

# Universidad Autónoma de Baja California

## Facultad de Ciencias Marinas



### Maestría en Oceanografía Costera

“Distribución espacio temporal del zooplancton en la Bahía Todos Santos y su potencial para estudios ecológicos”.

Tesis

para cubrir los requisitos necesarios para obtener el grado de  
Maestro en Ciencias

Presenta:

**Judith Estefanía León López**

Ensenada, Baja California, México  
2021

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

**DISTRIBUCIÓN ESPACIO TEMPORAL DEL ZOOPLANCTON EN LA BAHÍA  
TODOS SANTOS Y SU POTENCIAL PARA ESTUDIOS ECOLÓGICOS.**

**T E S I S**

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

**MAESTRO EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFÍA COSTERA**

**PRESENTA**

**JUDITH ESTEFANÍA LEÓN LÓPEZ**

Aprobada por:



---

Dra. Mary Carmen Ruiz de la Torre  
Director de tesis



---

Dra. Clara María Hereu  
Sinodal



---

M.C. Amara Thaydé Sánchez Nava  
Sinodal

## Resumen

Resumen de la tesis que presenta **Judith Estefanía León López** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ciencias en Oceanografía Costera.

“Distribución espacio temporal del zooplancton en la Bahía Todos Santos y su potencial para estudios ecológicos”.

Bahía Todos Santos (BTS) es una bahía semicerrada cuyas propiedades físicas están estrechamente ligadas a las del océano Pacífico adyacente. Estas propiedades influyen tanto en la abundancia y distribución de la comunidad zooplanctónica, como en la composición química de estos organismos. El zooplancton es considerado un importante eslabón en la cadena trófica entre el fitoplancton y diversos grupos de niveles superiores ya que además de ser fuente principal de energía para larvas recién eclosionadas, su contenido de ácidos grasos es un buen indicador de estrés ambiental y estacionalidad. Además, pueden promover la producción de metabolitos secundarios tóxicos que conducen a la proliferación de algas nocivas. Por lo que se analizaron un total de 36 muestras de zooplancton superficial de seis muestreos realizados entre diciembre de 2019 y febrero de 2021, abarcando las temporadas de otoño e invierno. Se identificaron un total de 22 grupos correspondientes a 10 filos. Se obtuvieron valores entre 0.56 y 1.19 del índice de Shannon para cada mes de muestreo. El más abundante de los grupos del zooplancton fue el de los copépodos, con un porcentaje de 71.49% respecto del resto del zooplancton en las dos temporadas muestreadas. La abundancia total de organismos varió considerablemente durante los muestreos, desde 811.54 org/m<sup>3</sup> en el mes de marzo de 2020 a 7362.39 org/m<sup>3</sup> en el mes de noviembre de 2020. Esto se debió a la presencia del fenómeno oceanográfico conocidos como “La Niña” que afecta las condiciones ambientales, en particular la temperatura y la disponibilidad de nutrientes. En general la temperatura en la bahía fue similar a la reportada en estudios anteriores, con promedios mínimos por muestreo de 13°C y máximos de 21°C. Sin embargo, en septiembre de 2020 se observó un aumento respecto al resto de los muestreos, siendo éste el mes más cálido, seguido de un descenso de 6°C hacia el mes de noviembre de 2020 y un descenso de 2°C del mes de noviembre a Febrero de 2021, siendo este último el que presenta las temperaturas más bajas de los seis muestreos. Los factores ambientales como la temperatura, salinidad, luz y disponibilidad de alimentos influyen en la composición bioquímica de los copépodos. Las concentraciones más altas de ácidos grasos se presentan en invierno y primavera. En este estudio se caracterizó la composición de ácidos grasos de los copépodos colectados en febrero de 2021, Los sitios en los que se presentaron las mayores concentraciones fueron las estaciones 5, 6 y 8 que son las que presentaron las temperaturas más bajas del muestreo.

**Palabras clave: Zooplancton, Bahía Todos Santos, ácidos grasos**

## **Dedicatoria**

Dedico esta tesis a:

A mis papás por ser dos pilares sin los que no podría mantenerme en pie.

A mis hermanos y a mis sobrinos por ser la inspiración para seguir adelante.

A la Dra. Mary Carmen por confiar en mí, aun en los días que ni yo misma lo hacía.

## **Agradecimientos**

A la Universidad Autónoma de Baja California (UABC).

Al Posgrado en Oceanografía Costera, de la Facultad de Ciencias Marinas (FCM).

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado para la realización de mis estudios de Maestría.

Desde el fondo de mi corazón, con mucho cariño y un profundo respeto quiero agradecer a la Dra. Mary Carmen Ruiz de la Torre por aceptarme en su equipo de trabajo, su paciencia, orientación y apoyo incondicional.

A la Dra. Clara Hereu por aceptar formar parte de mi comité, su apoyo en el proceso, por el tiempo que dedicó a enseñarme sobre el Bentos, pastos marinos, zooplancton y el trabajo en laboratorio.

A la M.C. Amara Thayde Sánchez Nava por formar parte de mi comité, por su ayuda en el análisis de muestras, sus sugerencias, asesoría y paciencia.

A la Secretaría de Mariana Armando de México (SEMAR). Segunda región naval. Estación de investigaciones oceanográficas (EIO) de Ensenada.

A Cap. Frag. SMAM. L. Ocean. Nidia Teresa Angulo Larios, jefa de la estación oceanográfica.

Al Tte. Nav. SMAM. L. Ocean. José Antonio Jiménez Quiñónes por su apoyo en el trabajo de campo, por su disposición para resolver dudas y compartir información que fue de suma importancia en mi trabajo.

Oceanólogo Gabriel López Castillo por su apoyo en la colecta de muestras.

A mi familia por su apoyo incondicional en cada paso que doy.

A mis compañeros de laboratorio por su apoyo, en especial a Víctor por escuchar los dramas y hacer más ligeros los días de trabajo con tu amplio gusto musical.

A Josseline por ayudarme a cuidar mis cultivos y por ser parte de mi curso intensivo de “como no mantener vivo un cultivo”.

A Noriko A. Caballero (Cariño) por ser mi equipo de soporte técnico y emocional y estar presente cuando más lo necesitaba.

A Nayeli Mora por siempre animarme a seguir adelante con tus mensajes de apoyo.

A Alex no hay palabras que puedan expresar mi agradecimiento, por alimentarme, acompañarme , apoyarme, cuidar de mí y mi familia y por estar presente en la parte más complicada del proceso y hacer que los momentos difíciles fueran más llevaderos.

A Genesis y Maricza por su amistad y apoyo, fueron el mejor equipo de estudio.

A todas aquellas personas que de una u otra forma participaron en el desarrollo de este trabajo.

## Índice

Resumen.....	3
Dedicatoria .....	4
Agradecimientos .....	5
Lista de figuras.....	9
Lista de tablas.....	10
1. Introducción .....	11
2. Antecedentes.....	13
3. Objetivos .....	17
3.1 Objetivo General .....	17
3.2 Objetivos particulares .....	17
4. Metodología.....	18
4.1 Área de estudio.....	18
4.2 Trabajo de campo.....	19
4.2.1 Estaciones de muestreo .....	19
4.3 Colecta para determinación de variables físico-biológicas.....	21
4.3.1 Perfiles de temperatura .....	21
4.3.2 Colecta de zooplancton.....	21
4.3.3 Medición de clorofila “a” .....	21
4.4 Trabajo de laboratorio y gabinete .....	21
4.4.1 Perfiles de temperatura .....	21
4.4.2 Cuantificación e identificación de los grupos del zooplancton.....	22
4.4.3 Determinación de la concentración de clorofila.....	23
4.4.4 Análisis de componentes principales (PCA) .....	23
4.4.5 Extracción de ácidos grasos.....	24

5.	Resultados.....	26
5.1	Análisis de las condiciones hidrográficas .....	26
5.1.1	Temperatura.....	26
5.2	Distribución y abundancia de grupos del zooplancton en Bahía Todos Santos 32	
5.2.1	Abundancia de copépodos muestreados el mes de Febrero 2021.....	37
5.3	Diversidad de los grupos de zooplancton en la Bahía Todos Santos .....	37
5.4	Variación temporal de la clorofila “a” .....	39
5.5	Análisis de componentes principales (PCA) .....	40
5.6	Identificación y cuantificación de los ácidos grasos del grupo de los copépodos presentes en el grupo de los copépodos del mes de febrero de 2021 en Bahía Todos Santos. ....	41
6.	Discusión .....	43
6.1.1	Análisis de las condiciones hidrográficas.....	43
6.1.2	Identificación y cuantificación de la comunidad del zooplancton en la Bahía Todos Santos.....	44
6.1.3	Determinación del perfil de Ácidos grasos de los copépodos.....	46
7.	Conclusión.....	49
8.	Referencias .....	50

## Lista de figuras

<i>Figura 1.</i> Mapa de la Bahía de Todos Santos mostrando la ubicación de las siete estaciones de muestreo.....	20
<i>Figura 2.</i> Temperatura superficial del mar en las estaciones de muestreo en Bahía Todos Santos, B.C. durante el periodo diciembre 2019- Febrero 2020. ....	26
<i>Figura 3.</i> Distribución vertical de temperatura en las siete estaciones muestreadas en Bahía Todos Santos, B.C. en el mes de Enero de 2020.....	28
<i>Figura 4.</i> Distribución vertical de temperatura en las siete estaciones muestreadas en Bahía Todos Santos, B.C. en el mes de Marzo de 2020.....	30
<i>Figura 5.</i> Distribución vertical de la temperatura en las cinco estaciones muestreadas en Bahía Todos Santos, B.C. durante el muestreo de Febrero de 2021. ....	32
<i>Figura 6.</i> Abundancia de los cuatro grupos funcionales dominantes del zooplancton colectado en seis muestreos realizados en Bahía Todos Santos, B.C durante el periodo diciembre 2019- febrero 2021. ....	34
<i>Figura 7.</i> Abundancia promedio de copépodos encontrado en las muestras colectadas únicamente en las estaciones 5 (Azul) y 8 (Naranja) colectadas en los seis muestreos en Bahía Todos Santos, B.C durante el periodo diciembre 2019- febrero 2021 dentro de la bahía de Todos Santos.....	35
<i>Figura 8.</i> Abundancia de los tres grupos principales del muestreo realizado en Bahía Todos Santos, B.C durante el mes de Noviembre 2020. ....	36
<i>Figura 9.</i> Densidad de los copépodos (Azul) de la Bahía de Todos Santos B.C. en relación con la densidad del resto del zooplancton (Naranja) de las estaciones E3,E5-E8 en el muestreo del 17 de Febrero de 2021.....	37
<i>Figura 10.</i> Variación temporal de la clorofila “a” (mg/m <sup>3</sup> ) en la Bahía de Todos Santos, B.C., durante el periodo Diciembre 2019-Febrero 2021. ....	39
<i>Figura 11.</i> Análisis de componentes principales (PCA) de los seis muestreos realizados en Bahía de Todos Santos, B.C., durante el periodo Diciembre 2019-Febrero 2021. ...	40

