



**INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL**  
**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS**  
**MARINAS**



**El enfriamiento de finales de Primavera en  
Bahía de La Paz y sus implicaciones en el  
sistema marino.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS  
MARINOS

PRESENTA

CÉSAR ALEJANDRO REYES GÁLVEZ

LA PAZ, B.C.S., JUNIO DE 2018



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**  
**SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**  
**ACTA DE REVISIÓN DE TESIS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., siendo las 12:00 horas del día 29 del mes de Mayo del 2018 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de CICIMAR para examinar la tesis titulada:

**"EL ENFRIAMIENTO DE FINALES DE PRIMAVERA EN BAHÍA DE LA PAZ  
Y SUS IMPLICACIONES EN EL SISTEMA MARINO"**

Presentada por el alumno:

<b>REYES</b> Apellido paterno	<b>GÁLVEZ</b> materno	<b>CÉSAR ALEJANDRO</b> nombre(s)							
		Con registro: <table border="1"> <tr> <td>A</td> <td>1</td> <td>6</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>2</td> </tr> </table>	A	1	6	1	0	0	2
A	1	6	1	0	0	2			

Aspirante de:

**MAESTRIA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS**

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA DEFENSA DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

**LA COMISION REVISORA**

Directores de Tesis

\_\_\_\_\_  
**DR. FERNANDO AGUIRRE BAHENA**  
Director de Tesis

\_\_\_\_\_  
**DR. EDUARDO GONZÁLEZ RODRÍGUEZ**  
2º. Director de Tesis

\_\_\_\_\_  
**DR. VÍCTOR MANUEL GÓMEZ MUÑOZ**

\_\_\_\_\_  
**DR. RENÉ FUNES RODRÍGUEZ**

\_\_\_\_\_  
**DR. ARMANDO TRASTVINA CASTRO**

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

\_\_\_\_\_  
**DR. SERGIO HERNÁNDEZ TRUJILLO**



**I.P.N.**  
**CICIMAR**  
**DIRECCIÓN**



**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO**

**CARTA CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de La Paz, B.C.S., el día 08 del mes de Junio del año 2018

El (la) que suscribe ECOL. CÉSAR ALEJANDRO REYES GÁLVEZ Alumno (a) del Programa

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN MANEJO DE RECURSOS MARINOS

con número de registro A161002 adscrito al CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE CIENCIAS MARINAS

manifiesta que es autor(a) intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de:

DR. FERNANDO AGUIRRE BAHENA Y DR. EDUARDO GONZÁLEZ RODRÍGUEZ

y cede los derechos del trabajo titulado:

"EL ENFRIAMIENTO DE FINALES DE PRIMAVERA EN BAHÍA DE LA PAZ

Y SUS IMPLICACIONES EN EL SISTEMA MARINO"

al Instituto Politécnico Nacional, para su difusión con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Éste, puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: regace.17@gmail.com - faguirre@ipn.mx - egonzale@cicese.mx

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

ECOL. CÉSAR ALEJANDRO REYES GÁLVEZ

*Nombre y firma del alumno*

## Dedicatoria

*Cuando verdaderamente quieras poner todas tus ganas en triunfar en algo, sin importar todo el esfuerzo y los intentos que hagas, entonces decididamente lo lograras.*

*Miguel Fizik*

A mis padres Isabel Gálvez Guerrero y Camilo Reyes Hernández quienes fueron los encargados de nunca soltar mi mano y alentarme a seguir esforzándome en cumplir este tan anhelado sueño.

A mi gran y único hermano a quien quiero, admiro y respeto mucho Camilo Augusto Reyes Gálvez quien desde que éramos unos niños , ha sido mi mejor cómplice en el andar de la vida estando en mis fortunas y desventuras pues me encamino y enseñó a luchar por mis sueños muchas gracias Red Dragon .

Y a ti quien siempre has estado al pendiente de mi quien toda la vida me ha cuidado y me ha dejado una enseñanza la cual es que todo pasa por algo gracias Heova dios por estar a mi lado siempre.

Agradecimientos.

Primeramente al CICIMAR- IPN, por permitirme ser parte de esta gran institución, proporcionándome todas las facilidades y oportunidades para enriquecer mi desarrollo profesional.

A mi director Fernando Aguirre Bahena y mi codirector Eduardo González Rodríguez; por, dedicarme parte de su valioso tiempo y sobre todo por tenerme demasiada paciencia durante el proceso por ayudarme a conocer esta nueva hermosa área de la investigación que lleva por nombre “Oceanografía” gracias por su ayuda, regaños y consejos.

A los miembros de mi comite; el Dr. Armando Trasviña, Dr. Víctor Manuel Gómez Muñoz, Dr. Rene Funes Rodriguez, Dr. Rogelio Armas por sus acertadas sugerencias, comentarios y corrección a este documento y apoyarme incondicionalmente en la disposición de dicha revisión.

Al Dr. Silverio Lopez y Sonia Futema por su gran amistad y por brindarme todo el apoyo necesario en el laboratorio y ayudarme en el manejo de las técnicas para la determinación de nutrientes.

Al Laboratorio de lagunas costeras del CICESE, en especial al Dr. José Ruben Lara Lara, Dra. Lorena Linacre Rojas, Ocean. Carmen Bazan Guzman, M.C. Martín De la Cruz Orozco, M.C. Uriel Mirabal Gomez, M.C. Citlalli Sanchez Robles, Ing. Wendy Perez Leal, Ocean. Joana Julieta Rejon

A mis amigos y compañeros de cubículo la Karen y Ehecatl, Isaivis por darme animos y calmarme en los momentos mas dificles

A enmaylin, daylí y rosi, por dejarme formar parte de sus vidas y acogerme como una familia y sobre todo por no dejarme caer ‘mis cubanas’.

Al señor Abel y toda su familia por siempre tenerme presente en sus oraciones y darme tan sabios consejos.

A mis amigos que siempre estuvieron presentes, unos a distancia otros cerca: y a quienes involuntariamente olvido mencionar en este escrito pero que han marcado en mi persona momentos inigualables; mil gracias..

“Agradezco de todo corazón a todas y cada una de las personas, que contribuyeron a que este sueño que veía tan lejano se hiciera realidad, hoy es una satisfacción decir lo logre.

*Procura mantener la nave lejos de la espuma y la resaca o la llevaras directo a la destrucción*  
*Bluetigger*

## Índice

Índice.....	6
Lista de figuras.....	9
Lista de tablas.....	11
Resumen.....	12
Abstrac.....	14
1. Introducción.....	16
1.1 Área de estudio.....	18
1.2 Antecedentes.....	21
1.3 Justificación.....	26
2. Hipótesis.....	27
3. Objetivo general.....	27
3.1 Objetivos Particulares.....	27
4. Materiales y Métodos.....	28
4.1 Manejo de datos satelitales.....	28
4.2 datos meteorológicos.....	30
4.3 Trabajo de campo.....	30
4.4 Tratamiento de datos de campo, CTD y termistores.....	31
4.5 Trabajo de laboratorio.....	32
4.5.1 Nutrientes.....	32
4.5.2. Análisis de iones de nitrato.....	32
4.5.3. Análisis de iones de nitrito.....	32
4.5.4. Fosfatos.....	32

4.5.5. Silicatos. ....	33
4.5.6. Análisis de clorofila- <i>a</i> .....	33
5. Resultados .....	34
5.1 Distribución de la TSM satelital. ....	34
5.2 Distribución de la clorofila satelital. ....	38
6. Vientos. ....	41
7. Diagrama de T-S .....	43
7.1 Distribución de la temperatura en la columna de agua .....	44
7.2 Distribución del oxígeno disuelto en la columna de agua.....	47
7.3 Distribución de la fluorescencia en la columna de agua.....	48
7.4 Perfiles verticales de clorofila- <i>a</i> y sus valores integrados .....	51
8. Nutrientes .....	52
8.1 Nitratos .....	53
8.2 Nitritos.....	53
8.3 Fosfatos .....	53
8.4 Silicatos .....	53
9. Discusión.....	54
9.1 Variación de la temperatura superficial del mar y de la clorofila- <i>a</i> a partir de datos satelitales. ....	54
9.2 Condiciones de viento. ....	56
9.3. Estructura termohalina y química de la columna de agua.....	57
9.4 Clorofila- <i>a</i> .....	58
9.5 Nutrientes .....	58
10. Conclusión.....	60
10.1 Bibliografía.....	62



## Lista de figuras

- Figura 1. Área de estudio de la Bahía de La Paz. El cuadrante verde representa el área para los datos satelitales, el punto negro corresponde a la estación de muestreo y el punto rojo representa la ubicación de la estación meteorológica REDMAR..... 18
- Figura 2. Distribución espacial de la tsm en Bahía de La Paz en cuatro años diferentes fuentes: programa ghrsst con resolución de  $1\text{km}^2$ . Panel A) 30 de junio de 2004, panel B) 20 de junio de 2002, panel C) 18 de junio de 2016 y panel D) 28 de junio de 2014..... 25
- Figura 3. Panel a) Serie de tiempo diaria de temperatura superficial del mar del año 2016. Panel b) serie de tiempo de la diferencia del año 2016. Fuente: programa ghrsst con resolución espacial de  $1\text{km}^2$  ..... 34
- Figura 4. Imágenes satelitales de los promedios de temperatura superficial del mar para los enfriamientos de Bahía de La Paz. Panel a) corresponde del 1 al 5 de mayo, panel b) corresponde del 10 al 15 de junio, panel c) corresponde al 26 de junio y panel d) corresponde del 1 al 9 de julio de 2016. Fuente: programa ghrsst con resolución espacial de  $1\text{km}^2$ ..... 37
- Figura 5. Imágenes del promedio de las diferencias de temperatura superficial del mar ( $1\text{km}^2$ ) de la Bahía de La Paz. Panel a) corresponde del 1 al 5 de mayo, panel b) corresponde del 10 al 15 de junio, panel c) corresponde al 24 de junio y panel d) corresponde del 1 al 9 de julio de 2016. Fuente: programa ghrsst con resolución espacial de  $1\text{km}^2$  ..... 37
- Figura 6. Panel a) Serie de tiempo de la variable clorofila-a superficial del mar para el periodo de 2016. panel b) serie de tiempo de la anomalía del año 2016. fuente: programa Copernicus con resolución de  $4\text{ km}^2$  ..... 38
- Figura 7. Imágenes satelitales de los promedios clorofila superficial ante la respuesta de los enfriamientos de Bahía de La Paz. Panel a) corresponde al 30 de mayo, panel b) corresponde del 11 al 15 de junio, panel c) corresponde al 26 de junio y panel d)

corresponde del 5 al 7 de julio de 2016. fuente: programa Copernicus con resolución de 4 km <sup>2</sup> .....	40
Figura 8. Imágenes de diferencias en mapa de clorofila superficial de Bahía de La Paz. Panel a) corresponde al 30 de mayo, panel b) corresponde del 11 al 15 de junio, panel c) corresponde al 26 de junio y panel d) corresponde del 5 al 7 de julio de 2016. fuente: programa Copernicus con resolución de 4 km <sup>2</sup> .....	41
Figura 9. Registro de datos diarios de 2016 en la dirección y magnitud del viento de la NOAA con resolución de 32km <sup>2</sup> . Fuente: <a href="http://www.esrl.noaa.gov/psd">http://www.esrl.noaa.gov/psd</a> .....	42
Figura 10. Diagrama de t-s de las masas de agua de Bahía de La Paz. Los círculos de colores representan las fechas de muestreo en abril-agosto de 2016.....	44
Figura 11. Distribución vertical de la temperatura en la columna de agua, de la estación de muestreo .....	45
Figura 12. . Perfiles verticales de temperatura para el periodo abril-agosto de 2016. Los paneles a, b, c, d, e, f, g, h, i, j y k corresponden a los días 22, 29 de abril, 6, 13, 20, 27 de mayo, 3, 10 y 24 de junio, 1, 8 de julio y 5 de agosto. ....	46
Figura 13. Distribución vertical del oxígeno disuelto en la columna de agua, de la estación de muestreo en Bahía de.....	47
Figura 14. Perfiles verticales de oxígeno para el periodo abril-agosto de 2016. Los paneles a, b, c, d, e, f, g, h, i, j y k corresponden a los días 22, 29 de abril, 6, 13, 20, 27 de mayo, 3, 10 y 24 de junio, 1, 8 de julio y 5 de agosto. ....	48
Figura 15. Distribución vertical de la fluorescencia en la columna de agua, de la estación de muestreo en Bahía de La Paz en abril- agosto de 2016. Los recuadros blancos señalan las fechas de los enfriamientos registrados. ....	49
Figura 16. Perfiles verticales de fluorescencia para el periodo abril-agosto de 2016. Los paneles a, b, c, d, e, f, g, h, i, j y k corresponden a los días 22, 29 de abril, 6, 13, 20, 27 de mayo, 3, 10 y 24 de junio, 1, 8 de julio y 5 de agosto. ....	50
Figura 17. Perfiles verticales de clorofila y sus valores de integrales para el periodo abril-agosto de 2016. Los paneles a, b, c, d, e, f, g, h, i, j y k corresponden a los	

días 22, 20 de abril, 6, 13, 20 , 27 de mayo, 3, 10 y 24 de junio, 1, 8 de julio y 5 de agosto, respectivamente. .... 51

Figura 18. clorofila integrada de abril-agosto de 2016. .... 52

Figura 18. Distribución vertical de las concentraciones de panel a) nitratos, panel b) nitritos, panel c) fosfatos, y panel d) silicatos en la columna de agua, de la estación de muestreo en Bahía de La Paz en abril- agosto de 2016 ..... **Error! Bookmark not defined.**

Figura 16. Diagrama Hovmoller generado a partir de datos de sensores de temperatura instalados en la columna de agua para el 2016. .... **Error! Bookmark not defined.**

### Lista de tablas

Tabla 1. Fechas y duración de los enfriamientos en 2016. .... **Error! Bookmark not defined.**

Tabla 2. Fecha y duración de la respuesta de la clorofila-*a* ante los enfriamientos ..... **Error! Bookmark not defined.**

Tabla 3. Estadística básica de las aceleraciones calculadas para la región sur de la Bahía de La Paz. .... 43

## Resumen

La Bahía de La Paz (BLP) es considerada un área productiva donde se han llevado a cabo estudios sobre los procesos oceanográficos que regulan la productividad primaria (PP). Estos trabajos muestran dos pulsos al año: uno asociado a los vientos intensos del noroeste en diciembre-enero y otro en mayo-junio relacionado a un evento de enfriamiento. El presente trabajo se enfocó en determinar la respuesta del medio ambiente en términos de nutrientes y clorofila-*a*, ante un proceso de enfriamiento que ocurre en primavera-verano en la región sur de Bahía de La Paz. Se determinó la variabilidad diaria de la temperatura superficial del mar y clorofila-*a* durante 2016. También se determinó el patrón de vientos mediante un modelo de reanálisis de la NOAA, y de datos obtenidos de una estación meteorológica costera para el mismo periodo, con el fin de determinar las condiciones atmosféricas y su posible efecto sobre el ambiente. Adicionalmente se llevaron a cabo 12 muestreos con resolución semanal de abril a agosto del 2016. Los muestreos se realizaron al norte de la barra arenosa conocida como El Mogote (24.307 N, 110.509° W). En estas campañas se determinó la estructura termohalina de la columna de agua incluyendo la concentración de oxígeno disuelto y la fluorescencia; También se tomaron muestras en la columna de agua a 6 profundidades (1, 10, 20, 30, 40 y 50 m) para determinar oxígeno disuelto, nitritos, nitratos, fosfatos, silicatos y clorofila- *a* (C<sub>la</sub>). Por último, se instaló un anclaje de termistores ubicados a 10, 15, 20, 25, 30, 35 y 40 m. Durante el periodo de muestreo los resultados mostraron 4 enfriamientos, de estos, 3 ocurrieron a finales de primavera principios de verano ( 10 y 24 de junio y 1 de julio) y tuvieron respuestas en la clorofila-*a*. Por ejemplo en un caso los valores de C<sub>la</sub> que se incrementaron de 1.1 a 2.5 mg m<sup>-3</sup>. El modelo de viento de reanálisis (NARR-NOAA) mostró un patrón de vientos monzónico que consistió en la inversión en la dirección y un cambio en la intensidad.

Además, los datos de la estación meteorológica evidenciaron que en primavera-verano se presentaron vientos predominantes del sur, con breves periodos de rachas sostenidas ( $\Rightarrow 5 \text{ m s}^{-1}$ ) que están asociados a estos enfriamientos y el

pulso de Cla. Por otra parte, se detectaron altas concentraciones de Cla (hasta de  $5.39 \text{ mg m}^{-3}$  a 30 m de profundidad) de el 29 de abril y otro más somero (10m) de  $1.05 \text{ mg m}^{-3}$  el 10 de junio. El máximo valor de nutrientes se registró en junio ( $33\mu\text{M}$ ) asociados a afloramientos de aguas subsuperficiales. Con la información obtenida, se concluyó que los enfriamientos detectados de manera episódica, son ocasionados por rachas de viento persistentes proveniente del sur que ocasionan el afloramiento de aguas subsuperficiales ricas en nutrientes y que estimulan un aumento en la biomasa fitoplanctónica a lo largo de toda la columna de agua.

## **Abstrac**

The Bay of La Paz (BLP) is considered a productive area where studies on the oceanographic processes that regulate primary productivity (PP) have been carried out. These works show two pulses a year: one associated with the intense winds from the northwest in December-January and another in May-June related to a cooling event. The present work focused on determining the response of the environment in terms of nutrients and chlorophyll-a, before a cooling process that occurs in spring-summer in the southern region of La Paz Bay. The daily variability of sea surface temperature and chlorophyll-a during 2016 was determined. The wind pattern was also determined using a NOAA reanalysis model, and data obtained from a coastal meteorological station for the same period, with the In order to determine the atmospheric conditions and their possible effect on the environment. Additionally, 12 samplings were carried out with weekly resolution from April to August 2016. The samplings were carried out north of the sandy bar known as El Mogote (24,307 N, 110,509 ° W). In these campaigns, the thermohaline structure of the water column was determined, including the concentration of dissolved oxygen and fluorescence; Samples were also taken in the water column at 6 depths (1, 10, 20, 30, 40 and 50 m) to determine dissolved oxygen, nitrites, nitrates, phosphates, silicates and chlorophyll a (Cla). Finally, an anchor of thermistors located at 10, 15, 20, 25, 30, 35 and 40 m was installed. During the sampling period the results showed 4 coolings, of these, 3 occurred in late spring early summer (June 10 and 24 and July 1) and had responses in chlorophyll-a. For example in one case the Cla values that were increased from 1.1 to 2.5 mg m<sup>-3</sup>. The reanalysis wind model (NARR-NOAA) showed a monsoon wind pattern that consisted of reversal in direction and a change in intensity.

