

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

“DISTRIBUCIÓN DE VITAMINA B₁₂ Y COMPOSICIÓN FITOPLANCTÓNICA EN
BAHÍA SAN QUINTÍN, DURANTE UN MUESTREO EN ABRIL 2019”



TESIS
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
OCEANÓLOGO
PRESENTA:
ANDRÉS CANO SUZAN

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MAYO DE 2021

**“DISTRIBUCIÓN DE VITAMINA B₁₂ Y COMPOSICIÓN FITOPLANCTÓNICA EN
BAHÍA SAN QUINTÍN, DURANTE UN MUESTREO EN ABRIL 2019”**

TESIS
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
OCEANÓLOGO.

PRESENTA:

ANDRÉS CANO SUZAN

APROBADA POR:



Dra. Mary Carmen Ruiz de la Torre
Director de tesis



Dr. Josué Rodolfo Villegas Mendoza
Sinodal



Dra. Karina del Carmen Lugo Ibarra
Sinodal



Dr. Adán Mejía Trejo
Sinodal

RESUMEN

El fitoplancton es un conjunto de microorganismos fotosintéticos que se encargan de la productividad primaria en el océano. Estos microorganismos en ocasiones se encuentran limitados por la disponibilidad de diversos macronutrientes (principalmente nitratos), y de micronutrientes inorgánicos y orgánicos tales como vitaminas. Se ha estudiado poco la capacidad que tienen las vitaminas en el ambiente marino, para influir en la dominancia de especies y en el desarrollo y formación de florecimientos algales nocivos. El objetivo de este trabajo es medir la distribución de vitamina B₁₂ disuelta y particulada, y su influencia en la composición de las comunidades fitoplanctónicas en Bahía San Quintín, Baja California. Se realizó un muestreo el 5 de abril de 2019, en donde se tomaron muestras de agua en el interior de la bahía. Se realizaron conteos de fitoplancton, se analizaron nutrientes (NO_3^- , NO_2^- , PO_4^-), se obtuvieron datos de temperatura, clorofila, oxígeno disuelto y se cuantificó la vitamina B₁₂ disuelta y particulada, mediante un inmunoensayo tipo ELISA. Se obtuvo que en Bahía San Quintín las diatomeas fueron el grupo más dominante del muestreo, asociado a cambios estacionales; además, se presentó un florecimiento de *Pseudo-nitzschia sp* en una de las estaciones centrales de la laguna costera. Las concentraciones de vitamina disuelta fueron menores que la vitamina particulada, la cual, presentó su concentración máxima en donde se dio el florecimiento de *Pseudo-nitzschia sp*. Esta especie es auxótrofa de vitamina B₁₂, es decir, no la pueden producir, por lo que, se sugiere que esta vitamina pudo influenciar al florecimiento de esta diatomea; sin embargo, los factores que controlan la disponibilidad de este compuesto orgánico y las bajas concentraciones en las que se encuentran, son aún complejos de entender.

Palabras clave: Vitamina B₁₂, fitoplancton, San Quintín.

DEDICATORIA

A mis padres Víctor e Ivonne

AGRADECIMIENTOS

En especial a la Dra. Mary Carmen Ruíz de la Torre por todo su apoyo y motivación durante la carrera y en el desarrollo de este trabajo.

Dr. Josué Rodolfo Villegas Mendoza, Dra. Karina del Carmen Lugo Ibarra y Dr. Adán Mejía Trejo, por todo el apoyo que me brindaron durante mi trayecto en la facultad y en este trabajo.

Oc. Diana Rodríguez Escobar y Oc. Selene Andrade Hernández por su apoyo en el trabajo de laboratorio.

M.C. Yaireb Sánchez por su apoyo en la identificación de especies.

Oc. Vicente Guerrero Herrera (QEPD) y a la empresa Ostrícola Nautilus S de R.L. de C.V por las facilidades para la salida de campo.

ProEsteros en especial al M.C. Gabriel Camacho Jiménez por el apoyo y logística para el trabajo de campo.

Dr. Ernesto García Mendoza por las facilidades para revisar muestras de fitoplancton en el laboratorio FICOTOX-CICESE.

Al proyecto "Respuestas biológicas de la comunidad fitoplanctónica a la presencia de hierro disuelto y vitamina B₁₂, y sus implicaciones para la formación y persistencia de florecimientos algales nocivos en aguas costeras mexicanas" de la convocatoria Ciencia Básica 2016 (MCRuiz).

Al CONACyT por el otorgamiento de beca para la realización de este trabajo de tesis.

A mis padres por todo su apoyo que me han brindado para estudiar esta carrera.

Familia y amigos que siempre han estado presentes.

ÍNDICE

RESUMEN	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTOS	5
ÍNDICE.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
INTRODUCCIÓN	9
ANTECEDENTES	11
HIPÓTESIS.....	14
OBJETIVOS	15
Objetivo general:.....	15
Objetivos particulares:	15
ÁREA DE ESTUDIO	16
METODOLOGÍA.....	17
Identificación de especies fitoplanctónicas	17
Fórmulas empleadas	19
Hidrografía y variables fisicoquímicas	20
Vitamina B₁₂	21
RESULTADOS	23
Condiciones hidrográficas en Bahía San Quintín	23
Comunidad fitoplanctónica en Bahía San Quintín	34
Vitamina B₁₂ en Bahía San Quintín	38
DISCUSIÓN	44
Hidrografía y comunidad fitoplanctónica en Bahía San Quintín.....	44
Vitamina B₁₂ en Bahía San Quintín	49
CONCLUSIONES	52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
ANEXOS	58
Anexo 1.....	58
Anexo 2.....	60
Anexo 3.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Mapa de localización de Bahía San Quintín, Baja California; 15 estaciones muestreadas el 5 de abril de 2019 (puntos azules).

Figura 2.- a) Nivel del mar [m]; b) índice de surgencias [$\text{m}^3 \text{s}^{-1} 100 \text{ m}^{-1}$] el día 5 de abril de 2019 (línea roja y azul) en Bahía San Quintín, Baja California.

Figura 3.- Índice de surgencia [$\text{m}^3 \text{s}^{-1} 100 \text{ m}^{-1}$] del año 2019 (recuadro rojo, correspondiente al muestreo del 5 de abril en Bahía San Quintín, Baja California).

Figura 4.- Temperatura [$^{\circ}\text{C}$] superficial registrada en las estaciones muestreadas el 5 de abril de 2019 en Bahía San Quintín, Baja California.

Figura 5.- Concentraciones de O_2 [$\mu\text{mol/L}$] en las estaciones muestreadas el 5 de abril de 2019 en Bahía San Quintín, Baja California.

Figura 6.- Concentraciones de clorofila “a” [mg m^{-3}] en las estaciones muestreadas el 5 de abril de 2019 en Bahía San Quintín, Baja California.

Figura 7.- Concentraciones de N-NO_2^- [$\mu\text{mol/L}$] en las estaciones muestreadas el 5 de abril de 2019 en Bahía San Quintín, Baja California.

Figura 8.- Concentraciones de N-NO_3^- [$\mu\text{mol/L}$] en las estaciones muestreadas el 5 de abril de 2019 en Bahía San Quintín, Baja California.

Figura 9.- Concentraciones de P-PO_4^- [$\mu\text{mol/L}$] en las estaciones muestreadas el 5 de abril de 2019 en Bahía San Quintín, Baja California.

Figura 10.- Abundancia total de fitoplancton [cel L^{-1}], en las estaciones muestreadas el 5 de abril de 2019 en Bahía San Quintín, Baja California.

Figura 11.- Abundancia relativa por grupos fitoplanctónicos [%], en las estaciones muestreadas el 5 de abril de 2019 en Bahía San Quintín, Baja California.

Figura 12.- Abundancia absoluta [cel L^{-1}] de *Pseudo-nitzschia sp* (género más abundante del muestreo) y concentraciones de clorofila [mg m^{-3}], en las estaciones muestreadas el 5 de abril 2019 en Bahía San Quintín, Baja California. No aplica clorofila en estación 13 y 15.

Figura 13.- Abundancia absoluta [cel L^{-1}] de *Pseudo-nitzschia sp* (género más abundante del muestreo) y Temperatura superficial [$^{\circ}\text{C}$], en las estaciones muestreadas el 5 de abril 2019 en Bahía San Quintín, Baja California.

Figura 14.- Concentraciones de vitamina B₁₂ [pmol/L] en las estaciones muestreadas el 5 de abril de 2019 en Bahía San Quintín, Baja California. a) vitamina B₁₂ disuelta; b) vitamina B₁₂ particulada.

Figura 15.- Concentraciones de vitamina B₁₂ disuelta, particulada [pmol/L] y clorofila [mg m^{-3}], en las estaciones muestreadas el 5 de abril de 2019 en Bahía San Quintín, Baja California. No hay información de clorofila en estación 4, ni de vitamina B₁₂ disuelta en estación 9.

Figura 16.- Abundancia de *Pseudo-nitzschia sp* [cel L^{-1}] y concentraciones de vitamina B₁₂ particulada [pmol/L], en las estaciones muestreadas el 5 de abril de 2019 en Bahía San Quintín, Baja California.

INTRODUCCIÓN

Los productores primarios requieren de nutrientes para su crecimiento, tales como: nitrógeno, fósforo, sílice, metales traza (principalmente Fe) y compuestos orgánicos como vitaminas (Munn, 2004). Sin embargo, gran variedad de estudios se ha enfocado en estudiar los macronutrientes (necesarios en grandes cantidades) y su importancia en la productividad primaria del fitoplancton, pero poco se ha investigado sobre el papel de las coenzimas, que, requeridos en bajas cantidades, pero indispensables para el funcionamiento celular, tal es el caso de la vitamina B₁₂ (Sañudo-Wilhelmy *et al.*, 2006).

La vitamina B₁₂ o cobalamina (B₁₂) es una molécula que contiene cobalto, tiene un papel importante como cofactor orgánico que interviene en el desarrollo y crecimiento del fitoplancton. Una gran parte de estos microorganismos son auxótrofos, es decir, requieren de una fuente exógena de vitamina, ya que no poseen los genes necesarios para sintetizarla (Ellis, 2015). El fitoplancton puede adquirir de diferentes maneras esta vitamina, ya sea en su forma disuelta, por fagotrofia o episimbiosis (Cruz-López *et al.*, 2018). La B₁₂ interviene en diversos procesos celulares, en donde funge como cofactor enzimático de diversas reacciones bioquímicas, como, por ejemplo, la biosíntesis de metionina (Sañudo *et al.*, 2012; Koch *et al.*, 2012). Esta vitamina puede ser requerida para procesos fotosintéticos, ya que están involucrados en la síntesis de filoquinona, el cual es un importante transportador de electrones al fotosistema I (Ellis, 2015).

Los principales productores de vitamina B₁₂ en el océano son las bacterias heterotróficas, archaea y cianobacterias (*Prochlorococcus* y *Synechococcus*) (Koch *et al.*, 2012; Sañudo *et al.*, 2014); sin embargo, el picoplancton y ciertas bacterias también forman una parte considerable de los organismos consumidores de esta vitamina. Estos microorganismos poseen menores tiempos de duplicación y mayor biomasa, por lo que pueden dominar en el consumo de la B₁₂ y limitar el crecimiento de fitoplancton eucariota (Koch *et al.*, 2012).

La dinámica de poblaciones de los microorganismos fitoplanctónicos, pueden estar influenciados por la disponibilidad de esta vitamina y los requerimientos que tenga cada especie. Sin embargo, las concentraciones de la B₁₂ en el océano son bajas, lo cual puede ser

limitante para la productividad primaria. Aunque se han hecho diversos estudios para comprender la relevancia ecológica que tiene la B₁₂ en el océano (Sañudo *et al.*, 2006; Sañudo *et al.*, 2012), no está completamente entendido que factores controlan la síntesis, consumo y excreción de la misma (Sañudo *et al.*, 2012; Sañudo *et al.*, 2014).

La importancia que tienen las vitaminas en el desarrollo y persistencia de los Florecimientos Algales Nocivos (FAN), ha sido muy poco estudiada (Tang *et al.*, 2010). Los FAN son el incremento en el número de células de fitoplancton, las cuáles pueden consumir los nutrientes disponibles y el oxígeno disuelto (Band-Schmidt *et al.*, 2011). La deficiencia de oxígeno puede causar la muerte masiva de peces y de animales bentónicos. Además, existen especies de diatomeas y dinoflagelados que tienen la capacidad de producir toxinas; por lo que, la acumulación de células de este tipo de especies durante un FAN puede repercutir de diferentes maneras (Granéli y Turner, 2006). Las afectaciones son diversas, algunas de ellas pueden ser: muerte de organismos cultivados y silvestres; afectación a actividades económicas, tales como turismo, acuacultura y pesca; afectaciones al paisaje, ya que se generan coloraciones, espuma y olores. Por último, afectaciones a la salud pública ya que algunas toxinas producidas pueden ser paralizantes, diarreicas, amnésicas, entre otras, que se pueden adquirir debido al consumo de mariscos (García-Mendoza *et al.*, 2016).

Este trabajo tiene el objetivo de generar información por primera vez sobre la distribución y concentración de vitamina B₁₂ en la fracción disuelta y particulada en Bahía San Quintín. Además, relacionar a este micronutriente con la comunidad fitoplanctónica ante la presencia de especies con potencial nocivo.

ANTECEDENTES

La costa oeste de Baja California se encuentra ubicada en la región norte del Pacífico mexicano. Esta zona corresponde a la porción más sureña del Sistema de la Corriente de California (CC), la cual se caracteriza por transportar aguas superficiales de origen subártico hacia el sur, relativamente frías, baja salinidad y bien oxigenada; además, existe una contracorriente que se dirige hacia el norte, la cual se origina en el sur, rica en nutrientes, alta salinidad y baja en oxígeno (Durazo, 2015). Es una región en la cual confluyen diversos procesos oceanográficos tales como surgencias costeras, producto del forzamiento del viento paralelo a la costa, la cuál va a ocasionar un afloramiento de agua fría y rica en nutrientes hacia la superficie, esto ocasiona que sean zonas muy productivas (García-Mendoza *et al.*, 2016).

El Pacífico norte mexicano se caracteriza por la importancia de pesquerías como la de la anchoveta, sardina y atún, las cuáles se sostienen debido a la gran productividad de la región (Rivera-Arriaga y Villalobos, 2001). Baja California cuenta con una gran variedad de ambientes costeros, como bahías, lagunas costeras, estuarios, etc., que son de importancia pesquera y acuacultura, como es el caso de Bahía San Quintín.

Bahía San Quintín (BSQ) es una laguna costera que ha sido objeto de estudio por la comunidad científica en los últimos años. Debido a la necesidad de entender el funcionamiento del sistema, y como sostiene el desarrollo de la acuacultura en la región. En el brazo este de la bahía se cuenta con cultivos de ostión japonés *Crassostrea gigas*, el cual fue introducido en la región en los años 70's y es ahora un recurso pesquero muy importante para los locales (Zertuche-Chanes, 2016).

Las condiciones que requieren los ostiones para su crecimiento, son el intercambio de agua entre la bahía y el océano, y la productividad primaria (Camacho-Ibar *et al.*, 2003). Ésta última, en ocasiones limita el crecimiento de los ostiones, ya que el principal productor primario es el fitoplancton y éste a su vez, puede encontrarse limitado por la disponibilidad de luz y nutrientes.

La BSQ se caracteriza por ser una zona de gran productividad acuícola, debido a la presencia de fitoplancton, macroalgas y pastos marinos. Los procesos biogeoquímicos suelen

estar influenciados por la hidrodinámica de la región, los procesos biológicos y la asimilación de nutrientes son afectados por la física, como la temperatura y la luz. La marea es un factor muy importante en la distribución de energía de esta laguna, ya que provoca erosión, mezcla en la columna de agua y transporte de sedimento y de organismos. Su principal fuente de nutrientes proviene directamente del océano adyacente, de los cultivos de ostión y del reciclado de las bacterias, ya que la presencia de desechos orgánicos de origen antropogénico es casi nula (Zertuche-Chanes, 2016).