## Lista de tablas

Tabla I. <i>Relación de las estaciones de monitoreo para detectar posibles florecimientos algales y su posición geográfica.</i> .....	19
Tabla II. <i>Relación de los muestreos realizados en el periodo Diciembre 2019- Febrero 2021, ubicados en dos temporadas del año.</i> .....	20
Tabla III. Lista de grupos taxonómicos del zooplancton presentes en cada uno de los muestreos realizados en Bahía Todos Santos, B.C durante el periodo 2019-2021. ....	38
Tabla IV. Índice de Shannon ( $H'$ ) de los seis muestreos realizados en Bahía Todos Santos, B.C., durante el período diciembre 2019- febrero 2021. ....	38
Tabla V. <i>Contenido de ácidos grasos saturados (SFA), monoinsaturados (MUFAS) y poliinsaturados (PUFAS) de los copépodos obtenidos en el muestreo realizado en Bahía Todos Santos, B.C. durante el mes de Febrero 2021.</i> .....	42

## 1. Introducción

En los sistemas marinos, la comunidad zooplanctónica es considerada un importante eslabón en la cadena trófica ya que convierte y transfiere la energía del fitoplancton hacia los niveles tróficos superiores (Margalef, 1977). El grupo del zooplancton remueve parte del carbono contenido en el fitoplancton y lo transfiere en el plano vertical, a otros organismos que se benefician de él. El carbono se transfiere de forma activa, enriqueciendo con materia orgánica particulada las diferentes profundidades y de forma pasiva, a través de desechos fecales de distintas especies de este grupo, así como restos de cutícula y huevecillos que caen a diferentes velocidades dependiendo de su peso y tamaño (Lavaniegos-Espejo & Cadena-Ramírez, 2012). En la zona costera, la abundancia y distribución del zooplancton en general, está directamente relacionada con factores bióticos (competencia, depredación, disponibilidad de alimento) y abióticos (salinidad, turbidez y temperatura) (Magalhães *et al.* 2015).

El zooplancton está formado por una gran variedad de grupos, el zooplancton carnívoro es importante depredador de larvas de peces y juveniles (Alvariño, 1976), mientras que el zooplancton herbívoro es considerado como un reductor de la abundancia de fitoplancton por medio del pastoreo (Griffiths y Caperon, 1979). El grupo más abundante es el de los copépodos, que constituyen entre el 50 y el 80% del total de la abundancia del zooplancton, tanto en aguas oceánicas como costeras (Gasca *et al.*, 1996).

Los copépodos se alimentan selectivamente de presas “indefensas”, de forma que las especies de fitoplancton nocivas se ven favorecidas. Las especies de fitoplancton que producen toxinas responden a compuestos químicos liberados al medio marino por los copépodos, llamados copepodamidas. De este modo, la cuantificación de las copepodamidas en el agua puede servir para predecir la posible acumulación de microalgas tóxicas en los moluscos bivalvos, en especial en los que tienen un valor comercial (Trapp *et al.*, 2021).

Las copepodamidas se caracterizan por contener ácidos grasos presentes en la comunidad planctónica. El mayor porcentaje de ácidos grasos presentes en el

zooplancton están asociados al grupo de los copépodos. En cuanto a la composición y abundancia de ácidos grasos, hay una clara distribución estacional. Se presentan concentraciones más altas de ácidos grasos en el invierno y primavera a diferencia de las encontradas en las temporadas de verano y otoño (Gonçalves *et al.*, 2012).

Como los ácidos grasos son sensibles a los cambios en el medio, son buenos indicadores de estrés ambiental y de la estacionalidad, por lo que constituyen una herramienta útil como indicadores de contaminación ambiental. Además, al emplearlos como biomarcadores, permiten ver las relaciones tróficas en los ecosistemas acuáticos (Gonçalves *et al.*, 2012, Arts *et al.*, 2009).

En este trabajo se analizaron grupos del zooplancton presentes en la Bahía Todos Santos, durante el periodo Diciembre 2019 - Febrero 2021, con la finalidad de actualizar la información sobre la distribución y abundancia del zooplancton en la bahía, así como explorar el potencial ecológico de la composición de ácidos grasos de la comunidad de copépodos de la región, que en el futuro pueden ser utilizados en estudios relacionados con la ecología de los florecimientos algales nocivos como predictores de la ocurrencia de estos.

## 2. Antecedentes

Zooplankton es un término utilizado para describir el plancton heterotrófico, que vive en suspensión en la columna de agua y se compone de organismos herbívoros, carnívoros y omnívoros. Son importantes por su rol en la transferencia de materia y energía en la red trófica. Este grupo está influenciado por una gran cantidad de factores ambientales; prueba de ello es que no se distribuye aleatoriamente en los océanos y mares, su biodiversidad está limitada por parámetros como la temperatura, la batimetría y las corrientes de la superficie oceánica. La estructura de las comunidades planctónicas afecta profundamente la exportación de partículas y el secuestro de material orgánico y su metabolismo juega un papel clave en el reciclaje de carbono, nitrógeno y otros elementos (Bougis, 1976).

Las variaciones en las abundancias y composición del zooplankton en la Bahía Todos Santos (BTS), Baja California, responden a eventos estacionales. El calentamiento estacional del agua y los fenómenos de surgencia promueven la alta biomasa y densidad de zooplankton durante primavera y verano, mientras que los procesos de depredación por peces y la advección horizontal, así como la escasez de nutrientes y de fitoplancton son los principales factores limitantes del crecimiento de las poblaciones de zooplankton durante el otoño e invierno (Jiménez-Pérez, 1989).

La estructura general de la comunidad del zooplankton en BTS es relativamente estable a lo largo del año, con variaciones significativas solo en los grupos menos abundantes. Sin embargo, el decremento en las biomásas de zooplankton se hace evidente durante eventos de El Niño (Castro-Longoria, E. & Hammann, M.G., 1989).

Los copépodos son los crustáceos dominantes del zooplankton, en ocasiones llegan a alcanzar hasta el 90% de la biomasa total. Esto les confiere una gran importancia desde el punto de vista ecológico, ya que constituyen una de las principales fuentes de alimento de una gran variedad de animales marinos, entre ellos algunos peces de importancia económica como la anchoveta y la sardina (Hobson y Chess, 1976, Gasca *et al.*, 1996).

Los copépodos como pastoreadores sobre el fitoplancton son la vía principal de transferencia de materia y energía a los niveles tróficos superiores y tiene un rol fundamental en la transferencia de carbono a las capas profundas de la columna de agua. El fitoplancton es la comunidad de organismos autótrofos que vive en suspensión en la columna de agua y son de gran importancia en el funcionamiento de los ecosistemas acuáticos siendo el responsable de la mitad de la producción primaria del planeta. El consumo de fitoplancton por los copépodos afecta de manera significativa la biomasa, la composición específica, los tamaños dominantes y la dinámica del fitoplancton (Reynolds, 2006). Algunas estrategia de protección del fitoplancton contra el pastoreo, son la bioluminiscencia y la alteración en el nado. En estudios recientes se ha comprobado que tanto la toxicidad como la capacidad de bioluminiscencia de los dinoflagelados disminuyen en cultivos libres de copépodos, y ésta se puede restaurar en respuesta a señales químicas provenientes de los copépodos. Asimismo, se ha demostrado que en dinoflagelados como *Lingulodinium polyedra* y *Alexandrium tamarense*, se detectan cambios en la velocidad y dirección de nado después de tener contacto con las señales químicas de sus enemigos naturales (Lindström *et al.*, 2017).

Recientemente se ha documentado que los copépodos liberan señales químicas que desencadenan defensas en el fitoplancton unicelular, como una mayor producción de toxinas y cambios en el tamaño de las colonias. Se ha demostrado que cuando los copépodos son abundantes, las concentraciones de estos lípidos naturales llamados copepodamidas, inducen a las diatomeas formadoras de florecimientos algales nocivos, como *Pseudo-nitzschia*, a producir 10 veces más toxinas y a diatomeas formadoras de colonias, a reducir el tamaño de la colonia a la mitad (Selander *et al.*, 2019).

Los ácidos grasos son parte de los exudados que también sirven como advertencias tempranas de la presencia de depredadores. Tras el análisis de varias especies de copépodos se mostró que los copépodos calanoides marinos y ciclopoides de agua dulce contienen cantidades detectables de lípidos los cuales depende de diversos factores como son la dieta y de las propiedades específicas de la especie (Grebner *et al.*, 2019).

Los ácidos grasos son biomoléculas de carácter lipídico que se forman a partir de una cadena de hidrogeno y carbono lineal, de diferente longitud o número de átomos de carbono y en un extremo hay un grupo carboxilo. Realizan muchas funciones que son necesarias para una función normal y una buena salud. Existen varios tipos de ácidos grasos (saturados, monoinsaturados y poliinsaturados) y cada tipo cumple con distintas funciones. Los ácidos grasos saturados participan en la producción de energía, el almacenamiento de esta, el transporte de lípidos, la síntesis de fosfolípidos y esfingolípidos necesarios para la síntesis de membranas. Los ácidos grasos monoinsaturados también están involucrados en muchos de estos procesos y juegan un papel clave en el mantenimiento de la fluidez óptima de la bicapa lipídica de la membrana. Los ácidos grasos poliinsaturados tienen roles estructurales en las membranas biológicas y sirven como precursores de eicosanoides, además son cruciales en larvas recién eclosionadas ya que la sobre sobrevivencia de estas mejora notablemente cuando su dieta contiene estos ácidos grasos (Spector, 1999; Dantagnan & Izquierdo, 2007).

