

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

“CAMBIOS EN LA ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA DE LA BAHÍA DE TODOS SANTOS DURANTE LA TEMPORADA DE AGOSTO DE 2014 A DICIEMBRE DE 2015”



TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

OCEANÓLOGO

PRESENTA:

MELINA JIMÉNEZ HERRERA

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, AGOSTO DE 2017

“CAMBIOS EN LA ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA DE
LA BAHÍA DE TODOS SANTOS DURANTE LA TEMPORADA DE AGOSTO DE
2014 A DICIEMBRE DE 2015”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

OCEANÓLOGO.

PRESENTA:

MELINA JIMENEZ HERRERA

APROBADA POR:



Dra. Mary Carmen Ruiz de la Torre
Director de tesis



Dr. Francisco Delgadillo Hinojosa
Sinodal



Dr. Rubén Castro Valdez
Sinodal

Resumen

Los principales factores que controlan el crecimiento del fitoplancton en los océanos son: la temperatura, la luz y los nutrientes, así como las fuerzas físicas que traen nutrientes de aguas profundas a la superficie, además existen factores climáticos atmosféricos de múltiples escalas que afectan directamente el desarrollo del fitoplancton. Durante el 2014-2015 una serie de anomalías positivas en la temperatura superficial del mar producidas por “El Blob” y El Niño impactaron negativamente el ecosistema reduciendo la biomasa de fitoplancton a lo largo de la Corriente de California. En este trabajo se evalúa el cambio en la composición y estructura de la comunidad fitoplanctónica de las aguas superficiales de Bahía de Todos Santos en relación a la hidrografía local durante agosto de 2014 a diciembre de 2015, para ello se realizaron campañas oceanográficas mensuales durante el periodo de estudio, donde se realizaron lances de CTD y se recolectaron muestras de agua superficial para el análisis de clorofila y abundancia fitoplanctónica. El análisis de la comunidad fitoplanctónica junto con los datos hidrográficos presentó baja abundancia celular durante el 2014, período de temperatura superficial elevada relacionado con El Blob, posteriormente la comunidad tiende a recuperar con la entrada de surgencias a la bahía durante primavera y verano de 2015, sin embargo con la entrada de El Niño y un aumento en la temperatura superficial las abundancias celulares se mantuvieron bajas posterior al evento de surgencias. La fracción de clorofila que representa a células de fitoplancton de tamaño menor fue dominante durante el periodo de estudio. Al mismo tiempo se presentan diferencias en la composición fitoplanctónica en BTS, en el exterior de la bahía la comunidad es dominada por ciliados con un aumento de diatomeas con la entrada de surgencias, en la región intermedia e interior dominan las diatomeas y dinoflagelados.

Palabras clave: Fitoplancton, El Niño, El Blob y Surgencias.

Dedicatoria

A mi familia.

Agradecimientos

A mi directora de tesis la Doctora Mary Carmen Ruiz de la Torre por su paciencia, tiempo y dedicación para concluir este trabajo.

A mis sinodales el Dr. Rubén Castro Valdez y al Dr. Francisco Delgadillo Hinojosa por sus recomendaciones y comentarios.

Al Maestro en Ciencias Armando Félix Bermúdez por el apoyo con los datos de CTD, clorofila y campo.

Al proyecto interno “BALANCE DE MASAS DE HIERRO DISUELTO EN LA BAHÍA DE TODOS SANTOS, BAJA CALIFORNIA: RESPUESTAS BIOLÓGICAS DEL FITOPLANCTON E IMPLICACIONES BIOGEOQUÍMICAS.” por darme la oportunidad de realizar esta tesis además del apoyo económico durante el trabajo de laboratorio.

A la Red temática sobre Florecimientos Algales Nocivos (RedFAN) por el curso: Introducción al Estudio de los Florecimientos Algales Nocivos de la RedFAN (2015).

A mis amigos y a mi familia por todo su cariño y apoyo.

A la FCM y mis profesores por motivarme y contribuir con mi formación profesional.

Índice

1. Introducción	8
2. Antecedentes	9
3. Hipótesis	10
4. Objetivos	10
4.1. Objetivo general	10
4.2. Objetivos particulares	10
5. Metodología	11
5.1. Área de estudio	11
5.2. Recolección de muestras	12
5.3. Variables hidrográficas	13
5.4. Análisis de clorofila	13
5.5. Comunidad Fitoplanctónica	13
5.6. Índice de biodiversidad de Shannon	14
6. Resultados	15
6.1. Condiciones hidrográficas: temperatura y salinidad	15
6.2. Clorofila	19
6.3. Comunidad Fitoplanctónica	22
6.4. Índice de biodiversidad de Shannon	25
7. Discusión	27
7.1. Condición de anomalías positivas de temperatura “El Blob” (2014)	27
7.1.1. Zona exterior de BTS	27
7.1.2. Zona intermedia de BTS	27
7.1.3. Zona interior de BTS	28

7.2.	Eventos de surgencias en la bahía	28
7.2.1.	Zona exterior de BTS	29
7.2.2.	Zona intermedia de BTS	30
7.2.3.	Zona interior de BTS	30
7.3.	Fenómeno El Niño (2015)	30
7.3.1.	Zona exterior de BTS	32
7.3.2.	Zona intermedia de BTS	32
7.3.3.	Zona interior de BTS	33
8.	Conclusión	34
9.	Referencias	35

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación de las estaciones de muestreo en Bahía Todos Santos. Los círculos azules representan las 11 estaciones distribuidas en los transectos sur (TS) y norte (TN) del muestreo mensual	11
Figura 2. Estaciones de muestreo del transecto norte en Bahía de Todos Santos.	12
Figura 3. Variación espacio-temporal de temperatura en la columna de agua en la región exterior (A), intermedio (B) e interior (C) en BTS durante agosto de 2014 a diciembre de 2015.	17
Figura 4. Variación espacio-temporal de salinidad en la columna de agua en la región exterior (A), intermedio (B) e interior (C) en BTS durante agosto de 2014 a diciembre de 2015.	18
Figura 5. Serie de tiempo de clorofila-a total, clorofila representada por células grandes (>5 μm), clorofila representada por células pequeñas (0.7 a 5 μm) y la temperatura superficial del mar en el exterior (A), Intermedio (B) e interior (C) de BTS durante agosto de 2014 a diciembre 2015.	21
Figura 6. Abundancia relativa (%) y abundancia celular (Cel L-1) de grupos fitoplanctónicos en el exterior (A), Intermedio (B) e interior (C) de BTS durante agosto de 2014 a diciembre de 2015.	24
Figura 7. Índice de diversidad de Shannon para el exterior (A), intermedio (B), e interior (C) de BTS durante agosto de 2014 a diciembre de 2015.	26
Figura 8. Índice de surgencia mensual 33N 119W (NOAA).	29

1. Introducción

Los cambios interanuales como la El Niño Oscilación del Sur (ENSO) y decadales traen cambios en la biomasa, composición de especies y productividad (Pennington y Chávez 2000). El fenómeno de El Niño es el resultado de un complejo sistema de fluctuaciones climáticas entre el océano y la atmosfera (Troup, 1965; Rasmusson y Wallace, 1983; Rasmusson *et al.*, 1990; Hernández y Gaxiola, 2004), donde la celda de baja presión de las Aleutianas se fortalece y produce tormentas invernales severas además del debilitamiento de la circulación anticiclónica de la atmosfera y el incremento del transporte de Ekman hacia la costa y hundimiento de la termoclina (Strub y James, 2003; Schwing *et al.*, 2002; Durazo *et al.*, 2005). Durante el 2013 y 2016 un par de eventos impactaron de manera negativa el ecosistema pelágico de la Corriente de California reduciendo drásticamente la biomasa (fitoplancton) disponible para los niveles tróficos superiores (Gómez-Ocampo *et al.*, 2017). En el invierno de 2013-2014, la temperatura superficial del mar mostró anomalías positivas desde Baja California a Alaska, debido a la extensión y magnitud sobre el clima y la pesca la anomalía fue nombrada “El Blob”, resultado de una pérdida de calor por debajo de lo normal desde el océano a la atmósfera junto con un debilitamiento de la advección vertical de agua fría hacia la superficie del océano (Bond *et al.*, 2015). Posteriormente a comienzos del verano de 2015, el fenómeno de El Niño llevó la temperatura superficial del mar a niveles superiores a la media en todo el Pacífico Ecuatorial, en noviembre de 2015 las anomalías de temperatura superficial del mar fueron las más cálidas registradas en los últimos 13 años en la Corriente de California (Gómez-Ocampo *et al.*, 2017).

Otras condiciones ambientales pueden controlar la variabilidad espacio-temporal de las poblaciones fitoplanctónicas en los océanos, como lo son los procesos físicos de surgencias (Hernandez-Becerril, 1993; Vázquez-Martínez, 2012), estos se originan cuando los vientos soplan del noroeste frente a una costa meridional al este del mar en el hemisferio norte, ocasionando un transporte de agua en la capa superficial hacia afuera de la costa y, por conservación de masa las aguas

subsuperficiales de menor temperatura, bajo contenido de oxígeno y ricas en nutrientes emergen a la superficie (Cushman-Roisin, 1994; Lynn & Simpson, 1987; Calva-Chávez, 2014).

El fitoplancton juega un papel importante en el medio marino ya que es el principal productor primario y es responsable de aproximadamente la mitad de la producción primaria neta global, por tanto la abundancia y estructura en la comunidad fitoplanctónica impacta directamente en los niveles tróficos superiores (Falkowski y Knoll, 2007). A pesar de los diversos estudios acerca de la hidrografía y la biología de la Bahía de Todos Santos, existen pocos estudios recientes que evalúen el efecto directo de la hidrografía local sobre la comunidad fitoplanctónica, por ello en este trabajo se describe la variación espacio-temporal de la comunidad de fitoplancton bajo tres condiciones hidrográficas contrastantes, la primera incluye al primer periodo de anomalías positivas de temperatura, “El Blob” durante el 2014, la segunda condición es durante el periodo de surgencias en primavera-verano de 2015 y el tercer periodo es durante El Niño de 2015.