Álvarez-Borrego (2004) durante un muestreo realizado en julio de 1977, registraron valores de clorofila mayores en la boca de la laguna que en las cabeceras. Las altas concentraciones se encontraron principalmente en verano debido al efecto de surgencias ($>8 \text{ mg m}^{-3}$). Las abundancias de fitoplancton disminuyeron de la boca hacia el brazo este de la bahía, las diatomeas fueron el grupo dominante del muestreo ($>400 \text{ cel ml}^{-1}$ en la entrada de la bahía).

Gracia-Escobar *et al.* (2014) en un muestreo realizado en octubre de 2004, encontraron que el grupo de los dinoflagelados fue el dominante del muestreo y seguido las diatomeas. En la temporada de primavera es común encontrar a las diatomeas como el grupo dominante, debido a la intensificación de las surgencias; por otro lado, en otoño durante condiciones normales dominan los dinoflagelados.

Los géneros que dominan la comunidad fitoplanctónica en BSQ dependen de los cambios estacionales. Durante la primavera de 2011, Gracia-Escobar *et al.* (2015) reportaron en su trabajo que, en esta época, se presentó un “minibloom” (aumento en biomasa de células por un periodo corto de tiempo) de diatomeas, géneros como: *Guinardia sp* ($5.9 \times 10^3 \text{ cel L}^{-1}$), *Pseudonitzschia sp* ($4.16 \times 10^3 \text{ cel L}^{-1}$), *Skeletonema sp* ($2.8 \times 10^3 \text{ cel L}^{-1}$), *Chaetoceros sp* ($1.64 \times 10^3 \text{ cel L}^{-1}$) y *Eucampia sp* ($1.04 \times 10^3 \text{ cel L}^{-1}$).

Diversos estudios durante los FAN, se enfocan en investigar los macronutrientes; sin embargo, hay escasos trabajos que se enfaticen en el análisis de los nutrientes necesarios en menor concentración, particularmente las vitaminas B. La B₁₂ que forma parte del grupo de las vitaminas B puede estar relacionada con el desarrollo de florecimientos algales (Tang *et al.*, 2010). Las concentraciones de vitamina son bajas, en mar abierto se presentan de <0.1 -

40 pmol/L, y en ecosistemas costeros de <0.1-100 pmol/L (Koch *et al.*, 2012). En muchos casos las concentraciones se encuentran por debajo de los 7 pmol/L (Tang *et al.*, 2010).

Más de la mitad de las especies de fitoplancton son auxótrofas de B₁₂, y las diatomeas ocupan un 60% del fitoplancton auxótrofo (Bertrand y Allen, 2012). Algunas diatomeas como *Pseudo-nitzschia sp*, *Thalassiosira sp* y *Skeletonema sp*, son especies auxótrofas de B₁₂ (Ellis, 2015). La especie *Pseudo-nitzschia australis* es una diatomea productora de ácido domoico y formadora de florecimientos algales en las costas de Baja California, se encuentran asociados a condiciones de surgencia, en donde las temperaturas descienden a los 14°C (García-Mendoza *et al.*, 2016).

HIPÓTESIS

La vitamina B₁₂ se relaciona con la presencia de especies con potencial nocivo en Bahía San Quintín, Baja California.

OBJETIVOS

Objetivo general:

Evaluación de la distribución de vitamina B₁₂ en la fracción disuelta y particulada en Bahía San Quintín, en donde se presentan especies de fitoplancton con potencial nocivo, durante un muestreo en abril 2019.

Objetivos particulares:

1. Descripción de las condiciones hidrográficas y físico-químicas de BSQ.
2. Identificación de las especies de fitoplancton con potencial nocivo en BSQ.
3. Estimación de la concentración de vitamina B₁₂ en la fracción disuelta y particulada, en muestras de agua tomadas en BSQ.

ÁREA DE ESTUDIO

Bahía San Quintín (BSQ) es una laguna costera en forma de “Y” que se encuentra ubicada en la costa oeste de la península de Baja California, México, a ~200 km de la ciudad de Ensenada, con las coordenadas 30°30' N y 116° W. Esta laguna está conectada con el océano Pacífico, abarca un área aproximada de 42 km² y una profundidad promedio de 2 m, la cual tiende a disminuir de la boca hacia el interior de la bahía. La circulación se encuentra influenciada por el océano adyacente, ya que existen flujos de corrientes y mareas; éstas últimas, suelen ser semidiurnas con amplitudes que van de 1 m a 2.5 m, principalmente en la época de primavera-verano. Esta bahía está conformada por dos brazos: Bahía Falsa (brazo oeste) y Bahía San Quintín (brazo este). El primero, tiene una longitud de 5.6 km y una profundidad ~6 m y el brazo este, tiene una longitud de 11.5 km y profundidades menores a 10 m (Ávila-López *et al.*, 2016; Gracia-Escobar *et al.*, 2014; Gracia-Escobar *et al.*, 2015).

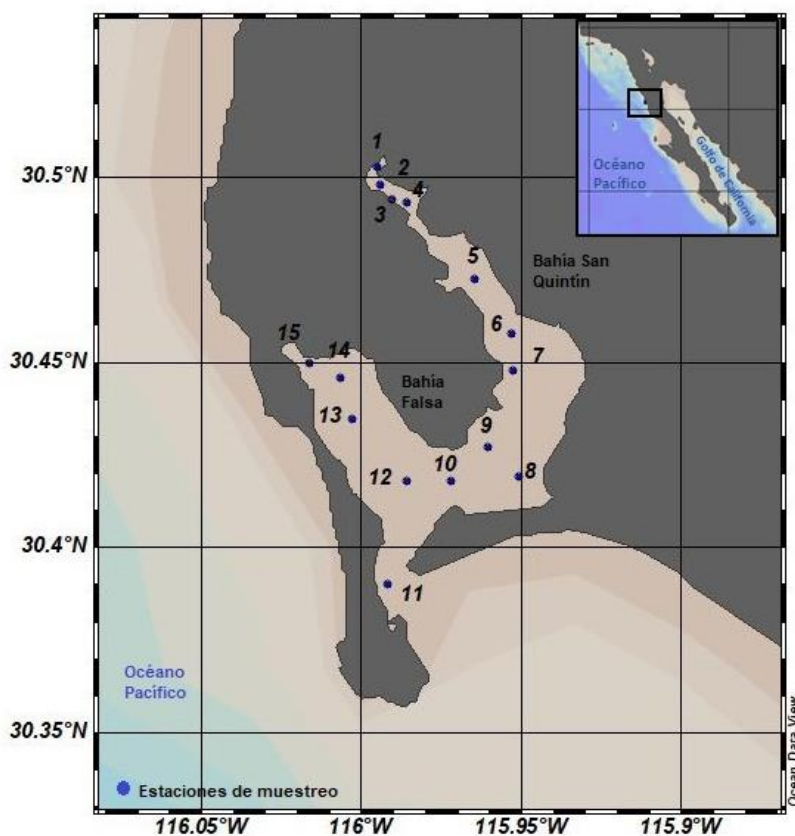


Figura 1.- Mapa de localización de Bahía San Quintín, Baja California; 15 estaciones muestreadas el 5 de abril de 2019 (puntos azules).

METODOLOGÍA

Se realizó un muestreo en Bahía San Quintín, Baja California el 5 de abril de 2019 (**Fig. 1**).

Identificación de especies fitoplanctónicas

Colecta de muestras

Las muestras fueron tomadas en botellas de 600 ml, las cuáles fueron fijadas con formaldehído al 2% y guardadas en un lugar con poca luz. Posteriormente, fueron trasladadas al laboratorio de microbios marinos y florecimientos algales nocivos de la Universidad Autónoma de Baja California.

Conteo en microscopio e identificación

Se compararon las comunidades de fitoplancton en ocho de las estaciones muestreadas en la BSQ (**Tabla I**).

Tabla I.- Estaciones analizadas para fitoplancton en Bahía San Quintín.

			Coordenadas	
Estación	Fecha	Hora	Latitud	Longitud
1	05-abr-19	14:20	30.50	-115.99
5	05-abr-19	13:13	30.47	-115.96
9	05-abr-19	12:08	30.42	-115.96
11	05-abr-19	11:05	30.39	-115.99
12	05-abr-19	11:38	30.41	-115.98
13	05-abr-19	10_08	30.43	-116.00
14	05-abr-19	09:43	30.44	-116.00
15	05-abr-19	09:12	30.44	-116.01

El conteo de fitoplancton se llevó a cabo por el método descrito por Utermöhl (1958), el cual constó de sedimentar cierto volumen de muestra en la cámara de sedimentación durante 24 a 48 horas. Se le agregaron 2.5 ml de Lugol ácido a cada muestra antes de la sedimentación. Posteriormente, ya que la muestra fue sedimentada se realizaron los conteos de fitoplancton en un microscopio invertido marca Leica DMIRB.

La lectura de la cámara se hizo mediante un barrido, ya sea horizontal o vertical. Se utilizaron objetivos de 10x y 20x. Se trató de observar toda la cámara o hasta alcanzar un mínimo de 400 células. Sin embargo, en algunos casos no fue posible alcanzar la cantidad de células mínima, debido a que el volumen de muestra sedimentada era poca. La identificación de los organismos se llevó a cabo con apoyo de guías de identificación (Aké-Castillo *et al.*, 2018; Almazán-Becerril *et al.*, 2016).

Fórmulas empleadas

Se determinó la abundancia absoluta (cel L⁻¹) y la abundancia relativa (%) de los conteos de fitoplancton en Bahía San Quintín, Baja California (**Ecuación 1 y 2**).

Abundancia absoluta

$$\text{Cel L}^{-1} = \left(\frac{\#Campos * \#Células}{\#Campos \text{ leídos}} \right) * 1000 / \text{Vol. Sed} \dots\dots\dots \text{Ecuación 1}$$

Cel L⁻¹ = Abundancia en células por litro.

Campos= Número de campos de la cámara.

Células= Número de células contadas por especie/género.

Campos leídos= Número de campos que se leyeron en la muestra.

Vol. Sed= Volumen que se sedimentó.

Abundancia relativa

$$\% = \left(\frac{\#Células * 100}{\text{Total de células}} \right) \dots\dots\dots \text{Ecuación 2}$$

Células= Número de células contadas por especie/género.

Total de células= Conteo total de células en una muestra.

Hidrografía y variables fisicoquímicas

Se realizaron lances de un CTD-RBR maestro, sensor PAR ($\mu\text{mol foton m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), Fluorescencia (Turner), Oxígeno (Optode, RBR). Se obtuvieron variables de temperatura, clorofila y oxígeno disuelto. Además, se obtuvieron datos de marea e índice de surgencia para los días muestreados. La depuración de los datos se realizó con el programa de Excel (Office, 2016) y el programa Matlab R2014a. Las gráficas fueron generadas con el programa ODV (Schlitzer, R, Ocean Data View, <http://odv.awi.de>, 2019).

Las concentraciones de clorofila fueron obtenidas a partir de la extracción de clorofila *a*. Este procedimiento consistió en tomar muestras de agua en cada una de las estaciones, aproximadamente 5 L y filtradas posteriormente en filtros GF/F de 47 mm y conservadas en congelador. Se extrajo la clorofila *a* utilizando acetona al 90% durante 24 horas. Finalmente, fueron analizadas por medio de un fluorímetro (Welschmeyer, 1994).

Los nutrientes reportados en este trabajo fueron: nitratos (N-NO_3^-), los cuáles se determinaron a partir de la reducción a nitritos por medio de la columna de cadmio; por otro lado, los nitritos (N-NO_2^-) fueron determinados a partir de la reacción con sulfanilamida y NED (N-(1-Naftil)etilendiamina diclorohidrato 98%), en donde se forma un complejo color rosa y es cuantificada mediante un espectrofotómetro, ambas formas de nitrógeno fueron leídas a una longitud de onda de 543 nm (modificado de Grasshoff *et al.*, 2009). Los fosfatos (P-PO_4^-) se determinaron por el método de ácido ascórbico en el cual se forma un complejo azul de molibdeno y leídos a una longitud de onda de 885 nm en el espectrofotómetro marca Genway (modificado de Parsons *et al.*, 1984).

Vitamina B₁₂

Para el análisis de vitamina B₁₂, se cuantificó la vitamina particulada y disuelta. Se analizaron 11 de las estaciones muestreadas en el interior de la laguna costera.

Colecta de muestras

Se recolectaron muestras de ~1 L de agua en cada una de las estaciones de ambas bahías. Posteriormente, el agua que se recolectó fue pasada a través de un filtro GF/F; por lo cual, lo recuperado en el filtro correspondió a la vitamina particulada, y el agua que se filtró, a la vitamina disuelta. Los filtros fueron envueltos en papel aluminio y guardados en congelador. El agua filtrada fue guardada en bolsas ziploc y congeladas, para evitar degradación de la vitamina.

Concentración de vitamina disuelta

Se llevó a cabo el procedimiento para concentrar la vitamina B₁₂, basado en la metodología descrita por Okbamichael & Sañudo (2004) (descrito y modificado en Villegas-Mendoza *et al.*, 2019). Antes de iniciar, fue necesario descongelar a temperatura ambiente las muestras de agua para la vitamina disuelta. Posteriormente, se acidificó la muestra con HCl 1N para lograr obtener un pH= 6.4. Ya que la muestra se acidificó, se concentró aproximadamente 500 ml de muestra en columnas con 2 gramos de C₁₈. Después de que las muestras pasaron por la columna, se hizo una elución de 5 ml de metanol y se guardaron en congelador. Finalmente, se evaporó el metanol (50 grados Celsius con presión de vacío) en cada una de las muestras para realizar el inmunoensayo ELISA.

Concentración de vitamina particulada

Los filtros que fueron guardados en el congelador, se pasaron a frascos de vidrio con 3 ml de agua destilada. La extracción de la vitamina se realizó mediante un proceso iterativo (3 veces) de enfriamiento y calentamiento (50°C), para romper las células y que la vitamina quedara liberada.

Inmunoensayo ELISA

La determinación de vitamina B₁₂ disuelta y particulada se realizó mediante un inmunoensayo ELISA (MyBioSource). El método no distingue entre las diferentes especies de la B₁₂ (cianocobalamina, metilcobalamina, coenzima B₁₂) (Zhu *et al.*, 2011), y tampoco detecta las demás vitaminas B (B₁, B₂, B₆). Este inmunoensayo consiste en la técnica por inhibición enzimática, la cual va generar una correlación inversa entre la señal del ensayo y la B₁₂ (Villegas-Mendoza *et al.*, 2019). Este procedimiento se realiza en base al protocolo otorgado por la empresa proveedora de este kit; posteriormente, se cuantifica la absorción con un lector de microplacas Multiskan (Thermo Scientific) a 450 nm. La curva de calibración se realizó en base a la densidad óptica obtenida, sobre los estándares del kit (0, 100, 250, 500, 1000, 2500 pg/ml). El coeficiente de variación obtenido fue de 48.5% y el límite de detección fue de 0.1 a 2.35 pmol/L.

Además, como apoyo para el entendimiento de la concentración y distribución de la vitamina B₁₂ en Bahía San Quintín, se presentan abundancias bacterianas analizadas durante el mismo muestreo en abril 2019 (Rodríguez-Escobar, tesis en preparación).