In addition, data from the weather station showed that in the spring-summer there were predominant winds from the south, with brief periods of sustained gusts ( $\Rightarrow 5 \text{ m s}^{-1}$ ) that are associated with these chills and the Cla pulse. On the other hand, high concentrations of Cla (up to 5.39 mg m<sup>-3</sup> at 30 m depth) were detected on April 29 and a more shallow (10m) of 1.05 mg m<sup>-3</sup> on June 10. The maximum value of nutrients was recorded in June (33μM) associated with outcrops of

subsurface waters. With the information obtained, it was concluded that the colds detected episodically, are caused by persistent wind gusts coming from the south that cause the upwelling of subsurface waters rich in nutrients and that stimulate an increase in the phytoplankton biomass throughout the whole water column.

## 1. Introducción

Los fenómenos de enfriamiento en la superficie del océano son procesos generados por la interacción océano-atmósfera, la cual tiene una importancia clave en la productividad de los ecosistemas marinos costeros (Mann & Lazier, 1991; Martínez-López *et al.*, 2001). La dinámica de estos procesos es el resultado del forzamiento del viento y del movimiento vertical ascendente como afloramiento de aguas. En algunos casos la turbulencia generada por el viento provoca cambios en las propiedades físicas del agua como; cambios abruptos en la profundidad de la termoclina, y a veces en la profundidad de la haloclina y en ocasiones las influencias combinadas de la temperatura y salinidad resultan en un cambio de la densidad (picnoclina). Adicionalmente pueden llegar a producirse repentinos gradientes de nutrientes (nutriclina), y de oxígeno (oxiclina), y un máximo de clorofila. asociado con la capa de mezcla estacional (Salinas-González *et al.*, 2003; Obeso-Nieblas *et al.*, 2004).

Bahía de La Paz se encuentra sujeta a la influencia de un patrón de vientos muy definido. Los vientos del sur y sureste, que ocurren al final de la primavera y persisten en verano y hasta inicio del otoño, localmente llamados Coromueles que alcanzan una magnitud de alrededor de  $4 \text{ m s}^{-1}$  y que generalmente ocurren combinados con calmas frecuentes. Los vientos del norte y noroeste, predominantes a finales del otoño y durante el invierno, son fuertes y alcanzan magnitudes de hasta  $12 \text{ m s}^{-1}$ . Este patrón de vientos corresponde al carácter monzónico propio de Golfo de California (Jiménez-Illescas *et al.*, 2005). Esto aunado a las variaciones estacionales de radiación solar y a los procesos que ocurren en el golfo generan condiciones hidrográficas particulares en la bahía (Obeso-Nieblas, 2003).

Los vientos intensos del noroeste favorecen la generación de una capa de mezcla más profunda y el consecuente hundimiento de la termoclina, haloclina y picnoclina durante el otoño e invierno (Salinas, 2000; Obeso-Nieblas, 2003), mientras que los vientos relativamente débiles del sureste y la fuerte radiación

solar favorecen la ausencia de una capa de mezcla somera con el afloramiento de la termoclina, haloclina y pycnoclina durante primavera y verano

El forzamiento del viento provocan cambios físicos y químicos en la zona eufótica tales como la disminución en la temperatura del mar y en la concentración del oxígeno y en el aumento de los nutrientes que promueven la productividad primaria (Marin *et al.*, 1991). Éste es un proceso importante, ya que donde ocurren procesos por mezcla vertical se genera una alta producción biológica. (Mann & Lazier, 1991). Por otra parte, se ha establecido que la variabilidad espacio-temporal de la productividad primaria en los océanos tanto horizontal como vertical depende de las condiciones ambientales a las cuales están sujetas las poblaciones fitoplanctónicas (Cullen *et al.*,1992). Entre ellas, sobresalen la intensidad luminosa, la temperatura, la concentración de nutrientes inorgánicos y de materia orgánica, el pastoreo, la mezcla y turbidez, la competencia, la dinámica de las mareas, los vientos, y los procesos de estratificación (Gaxiola-Castro *et al.*,2001; Riley-Chester *et al.*,1989; Lara-Lara *et al.*,1993; Falkowski–Raben *et al.*, 1997; Souza *et al.*, 2008)

Dos de los principales factores que controlan la productividad primaria y el crecimiento de la biomasa del fitoplancton son la cantidad de luz y la concentración de nutrientes (Platt *et al.*, 1991). En la zona eufótica el fitoplancton presenta una relación inversa en cuanto a los factores ambientales antes mencionados. Así, cuando la luz disminuye con la profundidad se conoce que la concentración de nutrientes aumenta. Particularmente la dependencia del fitoplancton a la luz disponible en la columna de agua es un proceso biológico fundamental, el cual puede variar de acuerdo a la región y a la dinámica particular que ocurre en cada cuerpo de agua (Gaxiola-Castro & Álvarez-Borrego, 1984; Riley & Chester, 1989; Lara-Lara *et al.*,1993; Falkowski & Raben, 1997;).

## 1.1 Área de estudio

La Bahía de La Paz se ubica en el margen suroriental de la Península de Baja California entre los 24° 10', y 24° 47' de latitud N y los 110° 20', y 110° 44' longitud W, aproximadamente a 180 km de la boca del Golfo de California. Esta bahía presenta un área de 2,635 km<sup>2</sup> lo que la convierte en el cuerpo de agua más grande del litoral Este de la península (Figura 1). Tiene una longitud máxima de 77 km desde Punta Cabeza Mechudo a Playa Costa Baja y de cerca de 40 km en su eje horizontal. Al oeste y al sur está limitada por tierra firme, mientras que al norte y este por las aguas del Golfo de California, la Isla Espíritu Santo e Isla La Partida.

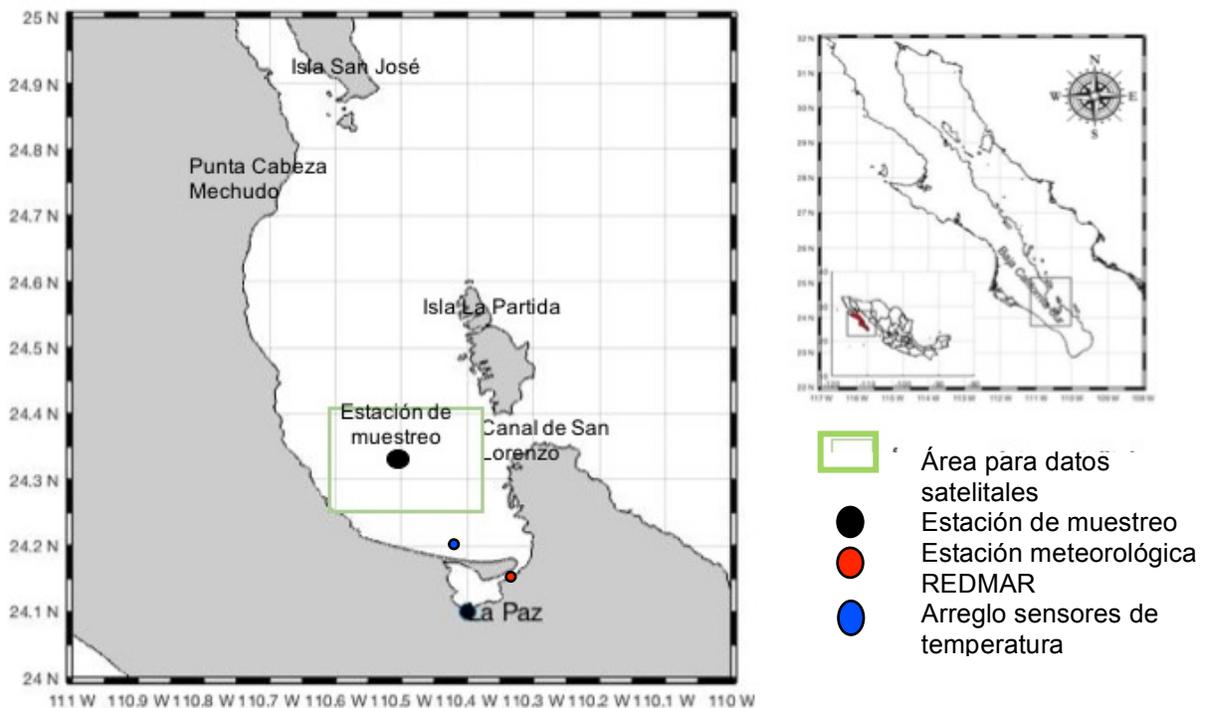


Figura 1. Área de estudio de la Bahía de La Paz. El cuadrante verde representa el área para los datos satelitales, el punto negro corresponde a la estación de muestreo, el punto rojo representa la ubicación de la estación meteorológica REDMAR y el punto azul representa el arreglo de sensores anclados.

Esta Bahía tiene una forma semielíptica, con su eje mayor en orientación noroeste-sureste. Además tiene una comunicación libre con aguas del Golfo de California a través de dos bocas. La boca principal está ubicada entre Punta Cabeza Mechudo y el extremo norte de la Isla La Partida, y la boca secundaria (canal San Lorenzo) se encuentra al sureste, entre el extremo sur de la Isla Espíritu Santo y Punta Las Pilitas (Obeso-Nieblas *et al.*, 2002).

Los datos batimétricos de Bahía de La Paz muestran profundidades mínimas al sur y aumentan gradualmente hacia el norte y una profundidad promedio de 71 m (Del Monte-Luna *et al.*, 2005). En su porción sur es un cuerpo de agua relativamente somero y de pendiente suave considerada como producto de la sedimentación del material transportado por los arroyos que drenan esa porción y distribuido por las corrientes costeras que se desplazan de norte a sur. (Verdugo-Díaz, 2004). Su profundidad aumenta hacia el norte, a partir de los 200 m de profundidad que desemboca en Cuenca Alfonso con una profundidad máxima registrada de 410 m (Cruz-Orozco *et al.*, 1996).

Las condiciones hidrográficas, en particular en su parte profunda, se encuentran muy influenciadas por la variabilidad del sur del Golfo de California (Obeso-Nieblas, 2003). La marcada variabilidad espacial y estacional de las condiciones oceanográficas en Bahía de La Paz son ocasionadas por una parte, por las variaciones locales de los vientos y la radiación solar propios de una región semiárida, con altas tasas de evaporación, y por otra, por la influencia del Golfo de California que tiene su propia dinámica, lo cual es corroborado por las condiciones oceanográficas prevalecientes en la parte profunda de la bahía, en la Boca norte, y en la región adyacente del golfo (Obeso-Nieblas *et al.*, 2004).

La Bahía de La Paz se encuentra sujeta principalmente a un patrón regular de vientos. Los vientos del sur y sureste, que ocurren al final de la primavera y persisten en verano hasta inicio del otoño, localmente llamados Coromueles, alcanzan una magnitud de  $\sim 4 \text{ m s}^{-1}$ . Generalmente estos vientos ocurren combinados con periodos de calmas frecuentes (Obeso-Nieblas *et al.*, 2007).

Esta inversión en la dirección de los vientos reciben el nombre de El Monzón Mexicano y es causado por fluctuaciones en un sistema de baja presión

ubicado en la parte continental de México (Salas-Pérez, 1996; Lavín, 1997 & Obeso-Nieblas *et al.*, 2002).

Además, en Bahía de La Paz existe un fenómeno conocido como “brisa” el cual es producido por la diferencia de disipación de la energía en la frontera mar-tierra durante el verano, provocando un cambio en la dirección e intensidad del viento debido a que el aire que está sobre el mar es más frío que el que está sobre la tierra, el cual es el resultado de que la temperatura disminuya en la parte costera (Obeso- Nieblas *et al.*, 2002).

Mediante la clasificación de masas de agua realizada por Torres-Orozco (1993) pueden identificarse tres: Agua del Golfo de California (AGC), Agua Superficial Ecuatorial (ASE) y Agua Subsuperficial Subtropical (ASS). El umbral batimétrico a lo largo de Boca Norte evita la entrada de Agua Intermedia del Pacífico (AIP) y la salida de las aguas profundas de la bahía hacia el golfo (Monreal-Gómez *et al.*, 2001). La importancia de conocer el movimiento de las masas de agua es que dan origen a corrientes que pueden ser asociadas a la variación fisicoquímica en dicha región.

En Bahía de La Paz no hay ríos permanentes que desemboquen en ella, por lo tanto no hay manera de que haya otra fuente de aporte de nutrientes ya que el drenaje está restringido a los escurrimientos esporádicos generados por lluvias básicamente asociadas a ciclones (Baba *et al.*, 1991). Esto genera que la tasa de evaporación de  $215 \text{ mm a}^{-1}$  exceda a la precipitación pluvial de  $180 \text{ mm a}^{-1}$  (precipitación media anual de 1941 a 2005, ([www.smn.cna.gob.mx](http://www.smn.cna.gob.mx))). La estacionalidad de las lluvias en la región de La Paz es constante, con lluvias más frecuentes en el verano y de manera secundaria en invierno; son escasas en otoño y prácticamente ausentes en la primavera. Los meses con mayor precipitación son, septiembre seguido de agosto ([www.smn.cna.gob.mx](http://www.smn.cna.gob.mx)).

## 1.2 Antecedentes

Verdugo-Díaz (2004) y Jiménez-Illescas *et al.* (1994) mencionan que la estacionalidad de los vientos en esta zona es de gran importancia, dado que influye sobre la circulación superficial de la bahía, pudiendo provocar procesos de surgencia favorecidos por el efecto de islas.

La mayoría de los estudios realizados en bahía, demuestran que existe una capa de mezcla que varía en profundidad, como resultado de los vientos intensos durante el otoño y el invierno. Por otra parte, se ha demostrado que en primavera y verano la capa de mezcla se hace más somera, esto como productos de vientos débiles y frecuentes calmas (Obeso-Nieblas *et al.*, 2008).

Jiménez *et al.* (1994), trabajaron con datos de CTD durante junio de 1992 en ocho estaciones en Bahía de La Paz y ocho estaciones en Canal San Lorenzo, encontraron una capa de mezcla durante el invierno, cuando el viento del noroeste se hace intenso y persistente, relacionándolo con el verano, en el cual detectaron una termoclina somera, atribuyéndoselo a vientos débiles del sureste y calmas frecuentes.

Jiménez *et al.* (1997) analizaron aspectos de la hidrología de Bahía de La Paz con base en datos de CTD, , Presentaron una simulación de la marea y viento del noroeste. Encontraron que los perfiles de temperatura y salinidad son muy parecidos en toda la bahía con un patrón de circulación simulado por un modelo numérico con viento del noroeste que muestra una corriente costera que gira en sentido ciclónico terminando en una corriente que impulsa agua hacia afuera de la bahía a través de Canal San Lorenzo.

Obeso-Nieblas *et al.* (2007) analizaron datos de CTD de cuatro campañas de muestreo realizadas durante un ciclo anual (mayo, julio y octubre de 2001, así como febrero de 2002) en ambos lados de la comunicación principal en Bahía de La Paz con el Golfo de California. Encontraron una ausencia de la capa de mezcla en primavera y verano. La capa superficial y subsuperficial de Bahía de La Paz y el Golfo de California presentaron una estructura similar, teniendo como diferencia la presencia de Agua Intermedia del Pacífico (AIP) en el golfo, que no penetró a la

bahía debido al umbral de Boca Norte. Detectaron en primavera la presencia de Agua del Golfo de California (AGC), Agua Subsuperficial Subtropical (ASS) y Agua Intermedia del Pacífico (AIP). En verano registraron las anteriores junto con Agua Superficial Ecuatorial (ASE).

Monreal *et al.* (2001) identificaron en junio de 1998 tres masas de agua: Agua del Golfo de California (AGC), Agua Superficial Ecuatorial (ASE) y Agua Subsuperficial Subtropical (ASS). Así mismo, mencionaron que el umbral batimétrico a lo largo de la Boca Norte evitó la entrada de Agua Intermedia del Pacífico (AIP) y la salida de las agua profundas de la bahía hacia el Golfo.

Obeso (2003) señaló la presencia permanente en la bahía de AGC y ASS, detectando ASE durante el otoño y de forma extraordinaria durante el verano de 1997 e invierno de 1998, al parecer producto de los efectos del fenómeno de El Niño en la región.

Bahía de La Paz es una zona de elevada productividad fitoplanctónica, comparada con algunas áreas del Pacífico Mexicano y del Golfo de California, al menos en ciertas épocas del año. La productividad primaria está en función de un efecto combinado de luz, temperatura y nutrientes, la cual depende de la estructura vertical de la columna de agua (Reyes-Salinas *et al.*, 2003)

Lavaniegos y López-cortez, (1997) registraron la presencia de una marcada termoclina entre los 20 y 30 metros en verano, misma que puede limitar el aporte de nutrientes provenientes de aguas más profundas provocando condiciones de oligotrofia.

Mabila-Urquidi (2012) mediante recorridos de 30 km, paralelos a la línea de costa (<50 m) bimensuales , en la porción sureste de Bahía de La Paz, reportó valores de nitrógeno inorgánico disuelto de 4.2 a 7.7  $\mu\text{M m}^{-2} \text{d}^{-1}$ , mientras que para fosfatos de 0.01 a 1.86  $\mu\text{M m}^{-2} \text{d}^{-1}$  y para silicatos de 13- 26  $\mu\text{M m}^{-2} \text{d}^{-1}$  concluyendo que los flujos de nitrógeno y fosfatos pueden llegar a explicar entre el 8 y 20 % de un promedio mensual de máximo de productividad primaria, reportado en Bahía de La Paz

Lopez-Cortez *et al.* (2018) reportaron que a 50 m de profundidad se determinaron dos máximos de nitrógeno uno en junio de 2006 (19.4  $\mu\text{M}$ ) y otro en mayo de 2007 (26.0  $\mu\text{M}$ ), mencionan que los valores mínimos principalmente ocurren en superficie (1.8-4.1  $\mu\text{M}$ ), los fosfatos también muestran una tendencia similar, con amplias fluctuaciones de superficie a fondo.