2. Antecedentes

En la región de la Bahía Todos Santos, las surgencias costeras se presentan todo el año, más intensas en primavera y verano, mientras que la intensidad en invierno es menor y la dirección del esfuerzo del viento es más variable. Las surgencias no son igual de intensas en toda la costa adyacente a la bahía, sino que son más intensas al sur de Punta Banda y suelen ser menos intensas en la región de Salsipuedes (Calva-Chávez, 2014).

Se ha documentado floraciones de especies de fitoplancton con potencial nocivo asociado a eventos de surgencia en Bahía de Todos Santos, tal es el caso de *Pseudo-nitzschia* con una abundancia máxima de 3.02×10^5 cel L⁻¹ en el 2007 (García-Mendoza *et al.*, 2008). En abril de 2008 Cabrales-Talavera, (2010) reporta abundancias de 102,000 cel L⁻¹ de *Pseudonitzschia sp* asociado a condiciones de surgencia intensa. Peña-Manjarrez *et al.*, (2008) reporta floraciones del

dinoflagelado *Lingulodinium polyedrum* con mayor abundancia durante mayo-junio controladas por las condiciones ambientales reinantes en la zona.

Sánchez-Bravo, (2016) reporta un florecimiento con aproximadamente 3000 cel L-1 de dinoflagelados del genero *Dinophysis* con potencial tóxico en BTS posterior a un periodo de mezcla vertical durante invierno y asociado a una leve estratificación de la columna de agua precedida por un pulso de entrada de agua fría a la zona, al mismo tiempo sugiere que los procesos físicos de la región pueden favorecer a la presencia y acumulación de especies con potencial toxico.

3. Hipótesis

La hidrografía de la región no modifica la estructura de la comunidad fitoplanctónica en la Bahía Todos Santos durante el periodo de agosto de 2014 a diciembre de 2015.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general

Evaluar el cambio en la composición y estructura de la comunidad fitoplanctónica de las aguas superficiales de la Bahía Todos Santos en relación con la hidrografía local durante el periodo de agosto del 2014 a diciembre de 2015.

4.2. Objetivos particulares

- a) Analizar la composición de la comunidad de fitoplancton de la Bahía Todos Santos durante agosto de 2014 a diciembre de 2015.
- b) Relacionar durante el mismo periodo, la hidrografía local con la estructura de la comunidad fitoplanctónica.

5. Metodología

5.1. Área de estudio

La Bahía de Todos Santos (Figura 1) se encuentra en la costa occidental de Baja California, está conectada con el Océano Pacífico a través de la Isla Todos Santos y Punta San Miguel con una longitud de 10 km, así como Islas Todos Santos y Punta Banda, la cual se encuentra a 5 km. La cuenca tiene una profundidad de menos de 50 m aproximadamente en el 80% de la superficie, el resto corresponde a un cañón submarino situado entre Punta Banda y la Isla Todos Santos en el suroeste de la bahía (Mateos *et al.*, 2009).

El agua cerca de la superficie y dentro de la Bahía Todos Santos está estrechamente relacionada con la corriente fría de California, que tiene temperatura superficial de 8°C en enero a 12°C durante agosto, y contribuye en gran medida a la variabilidad oceanográfica de la zona. Las principales corrientes de la superficie de la zona son impulsadas por el viento, con un componente noroeste predominante durante el verano produciendo una corriente superficial promedio de 15 cm s⁻¹. Durante el otoño-invierno las corrientes en la superficie en promedio es de 5 cm s⁻¹ (Peña *et al.*, 2005).

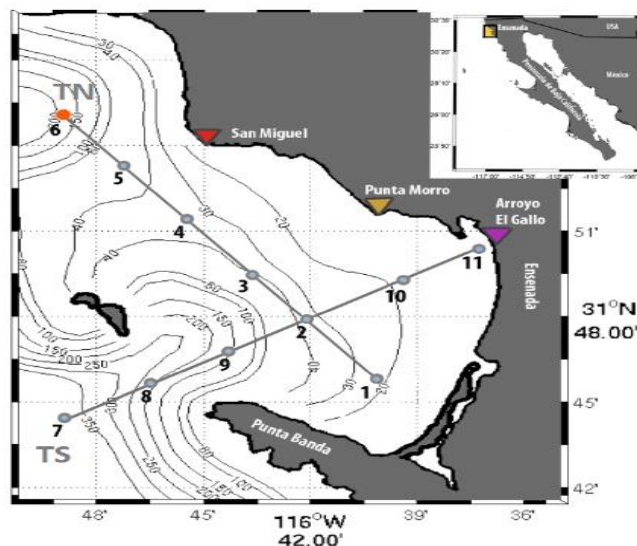


Figura 1. Ubicación de las estaciones de muestreo en Bahía Todos Santos durante el periodo de agosto de 2014 a diciembre de 2015. Los círculos representan las 11 estaciones distribuidas en los transectos sur (TS) y norte (TN) del muestreo mensual

5.2. Recolección de muestras

Se realizaron campañas oceanográficas mensuales a partir de agosto de 2014 a diciembre de 2015. El muestreo se llevó a cabo en dos transectos paralelos a la línea de costa, los cuales se dividen en transecto norte con seis estaciones de muestreo que inicia en Punta Banda hacia la boca norte de la bahía, el transecto sur a partir del arroyo El Gallo hacia la boca sur de la bahía (Figura 1).

En el presente trabajo se reportan los resultados del transecto norte (Figura 2) con un total de 6 estaciones de muestreo, las cuales se agruparon en exterior (estación 5 y 6), intermedio (estación 4 y 3) e interior (estación 1 y 2). En cada una de las estaciones se realizó la medición de variables hidrográficas mediante el uso de un mini CTD (conductivity, temperature, depth) con GPS integrado modelo CastAway (precisión 0.05°C y 0.1 UPS) y se recolectaron muestras de agua superficial usando botellas Go-Flo de 5L de capacidad.

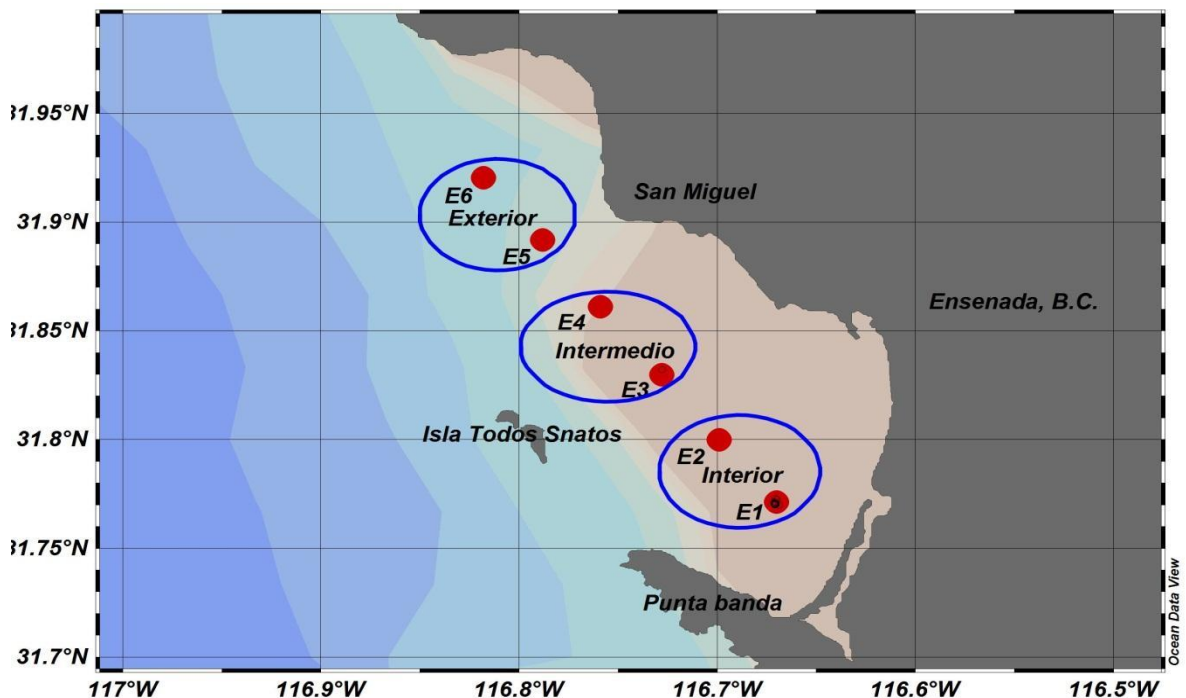


Figura 2. Estaciones de muestreo del transecto norte en Bahía de Todos Santos.

5.3. Análisis de las variables hidrográficas

Para el análisis de las variables hidrográficas se utilizaron los datos del CTD proporcionados por el M.C. Armando Félix Bermúdez, software Ocean Data View para realizar series de tiempo de temperatura y salinidad de la zona exterior, intermedia e interior de la Bahía de Todos Santos.

5.4. Análisis de Clorofila-a

Se realizaron series de tiempo de la clorofila total y por fracción de tamaño menor (0.7 a 5 μm) y mayor (>5 μm) respecto a la biomasa total. Los datos de clorofila fueron proporcionados por el M.C. Armando Félix Bermúdez, quien realizó la extracción de clorofila con filtros Whatman GF/F (0.7 μm , 25 mm de diámetro), la fracción de células grandes se separó utilizando filtros de membrana de policarbonato de 5 μm (25 mm de diámetro), la extracción de clorofila "a" se realizó con acetona al 90% en la oscuridad durante 24 horas, para la medición utilizó un espectrofotómetro UV-Visible (marca Varian modelo Cary 50), finalmente calculó la concentración de clorofila en mg m^{-3} .

5.5. Comunidad fitoplanctónica

Para el conteo de células fitoplanctónicas e identificación de los grupos más abundantes de fitoplancton se recolectaron muestras de agua de mar en botellas oscuras de 250 ml las cuales se fijaron con una solución de lugol-acetato.

Las células de fitoplancton se contaron mediante el método Utermöhl; se colocó 100 ml de las muestras de agua de mar en cámaras de sedimentación durante 24 horas, los conteos de fitoplancton se realizaron con un microscopio invertido marca Leica modelo DM IRB con un objetivo de 20x. La identificación taxonómica se realizó hasta nivel de género utilizando catálogos generales de identificación. Los conteos de células de fitoplancton se transformaron a células por litro y se clasificaron por grupos (diatomeas, dinoflagelados, ciliados, criptofitas, silicoflagelados y euglenas).