La deficiencia de ácidos grasos puede producir algunas alteraciones, en el crecimiento, la sobrevivencia, el comportamiento, la anatomía de la larva o ciertas alteraciones en los órganos internos. En la acuicultura cuando se han utilizado dietas formuladas que resultan insuficientes o inadecuadas para cubrir los requerimientos nutricionales durante la fase larvaria, ya que las larvas tienen una capacidad enzimática limitada por lo que se restringe su capacidad digestiva o porque simplemente no son capaces de ingerir los alimentos formulados. En estudios en los que se utilizan copépodos en las dietas se ha obtenido los mejores resultados ya que naturalmente contienen un perfil nutricional que satisface los requerimientos de las larvas de especies marinas. Sin embargo, tienen el inconveniente de ser difíciles de producir en el laboratorio y la producción a gran escala no está totalmente resuelta (Kleppel, 1993; Lazo, 2000).

Por lo anterior el estudio de los ácidos grasos presentes en los grupos de copépodos son relevantes para comprender la dinámica predador (zooplancton) y presa (fitoplancton) principalmente cuando están expuestos a la presencia de especies

fitoplanctónicas con potencial nocivo, así como para evaluar el potencial nutricional de este grupo como alimento para la acuicultura.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo General**

Caracterizar la variabilidad espacio-temporal de la comunidad del zooplancton en la Bahía Todos Santos durante el periodo diciembre 2019- Febrero 2021 y evaluar su potencial para estudios ecológicos tomando en cuenta el perfil de ácidos grasos de copépodos.

#### **3.2 Objetivos particulares**

- Identificación y cuantificación la comunidad del zooplancton en la Bahía Todos Santos, durante el periodo diciembre 2019- Febrero 2021.
- Determinación la relación entre los cambios en la composición de la comunidad zooplanctónica con las condiciones hidrográficas presentes durante el periodo de estudio.
- Determinación del perfil de ácidos grasos de los copépodos colectados en la zona costera de la Bahía Todos Santos.
- Caracterización del perfil de ácidos grasos de la comunidad de copépodos de Bahía Todos Santos y evaluar su utilidad para estudios ecológicos.

## 4. Metodología

### 4.1 Área de estudio

La Bahía Todos Santos (BTS) es una bahía semicerrada ubicada en la costa noroeste de Baja California en el límite sur de la Corriente de California por lo que los eventos de surgencia y los cambios en el flujo de esta corriente controlan la salinidad, temperatura y nutrientes en la columna de agua (Durazo *et al.*, 2010). BTS se encuentra alrededor de los 31° 48' N y 116° 42' W (*Figura 1*), tiene un área de ~ 180 km<sup>2</sup> con una profundidad promedio de 50 m en el 80% de su cuenca. Cuenta con dos entradas que la conectan al océano Pacífico, la entrada norte, entre isla Todos Santos y Punta San Miguel, tiene 12 km de ancho y menos de 40 metros de profundidad y la entrada sur se encuentra entre Isla Todos Santos y Punta Banda, tiene aproximadamente 6 km de ancho y ~350 m de profundidad por su topografía está asociada con un cañón submarino (Argote-Espinoza *et al.*, 1991; Mateos *et al.*, 2009).

La temperatura de las aguas de BTS varía estacionalmente. Durante el verano las aguas son más cálidas que las del océano adyacente mientras que en el invierno suelen ser de temperatura similar a las del océano. La temperatura superficial varía entre desde los 11.0°C en junio y máximos de hasta 21.4°C en agosto (Espinosa-Carreón *et al.*, 2001).

La circulación en la Bahía es resultado de la geometría del sitio, los movimientos influenciados por la Corriente de California y los vientos (Mateos *et al.*, 2009). Los vientos predominantes del noreste, presentes principalmente durante primavera y verano, llevan agua a la bahía desde la entrada norte. Además de influir en el flujo de la corriente de California (CC), los vientos favorecen a la generación de surgencias costeras debido al transporte de Ekman hacia afuera de la costa. Este transporte da como resultado un afloramiento de aguas frías, relativamente salinas y ricas en nutrientes durante todo el año, aunque la frecuencia y magnitud de los afloramientos en la costa son mayores en primavera y verano. Además el esfuerzo positivo del viento cerca del margen continental es un mecanismo que genera surgencias (Castro y Martínez, 2010). Además, en respuesta a la combinación del viento y la morfología de

la costa se generan remolinos que promueven un mayor tiempo de residencia de las aguas al interior de la bahía (Mateos *et al.*, 2009).

## 4.2 Trabajo de campo

El muestreo de zooplancton se llevó a cabo como parte de un convenio entre UABC-SEMAR para el Monitoreo para la detección de Florecimientos Algales Nocivos (FAN) a bordo de embarcaciones menores propiedad de Secretaría de Marina (SEMAR)-Estación de Investigación Oceanográfica (EIO) de la Segunda Región Naval. El área de estudio se dividió en siete estaciones distribuidas dentro de Bahía Todos Santos y cuya localización geográfica se presenta en la Tabla I. El muestreo se realizó en 6 ocasiones: 5-Diciembre-2019, 10-Enero-2020, 11-Marzo-2020, 30- Septiembre-2020, 25-Noviembre-2020, 17-Febrero-2021 para abarcar dos estaciones de año, otoño e invierno (Tabla II).

### 4.2.1 Estaciones de muestreo

Tabla I. *Relación de las estaciones de monitoreo para detectar posibles florecimientos algales y su posición geográfica.*

<b>Estación</b>	<b>Nombre</b>	<b>Latitud N</b>	<b>Longitud W</b>	<b>Profundidad de fondo (m)</b>
1	San Miguel	31° 53.86'	116° 44.22'	5
2	El Sauzal	31° 53.33'	116° 42.26'	6
3	El Papagayo	31° 51.67'	116° 39.59'	8
5	Centro Bahía	31° 49.00'	116° 45.00'	600
6	Maricultivos	31° 45.16'	116° 40.10'	10
7	El Naranja	31° 48.47'	116° 36.96'	5
8	Playa Municipal	31° 50.38'	116° 36.95'	5

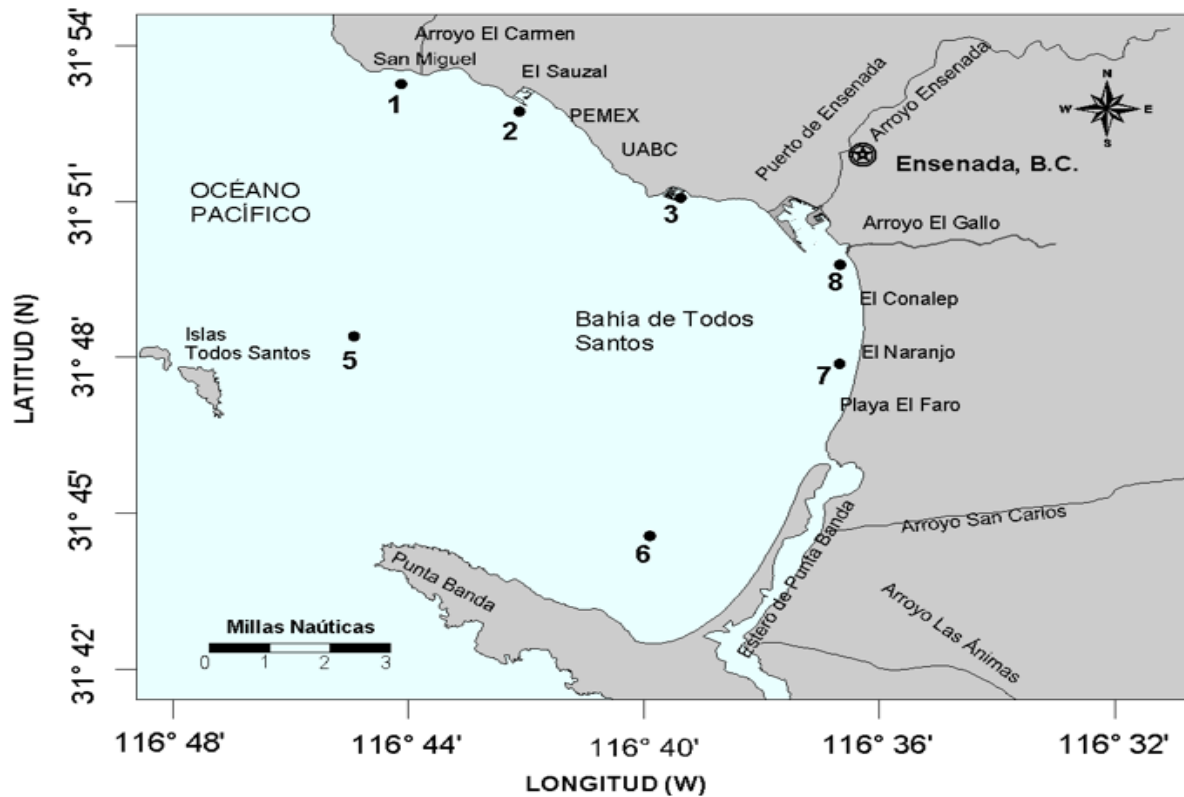


Figura 1. Mapa de la Bahía de Todos Santos mostrando la ubicación de las siete estaciones de muestreo.

Tabla II. Relación de los muestreos realizados en el periodo Diciembre 2019- Febrero 2021, ubicados en dos temporadas del año.

