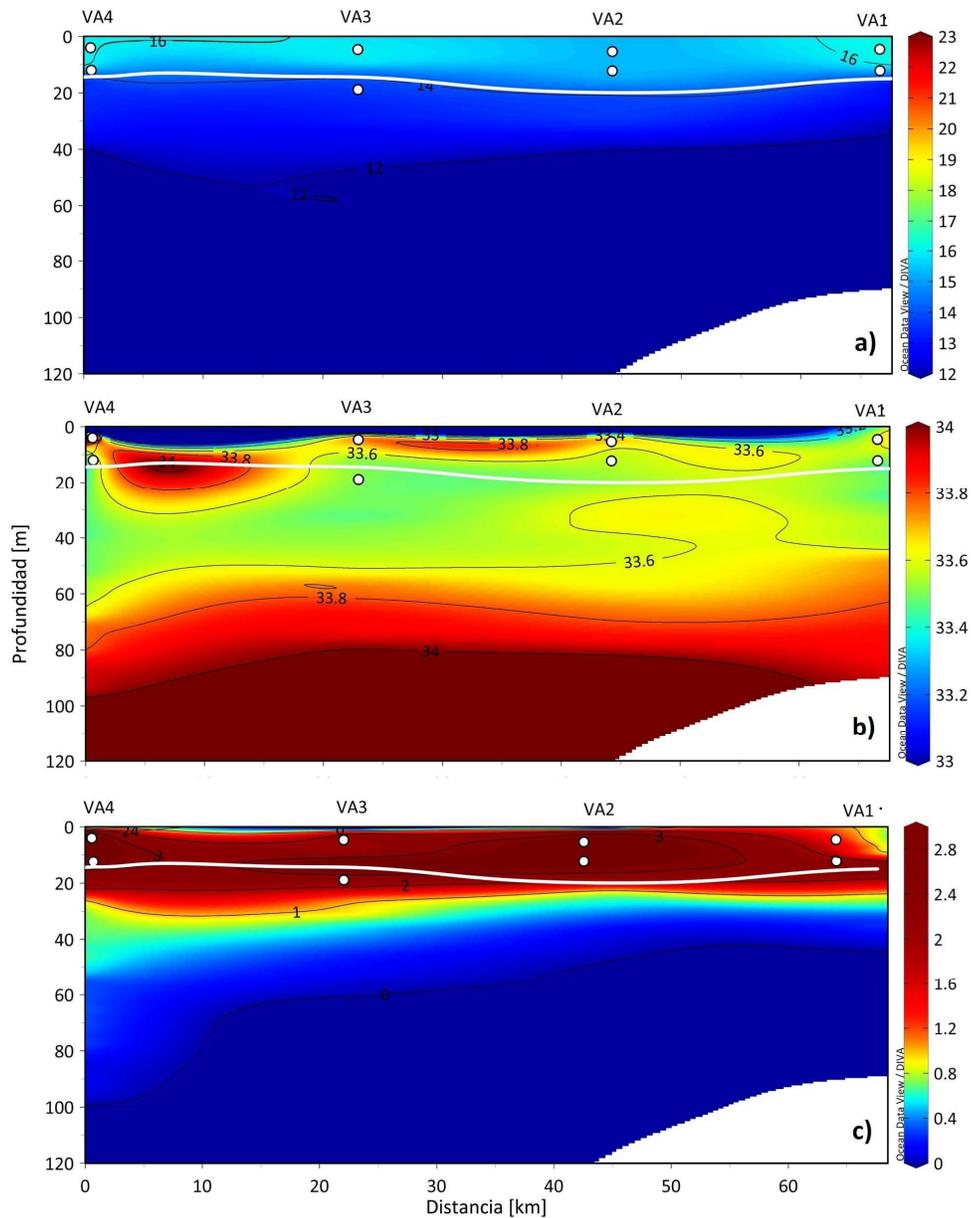


Figura 16. Distribución de las variables medidas con el CTD en el transecto A, donde a) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), b) Salinidad, c) concentración de Chl a (mg/m^3). La línea blanca representa la isopícnica de $25 \text{ kg}/\text{m}^3$ y los puntos blancos representan la profundidad de las muestras tomadas *in situ*. El nombre de cada estación se encuentra arriba de cada transecto. La mayoría de las estaciones transcurrieron del 5 al 13 de abril de 2018.

La concentración de Cla se observó bastante homogénea a lo largo de la sección, con los máximos (entre 1 y 3 mg/m³) en una capa superficial de entre 20 y 30 m, esto es, ubicada por encima de la isopicna de los 25 kg/m³ (Fig. 16c). Un núcleo con valores de hasta 3 mg/m³ se observó en las estaciones VA2 y VA3. Por debajo de este máximo y hasta aproximadamente los 40 metros de profundidad, las concentraciones de Cla fueron relativamente menores (<1 mg/m³) y disminuyeron a valores de 0.4 mg/m³ entre los 60 y 100 metros.

En la segunda sección (B) la isopicna de los 25 kg/m³ se encontró mucho más profunda que en la sección anterior (Fig. 17), y pasó de estar a 20 m en la estación VB1 a 50 m en la VB4 (Fig. 17a). Nuevamente, una capa mínima de salinidad (33.2) se encontró en los primeros metros de la columna de agua (Fig. 17b), la cual se incrementó y volvió a disminuir hasta aproximadamente los 60 m. La isohalina de los 33.6 pareció indicar el punto a partir del cual la salinidad volvió a aumentar gradualmente alcanzando valores de hasta 34 por debajo de los 80 m.

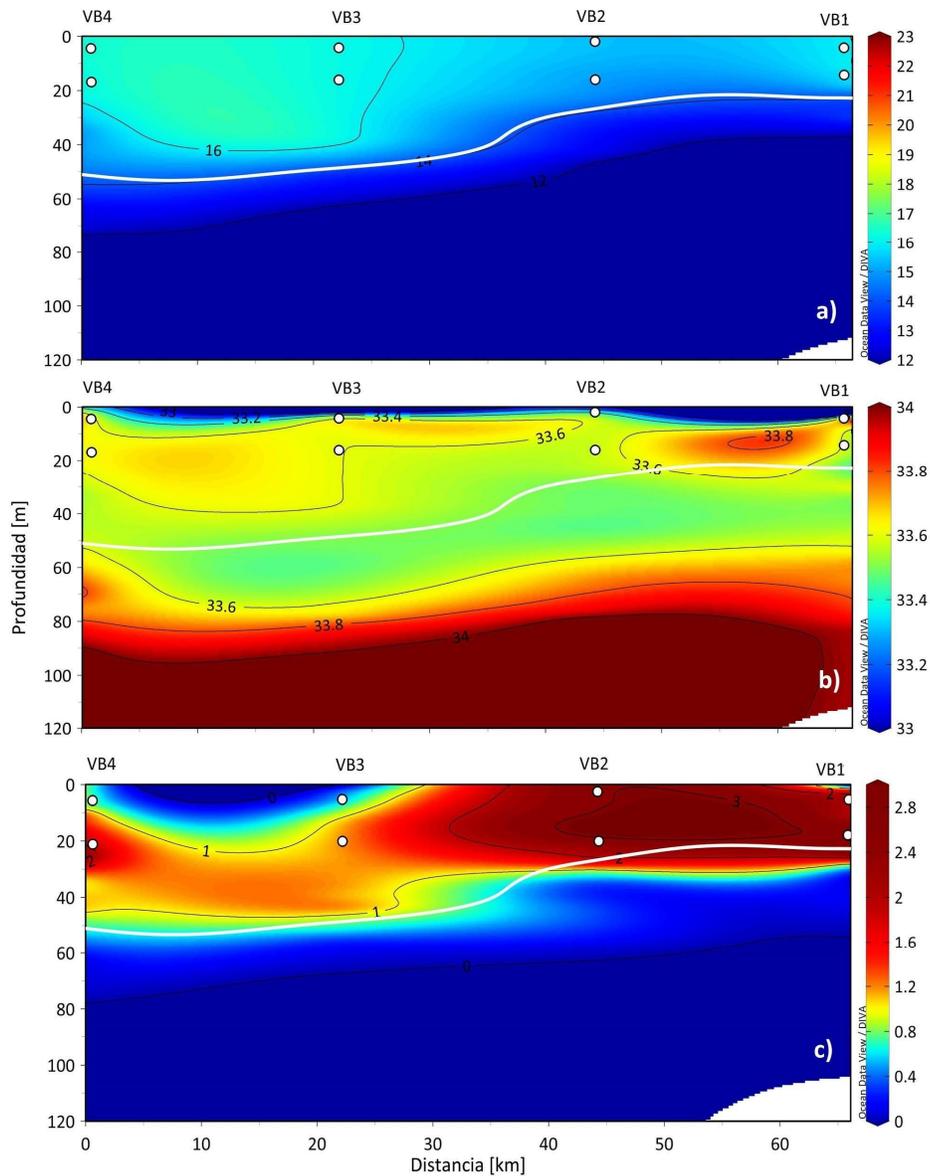


Figura 17. Distribución de las variables medidas con el CTD en el transecto B, donde a) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), b) Salinidad, c) concentración de Cla (mg/m^3). La línea blanca representa la isopícna de $25 \text{ kg}/\text{m}^3$ y los puntos blancos representan la profundidad de las muestras tomadas *in situ*. El nombre de estación se encuentra arriba de cada transecto. La mayoría de las estaciones transcurrieron del 5 al 13 de abril de 2018.

La concentración de Cla (Fig. 17d) volvió a presentar una distribución donde los máximos tendieron a observarse por encima de la isopícna de los $25 \text{ kg}/\text{m}^3$, lo que llevó a que estos fueran superficiales en las estaciones VB1 y VB2, y pasaran a distribuirse a mayor profundidad en las estaciones VB3 y VB4. En las estaciones más costeras las

concentraciones llegaron a 3 mg/m^3 , mientras que, en aquellas donde el máximo se observó subsuperficial estas no pasaron de 2 mg/m^3 .

En la tercera sección (C), el patrón de distribución de la isopicna de los 25 kg/m^3 y de la temperatura (Fig. 18a) fue muy similar a la anterior, pero las temperaturas más altas ($\sim 17^\circ\text{C}$) se encontraron en las estaciones centrales (VC2 y VC3) en superficie. Por otro lado, la isopicna mostró un hundimiento muy acentuado en la estación VC3. Las menores salinidades (~ 33) se observaron nuevamente en superficie en las estaciones cercanas a la costa (VC1 y VC2) (Fig. 18b) y justo por debajo la salinidad aumentó a 33.8. A partir de la isohalina de los 33.6 la salinidad volvió a aumentar (debajo de los 80 m).