5.6. Índice de biodiversidad

Se utilizó el índice de biodiversidad de Shannon para determinar la riqueza y uniformidad de especies de acuerdo a Magurran (2004) donde el índice de Shannon se calcula de la siguiente manera:

$$H' = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$$

Dónde:

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

Se realizaron series de tiempo utilizando el índice de biodiversidad y la abundancia celular durante el periodo de estudio.

6. Resultados

6.1. Condiciones hidrográficas: temperatura y salinidad

El análisis de las series de tiempo de temperatura (Fig. 3) y salinidad (Fig. 4) en la columna de agua para la zona exterior (A), intermedio (B) e interior (C) de la BTS para el periodo comprendido de agosto de 2014 a diciembre de 2015 muestra que para la zona exterior de la bahía (Fig. 3, A) durante el 2014 se observa un periodo caracterizado por agua caliente y salinidad alta, en particular durante septiembre y octubre donde se registran temperaturas elevadas de 22°C en los primeros 11 m de profundidad y de 21°C por debajo de los 20 m, con valores altos de salinidad de hasta 33.6 (Fig. 4, A), en este periodo y en los meses posteriores la columna de agua presenta estratificación vertical que desaparece en invierno. A partir de marzo a agosto se observa la entrada de surgencias a la bahía, caracterizadas por aguas frías y saladas con 11°C y 33.55 de salinidad en la parte profunda ~50 m, mientras que en la parte superficial la temperatura es de 15°C y salinidad de 33.3. Posteriormente se observa una temporada de estratificación vertical bien marcada desde finales de julio a septiembre, en este periodo se observan aguas cálidas de 20°C en los primeros 20 m de profundidad y salinidad de 33.35. A partir de noviembre la estratificación vertical se debilita y la columna de agua comienza a mezclarse, en diciembre la columna de agua se encuentra bien mezclada con temperatura de 18°C y salinidad de 33.65.

En la zona intermedia durante el 2014 se observa un periodo caracterizado por altas temperaturas (Fig. 3, B), valores altos de salinidad (Fig. 4, B) y estratificación vertical, de agosto a octubre la temperatura superficial es de 22°C y de 20°C por debajo de 20 m de profundidad mientras que la salinidad en esta zona es de 33.55. En invierno la columna de agua presenta mezcla vertical con temperatura de 16°C cerca de los 30 m de profundidad. De marzo a agosto se observa la entrada de surgencias a la bahía con aguas frías y saladas de 12°C y salinidad de 33.65 en la parte profunda hacia la superficie donde la temperatura es de 16°C y la salinidad es de 33.4. A partir de julio se observa una temporada

de estratificación vertical bien marcada con un máximo superficial de temperatura de 22°C y salinidad de 33.3 en agosto y septiembre, en octubre la estratificación se comienza a debilitar dando paso a la mezcla vertical en noviembre y diciembre con temperaturas de 18°C y salinidad de 33.65.

En la zona interior de la bahía al igual que en la región exterior e intermedio durante el 2014 se presenta una condición donde la temperatura y la salinidad son elevadas, sin embargo en el interior de la bahía dicha condición se prolonga por más tiempo, en agosto la temperatura superficial es de 22°C de 3 a 5 m de profundidad, en septiembre y octubre la temperatura máxima superficial es de 22°C en los primeros 5 m y alcanza los 20°C a 25 m de profundidad (Fig. 3, A) con valores de 33.6 de salinidad (Fig. 4, A). En invierno la columna de agua se encuentra mezclada con temperaturas de entre 16 y 17 °C y salinidad de 33.5.

Al inicio de primavera es decir en marzo, se observa la entrada de surgencia al interior de la bahía con temperatura de 12°C y salinidad de 33.55 a los 30 m de profundidad, sin embargo no llega completamente a la superficie, se mantiene por debajo de los 5 m, en la parte superficial la temperatura se mantiene entre 19 y 18°C con salinidad de 33.3. Por otra parte de julio a octubre la columna de agua presenta estratificación vertical con temperatura máxima superficial de 23°C y 33.5 de salinidad en los primeros 5 m de profundidad mientras que en septiembre y octubre la temperatura de 20°C llega a los 15 m de profundidad. Durante noviembre y diciembre la columna de agua presenta mezcla vertical con temperaturas de 19°C y salinidad de 33.65, es decir relativamente más caliente y salada que el invierno anterior.

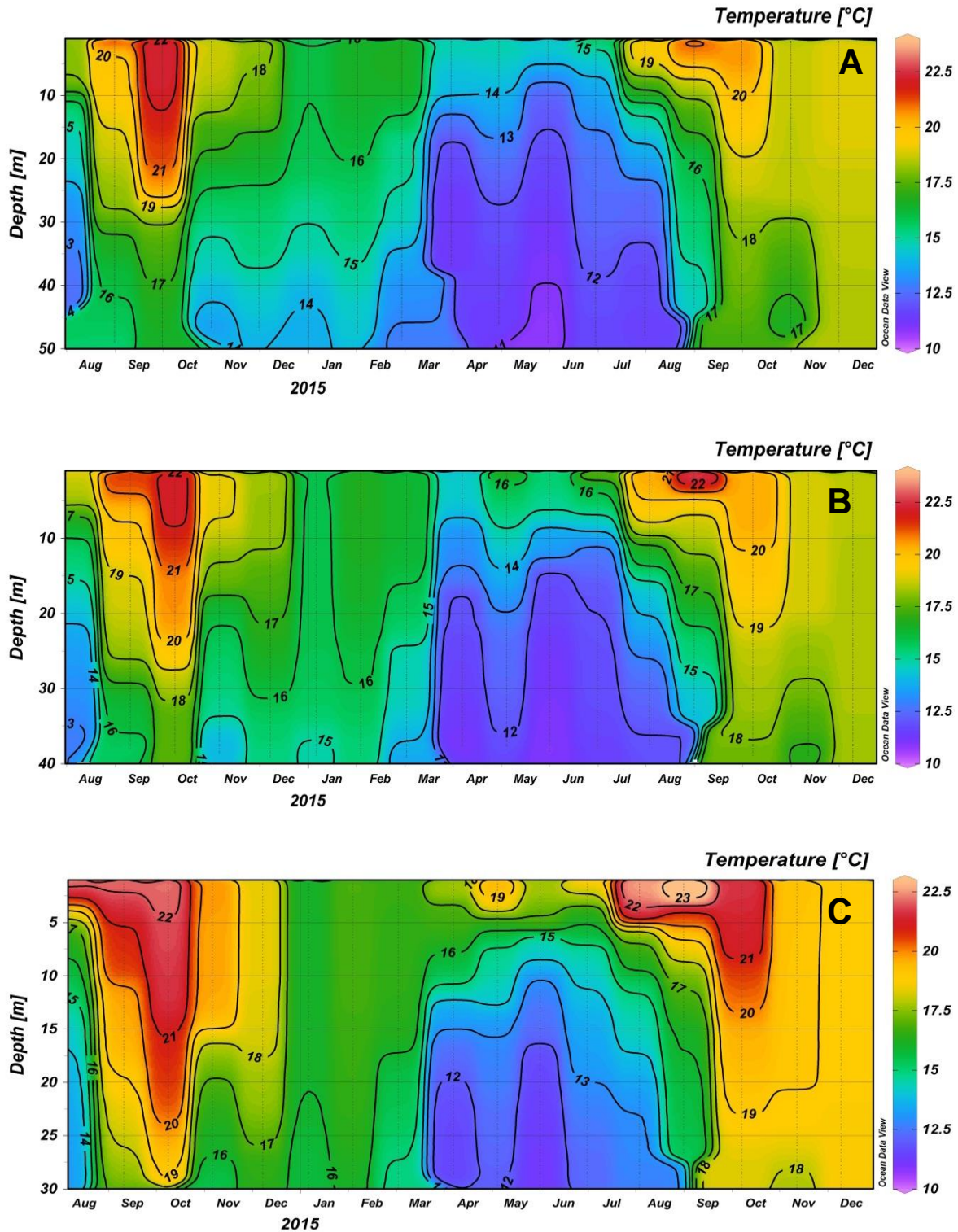


Figura 3. Variación espacio-temporal de temperatura en la columna de agua en la región exterior (A), intermedio (B) e interior (C) en BTS durante agosto de 2014 a diciembre de 2015.