Fecha muestreo	Estación del año	Periodo estacional
5 Diciembre 2019, 30 Septiembre 2020 25 Noviembre 2020	Otoño	22 Septiembre al 21 de Diciembre
10 Enero 2020, 11 Marzo 2020, 17 Febrero 2021	Invierno	21 Diciembre al 20 de Marzo

### 4.3 Colecta para determinación de variables físico-biológicas

#### 4.3.1 Perfiles de temperatura

Durante los seis muestreos realizados se utilizó un medidor multiparámetro digital marca YSI, modelo 556MPS para medir conductividad, temperatura y profundidad. Los datos obtenidos fueron anotados en la bitácora para referencias futuras. Para obtener los perfiles de temperatura de los muestreos de invierno, se utilizó un CTD CastAway que se lanzaba a la profundidad de fondo aproximada de cada estación, los datos obtenidos de este equipo, estos fueron analizados posteriormente en el programa Excel.

#### 4.3.2 Colecta de zooplancton

Para la obtención de muestras, se realizaron arrastres superficiales con una red de 50 cm de diámetro y luz de malla de 150  $\mu\text{m}$ ; los arrastres fueron durante 5 minutos a una velocidad constante de 3 nudos. Las muestras colectadas en los lances fueron puestas en frascos de 1 Litro etiquetados y se colocaron en una hielera hasta su llegada al laboratorio.

#### 4.3.3 Medición de clorofila “a”

Estos datos fueron proporcionados por SEMAR- Estación de Investigación Oceanográfica de Ensenada.

##### 4.3.3.1 *Colecta de muestra para la medición de clorofila “a”*

Para la medición de clorofila “a”, las muestras se tomaron de superficie con una botella Niskin, posteriormente se transfirió aproximadamente un litro de agua de la botella a botellas ámbar de polietileno de alta densidad para evitar incidencia directa de la luz solar.

### 4.4 Trabajo de laboratorio y gabinete

#### 4.4.1 Perfiles de temperatura

La información obtenida con el perfilador CTD marca CastAway, se almacenan en la computadora que controla la unidad, lo cual genera un archivo para cada lance. Este archivo contiene la hora, fecha, posición geográfica, estatus de la unidad y la información del voltaje de los sensores (datos “crudos”). El primer tratamiento que se dio fue convertir los datos a un formato compatible con el programa Excel, donde se les

dio tratamiento. El tratamiento incluye los datos del descenso como del ascenso del instrumento. El siguiente paso fue seleccionar los datos de interés, en este caso solo los datos de temperatura y profundidad. Se utilizaron los datos únicamente de subida por la estabilidad de los mismos. Finalmente con estos datos se usaron para realizar gráficos de los perfiles de temperatura para los muestreos de invierno (Enero 2020, Marzo 2020 y Febrero 2021).

#### 4.4.2 Cuantificación e identificación de los grupos del zooplancton

Una vez en el laboratorio, mediante el método volumétrico y se fraccionó a la mitad la muestra de zooplancton: 50% se preservó con formaldehído al 4% neutralizado con borato de sodio para posteriormente realizar la identificación taxonómica; del 50% restante sin preservar se separaron los copépodos para la extracción de ácidos grasos y el resto de la muestra sin copépodos se descartó.

El análisis cualitativo y cuantitativo del zooplancton se realizó a nivel de grandes grupos taxonómicos, para lo que se obtuvieron alícuotas con una pipeta Stempel de 2 mL hasta contar alrededor de 600 organismos. La identificación taxonómica se realizó con un microscopio estereoscópico Marca Zeiss stemi 305, con ayuda de guías de identificación (Smith, 1977).

Para el cálculo de abundancia del zooplancton se utilizó el programa Microsoft Excel 2010. Para estimar la abundancia del zooplancton fue necesario realizar previamente una serie de cálculos empezando por el volumen de agua que pasó por la red, cuyo se obtuvo aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen filtrado} = (\pi) \cdot (r^2) \cdot (L)$$

Donde r es el radio de la boca de la red y L es la distancia recorrida por la red durante el arrastre y se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$L = \text{Velocidad} * \text{Tiempo de arrastre.}$$

Posteriormente se calculó la abundancia de organismos por metro cúbico con la fórmula:

$$\text{Abundancia Ind/m}^3 = (\# \text{Individuos del conteo} * \text{Volumen conocido/Volumen contado}) / \text{Volumen filtrado}$$

Para graficar los mapas de abundancia del zooplancton, se utilizó el programa Ocean Data View (Schlitzer, R., Ocean Data View, <https://odv.awi.de>, 2018.) para lo que generó una matriz de datos con las variables fisicoquímicas, los datos geográficos y las abundancias de los organismos.

Los datos de abundancia se trataron en el programa Excel, donde se elaboraron los gráficos correspondientes a la abundancia promedio de los organismos más abundantes de los seis muestreos

El cálculo del índice de diversidad de Shannon se realizó en el programa de estadística PAST ver. 4 (Hammer *et al.* 2001)

#### 4.4.3 Determinación de la concentración de clorofila

Para la medición de la concentración de la clorofila "a", se filtró un litro de agua de mar pasándola a través de filtros GF/F, de luz de malla de 0.7 µm, según el método descrito por Holm-Hansen *et al.*, (1965), modificado por Sorensen (1993)., Posteriormente, en el laboratorio se realizó la extracción de los pigmentos fotosintéticos, con 10 mL de acetona al 90 % en refrigeración y oscuridad. Después de 24 horas de extracción y tomando en cuenta el volumen de muestra filtrado, se leyó su fluorescencia en un fluorímetro marca Turner Designs en las instalaciones del Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada (CICESE), teniendo como base una curva de calibración elaborada con una solución estándar de clorofila "a".

#### 4.4.4 Análisis de componentes principales (PCA)

Una vez obtenidos los datos de las variables (abundancia de organismos, temperatura, profundidad, oxígeno disuelto y clorofila), estos fueron ordenados en una matriz en el programa excel para posteriormente realizar un Análisis de Componentes Principales (PCA), en el programa PRIMER 6 & PERMANOVA + (Anderson *et al.*, 2008).

#### 4.4.5 Extracción de ácidos grasos

La determinación de los perfiles de ácidos grasos se hizo mediante cromatografía de gases, únicamente con las muestras de las estaciones 3, 5-8 colectadas en febrero de 2021. La extracción de ácidos grasos se realizó mediante la técnica descrita por Parrish *et al.*, 2015, haciendo los ajustes necesarios de acuerdo a la cantidad de material biológico obtenido.

Para la extracción de ácidos grasos se utilizó el 50% de muestra de zooplancton reservada en frío y sin fijador para tal fin. De esta fracción se separaron únicamente los copépodos con una pipeta bajo el microscopio estereoscópico Marca Zeiss stemi 305. El material biológico colectado fue filtrado para retirarle el agua y con ello evitar el exceso de sal en la muestra; posteriormente se colocó dentro de un tubo Corning de 50 mL y se guardó en el congelador a una temperatura de -20°C hasta ser liofilizado. Una vez liofilizado se extrajeron pequeñas submuestras de 0.050 g. del material biológico y se colocaron en viales de 10 mL.

##### 4.4.5.1 *Transmetilación de ácidos grasos*

A cada vial se añadieron 5 mL de solución extractora (Metanol:Diclorometano:Ácido clorhídrico, 10:1:1 v/v/v.) y 50 µL de estándar interno (C19:0 FAME). Luego se colocó el vial en estufa a 85°C durante 2 horas y posteriormente se dejó enfriar a temperatura ambiente. Después de enfriar se añadieron 1.5 mL de agua MILI-Q, 1.5 mL de Hexano y 0.3 mL de diclorometano y se centrifugó durante 5 minutos a 2000 RPM para romper la fase. Se colocó la fase superior de hexano donde se encuentran los ácidos grasos (AGS) metilados y se transfirieron a un vial previamente pesado y calcinado. La extracción se repite dos veces.

##### 4.4.5.2 *Análisis de ácido grasos*

El extracto obtenido se inyectó en el cromatógrafo de gases marca AGILENT GC 7820A, equipado con un inyector split 25:1, una columna capilar AGILENT 122-2361 DB-23 60m x 0.250mm con un diámetro interno de 0.15mm.

Los picos se identificaron y cuantificaron con el software Agilent Technologies Chemstation mediante mezclas de estándares de ácidos grasos metilados marca Sigma-Adrich (FAMEMIX 37, PUFA1 y PUFA 3).

## 5. Resultados

### 5.1 Análisis de las condiciones hidrográficas

#### 5.1.1 Temperatura

Se observó un aumento en la temperatura del agua entre Enero y Septiembre de 2020 (Figura 2), siendo éste el mes más cálido, con una temperatura promedio de 21.43°C, seguido de un descenso drástico a una temperatura promedio de 15.25°C en el mes de Noviembre 2020. Sin embargo, las temperaturas más bajas se observaron en el muestreo de Febrero 2021 con una temperatura promedio de 13.36°C.

En el análisis espacial de la temperatura de todos los muestreos, la estación 5 (centro Bahía) es la más fría a lo largo del año con un valor promedio de 16.11°C, mientras que la estación 7 (El Naranjo) es la más cálida con un valor promedio de 16.57°C.