Existe escasa información en Bahía de La Paz de los procesos oceanográficos que regulan la producción y productividad primaria. Varios autores reportan la variación de la temperatura, salinidad y la relación entre estas variables (Zaitsev *et al.*, 1998; Salinas-González, 2000; Troyo-Diequez, 2003; Obeso-Nieblas *et al.*, 2004; Zaitsev *et al.*, 2010).

Martínez-López *et al.* (2001) relacionaron la variabilidad estacional de la clorofila con la estructura de la columna de agua, encontrando que las temperaturas más altas ocurrieron durante julio-octubre entre 28 y 32 °C y las menores de enero a marzo entre 20 y 22 °C. También mencionan que la clorofila-*a* presentó un estacional inverso a la temperatura, reportando concentraciones de clorofila-*a* integrada menores a 10  $\text{mg m}^{-2}$  en los meses más cálidos atribuyéndolos a la fuerte estratificación, mientras que los mayores valores de clorofila-*a* integrada (142.8  $\text{mg m}^{-2}$ ) fueron reportados para la época fría (enero- marzo) afirmando que están asociados a procesos de la columna de agua que controlan la disponibilidad de los nutrientes de la zona eufótica.

López-Cortez *et al.* (2018) cuantificaron en un estudio de granjas atuneras en Bahía de La Paz la biomasa del fitoplancton como clorofila *a* y sus valores integrados de 0-50 m, mostraron concentraciones altas de 96.0  $\text{mg m}^{-2}$  (junio 2006) disminuyendo drásticamente de julio de 2006 a marzo de 2007 manteniendo un rango de 1-16  $\text{mg m}^{-2}$ , aunque en abril y mayo vuelve haber otro repunte en su concentración alcanzando valores de 50  $\text{mg m}^{-2}$

Hinojosa-Larios, (2007) presenta concentraciones de clorofila superficial para abril de 0.59  $\text{mg m}^{-3}$  a 1.33  $\text{mg m}^{-3}$ , y para julio de 0.13  $\text{mg m}^{-3}$  a 0.45  $\text{mg m}^{-3}$  y máximos sub-superficiales para los meses de enero y abril, notando cambios en los

máximos más profundos para los meses de julio y noviembre. Por otro lado, el estudio de los fenómenos físicos es igualmente reciente pero no ha sido suficientemente entendido los factores que controlan la producción primaria.

Gárate- Lizarraga y Martínez-López (1997) proponen que los procesos físicos cerca de las islas Cerralvo y San José crean condiciones óptimas para el florecimiento del fitoplancton, principalmente para el desarrollo de mareas rojas incluyendo las del protozooario *Mesodinium rubrum*, como fue el caso en abril de 1994, en donde las máximas concentraciones de clorofila (hasta  $10.9 \text{ mg m}^{-3}$ ) se presentaron cercanas al canal de San José.

Algunos autores (P. ej. Cervantes *et al.*, 2005; Martínez-López *et al.*, 2001) mencionan que las condiciones ambientales influyen en la variabilidad espacio-temporal de los diferentes parámetros físicos y químicos de la zona eufótica, pero desconocen cual o cuales factores explican la variabilidad de la productividad primaria del sistema. Los estudios hasta ahora no han establecido cual es la causa que ocasiona dicha variabilidad dentro de la bahía, en su cobertura espacio temporal.

Cervantes-Duarte *et al.* (2005) reportan la existencia de dos épocas en el ciclo estacional de la productividad primaria: marzo–agosto y septiembre–febrero, y cuya estructura depende, entre otros factores, de la variabilidad estacional de la penetración de luz y de la estratificación de la columna de agua.

Observaciones directas y de sensores remotos muestran que la bahía presenta dos periodos de mayor PP, (Martínez-López *et al.*, 2012) uno en diciembre-enero muy probablemente asociado a la mezcla turbulenta causada por los vientos más intensos que se presentan en estos meses (Lopez *et al.*, 2006). Otro pulso ocurre en mayo-junio, aunque las causas no son del todo conocidas se considera que puede deberse a la inyección de nutrientes que son transportados por la presencia de un giro ciclónico en la parte norte y profunda de la bahía y que estimulan la PP (Beier, 1997; Martínez-López *et al.*, 2012 ).

Recientemente (Turrent & Gómez-Valdivia, 2014) sugieren la presencia de procesos de surgencias causados por el estrés del viento al sur de Bahía de La Paz al inicio del verano. Estos autores sugieren que el bombeo de Ekman es el mecanismo responsable del enfriamiento en dicha región.

Para ver si la inyección de nutrientes y las variaciones en la columna de agua en la región sur de Bahía de La Paz son transportados de la parte norte y profunda de la bahía a la región sur, a manera de estudio prospectivo se visualizaron imágenes de temperatura superficial del mar (TSM) durante 30, 20, 18 y 28 de junio en

cuatro años diferentes (2002, 2004, 2014 y 2016), las cuales se obtuvieron del programa ghrsst (<https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/JPL-L4UHfnd-GLOB-MU>), se encontró que la parte sur de la bahía de la paz presentaba un enfriamiento, el cual nos motivó a estudiar qué factores lo ocasiona, así como sus repercusiones hidrográficas (Figura 2).

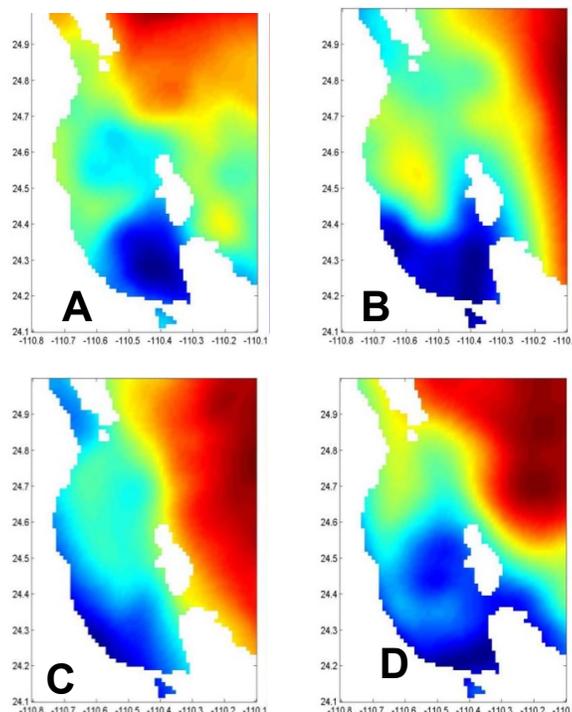


Figura 2. Distribución espacial de la tsm en Bahía de La Paz en cuatro años diferentes fuentes: programa ghrsst con resolución de  $1\text{km}^2$ . Panel A) 30 de junio de 2004, panel B) 20 de junio de 2002, panel C) 18 de junio de 2016

### 1.3 Justificación

Bahía de La Paz es considerada un área productiva pero sólo recientemente se han llevado a cabo estudios dirigidos hacia el entendimiento de los procesos oceanográficos que regulan la productividad primaria (Reyes-Salinas, 1999; Martínez-López *et al.*, 2001, Cervantes-Duarte *et al.*, 2005, Hinojosa-Larios, 2007). El estudio de los fenómenos físicos es igualmente reciente (Zaitsev *et al.*, 1998; Salinas-González, 2000; Troyo-Dieguez, 2003; Obeso-Nieblas *et al.*, 2004; Zaitsev *et al.*, 2010) pero aun así no es suficiente para entender todos de los factores que controlan la producción primaria ni la circulación en la bahía. Se ha documentado la existencia de giros ciclónicos en la parte central de la bahía, que a su vez pudieran concentrar las comunidades planctónicas durante el invierno y principios primavera (Jiménez-Illescas, 1996; De Silva-Dávila y Palomares-García (1997). Estos procesos ocasionan también la inyección de nutrientes que son transportados desde la parte norte y profunda de la bahía, hacia la parte central (Beier, 1997; Martínez-López *et al.*, 2012 ).

Es por lo anterior, que se deben realizar estudios continuos y constantes a lo largo del año, que incluyan datos oceanográficos in situ, datos de imágenes satelitales y datos ambientales que se incorporen en un estudio integral enfocado a determinar la respuesta del medio ambiente en términos de vientos, temperatura, nutrientes y clorofila-*a* ante el proceso de enfriamiento que ocurre en primavera–verano en la parte sur de Bahía de La Paz,.

## **2. Hipótesis**

Existen procesos de enfriamiento que ocurren en primavera-verano y que se presentan en la parte sur de la Bahía de La Paz los cuales ocasionan un incremento en la concentración de nutrientes y por lo tanto estimula el incremento de la biomasa fitoplanctónica a lo largo de toda la columna de agua.

## **3. Objetivo general**

Determinar la respuesta del medio ambiente en términos de nutrientes y clorofila-a ante los procesos de enfriamiento que ocurre en primavera-verano en la región sur de Bahía de La Paz durante 2016.

### **3.1 Objetivos Particulares**

1-. Determinar la variabilidad diaria de la temperatura superficial del mar y clorofila-a durante el año 2016.

2-. Determinar el patrón de vientos a partir de datos diarios del modelo de reanálisis de la NOAA y de la estación meteorológica costera de la red mareográfica del CICESE para el periodo 2016.

3. Registrar la variación en la estructura termohalina de la columna de agua incluyendo la concentración de oxígeno disuelto, y fluorescencia; además de obtener datos de profundidades estándar en la columna de agua de la clorofila-a, nutrientes disueltos.

4-. Integrar los resultados para entender las causas de los cambios observados en las variables estudiadas durante el periodo analizado.

## 4. Materiales y Métodos

### 4.1 Manejo de datos satelitales

Para el procesamiento de imágenes satelitales se descargaron datos de dos fuentes diferentes, en ambos casos los datos descargados son globales de nivel 4. Esto significa que son productos diarios de la superficie del mar. Dado lo anterior, fue necesario realizar un recorte para Bahía de La Paz (**Error! Reference source not found.**).

Se descargaron todos los archivos diarios de 2016 de la temperatura superficial del mar (TSM) de la misión GHRSSST (<https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/JPL-L4UHfnd-GLOB-MUR>) con una resolución espacial de 1 km<sup>2</sup>. Para el caso de clorofila-a (CLA), se obtuvieron archivos diarios del programa Copérnicus. (<http://www.copernicus.eu/main/data-access>) con una resolución espacial de 4km<sup>2</sup>. Para poder llevar a cabo un análisis de la variación intraanual, fue necesario construir una serie de tiempo. Para ello se seleccionó un polígono que incluyera la zona de los muestreos (cuadro verde en Figura 1). Este polígono se delimitó por el cuadrante comprendido entre los 24.22, y 24.35 N de latitud y -110.54 y -110.4 W (figura 1). Todos los datos de este cuadrante se promediaron para tener un solo valor diario. Este procedimiento se hizo para cada uno de los días, tanto para TSM como de CLA y con estos se construyeron las series de tiempo correspondientes.

Cómo los datos de la serie de tiempo de temperatura muestra variaciones de varios grados, fue necesario definir, un criterio para considerar si dichas variaciones son o no consideradas como un enfriamiento. Para ello se utilizó el criterio siguiente; se obtuvo el valor promedio para cada mes y posteriormente fue restado a cada día estableciéndose que si la diferencia fuese menor o igual a -0.5 grados se le considera como un enfriamiento, su expresión matemática es de la siguiente manera:

$$t_d - \bar{t} \leq -0.5 \rightarrow \text{Hay un enfriamiento en el día } d$$

En este trabajo se considera un enfriamiento cuando la temperatura

promedio del día  $t_d$  sea menor o igual a la temperatura promedio del mes  $\bar{t}$  menos  $0.5^{\circ}\text{C}$ , equivalentemente:

En el caso de que los enfriamientos sean en días consecutivos, se consideraron como un solo enfriamiento.

Para el caso de evaluar la respuesta de la clorofila-a ante un enfriamiento, el criterio fue el siguiente:

Se calculó la mitad de la desviación estándar del periodo de muestreo, si el valor obtenido de la clorofila-a es mayor a la mitad de la desviación estándar se considera que hay una respuesta al enfriamiento (incremento de clorofila).

Una vez ya conocidas las fechas donde ocurrieron los enfriamientos y las fechas de la respuesta de la clorofila se procedió a construir las respectivas imágenes de satélite (mapas de distribución). Las imágenes representan el promedio de los días que duró cada enfriamiento así como el promedio de los días que duró la respuesta de la clorofila-a.

Para los datos de viento se descargaron datos de 2016, denominados reanálisis, del Centro Nacional de Predicción atmosférica (NCEP) proporcionados por el PSD de NOAA desde su sitio web en <http://www.esrl.noaa.gov/psd> con una resolución espacial de  $32\text{ km}^2$ . Una vez descargados los datos, se seleccionaron los que se localizan dentro de la Bahía de La Paz (4 datos). Estos datos se promediaron para tener un valor diario, donde el componente zonal  $u$  representa la longitud y el componente meridional  $v$  representa la latitud. La dirección y magnitud del viento fueron determinados a partir de estos componentes. Con estos datos también se construyó una serie diaria para el 2016.

Como los datos de viento de reanálisis contienen un solo dato por día, fue necesario buscar otras fuentes de información que aporten una mayor resolución temporal para ver si el viento presenta rachas a lo largo de cada día, y mejorar la interpretación de los resultados.

## 4.2 Datos meteorológicos.

Se descargaron datos diarios de viento de enero a diciembre de 2016 de la red mareográfica del CICESE desde su sitio web en <http://redmar.cicese.mx> que incluye la estación meteorológica costera de La Paz (círculo rojo figura 1). Estos datos contienen registros, con una frecuencia de un minuto de dirección e intensidad del viento.

Con la finalidad de determinar si el viento alcanza velocidades altas que provoquen los enfriamientos, fue necesario determinar si los registros coinciden con los enfriamientos observados en la temperatura. El procedimiento a seguir fue obtener el número de rachas por día (consideradas como tales a los valores mayores a  $5 \text{ m s}^{-1}$ ), y su duración, para ver si existe una relación directa con los enfriamientos..

## 4.3 Trabajo de campo

Se realizaron 12 campañas oceanográficas en total, dos en abril (22 y 29) cuatro en mayo (6,13,20 y 27), tres en junio (3,10 y 24) dos en julio, (1 y 8) y por último una más el 5 de agosto, a una estación localizada a 22 km al norte de El Mogote en las coordenadas 24.30 N y 110.50 W (circulo negro Figura 1). El periodo estudiado (abril-agosto) fue con el propósito de abarcar un periodo que incluyera las condiciones previas y posteriores a los eventos de enfriamiento.

Para determinar la estructura físico y química de la columna de agua en dicha estación se realizaron lances de CTD (Marca SeaBird modelo 19 *plus* V2) equipado con sensores de oxígeno disuelto, pH y fluorescencia, para determinar la estructura físico y química de la columna de agua. Además se recolectaron muestras de agua para determinar la concentración de clorofila-*a*, y nutrientes. Las muestras se colectaron con una botella Niskin de 5 L de capacidad a profundidades estándares de 1, 10, 20, 30, 40, y 50 m. Estas muestras se colocaron inmediatamente en hielo para preservarlas durante su transporte al laboratorio, donde se les realizaron el tratamiento y los análisis correspondientes.

Por otro lado se instaló un arreglo (a manera de anclaje) con siete sensores de temperatura instalados a lo largo de la columna de agua, (termistores marca Onset modelo UTBI-001) espaciados cada 5 m a partir de 10 m hasta 40 m de profundidad. Los sensores se programaron para registrar un dato cada 30 minutos. El arreglo se mantuvo en posición vertical por medio de boyas subsuperficiales y se mantuvo anclado al fondo con la ayuda de un peso muerto de 120 kg. El arreglo se localizó aproximadamente a 23 Km de la punta de El Mogote (24. 20 N y 110.45 W) muy cerca de la estación de muestreo (Figura 1). La instalación del arreglo se llevó a cabo el 3 de junio de 2016 y se recuperó el 25 de octubre del mismo año.

#### 4.4 Tratamiento de datos de campo, CTD y termistores.

Los datos obtenidos en el campo por el CTD fueron descargados en una computadora utilizando el software del fabricante (Seabird). Cabe mencionar que los datos crudos sólo es posible visualizarlos con el software del equipo. Una vez descargados fueron transformados en archivos ASCII y organizados en una hoja de cálculo, lo cual permitió procesarlos posteriormente en el lenguaje de programación de Matlab.

Con los datos de temperatura y salinidad se generó un diagrama T-S para determinar las masas de agua presentes en la zona, de acuerdo a la clasificación propuesta por Torres-Orozco (1993).

Se construyeron gráficos evolutivos conocidos como Hovmoller para visualizar la evolución temporal de las variables, cabe mencionar que estos datos son el resultado de la interpolación de todas las fechas de muestreo.

Por otra parte se calcularon las integrales de la clorofila-a, lo cual consistió en calcular el dato de cada pigmento de las muestras colectadas a profundidades estándares antes mencionadas y posteriormente mediante un modelo Gaussiano de (Platt et al., 1972) se llevó a cabo la integración de los datos en toda la columna de agua.

Los datos de los termistores fueron descargados por medio del software del fabricante y se obtuvieron las series para cada una de las profundidades.

## **4.5 Trabajo de laboratorio**

### **4.5.1 Nutrientes**

Para la determinación de nutrientes la muestra de agua de mar se pasó por filtros de membrana de policarbonato marca Whatman de 47 mm de diámetro y 0.45  $\mu\text{m}$  micrómetros de tamaño de poro. El volumen de filtración varió de 0.3 a 1.5 litros dependiendo de la colmatación de los filtros. Posteriormente, al agua filtrada se le determinó nitritos, nitratos, fosfatos y silicatos de acuerdo a las técnicas espectrofotométricas descritas en Strickland y Parsons (1972), cada una de las técnicas se describen a continuación en detalle.

### **4.5.2. Análisis de iones de nitrato.**

La determinación de nitratos se realizó por el método de Morris y Riley (1963), en Strickland y Parsons (1972). Con una precisión de  $\pm 0.5 \mu\text{M}$ . El método consistió en reducir de nitratos a nitritos pasando a través de una columna de cadmio. Posteriormente, el nitrito fue diazotizado con sulfanilamida y por su acoplamiento con N-1 naftilendiamina formando un compuesto altamente colorado el cual se midió en un espectrofotómetro de absorción UV visible a 543 nm, con celdas de 1 cm.