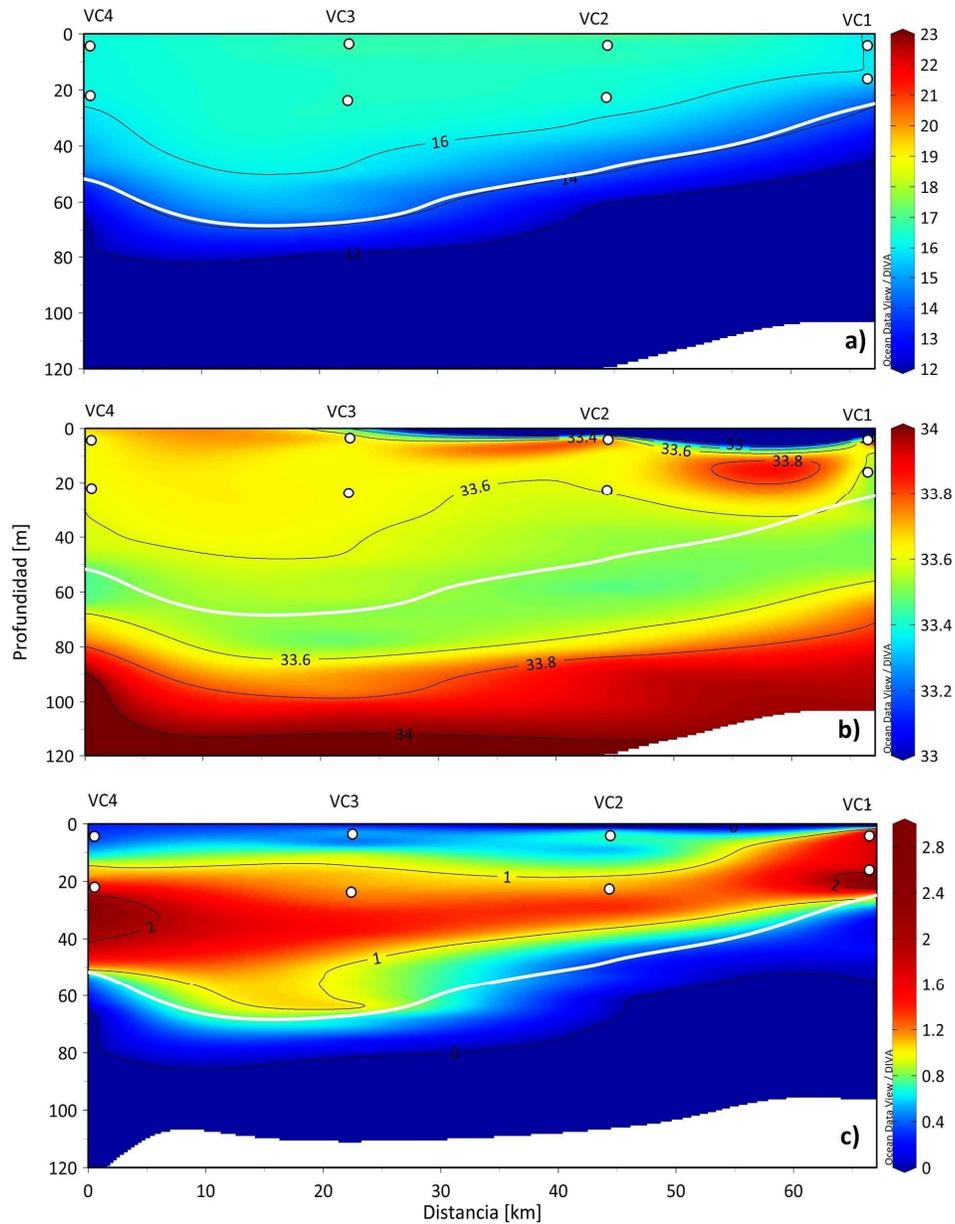


Figura 18. Distribución de las variables medidas con el CTD en el transecto C, donde a) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), b) Salinidad, c) concentración de Cla (mg/m^3). La línea blanca representa la isopícna de $25 \text{ kg}/\text{m}^3$ y los puntos blancos representan la profundidad de las muestras tomadas *in situ*. El nombre de estación se encuentra arriba de cada transecto. La mayoría de las estaciones transcurrieron del 5 al 13 de abril de 2018.

La concentración de Cla presentó concentraciones bajas ($<0.4 \text{ mg}/\text{m}^3$) en los primeros metros (Fig.18c) a lo largo de toda la sección. En esta ocasión, los máximos se observaron en subsuperficie, aunque este fue más somero ($\sim 20\text{m}$) en la estación VC1 y aumentó gradualmente hacia la VC4 ($\sim 35 \text{ m}$), donde presentó valores superiores a $2 \text{ mg}/\text{m}^3$.

Nuevamente, las máximas concentraciones de Cl_a se distribuyeron por encima de la isopicna de los 25 kg/m³.

En la sección ubicada hacia el sur de la bahía, las mayores temperaturas superficiales (~17°C) se observaron en la estación más oceánica ubicada frente a Isla de Cedros (VD4) (Fig. 19a). Así mismo, la isopicna de los 25 kg/m³ presentó un patrón similar a lo observado en las demás secciones, aumentando su profundidad hacia la misma estación (VD4). A partir de los 60 m y hasta el fondo se encontraron temperaturas inferiores a 12°C. La salinidad (Fig. 19b) se observó mínima en los primeros metros de la columna de agua (~ 33.4) a lo largo de toda la sección y aumentó con salinidades entre 33.5 y 33.6 hasta los 60 metros de profundidad. Las mayores salinidades se observaron nuevamente por debajo de los 60 metros con un núcleo máximo de 34 en la estación VD4.

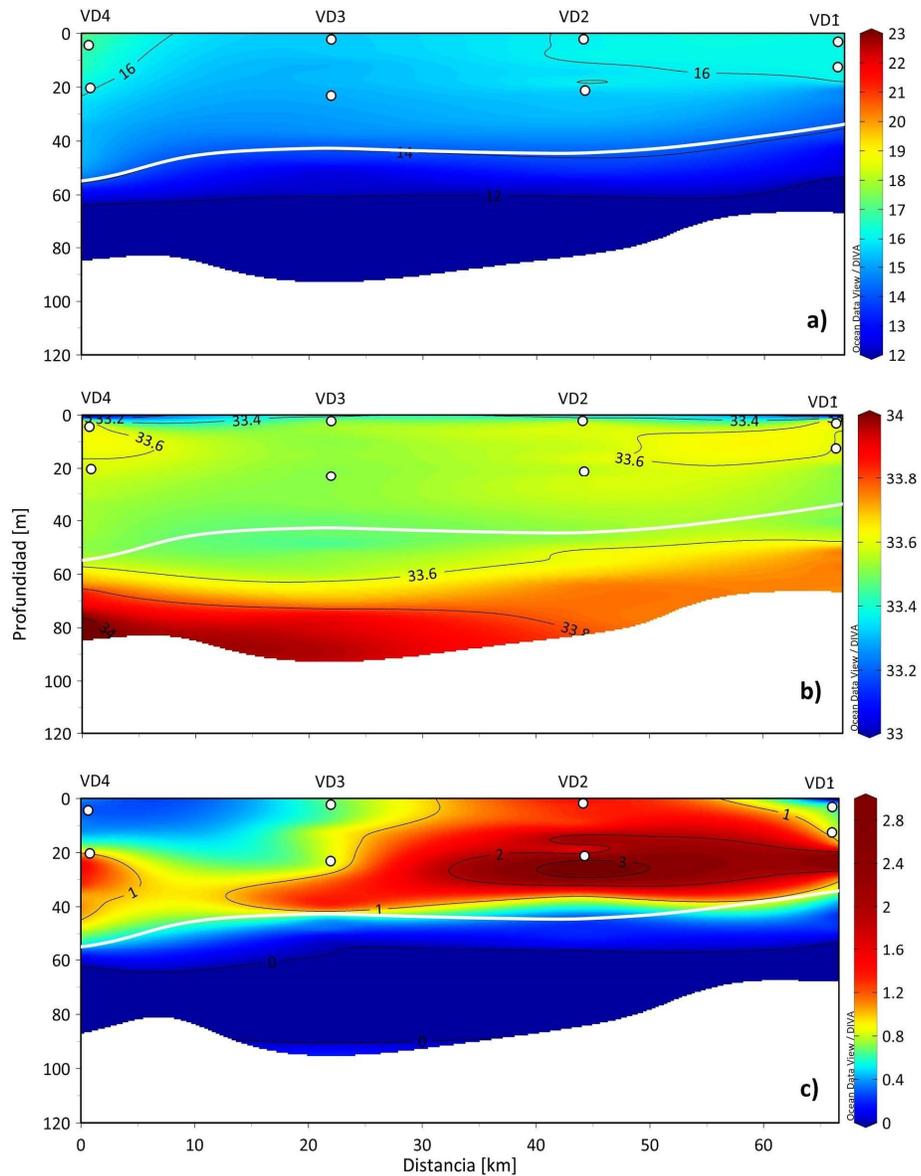


Figura 19. Distribución de las variables medidas con el CTD en el transecto D, donde a) Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), b) Salinidad, c) concentración de Cla (mg/m^3). La línea blanca representa la isopícna de $25 \text{ kg}/\text{m}^3$ y los puntos blancos representan la profundidad de las muestras tomadas *in situ*. El nombre de estación se encuentra arriba de cada transecto. La mayoría de las estaciones transcurrieron del 5 al 13 de abril de 2018.

La concentración de Cla (Fig. 19c) presentó un máximo superficial con concentraciones entre 1 y $3 \text{ mg}/\text{m}^3$, que se extendieron hasta los 40 metros de profundidad en las estaciones costeras y que se observaron subsuperficiales (entre 20 y 40 metros) en

las estaciones frente a la isla. A partir de los 50 metros y hacia el fondo, las concentraciones de clorofila fueron menores a 0.4 mg/m^3 .

6.2.4 Pigmentos y grupos fitoplanctónicos

Una lista de los pigmentos detectados durante este crucero, su concentración promedio e intervalos de variación se muestran en la tabla en el Anexo 7. Las concentraciones de Cla variaron entre 0.02 a 2.24 mg/m^3 (Fig. 20), las cuales se distribuyeron con los valores más altos hacia las estaciones del norte (principalmente en la estación VA3, donde el grupo fitoplanctónico predominante fueron las diatomeas), tanto en superficie como en subsuperficie (Fig. 20a, b). Las menores concentraciones de Cla se observaron en superficie en las dos secciones más sureñas, principalmente en la estación costera VC1 (donde se observó la mayor proporción de dinoflagelados) y en la estación frente a Isla de Cedros (VD4) (Fig. 20a).

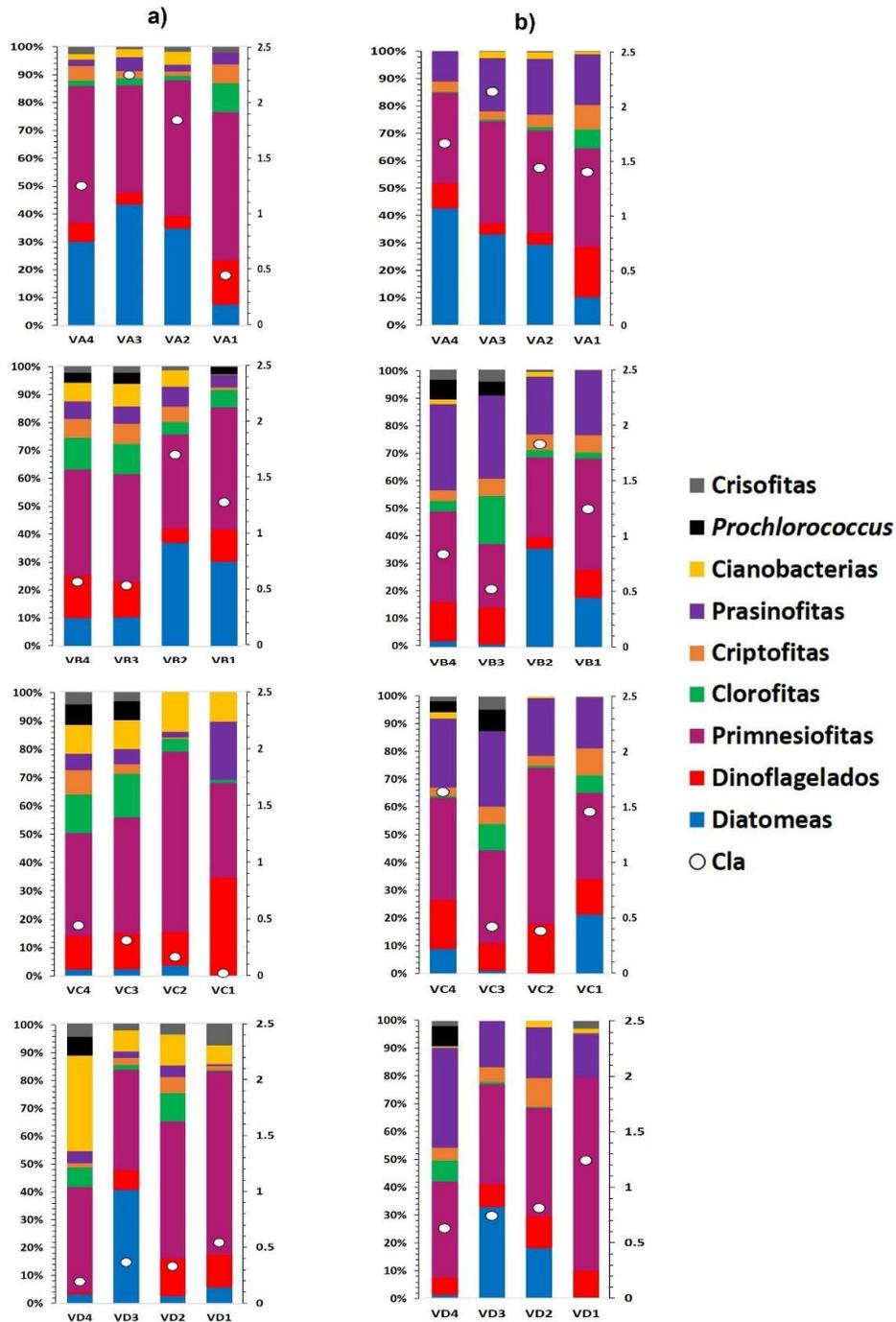


Figura 20. Porcentaje de contribución de los grupos del fitoplancton (a) en superficie y (b) en el máximo subsuperficial, para cada sección. Las barras de colores corresponden a los grupos listados en la leyenda. Los círculos blancos indican la concentración de Cla (mg/m^3 , eje derecho).