RESULTADOS

Condiciones hidrográficas en Bahía San Quintín

Se presentaron condiciones de marea viva durante el muestreo del 5 de abril de 2019. Las muestras fueron tomadas considerando el nivel más alto de marea, de acuerdo a la tabla de mareas de CICESE para el mes de abril (<http://predmar.cicese.mx>). El rango de mareas se encontró entre 0.5-1.5 m. El muestreo comenzó en la zona más interna del brazo oeste de la laguna a las 9:00 hrs, cuando se presentaba la pleamar. Se fue descendiendo tomando muestras hacia la boca de la bahía, para esto la marea todavía no comenzaba a descender. Posteriormente, se continuó muestreando hacia la base de la “Y” y en dicho punto la marea comenzó a descender a las 12:00 hrs. El muestreo continuó hacia el interior de BSQ hasta la estación más interna, cuando la marea ya se encontraba por debajo del nivel medio del mar a las 14:00 hrs (**Fig. 2a**).

Las condiciones de surgencia para el día muestreado, fueron obtenidas a partir del índice de surgencias registrado para el Pacífico Norte (30°N 119°W). Los valores que nos arrojó este índice para el día del muestreo no fueron tan altos ($\sim 50 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} 100 \text{ m}^{-1}$); además, el día anterior a este, se presentó un valor de $0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} 100 \text{ m}^{-1}$ (**Fig. 2b**). Esto demuestra que hubo un periodo de relajación de surgencias en días anteriores, sin embargo, después de nuestro muestreo el 5 de abril, los valores empezaron a incrementar y se alcanzaron los mayores valores de surgencia de todo el año ($> 300 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} 100 \text{ m}^{-1}$) (**Fig. 3**).

La distribución de la temperatura fue menor en la boca de la bahía (14°C), debido a la cercanía con el océano Pacífico. En el brazo oeste, las temperaturas aumentaron de la boca hacia el interior, presentando un rango de 14-19°C. Por otro lado, hacia la cabecera este, las temperaturas fueron mayores con un rango de 14-22°C desde la boca; es decir, se presentó una diferencia de 8°C (**Fig. 4**).

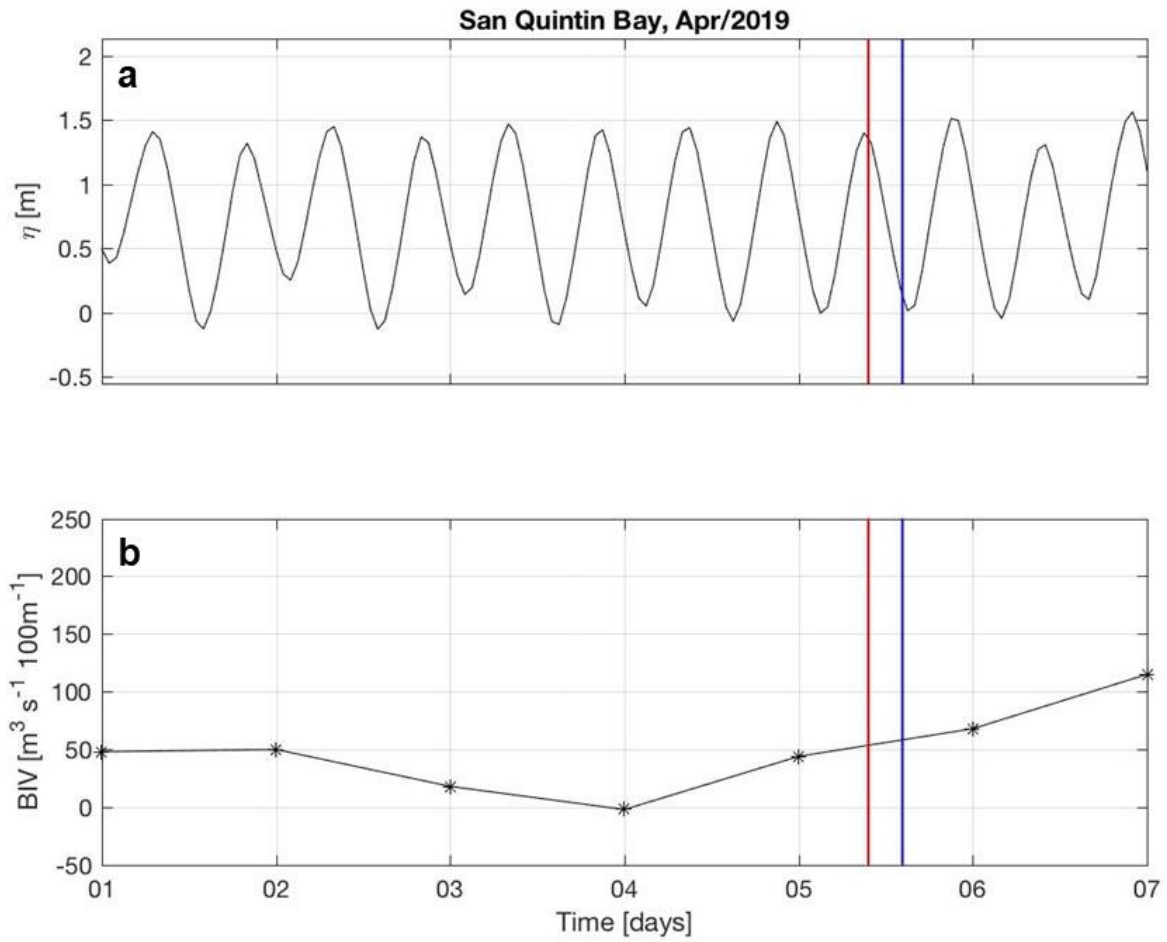


Figura 2.- a) Nivel del mar [m]; b) índice de surgencias [$\text{m}^3 \text{s}^{-1} 100 \text{m}^{-1}$] el día 5 de abril de 2019 (línea roja y azul) en Bahía San Quintín, Baja California.

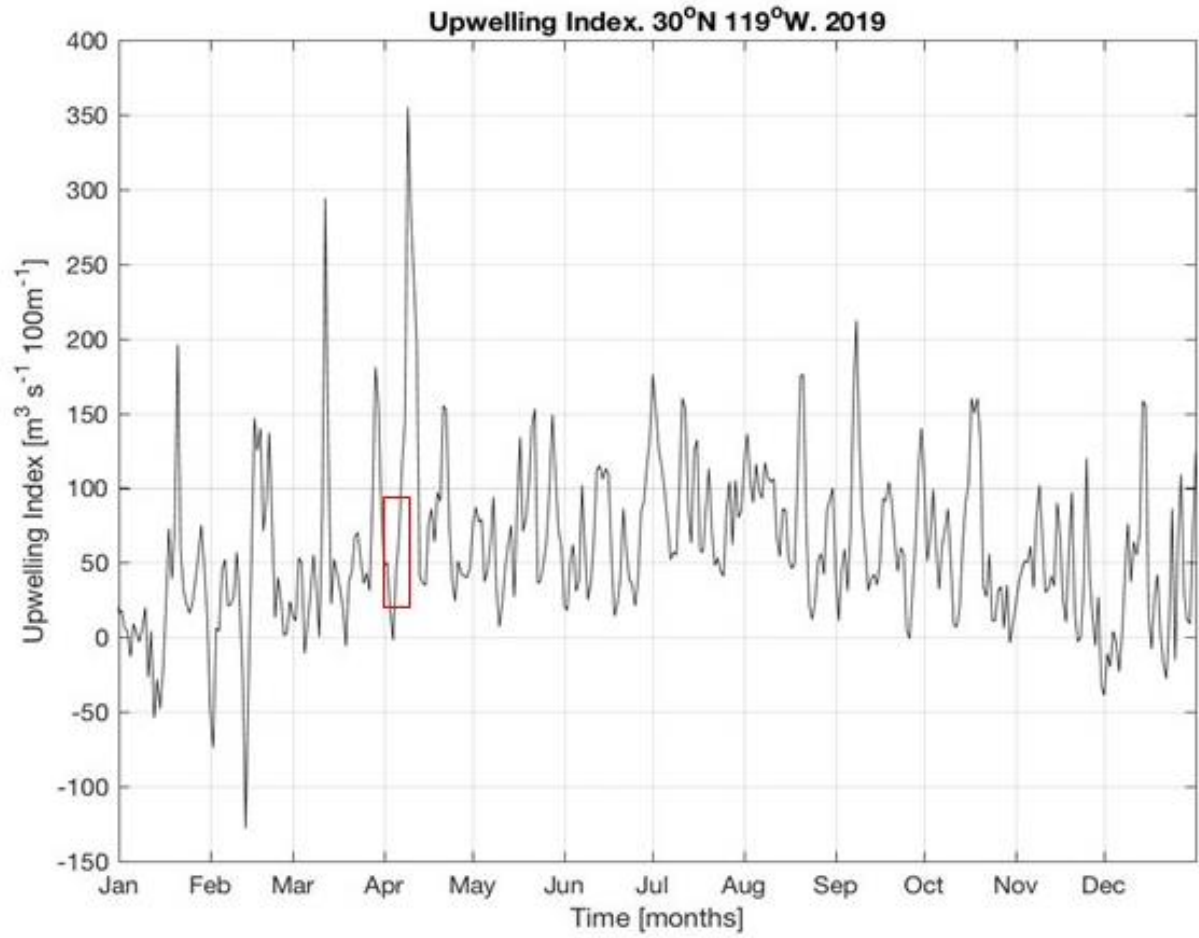


Figura 3.- Índice de surgencia [$\text{m}^3 \text{s}^{-1} 100 \text{m}^{-1}$] del año 2019 (recuadro rojo, correspondiente al muestreo del 5 de abril en Bahía San Quintín, Baja California).

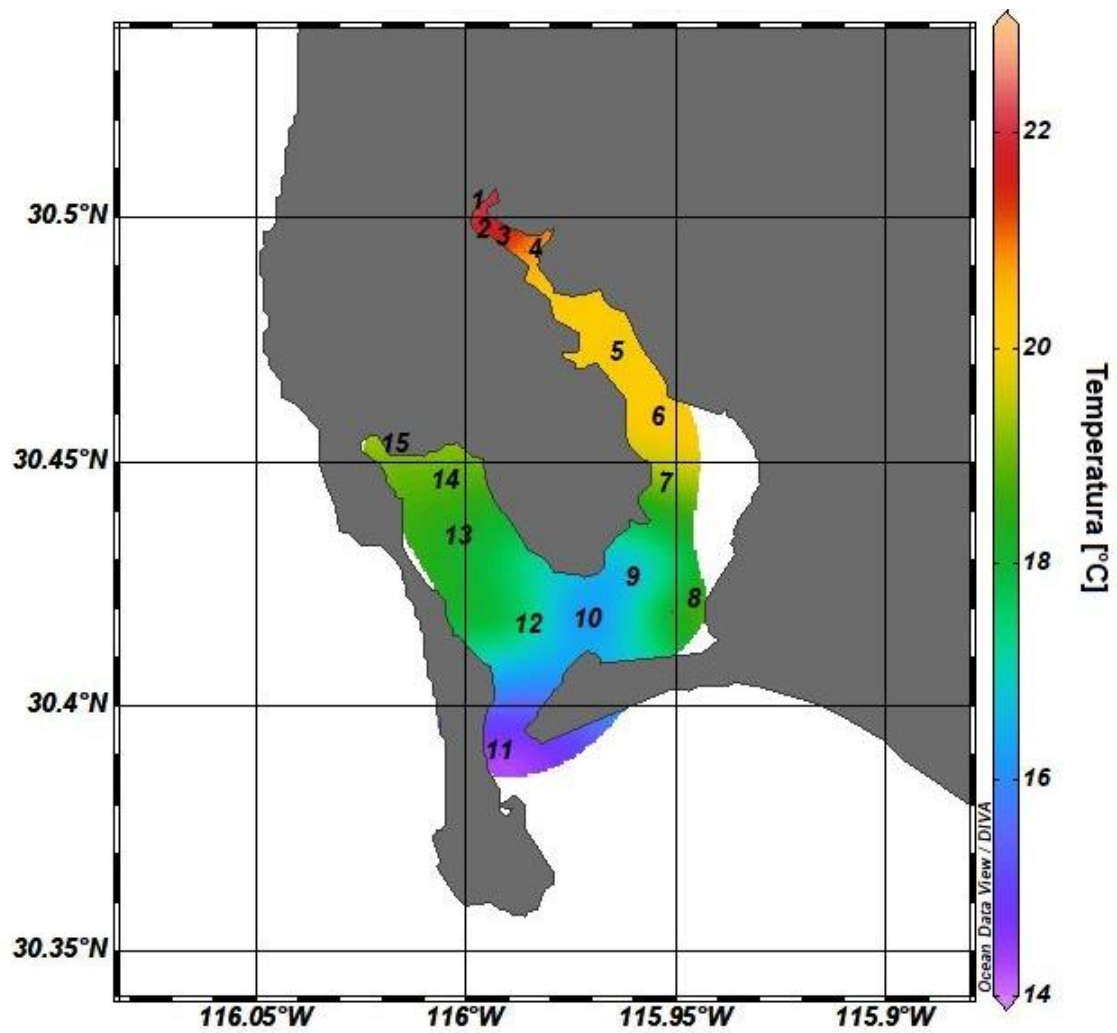


Figura 4.- Temperatura [°C] superficial registrada en las estaciones muestreadas el 5 de abril de 2019 en Bahía San Quintín, Baja California.

Las variables fisicoquímicas dependen de la física (marea y surgencias) y de la actividad biológica, que se presentan en este sistema lagunar. El oxígeno disuelto se presentó en menores concentraciones en las estaciones de las cabeceras de ambas bahías (rango de 194-228 $\mu\text{mol/L}$). De la boca de la bahía hasta la estación 5 (brazo este), se presentaron concentraciones mayores con un rango de 250-310 $\mu\text{mol/L}$ (**Fig. 5**).

En cuanto a las concentraciones de clorofila, éstas disminuyeron de la boca hacia el interior del brazo oeste (0.55-0.43 mg m^{-3}). Para el brazo este la situación fue diferente, ya que, en la base de la “Y” se dieron las mayores concentraciones (0.90-2.33 mg m^{-3}); sin embargo, en las estaciones 7 y 6 las concentraciones fueron menores (0.39 mg m^{-3}). Finalmente, a diferencia de la cabecera oeste, las concentraciones de clorofila tuvieron un incremento significativo en la zona más interna, con valores que disminuyeron de la estación 3 hacia la estación 1 (1.59-0.85 mg m^{-3} , respectivamente) (**Fig. 6**).