### **4.5.3. Análisis de iones de nitrito.**

Los nitritos se determinaron por el método de Bendschneider y Robinson (1952), en Strickland y Parsons (1972) con una precisión de  $\pm 0.02 \mu\text{M}$ . Se siguió el mismo paso anterior descrito exceptuando el procedimiento de la columna reductora de cadmio. Los nitritos en este caso son convertidos en colorantes por su diazotización con sulfanilamida; este colorante es el resultado de la unión de N-1 naftilendiamina. La absorbancia es medida en un espectrofotómetro a 543 nm utilizando celdas de 10 cm.

### **4.5.4. Fosfatos.**

Los fosfatos fueron analizados por el método de Murphy y Riley (1962), en Strickland y Parsons (1972) con una precisión de  $\pm 0.03 \mu\text{M}$ . Consistió en la formación del compuesto de amonio molibdofosfato, en donde la reducción de estos

compuestos da como resultado un complejo de azul de molibdeno. La absorción es medida por espectrofotometría a 647 nm en celdas de 10 cm.

#### 4.5.5. Silicatos.

Los silicatos fueron determinados por el método de Mullin y Riley (1955 en Strickland y Parsons, 1972) con una precisión de  $\pm 0.25 \mu\text{M}$ . Este procedimiento consistió en formar un complejo de silicofosfoarsenomolibdato al cual se le agrega una solución reductora para obtener una coloración azul que simultáneamente descompone cualquier complejo. Posteriormente, se leyó la absorción resultante a 810 nm en celdas de 1 cm.

#### 4.5.6. Análisis de clorofila-*a*

Para la determinación del pigmento de clorofila-*a*, la muestra de agua de mar se pasó por filtros de fibra de vidrio GF/F marca Whatman de 25 mm de diámetro y  $0.7\mu\text{m}$  de tamaño de poro. El volumen filtrado fue de 0.7 a 1.5 L. Posteriormente, los filtros fueron guardados en papel aluminio y conservados en el congelador hasta su análisis. Para la extracción de la clorofila se añadió acetona al 90 %, por 24 horas a 4 °C en oscuridad total. Después, el extracto se colocó en una celda de cuarzo de 5 cm y la absorbancia del extracto obtenido se determinó a una longitud de onda de 645 nm establecido por el método de Venrick y Haywart (1984), y usando las ecuaciones de Jeffrey y Humphrey (1975) descritas en Strickland y Parsons (1972) con una precisión de 0.01 mg.

## 5. Resultados

### 5.1 Distribución de la TSM satelital.

A continuación, se muestra la serie de tiempo de la temperatura superficial del mar (TSM), así como sus respectivas diferencias de enero a diciembre de 2016 (Figura 3). En lo que corresponde a la serie de tiempo, se observan descensos con variación de entre 2 a 6 °C. De acuerdo al criterio establecido para definir un enfriamiento; la distribución de la diferencia en todo el año presentó 75 días con enfriamientos a lo largo de 2016 (Figura 3) cada uno con duraciones variables de entre 1 y 9 días, para un total de 16 enfriamientos. (**Error! Reference source not found.**). Durante el periodo de muestreo, que comprende de abril a agosto de 2016, se presentaron 4 enfriamientos (con fecha de inicio 1 de mayo, 10 y 24 de junio y 1 de julio) con una duración variable de entre 1 y 9 días. Considerando sólo los eventos que ocurrieron a finales de primavera y principios de verano se observan 3 enfriamientos (10 y 24 de junio y 1 de julio con variaciones de 2 a 5 °C (figura 3).

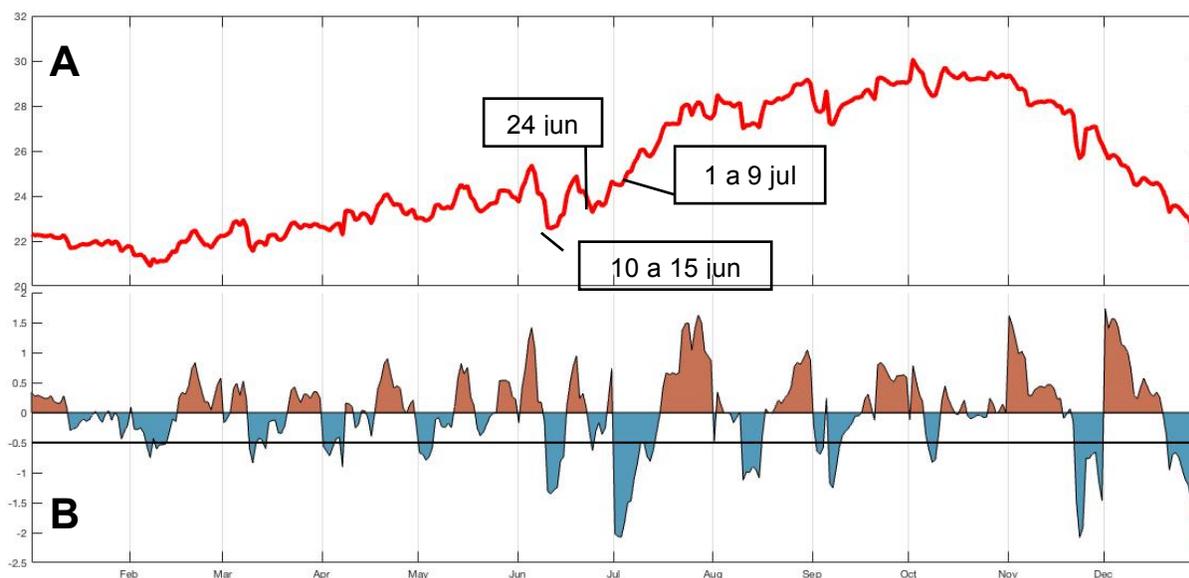


Figura 3. Panel a) Serie de tiempo diaria de temperatura superficial del mar durante 2016. Panel b) serie de tiempo de la diferencia del año 2016. Datos del programa ghrsst.

Tabla 1. Fechas y duración de los enfriamientos en 2016.

No enfriamientos	Fecha de Enfriamiento	Duración
1	06/02/16	6 a 7 de febrero (1 día)
2	09/02/16	9 a 12 de febrero (3 días)
3	09/03/16	9 a 11 de marzo (2 días)
4	14/03/16	1 día
5	01/04/16	1 a 4 de abril (4 días)
6	07/04/16	1 día
7	01/05/16	1 a 5 de mayo (4 días)
8	10/06/16	10 a 15 de junio (5 días)
9	24/06/16	1 día
10	01/07/16	1 a 9 de julio (8 días)
11	11/07/16	11 a 13 de julio (2 días)
12	10/08/16	10 a 15 de agosto (5 días)
13	02/09/16	2 a 9 de septiembre (7 días)
14	07/10/16	7 a 9 de octubre (2 días)
15	22/11/16	22 a 30 de noviembre (8 días)
16	21/12/16	21 a 31 de diciembre (9 días)

En la Figura 4 se presentan los mapas con los promedios de los enfriamientos de primavera-verano en la Bahía de La Paz. Para los días 1 de mayo, 10 y 24 de junio y 1 de julio. Cada fecha es el inicio del promedio de los enfriamientos. En el panel a) que corresponde al enfriamiento que inició el 1 de mayo se observa que gran parte de la Bahía de La Paz presentó valores de 22 a 23 °C, en ese día se observa una disminución en la temperatura que dura 4 días. En el panel b) que corresponde al enfriamiento que inició el 10 de junio se observa que las aguas al norte de la Bahía de La Paz presentan valores de 24 °C a 24.5 °C, mientras que al sur de la península se observan valores de 22 °C. En ese día se muestra una disminución de la temperatura que dura 5 días. En el panel c) se observa como la parte norte comienza a meterse una especie de lengüeta con valores de temperatura

de 25 a 25.5 °C, mientras que en la parte sur se sigue observando un enfriamiento. En lo que corresponde al panel d) 1 de julio se observa la presencia de agua con valores de 26 °C a 26.5 °C que invade la parte norte, mientras que en la parte sur se observan valores por debajo de los 25 °C, en ese día se presentó un enfriamiento que duró 9 días.

Las diferencias superficiales de tsm (Figura 5) para los mismos periodos donde se presentaron los enfriamientos (1 de mayo, 11 y 26 de junio y 1 de julio); se observa que en el panel a) que corresponde al 1 de mayo., Bahía de la paz presentó valores por encima del valor promedio calculado (-0.5 °C), posteriormente en el panel b) que corresponde al 11 de junio la porción sur registró valores por debajo del promedio. Asimismo en el panel c) 26 de junio el enfriamiento se observó por arriba del valor promedio a 0.5 °C; de igual manera el enfriamiento del 1 de julio exhibió valores por debajo del valor promedio, siendo el 10 de junio y el 1 de julio los días donde se hizo más evidente el enfriamiento, con una duración de 5 a 8 días.

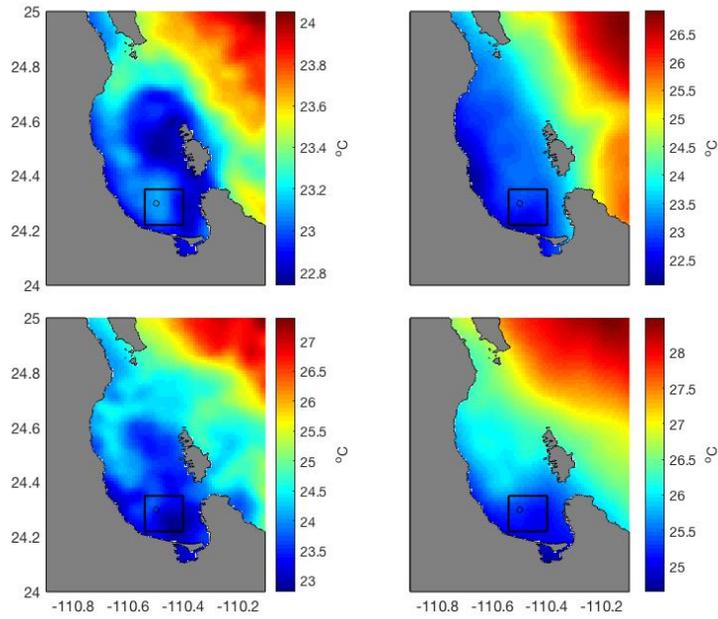


Figura 5. Imágenes satelitales de los promedios de temperatura superficial del mar para los enfriamientos de Bahía de La Paz. Panel a) corresponde del 1 al 5 de mayo, panel b) corresponde del 10 al 15 de junio, panel c) corresponde al 26 de junio y panel d) corresponde del 1 al 9 de julio de 2016. Datos del programa ghrsst.

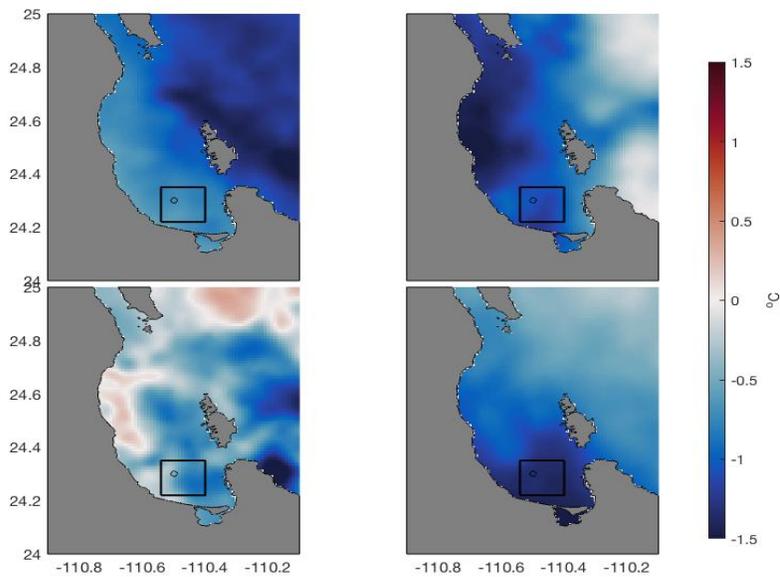


Figura 4. Imágenes del promedio de las diferencias de temperatura superficial del mar ( $1\text{km}^2$ ) de la Bahía de La Paz. Panel a) corresponde del 1 al 5 de mayo, panel b) corresponde del 10 al 15 de junio, panel c) corresponde al 24 de junio y panel d) corresponde del 1 al 9 de julio de 2016. Fuente: datos del programa ghrsst.

## 5.2 Distribución de la clorofila satelital.

Se muestra la serie de tiempo de clorofila-a superficial y la distribución de su diferencia de enero a diciembre de 2016 (

Figura 6). La serie de tiempo de clorofila-a durante todo el año presentó variaciones de de  $0.5 \text{ mg m}^{-3}$  a  $2.5 \text{ mg m}^{-3}$ . De acuerdo al criterio para evaluar la respuesta de la clorofila-a ante un enfriamiento la distribución de las diferencias registraron 21 respuestas positivas (

Figura 6), cada una con una duración de entre 1 y 5 días (**Error! Reference source not found.**). Durante el periodo de estudio, que abarcó de abril- agosto de 2016, la distribución de las diferencias mostró 4 respuestas positivas (iniciando los días 30 de mayo, 11 y 26 de junio y 5 de julio), con una duración de entre 1 y 5 días. Considerando sólo los eventos ocurridos a finales de primavera se contabilizaron 3 respuestas positivas (11 y 26 de junio con valores incrementándose de  $1.3 \text{ mg m}^{-3}$  a  $2.5 \text{ mg m}^{-3}$  y 5 de julio con valores que aumentaron  $1.1 \text{ mg m}^{-3}$  ), con una duración de entre 1 y 5 días.

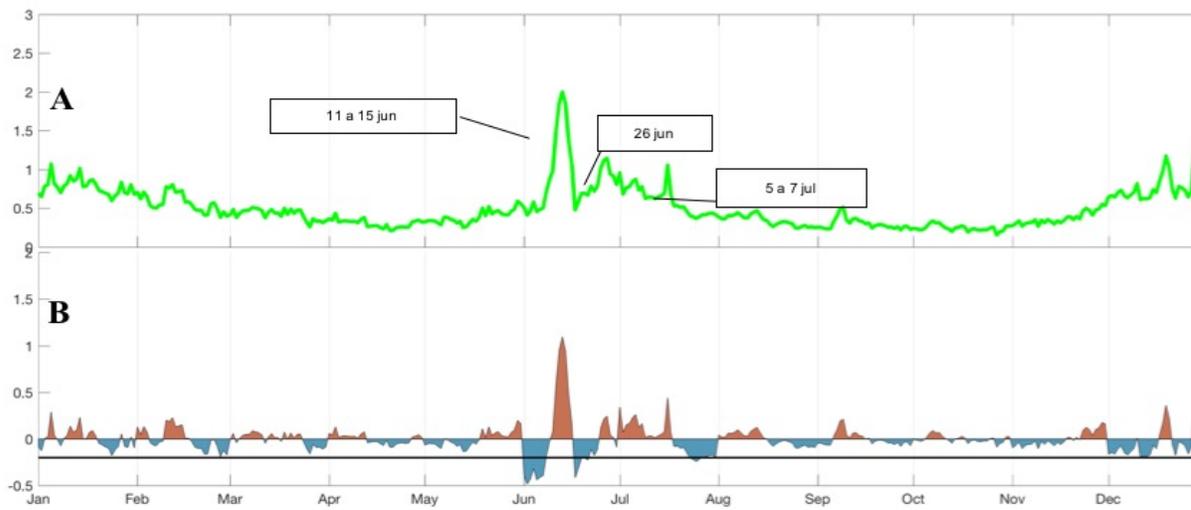


Figura 6. Panel a) Serie de tiempo de la variable clorofila-a superficial del mar para el periodo de 2016. panel b) serie de tiempo de la anomalía del año 2016. Datos del programa Copernicus

Tabla 2. Fecha y duración de la respuesta de la clorofila-a ante los enfriamientos.

05/01/16	1 día
14/01/16	1 día
10/02/16	1 día
12/02/16	1 día
30/05/16	1 día
11/06/16	11 a 15 de junio(4 días)
26/06/16	1 día
05/07/16	5 a 7 de julio (2 días)
16/07/16	1 día
09/09/16	1 día
19/12/16	1 día
28/12/16	1 día

En la Figura 7 se presentan imágenes de clorofila-a de la zona de interés con una resolución de 4km<sup>2</sup> obtenidas del programa Copernicus para los días 30 de mayo, 11 y 26 de junio y 5 de julio que corresponden a las fechas en la cual la clorofila-a presentó una respuesta ante el enfriamiento. En el panel a) que corresponde al 30 de mayo, la respuesta de la clorofila-a ante el enfriamiento presentó valores de 0.3 mg m<sup>-3</sup>. En el panel b) que corresponde al 11 de junio se observaron valores de 1 a 3 mg m<sup>-3</sup> de clorofila-a en toda la Bahía de La Paz, siendo la porción sur la que presentó el valor más alto de clorofila-a (2.5 mg m<sup>-3</sup>). En el panel c) que corresponde al 26 de junio, se observan valores de 1 a 2 mg m<sup>-3</sup> de clorofila-a. En el panel d) 5 de julio, se encontraron valores bajos de clorofila-a distribuidos en la mayor parte de la bahía de igual manera en la concentración de clorofila-a de entre 0.5 y de 1 mg m<sup>-3</sup> y que duró 2 días.

Las diferencias superficiales de la respuesta de la clorofila-a ante los enfriamientos anteriormente descritos para los días (30 de mayo, 11 y 26 de junio y 5

de julio ) se muestran en la Figura 8. En el panel a ) que corresponde al 30 de mayo, se observa una respuesta baja de la clorofila-*a* ante el enfriamiento descrito con anterioridad, en contraste, el panel b) que corresponde al 11 de junio, exhibe valores por encima del valor promedio ( $0.2 \text{ mg m}^{-3}$ ) ante el enfriamiento, notándose que la respuesta de la clorofila-*a* se hace presente en la mayor parte de la bahía pero, siendo la parte sur la que registró valores altos por encima del valor promedio. De igual manera en el panel c) correspondiente al 26 de junio la respuesta de la clorofila-*a* ante dicho enfriamiento presentó valores por debajo del promedio; mientras que la porción sur estuvo entre el valor promedio. Finalmente en el panel d) que corresponde al 5 de julio la respuesta de la clorofila-*a* se encontró por debajo respecto al valor promedio abarcando la parte norte así como la parte sur de Bahía de La Paz.