Los grupos taxonómicos detectados en la bahía y los intervalos de variación de su concentración, se describen en la tabla 3. El grupo predominante en ambas profundidades

fueron las primnesiofitas, con abundancias que variaron entre 0.053 a 0.864 mg/m³, lo cual representó un porcentaje del 33 y 70% respectivamente, a la comunidad (Fig. 20). Las diatomeas fueron el segundo grupo más abundante, las cuales se observaron en la bahía con un promedio de 22%. La mayor contribución de las diatomeas (hasta el 40%) se observó en las secciones A y B, la cual fue disminuyendo hacia las secciones al sur (Fig. 20), donde a su vez, aumentó la contribución de los dinoflagelados. Por otro lado, en todas las estaciones sureñas se observó una mayor contribución de las cianobacterias en superficie (Fig. 20a), principalmente en la estación VD4, mientras que en subsuperficie las prasinofitas fueron el grupo cuya contribución llegó a ser tan importante como la de las diatomeas (hasta el 35% en la estación VD4) (Fig. 20b).

Tabla 3. Mediana, mínimo y máximo (Intervalo) de las variables hidrográficas y biológicas medidas durante los cruceros realizados en agosto de 2017 y abril de 2018. n representa el número de datos. Cla_f indica la concentración de Cla medida por el fluorímetro. La abundancia de los grupos fitoplanctónicos esta reportada como contribución a la ClaT (Cla+DVCl_a) en mg/m³ y entre paréntesis se indica el porcentaje de contribución de cada grupo a la comunidad.

	Agosto 2017			Abril 2018		
	Mediana	Intervalo	N	Mediana	Intervalo	n
CTD						
Temperatura (°C)	13.3	10.7 – 21.7	809	12.3	10.4 – 17.1	1633
Salinidad	33.4	32.8 – 34.4	809	33.6	32.9 – 34.2	1633
Oxígeno (µmol/kg)	196.7	4.6 – 298.9	809	-	-	-
Cla _f (mg/m ³)	0.90	0.4 – 3.7	809	0.82	0.1 – 3.6	1009
Grupos						
Diatomeas	0.028 (5.9%)	0.002 - 0.196	11	0.144 (18%)	0.003 – 0.896	30
Dinoflagelados	0.033 (6.9%)	0.001 – 0.062	10	0.080 (10%)	0.002 -0.302	32
Primnesiofitas	0.220 (46%)	0.094 – 1.62	14	0.306 (38%)	0.053 – 0.864	32
Clorofitas	0.014 (3%)	0.001 – 0.051	5	0.032 (4%)	0.001 – 0.096	31
Criptofitas	0.018 (3.8%)	0.004 – 0.092	12	0.042 (5%)	0.001 – 0.041	30
Prasinofitas	0.051 (11%)	0.014 – 0.195	14	0.109 (14%)	0.003 – 0.423	32
Cianobacterias	0.030 (6.3%)	0.002 – 0.063	10	0.034 (4.2%)	0.001 – 0.112	27
<i>Prochlorococcus</i>	0.051 (11%)	0.018 – 0.159	10	0.034 (4.2%)	0.022 – 0.067	11
Crisofitas	0.029 (6%)	0.010 – 0.076	12	0.015 (2%)	0.001 – 0.046	25
Cla (mg/m ³)	0.66	0.2 – 1.84	14	0.77	0.02 – 2.24	32
Satelital						
SST (°C)	21.6	20.2 – 22.9	3904	16.5	14.7 – 18.7	5615
Cla (mg/m ³)	0.51	0.36 - 0.95	4026	0.83	0.4 – 2.1	5476
Ze (m)	64.9	51.2 – 75.6	3248	46.5	19.9 – 74.6	4965

6.2.5 Comparación de variables hidrográficas y biológicas entre cruceros

Se realizó una comparación entre los datos medidos en los dos cruceros evaluados en este estudio (Tabla 3). Los datos registrados por el CTD no muestran cambios significativos, a no ser por un ligero aumento de la temperatura durante el 2017. Los datos satelitales de SST y Cla, los cuales representan la capa superficial del océano, muestran el decremento de la SST y el aumento en la Cla durante el 2018, lo que a su vez estuvo asociado a una Ze más somera. Finalmente, las concentraciones de Cla medidas *in situ* no presentaron un cambio importante en promedio ni en los intervalos de variación. Sin embargo, si se observaron cambios en la composición de la comunidad fitoplanctónica. A pesar de que las primensiofitas fueron dominantes en ambos cruceros (~40%), en el 2017 los grupos que más contribuyeron después de estas fueron las prasinofitas (11%) y *Prochlorococcus* (11%). En el 2018, por otro lado, las diatomeas pasaron a ser el grupo más abundante después de las primensiofitas, cuya contribución aumentó hasta tres veces más que en el 2017. Además, se observó un ligero aumento en dinoflagelados y prasinofitas.

6.2.6 Análisis estadístico

Se evaluó el grado de asociación lineal entre la concentración de Cla y los grupos fitoplanctónicos (Fig. 21, Tabla 4), con el objetivo de inferir el papel de cada uno en la biomasa total de la comunidad. Las diatomeas presentaron una alta correlación lineal con la Cla, en especial cuando solo se analizaron los datos de las secciones A y B de superficie (Fig. 21a). Cuando solo se analizan los datos de subsuperficie en estas mismas estaciones, la correlación es menor, pero sigue siendo estadísticamente significativa (Fig. 21c). Así mismo, analizando los datos de diatomeas y Cla superficial en todas las estaciones (Fig. 21b), también se encontró una correlación significativa. Finalmente, se encontró una

correlación lineal alta y significativa para las primnesiofitas, pero solamente cuando se consideran los datos de superficie.

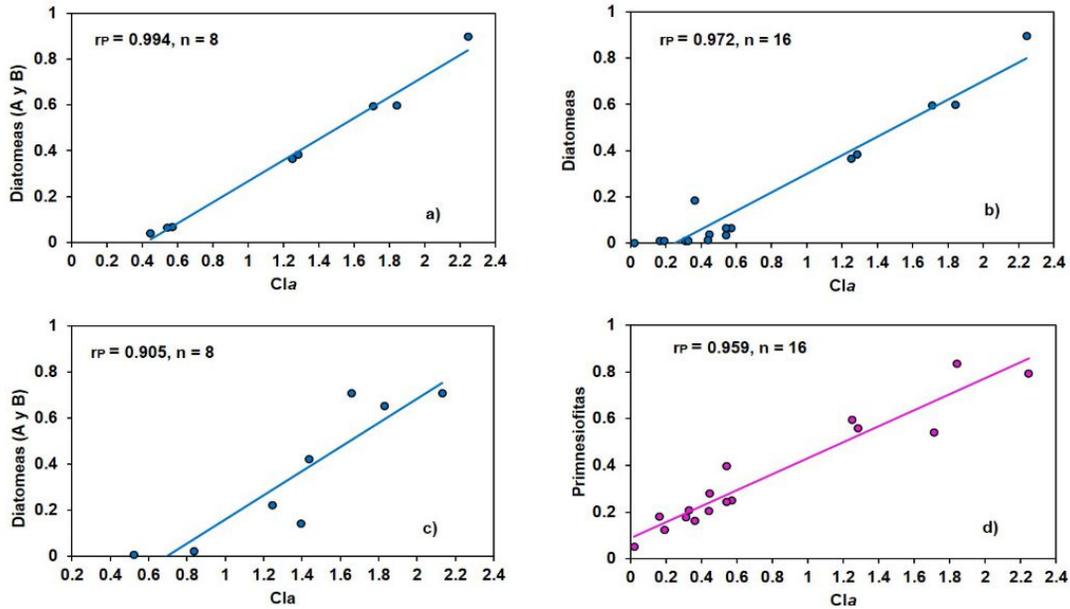


Figura 21. Diagramas de dispersión que muestran la relación entre la concentración de Cla (mg/m^3) y la concentración (mg/m^3) de diatomeas (a, b, c) y primnesiofitas (d). En (a) solo se graficaron los datos de las secciones A y B en superficie; en (b) se graficaron los datos de todas las secciones en subsuperficie; en (c) se graficaron los datos de las secciones A y B en subsuperficie; en (d) los datos son todas las estaciones, solamente de superficie. Para cada grafica se indica el coeficiente r_P y el número de datos.

Tabla 4. Análisis de correlación entre la concentración de Cla y Diatomeas y Primnesiofitas en abril de 2018. A y B indican que la correlación se evaluó solamente para los datos de las secciones A y B. Se indica r_{crit} y se considera que la correlación es estadísticamente significativa cuando $r_P > r_{crit}$.

	Superficie			Subsuperficie		
	r_P	n	r_{crit}	r_P	n	r_{crit}
Diatomeas (A y B)	0.994	8	0.897	0.905	8	0.897
Diatomeas	0.972	16	0.937			
Primnesiofitas	0.959	16	0.937			

7 DISCUSIÓN

7.1 Hidrografía y distribución de la *Cla* durante agosto 2017

Los meses de verano frente a la península de BC se han caracterizado por una mayor influencia de aguas tropicales provenientes del sur (Durazo, 2015). En nuestros datos, eso se reflejó en las altas temperaturas observadas en superficie, relacionada a la influencia del Agua Tropical Superficial, lo que concuerda con estudios anteriores (Kin'dyushev, 1970; Mancilla-Peraza et al., 1993). En particular, las mayores temperaturas superficiales fueron observadas alrededor de la costa de BSV y frente a Isla de Cedros (Fig. 2), lo que sugiere que el agua superficial más cálida, proveniente del sur, se encuentra ingresando a la bahía a través de los canales localizados entre la isla y Punta Eugenia. Este proceso fue registrado previamente por Amador-Buenrostro et al. (1995), cuyas observaciones a partir de datos de corrientes e información satelital dentro de la bahía, reportaron ingreso de agua de origen sureño por dichos canales, especialmente durante la temporada de verano. Este patrón pudo ser corroborado con la imagen promedio de altimetría, donde las corrientes geostroficas asociadas a los remolinos ubicados al oeste de Punta Eugenia, se observaron convergiendo y con dirección hacia el interior de BSV (Fig. 5). Por otro lado, estos mismos autores, también reportaron la presencia de un lente de agua cálida superficial frente Isla de Cedros, mismo que observamos en nuestros datos de SST (Fig. 2), cuya presencia se la atribuyen al debilitamiento de los vientos del noroeste, los cuales promueven la advección de Agua Ecuatorial Subsuperficial (Amador-Buenrostro et al., 1995; Durazo, 2015). De acuerdo con Martínez-Fuentes et al. (2016), la presencia de este núcleo de agua más cálida, también se debe a una zona de calma que se forma debido a la presencia de la isla. Este lente de agua cálida se observó relacionado a las menores concentraciones de *Cla* superficial dentro de la bahía (Fig. 3), mientras que las mayores concentraciones estuvieron relacionadas con el flujo de agua proveniente de la zona de surgencias frente a Punta Canoas. Esta pluma de agua de menor SST, la cual se observó

ingresando a la bahía desde el norte (Fig. 2), siguió la morfología de la costa propiciando una débil circulación anticiclónica al interior, la cual fue más marcada los días 14 y 15 de agosto de 2017 (Fig. 2b, 2c).

Los efectos de dicha circulación anticiclónica se manifiestan en la inclinación de la isopicna de los 25.4 kg/m^3 (Fig. 7 a 9), la cual se observa más cercana a la superficie hacia la costa y más profunda hacia el oeste, con un ligero hundimiento en las estaciones centrales, lo que indica un flujo de este a oeste. Así mismo, esto fue visible en la distribución vertical de temperatura (Fig. 7a-9a), la cual se observó con una termoclina mucho más somera en las estaciones hacia el norte de la bahía, principalmente en la estación VB3 (Fig. 7a), que estuvo fuertemente influenciada por el agua de relativamente menor temperatura, proveniente del norte (Fig. 2). En las estaciones frente a la isla (VD3), donde se observó el lente de agua cálida (Fig. 2d), también se observó una termoclina más profunda (Fig. 9a). A su vez, esta capa de agua cálida superficial se observó acompañada de agua relativamente más salada (33.5-33.6) (Fig. 7b-9b). Como se mencionó anteriormente, a pesar de que los índices para identificar masas de agua en la región nos arrojaron un predominio del agua de la CC en toda la columna de agua, temperaturas superiores a 21°C y salinidades relativamente bajas en superficie (33.5) (Fig. 6) indican una influencia de Agua Tropical Superficial (Mancilla-Peraza et al., 1993).