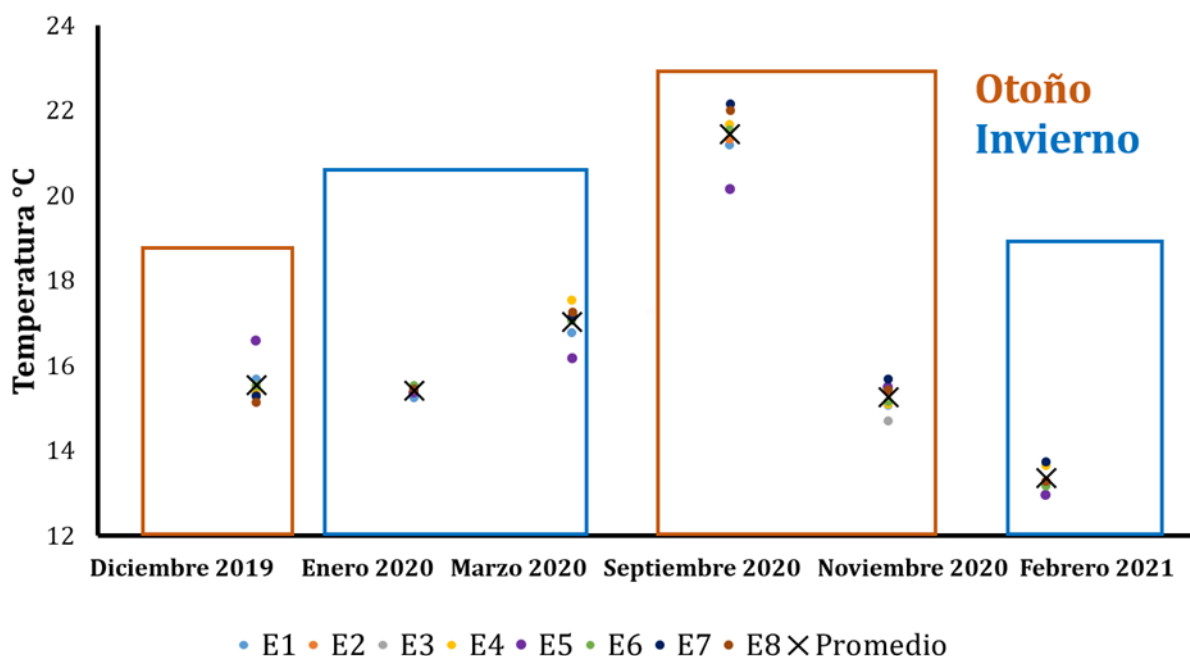


Figura 2. Temperatura superficial del mar en las estaciones de muestreo en Bahía Todos Santos, B.C. durante el periodo diciembre 2019- Febrero 2020.

Durante los meses de muestreo de invierno la temperatura superficial de la bahía vario entre los 15.16 y los 16.95 °C, el valor más alto corresponde al mes de Marzo y el más bajo al mes de Febrero 2021.

En la *Figura 3* se muestra el perfil de temperatura de siete estaciones del mes de Enero de 2020, en general se observa termalmente estratificado. La temperatura superficial tuvo un intervalo pequeño de variación de solo 0.31 °C. Los perfiles obtenidos abarcan desde la superficie a un mínimo de 6 metros (El naranjo) y el máximo de 21 metros de profundidad (Maricultivos). La temperatura disminuyo en la mayoría de las estaciones, a excepción de la estación 8 (Playa Municipal). Las estaciones 6 (Maricultivos) y 7 (El naranjo) la temperatura se mantuvo homogénea en la vertical, a diferencia de las estaciones 2 (El sauzal) y 8 (Playa municipal). La estación 8 mostro el mayor aumento en la temperatura de 15.34°C en superficie a 15.60°C a los 7.5 metros. Por el contrario la estación 2 tuvo una temperatura de 15.5°C en superficie y disminuyo a 15.11°C a los 8.5 metros de profundidad.

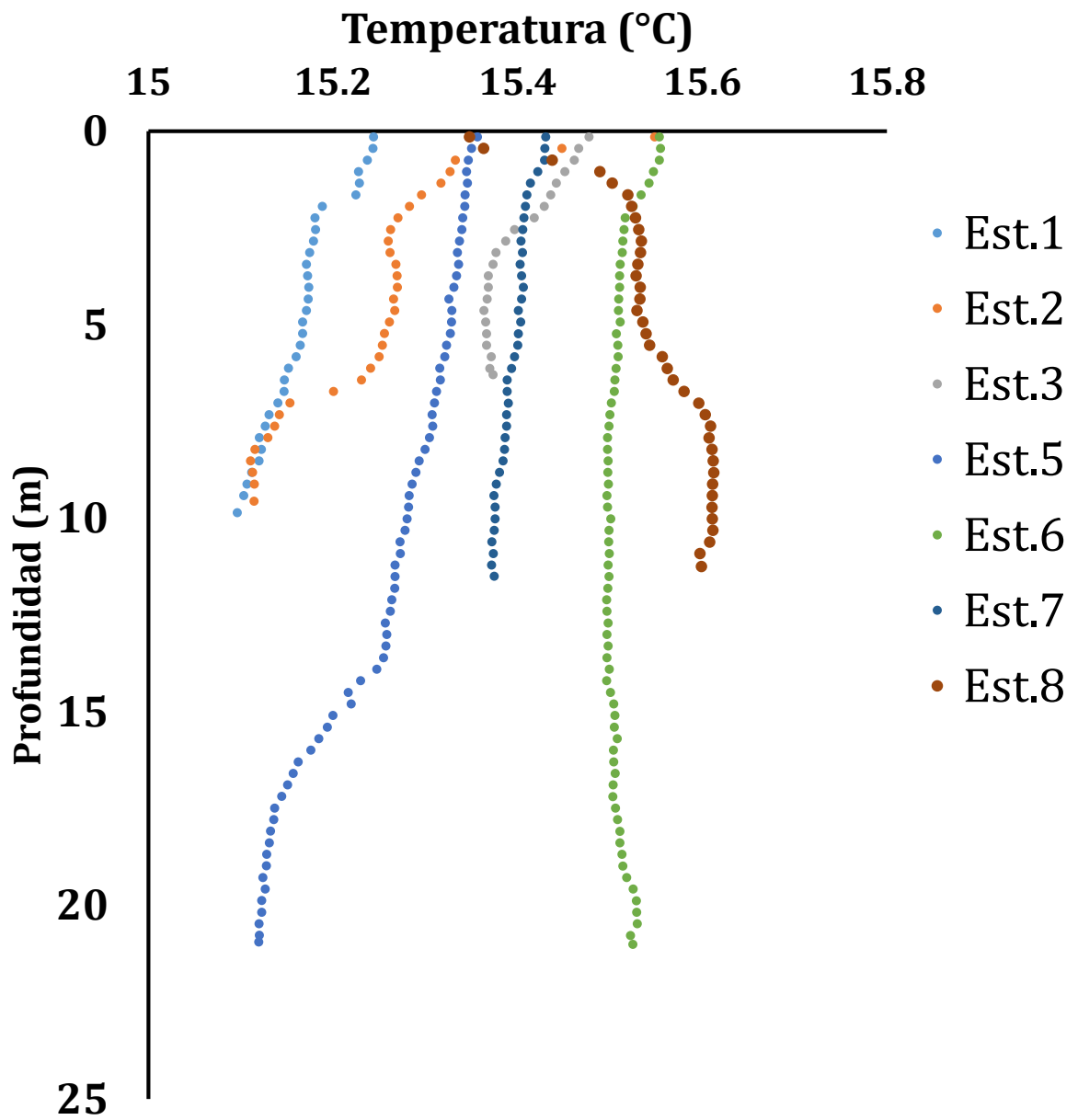


Figura 3. Distribución vertical de temperatura en las siete estaciones muestreadas en Bahía Todos Santos, B.C. en el mes de Enero de 2020.

En el mes de marzo de 2020 la temperatura superficial vario de 16.18°C a 17.24°C. El perfil de temperatura para el mes de marzo 2020 (*Figura 4*) muestra datos de la temperatura superficial a 7 metros en las estaciones 2 (El sauzal) ,7 (El naranjo) y 8 (Playa municipal) y la mayor profundidad de 28 metros se muestra en la estación 5 (Centro bahía). Los perfiles muestran estratificación y en general la temperatura disminuyo en todas las estaciones. La estación 2 es la que mostro mayor cambio, la temperatura varia 0.83 ° C de 17.15 ° en superficie a 16.32°C a 7 metros.

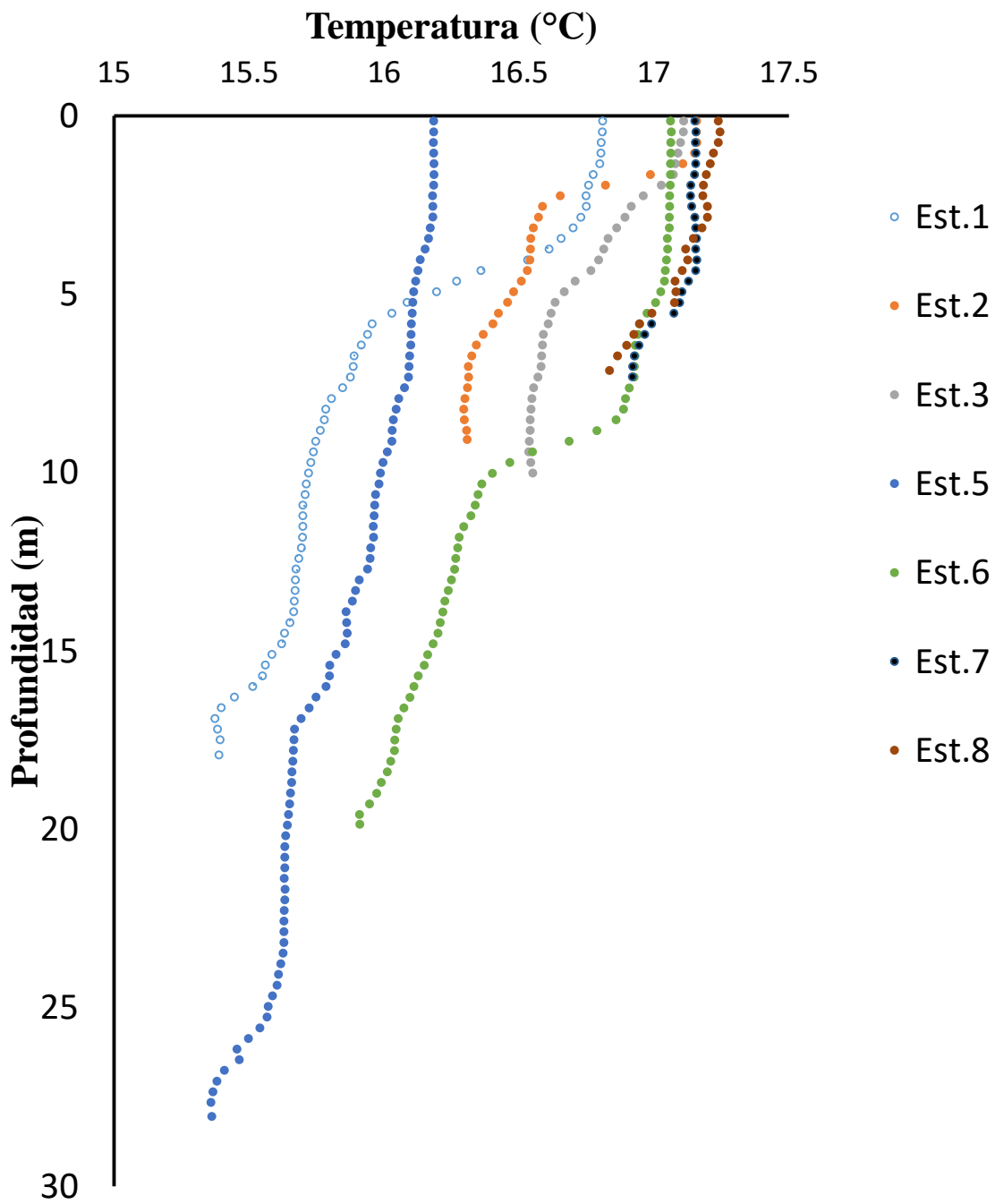


Figura 4. Distribución vertical de temperatura en las siete estaciones muestreadas en Bahía Todos Santos, B.C. en el mes de Marzo de 2020.