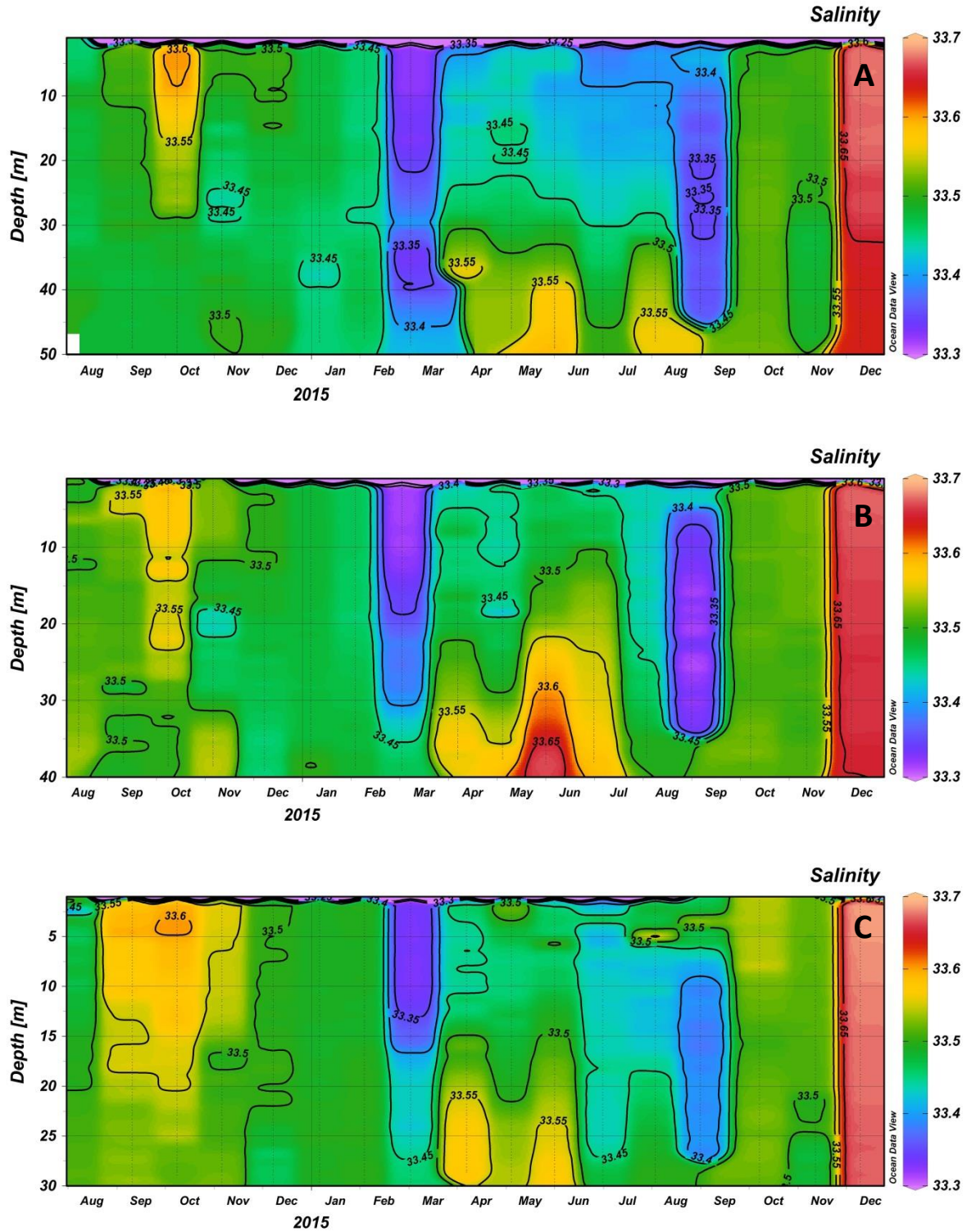


Figura 4. Variación espacio-temporal de salinidad en la columna de agua en la región exterior (A), intermedio (B) e interior (C) en BTS durante agosto de 2014 a diciembre de 2015.

6.2. Clorofila-a

En la figura 5 se muestra una serie de tiempo para la zona exterior (A), intermedia (B) e interior (C) de la BTS, de la clorofila-a total, la fracción de clorofila que representa las células grandes ($>5 \mu\text{m}$) y la fracción de clorofila que representa a las células pequeñas (0.7 a $5 \mu\text{m}$) con respecto a la biomasa total, y la línea continua representa la temperatura superficial del mar.

En la zona exterior de la bahía (Fig. 5, A) la concentración de clorofila total fue menor a $1 \pm 1.3 \text{ mg m}^{-3}$ mientras que la contribución de clorofila por células grandes y pequeñas es similar durante agosto a noviembre de 2014, la temperatura superficial del mar alcanzó los 22°C en septiembre y octubre. De diciembre a febrero la clorofila se mantiene por arriba de $1 \pm 1.3 \text{ mg m}^{-3}$, domina la clorofila representada por células pequeñas ($0.7\text{-}5 \mu\text{m}$), el máximo de clorofila es en mayo con $4.84 \pm 1.3 \text{ mg m}^{-3}$, domina la clorofila representada por células de menor tamaño con $3.47 \pm 0.80 \text{ mg m}^{-3}$, en junio la clorofila se mantiene en $4.38 \pm 1.3 \text{ mg m}^{-3}$, sin embargo la clorofila representada por células de tamaño mayor y menor se mantiene similar mientras que la temperatura superficial es de 14°C . De agosto a noviembre la clorofila se mantiene por arriba de $1 \pm 1.3 \text{ mg m}^{-3}$ y domina la clorofila representada por células de tamaño mayor, la temperatura superficial más alta se registra durante septiembre con 21°C .

La concentración de clorofila en la zona intermedia de la bahía (Fig. 5, B) durante agosto a diciembre de 2014 se mantiene por debajo de $1 \pm 0.81 \text{ mg m}^{-3}$, en este periodo la clorofila representada por células de tamaño mayor y menor se mantiene similar, la temperatura superficial más alta es de 22°C en septiembre y octubre. En enero se registra un pico de clorofila con $1.44 \pm 0.81 \text{ mg m}^{-3}$ en el que domina la clorofila representada por las células de tamaño menor con $1.20 \pm 0.52 \text{ mg m}^{-3}$, en febrero y marzo la clorofila vuelve a ser menor a $1 \pm 0.81 \text{ mg m}^{-3}$ sin embargo domina la clorofila de tamaño menor. A partir de abril la clorofila aumenta a $2.79 \pm 0.81 \text{ mg m}^{-3}$ y domina la clorofila de tamaño menor con $2.03 \pm 0.52 \text{ mg m}^{-3}$, mientras que la temperatura superficial es de 14°C . Se mantienen condiciones similares hasta el mes de agosto donde la clorofila es menor a $1 \pm$

0.81 mg m⁻³, la clorofila representada por células de tamaño menor sigue siendo dominante, algo similar ocurre en septiembre donde registra la temperatura superficial más alta de 21°C, por último de octubre a diciembre la clorofila se mantiene en 1 ± 0.81 mg m⁻³ y domina la clorofila representada por células de tamaño menor.

La concentración de clorofila en el interior de la bahía (Fig. 5, C) durante el 2014 es inferior a 1 ± 0.72 mg m⁻³ en los meses de agosto a octubre, donde la concentración de clorofila de tamaño mayor y menor se mantienen similares, estos valores bajos de clorofila coinciden con el máximo superficial de temperatura de 22°C. De noviembre a enero la concentración de clorofila se mantiene en 1 ± 0.72 mg m⁻³, en diciembre y enero domina la clorofila de tamaño menor con 0.89 ± 0.39 mg m⁻³ y 1.18 ± 0.39 mg m⁻³ respectivamente. En febrero y marzo la concentración de clorofila es menor a 1 ± 0.72 mg m⁻³, domina la clorofila de tamaño menor. De abril a julio se presentan las concentraciones más altas de clorofila por arriba de 2 ± 0.72 mg m⁻³ con un máximo en mayo de 3.34 ± 0.72 mg m⁻³, durante este periodo la clorofila de tamaño mayor y menor se mantienen en concentraciones similares, sin embargo el mes de junio la clorofila disminuye a 1.28 ± 0.72 mg m⁻³, en estos meses la temperatura superficial varía de 17 a 19°C. De agosto a diciembre la concentración de clorofila es menor o igual a 1 ± 0.72 mg m⁻³, de octubre a diciembre la clorofila de tamaño menor fue la dominante, la temperatura superficial más alta fue durante septiembre con 23.54°C.

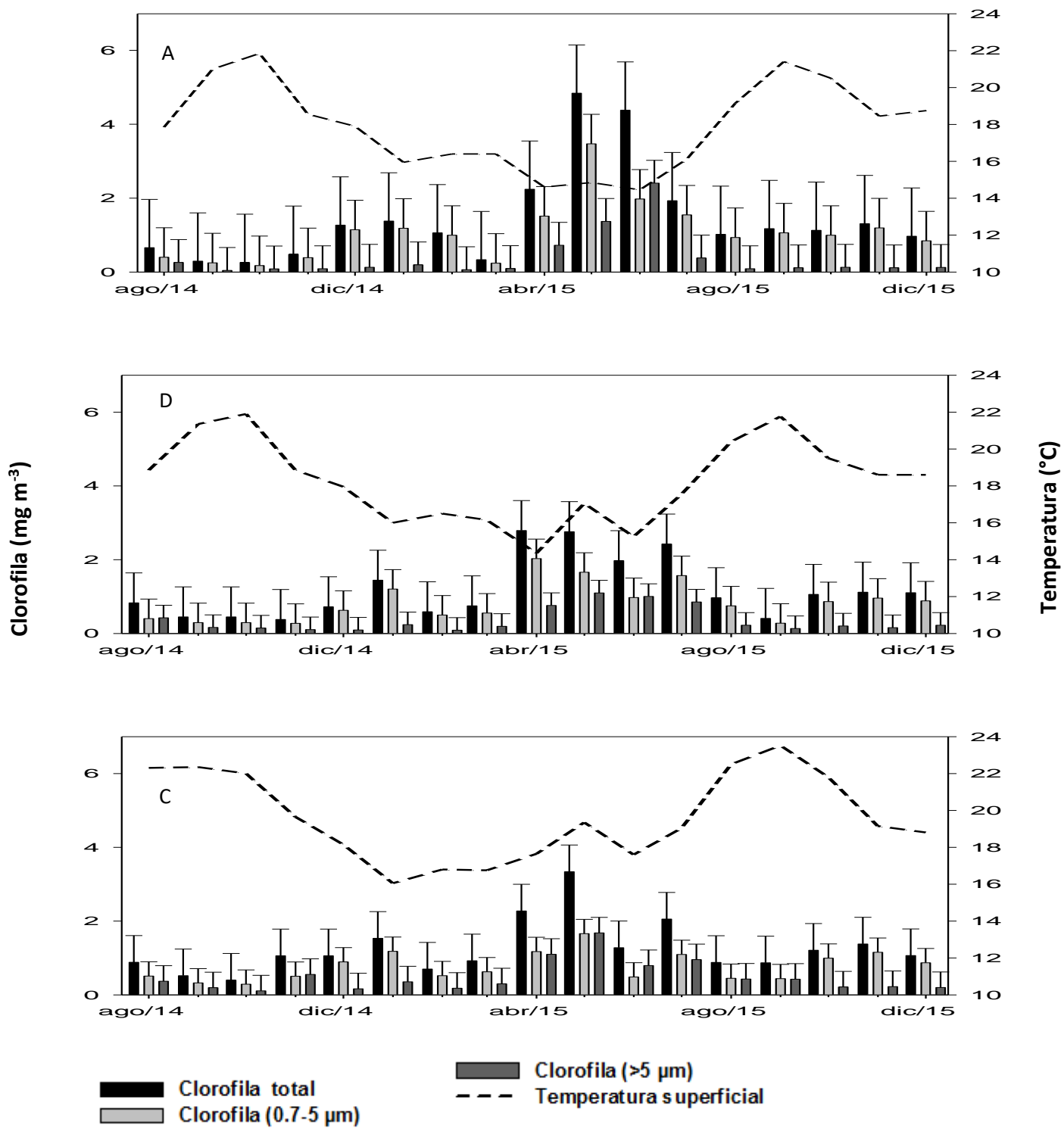


Figura 5. Serie de tiempo de clorofila-a total, clorofila representada por células grandes ($>5 \mu\text{m}$), clorofila representada por células pequeñas (0.7 a $5 \mu\text{m}$) y la temperatura superficial del mar en el exterior (A), Intermedio (B) e interior (C) de BTS durante agosto de 2014 a diciembre 2015.