Por otro lado, en subsuperficie, aproximadamente de los 30 a los 60 metros de profundidad, el agua más templada y con rangos de salinidad característicos del núcleo de agua de la CC (33.5) (Portela et al., 2016), se relacionó a los máximos de clorofila subsuperficiales observados en las tres secciones (Fig. 7c-9c). A su vez, durante este crucero, se observó la presencia de un segundo máximo de Cl_a por debajo de los 80 m, el cual estuvo relacionado con el agua más salada (33.8-34) y de menor temperatura (12°C) observadas desde la isopicna de 25.4 kg/m^3 y hacia el fondo (Fig. 7-9). Estas tendencias en las características termohalinas encontradas a mayores profundidades dentro de la

bahía se observaron asociadas, a su vez, con concentraciones bajas de oxígeno (Fig. 6b). Valores mínimos de oxígeno dentro del SCC se han atribuido a masas de agua de origen tropical y subtropical (Trucco-Pignata et al., 2019). Esto sugiere la influencia del Agua Ecuatorial Subsuperficial, quien es transportada por la CCC, y que ha sido caracterizada por un pico salino entre las anomalías de densidad potencial de 26.1 y 26.5 kg/m³ (Durazo, 2015). Este pico salino mencionado anteriormente, no se alcanzó a observar en el diagrama TS debido a la profundidad de los datos durante este muestreo, a pesar de que la tendencia es bastante clara (Fig. 6). En general, los intervalos en la concentración de oxígeno durante el 2017 (Tabla 3) incluyeron masas de agua bien oxigenadas (CC y el ATS), así como Agua Subtropical Subsuperficial pobre en oxígeno (Trucco-Pignata et al., 2019).

Por otro lado, cabe mencionar que el fitoplancton se distribuyó de manera no homogénea en la columna de agua, y en general se observó que este presenta una baja biomasa en superficie, la cual aumenta en subsuperficie y luego vuelve a disminuir (Fig. 6). Esta distribución, denominada gaussiana, es explicada por diferentes factores físicos, químicos y biológicos (Cullen, 2015). La baja biomasa en superficie es en general promovida por bajas concentraciones de nutrientes, los cuales están agotados debido al mismo consumo por el fitoplancton. Por otro lado, entre los factores físicos que determinan este tipo de distribución, se encuentran la distribución vertical de la temperatura y/o de densidad, donde la termoclina y/o picnoclina representan una barrera física al hundimiento del fitoplancton que provoca un aumento en su biomasa (muchas veces acompañado por un cambio en la composición taxonómica de la comunidad) (Miranda-Álvarez et al., 2020). Además, en esta zona de la columna de agua se desarrollan procesos de fotoaclimatación del fitoplancton, los cuales pueden promover el aumento intracelular de la Cla y/o de otros pigmentos fotosintéticos. Finalmente, a esta profundidad, el fitoplancton aún recibe luz necesaria para la realización de la fotosíntesis, y también obtiene nutrientes que ingresan debido a procesos de difusión o procesos turbulentos a lo largo de la termoclina (o picnoclina). En este crucero se observó este patrón de aumento de la Cla en subsuperficie,

lo que es esperado en sistemas bien estratificados donde se desarrolla una termoclina bien definida durante los meses de verano (Miranda-Álvarez et al., 2020). El primer máximo se ubicó próximo a la termoclina, relacionado al mínimo de salinidad, y por encima de la isopícnica de los 25.4 kg/m^3 , lo que sugiere la importancia de los procesos arriba mencionados para determinar la distribución vertical del fitoplancton en esta región durante el verano y, además, a la influencia de la CC.

En este crucero se observó, además, la formación de un segundo máximo; este por debajo de los 70 m, el cual presentó concentraciones de *Chl a* incluso más altas que el primero (Fig. 10a, b). Este se observó relacionado a las aguas más saladas (> 33.6), probablemente afectadas por el agua de la CCC. Aquí es importante notar que el intervalo de profundidades abarcado por este segundo máximo de *Chl a* fue mayor en la sección más sureña (D), menor en la intermedia (C), y solo se observó en una estación (VB1) en la sección al norte. Esto nuevamente sugiere el ingreso de la CCC desde la plataforma continental adyacente, quien ingresa a la bahía a través del canal entre la Isla de Cedros y Punta Eugenia, transportando aguas ricas en nutrientes que favorecen el crecimiento del fitoplancton en esas capas más profundas de la columna de agua, y afectan principalmente las estaciones que componen la sección D. Así mismo, esto sugiere que el ingreso de esta masa de agua en el fondo sigue un comportamiento de circulación ciclónica, ya que fluye de sur a norte con tendencia hacia la costa (estación VB1), por lo tanto, contrario al flujo superficial anticiclónico. Finalmente, se observó que la profundidad de la zona eufótica presentó valores entre 50 y 80 m de profundidad dentro de la bahía (Fig. 4), con los valores más altos hacia el suroeste donde el segundo máximo se presentó con mayor extensión, lo que indica que la disponibilidad de luz en la columna de agua era suficiente para el crecimiento del fitoplancton.

7.2 Composición taxonómica del fitoplancton durante agosto 2017

La distribución gaussiana de la Cla en la columna de agua explicada en la sección 7.1, también se relaciona a cambios en la composición taxonómica del fitoplancton, una vez los cambios en las condiciones fisicoquímicas del agua llevan a ciertos grupos se vean beneficiados en ciertos estratos la columna de agua (Latasa et al., 2016; Miranda-Álvarez et al., 2020).

Durante este periodo, a pesar de no contar con información de todas las estaciones, se pudo observar que las primnesiofitas son un grupo muy representativo en la bahía, tanto en superficie como en los máximos subsuperficiales de Cla (Fig. 10). Esto concuerda con trabajos anteriores, como el realizado en marzo/abril de 1998 por Hernández-Becerril et al. (2007) que determinó, a partir de observaciones al microscopio, que el 93% de la comunidad fitoplanctónica fue dominada por cocolitofóridos (grupo perteneciente a las primnesiofitas) y diatomeas nanoplanctónicas. Por otro lado, un estudio más reciente (Almazán-Becerril et al., 2010), basado en quimiotaxonomía (CHEMTAX), determinó para octubre de 2003 la presencia de primnesiofitas en BSV, aunque estas fueron más abundantes a los 50 m de profundidad.

Filogenéticamente, las primnesiofitas pertenecen a la División Haptofita, cuyos representantes se caracterizan por la presencia de un apéndice denominado haptonema (el cual usan para captura de alimento), dos flagelos, dos cloroplastos, y placas orgánicas que los cubren y que sirven para su identificación taxonómica (Eikrem et al., 2016). Se reconocen dos clases: Pavlovophyceae y Prymnesiophyceae (comúnmente llamadas primnesiofitas), y a esta última pertenecen los cocolitofóridos, grupo caracterizado por tener las placas orgánicas cubiertas de carbonato de calcio (cocolitos), que los hace muy reconocidos por su papel en el ciclo global del carbono (Billard y Inouye, 2004). Se considera que, históricamente, la importancia de las primnesiofitas en los océanos ha sido subestimada, ya que su pequeño tamaño (<20µm y algunas hasta <5 µm) hace difícil su

identificación al microscopio. Este grupo contiene como pigmento exclusivo a la 19'Hex, lo que ha permitido inferir su abundancia mediante técnicas cromatográficas (como el HPLC) e indicar su importancia tanto en aguas costeras (Seoane et al., 2009; Godrijan et al., 2018) como oceánicas (Liu et al., 2009; Eikrem et al., 2016). En este trabajo, la razón 19'Hex/Cla presentó valores entre 13% y 45%, y la abundancia de primnesiofitas estimada por el CHEMTAX indicó que su contribución osciló entre el 30 y el 80% (Fig. 10). Los valores más altos de estos intervalos (45% y 80%) se observaron en el segundo máximo subsuperficial de Cla, encontrado en la estación VD2. En esta estación, las observaciones al microscopio permitieron presenciar una gran cantidad de células con alrededor de 20 μm de tamaño (Anexo 1) que no pudieron ser identificadas, pero que se pueden reconocer como flageladas (probablemente primnesiofitas). Por otro lado, observaciones realizadas por parte del grupo de Ecología del Fitoplancton en otras estaciones y profundidades (datos no publicados), no detectaron la presencia de cocolitofóridos u otras flageladas, lo que puede indicar que: (1) las primnesiofitas detectadas en este estudio son de tamaños inferiores a 5 μm , i.e., no detectables mediante microscopio y (2) que las primnesiofitas detectadas en el segundo máximo no son las mismas que las observadas en superficie o en el primer máximo, y pueden ser parte de una comunidad que fue transportada desde afuera por las aguas de la CCC, como fue discutido en la sección 7.1. El pequeño número de muestras analizadas en este periodo, no nos permiten generalizar más sobre estas observaciones. Así mismo, un estudio realizado en la Laguna Ojo de Liebre (Sánchez-Cobarrubias, 2019), al sureste de BSV, el cual tomó muestras durante febrero de 2018, también mostró una alta contribución del pigmento 19'Hex, especialmente en el área de contacto de la laguna con la bahía. Sánchez-Cobarrubias (2019), tampoco observó primnesiofitas (o cocolitofóridos) al microscopio, lo que viene a reforzar la posibilidad de que las primnesiofitas presentes en BSV sean probablemente de tamaño inferior a 5 μm . Finalmente, es importante considerar que las primnesiofitas son un grupo mixotrófico y con capacidad para migrar en la columna de agua (Seoane et al., 2009), lo que les confiere una importante ventaja adaptativa sobre

otras especies ante condiciones de baja concentración de nutrientes, como ocurre en los periodos de verano o de influencia de aguas tropicales a subtropicales. De hecho, Liu et al. (2009) sugieren que estas características explican que las primnesiofitas puedan contribuir hasta dos veces más a la Cla que las cianobacterias o diatomeas en los océanos, lo que coincide con lo observado en nuestro estudio en la BSV.

Por otro lado, las mismas observaciones realizadas al microscopio por parte del Grupo de Ecología del Fitoplancton (datos no publicados), mostraron abundancias de dinoflagelados de hasta casi 9 mil cél/L (promedio de 4,198 cél/L). Esta concentración se observó por ejemplo en la estación VC3 a los 35 m, esto es, en el máximo subsuperficial, en el cual el análisis del CHEMTAX (Fig. 10b) arrojó una contribución de dinoflagelados de solamente alrededor del 7%. De hecho, en todas las estaciones analizadas, los dinoflagelados no contribuyeron con más del 10% a la comunidad. Cabe mencionar que el CHEMTAX se basa en el pigmento peridina para realizar la estimación de la abundancia de dinoflagelados, pero existen dinoflagelados (mixotróficos y/o heterotróficos) que no contienen ese pigmento (Higgins et al., 2011) y por lo tanto serán subestimados por este método. En particular, los datos analizados por el grupo muestran que los géneros de dinoflagelados más abundantes fueron *Gymnodinium sp.* (en especial en esta estación VC3) y *Prorocentrum sp.*, ambos reconocidos como mixotróficos, esto es, que pueden no contener el pigmento peridina (Jeong et al., 2010). Esto muestra la importancia de combinar análisis al microscopio con la quimiotaxonomía para poder tener una mejor descripción de la composición taxonómica de la comunidad fitoplanctónica. Por otro lado, en los análisis al microscopio, la presencia de diatomeas fue muy baja, incluso ausente en la mayoría de las estaciones analizadas, lo que concuerda con los datos derivados del CHEMTAX. Se observó un promedio de 445 cél/L de diatomeas, y los géneros observados fueron *Pseudonitzschia sp.* y *Nitzschia sp.*

Otro grupo fitoplanctónico detectado en este trabajo fueron las cianobacterias, incluyendo a *Prochlorococcus*, a pesar de que el primero solo estuvo presente en las muestras de superficie (Fig. 10a), mientras el segundo también se observó en el máximo subsuperficial (Fig. 10b). Las cianobacterias (y *Prochlorococcus*) pertenecen al picoplancton (tamaño < 2 µm) y tienden a ser más abundantes en superficie, donde las concentraciones de nutrientes son más bajas (Bouman et al., 2011; Latasa et al., 2016), por lo que se caracterizan por presentar mayor abundancia en zonas oligotróficas de los océanos tropicales y subtropicales, o en los periodos de verano en zonas templadas (Bouman et al., 2011). Esto sucede debido a su elevada razón superficie/volumen que les permite alcanzar mayores tasas de crecimiento en condiciones de bajos nutrientes. Por otro lado, el género *Prochlorococcus* se caracteriza por presentar diferentes ecotipos definidos por su adaptación a diferentes niveles de luz, lo que explica su distribución también en zonas más profundas de la columna de agua (Bouman et al., 2011), como también fue observado en BSV por Almazán-Becerril et al. (2010).