En el mes de febrero de 2021 la temperatura superficial vario  $0.74^{\circ}\text{C}$  de  $14.85^{\circ}\text{C}$  en la estación 5 (Centro Bahía) a  $15.59^{\circ}\text{C}$  en la estación 7(El naranjo). En el perfil de temperatura de febrero (*Figura 5*) se muestran cinco estaciones en las cuales la temperatura disminuyo, sin embargo los perfiles se ven mayormente homogéneos en la vertical. Muestra datos de la temperatura superficial a 9.8 metros en las estacione 8 (Playa municipal) y la mayor profundidad de 18.5 metros se muestra en la estación 5 (Centro bahía). La estación 5 es la que mostro mayor cambio, la temperatura varia  $1.14^{\circ}\text{C}$  de  $14.84^{\circ}\text{C}$  en superficie a  $13.70^{\circ}\text{C}$  a los 18 metros. La menor variación se observó en la estación 8 con  $0.24^{\circ}\text{C}$  de  $15.09^{\circ}\text{C}$  en superficie a  $14.82^{\circ}\text{C}$  a los 9 metros.

En cuanto a la temporada de otoño los datos se obtuvieron datos superficiales de los tres muestreos de esta temporada del año (Diciembre 2019, Septiembre 2020 y Noviembre 2020).

En estos meses se muestra un cambio drástico en la temperatura superficial de aproximadamente  $6^{\circ}\text{C}$  en la Bahía, en general Septiembre es el mes más cálido de las 2 temporadas (otoño e invierno) con una temperatura promedio de  $21.43^{\circ}\text{C}$ . Los meses de Diciembre 2019 y Noviembre 2020 tienen una temperatura promedio similar con  $15.53$  y  $15.25^{\circ}\text{C}$  respectivamente.

En cuanto a la distribución espacial de la temperatura superficial, la temperatura más alta ( $22.14^{\circ}\text{C}$ ) se registró en el mes de septiembre de 2020 en la estación 7 (El naranjo) y la más baja ( $14.69^{\circ}\text{C}$ ) en el mes de noviembre del mismo año en la estación 3 (El papagayo). En el mes de Septiembre hubo una variación de  $2.01^{\circ}\text{C}$  entre la estación más fría y la más cálida. La estación 7 (El naranjo) es la que presenta las temperaturas más altas, con un valor promedio de  $17.70^{\circ}\text{C}$  y la más fría se encontró en la estación 3 (El papagayo) con un valor promedio de  $17.15^{\circ}\text{C}$ .

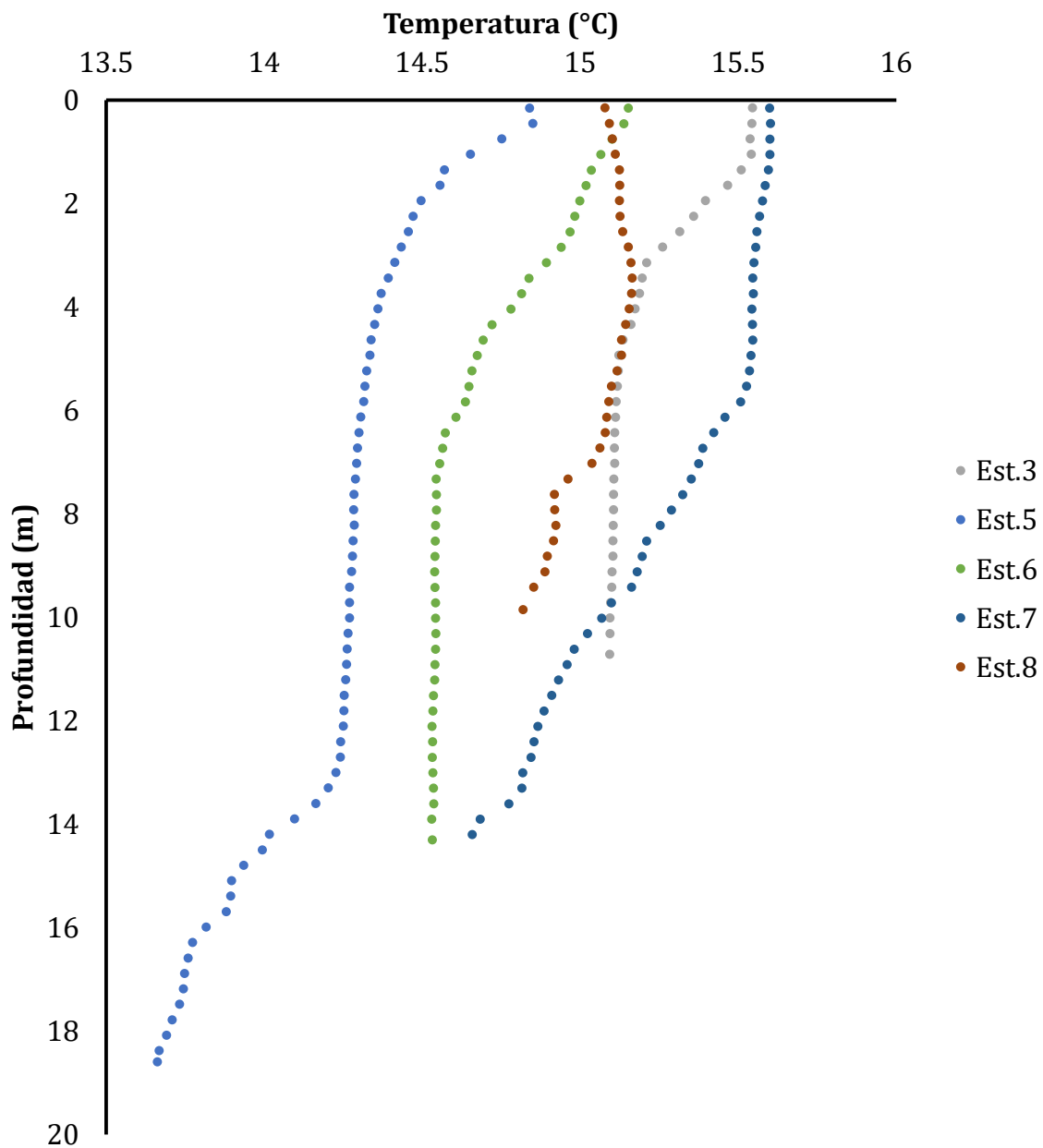


Figura 5. Distribución vertical de la temperatura en las cinco estaciones muestreadas en Bahía Todos Santos, B.C. durante el muestreo de Febrero de 2021.

## 5.2 Distribución y abundancia de grupos del zooplancton en Bahía Todos Santos

Las muestras de zooplancton se colectaron en siete estaciones, seis de las cuales son

costeras y abarcaron tanto el norte (San Miguel) como el sur (Punta Banda) de la bahía. Una estación en medio de la entrada norte de la bahía, ubicada entre Isla Todos Santos y San Miguel, nos sirve como referencia de las condiciones de la zona oceánica adyacente a nuestra área de estudio.

El 95.72% de la abundancia total está representado por cuatro grupos taxonómicos dominantes: Copépodos, Cladóceros, Larvas Cifonautas y Larvas nauplio (*Figura 6*). Los primeros dos taxones estuvieron presentes en todos los meses muestreados. Aunque las formas larvales estuvieron presentes en las dos temporadas, las larvas cifonautas únicamente se observaron en los meses de Diciembre 2019 y Enero 2020, mientras que las larvas nauplio se presentaron en Marzo 2020, Noviembre 2020 y en Febrero 2021. Los copépodos fueron el grupo más abundante en las dos temporadas con un porcentaje de 71.49% con respecto del resto del zooplancton identificado, mientras que los cladóceros, cifonautas y nauplios representaron 13.41, 2.39 y 8.43% respectivamente. El mes de Noviembre 2020 es el que presentó mayor abundancia total de organismos con 7362.39 org/m<sup>3</sup> y la menor abundancia de organismos totales se obtuvo en el mes de Marzo 2020 con tan solo 574.34org/ m<sup>3</sup>. En la misma figura se resaltan con un asterisco dos muestreos (marzo y septiembre) ya que en estos dos meses no fue posible muestrear en todos los puntos. En el caso de marzo se rompió la red en la estación 1 ubicada en San Miguel por lo que solo se lanzó en cinco estaciones (1, 5-8) y en septiembre se obtuvieron muestras en las estaciones 2 (Sauzal) ,5 (Centro Bahía) y 8 (Playa municipal). Para ver el comportamiento de la abundancia del zooplancton en todos los meses muestreados, se compararon todos los muestreos únicamente con las estaciones que se repitieron todos los meses (*Figura 7*), que son las que corresponden al Centro de la Bahía (estación 5) y la Playa municipal (estación 8). Para esto, se consideró el grupo más abundante que fueron los copépodos, para el cual se observó una mayor abundancia en el mes de Noviembre 2020 con 2591.28 org/m<sup>3</sup> y tan solo 147.10 org/m<sup>3</sup> en el mes de marzo 2020.