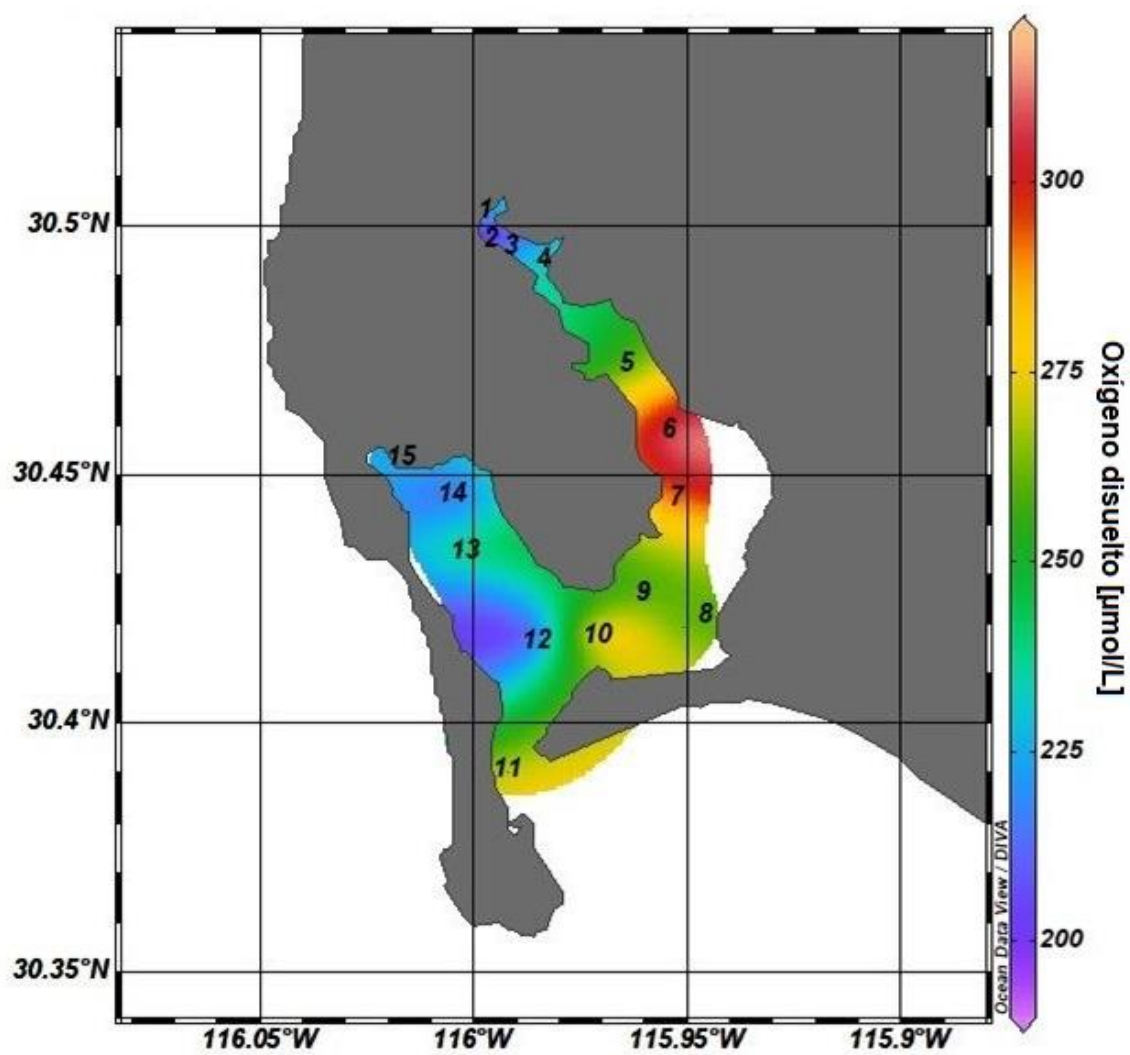


Figura 5.- Concentraciones de O₂ [µmol/L] en las estaciones muestreadas el 5 de abril de 2019 en Bahía San Quintín, Baja California.

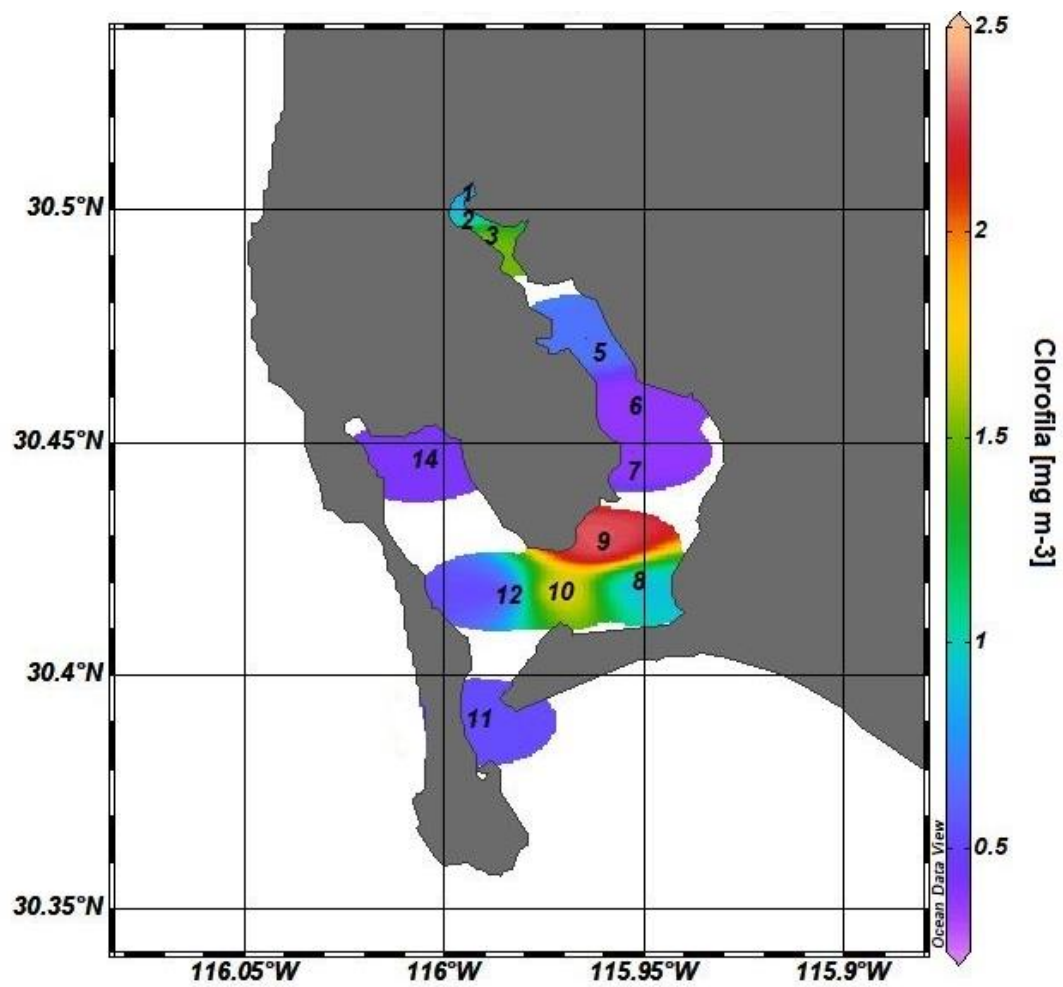


Figura 6.- Concentraciones de clorofila “a” [mg m⁻³] en las estaciones muestreadas el 5 de abril de 2019 en Bahía San Quintín, Baja California.

La distribución de los nutrientes en la bahía estuvo conformada por nitritos, nitratos y fosfatos. No se obtuvieron datos de todas las estaciones del muestreo, pero se presentan para las estaciones de la 1 a la 13. Las concentraciones de nitritos no presentaron un patrón en particular en cuanto a su distribución, en el interior de la bahía. En la única estación que se obtuvo en el brazo oeste, se registró una concentración menor ($1.26 \mu\text{mol/L}$) comparada con los demás resultados. El máximo obtenido ($4.22 \mu\text{mol/L}$) de este nutriente, fue en la estación 8 y se mostró una tendencia a disminuir en las estaciones adyacentes. Sin embargo, para las estaciones más internas de la cabecera este (4, 3, 2, 1), ocurrió un aumento para las primeras dos (1.77 y $2.1 \mu\text{mol/L}$, respectivamente) y en las últimas dos, se presentaron las menores concentraciones de NO_2^- de todo el muestreo (0.22 y $0.07 \mu\text{mol/L}$, respectivamente) (**Fig. 7**). Por otro lado, las concentraciones de nitratos obtenidas fueron muy bajas en general de acuerdo a otros trabajos. Las concentraciones de este nutriente que fueron relativamente altas, se presentaron en la boca ($0.75 \mu\text{mol/L}$). En lo que corresponde a la cabecera este, las concentraciones variaron entre 0.25 - $0.58 \mu\text{mol/L}$, las cuáles fueron mayores que en las estaciones 12 y 13, correspondientes a Bahía Falsa (0.47 y $0.18 \mu\text{mol/L}$, respectivamente) (**Fig. 8**).

La concentración de fosfato fue mayor en la estación 11 ($1.31 \mu\text{mol/L}$) y en la estación 4 ($1.28 \mu\text{mol/L}$). La estación donde se encuentran los cultivos de ostión en el brazo oeste (ST13), presentó concentraciones de $1.09 \mu\text{mol/L}$. Los más bajos valores registrados de este nutriente, fueron en las estaciones 7 y 8 (0.26 - $0.8 \mu\text{mol/L}$, respectivamente) (**Fig. 9**).

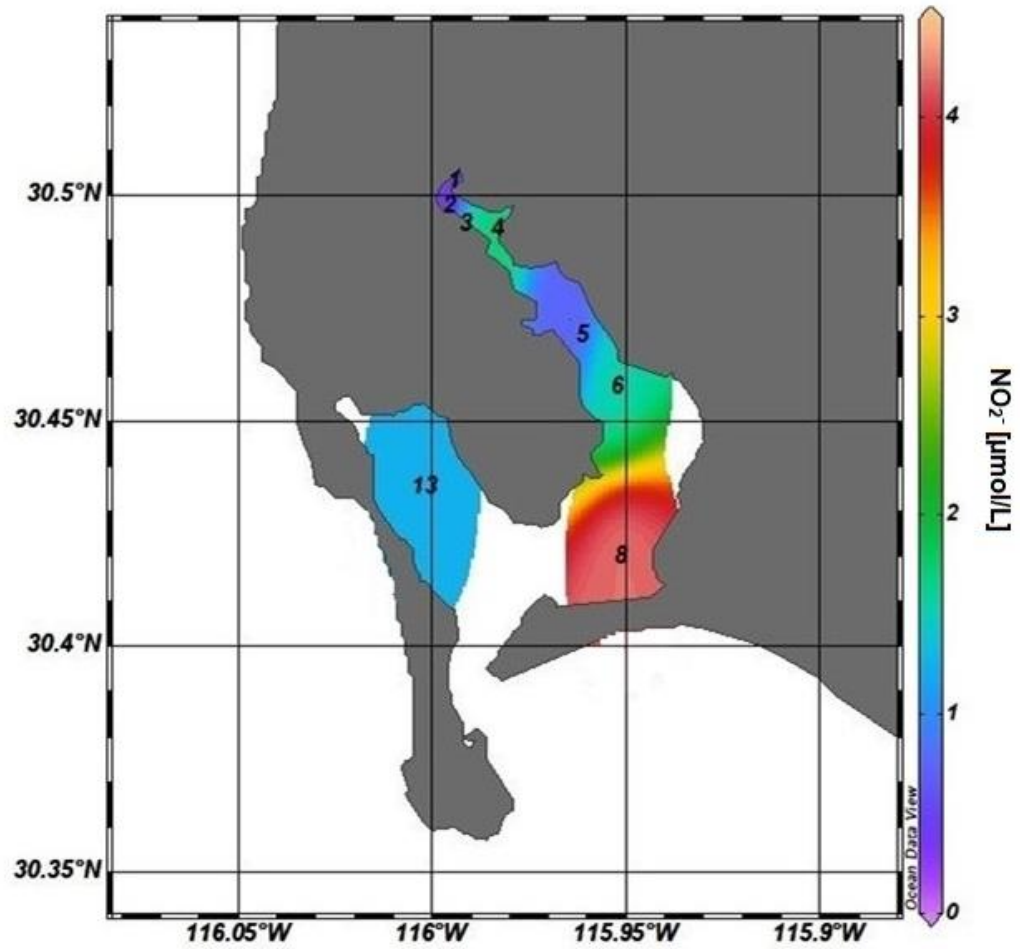


Figura 7.- Concentraciones de N-NO_2^- [$\mu\text{mol/L}$] en las estaciones muestreadas el 5 de abril de 2019 en Bahía San Quintín, Baja California.

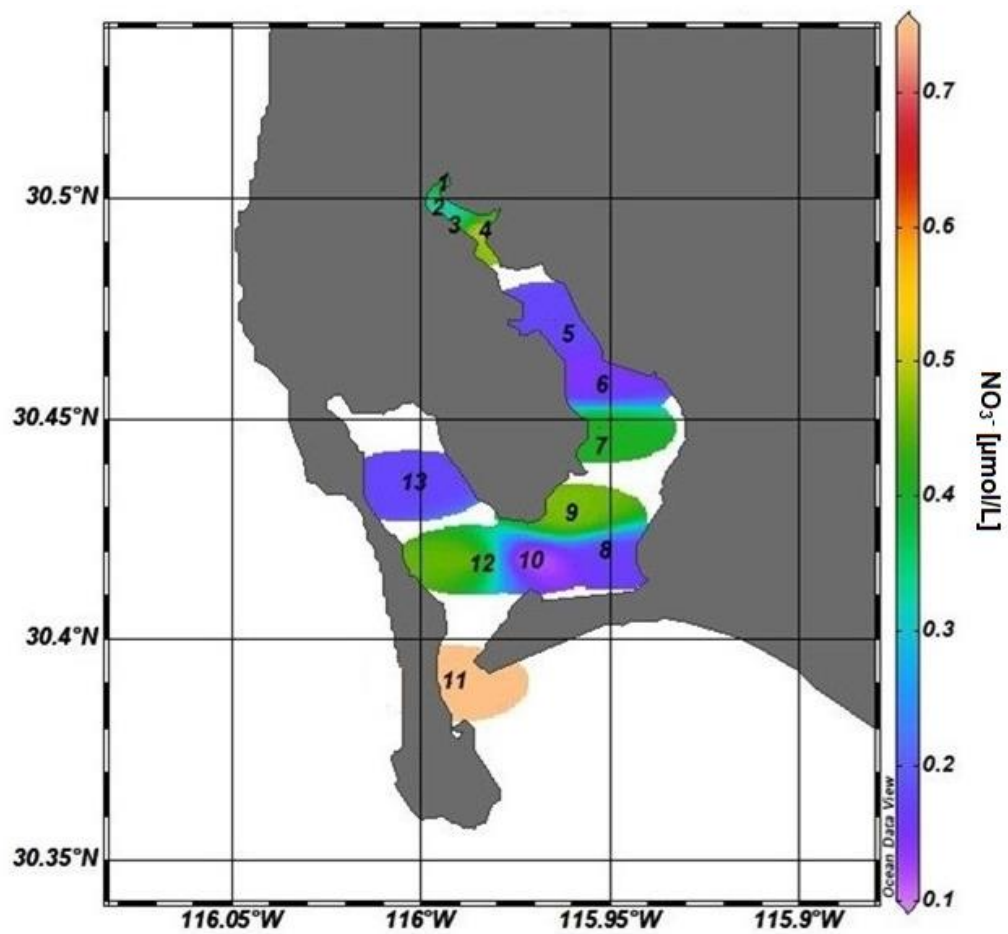


Figura 8.- Concentraciones de N-NO_3^- [$\mu\text{mol/L}$] en las estaciones muestreadas el 5 de abril de 2019 en Bahía San Quintín, Baja California.