Finalmente, se observan a las prasinofitas como un grupo que aumentó su contribución en subsuperficie. Las prasinofitas tienen como pigmento exclusivo a la prasinoxantina, a pesar de que también comparten a la clorofila *b* y la zeaxantina con grupos como las clorofitas y las cianobacterias (Tabla 1). Son considerados como flagelados verdes, de tamaño en general inferior a los 5 µm, y se reconocen como muy abundantes y diversas en zonas costeras y oceánicas en el mundo (López dos Santos et al., 2017). En BSV, Almazán-Becerril et al. (2010) también determinaron su presencia en octubre del 2003, a pesar de que estos autores las observaron más abundante en superficie que en subsuperficie. A pesar de que hay pocos estudios sobre este grupo en la región costera y oceánica frente a BC, han sido detectadas mediante estudios de quimiotaxonomía en regiones cercanas a BSV (Almazán-Becerril et al., 2012) y al sur de la península (Miranda-Álvarez et al., 2020). En especial, Miranda-Álvarez et al. (2020) las encuentra en asociación con las clorofitas, en el máximo subsuperficial de clorofila y en mayor proporción cuando

hay un mayor predominio de aguas de origen tropical y subtropical durante los meses de verano, lo que coincide con lo observado en nuestro trabajo.

7.3 Hidrografía y distribución de la Cla durante abril de 2018

El mes de abril (y la primavera en general) frente a la península de BC se ha caracterizado por el aumento en la intensidad de los vientos del noroeste (Lynn et al., 2003; Pérez-Brunius et al., 2007), lo cual provoca también un aumento en la fuerza de las surgencias costeras (Durazo, 2015). En nuestro trabajo eso se reflejó en las intensas surgencias observadas frente a Punta Canoas, y el desplazamiento de agua de baja temperatura hacia el sur (Fig. 11), lo que promovió un aumento muy significativo de las concentraciones de Cla en comparación al periodo de estudio anterior (Fig. 12). Así mismo, altas concentraciones de Cla fueron visibles en la zona costera en frente y al sur de Punta Eugenia (Figs. 11, 12), lo que también indica la intensificación de las surgencias en esta zona. Aunado a los vientos mencionados anteriormente, durante invierno y primavera se fortalece el flujo de la CC hacia el sur (Durazo, 2015), por lo que el ingreso de agua a la bahía proveniente de las surgencias de Punta Canoas, transportadas junto con el agua de la CC, fue evidentemente más marcado durante este crucero. El mayor ingreso de agua hacia el interior de nuestra zona de estudio ocurrió por el lado este de la red de muestreo (Fig. 11) (a diferencia de lo observado durante agosto, en donde el ingreso de agua proveniente de surgencias menos intensas se observó por el lado oeste de la bahía), y una vez dentro, el agua superficial se observó con una tendencia a seguir la morfología de la costa, lo que provocó la formación de una estructura anticiclónica. Dicha estructura estuvo caracterizada por un centro de mayor SST y de bajas concentraciones de Cla ubicado frente a la Isla de Cedros (Fig. 12), lo que también fue confirmado por el hundimiento de la isopicna observado en las estaciones centrales y hacia la Isla de Cedros. Su presencia ha sido reportada como semipermanente a lo largo del año (Mancilla-Peraza et al., 1996; Martínez-Fuentes et al., 2016), lo que concuerda con lo observado en este trabajo, ya que la

formación de esta estructura anticiclónica se presentó tanto en verano (2017) como en primavera (2018). Esto también coincide con lo observado para las temporadas invierno-primavera por Durazo et al. (2010), quienes muestran que las máximas pendientes de la superficie del mar en ese periodo son con dirección costa-océano para la región al norte de Punta Eugenia. Nuevamente, la distribución vertical de la concentración de Cla se vio relacionada a la isopícnica de 25 kg/m^3 , la cual, en esta ocasión representó el punto de inflexión entre las aguas más superficiales de la CC y aguas más profundas. Las capas de agua encontradas por arriba de la isopícnica de 25 kg/m^3 presentaron concentraciones de Cla de hasta 3 mg/m^3 (Fig. 16c), por lo que se relacionaron con la presencia de este tipo de agua. En las estaciones sureñas, la capa de agua con máximas concentraciones de Cla se volvió subsuperficial, relacionado con el hundimiento de la termoclina y de la isopícnica (Fig. 17c-18c) observado en estas mismas estaciones. Este patrón parece estar relacionado con la circulación anticiclónica observada dentro de la bahía, el cual se encuentra propiciando el hundimiento de agua, respecto a la periferia (Fig. 18c-19c). Sin embargo, estas máximas concentraciones de Cla subsuperficiales también se encontraron por encima de la isopícnica de 25 kg/m^3 , lo cual nos continúa indicando su relación con el agua de la CC, así como de su mayor desplazamiento de agua de surgencia hacia el sur.

Por otro lado, se pudo observar una relación entre las salinidades relativamente más altas (33.8) observadas en los primeros metros de la columna de agua, principalmente en las estaciones al norte y cercanas a la costa de la península (Fig. 16-18), con el agua proveniente de la zona de surgencias (Durazo et al., 2010). Igualmente, las máximas salinidades observadas por debajo de los 60 m sugieren la presencia de otro tipo de agua. Las características termohalinas durante este crucero (Fig. 15) indicaron el predominio de agua de la CC, pero el aumento de salinidad en el fondo indica influencia de las aguas subtropicales (originarias de la MAE, transportadas por la CCC) (Durazo et al., 2010), cuyo patrón ha sido observado hacia mayores profundidades en la región sur de Punta Eugenia y zonas aledañas durante la primavera (Durazo et al., 2010). Aun así, se observa una menor

influencia de esta CCC en comparación al 2017. Esto se puede relacionar con debilitamiento de las corrientes que forman el remolino ciclónico frente a Punta Eugenia (Fig. 14), cuyos flujos además se observaron con dirección hacia afuera de la bahía (y no hacia el interior como en el 2017). La constante presencia de este remolino ciclónico ha sido reportada como resultado de una inversión del flujo hacia el polo (Soto-Mardones et al., 2004), el cual es menos intenso durante esta temporada del año. Esto, y una menor penetración de la luz en la columna de agua durante esta temporada (menores a 50 metros) (Fig. 13), explica la ausencia de un segundo máximo subsuperficial durante esta temporada.

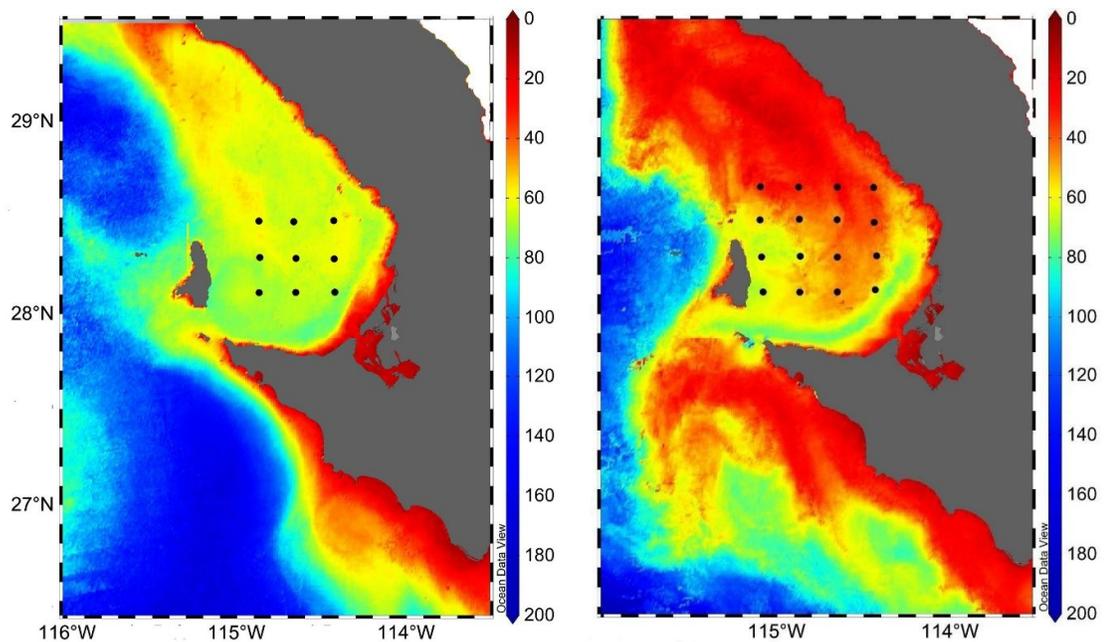


Figura 22. Comparación entre la profundidad de la zona eufótica (m) en el verano de 2017 (izquierda) y abril de 2018 (derecha).

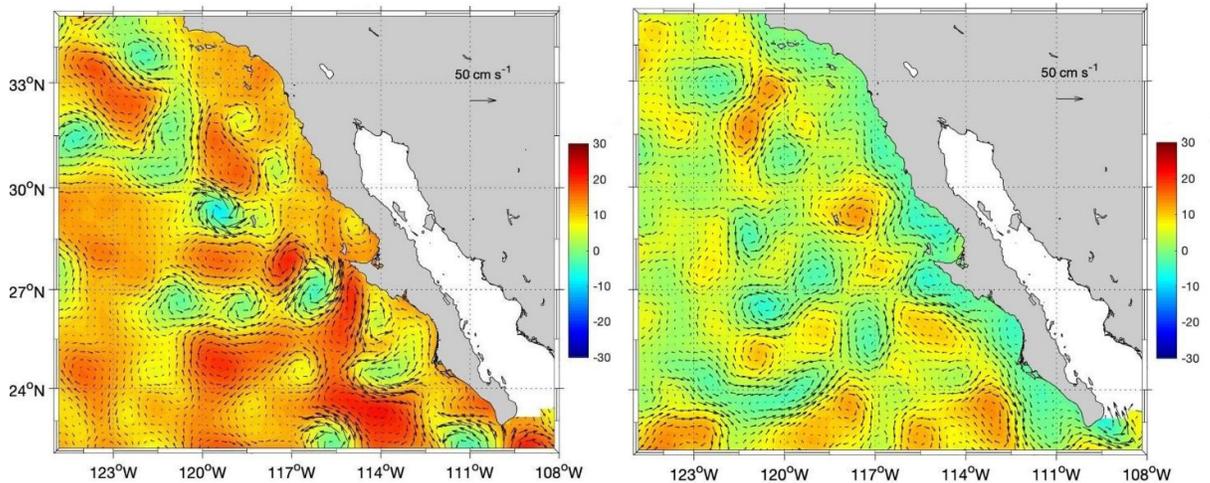


Figura 23. Comparación entre las anomalías del nivel del mar (cm) en el verano de 2017 (izquierda) y abril de 2018 (derecha).