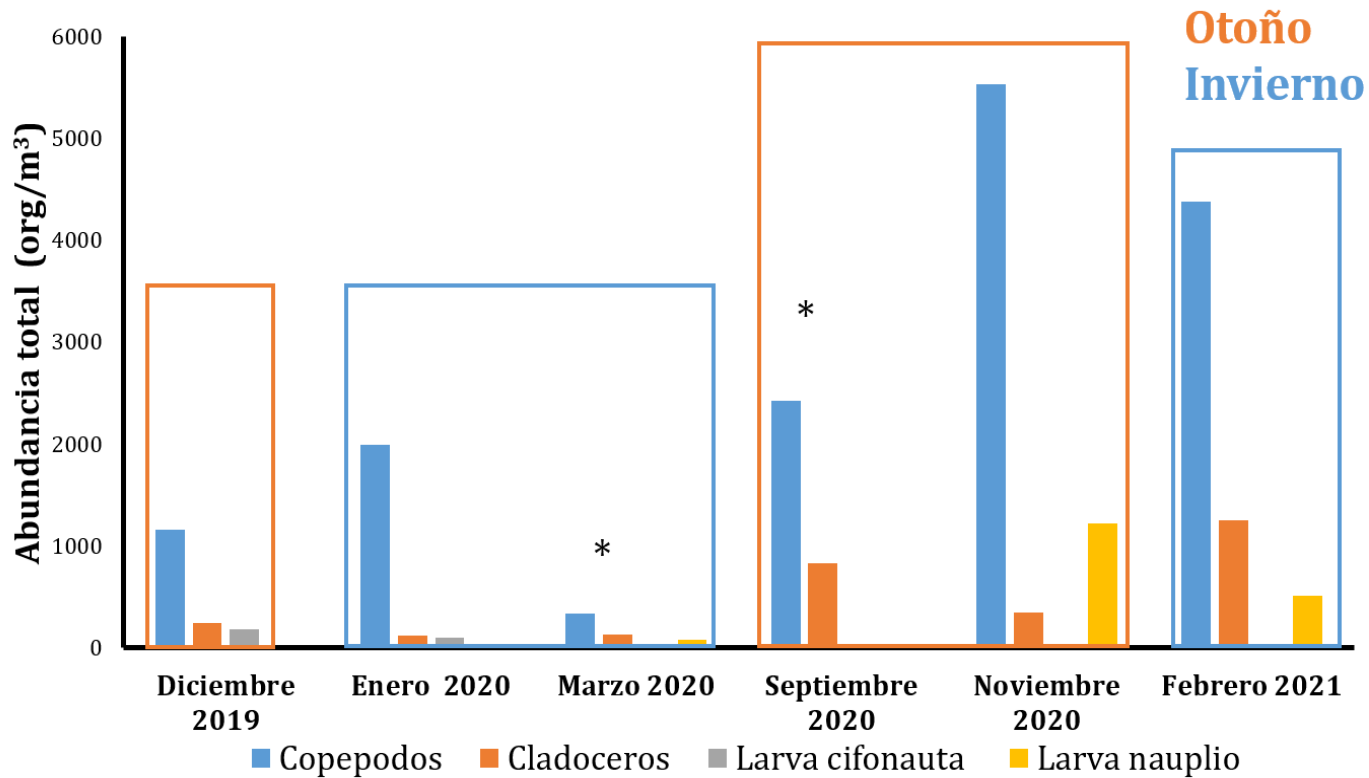
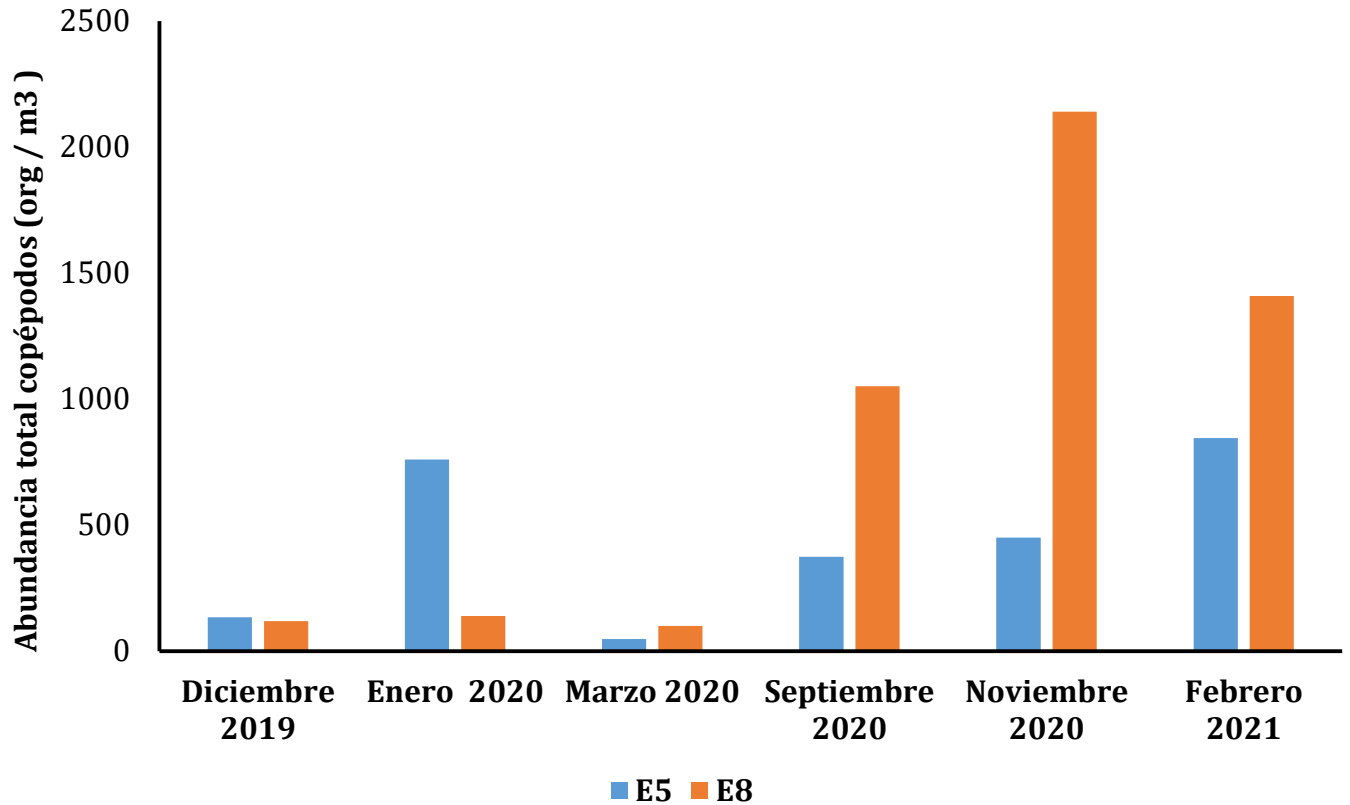


Figura 6. Abundancia de los cuatro grupos funcionales dominantes del zooplancton colectado en seis muestreos realizados en Bahía Todos Santos, B.C durante el periodo diciembre 2019- febrero 2021.

\* En los muestreos de Marzo 2020 y Septiembre 2020, no fue posible realizar la colecta de muestra en las siete estaciones.

Con respecto a la distribución espacial del zooplancton durante el período Diciembre 2019- Febrero 2021 en Bahía Todos Santos, se encontró que la estación 8 (Playa municipal) presentó la mayor abundancia total de org/ m<sup>3</sup>, seguida de la estación 5 (centro de la Bahía) con valores de 5579.78 y 4190.00 org/ m<sup>3</sup>, respectivamente. Las estaciones con menor número de organismos fueron la 3 (El Papagayo) y la 1 (San Miguel) con valores de abundancia de 890 y 2400 org/ m<sup>3</sup>, respectivamente.



*Figura 7.* Abundancia promedio de copépodos encontrado en las muestras colectadas únicamente en las estaciones 5 (Azul) y 8 (Naranja) colectadas en los seis muestreos en Bahía Todos Santos, B.C durante el periodo diciembre 2019- febrero 2021 dentro de la bahía de Todos Santos.

La abundancia en org/m<sup>3</sup> con los mayores valores de todos los muestreos fue Noviembre (*Figura 8*). El grupo de los copépodos (*Figura 8A*) tuvo mayor presencia frente a la Playa Municipal (estación 8) con 2250 org/m<sup>3</sup> y las menores abundancias se presentaron en las estaciones El papagayo (estación 3) y El naranjo (estación 7) con 215 y 232 org/m<sup>3</sup>, respectivamente.

Las larvas nauplio (*Figura 8B*) fueron el segundo grupo más abundante en el muestreo de noviembre, tienen un pico de abundancia en el centro de la Bahía (estación 5) de 1000 org/m<sup>3</sup> mientras que el resto de las estaciones fluctuó entre 15 y 100 org/m<sup>3</sup>.

El tercer grupo más abundante del mes de Noviembre corresponde a los cladóceros (Figura 8D) con abundancias entre 100 org/ m<sup>3</sup>, en San Miguel (estación 1) y 19 org/m<sup>3</sup> en la estación del centro de la Bahía (estación 5).