6.3. Comunidad fitoplanctónica

La abundancia relativa de los grupos fitoplanctónicos así como la abundancia celular para la BTS durante el periodo de estudio se encuentra representada en la figura 6 con la zona exterior (A), intermedio (B) e interior (C).

En la zona exterior de BTS en la temporada del 2014 el grupo dominante en agosto es el de los dinoflagelados con el 56% mientras que para el mes de septiembre dominan las diatomeas representando el 64% de la comunidad fitoplanctónica, a partir de octubre aparecen los ciliados con abundancia del 70%, en noviembre los dinoflagelados representan el 56% de la comunidad y hay presencia de silicoflagelados con el 8%, en diciembre disminuye la abundancia de diatomeas, y hay presencia de dinoflagelados, criptofitas, euglenas y ciliados en mayor proporción, durante este periodo la abundancia celular se encuentra por debajo de 3,000 Cel L⁻¹. En enero de 2015 los ciliados son el grupo más abundante con el 76%, sin embargo en febrero las criptofitas ocupan el 60% de la comunidad y en marzo los ciliados vuelven a ser el grupo más abundante con el 63%. A partir de abril la población de diatomeas aumenta con el 69% además de la presencia de los otros grupos de fitoplancton. En mayo la abundancia de diatomeas disminuye a 22% mientras que las criptofitas se encuentran en mayor proporción, el mes de junio está dominado por diatomeas con el 89% de la población además de presentarse la abundancia celular más alta de 21,917 Cel L⁻¹, a partir de julio dominan los ciliados con abundancias de hasta el 81% en octubre. Finalmente en diciembre hay presencia de todos los grupos siendo los más abundantes los ciliados y las criptofitas pero con abundancia celular de 305 Cel L⁻¹.

En la zona intermedia de BTS (Fig. 6, B) se observa que el grupo dominante durante todo el periodo de estudio son las diatomeas, para el 2014 en el mes de septiembre las diatomeas forman parte del 55% de la comunidad mientras que el 45% restante pertenece a los dinoflagelados, en octubre y noviembre el grupo dominante pertenece a los dinoflagelados mientras que en diciembre dominan las criptofitas con el 43% de la comunidad. Durante el 2014 la abundancia de células

de fitoplancton es menor a $1,500 \text{ Cel. L}^{-1}$. En enero de 2015 el grupo dominante es de las euglenas con el 47% de la comunidad, mientras que para febrero el grupo dominante son los ciliados con el 60%, en marzo aumenta el porcentaje de diatomeas a 51%, en estos meses la abundancia celular es inferior a $4,000 \text{ Cel. L}^{-1}$. Las diatomeas dominaron de abril a septiembre representando hasta el 90% de la comunidad en este mes, además de abundancias celulares mayores a $10,000 \text{ Cel L}^{-1}$, sin embargo en agosto dominan los dinoflagelados con abundancia celular menor a $5,000 \text{ Cel. L}^{-1}$. En octubre dominan los ciliados con el 67%, en noviembre y diciembre hay presencia de todos los grupos fitoplanctónicos, dominando los dinoflagelados en noviembre y las criptofitas en diciembre, para estos meses la abundancia celular se encuentra por debajo de $2,500 \text{ Cel. L}^{-1}$.

En el interior de BTS el grupo de fitoplancton dominante pertenece a las diatomeas (Fig. 6, C) Durante el 2014 en el mes de agosto y septiembre dominan los dinoflagelados mientras que en octubre las diatomeas representan el 57% de la comunidad fitoplanctónica, en noviembre las diatomeas siguen siendo dominantes representando el 85% de la población con abundancia celular de $10,140 \text{ Cel L}^{-1}$, en diciembre el grupo dominante pertenece a los dinoflagelados con presencia de diatomeas y ciliados en menor proporción, en enero de 2015 abundan las diatomeas con el 47% mientras que las criptofitas aparecen en menor proporción, en febrero los dinoflagelados ocupan el 67% de la comunidad seguidos de los ciliados con el 19%. A partir de marzo a septiembre la población de diatomeas aumenta llegando a ocupar más del 80% durante junio y septiembre, la abundancia celular más alta es durante el mes de abril con $24,600 \text{ Cel L}^{-1}$, en este periodo hay presencia de los otros grupos como los dinoflagelados, ciliados, criptofitas y en menor proporción euglenas y silicoflagelados. Por último los ciliados representan el grupo dominante en octubre con el 62% y diciembre con 40% de la comunidad fitoplanctónica y la abundancia celular se mantiene por arriba de $2,000 \text{ Cel L}^{-1}$

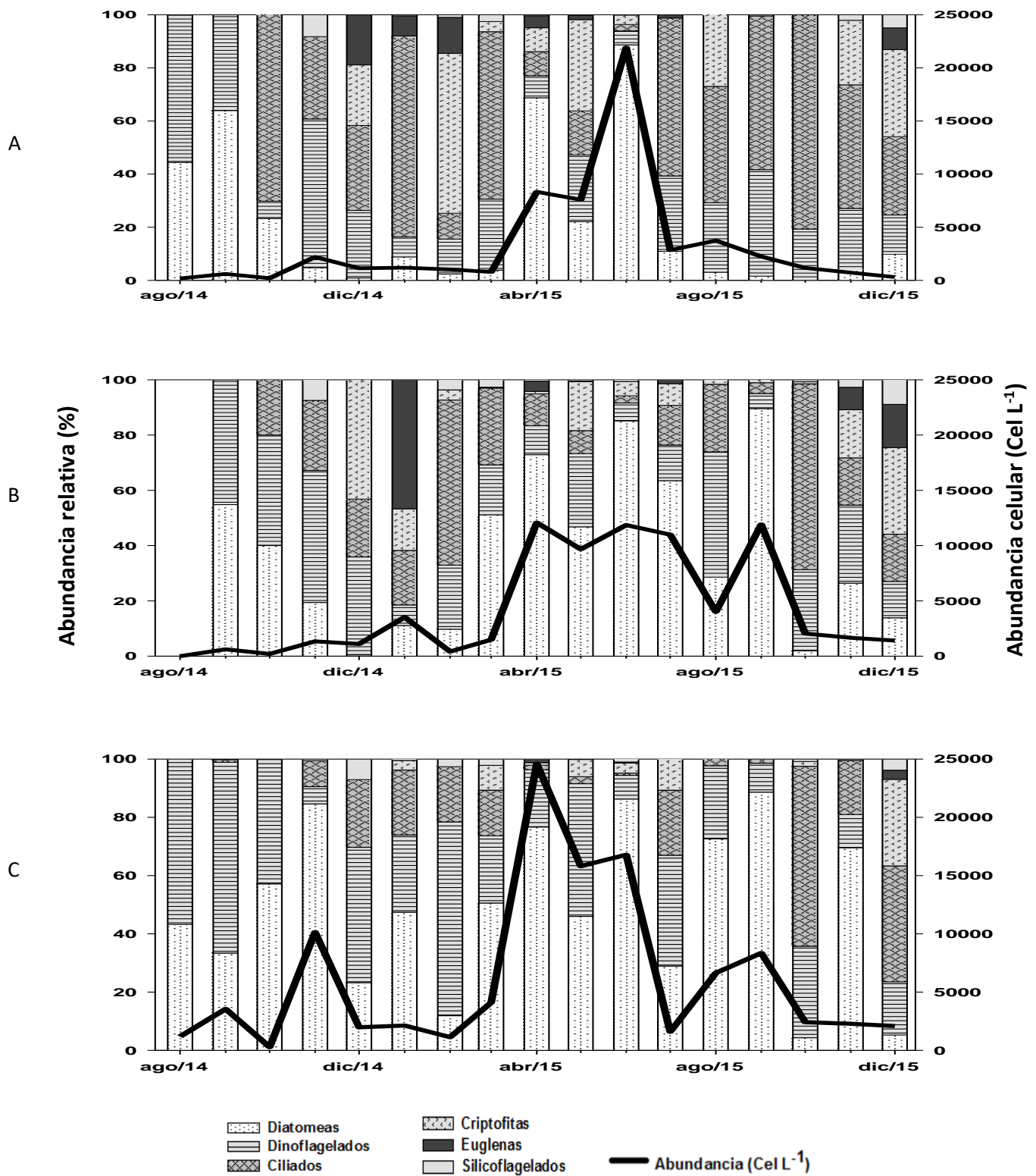


Figura 6. Abundancia relativa (%) y abundancia celular (Cel L⁻¹) de grupos fitoplanctónicos en el exterior (A), Intermedio (B) e interior (C) de BTS durante agosto de 2014 a diciembre de 2015.

6.4. Índice de biodiversidad de Shannon

El índice de Shannon para la región exterior de la bahía (Fig. 7, A) donde la mayor diversidad y uniformidad de especies es durante abril y mayo mientras que en el mes de octubre se presentó baja diversidad.

En la zona intermedia de la bahía (Fig. 7, B) los meses que presentan mayor diversidad de especies corresponden al abril, mayo, junio, agosto, noviembre y diciembre de 2015.

En la zona interior de BTS (Fig. 7, C) los meses con mayor diversidad de especies son enero, marzo, mayo y noviembre de 2015.