7.4 Composición taxonómica del fitoplancton durante abril 2018

Las altas concentraciones de Cla observadas frente a la península de BC y en la BSV durante primavera son características de los periodos de surgencias estacionales que se desarrollan a lo largo de la costa (Zaytsev et al., 2003; Gaxiola-Castro et al., 2010). Principalmente de las zonas ubicadas frente a Punta Canoas y Punta Eugenia, las cuales han sido señaladas como una fuente importante de nutrientes por transporte horizontal hacia la bahía (Morales-Zárate et al., 2000), cuyo enriquecimiento implica una mayor productividad. La alta productividad inducida por estos procesos físicos le confiere a la comunidad fitoplanctónica la capacidad de sostener poblaciones de diversos organismos, sobre todo de pelágicos costeros de gran valor comercial (Hernández-Rivas et al., 2000). En especial, estos aumentos de la concentración de Cla durante nuestro periodo de estudio se asociaron principalmente al aumento de las diatomeas, lo que fue más marcado en las dos secciones al norte (A y B) (Fig. 20), las cuales fueron más afectadas por el ingreso de las aguas de surgencia (Fig. 12). Las diatomeas son un grupo fitoplanctónico característico en este tipo de ambiente, ya que presenta una alta tasa de crecimiento cuando los nutrientes son abundantes (Goericke et al., 2004; Kudela et al., 2005). Estas se distribuyen

ampliamente en toda la zona costera desde California (USA) hasta Punta Eugenia (Barocio-León et al., 2006; Millán-Núñez, 2010; Venrick, 2015) y en ocasiones pueden desarrollar extensos florecimientos algales (Barocio-León et al., 2008; García-Mendoza et al., 2009; Smith et al., 2018). Cabe destacar que, al comparar las concentraciones de Cla con la abundancia de diatomeas observada en superficie en las secciones A y B y en el máximo subsuperficial (Fig. 21), la correlación entre estas variables fue directa y estadísticamente significativa (Tabla 4). Cuando se evaluó en conjunto con los datos de superficie de todas las secciones, la correlación fue un poco menor ($r_P=0.972$), pero continuó siendo significativa (Tabla 4). Esto corrobora que este grupo es el que más aporta a la biomasa fitoplanctónica en este periodo, lo que a su vez indica la importancia de las aguas de surgencia en promover su desarrollo dentro de BSV, probablemente relacionado al aporte de nutrientes. En particular, observaciones al microscopio por parte del Grupo de Ecología del Fitoplancton (datos no publicados) mostraron que los géneros de diatomeas más abundantes fueron *Pseudo-nitzschia sp.*, *Nitzschia sp.* y *Navicula sp.*, todas diatomeas pennadas. De hecho, la abundancia promedio de diatomeas en este periodo fue de 5461 cél/L, número miles de veces mayor al observado en el 2017 (445 cél/L). En el estudio realizado en la Laguna Ojo de Liebre (Sánchez-Cobarrubias, 2019) en febrero del 2018, se observó el predominio de diatomeas pennadas hacia su interior. En particular, mencionan a *Navicula sp.* como uno de los géneros más representativos, y la presencia de *Pseudo-nitzschia sp.* y *Nitzschia sp.* en la zona más externa de la laguna, en contacto con las aguas de la bahía. Esto sugiere mecanismos de intercambio entre ambos cuerpos de agua asociados a las corrientes de marea, como ha sido observado en el sistema lagunar de Bahía San Quintín, al norte de nuestra área de estudio, pero que también representa un ambiente donde los cambios en la composición taxonómica del fitoplancton están relacionados al aporte proveniente de las aguas de la surgencia costera adyacente propiciado por las mareas (Gracia-Escobar et al., 2014; 2015). En BSV, esto es particularmente importante si se considera la presencia de la circulación anticiclónica, la

cual promueve el ingreso de las aguas provenientes del norte por el lado este de la bahía, esto es, bordeando la costa (Fig. 11 y 12).

A pesar de la importancia de las diatomeas, estas fueron más abundantes en la zona norte de la bahía, mientras en las secciones al sur su abundancia disminuyó mucho o solo se restringió a algunas estaciones y en subsuperficie (Fig. 20). En la bahía como un todo, fueron las primnesiofitas el grupo de mayor abundancia (38% en promedio), y se encontraron distribuidas en todas las secciones muestreadas y en ambas profundidades. Este grupo también se correlacionó de forma significativa con la concentración de Cla (Fig. 21, Tabla 4), lo que indica su importancia al contribuir de forma significativa a la biomasa del fitoplancton. Entretanto, su distribución más amplia (espacial y verticalmente) sugiere mejores estrategias de aclimatación a las condiciones fisicoquímicas del área. Gregg y Casey (2007) sugieren que las primnesiofitas van a proliferar en zonas de la columna de agua donde los nutrientes y la luz sean lo suficientemente bajos como para evitar el desarrollo de las diatomeas, pero con ciertas condiciones de mezcla que les permita permanecer dentro de la zona eufótica. Por otro lado, Almazán-Becerril et al. (2012), en un estudio realizado frente a la zona norte de la península de BC, observaron una sucesión de diatomeas a primnesiofitas cuando los nutrientes empiezan a disminuir después de un periodo de surgencias intenso. En nuestro trabajo, las primnesiofitas se observaron como dominantes dentro de BSV tanto en el crucero de verano (2017), como en el de primavera (2018), pero el ingreso de diatomeas solamente ocurrió en este último y relacionado a la influencia de las aguas de surgencia provenientes de Punta Canoas. Esto sugiere que las primnesiofitas son parte de la comunidad en BSV de forma permanente, mientras el crecimiento de las diatomeas depende de la inyección de nutrientes nuevos y de las surgencias. En este sentido, es importante considerar que los coccolitofóridos han sido observados frecuentemente a lo largo de la costa del sur de California (USA) y Baja California (Hernández-Becerril et al., 2007; Venrick, 2015). Así como se indicó para el 2017, este grupo no fue observado en los análisis al microscopio durante este muestreo de

primavera. Así mismo, en el mismo estudio de Sánchez-Cobarrubias (2019), no se observaron cocolitofóridos, pero si se detectó la presencia del pigmento 19'Hex, exclusivo de primnesiofitas, y en mayor concentración en el área de contacto de la laguna con la bahía. Nuevamente, esto indica que las primnesiofitas presentes en BSV son probablemente de menor tamaño y no son detectadas al microscopio. Si se considera la alta contribución de este grupo a la comunidad fitoplanctónica, e incluso su presencia en aguas interiores, es importante realizar estudios que permitan evaluar de una manera más completa su papel en las redes tróficas locales.

8 CONCLUSIONES

Los resultados de este trabajo muestran que la BSV sostiene una biomasa de fitoplancton alta, aún en los periodos de verano, a pesar de las condiciones oligotróficas que predominan en la zona oceánica adyacente. Esto se ve relacionado a las condiciones hidrográficas que promueven la interacción con las masas de agua que provienen de la advección de agua desde la zona de surgencias frente a Punta Canoas en ambos periodos (verano o primavera). En especial, se confirma una circulación anticiclónica dentro de la bahía, la cual promueve el ingreso de las aguas de surgencia desde el norte y hacia la costa, pero promoviendo un centro con baja biomasa de fitoplancton frente a la Isla de Cedros, el cual permanece en ambos periodos estudiados. Por otro lado, este trabajo muestra que, en verano, aguas ecuatoriales transportadas por la CCC ingresan hacia el interior de BSV como un flujo ciclónico en el fondo que promueve el crecimiento del fitoplancton en zonas más profundas de la columna de agua, lo que probablemente favorece a mantener la alta productividad biológica de BSV durante estos periodos más oligotróficos.

Por otro lado, este estudio destacó la importancia de las primnesiofitas dentro de este sistema en ambas épocas del año. Así mismo, mientras la mayor presencia de

cianobacterias y *Prochlorococcus* en verano indicaron una mayor influencia tropical, el aumento de las diatomeas en primavera hace énfasis a la importancia de las surgencias en aportar las condiciones para el crecimiento de un grupo fitoplanctónico clave para el desarrollo de los niveles tróficos superiores, en especial pelágicos menores de importancia comercial.

Finalmente, se pudo observar que, a pesar de que el CHEMTAX brinda información valiosa sobre los grupos fitoplanctónicos presentes, es recomendable complementar los resultados con ayuda de otros métodos para realizar una mejor caracterización taxonómica de la comunidad, y así realizar una evaluación más completa de las comunidades fitoplanctónicas presentes y su papel en las redes tróficas locales.

9 REFERENCIAS

Almazán-Becerril, A., Rivas, D., García-Mendoza, E. (2012). The influence of mesoscale physical structures in the phytoplankton taxonomic composition of the subsurface chlorophyll maximum off western Baja California. *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 70, 91-102.

Almazán-Becerril, A., García-Mendoza, E., Rivas, D. (2010). Distribución de pigmentos fotosintéticos y grupos de fitoplancton durante octubre de 2003. En G. Gaxiola-Castro y R. Durazo (eds.), *Dinámica del ecosistema pelágico frente a Baja California, 1997-2007: Diez años de Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California*, 263-276.

Amador-Buenrostro A, Argote-Espinoza ML, Mancilla-Peraza M, Figueroa-Rodríguez M. (1995). Short-term variations of the anticyclonic circulation in Bahía Sebastián Vizcaíno, Baja California = Variaciones de periodo corto de la circulación anticiclónica en bahía Sebastián Vizcaíno, Baja California. *Ciencias Marinas*, 21, 201–223.

Araujo, V.M.L., Borges, M.C.R., Tavano, V.M., Eiras, G.C.A. 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 Part I: Oceanographic Research Papers*, 120, 112-121.

Barocio-León, Ó. A., Millán-Núñez, R., Santamaría-del-Ángel, E., González-Silvera, A., Trees, C. C. (2006). Spatial variability of phytoplankton absorption coefficients and pigments off Baja California during November 2002. *Journal of Oceanography*, 62(6), 873-885.

Barocio-León, O. A., Millán-Núñez, R., Santamaría-del-Ángel, E., González-Silvera, A., Trees, C. C., Orellana-Cepeda, E. (2008). Bio-optical characteristics of a phytoplankton bloom event off Baja California Peninsula (30–31 N). *Continental Shelf Research*, 28(4-5), 672-681.

Behrenfeld, M. J., O'Malley, R. T., Siegel, D. A., McClain, C. R., Sarmiento, J. L., Feldman, G. C., Milligan, A. J., Falkowski, P. G., Letelier, R. M., Boss, E. S. (2006). Climate-driven trends in contemporary ocean productivity. *Nature*, 444(7120), 752-755.

Billard C., Inouye I. (2004). What is new in coccolithophore biology? En Thierstein H. R., Young J. R. (eds.), Springer, Berlin. *Coccolithophores*. 1-29.

Bouman, H. A., Ulloa, O., Barlow, R., Li, W. K., Platt, T., Zwirgmaier, K., Scanlan, D. J., Sathyendranath, S. (2011). Water-column stratification governs the community structure of subtropical marine picophytoplankton. *Environmental Microbiology Reports*, 3(4), 473-482.

Bricaud, A., Claustre, H., Ras, J., Oubelkheir, K. (2004). Natural variability of phytoplanktonic absorption in oceanic waters: Influence of the size structure of algal populations. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 109(C11).

Carswell, T., Costa, M., Young, E., Komick, N., Gower, J., Sweeting, R. (2017). Evaluation of MODIS-Aqua atmospheric correction and chlorophyll products of Western North American coastal waters based on 13 years of data. *Remote Sensing*, 9(10), 1063.

Chisholm, S. W. (1992). Phytoplankton size. En Falkowski, P. G. Y Woodhead, A. D. (eds.), *Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea*, Plenum Press, New York, USA. 213-237,

Cullen J. J. (2015). Subsurface Chlorophyll Maximum Layers: Enduring engima or mystery solved? *Annual Review of Marine Science*, 7, 207–239.

Dawson E. Y. (1952). Circulation within Bahía Vizcaíno, Baja California, and its effects on marine vegetation. *American Journal of Botany*, 39(7), 425–432.

Durazo, R., Ramírez-Manguilar A. M., Miranda L. E., Soto-Mardones L. A. (2010). Climatología de variables hidrográficas. En: Gaxiola-Castro G, Durazo R (eds.), *Dinámica del Ecosistema Pelágico frente a Baja California, 1997–2007: Diez años de Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California*, 25-57.

Durazo, R. (2015). Seasonality of the transitional region of the California Current System off Baja California. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 120(2), 1173-1196.

Eikrem, W., Medlin, L. K., Henderiks, J., Rokitta, S., Rost, B., Probert, I., Throndsen, J., Edvardsen, B. (2016). Haptophyta. En Archibald, J., Simpson, A., Slamovits, C., Margulis, L., Melkonian, M., Chapman D., Corliss, J. (eds.), *Handbook of the Protists*, Springer, ISBN: 978-3-319-32669-6. DOI: 10.1007/978-3-319-32669-6_38-1.

Espinosa-Carreón, T. L., Strub, P. T., Beier, E., Ocampo-Torres, F., Gaxiola-Castro, G. (2004). Seasonal and interannual variability of satellite-derived chlorophyll pigment, surface height, and temperature off Baja California. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 109(C3).

Falkowski, P. G., Raven, J. A. (1997). Photosynthesis and primary production in nature. *Aquatic Photosynthesis*, 319-363.

Falkowski, P. G., Raven, J. A. (2007). Photosynthesis and primary production in nature. *Aquatic photosynthesis*, 319-363.

Finkel, Z. V., Beardall, J., Flynn, K. J., Quigg, A., Rees, T. A. V., Raven, J. A. (2010). Phytoplankton in a changing world: cell size and elemental stoichiometry. *Journal of Plankton Research*, 32(1), 119-137.