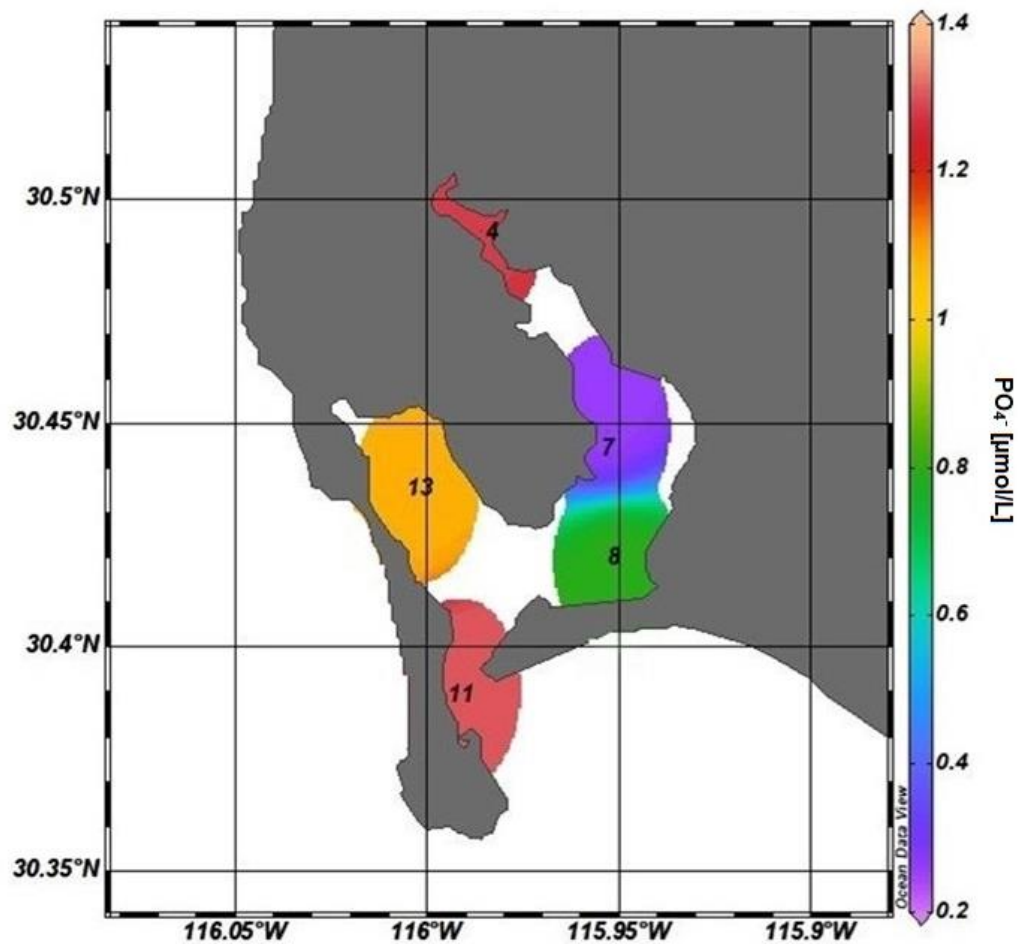


Figura 9.- Concentraciones de $P-PO_4$ [$\mu\text{mol/L}$] en las estaciones muestreadas el 5 de abril de 2019 en Bahía San Quintín, Baja California.

Comunidad fitoplanctónica en Bahía San Quintín

El análisis de la comunidad fitoplanctónica se realizó en ocho de las estaciones muestreadas (1, 5, 9, 11, 12, 13, 14, 15). Se registraron 34 taxones en total, las cuales sumaron una abundancia fitoplanctónica de 2.08×10^5 cel L⁻¹ de todo el muestreo. Las abundancias mostraron que en las cabeceras de la laguna éstas tienden a ser menores que en las zonas internas. El brazo este presentó menores abundancias (6.7×10^3 - 1.01×10^4 cel L⁻¹) que el brazo oeste (1.4×10^4 – 3.7×10^4 cel L⁻¹), y tienden a aumentar hacia el interior de la bahía. La mayor abundancia se dio en la base de la “Y” ($\sim 8.7 \times 10^4$ cel L⁻¹) y la menor en la boca de la laguna ($\sim 1.8 \times 10^3$ cel L⁻¹) (**Fig. 10**).

Se presentaron diversos grupos en este muestreo, conformados por diatomeas, dinoflagelados y otros. Las diatomeas fueron las dominantes del muestreo, seguido los dinoflagelados y por último el grupo otros. Este último grupo fue el menor registrado en este muestreo (<5%), a diferencia de los otros dos grupos. Las diatomeas abarcaron más del 70% en cada una las muestras analizadas; por otro lado, los dinoflagelados se encontraron por debajo del 20% y la estación 12 fue donde más organismos se presentaron (**Fig. 11**). Entre los géneros más representativos del muestreo, se encontraron las diatomeas *Cylindrotheca closterium*, *Navicula sp* y *Pseudo-nitzschia sp*; por otro lado, los dinoflagelados más significativos fueron *Prorocentrum micans* y *Heterocapsa sp* (**Anexo 1**).

El género que predominó en todo el muestreo fue *Pseudo-nitzschia sp*, pero en la estación 9 se presentó un florecimiento de esta diatomea ($\sim 6.4 \times 10^4$ cel L⁻¹). Esto se refleja en la figura 3, ya que contribuye notablemente a la abundancia celular de dicha estación. Además, esto se puede reflejar en las concentraciones de clorofila, ya que se observa el máximo de clorofila registrado en el muestreo (2.3 mg m^{-3}) (**Fig. 12**). Estas abundancias van por arriba del promedio, ya que en las demás estaciones se presentan por debajo de los 1.2×10^4 cel L⁻¹. Se puede observar que, en ambos brazos, las abundancias son menores en sus zonas más internas, sin embargo, el brazo oeste presentó mayores abundancias que descienden de la estación 12 a la 15 ($\sim 1.1 \times 10^4$ – 2.7×10^3 cel L⁻¹, respectivamente). La boca de la bahía presentó las más bajas abundancias junto con la estación 1 (5×10^2 cel L⁻¹). Este género se presentó con mayores abundancias en las estaciones 9, 12 y 13, donde la

temperatura se registró por debajo de los 18°C, a excepción de la boca en donde la temperatura fue muy baja (14°C) y las abundancias también lo fueron (5×10^2 cel L⁻¹) (**Fig. 13**).

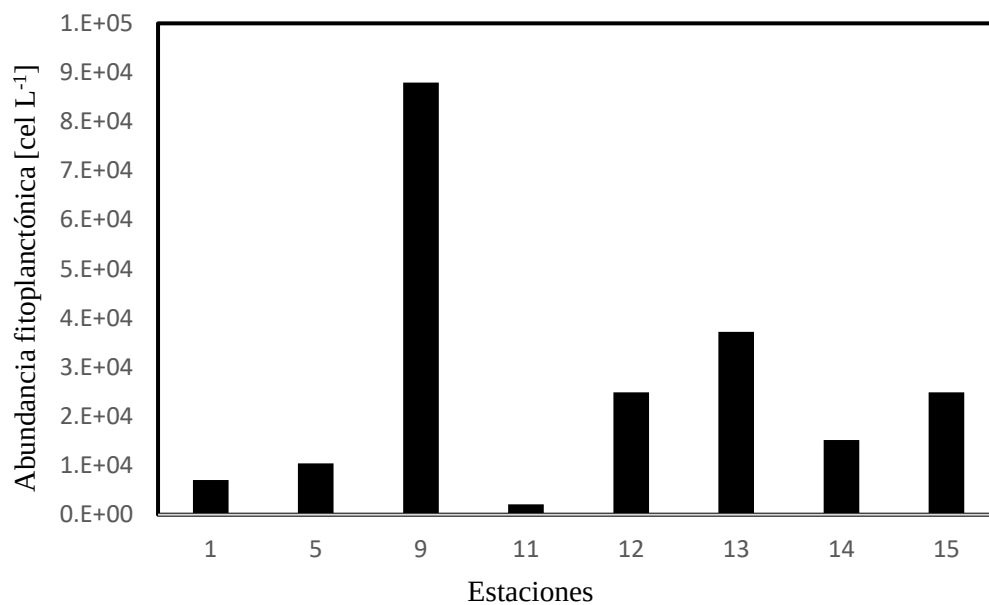


Figura 10.- Abundancia total de fitoplancton [cel L⁻¹], en las estaciones muestreadas el 5 de abril de 2019 en Bahía San Quintín, Baja California.

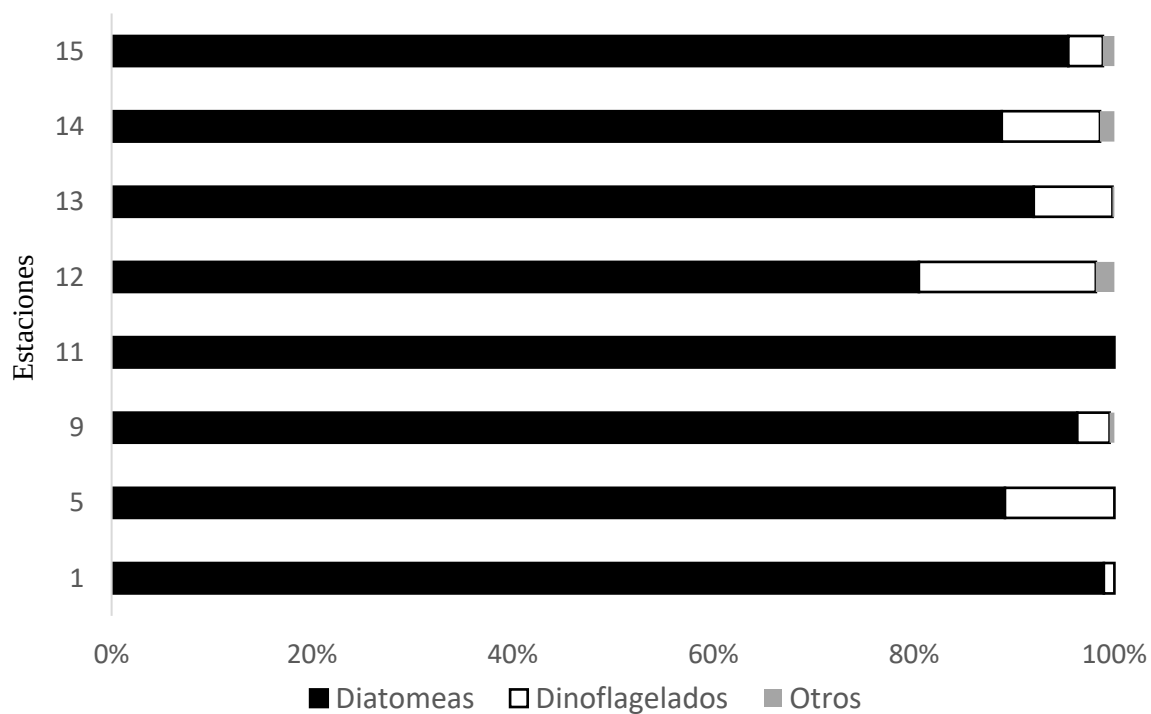


Figura 11.- Abundancia relativa por grupos fitoplanctónicos [%], en las estaciones muestreadas el 5 de abril de 2019 en Bahía San Quintín, Baja California.

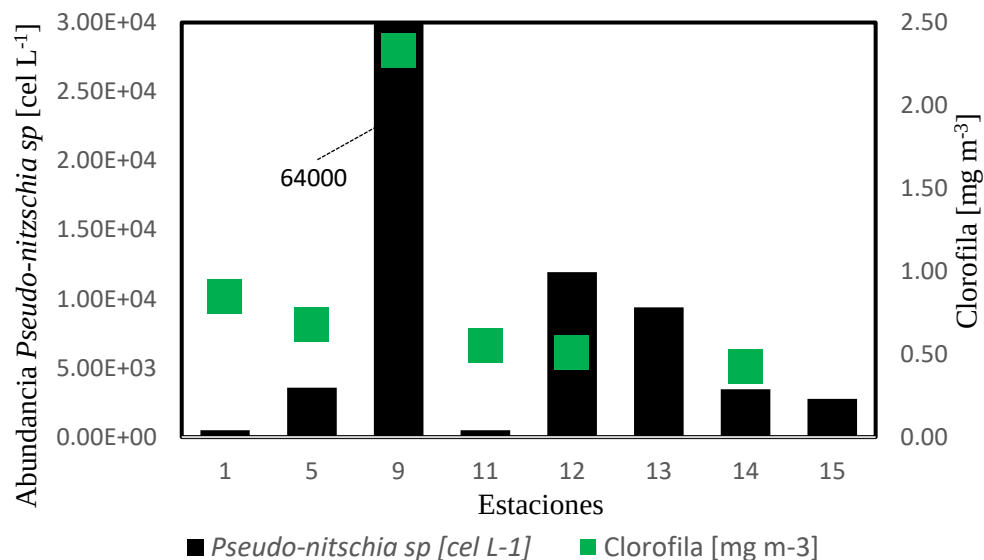


Figura 12.- Abundancia absoluta [cel L⁻¹] de *Pseudo-nitzschia sp* (género más abundante del muestreo) y concentraciones de clorofila [mg m⁻³], en las estaciones muestreadas el 5 de abril 2019 en Bahía San Quintín, Baja California. No aplica clorofila en estación 13 y 15.

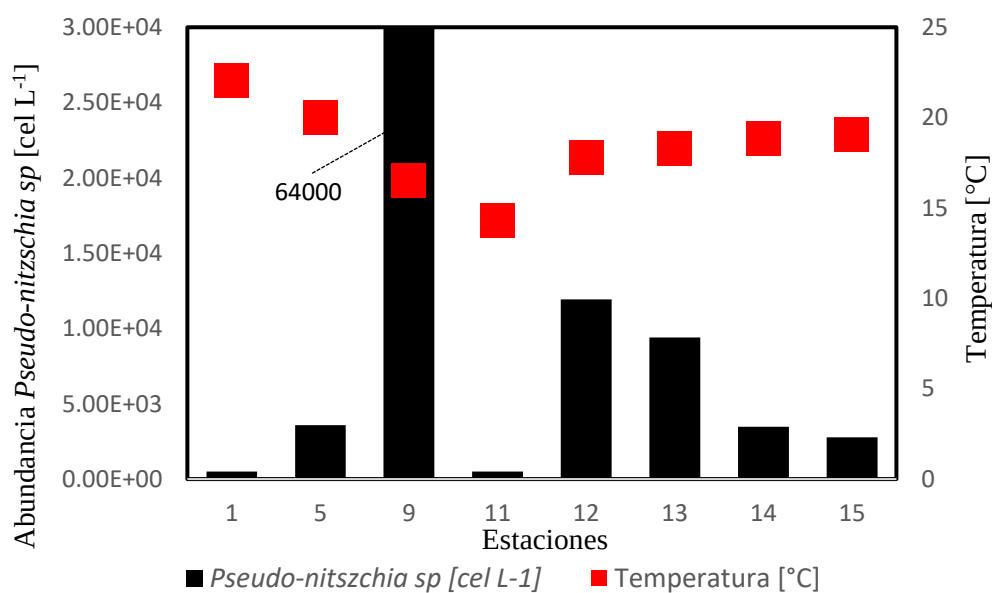


Figura 13.- Abundancia absoluta [cel L⁻¹] de *Pseudo-nitzschia sp* (género más abundante del muestreo) y Temperatura superficial [°C], en las estaciones muestreadas el 5 de abril 2019 en Bahía San Quintín, Baja California.

Vitamina B₁₂ en Bahía San Quintín

Se cuantificaron las concentraciones de vitamina B₁₂ disuelta (**Fig. 14a**) y particulada (**Fig. 14b**) en Bahía San Quintín. Se detectaron concentraciones de vitamina B₁₂ disuelta en seis estaciones, principalmente en las estaciones realizadas en el brazo este y en las estaciones cercanas a la boca de la bahía. La vitamina B₁₂ particulada se detectó en más muestras analizadas, a diferencia de la vitamina disuelta que solo se alcanzó a detectar en las estaciones 1, 2, 3, 4, 11 y 12. El método empleado no detectó en algunas zonas la B₁₂ disuelta, sin embargo, no significa que no haya simplemente no fue detectable.

Las concentraciones de la B₁₂ en Bahía San Quintín, fueron mayores para la particulada (2.3 pmol/L) que la disuelta (0.77 pmol/L); sin embargo, en la estación 4 ocurrió lo inverso. En esta estación, la vitamina disuelta se registró en concentraciones de 0.46 pmol/L y la particulada de 0.40 pmol/L. La mayor concentración de B₁₂ particulada en este muestreo fue para la estación 9 de 2.34 pmol/L, sin embargo, para esta estación no se obtuvo dato de la B₁₂ disuelta. La estación 2, fue la segunda con mayor concentración de B₁₂ particulada (1.93 pmol/L), y una concentración de 0.77 pmol/L para la B₁₂ disuelta. En las estaciones 5, 6, 7 y 8, no se detectó B₁₂ disuelta, sin embargo, en cuanto a las concentraciones de particulada se encontraron entre 0.46 pmol/L y 1.25 pmol/L. En la boca de la bahía, la concentración de B₁₂ particulada fue de 1.10 pmol/L y la B₁₂ disuelta de 0.76 pmol/L. En las estaciones 1, 3 y 12, las concentraciones de B₁₂ disuelta se encontraron entre 0.14 pmol/L y 0.44 pmol/L; y las de B₁₂ particulada, entre 0.50 pmol/L y 1.13 pmol/L. Por otro lado, las concentraciones de clorofila mostraron un patrón similar al de las concentraciones de vitamina B₁₂ particulada (**Fig. 15**), a excepción de la estación 3 en donde la clorofila aumentó (1.6 mg m⁻³), pero las concentraciones de vitamina particulada y disuelta fueron menores.