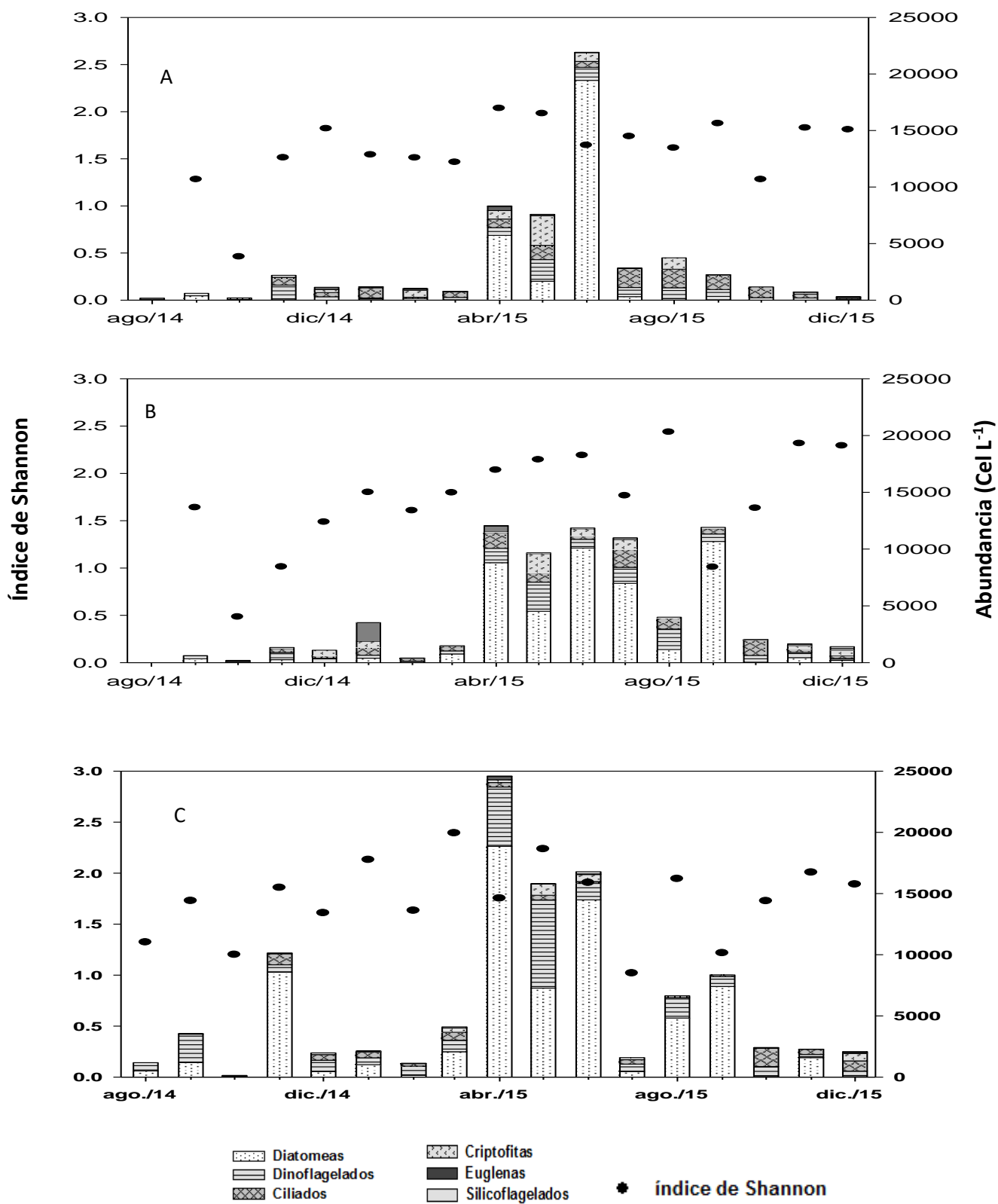


Figura 7. Índice de diversidad de Shannon para el exterior (A), intermedio (B), e interior (C) de BTS durante agosto de 2014 a diciembre de 2015.

7. Discusión

7.1.1. Condición de anomalías positivas de temperatura “El Blob” (2014)

7.1.2. Zona exterior de BTS

De acuerdo a Gómez-Ocampo, (2017) en la región costera y oceánica frente a Ensenada (línea 100 de CalCOFI) se registraron anomalías positivas de temperatura de $\sim 2^{\circ}\text{C}$ y anomalías positivas de salinidad de ~ 0.2 , estas condiciones anómalas coinciden con el lente de agua caliente y salada que se encontró en BTS con 22°C en superficie y 20°C a 25 m de profundidad, así como salinidad relativamente alta con valores de 33.6 a 33.55. La concentración de clorofila total se mantuvo por debajo de 1 mg m^{-3} , la fracción de clorofila que representa a las células de fitoplancton de tamaño menor y mayor se mantuvieron similares, sin embargo en invierno con mezcla vertical en la columna de agua se observó un ligero aumento en la clorofila total, y la fracción de clorofila que representa a las células de fitoplancton de tamaño menor fue dominante con presencia de diatomeas, dinoflagelados, criptofitas, euglenas, silicoflagelados y ciliados en mayor proporción. La abundancia celular en general fue muy baja, con mínimos en agosto de hasta 180 cel L^{-1} y máximos de $2,195 \text{ cel L}^{-1}$ en noviembre, para el periodo de agosto y septiembre las diatomeas del género *Chaetoceros* y dinoflagelados del género *Ceratium*, *Prorocentrum*, *Gyrodinium* y *Katodinium* fueron los grupos dominantes, mientras que en octubre dominaron los ciliados del género *Mironecta* y *Laboea*, en este mes el índice de diversidad de Shannon presentó el valor más bajo.

7.1.3. Zona intermedia de BTS

En la zona intermedia de la bahía se presentan las mismas condiciones de temperatura y salinidad elevadas que en la región exterior, de igual manera la concentración de clorofila total se mantiene por debajo de 1 mg m^{-3} y las fracciones de tamaño de clorofila se mantienen similares, dominados por diatomeas y dinoflagelados. En otras condiciones en la BTS se ha registrado la concentración más alta de clorofila durante la transición de invierno-primavera del 2008 con valores de hasta 16 mg m^{-3} , mientras que a partir del 2012 la clorofila

disminuyó a concentraciones inferiores a 5 mg m^{-3} (Sánchez-Bravo, 2016) en el invierno de 2014-2015 con mezcla vertical en la columna de agua, la clorofila aumentó ligeramente y la fracción de tamaño menor pasó a ser dominante con presencia de los cinco grupos fitoplanctoncitos, a pesar de esto la abundancia celular fue baja con mínimos de 200 cel L^{-1} en octubre, en este mismo mes el índice de biodiversidad fue bajo, la máxima abundancia celular se presentó en enero de 2015 con $3,523 \text{ cel L}^{-1}$.

7.1.4. Zona interior de BTS

En la zona interior de la bahía se presenta el mismo lente de agua caliente y salada, sin embargo se mantiene caliente durante más tiempo en la superficie, es decir de agosto a principios de diciembre, esto está relacionado a las condiciones de la bahía como su orientación y la presencia de la península de Punta Banda, creando las condiciones favorables para la retención de agua en el interior, lo cual provoca el calentamiento de las aguas superficiales por radiación solar (Calva-Chávez, 2014). La concentración de clorofila al igual que las regiones anteriores se mantiene por debajo de 1 mg m^{-3} , el grupo de fitoplancton dominante corresponde a las diatomeas y dinoflagelados, en esta región de la bahía la abundancia celular es mayor que en las regiones anteriores con máximos de $10,140 \text{ cel L}^{-1}$ en noviembre, al igual que en la región intermedia en octubre la abundancia celular baja con 280 cel L^{-1} , el índice de biodiversidad de Shannon mantuvo valores de 1, es decir se medió o moderado.

7.2. Eventos de surgencias en la bahía

Un análisis del índice de surgencia (CUI) tomado de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) en la región 33N 119W (Figura 8) indica valores altos para el periodo de primavera-verano de 2015, lo cual coincide con la intrusión de agua salada y fría durante primavera-verano que se observa en este estudio, lo que sugiere la entrada de surgencias a la bahía. Por otra parte Calva-Chávez, 2014 documentado que para BTS el índice de surgencia llega a alcanzar

valores de 100-150 m³ s⁻¹ por 100 m de litoral, con pulsos menos intensos que duran de 1 a 2 días.

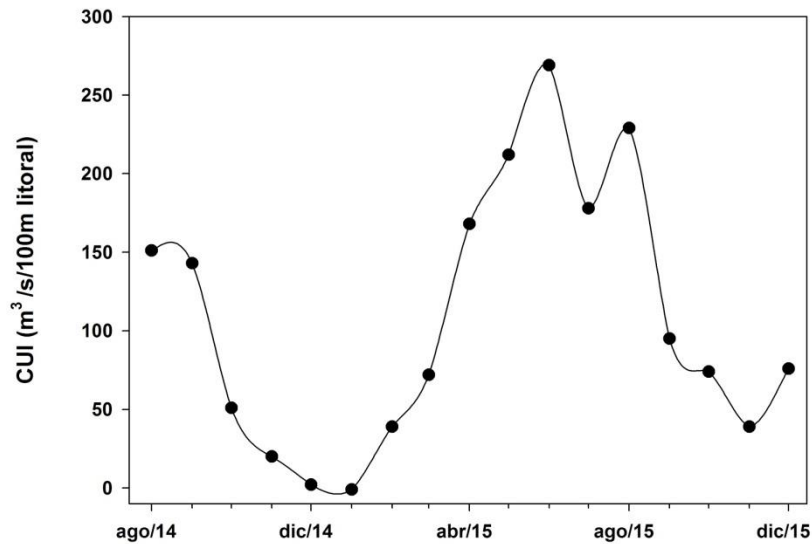


Figura 8. Índice de surgencia mensual 33N 119W.