García-Mendoza, E., Rivas, D., Olivos-Ortiz, A., Almazán-Becerril, A., Castaneda-Vega, C., Pena-Manjarrez, J. L. (2009). A toxic Pseudo-nitzschia bloom in Todos Santos Bay, northwestern Baja California, México. *Harmful Algae*, 8(3), 493-503.

Gaxiola-Castro G, Cepeda-Morales J, Nájera-Martínez S, Espinosa-Carreón T. L., De la Cruz-Orozco M. E., Sosa-Avalos R., Aguirre-Hernández E., Cantú-Ontiveros JP. (2010). Biomasa y producción del fitoplancton. En: Gaxiola-Castro G., Durazo R. (eds.), *Dinámica del Ecosistema Pelágico frente a Baja California 1997–2007: Diez años de Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California*, 59-85.

Godrijan, J., Young, J. R., Marić Pfannkuchen, D., Precali, R., Pfannkuchen, M. (2018). Coastal zones as important habitats of coccolithophores: A study of species diversity, succession, and life-cycle phases. *Limnology and Oceanography*, 63(4),1692-1710.

Gracia-Escobar, M. F., Millán-Nú, R., González-Silvera, A., Santamaría-del-Ángel, E., Camacho-Ibar, V. F., 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*, 4(2), 21 pp.

Gracia-Escobar, M. F., Millán-Núñez, R., Valenzuela-Espinoza, E., González-Silvera, A., Santamaría-del-Ángel, E. (2015). Changes in the composition and abundance of phytoplankton in a coastal lagoon of Baja California, México, during 2011. *Open Journal of Marine Science*, 5(02), 169 pp.

Gregg, W. W., Casey, N. W. (2007). Modeling coccolithophores in the global oceans. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 54(5-7), 447-477.

Guerrero, J. M. C., Pelcastre, A. J. (2016). Organización del sector pesquero comercial ribereño en la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno (México). *Revista Geográfica Venezolana*, 57(2), 236-259.

Goericke, R., Bograd, S. J., Gaxiola-Castro, G., Gomez-Valdes, J., Hooff, R., Huyer, A., Peterson, W. T., Lavaniegos, B. E., Mantyla A., Venrick, E., Wheeler P., Smith, R. L. Hyrenbach, D. K., Sydeman, W. J. Schwing, F. B. (2004). The state of the California Current, 2003-2004: A rare "normal" year. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report*, 45, 27.

Hernández-Ayón, J. M., Gaxiola-Castro, G., Chavez, F., Takahashi, T., Feely, D., Sabine, C. L., Hales, B., Lara-Lara, R. (2010). Variabilidad espacial y temporal del flujo de CO₂ océano-atmósfera. En Gaxiola-Castro, G., Durazo, R. (eds.), *Dinámica del ecosistema pelágico frente a Baja California 1997-2007: Diez años de Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California*, 197-208.

Hernández-Becerril D. U., López-Tachiquín, L. F., Machain-Castillo, M. L. Monreal-Gómez, M. A. (2015). Distribución de pigmentos fotosintéticos del fitoplancton del Golfo de Tehuantepec en verano (junio, 2003): importancia del picofitoplancton. *Hidrobiológica* 25 (3), 365-374.

Hernández-Becerril, D. U., Bravo-Sierra, E., Aké-Castillo, J. A. (2007). Phytoplankton on the western coasts of Baja California in two different seasons in 1998. *Scientia Marina*, 71(4), 735-743.

Hernández-Rivas, M. E., Jiménez-Rosenberg, S. P., Funes-Rodríguez, R., Saldierna-Martínez, R. J. (2000). El Centro de actividad biológica de la bahía de Sebastián Vizcaíno, una primera aproximación. *BAC Centros de Actividad Biológica del Pacífico mexicano*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, México, 65-85.

Higgins H. W., Wright S. W., Schlüter L. (2011). Quantitative interpretation of chemotaxonomic pigment data. En Roy S, Llewellyn CA, Egeland SA, Johnsen G (eds.), *Phytoplankton pigments: characterization chemotaxonomy and applications in oceanography*. Cambridge University Press, Cambridge, 257–313.

Hooker S. B., Van Heukelem L., Thomas C. S., Claustre, H., Ras, J., Schluter, L., Clementson, L., VanderLinde, D., Eker-Develi, E. (2009) The third Sea-WiFS HPLC analysis round-robin experiment (SeaHARRE-2). National Aeronautics and Space Administration Goddard Space Flight Center, Greenbelt. *NASA Technical Report Server*, 97 pp.

Jeffrey, S. W., Mantoura R. F. C., Wright, S. W. (1997). *Phytoplankton Pigments in Oceanography: Guidelines and Modern Methods*. UNESCO Publishing, Paris, 661 pp.

Jeffrey S. W., Wright S.W., Zapata M. (2011). Microalgal classes and their signature pigments, En Roy S., Llewellyn C. A., Egeland E., Johnsen G. (eds.), *Phytoplankton pigments: characterization, chemotaxonomy and applications in oceanography*. Cambridge University Press, Cambridge, 3–77.

Jeong, H.J., Du Yoo, Y., Kim, J.S., Ah Seong, K., Kang, N.S., Kim, T.H. (2010). Growth, Feeding and Ecological Roles of the Mixotrophic and Heterotrophic Dinoflagellates in Marine Planktonic Food Webs. *Ocean Science Journal* 45(2): 65-91.

Jerónimo G., Gómez-Valdés J. (2007). A subsurface warm–eddy off northern Baja California in July 2004. *Geophysical Research Letters* 34: L06610.

Kahru M., Di Lorenzo E., Manzano-Sarabia M., Mitchell B. G. (2012). Spatial and temporal statistics of sea surface temperature and chlorophyll fronts in the California Current. *Journal Plankton Research*, 34, 749–760.

Kahru M., Kudela R. M., Anderson C. R., Mitchell, B. G. (2015). Optimized merger of ocean chlorophyll algorithms of MODIS-aqua and VIIRS. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 12, 2282–2285.

Kin'dyushcv, VI. (1970). Seasonal variations of water mass in the California region of the Pacific Ocean. *Oceanology*, 10 (4): 456-464.

Kjørboe, T. (1993). Turbulence, phytoplankton cell size and the structure of pelagic food webs. *Advances in Marine Biology*, 29, 1-72.

Kirk, J. T. O. (2011). *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems*. Cambridge University Press, Third edition. Cambridge, 401 pp.

Kudela, R., Pitcher, G., Probyn, T., Figueiras, F., Moita, T., Trainer, V. (2005). Harmful algal blooms in coastal upwelling systems. *Oceanography*, 18(2), 136-147.

Latasa M., Gutiérrez-Rodríguez A., Cabello A. M. M., Scharek R. (2016). Influence of light and nutrients on the vertical distribution of marine phytoplankton groups in the deep chlorophyll maximum. *Science of Marine* 80:S157–S162

Lavaniegos, B. E., Ambriz-Arreola, I., Hereu, C. M., Cadena-Ramírez, J. L., García-García, P. (2010). Variabilidad estacional e interanual del zooplancton. En Gaxiola-Castro G, Durazo R (eds.), *Dinámica del ecosistema pelágico frente a Baja California 1997- 2007: Diez años de investigaciones Mexicanas de la Corriente de California*, 87-126.

Liu, H., Probert, I., Uitz, J., Claustre, H., Aris-Brosou, S., Frada, M., Not, F., de Vargas, C. (2009). Extreme diversity in noncalcifying haptophytes explains a major pigment paradox in open oceans. *Proceedings of the national academy of sciences*, 106(31), 12803-12808.

Lopes dos Santos, A., Pollina, T., Gourvil, P., Corre, E., Marie, D., Garrido, J.L., Rodríguez, F., Noel, M–H., Vaultot, D., Eikrem, W. (2017). Chloropicophyceae, a new class of picophytoplanktonic prasinophytes. *Scientific Report*, 7, 1–20,

Lynn R. J., Bograd S. J., Chereskin T. K., Huyer A. (2003). Seasonal renewal of the California Current: The spring transition off California. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 108, 3279,

Mackey, M. D., Mackey, D. J., Higgins, W. H. Wright, S. W. (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. C. (1980). Algal size. En Morris, I. (eds.), *The physiological ecology of phytoplankton Blackwell Scientific Publications*, Oxford, UK. 433-464.

Mancilla Peraza, M., López Castillo, G., Palacios Hernández, E. (1993). Variabilidad hidrográfica de bahía Vizcaíno, Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 19(3), 265-284.

Martínez-Fuentes, L. M., Gaxiola-Castro, G., Gómez-Ocampo, E., Kahru, M., (2016). Effects of interannual events (1997–2012) on the hydrography and phytoplankton biomass of Sebastián Vizcaíno Bay. *Ciencias Marinas*, 2016, 42.

McEwen G. F. (1916). Summary and interpretation of the hydrographic observations made by the Scripps Institution for Biological Research of the University of California, 1908 to 1915. University of California. *Zoology*, 15, 255–356.

Miranda-Álvarez, C., González-Silvera, A., Santamaría-del-Angel, E., López-Calderón, J., Godínez, V. M., Sánchez-Velasco, L., Hernández-Walls, R. (2020). Phytoplankton pigments and community structure in the northeastern tropical pacific using HPLC-CHEMTAX analysis. *Journal of Oceanography*, 76(2), 91-108.

Millán-Núñez, E., Millán-Núñez, R. (2010). Specific absorption coefficient and phytoplankton community structure in the Southern Region of the California Current during January 2002. *Journal of oceanography*, 66(5), 719-730.

Moreno, G. J., Valdés, J. G. (2006). Estimación de temperatura potencial y salinidad promedio de la superficie de $27.0 \theta \sigma$ de la región sureña de la Corriente de California por el método de análisis objetivo. *GEOS*. 25(3), 408-416.

NIST/SEMATECH e-Handbook of Statistical Methods. (2003). <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>, revisado el 18/07/2020 <https://doi.org/10.18434/M32189>

Palacios-Hernández E., Argote E. M., Amador B. A., Mancilla P. M. (1996). Simulación de la circulación barotrópica inducida por viento en Bahía Sebastián Vizcaíno, B.C. *Atmósfera* 9, 171–188.

Pérez-Brunius P., López M., Parés-Sierra A., Pineda J. (2007). Comparison of upwelling indices off Baja California derived from three different wind data sources. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations*, 48, 204–214.

Portela E., Beier E., Barton E. D., Castro, R., Godinez, V., Sánchez-Velasco; Trasviña A. (2016). Water masses and circulation in the tropical pacific off central Mexico and surrounding areas. *Journal Physical Oceanography*, 46(10), 3069–3081.

Reid Jr, J. L. (1958). Studies of the California Current system. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations*, 1, 28-56.

Reimer, J., Rodríguez-Troncoso, A. P. (2014). Introducción a la química marina: importancia de los principales nutrientes inorgánicos en el océano. *Investigaciones Costeras*, 9 pp.

Rodríguez Martínez, J. (2005). La estructura de tamaños del plancton: un tópico interdisciplinar y Margalefiano. *Ecosistemas*, 14(1), 40-51.

Rodríguez, J., Tintoré, J., Allen, J. T., Blanco, J. M., Gomis, D., Reul, A., Ruiz, J., Rodríguez, V., Echevarría, F. Jiménez-Gómez, F. (2001). Mesoscale vertical motion and the size structure of phytoplankton in the ocean. *Nature* 410, 360-363.

Roy, S., Garrido, J. L. (2013). Pigments. Liquid chromatography. En (ed.), Reedijk J. *Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering*. Elsevier, Waltham, Massachusetts, 3832-3839.

Sánchez-Cobarrubias G. V. (2019). Caracterización de la comunidad fitoplanctónica en la Laguna Ojo de Liebre (B. C. S.) en febrero de 2018. Tesis de licenciatura en Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. 49 pp.

Seoane, S., Zapata, M., Orive, E. (2009). Growth rates and pigment patterns of haptophytes isolated from estuarine waters. *Journal of Sea Research*, 62(4), 286-294.

Smith, J., Connell, P., Evans, R. H., Gellene, A. G., Howard, M. D., Jones, B. H., Kaveggia S., Palmer, L., Schnetzer, A., Seegers, B., Tatters, A., Caron, D. Seubert, E. L. (2018). A decade and a half of *Pseudo-nitzschia* spp. and domoic acid along the coast of southern California. *Harmful algae*, 79, 87-104.

Soto-Mardones, L., Parés-Sierra, A., Garcia, J., Durazo, R., Hormazabal, S. (2004). Analysis of the mesoscale structure in the IMECOCAL region (off Baja California) from hydrographic, ADCP and altimetry data. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 51(6-9), 785-798.