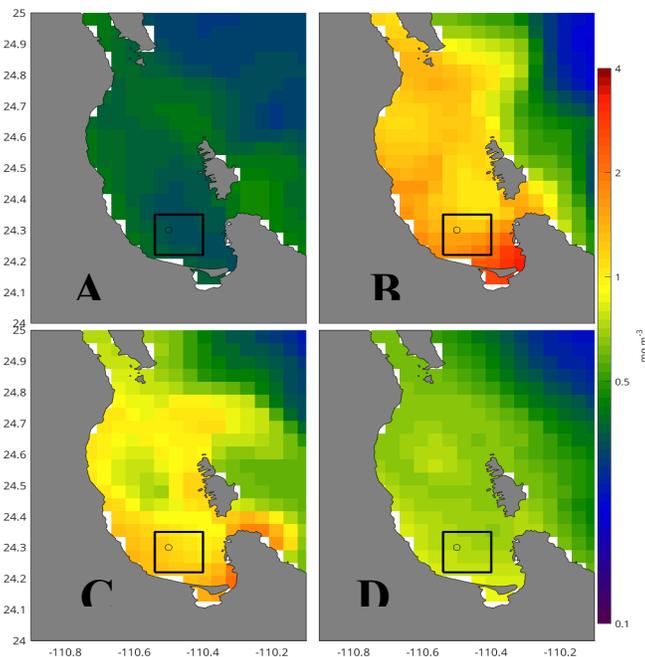


Figura 7. Imágenes satelitales de los promedios clorofila superficial ante la respuesta de los enfriamientos de Bahía de La Paz. Panel a) corresponde al 30 de mayo, panel b) corresponde del 11 al 15 de junio, panel c) corresponde al 26 de junio y panel d) corresponde del 5 al 7 de julio de 2016. Datos del programa Copernicus.

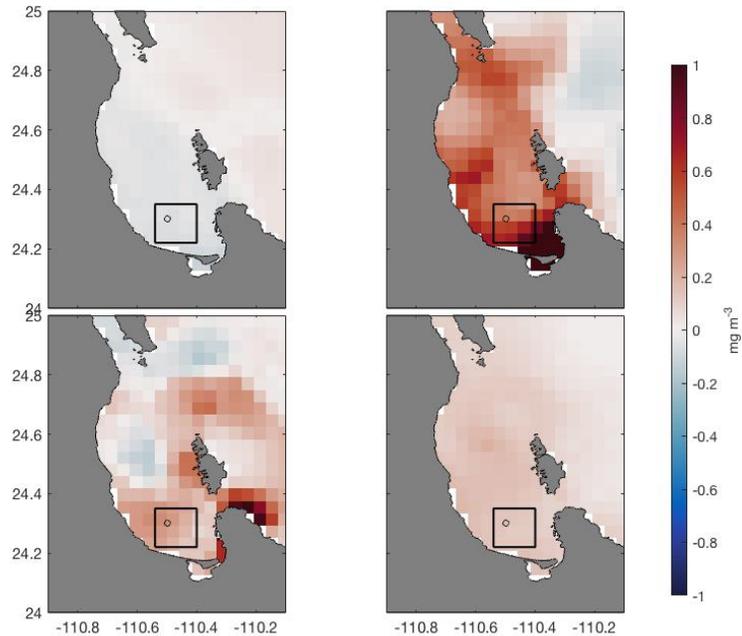


Figura 8. Imágenes de diferencias en mapa de clorofila superficial de Bahía de La Paz. Panel a) corresponde al 30 de mayo, panel b) corresponde del 11 al 15 de junio, panel c) corresponde al 26 de junio y panel d) corresponde del 5 al 7 de julio de 2016. fuente: programa Copernicus con resolución de  $4 \text{ km}^2$

## 6. Vientos.

La variación general en intensidad y dirección del viento según los datos de reanálisis durante el año 2016 se aprecia en la Figura 9. Durante el periodo de enero a abril y octubre a diciembre, los vientos que predominaron fueron del norte y del nor-noroeste. La intensidad máxima registrada del periodo fue de  $7 \text{ m s}^{-1}$  con dirección del noroeste. Posteriormente, durante los meses que van de mayo a octubre, se observó que los vientos predominaron del sur, con una intensidad máxima de alrededor de  $3 \text{ m s}^{-1}$ . Se debe señalar, que en cuanto a la dirección de los vientos los más persistentes fueron del sursuroeste con valores de  $2 \text{ m s}^{-1}$ . En este mismo sentido no fue suficiente conocer que los vientos fuesen predominantes del sur ya que éstos no explicaban que originaba los enfriamientos. Por tal motivo se llevó a cabo un análisis con los datos diarios obtenidos de la red mareográfica del CICESE desde su sitio web en <http://redmar.cicese.mx> que incluye la estación meteorológica costera de La Paz (circulo rojo figura 1). Se

encontró que en las fechas donde ocurrían los enfriamientos 10, 24 de junio y 1 de julio, la región sur presentó vientos predominantes del sur, y de acuerdo al cálculo del número de rachas, se obtuvo que en fechas previas que va de 6 días antes el 10 de junio, 5 días antes el 24 de junio y un día antes el 1 de julio, el número de rachas presenta variaciones que van en aumento. (Tabla).

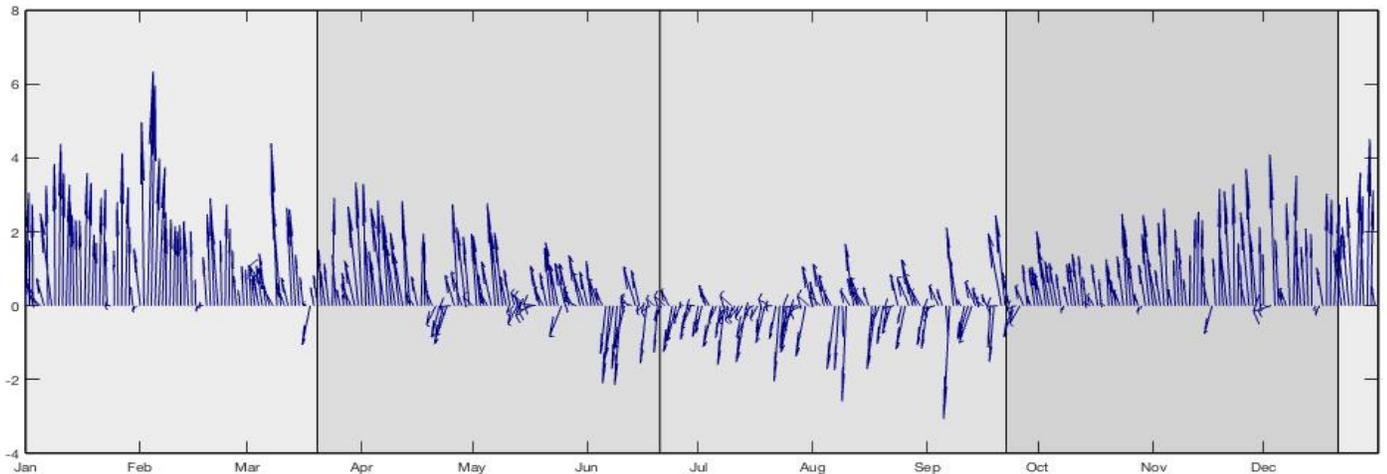


Figura 9. Registro de datos diarios de 2016 en la dirección y magnitud del viento de la NOAA con resolución de 32 x 32 km. Fuente: <http://www.esrl.noaa.gov/psd>.

Tabla 3. Numero de rachas calculadas previas a los enfriamientos para la región sur de la Bahía de La Paz. (fechas azules representan los enfriamientos) Cada racha equivale a un minuto.

	<i>Enfriamiento 1</i>		<i>Enfriamiento 2</i>		<i>Enfriamiento 3</i>	
	<b>Número de rachas</b>	<b>Fecha</b>	<b>Número de rachas</b>	<b>Fecha</b>	<b>Número de rachas</b>	
<i>20160604</i>	225					
<b>20160605</b>	19	20160619	186			
<b>20160606</b>	167	20160620	98			
<b>20160607</b>	188	20160621	90			
<b>20160608</b>	141	20160622	8			
<b>20160609</b>	242	20160623	24			
<b>20160610</b>	244	20160624	107	20160701	26	

## 7. Diagrama de T-S

El diagrama T-s muestra la presencia de 3 masas de agua al sur de Bahía de La Paz (Figura 10), de acuerdo a la clasificación realizada por Torres-Orozco (1993). (Tabla 4)

Tabla 4. Características de las masas de agua de Bahía de La Paz (Torres Orozco, 1993)

<i>Masa de agua</i>	<i>Abr.</i>	<i>salinidad (ups)</i>	<i>temperatura()</i>
<i>A. Del Golfo de California</i>	AGC	$S \geq 35.0$	$T \geq 12$
<i>A. Superficial Ecuatorial</i>	ASE	$S < 35.0$	$T \geq 18$
<i>A. de la Corriente de California</i>	ACC	$S < 34.5$	$12 \leq T \leq 18$
<i>A. Subsuperficial Subtropical</i>	ASsSt	$34.5 \leq S \leq 35.0$	$9 \leq T \leq 18$

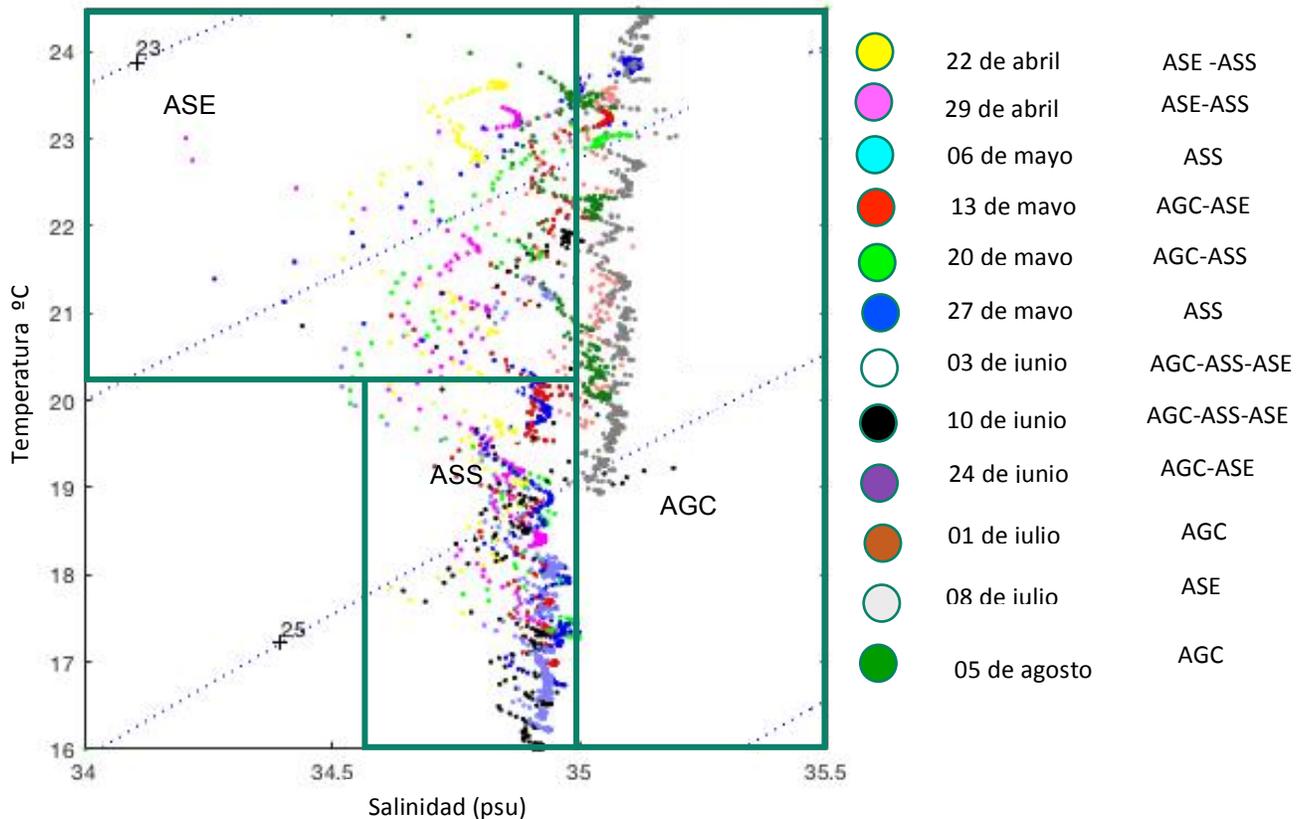


Figura 10. Diagrama de t-s de las masas de agua de Bahía de La Paz. Los círculos de colores representan las fechas de muestreo en abril-agosto de 2016. Datos de CTD.

### 7.1 Distribución de la temperatura en la columna de agua

En este apartado se muestra la distribución vertical de la temperatura obtenida por medio del CTD en el periodo 22 de abril al 5 de agosto de 2016 (Figura 11). Se observó un afloramiento de agua fría evidenciado por un domo que corresponde a la elevación de la termoclina (desde 35 m profundidad) y consecuentemente la capa de mezcla desaparece (~10 m profundidad) desde el 10 de junio al 1 de julio. Durante el periodo de afloramiento se observó la mayor diferencia térmica entre la superficie y fondo (7-9° C). Por el contrario, la capa de mezcla se observa a mayor profundidad en fechas previas al evento de afloramiento (~45 m) y fechas posteriores, siendo incluso observada a mayor profundidad (~57 m profundidad). Esto mismo es observado en los perfiles

verticales de la temperatura, con una termoclina bien marcada durante el periodo de afloramiento (Figs. 12g, h, i), y una capa de mezcla estratificada previa y posterior al enfriamiento (Fig. 12)

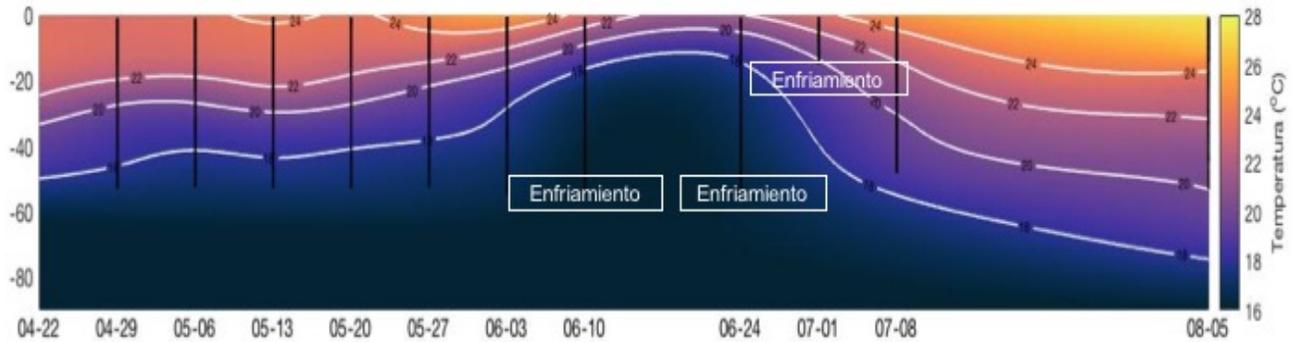


Figura 11. Distribución vertical de la temperatura en la columna de agua, de la estación de muestreo en Bahía de La Paz en abril- agosto de 2016. Los recuadros blancos señalan las fechas de los enfriamientos registrados.

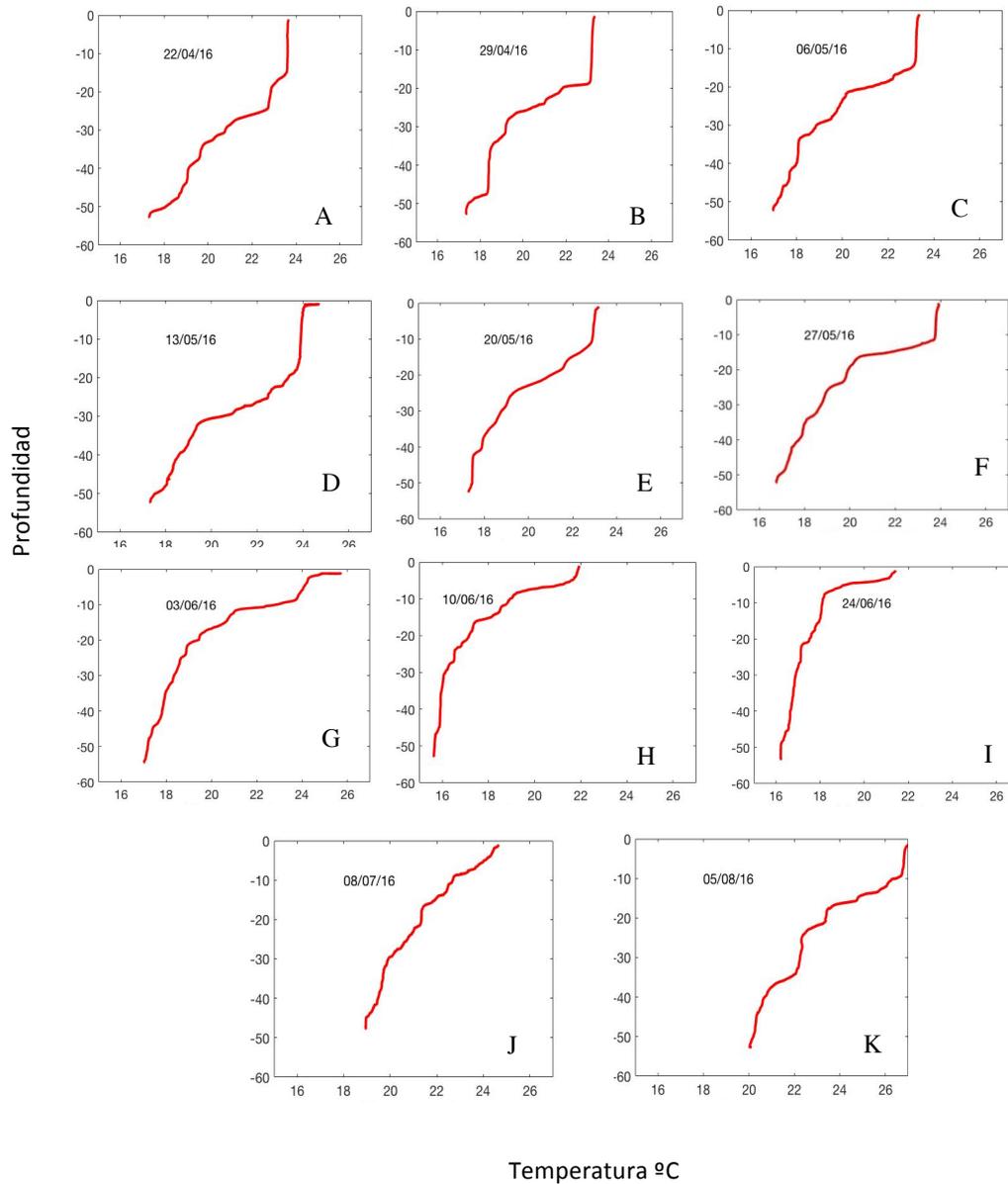


Figura 12. . Perfiles verticales de temperatura para el periodo abril-agosto de 2016. Los paneles a, b, c, d, e, f, g, h, i, j y k corresponden a los días 22, 29 de abril, 6, 13, 20, 27 de mayo, 3, 10 y 24 de junio, 1, 8 de julio y 5 de agosto.