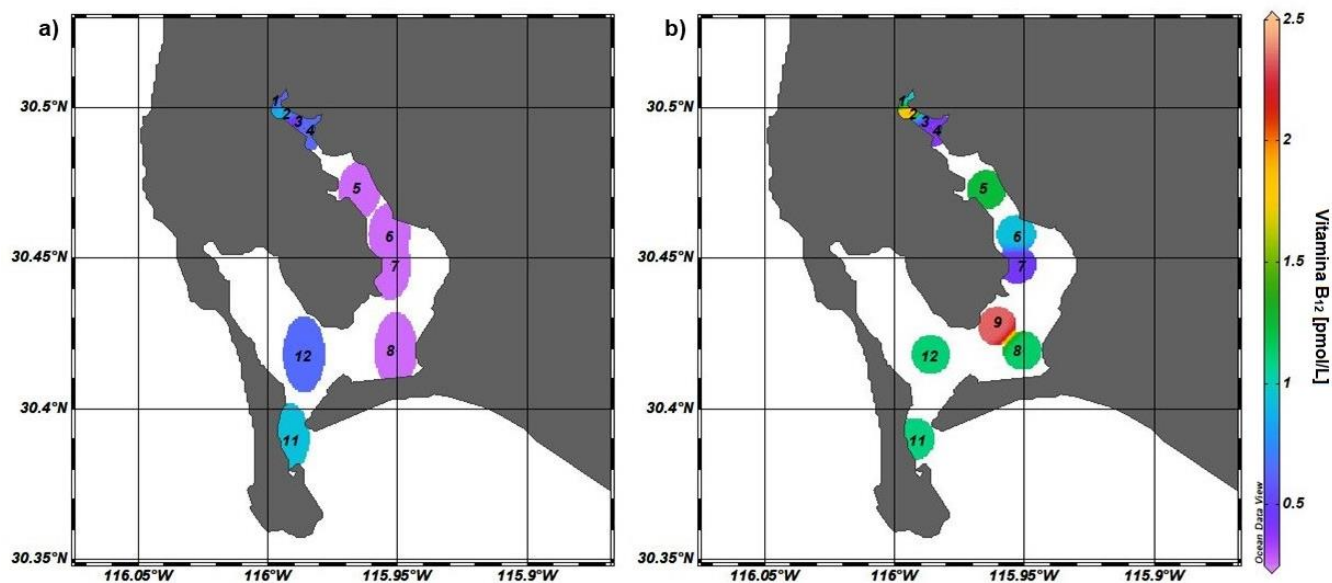


Figura 14.- Concentraciones de vitamina B₁₂ [pmol/L] en las estaciones muestreadas el 5 de abril de 2019 en Bahía San Quintín, Baja California. a) vitamina B₁₂ disuelta; b) vitamina B₁₂ particulada.

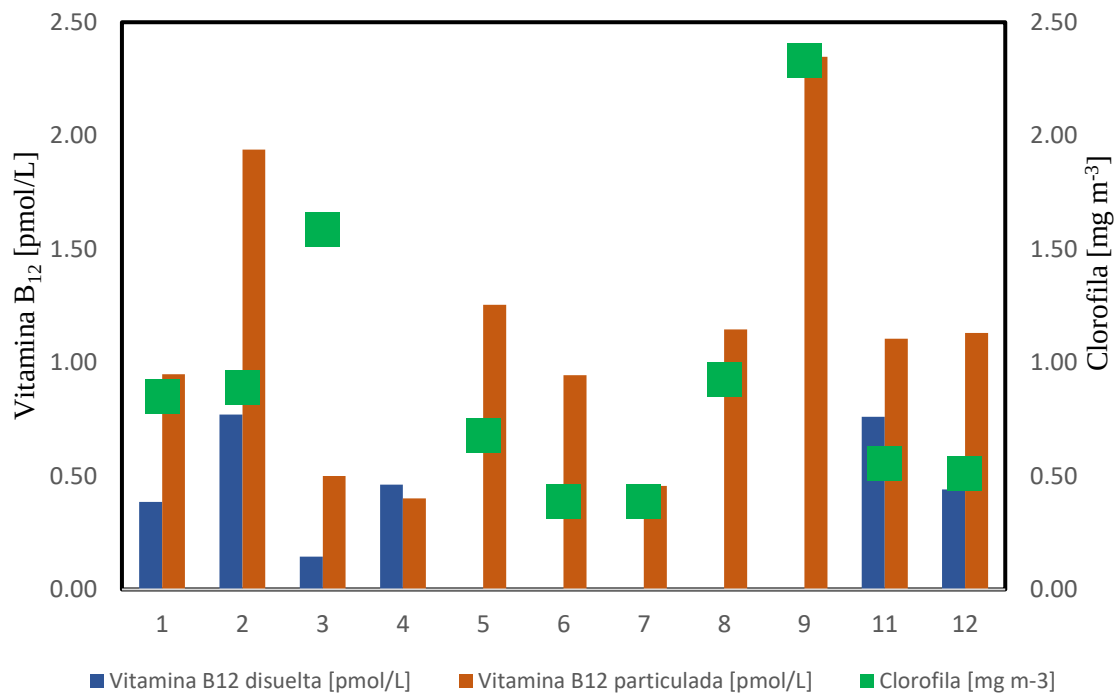


Figura 15.- Concentraciones de vitamina B₁₂ disuelta, particulada [pmol/L] y clorofila [mg m⁻³], en las estaciones muestreadas el 5 de abril de 2019 en Bahía San Quintín, Baja California. No hay información de clorofila en estación 4, ni de vitamina B₁₂ disuelta en estación 9.

En la **tabla II** se presentan las estaciones (1, 5, 9, 11, 12) en las cuáles se obtuvieron datos de las dos formas de vitamina analizada, junto con las abundancias bacterianas y fitoplanctónicas. Las abundancias bacterianas reportadas en las estaciones 1, 5, 9 y 11, fueron menores (5×10^7 a 9.8×10^7 cel L⁻¹) a diferencia de otras estaciones (3 y 7) en donde fueron mayores (1.02×10^9 y 7.66×10^8 cel L⁻¹, respectivamente). En cuanto a las abundancias fitoplanctónicas, se observa que al aumentar la vitamina particulada estos organismos también aumentaron, de la estación 1 hacia la 9. Posteriormente, las abundancias disminuyen hacia la boca y las concentraciones de vitamina B₁₂ de igual manera.

Se realizó una estandarización de la vitamina intracelular con la clorofila en la **tabla III**. Se puede observar que la mayor concentración por célula se dio en la estación 11 (3.83×10^{-8} pmol cel⁻¹/mg m⁻³), debido a que las abundancias bacterianas y fitoplanctónicas fueron las menores (5.218×10^7 cel L⁻¹). Sin embargo, en la estación 9 en donde se reportó la menor concentración por célula (1.03×10^{-8} pmol cel⁻¹/mg m⁻³), coincide con una de las estaciones con las mayores abundancias totales (9.765×10^7 cel L⁻¹).

Tabla II.- Concentración de vitamina B₁₂ disuelta, particulada y total [pmol/L], abundancias bacterianas y fitoplanctónicas [cel L⁻¹], en el muestreo del 5 de abril de 2019 en Bahía San Quintín, Baja California. NA= No Aplica.

Estación	Vitamina B ₁₂ disuelta [pmol/L]	Vitamina B ₁₂ particulada [pmol/L]	Vitamina B ₁₂ Total [pmol/L]	Abundancia bacteriana [cel L ⁻¹]	Abundancia fitoplanctónica total [cel L ⁻¹]
1	0.4	0.9	1.3	9.183 x 10 ⁷	6.79 x 10 ³
5	0.0	1.3	1.3	9.547 x 10 ⁷	1.01 x 10 ⁴
9	NA	2.3	2.3	9.756 x 10 ⁷	8.76 x 10 ⁴
11	0.8	1.1	1.9	5.218 x 10 ⁷	1.82 x 10 ³
12	0.4	1.1	1.6	1.554 x 10 ⁸	2.47 x 10 ⁴

Tabla III.- Concentración de vitamina B₁₂ intracelular estandarizada con la concentración de clorofila, en las estaciones muestreadas el 5 de abril de 2019 en Bahía San Quintín, Baja California.

Estación	Abundancia Total (Fitoplancton + Bacterias) [cel L ⁻¹]	Vitamina intracelular = B ₁₂ particulada / Abundancia Total [pmol cel ⁻¹]	Vitamina intracelular / clorofila [pmol cel ⁻¹ /mg m ⁻³]
1	9.184 x 10 ⁷	1.03 x 10 ⁻⁸	1.21 x 10 ⁻⁸
5	9.548 x 10 ⁷	1.31 x 10 ⁻⁸	1.94 x 10 ⁻⁸
9	9.765 x 10 ⁷	2.40 x 10 ⁻⁸	1.03 x 10 ⁻⁸
11	5.218 x 10 ⁷	2.12 x 10 ⁻⁸	3.83 x 10 ⁻⁸
12	1.554 x 10 ⁸	7.28 x 10 ⁻⁹	1.42 x 10 ⁻⁸

Las abundancias de *Pseudo-nitzschia sp* mostraron un comportamiento similar con las concentraciones de la vitamina B₁₂ particulada, en las cinco estaciones donde se obtuvieron estos dos datos (**Fig. 16**). Se puede observar que en las estaciones 1 y 5, las abundancias van en aumento (de 5×10^2 a 3.5×10^3 cel L⁻¹) al igual que la B₁₂ particulada (de 0.95 a 1.25 pmol/L, respectivamente). En la estación 9 se dio el florecimiento de esta diatomea (6.4×10^4 cel L⁻¹), en donde se presentó el máximo de vitamina B₁₂ particulada (2.35 pmol/L). Posteriormente, en la boca de la bahía estas concentraciones de vitamina disminuyen (1.10 pmol/L) y coincide en donde las abundancias fueron bajas (5×10^2 cel L⁻¹). Finalmente, en la estación 12 las concentraciones de vitamina particulada se mantuvieron (1.13 pmol/L) pero las abundancias aumentaron (1.19×10^4 cel L⁻¹).

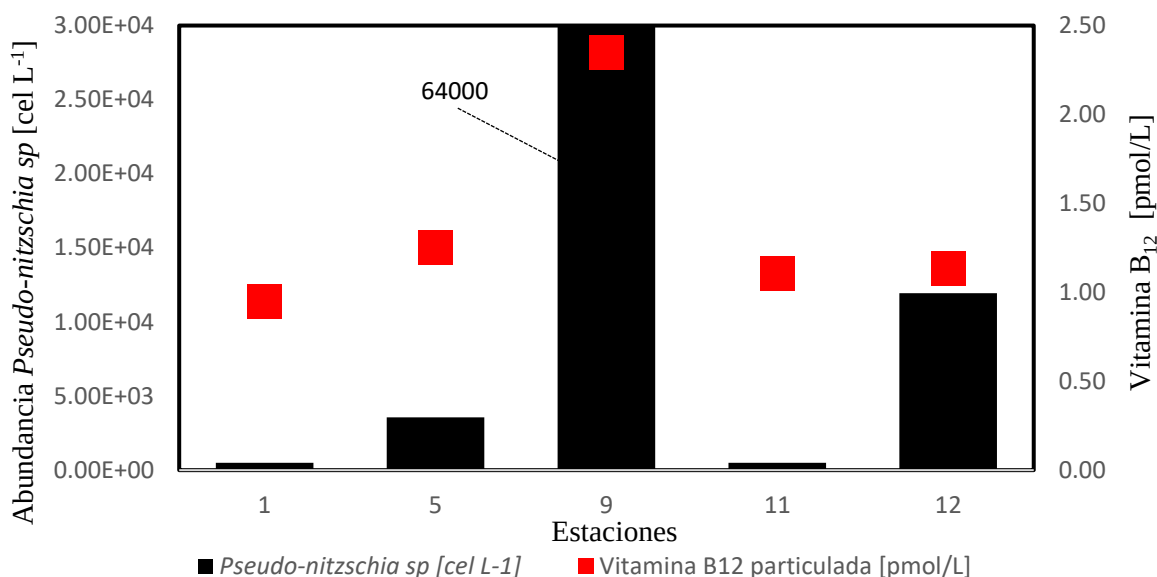


Figura 16.- Abundancia de *Pseudo-nitzschia sp* [cel L⁻¹] y concentraciones de vitamina B₁₂ particulada [pmol/L], en las estaciones muestreadas el 5 de abril de 2019 en Bahía San Quintín, Baja California.

DISCUSIÓN

Hidrografía y comunidad fitoplanctónica en Bahía San Quintín

El muestreo en BSQ se realizó durante marea viva en el inicio de la pleamar y concluyó por debajo del nivel medio del mar; el cuál, empezó en el brazo de Bahía Falsa y finalizó en Bahía San Quintín. Los valores de temperatura obtenidos se encuentran en el rango mencionado por Alvarez-Borrego y Alvarez-Borrego (1982) en la época de primavera (14-22°C).

El índice de surgencias obtenido ($\sim 50 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} 100 \text{ m}^{-1}$), empezó a incrementar después de un periodo de relajación. Este valor registrado es menor, comparado con el reportado por Ribas-Ribas *et al.* (2011) en BSQ, estos investigadores mostraron índices de surgencias de entre $0\text{-}200 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} 100 \text{ m}^{-1}$ para los meses de mayo a julio. Como las surgencias ocurren en la costa adyacente a la bahía, las mareas son las responsables de transportar esta agua fría y rica en nutrientes; sin embargo, para que esta agua llegue a los extremos de la bahía dependerá de la intensidad de la surgencia y la amplitud de la marea (Ribas-Ribas *et al.*, 2011). En la figura 7 se observa la zona más caliente de la laguna en el brazo este, asociado a mayores tiempos de residencia y también a que se encuentran zonas más someras; por otro lado, el agua más fría es en la boca de la bahía, debido a la intrusión de agua del océano adyacente. Posiblemente, nuestro muestreo fue seguido de una surgencia considerable y las condiciones se hayan presentado más intensas; sin embargo, al momento de muestrear, las condiciones no eran tan intensas, debido a que la temperatura no era tan baja (14°C) en la boca de la bahía, en comparación de estudios previos realizados en esa zona durante una surgencia intensa (Alvarez-Borrego y Alvarez-Borrego, 1982; Hernández-Ayón *et al.*, 2007; Ribas-Ribas *et al.*, 2011).