Sverdrup, H. U., Johnson, M. W. Fleming, R. H. (1942). *The oceans, their physics, chemistry and general biology*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., 1087 pp.

Thomas C. S. (2012). The HPLC method. In: *The fifth SeaWiFS HPLC analysis round-robin experiment (SeaHARRE-5)*, 63–72.

Thronsen J. (1997). The planktonic marine flagellates. In: Tomas C. R. (ed). *Identifying marine phytoplankton*, 591–729.

Trucco-Pignata, P. N., Hernández-Ayón, J. M., Santamaría-del-Ángel, E., Beier, E. J., Sánchez-Velasco, L., Godínez, V. M., Norzagaray-López, O. (2019). Ventilation of the upper oxygen minimum zone in the coastal region off Mexico: Implications of El Niño 2015-2016. *Frontiers in Marine Science*, 6, 459 pp.

Van Heukelem L., Thomas C. S. (2001). Computer-assisted high-performance liquid chromatography method development with applications to the isolation and analysis of phytoplankton pigments. *Journal of Chromatography*, A. 910(1), 31-49.

Vásquez-Ortiz, M., Jiménez-Quiroz, María del Carmen. (2017). BOLETÍN DE CLOROFILA-a (CHLA). SUSTENTABILIDAD Y PESCA RESPONSABLE EN MÉXICO, EVALUACIÓN Y MANEJO. Dirección General Adjunta de Investigación Pesquera del Pacífico Mexicano. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Instituto Nacional de Pesca y Acuicultura.

Venrick, E. L. (2015). Phytoplankton species in the California Current System off Southern California: the spatial dimensions. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Reports*, 56, 168-184.

Vidussi, F., H. Claustre, J. Guzmán-Bustillos, C. Cailliau, M. Jean-Claude (1996). Determination of Chlorophylls and carotenoids of marine phytoplankton: separation of chlorophyll a from divinyl-chlorophyll a and zeaxanthin from lutein. *Journal of Plankton Research*, 18(12), 2377-2382.

Wright, S. W., Ishikawa, A., Marchant, H. J., Davidson, A. T., van den Eenden, R. L., Nash, G. V. (2009). Composition and significance of picophytoplankton in Antarctic waters. *Polar Biology*, 32(5), 797-808.

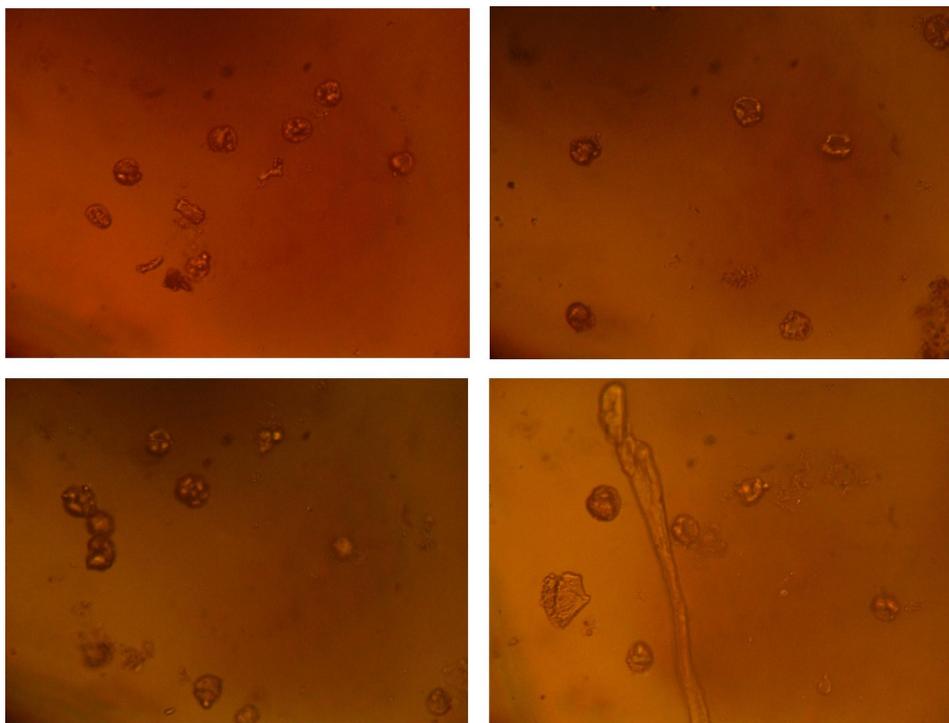
Wyllie, J.G. (1960). The water masses of Sebastian Vizcaino Bay. CALCOFI. En M. Casas, G. Ponce (eds.), *Estudio potencial pesquero y acuicola de Baja California Sur*. SEMARNAP. FAO. INP. UABCS. CIBNOR, CICIMAR.. UECYTM. La Paz, B. C. S., México. 1(8), 907-917.

Zar, J.H. *Biostatistical analysis*. (1999). 5th ed., Prentice-Hall Inc.: New Jersey, USA, 2007; 756 pp.

Zarate, M. V. M., Cota, S. E. L., Lobina, D. V., Mejia, E. M. M. (2000). Comparación entre zonas de alta actividad biológica en la costa occidental de Baja California: Punta Eugenia y Punta Baja. En: *BAC: Centros de Actividad Biológica del Pacífico mexicano*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, México, 99-110.

Zaytsev, O., Cervantes-Duarte, R., Montante, O., Gallegos-Garcia, A. (2003). Coastal upwelling activity on the Pacific shelf of the Baja California Peninsula. *Journal of Oceanography*, 59(4), 489-502.

10 Anexos



Anexo 1. Fotos tomadas en microscopio Zeiss, de la muestra tomada del segundo máximo de Cla en la estación VD2 localizado a 60 metros de profundidad, en agosto de 2017.

Anexo 2. Promedio de las razones de salida arrojadas por CHEMTAX en superficie durante el crucero realizado en agosto de 2017.

Grupo/Pigmento	Clb	19'But	19'Hex	Alo	Fuco	Peri	Zea	DV	Cla	Cl c ₃	Pras	Cla
Diatomeas	0	0	0	0	0.31	0	0	0	0	0	0	0.69
Dinoflagelados	0	0	0	0	0	0.35	0	0	0	0	0	0.65
Primnesiofitas	0	0.01	0.22	0	0.05	0	0	0	0.09	0	0	0.63
Clorofitas	0.16	0	0	0	0	0	0.02	0	0	0	0	0.75
Criptofitas	0	0	0	0.24	0	0	0	0	0	0	0	0.76
Prasinofitas	0.59	0	0	0	0	0	0.03	0	0	0.05	0	0.31
Cianobacterias	0	0	0	0	0	0	0.37	0	0	0	0	0.63
<i>Prochlorococcus</i>	0	0	0	0	0	0	0.27	0.73	0	0	0	0
Crisofitas	0	0.21	0	0	0.13	0	0	0	0	0	0	0.66

Anexo 3. Promedio de las razones de salida arrojadas por CHEMTAX en la profundidad del máximo de fluorescencia durante el crucero realizado en agosto de 2017.

Grupo/Pigmento	Clb	19'But	19'Hex	Alo	Fuco	Peri	Zea	DV	Cla	Cl c ₃	Pras	Cla
Diatomeas	0	0	0	0	0.38	0	0	0	0	0	0	0.62
Dinoflagelados	0	0	0	0	0	0.36	0	0	0	0	0	0.64
Primnesiofitas	0	0.02	0.23	0	0.06	0	0	0	0.16	0	0	0.54
Clorofitas	0.20	0	0	0	0	0	0.02	0	0	0	0	0.64
Criptofitas	0	0	0	0.27	0	0	0	0	0	0	0	0.73
Prasinofitas	0.46	0	0	0	0	0	0.02	0	0	0.06	0	0.43
Cianobacterias	0	0	0	0	0	0	0.39	0	0	0	0	0.61
<i>Prochlorococcus</i>	0	0	0	0	0	0	0.10	0.90	0	0	0	0
Crisofitas	0	0.19	0	0	0.28	0	0	0	0	0	0	0.53

Anexo 4. Promedio de las razones de salida arrojadas por CHEMTAX en superficie durante el crucero realizado en abril de 2018.

Grupo/Pigmento	Clb	19'But	19'Hex	Alo	Fuco	Peri	Zea	DV	Cla	Cl c₃	Pras	Cla
Diatomeas	0	0	0	0	0.36	0	0	0	0	0	0	0.64
Dinoflagelados	0	0	0	0	0	0.35	0	0	0	0	0	0.65
Primnesiofitas	0	0.03	0.20	0	0.06	0	0	0	0.13	0	0	0.57
Clorofitas	0.36	0	0	0	0	0	0.03	0	0	0	0	0.51
Criptofitas	0	0	0	0.31	0	0	0	0	0	0	0	0.69
Prasinofitas	0.65	0	0	0	0	0	0.03	0	0	0	0.07	0.21
Cianobacterias	0	0	0	0	0	0	0.43	0	0	0	0	0.57
<i>Prochlorococcus</i>	0	0	0	0	0	0	0.26	0.74	0	0	0	0
Crisofitas	0	0.20	0	0	0.26	0	0	0	0	0	0	0.53

Anexo 5. Promedio de las razones de salida arrojadas por CHEMTAX en la profundidad del máximo de fluorescencia durante el crucero realizado en abril de 2018.

Grupo/Pigmento	Clb	19'But	19'Hex	Alo	Fuco	Peri	Zea	DV	Cla	Cl c₃	Pras	Cla
Diatomeas	0	0	0	0	0.44	0	0	0	0	0	0	0.56
Dinoflagelados	0	0	0	0	0	0.37	0	0	0	0	0	0.63
Primnesiofitas	0	0.03	0.19	0	0.11	0	0	0	0.17	0	0	0.51
Clorofitas	0.18	0	0	0	0	0	0.02	0	0	0	0	0.68
Criptofitas	0	0	0	0.33	0	0	0	0	0	0	0	0.67
Prasinofitas	0.37	0	0	0	0	0	0.02	0	0	0	0.08	0.50
Cianobacterias	0	0	0	0	0	0	0.41	0	0	0	0	0.59
<i>Prochlorococcus</i>	0	0	0	0	0	0	0.25	0.75	0	0	0	0
Crisofitas	0	0.17	0	0	0.26	0	0	0	0	0	0	0.56

Anexo 6. Promedio, mínimo (MIN) y máximo (MAX) en concentración de pigmentos (mg/m³) durante el crucero realizado en agosto de 2017. N representa el número de datos.

	Promedio	MIN	MAX	N
Clorofilas				
DVCl _a	0.068	0.018	0.159	10
Cl _a	0.577	0.195	1.848	14
Clorofila <i>b</i>	0.092	0.024	0.220	14
Clorofila <i>c</i> ₂	0.143	0.033	0.501	14
Clorofila <i>c</i> ₃	0.089	0.012	0.334	14
Carotenoides				
[Beta_Car]	0.021	0.007	0.048	14
[19'But]	0.018	0.007	0.047	13
[19'Hex]	0.140	0.032	0.826	14
[Allo]	0.015	0.003	0.040	10
[Fuco]	0.072	0.014	0.284	14
[Perid]	0.022	0.092	0.040	8
[Zea]	0.025	0.005	0.059	14
Otros				
[Neo]	0.022	0.003	0.011	5
[Pras]	0.013	0.002	0.026	11

Anexo 7. Promedio, mínimo (MIN) y máximo (MAX) en concentración de pigmentos (mg/m³) durante el crucero realizado en abril de 2018. N representa el número de datos.

	Promedio	MIN	MAX	N
Clorofilas				
DVCl _a	0.037	0.022	0.067	11
Cl _a	0.957	0.020	2.245	32
Clorofila <i>b</i>	0.173	0.028	0.700	32
Clorofila <i>c</i> ₂	0.252	0.028	0.629	32
Clorofila <i>c</i> ₃	0.123	0.011	0.302	32
Carotenoides				
[Beta_Car]	0.030	0.005	0.066	30
[19'But]	0.025	0.006	0.083	30
[19'Hex]	0.133	0.025	0.394	32
[Allo]	0.025	0.004	0.067	28
[Diat]	0.007	0.004	0.017	9
[Fuco]	0.221	0.012	0.734	32
[Perid]	0.055	0.010	0.187	32
[Zea]	0.039	0.006	0.091	30
Otros				
[Lut]	0.005	0.005	0.005	3
[Neo]	0.022	0.005	0.149	22
[Viola]	0.008	0.008	0.009	5
[Pras]	0.037	0.006	0.119	30