## 7.2 Distribución del oxígeno disuelto en la columna de agua

En este apartado se muestra la distribución vertical del oxígeno disuelto obtenida por un sensor acoplado al CTD (Figura 13). Se observó un afloramiento de la oxiclina (desde los 35 m profundidad) y consecuentemente una capa de mezcla delgada y somera (~10 m profundidad) desde 10 de junio al 1 de julio. Durante este afloramiento también se observó la mayor diferencia de la variación de oxígeno disuelto entre la superficie y fondo (4.6 y 1 ml l<sup>-1</sup>). Por el contrario, la capa de mezcla se presenta a mayor profundidad en fechas previas y posteriores (~45 m). De esta misma manera se observa en los perfiles verticales de oxígeno disuelto, una oxiclina bien definida durante el periodo de afloramiento (Figs.14 g, h, i) y una capa de mezcla estratificada previa y posterior al enfriamiento.

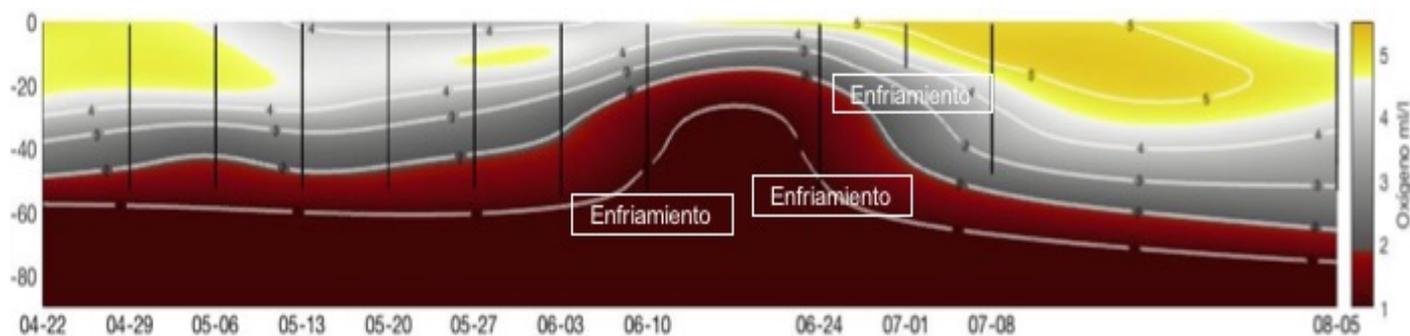


Figura 13. Distribución vertical del oxígeno disuelto en la columna de agua, de la estación de muestreo en Bahía de La Paz en abril- agosto de 2016. Los recuadros blancos señalan las fechas de los enfriamientos registrados.

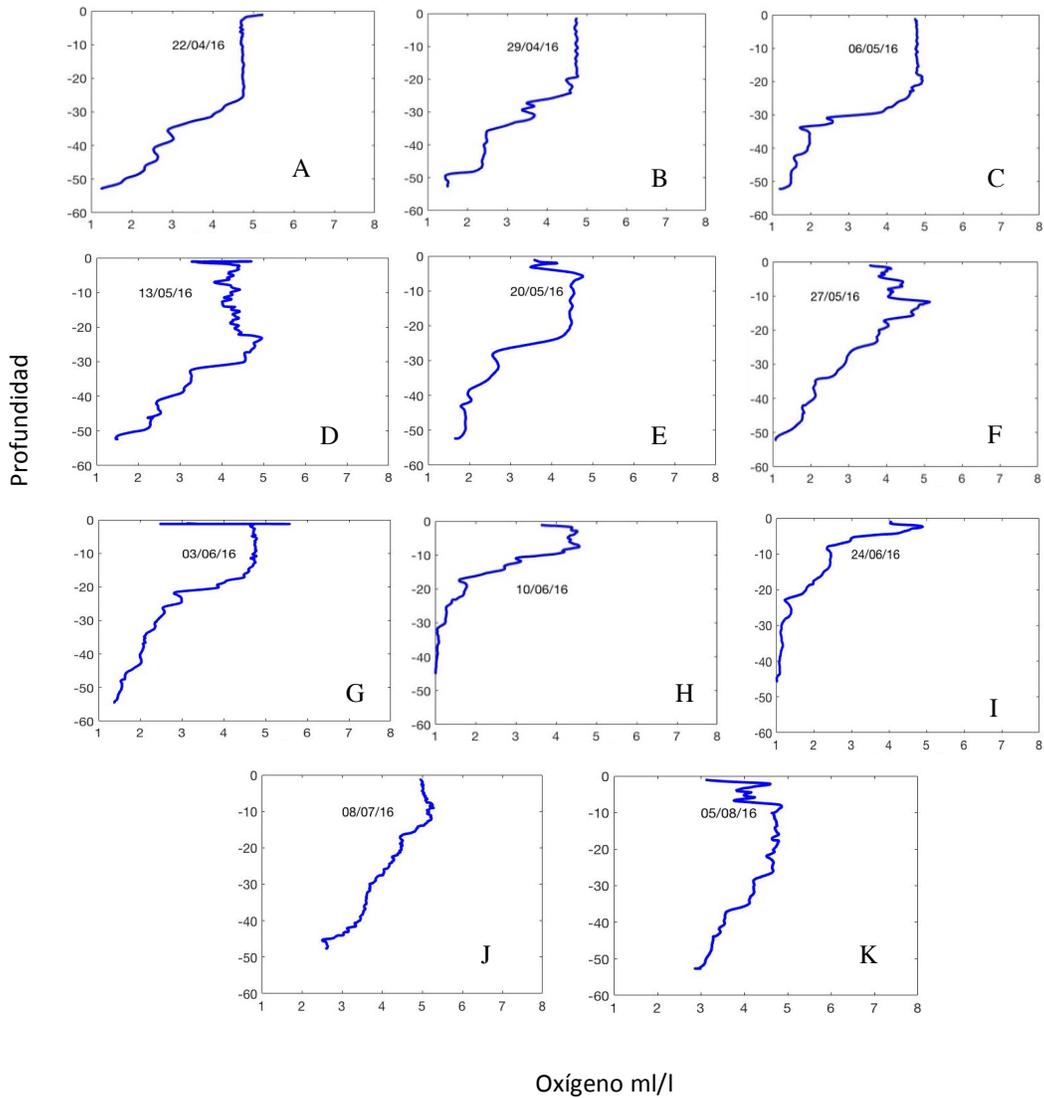


Figura 14. Perfiles verticales de oxígeno para el periodo abril-agosto de 2016. Los paneles a, b, c, d, e, f, g, h, i, j y k corresponden a los días 22, 29 de abril, 6, 13, 20, 27 de mayo, 3, 10 y 24 de junio, 1, 8 de julio y 5 de agosto.

### 7.3 Distribución de la fluorescencia.

En el siguiente apartado se muestra la distribución vertical de la fluorescencia obtenida por un sensor acoplado al CTD en el periodo 22 de abril al 5 de agosto de 2016 (Figura 15). Se observó un afloramiento evidenciado por concentraciones máximas subsuperficiales (desde 35 m profundidad) mismo donde se ha venido presentando la elevación de la termoclina y

consecuentemente se vuelve a presentar una capa de mezcla (~10 m profundidad) desde 10 de junio al 1 de julio. Durante el periodo de afloramiento se observó la mayor diferencia de la fluorescencia entre la superficie y fondo (~08 mg m<sup>-3</sup>). Por el contrario, en fechas previas al evento de afloramiento la capa de mezcla se observa a mayor profundidad (~45 m) con valores subsuperficiales de la fluorescencia de 0.1 mg m<sup>-3</sup> y fechas posteriores, siendo incluso observada a mayor profundidad (~57 m profundidad) con valores de fluorescencia de superficie y fondo (~0.08 y 0.1 mg m<sup>-3</sup>). Esto mismo es observado en los perfiles verticales de fluorescencia, presentando valores subsuperficiales previos y posteriores al evento de afloramiento (Figs.16 g,h,i).

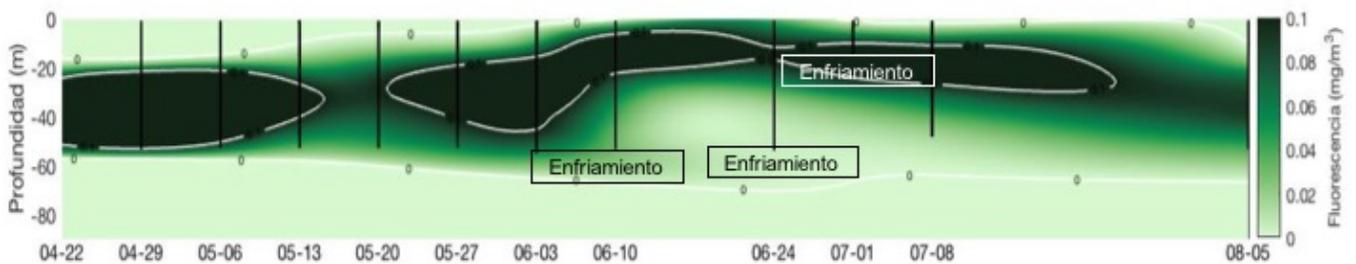


Figura 15. Distribución vertical de la fluorescencia en la columna de agua, de la estación de muestreo en Bahía de La Paz en abril- agosto de 2016. Los recuadros blancos señalan las fechas de los enfriamientos registrados.

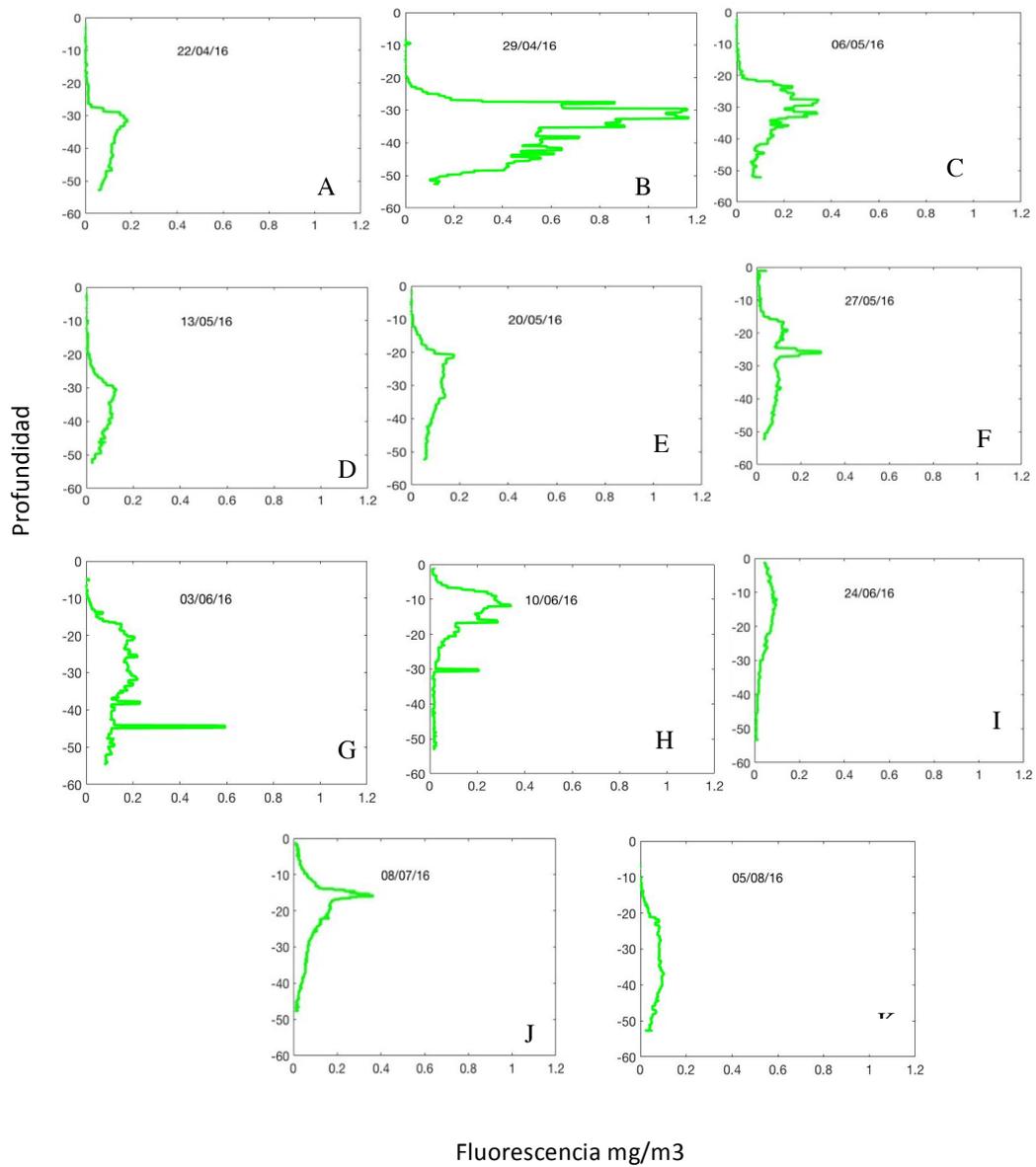


Figura 16. Perfiles verticales de fluorescencia para el periodo abril-agosto de 2016. Los paneles a, b, c, d, e, f, g, h, i, j y k corresponden a los días 22, 29 de abril, 6, 13, 20, 27 de mayo, 3, 10 y 24 de junio, 1, 8 de julio y 5 de agosto.

## 7.4 Perfiles verticales de clorofila-a y sus valores integrados

En la Figura 17 se muestran los perfiles verticales de clorofila en la columna de agua y los resultados de sus integrales estimadas a partir del modelo Gaussiano. Se observó que la profundidad del máximo de clorofila-a fue a los 40m con un valor de  $5.39 \text{ mg m}^{-3}$  en abril, mientras que junio se presentó un máximo a los 15 m con un valor de  $1.3 \text{ mg m}^{-3}$  por arriba de los 15 m. De acuerdo con los valores de las integrales, estas presentaron una amplia variación con un máximo de  $104.05 \text{ mg m}^{-2}$  el 29 de abril y un mínimo de  $19.24 \text{ mg m}^{-2}$  y  $19.80 \text{ mg m}^{-2}$  el 20 de mayo y 10 de junio. No se presentó una tendencia en la distribución, ya que los valores variaron de una semana a otra y no se pudo decir que estas condiciones sean totalmente de primavera. Se observa que abril es más productivo que el mes de junio (Figura 18).

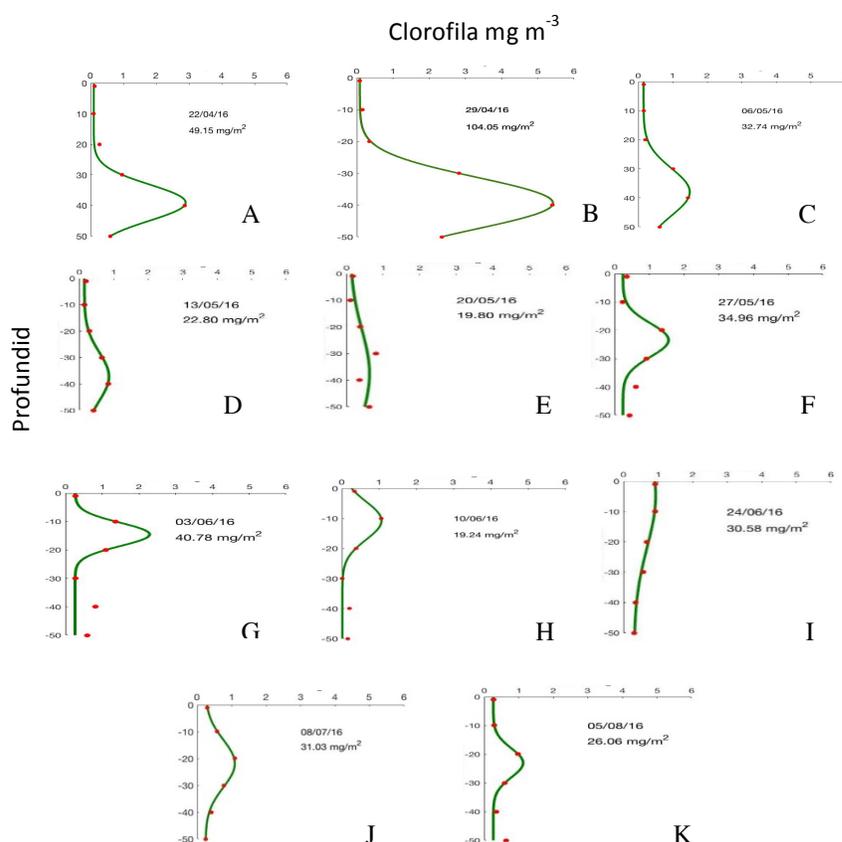


Figura 17. Perfiles verticales de clorofila y sus valores de integrales para el periodo abril-agosto de 2016. Los paneles a, b, c, d, e, f, g, h, i, j y k corresponden a los días 22, 20 de abril, 6, 13, 20, 27 de mayo, 3, 10 y 24 de junio, 1, 8 de julio y 5 de agosto, respectivamente.