Se presentaron diversos escenarios biogeoquímicos en este muestreo, los cuáles son afectados por la física de la laguna. Las concentraciones obtenidas de nitratos y nitritos no presentaron un patrón claro de acuerdo con lo descrito por Millan-Núñez *et al.* (1982), en donde las concentraciones tienden a ser mayores en las estaciones más cercanas a la boca y

las menores hacia la cabeza de la bahía. Hernández-Ayón *et al.* (2007) mencionan en su trabajo realizado en un junio durante una surgencia, que las concentraciones de nitrato en las estaciones cercanas a la cabeza tuvieron valores menores ($\sim 2 \mu\text{mol/L}$), y en las zonas más cercanas a la boca, las concentraciones mostraron un incremento ($\sim 12 \mu\text{mol/L}$). Sin embargo, en contraste a lo que mencionan estos autores, las concentraciones de nitrato fueron menores a diferencia de las que presentan en la literatura ($< 1 \mu\text{mol/L}$), aunque si se presentó una mayor concentración en la boca. Estas relativas mayores concentraciones pueden ser explicadas por la rápida renovación de agua que hay en la boca, y esa disminución de nitrito en la cabeza puede deberse a la abundancia de pastos marinos en los brazos y zonas intermedias, lo cual está indicando que los procesos biológicos están siendo importantes para el control de estas variables. Zertuche-González *et al.* (2009) reportaron durante primavera-verano, la abundancia de la macroalga *Ulva sp* en la boca y en la zona de cultivos de ostión en Bahía Falsa; las cuáles, pueden llegar a almacenar hasta el 50% del nitrógeno disponible en el ecosistema.

Las concentraciones de fosfatos en la BSQ tienden a aumentar de la boca hacia sus extremos interiores. En ocasiones se presentan mayores valores en la boca debido a surgencias ($3.3 \mu\text{mol/L}$), concentración típica de aguas profundas del Océano Pacífico. Sin embargo, en el brazo este de la bahía se han alcanzado a reportar mayores concentraciones ($> 4 \mu\text{mol/L}$) en condiciones de no surgencia. Estos valores indican que las mayores concentraciones no están siendo aportadas por el océano adyacente, posiblemente sean como resultado de enriquecimiento de materia orgánica, remineralización por los heterótrofos y la degradación en los sedimentos. Las corrientes de marea transportan fitoplancton del océano adyacente hacia los interiores, estos organismos se depositan en los sedimentos y se descomponen (Alvarez-Borrego, 2004; Camacho-Ibar *et al.*, 2003). De acuerdo con esto y nuestros resultados, la estación cercana a la boca (11) y las estaciones de los dos brazos (13 y 14), fueron las mayores concentraciones de fosfato del muestro ($\sim 1.4 \mu\text{mol/L}$), lo que puede indicar la resuspensión de los sedimentos y degradación de materia orgánica en la entrada y cabeceras de la bahía.

La distribución del oxígeno disuelto en la BSQ se muestra en la figura 10, en la cual se observa que en las zonas internas de la bahía las concentraciones son menores a diferencia

de las zonas cercanas a la boca, en donde el O₂ es mayor. En la boca de la laguna la cercanía del Océano Pacífico, pueda ser que esté aportando esta mayor concentración a diferencia de los brazos. Sin embargo, el pico de O₂ fue obtenido en la zona media de Bahía San Quintín (estación 8) posiblemente por la presencia de pastos marinos, los cuáles contribuyen considerablemente a la producción de oxígeno. Por otro lado, la disminución en las zonas internas, puede ser porque se está utilizando para la oxidación de la materia orgánica por parte de la comunidad microbiana heterótrofa. Posiblemente, los cultivos de ostión en el brazo oeste, están aportando materia orgánica la cual está consumiendo oxígeno para su degradación. Este comportamiento en la distribución del oxígeno fue similar a lo reportado por Naranjo-Ortiz *et al.* (2017) durante abril 2017, en donde se presentó un gradiente que disminuyó del centro de la laguna, hacia las zonas internas.

Las concentraciones de clorofila variaron en el sistema lagunar. Las concentraciones relativamente mayores registradas en la zona intermedia de la bahía (0.90-2.5 mg m⁻³), coinciden con las mayores abundancias de diatomeas y el florecimiento que se presentó de *Pseudo-nitzschia sp.* Estos valores de clorofila obtenidos son menores a los valores promedio (~5 mg m⁻³) que han reportado diversos autores (Hernández-Ayón *et al.*, 2007; Millan-Núñez *et al.*, 1982). En las demás estaciones de la boca, brazo oeste y las más sureñas del brazo este, las concentraciones disminuyeron por debajo de los 0.80 mg m⁻³; sin embargo, en la región más al norte de la cabecera este, el incremento que se presentó pudo ser resultado de la aclimatación del fitoplancton en condiciones de menor irradiancia debido a una mayor turbidez y de acuerdo a las lecturas del disco de Secchi obtenidas, en esas estaciones estuvieron entre 60-90 cm. El fitoplancton puede responder a un régimen de menor irradiancia de manera que incrementa su contenido de pigmentos (Alvarez-Borrego, 2004).

La distribución del fitoplancton en la laguna costera durante el inicio de la primavera, se observó que está ampliamente relacionada por las condiciones físicas de la bahía y la influencia del Océano Pacífico. De acuerdo con las abundancias obtenidas en los conteos de fitoplancton, se obtuvo un promedio de toda la bahía únicamente incluyendo diatomeas y dinoflagelados (grupos más abundantes) de $\sim 2.5 \times 10^4$ cel L⁻¹. Estas abundancias son mayores de acuerdo a lo reportado por Gracia-Escobar *et al.* (2014) durante el mes de octubre, debido a los cambios estacionales en las condiciones oceanográficas del océano adyacente.

En las estaciones muestreadas para el análisis de la comunidad fitoplanctónica, si se observó un patrón en la distribución de fitoplancton como lo mencionan diversos autores (Alvarez-Borrego, 2004; Millan-Núñez *et al.*, 1982), en donde las abundancias disminuyen de la boca de la bahía hacia los interiores. Sin embargo, en este trabajo en la boca de la bahía se registraron las menores concentraciones (1.8×10^3 cel L⁻¹) y, además, coincide con las bajas concentraciones de clorofila y de nutrientes. De acuerdo al índice de surgencia obtenido, no fue tan intenso comparado con otros reportes, en donde asociado a un evento de surgencia intenso, trae consigo mayores abundancias de fitoplancton (Millan-Núñez *et al.*, 1982). Ambos extremos de la bahía presentaron bajas abundancias de estos organismos, posiblemente asociado a la baja disponibilidad de luz debido a la suspensión del sedimento, lo cual puede estar limitando la productividad primaria. En la zona de intersección de ambas bahías (estación 9) se obtuvo la mayor abundancia de fitoplancton ($\sim 8.7 \times 10^4$ cel L⁻¹), la cual coincide con el máximo de clorofila obtenido (2.3 mg m⁻³), además, se presentaron concentraciones considerables de nutrientes (nitritos, nitratos y fosfatos) en dicha región. Esta disponibilidad de nutrientes, luz, junto con una temperatura no tan alta (17°C) y posiblemente asociado a un periodo de relajación que siguió de una surgencia intensa en días anteriores, pudieron haber favorecido a las comunidades fitoplanctónicas para su crecimiento y desarrollo.

Las diatomeas fueron el grupo más abundante del muestreo, seguido los dinoflagelados y otros organismos. La dominancia de las diatomeas es típica durante esta época del año (primavera) y se encuentra asociado a las condiciones de surgencias, ya que, durante la época de otoño en donde las surgencias disminuyen, la abundancia de diatomeas también, según lo mencionado por Gracia-Escobar *et al.* (2015). Los dinoflagelados tienden a ser más abundantes en condiciones cuando no hay surgencias y una mayor temperatura (Gracia-Escobar *et al.*, 2014; Gracia-Escobar *et al.*, 2015). Aunque los nitratos se reportaron en menores concentraciones (< 0.9 μ mol/L) y los nitritos fueron mayores (~ 4 μ mol/L), puede ser que las diatomeas obtengan su máximo crecimiento ante formas reducidas de nitrógeno. Sin embargo, se ha reportado también que las diatomeas tienden a dominar ante un aporte considerable de nitratos. Esto demuestra la flexibilidad que tienen las diatomeas en adaptarse y favorecerse ante diferentes condiciones de nutrientes (Bertrand y Allen, 2012).

Las diatomeas *Pseudo-nitzschia sp* y *Navicula sp* fueron las más abundantes del muestreo, son características durante esta época del año. Se presentó un florecimiento de *Pseudo-nitzschia sp* en la estación 9 ($\sim 6.4 \times 10^4$ cel L⁻¹), por lo que esta máxima abundancia contribuye en gran parte al máximo de clorofila reportado en dicha estación. Estos resultados coinciden con lo reportado por Gracia-Escobar *et al.* (2015) en donde registraron pequeños florecimientos de estos géneros durante el mes de abril, aunque en menores abundancias ($\sim 4 \times 10^3$ cel L⁻¹). La especie *Prorocentrum micans* fue el dinoflagelado que más abundó en este muestreo; sin embargo, estos mismos autores reportaron abundante a este dinoflagelado durante un muestreo en otoño, el cual coincidió con un aumento en el índice de surgencia.

De acuerdo a las condiciones encontradas en este muestreo, el índice de surgencia que apenas comenzaba a aumentar después de un periodo de relajación, se vio reflejado en la temperatura y nutrientes. Se sugiere que el florecimiento de *Pseudo-nitzschia sp* pudiera haber sido influenciado por el cambio estacional, y posiblemente se haya logrado desarrollar durante el periodo de relajación de surgencias en días anteriores al muestreo. De acuerdo a lo mencionado por Trainer *et al.* (2012), este género florece en diversas regiones estacionalmente y se encuentran asociados a las condiciones ambientales de cada región. Los florecimientos de este género, son estimulados principalmente por el aporte de nutrientes de diversas fuentes tales como los ríos y zonas de surgencias.

El valor mínimo de surgencia registrado durante el día muestreado, hace evidente la presencia de bajas concentraciones de nutrientes inorgánicos, baja clorofila y bajas abundancias fitoplanctónicas. Con esto se puede inferir, que se presentó un periodo de relajación durante la fecha del muestreo, ya que las condiciones reportadas no fueron características de un evento intenso de surgencia.

Vitamina B₁₂ en Bahía San Quintín

Las concentraciones de vitamina B₁₂ en Bahía San Quintín, se analizaron en su forma disuelta y particulada. Ambas concentraciones fueron cercanas (<2.5 pmol/L) comparadas con estudios realizados en un ambiente estuarino en Long Island, NY., en donde las concentraciones de vitamina disuelta se encontraron con un promedio de ~5.7 pmol/L (Gobler *et al.*, 2007), y menores comparadas con las reportadas para otras regiones costeras (5-87 pmol/L) (Sañudo-Wilhelmy *et al.*, 2006). En la BSQ no se ha generado información sobre la concentración y distribución de la B₁₂, por ello, se cuantificaron las concentraciones y distribución en el interior de este ecosistema costero.

La vitamina B₁₂ disuelta se registró de indetectable a 0.77 pmol/L, no se observó un patrón claro en su distribución en el interior de la bahía, aunque los máximos se presentaron en la boca y en la cabecera este (0.76-0.77 pmol/L). La zona en donde no se detectó este micronutriente fue al inicio de la bifurcación de la bahía, hacia el brazo este hasta la estación 5. El máximo en la boca puede estar asociado con la ausencia de fitoplancton, esta variable coincide con la distribución de nitratos y fosfatos, en donde presentaron concentraciones relativamente mayores en la boca y en la zona interna de Bahía San Quintín. Las máximas concentraciones de la B₁₂ en esas zonas, puedan ser debidas a las bajas abundancias fitoplanctónicas, lo cual se corrobora con las concentraciones de clorofila. Este micronutriente mostró un comportamiento similar a las concentraciones de nitratos. Koch *et al.* (2012) realizaron un estudio, en donde mencionan que las comunidades fitoplanctónicas son estimuladas por el suministro de la B₁₂ junto con nitrógeno, además, determinaron que el consumo de la vitamina fue dominado por la comunidad del picoplancton. Bertrand y Allen (2012) comentan que cuando se presenta el nitrógeno en solitario sin vitamina B₁₂, las diatomeas tienden a dominar las comunidades, lo cual se encuentra asociado a que solo el 60% de las diatomeas son auxótrofos de la B₁₂ y los dinoflagelados un 90% de ellos. De acuerdo con esto, las bajas concentraciones de nutrientes nitrogenados obtenidas en este trabajo, puedan deberse a que los organismos lo fueron consumiendo y posiblemente, la disponibilidad de vitamina disuelta sea debido a que las diatomeas se encuentran más favorecidas en su desarrollo, ante la presencia de compuestos nitrogenados. Aunque, de acuerdo a las condiciones de surgencia y la distribución y concentración de los demás

nutrientes, es posible que esta vitamina no esté siendo aportada por el océano adyacente, sino por la actividad biológica en el interior de la laguna.

En este trabajo se presentan como complemento abundancias bacterianas, las cuales fueron tomadas durante este mismo muestreo en la BSQ. Rodríguez-Escobar (tesis en preparación) reportó mayores abundancias bacterianas, en la estación 3 (1.02×10^9 cel L⁻¹) y en la estación 7 (7.66×10^8 cel L⁻¹), las cuáles coinciden en aquellas donde la vitamina fue baja o no se detectó. Diversos autores sugieren que las bacterias suelen tener mayor ventaja para acceder a esta vitamina, que el fitoplancton más grande (Koch *et al.*, 2012; Sañudo *et al.*, 2014). Ciertos grupos de bacterias heterótrofas además de tener los genes para sintetizar la B₁₂, también son importantes consumidores; es posible, que estos organismos tengan una mayor demanda de esta vitamina debido a que tienen mayores tasas de crecimiento y mayor biomasa, a diferencia del fitoplancton que sus tasas de crecimiento son más lentas (Koch *et al.*, 2012). Caso contrario, en la estación 11, donde se presentó la mayor concentración de la B₁₂ disuelta, coincide con las menores abundancias bacterianas del muestreo (5.22×10^7 cel L⁻¹). Sin embargo, también el fitoplancton fue menor en esta estación, por lo que se sugiere que esa mayor disponibilidad de vitamina en esa región, pueda deberse a que, al haber menores abundancias de estos organismos, el consumo de vitamina sea menor.

En cuanto a las concentraciones de vitamina B₁₂ particulada, éstas fueron relativamente mayores (0.40-2.35 pmol/L) que la disuelta (0-0.77 pmol/L). Las concentraciones indican el contenido intracelular presente en microorganismos planctónicos. Este micronutriente mostró un comportamiento similar con la clorofila y con las abundancias de *Pseudo-nitzschia sp*, en donde se observó en la estación 9 un florecimiento de esta diatomea. En la estación 9 se presentó el máximo de la B₁₂ particulada (2.35 pmol/L) y coincide con el máximo de clorofila (2.33 mg m^{-3}), sin embargo, no se obtuvo dato de la fracción disuelta de B₁₂ en esta estación. La clorofila y la B₁₂ particulada, mostraron un mismo patrón en donde tienden a aumentar hacia el interior de la cabecera este (estaciones 7, 6 y 5). Sin embargo, en las estaciones donde se tienen abundancias fitoplanctónicas, se observa una tendencia a aumentar la B₁₂ particulada junto con estas abundancias. De acuerdo a estos resultados, es posible que el fitoplancton posiblemente aporte en mayor porcentaje al contenido de vitamina intracelular. La gran mayoría del fitoplancton son organismos

auxótrofos de la B₁₂, la diatomea *Pseudo-nitzschia sp* es una de ellas (Ellis, 2015), por lo que requiere de una fuente de vitamina exógena para cumplir sus funciones metabólicas. La distribución de la vitamina B₁₂ es determinada por la abundancia y composición de las comunidades procariotas; además, algunas diatomeas pueden competir por este micronutriente con otras algas y bacterias, cuando las concentraciones de B₁₂ son bajas (Ellis *et al.*, 2016). La concentración de B₁₂ particulada cuantificada en la estación donde surgió el florecimiento de *Pseudo-nitzschia sp*, indica que este género, junto con las comunidades bacterianas retuvieron a la B₁₂ en el interior de las células y estimuló la proliferación y desarrollo de especies fitoplanctónicas de mayor tamaño, acorde a lo sugerido por Sañudo-Wilhelmy *et al.*, 2006. Por lo tanto, se sugiere que, la biodisponibilidad de B₁₂ junto con las demás variables ambientales, favorecieron al florecimiento de *Pseudo-nitzschia sp*. Sin embargo, se requiere de un monitoreo continuo y una escala de tiempo mayor, para el análisis de la distribución de esta vitamina y su influencia en el desarrollo de florecimientos algales nocivos.