7.2.1. Zona exterior de BTS

En la Bahía de Todos Santos se presentan surgencias costeras todo el año, siendo más intensas en primavera y verano (Calva-Chávez, 2014), esto coincide con lo encontrado en este estudio, se observa la entrada de agua fría de 11°C con salinidad de 33.55 a mediados de marzo a agosto, siendo más intensa de abril a junio donde la temperatura superficial fue de 14°C, mientras que en julio y agosto la surgencia fue menos intensa y no alcanza a llegar a los primeros 10 m de profundidad, en respuesta al evento de surgencia la biomasa de fitoplancton se ve reflejada en el aumento de clorofila en los meses de abril a junio, en abril y mayo la fracción de clorofila que representa a las células de tamaño pequeño es mayor, en estos meses el índice de biodiversidad fue alto, en abril la abundancia

celular es de 8,330 cel L⁻¹ mientras que para el mismo mes Cabrales-Talavera, (2010) en el 2008 reporta abundancias de hasta 408,800 cel L⁻¹ cerca de Bahía Salsipuedes. En el mes de junio se presenta la abundancia celular máxima de 21,000 cel L⁻¹ representado por diatomeas del genero *Nitzschia* la cual se ha descrito por tener especies competidores capaces de explotar las condiciones hidrográficas favorables (Reynolds, 1997; Nogueira *et al.*, 2000; Valencia-Vila, 2013), otras diatomeas presentes del genero *Thalassionema* y *Chaetoceros* poseen estrategias de aclimatación, de manera que pueden ser tolerantes o dependientes de las fluctuaciones del ambiente (Reynolds, 1997; Nogueira *et al.*, 2000; Valencia-Vila, 2013).

7.2.2. Zona intermedia de BTS

De forma similar a la región exterior se observa el periodo de surgencias correspondiente a primavera-verano, a diferencia del exterior la temperatura superficial varía de 14°C a 17°C, la concentración de clorofila se mantiene en 2 mg m³ de abril a julio, lo cual es menor que en la región exterior, en abril la clorofila que representa a la fracción de células de menor tamaño es mayor, la comunidad fitoplanctónica está dominada principalmente por diatomeas del género *Nitzschia*, *Thalassionema* y *Guinardia* con abundancias celulares de hasta 12,077 cel L⁻¹, Cabrales-Talavera, (2010) reporta para abril de 2008 abundancias celulares de hasta 102,000 cel L⁻¹ de diatomeas del género *Pseudonitzschia*, así mismo los hay presencia de los otros grupos en menor proporción con un índice de biodiversidad alto para este periodo de surgencias.

7.2.3. Zona interior de BTS

En la región interior de la bahía se observa que la entrada de la surgencia no llega a la superficie y se observa por debajo de los primeros 5 m de profundidad, en la parte superficial la temperatura oscila entre 17°C y 19°C, los valores más altos de clorofila total son en los meses de abril y mayo con 2.27 y 3.34 mg m⁻³ respectivamente, la fracción de clorofila de tamaño menor y mayor se mantiene similar, el grupo dominante es el de las diatomeas, entre las que destaca el género *Nitzschia* y *Haslea* la abundancia celular más alta fue de 24,600 cel L⁻¹ en abril, el

índice de biodiversidad es alto para los meses de marzo y mayo. En comparación con la región exterior e intermedia de la BTS la parte interior presentó abundancias celulares más altas, lo cual concuerda con las condiciones de acumulación de células fitoplanctónicas dentro de la bahía, Sánchez-Bravo, (2016) reporta que las abundancias celulares de la comunidad fitoplanctónica durante el 2015 fueron muy bajas comparadas con años anteriores, Peña- Manjarrez, (2008) reporta abundancias de dinoflagelados en el intervalo entre 10^4 a 10^6 cel L⁻¹ entre el 2002 y 2005, mientras que Cabrales-Talavera, (2010) reporta abundancias de diatomeas del género *Chaetoceros* de 408,800 cel L⁻¹ en el mes de abril de 2008.

7.3. Fenómeno El Niño (2015)

7.3.1. Zona exterior de BTS

A principios del 2014 se preveía que se produciría un fenómeno de El Niño en el invierno siguiente, sin embargo El Niño que se empezó a desarrollar fue restringido durante el verano por una supresión de la interacción océano-atmósfera causada por vientos anómalos del este en el Pacífico Ecuatorial Oriental, por tanto El Niño solo alcanzó una condición débil (Min *et al.*, 2015). En el verano del 2015, el fenómeno de El Niño llevó a una temperatura superficial del mar superior a la media en todo el Pacífico Ecuatorial, en noviembre de 2015 la anomalías en la temperatura superficial del mar fueron las más cálidas registradas en los últimos 13 años en la Corriente de California (Gómez-Ocampo *et al.*, 2017).

En la parte exterior de la bahía de mediados de julio a octubre se caracterizó por condiciones de estratificación vertical y temperaturas superficiales máximas de 21°C, en este periodo la clorofila total se mantuvo en 1mg m⁻³ y la fracción de clorofila que representa las células de fitoplancton de tamaño menor fue dominante, los ciliados fueron el grupo dominante durante todo el periodo posterior al evento de surgencias, además de la presencia de otros grupos como las criptofitas, las cuales juegan un papel importante debido a que la disponibilidad de criptofitas como fuente de alimento para el ciliado *Mesodinium* es importante para su crecimiento (Gustafson *et al.*, 2000). A su vez el ciliado *Mesodinium rubrum* juega un papel importante como parte de la alimentación de los dinoflagelados del

género *Dinophysis*, el cual presenta especies mixotróficas que necesitan adquirir cloroplastos de origen criptofito (Hackett *et al.*, 2003; Kim *et al.*, 2008; Sánchez-Bravo, 2016). Se ha identificado la presencia de ácido okadaico y sus derivados (OA y DTX) en diez especies de *Dinophysis* (Reguera *et al.*, 2012; Sánchez-Bravo, 2016) lo que la convierte en una especie con potencial nocivo. Tomando en cuenta que el ciliado *Mesodinium rubrum* se acumula en los frentes de surgencias en la región Sur de la Corriente de California (Almazán, 2007; Sánchez-Bravo, 2016) Sánchez-Bravo en el 2016 sugiere que las condiciones hidrográficas de BTS junto con la presencia del ciliado *Mesodinium rubrum* puede favorecer la acumulación de *Dinophysis sp* en la región, sin embargo en un mismo estudio realizado durante el 2014-2015 reporta una baja abundancia de *Dinophysis* en BTS asociada a condiciones ambientales anómalas con un frente de surgencia no tan intenso y un invierno cálido que ocasionaron la reducción importante de la abundancia fitoplanctónica. En noviembre y diciembre de 2015 la columna de agua presenta mezcla vertical con temperatura y salinidad mayor que el año anterior, en estos meses hay presencia de todos los grupos fitoplanctónicos y bajas abundancias celulares.

7.3.2. Zona intermedia de BTS

La zona intermedia presenta condiciones similares de temperatura y estratificación vertical que la región exterior, sin embargo la temperatura superficial entre agosto y septiembre es 1°C más caliente, en estos meses la clorofila total fue menor de 1 mg m³, en los meses posteriores la clorofila se mantiene en 1 mg m³, domina la fracción de clorofila de tamaño menor, durante los eventos de calentamiento como El Niño la comunidad de fitoplancton normalmente sufre un cambio de especies más grandes hacia comunidades dominadas por nano y pico-fitoplancton (Iriarte y González, 2004; Kosro *et al.*, 2006; Kudela *et al.*, 2006; Cavole *et al.*, 2016) lo cual concuerda con lo observado en BTS en los meses donde la fracción de clorofila que representa a células de fitoplancton de tamaño menor es dominante. En septiembre se presentó un aumento en la abundancia celular de 11,918 cel⁻¹ donde estuvo dominado por *Guinardia sp*, la cual es una diatomea con especies

tolerantes al estrés (Reynolds, 1997; Nogueira *et al.*, 2000; Valencia-Vila, 2013). El índice de biodiversidad fue alto para los meses de agosto, noviembre y diciembre donde hay presencia de los cinco grupos fitoplanctónicos.

7.3.3. Zona interior de BTS

En la región interior de la bahía la temperatura superficial fue 2°C más caliente que en la región exterior de julio a octubre de 2015, la clorofila total presenta bajas concentraciones y la fracción de tamaño menor y mayor se mantiene similar, dominan las diatomeas del género *Nitzschia* y *Guinardia*. En noviembre 2015 el índice de El Niño 3.4 indicó las anomalías más cálidas en la temperatura superficial del mar (Jacox *et al.*, 2016) lo cual coincide con las condiciones de temperatura cálida en la BTS. En noviembre y diciembre la columna de agua se encuentra bien mezclada y es 1°C más caliente que la región exterior e intermedia de la bahía, esta condición de calentamiento está asociado a debido a las condiciones de retención de la bahía mencionados anteriormente por Calva-Chávez, (2014), para estas condiciones de calentamiento la clorofila total se mantiene entre 1 mg m³ con la fracción de células de tamaño menor dominado, la abundancia celular es menor de 2,500 cel L⁻¹, el grupo de se presenta en mayor ciliados en mayor proporción que el resto de los grupos fitoplanctónicos presentes, el índice de biodiversidad fue medio. El ENSO transporta agua cálida y con mayor salinidad hacia la región de Baja California induciendo calentamiento en la capa superficial y un incremento en el nivel medio del mar (Durazo y Baumgarther, 2002; Hernández-Torre *et al.*, 2004). Este proceso hace más profunda la termoclina, como resultado se incrementa la estratificación en la columna de agua y por consecuencia la producción de fitoplancton disminuye (Chavez, 1996; Chávez *et al.*, 2002; Hernández-Torre *et al.*, 2004) esto se vio reflejado de manera particular de agosto a octubre con las altas temperaturas en la parte superficial y la estratificación de la columna de agua, y de noviembre a diciembre con mezcla en la columna de agua y temperatura y salinidad más alta que el 2014 en las tres regiones de la BTS.

8. Conclusión

Durante el periodo asociado a el aumento en la temperatura superficial del mar provocado por “El Blob” y El Niño, la abundancia celular de fitoplancton fue baja, de igual manera la clorofila presento niveles bajos de concentración, dominando principalmente la fracción de clorofila que representa a las células de tamaño menor (0.7 a 5 μm) respecto a la biomasa total.

En la época de invierno asociado a mezcla vertical en la columna de agua hubo presencia de los seis grupos fitoplanctónicos, en 2015 se observa la entrada de un invierno más cálido que el invierno de 2014.

Durante el periodo de surgencias en la bahía (primavera-verano) la comunidad fitoplanctónica aumento la abundancia celular, al mismo tiempo el grupo de las diatomeas fue el grupo dominante para las tres regiones descritas en este estudio.

La parte exterior de la bahía estuvo dominada por ciliados del genero *Mesodinium* sp en la mayor parte del periodo de estudio, además de encontrarse presente en menor proporción durante el periodo de calentamiento y estratificación vertical en la región intermedia e interior de la bahía.