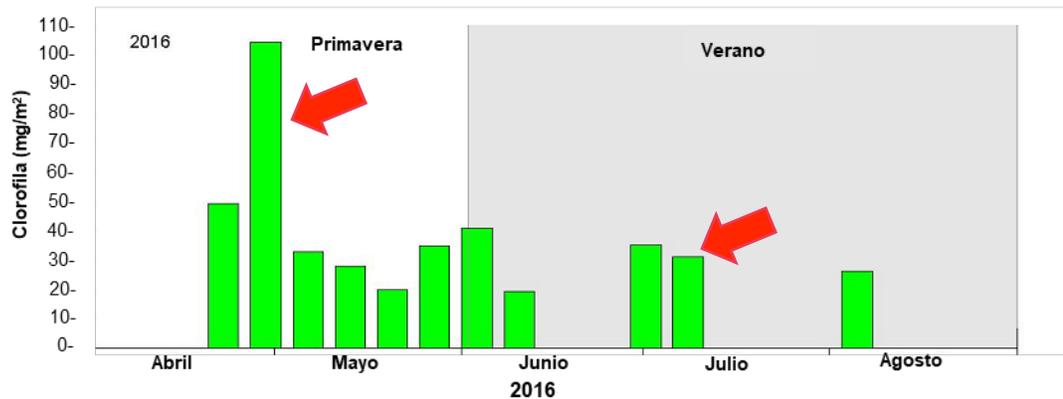


Figura 18. clorofila integrada de abril-agosto de 2016.

## 8. Nutrientes

### 8.1 Nitratos

Se encontraron dos periodos de concentraciones diferentes el primero que comprende de abril-mayo y el segundo junio-julio. El primer periodo presentó concentraciones bajas que van de  $0.2 \mu\text{M}$  en la capa superficial y las cuales se van incrementando con la profundidad hasta alcanzar su valor máximo de  $26.47 \mu\text{M}$  por debajo de los 40 m (Figura 19). El segundo periodo muestra una distribución vertical homogénea presentando un valor máximo e  $33 \mu\text{M}$  en toda la columna de agua.

### 8.2 Nitritos

Se muestra la distribución de nitritos en la columna de agua, la cual fue muy parecida a los nitratos, presentando bajas concentraciones en abril- mayo que van de  $0.38 \mu\text{M}$  en la capa superficial y las cuales se van incrementando con la profundidad hasta alcanzar su valor máximo de  $0.93 \mu\text{M}$  por debajo de los 40 m. Posteriormente, en junio-julio se observó una distribución homogénea con un valor máximo de  $1.15 \mu\text{M}$  de superficie a fondo (Figura 19).

### 8.3 Fosfatos

La distribución vertical de los fosfatos durante abril–mayo presentó una distribución homogénea con valores bajos que van de 0.1  $\mu\text{M}$  de superficie a fondo (Figura 19), mientras que en junio-julio se presentó una distribución vertical moderadamente estratificada con valores bajos en superficie de 3.30  $\mu\text{M}$ , los cuales se van incrementando con la profundidad hasta alcanzar su valor máximo de 4.5  $\mu\text{M}$  por debajo de los 40 m.

### 8.4 Silicatos

Los silicatos presentaron una distribución vertical moderada con bajas concentraciones en abril- mayo que van de 8.01  $\mu\text{M}$  en la superficie aumentando con la profundidad hasta alcanzar su valor máximo de 74.24  $\mu\text{M}$  después de los 40 m (Figura 19). Posteriormente, junio-julio la distribución vertical presenta un perfil típico de nutrientes con valores bajos en superficie de 23.34  $\mu\text{M}$  y máximos de 68.83  $\mu\text{M}$  por debajo de los 30 m.

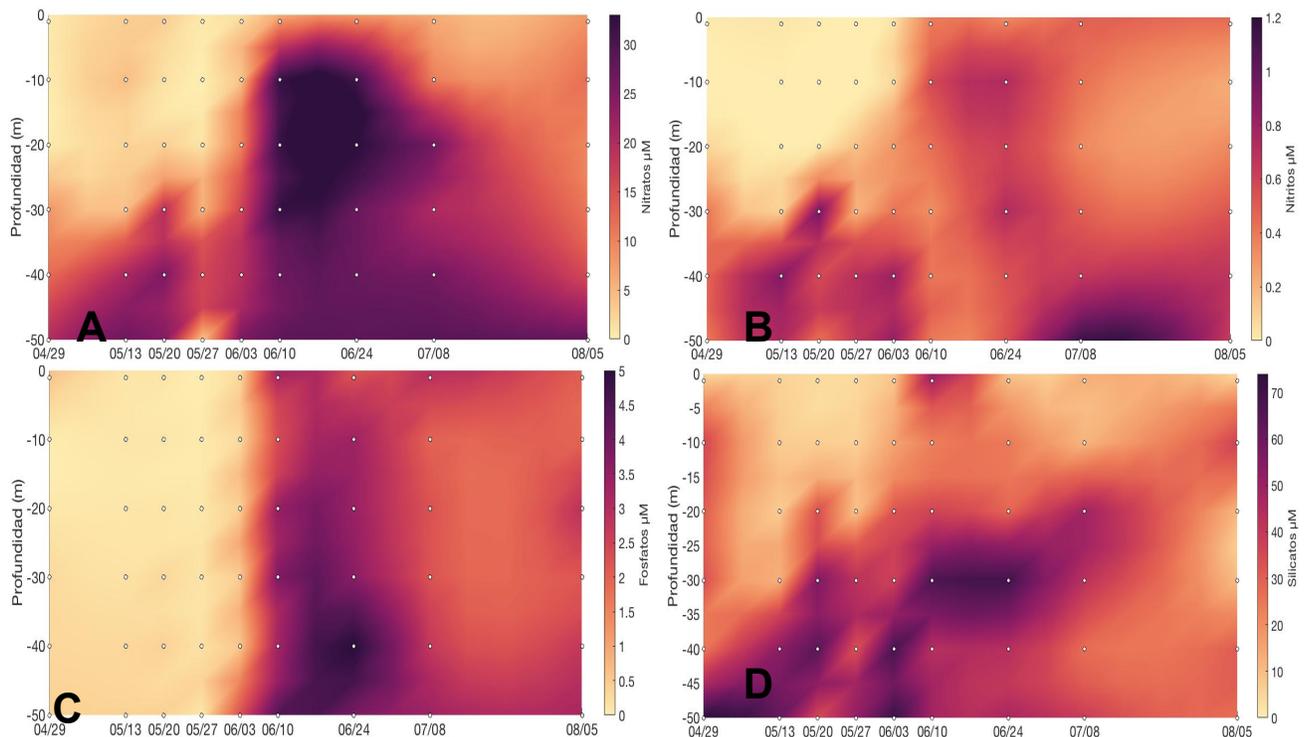


Figura 19. Distribución vertical de las concentraciones de panel a) nitratos, panel b) nitritos, panel c) fosfatos, y panel d) silicatos en la columna de agua, de la estación de muestreo en Bahía de La Paz en abril- agosto de

## 9. Discusión

9.1 Variación de la temperatura superficial del mar y de la clorofila-a a partir de datos satelitales.

Diversos autores reportan que los procesos de fertilización en la zona fótica en la Bahía de La Paz, están relacionados con la existencia de giros ciclónicos en la parte central de la bahía, que a su vez pudieran concentrar las comunidades planctónicas durante el invierno y principios primavera (Jiménez-Illescas, 1996; De Silva-Dávila y Palomares-García, 1997). Estos procesos ocasiona también la inyección de nutrientes que son transportados desde la parte norte y profunda de la bahía, hacia la parte central (Beier, 1997; Martínez-López et al., 2012 ). Asimismo, la circulación ciclónica es considerada como el principal promotor del incremento en la clorofila, que mantiene apilada la mayor concentración en las costas de la bahía y al este de Isla Espíritu Santo (Pérez-Lama, 2005) y hacia al norte, en los alrededores de Cuenca Alfonso (Coria-Monter et al., 2014). Sin embargo los resultados de este trabajo indican que al menos existe otro proceso de enriquecimiento asociado con el viento.

Existió una alta correlación entre los periodos de rachas de viento, enfriamiento y la respuesta del incremento de la clorofila de abril a agosto ( $r = -0.80$ ). La respuesta de los descensos de temperatura a las rachas de viento puede ser entre 1 a 6 días. Posterior a esto, en todos los casos, la respuesta de la clorofila fue posterior al evento de enfriamiento y ésta puede variar entre 2 a 4 días (tabla 2, Figura 20). En la figura 20 se muestra que el mayor numero de rachas coincide con las fechas de los enfriamientos. Por ejemplo el enfriamiento del 10 y 24 de junio. Esto a su vez se reflejo en la estructura de la columna de agua. Ya que en las fechas de rachas y enfriamientos la capa de mezcla se hizo mas ancha y abarcó desde la superficie hasta el fondo, inyectando nutrientes en toda la zona fótica (Figura 19). El resultado de este proceso fue el aumento de la clorofila (Figura 6). Este proceso de enriquecimiento no había sido reportado para esta zona.

Adicionalmente otros autores sugieren otros procesos como el efecto de isla que crea condiciones óptimas para el florecimiento del fitoplancton (mareas rojas)

entre Islas Cerralvo y San José (Gárate-Lizárraga, 1997; Martínez-López, 2001). Sin embargo este no es el caso para la región sur de la bahía de La Paz.

El proceso de rachas y enfriamiento, sugiere una respuesta de los eventos tipo surgencias, debido al estrés del viento y el bombeo de Ekman que ocasiona el enfriamiento al sur de Bahía de La Paz durante en junio, como lo reportan (Turrent y Gómez-Valdivia, 2014), similar a lo observado en la elevación de las isothermas durante los periodos de enfriamiento en este estudio, como el promotor de la fertilización en los eventos al sur de la bahía en primavera-verano.

Estos vientos han sido reportados por otros autores y son los denominados Coromueles, hay que hacer notar que es necesario que éstos tengan la persistencia y velocidad adecuada por un periodo de varios días. Por ejemplo los días, 16 y 17 de mayo. Se presentaron 385 y 372 rachas, pero no tuvieron una respuesta de la clorofila ya que de los 75 eventos de enfriamiento reportados, 18 de ellos no presentaron aumento de clorofila.

Es importante señalar que para poder determinar el conteo de rachas se requiere de información intra diaria de alta frecuencia como la que proporciono la estación meteorológica de la red mareográfica del CICESE.

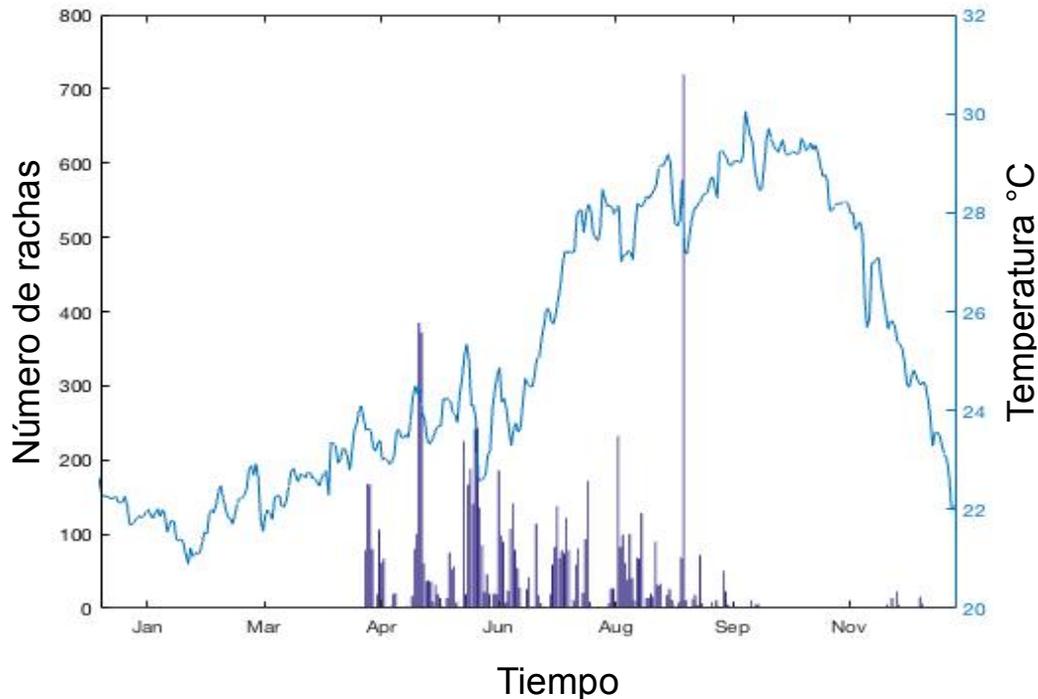


Figura 20. Serie de tiempo de a Tsm para todo el 2016(línea azul), y rachas calculadas provenientes del sur (barras moradas) para todo el 2016.

## 9.2. Estructura termohalina y química de la columna de agua.

La distribución vertical de la temperatura presentó una marcada evolución en la termoclina, la cual evidenció un periodo frío de abril a principios de junio y el cálido desde mediados de junio hasta agosto. Más allá de ser dos periodos con características térmicas diferentes, la columna de agua presentó diferencias temporales, en la variación del incremento de nutrientes y la clorofila como un proxy de la biomasa fitoplanctónica.

Durante el periodo frío los vientos dominantes del noroeste ( $>5 \text{ m s}^{-1}$ ) originaron una mayor mezcla de la columna de agua a menor profundidad, y una evolución de una termoclina somera hasta su desaparición. Por el lado contrario, durante el periodo cálido con la inversión del viento proveniente del sur, los vientos son débiles y persistentes ( $3 \text{ m s}^{-1}$ ) y la columna de agua es estratificada, y por consecuencia una termoclina más profunda. En consistencia, durante la primavera-verano ocurre una capa de mezcla profunda, como producto de vientos débiles y frecuentes calmas (Obeso-Nieblas *et al.*, 2008). Esto mismo fue confirmado por los

datos registrado por el arreglo de termistores (Figura 21). Esta condición permanece hasta que las rachas se hacen presentes, modificando la columna de agua y creando las condiciones descritas anteriormente para crear ambientes de enriquecimiento y alto crecimiento fitoplanctónico en primavera-verano.

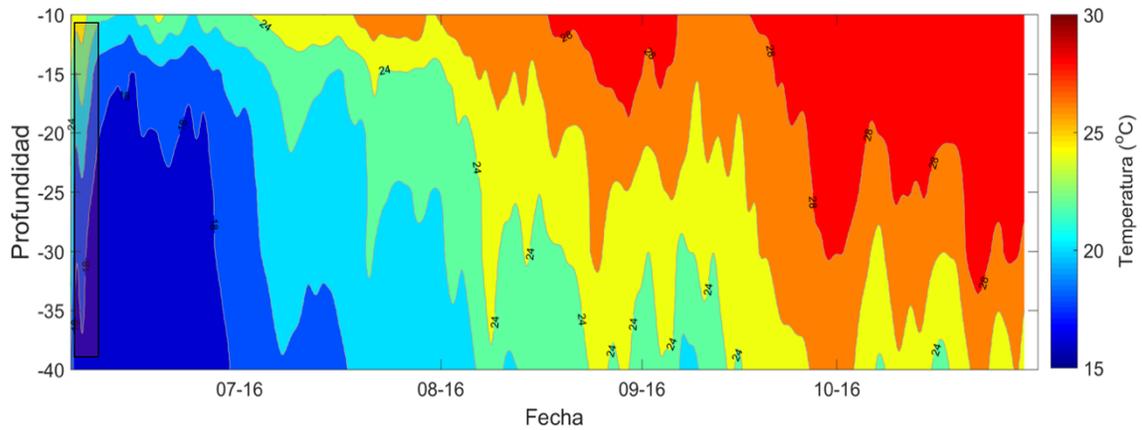


Figura 21. Diagrama Hovmoller generado a partir de datos de sensores de temperatura instalados en la columna de agua para el 2016.la franja roja al inicio de junio representa el punto donde la isoterma de los 18 comienza a ascender.

#### 9.4 Clorofila-a

Durante la temporada fría ocurre la eutrofización, debido al aporte de nitratos de aguas subsuperficiales que permite la proliferación de diatomeas (principalmente) y que pueden ser las responsables del incremento en los valores de fluorescencia y clorofila-a (Martínez-López *et al.*, 2001). De igual forma que es observado en los valores de los perfiles de clorofila integrada que es hasta 5.5 veces mayor durante el periodo frío, con respecto del cálido. No obstante, el máximo de fluorescencia y clorofila por lo general fue observado por debajo de la termoclina (~25 m profundidad), aunque las concentraciones de nutrientes disminuyen en ese punto. Lo cual fue consistente con otros estudios donde máximo de clorofila es asociado a la termoclina, como consecuencia de una menor irradiación solar durante la primavera, pero la influencia del viento incide sobre la región y consecuentemente se produce una mezcla y una menor penetración de luz (Varela *et al.*, 1992).

Por el contrario durante el periodo cálido, los valores de clorofila-a, nutrientes, y la productividad primaria, son menores. Durante este periodo, ocurre una mayor irradiación solar y calentamiento de la superficie, que induce a una fuerte estratificación de la columna de agua, lo cual limita el flujo de nutrientes (Caballero-García *et al.*, 2013), relacionado con la disminución de los valores de clorofila que son atribuidos a una fuerte estratificación (Martínez-López *et al.*, 2001). A pesar de estas características que indican una escasa eutrofización durante el periodo cálido, ocurren eventos de enfriamiento que son producidos por los vientos provenientes del sur, que inducen un rompimiento de la termoclina, un relativo incremento de los nutrientes y un máximo de clorofila más somero, que es la consecuencia de que los nutrientes abarcan la zona fótica, donde pueden ser aprovechados por el fitoplancton en toda la columna de agua.