CONCLUSIONES

El índice de surgencias fue relativamente bajo durante el día muestreado, lo cual se vio reflejado en las concentraciones de nutrientes, clorofila y fitoplancton en la boca de la bahía.

Las abundancias fitoplanctónicas en Bahía San Quintín estuvieron dominadas por las diatomeas.

La diatomea *Pseudo-nitzschia sp* fue la más abundante del muestreo en la BSQ, posiblemente asociado a el cambio estacional.

Las concentraciones de vitamina B₁₂ particulada fueron mayores que la disuelta, por lo que se sugiere que esta vitamina fue retenida por diversas comunidades bacterianas y fitoplanctónicas.

El florecimiento de *Pseudo-nitzschia sp* en la estación 9, posiblemente asociado a un periodo de relajación de surgencias en días anteriores pudo haber promovido el desarrollo de esta diatomea. Además, de que el florecimiento de *Pseudo-nitzschia sp* coincidió con las mayores concentraciones de clorofila y la retención de vitamina B₁₂ particulada por la comunidad microbiana.

Se observó un patrón similar de las concentraciones de vitamina B₁₂ particulada, con las abundancias de *Pseudo-nitzschia sp*, además, la mayor concentración de B₁₂ disuelta coincide con la menor abundancia bacteriana y fitoplanctónica, sugiriendo una menor retención de B₁₂ en las células.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aké-Castillo J. A., Almazán-Becerril A., Rodríguez-Gómez C. F. y García-Mendoza E. (2018). Catálogo de microalgas marinas de Veracruz. CICESE. México.
- Almazán-Becerril, A., Aké-Castillo, J. A., García-Mendoza, E., Sánchez-Bravo, Y. A., Escobar-Morales, S., Valadez-Cruz, F. (2016). Catálogo de microalgas de Bahía de Todos Santos, Baja California. México: CICESE.
- Álvarez-Borrego, S. (2004). Dinámica de nutrientes y fitoplancton en una laguna costera fuertemente afectada por surgencias costeras. *Ciencias Marinas*, 30(1A):1-19.
- Álvarez-Borrego, J. y Álvarez-Borrego, S. (1982). Temporal and spatial variability of temperature in two coastal lagoons. *CalCOFI Rep.*, Vol. XXIII.
- Ávila-López, M.C., Hernández-Ayón, J.M., Camacho-Ibar, V.F., Bermúdez, A., Mejía-Trejo, A., Pacheco-Ruíz, I., Sandoval-Gil, J.M. (2016). Air-Water CO₂ fluxes and net ecosystem production changes in a Baja California Coastal Lagoon during the anomalous North Pacific Warm Condition. *Estuaries and Coasts. Journal of the Coastal Estuarine Research Federation*.
- Band-Schmidt C. J., J. J. Bustillos-Guzmán, D. J. López-Cortés, E. Núñez-Vázquez y F. E. Hernández-Sandoval. (2011). El estado actual del estudio de florecimientos algales nocivos en México. *Hidrobiológica* 21(3): 381-413.
- Bertrand, E.M. y Allen, A.E. (2012). Influence of vitamin B auxotrophy on nitrogen metabolism in eukaryotic phytoplankton. *Frontiers in microbiology*. Vol. 3. Article 375. 16 pp.
- Camacho-Ibar, V.F., Carriquiry, J.J., Smith, S.V. (2003). Non-conservative P and N fluxes and net ecosystem production in San Quintin Bay, Mexico. *Estuaries*, Vol. 26, No. 5, p:1220-1237.

- Cruz-López R, Maske H, Yarimizu K and Holland NA. (2018). The B-Vitamin Mutualism Between the Dinoflagellate *Lingulodinium polyedrum* and the Bacterium *Dinoroseobacter shibae*. *Front. Mar. Sci.* 5:274.
- Durazo, R. (2015). Seasonality of the transitional region of the California Current System off Baja California, *J. Geophys. Res. Oceans*, 120, 1173–1196.
- Ellis, K. (2015). The effects of vitamin B12 and iron on marine diatoms. Master thesis, University of North Carolina at Chapel Hill, USA., 94 pp.
- Ellis, K., Cohen, N., Moreno, C., Marchetti, A. (2016). Cobalamin-independent methionine synthase distribution and influence on vitamin B12 growth requirements in marine diatoms. *Protist*, Vol. 168, 32-47.
- Garcia-Mendoza, E., Quijano-Scheggia, S. I., Olivos-Ortiz, A. y Nuñez-Vazquez, E.J. (eds.) (2016). *Florecimientos Algales Nocivos en México*. Ensenada, México. CICESE. 438 p.
- Gobler, C.J., Norman, C., Panzeca, C., Taylor, G.T., Sañudo-Wilhelmy, S.A. (2007). Effect of B-vitamins (B₁, B₂) and inorganic nutrients on algal bloom dynamics in a coastal ecosystem. *Aquatic Microbial Ecology*. Vol. 49:181-194.
- Gracia-Escobar, M.F., Millán-Núñez, R., González-Silvera, A., Santamaría-del-Ángel, E., Camacho-Ibar, V.F. and 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, 80-100.
- Gracia-Escobar, M.F., Millán-Núñez, R., Valenzuela-Espinoza, E., González-Silvera, A. and 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, 169-181.

- Granéli, E., y Turner, J. (eds.) (2006). Ecology of harmful algae. Ecological Studies, Vol. 189. Springer Berlin Heidelberg New York. 413 pp.
- Grasshoff, K., Kremling, K., Erhardt, M. (2009). Methods of seawater analysis. (M. Ehrhardt K. Grasshoff, K. Kremling, Third Edition, Wiley-VCH. Weinheim – New York - Chichester - Brisbane - Singapore – Toronto) 600 pp.
- Hernández-Ayón, J.J., Camacho-Ibar, V.F., Mejía-Trejo, A., Cabello-Pasini, A. (2007). Variabilidad del CO₂ durante eventos de surgencia en Bahía San Quintín, Baja California, México. Carbono en aguas costeras y lacustres. 187- 200.
- Koch, F., Hettnerath-Lehmann, T., Goleski, J., Sañudo-Wilhelmy, S., Fisher, N., Gobler, C. (2012). Vitamin B₁ y B₁₂ uptake and cycling by plankton communities in coastal ecosystems. Frontiers in Microbiology, Aquatic Microbiology. Vol. 3, Article 363.
- Millán-Núñez, R., Alvarez-Borrego, S., Nelson, D.M. (1982). Effects of physical phenomena on the distribution productivity in a coastal lagoon. Reprinted from Estuarine, Coastal and Shelf Science 15, 317-335.
- Munn, C.B. (2004). Marine Microbiology: Ecology and Applications. First published. Garland Science/BIOS Scientific Publishers. New York, USA. 282 pp.
- Naranjo-Ortiz, D.A., Canino-Herrera, S.R., Bustos-Serrano, H., Sánchez-Gonzalez, A. (2017). Evaluación de la calidad de agua y sedimento, en San Quintín durante época de mareas muertas, abril de 2017. Reporte técnico. 36 pp.
- Parsons, T.R., Y. Maita y C.M. Lalli. (1984). A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis. Pergamon Press. Oxford y New York. 184 pp.

- Ribas-Ribas, M., Hernández-Ayón, J.M., Camacho-Ibar, V.F., Cabello-Pasini, A., Mejía-Trejo, A., Durazo, R., Galindo-Bect, S., Souza, A.J., Forja, J.M., Siqueiros-Valencia, A. (2011). Effects of upwelling, tides and biological processes on the inorganic carbon system of a coastal lagoon in Baja California. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 95, 367-376.
- Rivera-Arriaga, E. y Villalobos, G. (2001). The coast of Mexico: approaches for its management. *Ocean & Coastal Management* 44, 729-756.
- Sañudo-Wilhelmy, S.A., Cutter, L., Durazo, R., Smail, E., Gómez-Consarnau, L., Webb, E., Prokopenko, M., Berelson, W., Karl, D. (2012). Multiple B-vitamin depletion in large areas of the coastal ocean. *PNAS*, vol. 109, no. 35, 14041-14045.
- Sañudo-Wilhelmy, S.A., Gómez-Consarnau, L., Suffridge, C., Webb, E.A. (2014). The role of B vitamins in marine biogeochemistry. *Annu. Rev. Mar. Sci.* 6:339-367.
- Sañudo-Wilhelmy, S.A., Gobler, C.J., Okbamichael, M., Taylor, G.T. (2006). Regulation of phytoplankton dynamics by vitamin B₁₂. *Geophysical Research Letters*, Vol. 33, 4 pp.
- Tang, Y., Koch, F., Gobler, C. (2010). Most harmful algal Bloom species are vitamin B₁ and B₁₂ auxotrophs. *PNAS*, vol. 107, no. 48, 20756-20761.
- Trainer, V., Bates, S., Lundholm, N., Thessen, A., Cochlan, W., Adams, N., Trick, C. (2012). *Pseudo-nitzschia* sp physiological ecology, phylogeny, toxicity, monitoring and impacts on ecosystem health. *Harmful Algae*, 14, 271-300.
- Utermöhl, H. (1958). Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *Mitteilungen der International Vereinigung für theoretische und Angewandte Limnologie*, 9, 1-38.

- Villegas-Mendoza, J., Cajal-Medrano, R., Maske, H. (2019). B12 production by marine microbial communities and *Dinoroseobacter shibae* continuous cultures under different growth and respiration rates. *Aquatic microbial ecology*. Vol.83:251-262.
- Welschmeyer, N. (1994). Fluorometric analysis of chlorophyll *a* in the presence of chlorophyll *b* and pheopigments. *Limnology and Oceanography*, 1985-1992.
- Zertuche-Chanes, R. (2016). Simulación numérica 3D de la hidrodinámica de Bahía San Quintín y su influencia en la distribución de nitrato. Tesis de maestría, Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, B.C. México. 96 pp.
- Zertuche-González, J.A., Camacho-Ibar, V.F., Pacheco-Ruíz, I., Cabello-Pasini, A., Galindo-Beet, L.A., Guzmán-Calderón, J.M., Macias-Carranza, V., Espinoza-Avalos, J. (2009). The role of *Ulva spp.* as a temporary nutrient sink in a coastal lagoon with oyster cultivation and upwelling influence. *J. Appl. Phycol.* 21:729-736.
- Zhu, Q., Aller, R., Kaushik, A. (2011). Analysis of vitamin B₁₂ in seawater and marine sediment porewater using ELISA. *Limnology and Oceanography Methods* 9, 515-523.

ANEXOS

Anexo 1

Abundancias fitoplanctónicas por género/especie (cel L⁻¹), en las estaciones muestreadas el 5 de abril de 2019 en Bahía San Quintín, Baja California.

	Estaciones							
	1	5	9	11	12	13	14	15
Diatomeas								
<i>Achnantes sp</i>	107	286	707	0	509	1131	286	509
<i>Actinoptychus senarius</i>	0	143	0	36	339	212	214	57
<i>Bacteriastrum sp</i>	0	0	424	0	170	0	0	0
<i>Chaetoceros affinis</i>	0	0	283	0	0	283	0	0
<i>Chaetoceros costatus</i>	0	0	2827	0	0	0	0	0
<i>Chaetoceros danicus</i>	0	0	0	0	0	0	0	57
<i>Chaetoceros debilis</i>	0	0	565	0	0	0	0	0
<i>Chaetoceros decipiens</i>	0	0	141	0	0	283	0	0
<i>Chaetoceros lorenzianus</i>	0	0	1979	0	0	0	0	0
<i>Chaetoceros sp</i>	0	857	5655	821	226	1131	0	0
<i>Chaetoceros peruvianus</i>	0	0	283	0	0	0	0	0
<i>Chaetoceros radicans</i>	0	0	707	0	0	0	0	0
<i>Coscinodiscus sp</i>	321	0	0	0	57	71	0	0
<i>Cylindrotheca closterium</i>	5000	1714	4100	107	2601	7563	2036	5938
<i>Entomoneis alata</i>	71	0	0	0	0	71	36	452
<i>Grammatophora marina</i>	0	0	0	0	0	0	0	113
<i>Guinardia flaccida</i>	0	0	1131	0	0	0	0	0
<i>Guinardia striata</i>	36	0	0	0	0	0	0	848
<i>Haslea sp</i>	0	0	0	0	0	283	143	396
<i>Licmophora sp</i>	0	0	0	286	57	141	36	0

<i>Navicula sp</i>	393	1500	565	36	3280	11663	5214	9161
<i>Pleurosigma sp</i>	143	464	0	0	57	495	429	1979
<i>Pseudo-nitzschia sp</i>	500	3571	64040	500	11932	9401	3464	2771
<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>	0	0	0	0	0	71	0	0
<i>Scrippsiella sp</i>	0	0	141	0	0	0	0	0
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	143	429	565	36	113	495	1071	1188
<i>Thalassiosira</i>	0	71	283	0	509	707	321	57
Dinoflagelados								
<i>Dinophysis acuminata</i>	0	0	0	0	57	0	0	0
<i>Heterocapsa sp</i>	36	0	565	0	226	636	286	0
<i>Prorocentrum micans</i>	0	1071	2262	0	4071	2262	1143	792
<i>Protoperidinium sp</i>	0	36	0	0	0	0	36	0
<i>Tripos furca</i>	36	0	0	0	0	0	0	57
Otros								
<i>Euglenophyceae sp</i>	0	0	283	0	339	71	214	170
<i>Tintinidos</i>	0	0	141	0	113	0	0	113

Anexo 2

Variables fisicoquímicas en las estaciones muestreadas el 5 de abril de 2019 en Bahía San Quintín, Baja California. NA= No Aplica.

Estación	T [°C]	O ₂ [μmol/L]	Clorofila [mg m ⁻³]	NO ₃ ⁻ [μmol/L]	NO ₂ ⁻ [μmol/L]	PO ₄ ⁻ [μmol/L]	B ₁₂ disuelta [pmol/L]	B ₁₂ particulada [pmol/L]
1	22.1	227.9	0.9	0.4	0.2	NA	0.4	0.9
2	21.8	194.4	0.9	0.3	0.1	NA	0.8	1.9
3	21.5	228.9	1.6	0.3	2.1	NA	0.1	0.5
4	20.8	228.7	NA	0.6	1.8	1.3	0.5	0.4
5	20.0	258.3	0.7	0.2	0.7	NA	0.0	1.3
6	20.1	310.5	0.4	0.2	1.6	NA	0.0	0.9
7	19.4	297.4	0.4	0.4	NA	0.3	0.0	0.5
8	18.4	261.4	0.9	0.2	4.2	0.8	0.0	1.1
9	16.5	258.6	2.3	0.5	NA	NA	NA	2.3
10	15.9	278.3	1.8	0.1	NA	NA	NA	NA
11	14.3	270.1	0.6	0.8	NA	1.3	0.8	1.1
12	17.8	209.6	0.5	0.5	NA	NA	0.4	1.1
13	18.3	239.0	NA	0.2	1.3	1.1	NA	NA
14	18.9	213.5	0.4	NA	NA	NA	NA	NA
15	19.1	225.3	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Anexo 3

Abundancias bacterianas (cel L^{-1}) en las estaciones muestreadas el 5 de abril de 2019 en Bahía San Quintín, Baja California. NA= No Aplica.

Estación	Abundancia bacteriana [cel L^{-1}]
1	9.18E+07
2	5.99E+08
3	1.02E+09
4	6.24E+07
5	9.55E+07
6	3.68E+08
7	7.66E+08
8	1.25E+08
9	9.76E+07
10	NA
11	5.22E+07
12	1.55E+08
13	NA
14	NA
15	NA