En la región interior de la bahía las condiciones de calentamiento fueron más intensas, en esta región en particular la abundancia celular de fitoplancton fue más alta que en la región exterior e intermedia, el grupo dominante fue el de las diatomeas en todo el periodo de estudio.

9. REFERENCIAS

Almazán-Becerril, A. (2007). Características fisiológicas y composición pigmentaria de las comunidades fitoplanctónicas en la región sur de la Corriente de California (RSCC) y el Pacífico Nororiental Tropical (ENTP). Tesis de doctorado. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 139 p.

Bond, N. a, Cronin, M.F., Freeland, H., Mantua, N., 2015. Causes and impacts of the 2014 warm anomaly in the NE Pacific. *Geophysical Research Letters.*, 42, 3414–3420.

Cabrales-Talavera, G. (2010). Distribución espacial y temporal de diatomeas del género *Pseudo-nitzschia* sp y concentración de ácido domoico en la región de la Bahía de Todos Santos, B.C., México. Tesis de maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 124 p.

Calva-Chávez, M. A. (2014). Variación estacional y sinóptica de la trampa de surgencia en la Bahía de Todos Santos, B. C. Tesis de Maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 62p.

Cavole, L.M., A.M. Demko, R.E. Diner, A. Giddings, I. Koester, C.M.L.S. Pagniello, M.-L. Paulsen, A. Ramirez-Valdez, S.M. Schwenck, N.K. Yen, M.E. Zill, and P.J.S. Franks. (2016). Biological impacts of the 2013–2015 warm-water anomaly in the Northeast Pacific: Winners, losers, and the future. *Oceanography* 29(2):273–285.

Chávez, F.P. (1996). Forcing and biological impact of onset of the 1992 El Niño in central California. *Geophysical. Res. Letters.*, 23(3): 265–268.

Chávez, F.P., Pennington, J.T., Castro, C.G., Ryan, J.P., Mishisaki, R.P., Schlining, B., Walz, P., Buck, K.R., McFadyen, A. and Collins, C.A. (2002). Biological and chemical consequences of the 1997–98 El Niño in central California waters. *Prog. Oceanogr.*, 54(1–4): 205–232.

Cushman-Rosin B., Beckers J. M. (2009). Introduction to Geophysical Fluid Dynamics, Physical and Numerical Aspects. Academic Press.

Durazo, R. and Baumgartner, T.R. (2002). Evolution of oceanographic conditions off Baja California: 1997–1999. *Prog. Oceanogr.*, 54(1–4): 7–31.

Durazo, R., Gaxiola-Castro, G., Lavaniegos, B., Castro-Valdez, R., Gómez-Valdés, J., & Mascarenhas Jr, D. S. (2005). Condiciones oceanográficas frente a la costa occidental de Baja California, 2002-2003: Influencia de un El Niño débil y del incremento de agua subártica. *Ciencias marinas*, 31(3), 537-552.

Falkowski, P.G., & Knoll, A.H. (2007). *Evolution of Primary Producers in the Sea*. (1st ed). Academic Press.

Gustafson Jr, D. E., Stoecker, D. K., Johnson, M. D., Van Heukelem, W. F., & Sneider, K. (2000). Cryptophyte algae are robbed of their organelles by the marine ciliate *Mesodinium rubrum*. *Nature*, 405(6790), 1049.

Gómez-Ocampo, E., Gaxiola-Castro, G., Durazo, R., y Beier, E. (2017). Effects of the 2013–2016 warm anomalies on the California Current phytoplankton. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*.

García- Mendoza, E., D. Rivas., Olivos-Ortiz, A., Almazan-Becerril, A., Castañeda-Vega, C. y Peña-Manjarrez. (2008). A toxic *Pseudo-nitzschia* bloom in Todos Santos Bay, Northwestern Baja California, México. *Harmful Algae*.

Moita, V. Trainer, R. Kudela, P. Figueiras, T. Probyn (Eds.) IOC and SCOR, Paris and Baltimore. 82 pp.

Hackett, J., Maranda, L., Yoon, H., Bhattacharya, D. (2003). Phylogenetic evidence for the cryptophyte origin of the plastid of *Dinophysis* (Dinophysiales, Dinophyceae). *J. Phycol.*, 39 (2), 440–448.

Hernández-Becerril, D.U. (1993). Fitoplancton marino en México. In: Salazar-Vallejo, S.I. y N.E. González (Eds). Biodiversidad Marina y Costera de México. Com. Nal. Biodiversidad y CIQRO, México, 865 pp.

Hernández-Torre, B., Gaxiola-Castro, G., & Nájera-Martínez, S. (2004). ENSO effects on primary production off Baja California. *Ciencias Marinas*, 30(3), 427-441.

Iriarte, J.L., and H.E. Gonzáles. (2004). Phytoplankton size structure during and after the 1997/98 El Niño in a coastal upwelling area of the northern Humboldt Current System. *Marine Ecology Progress Series* 269:83–90.

Jacox, M. G., Hazen, E. L., Zaba, K. D., Rudnick, D. L., Edwards, C. A., Moore, A. M., & Bograd, S. J. (2016). Impacts of the 2015–2016 El Niño on the California Current System: Early assessment and comparison to past events. *Geophysical Research Letters*, 43(13), 7072-7080.

Kim, S., Kang, Y. G., Kim, H. S., Yih, W., Coats, D. W., Park, M. G., (2008). Growth and grazing responses of the mixotrophic dinoflagellate *Dinophysis acuminata* as functions of light intensity and prey concentration. *Aquatic Microbial Ecology*, 51, 301-310.

Kosro, P.M., W.T. Peterson, B.M. Hickey, and R.K. Shearman. (2006). Physical versus biological spring transitions: 2005. *Geophysical Research Letters* 33, L22S03.

Kudela, R.M., W.P. Cochlan, T.D. Peterson, and C.G. Trick. (2006). Impacts on phytoplankton biomass and productivity in the Pacific Northwest during the warm ocean conditions of 2005. *Geophysical Research Letters* 33.

Lynn, R. & Simpson, J. (1987). The California Current System: The seasonal variability of its physical characteristics. *Journal of Geophysical Research*, 92,

12,947–12,966. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Baja California. Facultad de Ciencias Marinas.

Magurran, A.E. (2004). *Measuring Biological Diversity*. Blackwell.

Mateos, E., Marinone, S. G., y Parés-Sierra, A. (2009). Towards the numerical simulation of the summer circulation in Todos Santos Bay, Ensenada, B. C. México. *Ocean Modelling* 27, 107-112.

Min, Q., Su, J. Zhang, R. & Rong, X. (2015). What hindered the El Niño pattern in 2014?. *Geophys. Res. Lett.*, 42, pp. 6762–6777.

Nogueira, E., Ibanez, F. y Figueiras, F.G. (2000). Effect of meteorological and hydrographic disturbances on the microplankton community structure in the Ría de Vigo (NW Spain). *Marine Ecology Progress Series*. 203: 23-45.

Peña-Manjarrez, J.L. (2008). *Ecología de Dinoflagelados Productores de Florecimientos en la Bahía de Todos Santos, Baja California*. Tesis de Doctorado en ciencias. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 196 p.

Peña, J.L., Helenes, J., Gaxiola, G., Orellana, E. (2005). Dinoflagellate cyst and Bloom events at Todos Santos Bay, Baja California, México, 1999-2000. *Continental Shelf Research*. 25, 1375-1393.

Pennington, J.T. y F.P. Chavez. 2000. Seasonal fluctuations of temperature, salinity, nitrate, chlorophyll and primary production at station H3/M1 over 1989-1996 in Monterey Bay, California. *Deep-Sea Res.* // 47:947-973

Rasmusson, E.M. and Wallace, J.M. (1983). Meteorological aspects of El Niño/Southern Oscillation. *Science*, 222: 1195–1202.

Rasmusson, E.M., Wang, X. and Ropelewski, C.F. (1990). The biennial component of ENSO variability. *J. Mar. Syst.*, 1: 71–96.

Reguera, B., Velo-Suárez, L., Raine, R., Myung, G.P. (2012). Harmful Dinophysis species: A review. *Harmful Algae*, 14, 87-107.

Reynolds, C. S. (1997). Vegetation processes in the pelagic: a model for ecosystem theory. En . Kinne O. E. (Ed.). *Excellence in ecology*. Ecology Institute. Oldendorf/Luhe. 371 pp.

Sánchez-Bravo, Y.A. (2016). Distribución espacio-temporal del dinoflagelado *Dinophysis fortii*, productor de toxinas lipofílicas en la Bahía de Todos Santos, Baja California, México. Tesis de maestría. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada. 119 p.

Schwing, F.B., Murphree, T., de Witt, L. and Green, P.M. (2002). The evolution of oceanic and atmospheric anomalies in the northeast Pacific during the El Niño and La Niña events of 1995–2001. *Prog. Oceanogr.*, 54: 459–491.

Strub, P.T. and James, C. (2003). Altimeter estimates of anomalous transports into the California Current during 2000–2002. *Geophys. Res. Lett.*

Troup, A.J. (1965). The “Southern Oscillation”. *Q. J. Roy. Meteorol. Soc.*, 91: 490–506.

Valencia-Vila, J. (2013). Variación estacional del fitoplancton en una estación nerítica del Canal de Mallorca (Mediterráneo Occidental): 2000-2001. Tesis de Doctorado. Universidad de Coruña. 306 p

Vázquez-Martínez, I. (2012). Respuesta del Fitoplancton a los Procesos Físicos de Mesoescala en el Sistema Frontal de Baja California Sur (SFBCS). Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional.

Wilkerson, F.P., R.C. Dugdale, R.M. Kudela and F. P. Chavez. 2000. Biomass and productivity in Monterey Bay, California: Contribution of the large phytoplankton. *Deep-Sea Res. II* 47: 1003-1022.

Sitios web consultados

<https://www.pfeg.noaa.gov/products/PFELData/upwell/monthly/upindex.mon> Sitio de la División de Investigación Ambiental de la Administración Nacional para el Océano y la Atmósfera de los Estados Unidos (ERS/NOAA) para obtener el índice de surgencia costera. (Consultado en junio de 2017).