#### 9.5 Nutrientes

Dentro de la estructura vertical la respuesta de los nutrientes presentó una relación inversa entre al inicio y al final del periodo de muestreo. Se registró una capa de mezcla profunda y un máximo de clorofila integrada tres veces mayor en abril, registrándose concentraciones relativamente bajas de nutrientes. En este mismo

sentido de acuerdo a lo antes mencionado que la termoclina y el máximo de clorofila están asociadas se hubiese esperado que la concentración de nutrientes fuese alta; se asume que alguna especie de fitoplancton proliferó y que al momento de obtener dicho registro los nutrientes ya habían sido consumidos. Por el lado contrario en el periodo cálido los días 10 y 24 de junio, y 1 de julio la concentración de nutrientes fue mucho mayor, los cuales se encontraron distribuidos a lo largo de toda la columna de agua de manera homogénea, es decir, cuando las condiciones de estratificación desaparece, se presenta una homogenización de nutrientes quedando uniformemente distribuidos en toda la columna de agua (Verdugo-Díaz, 2004), este caso la relacionamos con el efecto del viento. Nuestros datos indican que este efecto ocasiona un incremento de los nutrientes, por ejemplo el 10 de junio alcanzando un máximo de hasta 33  $\mu\text{M}$ . Se observó un coeficiente de correlación positivo ( $r=0.7$ ) de los decrementos de la tsm y los máximos de nitratos para las fechas de los enfriamientos. Dicho lo anterior es importante puntualizar que cuando hay mezcla en la columna de agua ésta se puede volver una fuente que aporte nutrientes del fondo hacia las capas superficiales (Verdugo-Díaz, 2004). En este mismo contexto y como otra manera de entender lo sucedido, las altas concentraciones de nutrientes registradas se debe a que aun no han sido asimilados o a que existen células pequeñas como picoplancton que están presentes pero que sus requerimientos nutricionales son asimilados en menor concentración (Hakspie-Segural, 2014).

## 10. Conclusión

1-Hay un mecanismo que hasta ahora no había sido documentado y que favorece la productividad de bahía de La Paz en la porción sur y que tiene una relación con el viento.

2-Los procesos de rachas ocasionan elevación de las isotermas las cuales ocasionan fertilización al sur de la bahía en primavera- verano.

3-Los enfriamientos del 10 y 24 de junio registraron un efecto acumulativo del viento desde mayo, lo cual origino que la capa de mezcla se hiciera mas ancha y llegara a la superficie lo cual se reflejo en el incremento de los nutrientes. Se observó como previo a las fechas de los enfriamientos se registró una capa estratificada con valores bajo de nutrientes, mientras que posterior al enfriamiento se observaron valores altos; por ejemplo el 10 de junio con valores de 33  $\mu\text{M}$  registrados de manera homogénea a lo largo de toda la columna de agua.

3- Mediante el registro de datos satelitales se observó que la región sur de Bahía de La Paz presentó enfriamientos durante el año pero, no todos son productivos. Considerando los 3 eventos que ocurrieron a finales de primavera y principios de verano de entre 1 y 9 días. La consecuencia que ocasionan en la clorofila-*a* es: que los enfriamientos tuvieron una relación significativa e inversa ( $r=0.8$ ) con la clorofila.

4-Tenemos dos periodos productivos uno más productivo en abril y con menor concentración de nutrientes relativamente, que se deba a que hay mayor asimilación o diferentes requerimientos nutricionales. Los datos clorofila integrada *in situ* muestran que el 29 de abril es 5 veces más productivo que junio. Esto se debe a que en abril los pulsos de clorofila se encuentran a mayor profundidad, y que el aporte de aguas de mayor profundidad permite la proliferación de organismos, en especial del grupo de las diatomeas características de periodos fríos, las cuales puedan ser las responsables de ésta productividad.

5-Los resultados obtenidos sustentan la hipótesis que señala a la región sur de Bahía de La Paz; que ésta, es afectada favorablemente ante enfriamientos ocasionando incrementos en los nutrientes y variación en la columna de agua, exponiendo que el principal causante de que se manifiesten éstos enfriamientos, al sur de Bahía de La Paz, y cause estas variaciones a finales de primavera y principios de verano es: la intensidad y persistencia del viento que proviene del sur.

## 10.1 Bibliografía

Alvarez-Borrego, S. And J. R. Lara-Lara. 1991. The physical environment and primary productivity of the Gulf of California phytoplankton. *Continental shelf Research* 8(1):37-47.

Avilés-Agúndez, G. 2004. Productividad primaria estimada por fluorescencia natural durante otoño-invierno en la Bahía de La Paz, B. C. S., México Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. 69 p.

Baba, J., Petersen, C. D., and Schrader, H. J., 1991. Modern fine-grained sediments in the Gulf of California. *In*, The Gulf and Penninsular Province of the Californias, J. P. Dauphin & B. R.T. Simoneit (eds), AAPG Memoir 47, 569-587

Badan-Dangon, A., Koblinsky, C. J. and Baumgartner, T., 1985. Spring and summer in the Gulf of California: observations of surface thermal patterns. *Oceanologica Acta*, 8, 13-22.

Beier, E. 1997. A numerical investigation of the annual variability in the Gulf of California. *J. Phys. Oceanogr.*, 27:615-632

Bendschneider and Robinson (1952). En Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons, (1972). (Ed) A Practical Handbook of Seawater Analysis. Fisheries research board of Canada. Ottawa. 310 p.

Castro, R., A. S. Mascarenhas, R. Durazo & C. A. Collins. 2000. Variación estacional de la temperatura y salinidad en la entrada del Golfo de California, México. *Ciencias Marinas*, 26: 561–583.

Cervantes Duarte, R., Verdugo-Díaz, G. y Váldez-Holguín, J. E., 2005. Modelo estacional de producción primaria estimada mediante fluorescencia natural en una región costera del Golfo de California. *Hidrobiológica*, 15, 79-89.

Cruz-Orozco, R., C. Martínez-Noriega, y A. Mendoza-Maravillas, 1996. Batimetría y sedimentos de Bahía de La Paz, B.C.S., México. *Oceánides*, 11, 21-27

Douglas, M. W., Maddox, C. E. and Howard, K., 1993. The Mexican Monsoon. *J. of Climate*, 6, 1665-1377.

Cullen, J.J., X. Yang y H.L. McIntyre., 1992. Nutrient limitation and marine photosynthesis. En Falkowski, P.G. y A.D. Woodhead. *Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea*. Plenum Press, New York 68-88.

De Silva Dávila (1997). Abundancia y distribución de los eufásidos y producción larvaria de *Nyctiphanes simplex* Hansen, en La Bahía de La Paz, B.C.S., México. Tesis de Maestría. CICIMAR, La Paz, México. 112 pp.

Del Monte-Luna, P.1, F. Arreguín-Sánchez<sup>1</sup>, L. Godínez-Orta<sup>2</sup>, & C.A. López-Ferreira. Batimetría actualizada de la bahía de la apz baja california sur mexico *CICIMAR Oceánides*, 20(1,2):75-77 (2005)

Bernal, G.P. Ripa & J.C. Reguera (2001). Variabilidad oceanográfica y climática en el Bajo Golfo de California. Influencias del Trópico y Pacífico Norte. *Ciencias Marinas* 27(4): 5595-617.

De Silva Dávila, R. y J.R. Palomares García (2002). Distributional patterns of the euphausiid community in Bahía de La Paz, B.C.S., México. Tesis de Maestría. CICIMAR, La Paz, México 112pp.

Gaxiola-Castro G, Durazo R. 2010. Dinámica del ecosistema pelágico frente a Baja California, 1997–2007: Diez años de Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California. 504 pp.

Falkowski, G. P. And J. A. Raven. 1997. Aquatic photosynthesis. Blackwell Science. 375 pp.

GÁRATE-L, ZÁRRAGA, I. y A. MARTÍNEZ-LÓPEZ, 1997. Red tides of the protozoan *Mesodinium rubrum* (Lohmann) Kahl in Bahía de La Paz. Boletín No. 53, CICIMAR-IPN.

Gaxiola-Castro, G Y S. Alvarez-Borrego. 1984. Relación fotosíntesis- irradiancia en el fitoplancton de aguas costeras del noroeste de Baja California. Ciencias Marinas 10(3)-53-66 .

Hinojosa-Larios, J. A., 2007. Caracterización de los perfiles verticales de clorofila “a” en una bahía subtropical del Pacífico mexicano. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. La Paz, México.

Jefrey, S. W. and Humphrey. 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c1 and c2 in algal, phytoplankton and higher plants. Biochem. Physiol. Pflanz. B.P.P. 167:191-194,

Jiménez-Illescas, A. R., M. Obeso-Nieblas & M. A. Alatorre-Mendieta. 1994. Hidrología de la Bahía de La Paz. Oceanología. Unidad de Educación en Ciencia y Tecnología de Mar, 1: 115–131

Jiménez-Illescas, A., R.M. Obeso-Nieblas & D.A. Salas-De-León. 1997. Oceanografía física de la Bahía de La Paz, B.C.S. En: Urbán Ramírez, J. y M. Ramírez-Rodríguez (Eds) La Bahía de La Paz, Investigaciones y conservación. U.A.B.C.S. 345 pp

Jiménez A, Marinone SG, Parés-Sierra A. 2005. Efectos de la variabilidad espacial y temporal del viento sobre la circulación en el Golfo de California. *Cienc. Mar.* 31: 357-368.

Lara-Lara, J.R., R. Millan-Nuñez, J. L. Lara\_Osorio y C. Bazan-Guzman 1993. Productividad y biomasa del fitoplancton por clases de tamaño, en la parte central del Golfo de California durante primavera. 1985. *Ciencias Marinas* 19(2):137-154

Lara-Lara, J.R., et al. 2008. Los ecosistemas marinos, en *Capital natural de México*, vol. I: Conocimiento actual de la biodiversidad. Conabio, México, pp. 135-159.

Lavaniegos, B. E. Y D. López-Cortez, 1997. Fatty acid composition and community structure of plankton from the San Lorenzo Channel, Gulf of California. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 45: 845-854.

Lavín, M. F., E. Beier y A. Badan. 1997. Estructura hidrográfica y circulación del golfo de California: Escalas estacional e interanual. En Lavín, M. F. (Ed) *Contribuciones a la Oceanografía en México*, Monografía No. 3., Unión Geofísica Mexicana. 141-171.

López, J. M. 2005. Variabilidad anual e interanual de la clorofila- (SeaWiFS) y el viento superficial (QuikSCAT) en el Alto Golfo de California: su circulación y asociación. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Baja California. Ensenada, B. C.

Mann, K. & J. Lazier. 1991. *Dynamics of marine ecosystems, biological-physical interactions in the oceans*. Blackwell Scientific Publications, 466 p.

Marin V., L.Rodríguez, L. Vallejo, J. Fuenteseca & E.Oyarce. 1993. Efectos de la surgencia costera sobre la productividad primaria primaveral de Bahía Mejillones del Sur (Antofagasta Chile).

Marinone, S. G. & M. F. Lavín. 1997. Mareas y corrientes residuales en el Golfo de California, 113-139. En: Lavín, M. F. (Ed.) *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*. Unión Geofísica Mexicana, Monografía No. 3.

Martinez-Lopez, A., R. Cervantes-Duarte, A. Reyes-Salinas y J. E. Valdez-Holguín, 2001. Cambio estacional de clorofila a en la Bahía de la Paz, B.C.S., México. *Hidrobiologica* 11 (1): 45-52.

Megard, O.R., & T. Berman. 1989. Effects of algae on the Secchi transparency of the southeastern Mediterranean Sea. *Limnol. Oceanogr.*, 34(8):1640-1655.

Monreal-Gómez, M.A., A. Molina-Cruz & D.A Salas-de-León. 2001. Water masses and cyclonic circulation in Bay of La Paz, Gulf of California, during June 1998. *Journal of Marine Systems*, 30(2001):305-315.

Morris and Riley (1963). En Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons, (1972). (Ed) A Practical Handbook of Seawater Analysis. Fisheries research board of Canada. Ottawa. 310 p.

Mullin and Riley. 1955. *Anal. Chim. Acta.* 12:162.

Murphy, J., and P. Riley. 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta.* 27:31.

Obeso-Nieblas, M. y A. Jiménez-Illescas, (1993). Modelación de la marea en la Bahía de La Paz, B, C.S., México. *Investigaciones Marinas, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas* 8 (1), pp. 13–22.

Obeso-Nieblas, M. y A. Jiménez-Illescas. (1989). Propagación de la constituyente M2 de la marea en la Bahía de La Paz, B, C.S., México, mediante un modelo bidimensional hidrodinámico numérico. *Investigaciones Marinas, Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.* 4 (2), pp. 241–256.

Obeso-Nieblas, M., J. H. Gaviño-Rodríguez, A. R. Jiménez-Illescas & B. Shirasago- Germán. 2002. Simulación numérica de la circulación por marea y viento del noroeste y sur en la Bahía de La Paz, B. C. S. *Oceánides*, 17: 1-12.

Obeso-Nieblas, M. 2003. Variabilidad espacio-temporal de las condiciones Oceanográficas de La Bahía de La Paz, B.C.S. México. Tesis de doctorado.

CICIMAR-IPN, La Paz B.C.S. 337 p

Obeso-Nieblas M, Shirasago B, Sánchez-Velasco L, Gaviño-Rodríguez JH. 2004. Hydrographic variability in Bahía de La Paz, BCS, Mexico, during the 1997-1998 El Niño. *Deep-Sea Res. II* 51: 689-710.

Obeso-Nieblas, M., Shirasago, B., Sánchez-Velasco, L.. and Gaviño-Rodríguez, J. H., 2004. Hydrographic variability in Bahía de La Paz, B.C.S., Mexico during the 1997-1998 El Niño. *Deep-Sea Research II*, 51, 689-710.

Obeso-Nieblas, M., B. Shirasago-Germán, J. H. Gaviño-Rodríguez, H. Obeso-Huerta, E. L. Pérez-Lezama & A. R. Jiménez-Illescas. 2007. Hidrografía en la boca norte de la Bahía de La Paz, Baja California Sur, México. *Ciencias Marinas*, 33: 281- 291.

Obeso-Nieblas, M., B. Shirasago-Germán, J. Gaviño-Rodríguez, E. L. Pérez-Lezama, H. Obeso-Huerta & A. R. Jiménez-Illescas. 2008. Variabilidad hidrográfica en Bahía de La Paz, Golfo de California, México (1995-2005). *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 43: 559-567.

Perez-Cruz, L. L., 2000. Estudio paleoceanográfico y sedimentológico holocénico de la Bahía de La Paz, Golfo de California. Tesis de Doctorado. UNAM, México, D. F.

Platt, T., C. Caverhill and S. Sathyendranath. 1991. Basin-scale estimates of oceanic primary production by remote sensing: the North Atlantic. *Journal of Geophysical Research*, 96(C8):15147-15159.

Reyes-Salinas, A. 1999. Factores que controlan la productividad primaria en La Bahía de La Paz, B.C.S. Tesis de maestría. CICIMAR-IPN, La Paz B.C.S. 122 p.

Ripa, P., 1997. Towards a physical explanation of the seasonal dynamics and thermodynamics of the Gulf of California. *Journal Physical Oceanography*, 27, 597– 614.

Riley, J. P. Y R. Chester. 1989. Introducción a la química marina. AGT editor. 244

pp.

Robles Gil-Metre, S. 1998. El clima de la ciudad de La Paz. Tesis de maestría. UNAM. 233 p

Roden, G., 1958. Oceanographic and meteorological aspects of the Gulf of California. *Pacific Science* XII (1), 21-45.

Roden, G.I., 1964. Oceanographic aspects of the Gulf of California. Pp. 30-58 En: T.J.H. Van Andel y G. G Short (comps.). *Marine Geology of the Gulf of California: A Symposium*. AAPG. Memoir 3.

Romero-Bañuelos. C. A. 2003. Hidrología y metales pesados en la materia particulada suspendida del agua superficial de la porción sur de la Bahía de La Paz, B.C.S., México. Tesis de Maestría. CICIMAR-IPN. 100 p.

Salas-Pérez, J. J. 1996. El intercambio de agua sobre los umbrales del Golfo de California. Tesis de maestría, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California, México, 65 p.

Salinas-González, F., 2000. Mezcla turbulenta y transporte de masa en la Bahía de La Paz, B.C.S.: experimentación y modelación numérica. Tesis de Doctorado. CICIMAR-IPN, La Paz, 260 p.

Salinas-González F, Zaytsev O, Vyacheslav M. 2003. Formación de la estructura termohalina del agua en la Bahía de La Paz de verano a otoño. *Cienc. Mar.* 29: 51-65.

Strickland, J. D. and T. R. Parsons, 1968. *A practical handbook of seawater analysis*. Ed. Fisheries Research Board of Canada. Ottawa, 311 pp.

Therriault, J.C. and T. Platt. (1981). Environmental control of phytoplankton patchiness. *Canadian Journal of fisheries and Aquatic Sciences*. 38:638-641.

Torres-Orozco, E. 1993. Análisis volumétrico de las masas de agua del Golfo de California. Tesis de maestría. CICESE. 80 p.

Troyo-Dieguez, S., 2003. Oleaje de viento y ondas de infragravedad en la zona costera de Baja California Sur. Tesis Doctoral. CICIMAR-IPN, La Paz, México, 211 pp.

Turrent, C, y F. Gómez-Valdivia. Surgencias en el sureste de la Bahía de La Paz asociadas al monzón de América del Norte. Resumen de la Unión Geofísica mexicana , Reunión 2014. Puerto Vallarta.Mex.

Valdéz-Holguín y J. R. Lara-Lara, 1995. Productividad Primaria en el Golfo de California efectos del evento El Niño 19821983. Primary Productivity in the Gulf of California effects of El Niño 19821983 event: Ciencias Marinas Vol. 13(2): 34-W

Varela, R. A., A. Cruzado, J. Tintoré and E. García-Landona. 1992. Modeling the deep-chlorophyll maximum: A coupled physical-biological approach. J. Mar. Res., 50, 441-463.

Verdugo-Díaz, G. 2004. Respuesta ecofisiológica del fitoplancton ante la variabilidad ambiental en una bahía subtropical de Baja California Sur, México. Tesis de doctorado. CICIMAR-IPN. 138 pp.

Villaseñor-Casales, A., 1979. Distribución vertical de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto en La Bahía de La Paz, Baja California Sur, durante la primavera de 1976. *California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations Report*, 20:146-149.

Zaitsev, O. V., Salinas-González F. and Troyo-Dieguez, S., 1998. Water dynamics and mixing studies in the coastal zone of the Gulf of California. Proceedings, Canadian Hydrographic Conference, Victoria, British Columbia, pp 267-27.