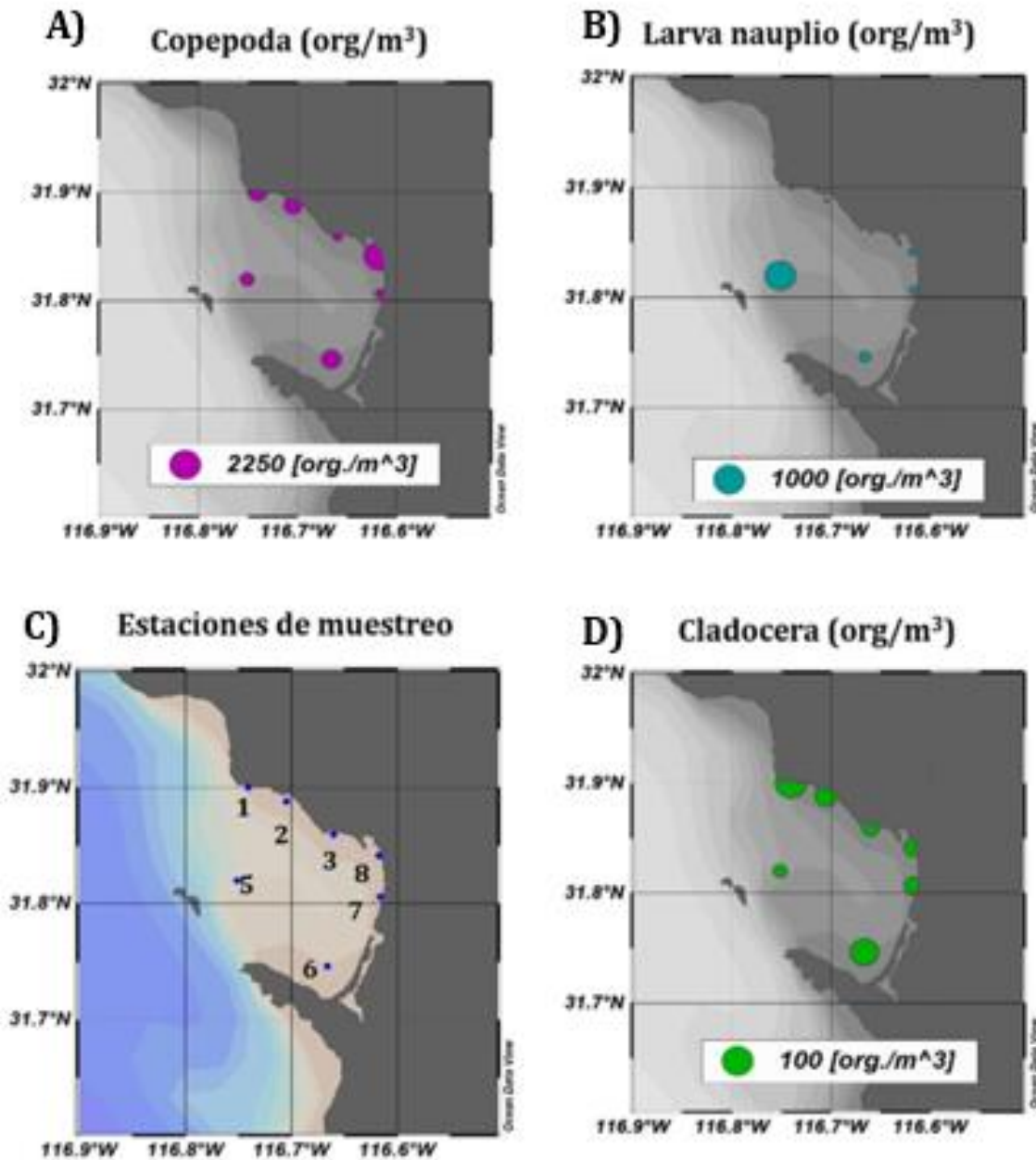
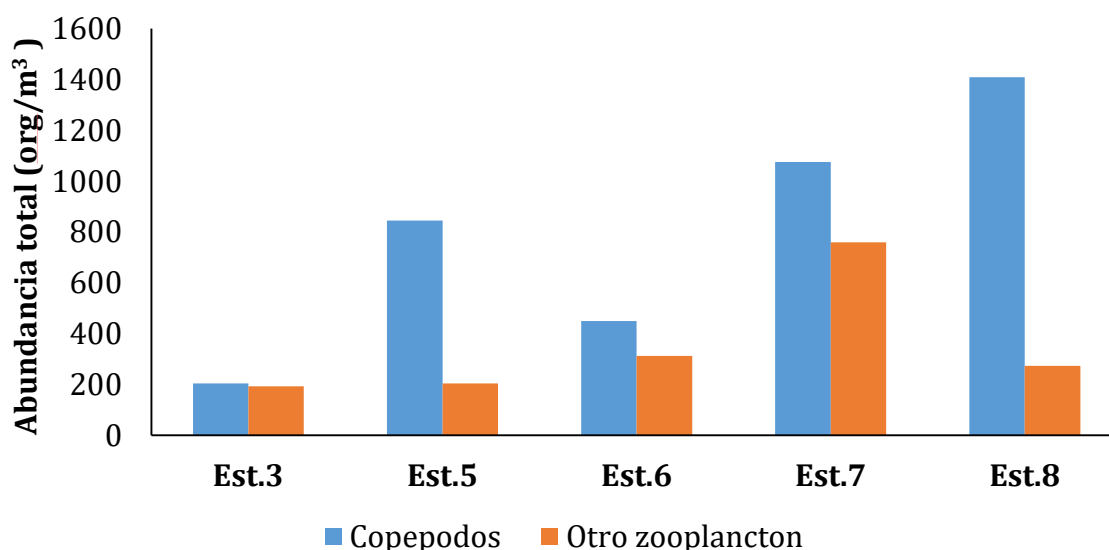


Figura 8. Abundancia de los tres grupos principales del muestreo realizado en Bahía Todos Santos, B.C durante el mes de Noviembre 2020.

### 5.2.1 Abundancia de copépodos muestreados el mes de Febrero 2021.

La extracción de ácidos grasos se realizó con las muestras obtenidas en el muestreo del 17 de Febrero de 2021, con los copépodos de las estaciones 3 (El papagayo), 5 (Centro Bahía), 6 (Maricultivos), 7 (El naranjo) y 8 (Playa Municipal).

En Febrero se observó una abundancia total del zooplancton de 5722.64 org/m<sup>3</sup>, como se observa en la *Figura 9*, donde en general en este muestreo más del 50% del zooplancton pertenece al grupo de los copépodos. Con respecto a la distribución espacial del zooplancton en la estación 8 (playa municipal) es la que presenta la mayor abundancia de copépodos con 1409.43 org/m<sup>3</sup> que equivale al 84% del zooplancton muestreado. Las estaciones con menor número de copépodos son la 3 (El papagayo) y 6 (Maricultivos) con 203.94 y 449.65 org/m<sup>3</sup> respectivamente.



*Figura 9.* Densidad de los copépodos (Azul) de la Bahía de Todos Santos B.C. en relación con la densidad del resto del zooplancton (Naranja) de las estaciones E3,E5-E8 en el muestreo del 17 de Febrero de 2021.

Est.3- El Papagayo, Est.5- Centro Bahía, Est.6- Maricultivos, Est.7- El Naranjo, Est.8- Playa Municipal

### 5.3 Diversidad de los grupos de zooplancton en la Bahía Todos Santos

Se identificaron 22 grupos correspondientes a un total de 10 filos del zooplancton (Tabla III) en los seis muestreos realizados. Para cada muestreo se calculó el índice de diversidad de Shannon. Como se muestra en la Tabla IV se obtuvieron valores entre

0.56 hasta 1.19 para el índice de diversidad, estos valores no presentan gran variabilidad, pero indican una comunidad relativamente poco diversa. El mes de Marzo con 1.19 tiene el valor más alto de este índice, sin embargo, el mes de Diciembre es el que cuenta con el mayor número de taxones identificados con un índice de Shannon de 1.15, Enero tiene el valor más bajo del índice con 0.56 pero los meses con menor número de grupos identificados son Septiembre y Febrero con un índice de Shannon de 1.04 y 0.91 respectivamente.

Tabla III. *Lista de grupos taxonómicos del zooplancton presentes en cada uno de los muestreos realizados en Bahía Todos Santos, B.C durante el periodo 2019-2021.*  
(+) Presencia (-) Ausencia.

<i>Phylum</i>	<i>Taxa</i>	Diciembre 2019	Enero 2020	Marzo 2020	Septiembre 2020	Noviembre 2020	Febrero 2021
Annelida	Polychaeta (larva)	+	+	+	+	+	+
Arthropoda	Cladocera	+	+	+	+	+	+
	Decapoda (zoea)	+	+	+	+	+	+
	Euphausiacea	+	+	+	+	+	-
	Amphipoda	+	-	+	-	-	-
	Mysida	+	-	+	-	-	-
	Copépoda	+	+	+	+	+	+
	Ostrácoda	+	+	+	+	+	+
	Larva nauplio	-	-	+	+	+	+
Bryozoa	Larva cifonauta	+	+	+	+	+	+
Chaetognatha	Chaetognatha	+	+	+	+	+	+
Chordata	Appendicularia	+	+	+	+	+	+
	Thaliacea (Doliolida)	+	-	-	-	+	-
	Thaliacea (Salpa)	+	-	-	-	-	-
	Pisces (Larva de pez)	+	+	+	-	-	-
	Pisces (Huevo de pez)	+	+	+	+	+	+
Cnidaria	Medusas	+	-	+	-	+	+
Ctenophora	Ctenophora	+	-	+	-	+	-
Echinodermata	Larva ophiopluteus	+	-	+	-	-	-
Mollusca	Bivalvia	+	+	-	-	-	-
	Gastropoda	+	+	+	+	+	+
Platyhelminthes	Platelminto (Larva)	-	-	-	-	+	-

Tabla IV. Índice de Shannon ( $H'$ ) de los seis muestreos realizados en Bahía Todos Santos, B.C., durante el período diciembre 2019- febrero 2021.

Muestreo	$H'$
Diciembre 2019	1.15
Enero 2020	0.56
Marzo 2020	1.19
Septiembre 2020	1.04
Noviembre 2020	0.85
Febrero 2021	0.92

#### 5.4 Variación temporal de la clorofila “a”

La clorofila “a” presentó una concentración promedio máxima de 2.73 mg/m<sup>3</sup> el mes de Marzo de 2020 y mínima de 1.24 mg/m<sup>3</sup> en Enero de 2020 (Figura 10). La mayor variabilidad en los valores de clorofila “a” ocurrió en Septiembre 2020, con valores entre de 0.25 mg/m<sup>3</sup> en la estación 6 (Maricultivos) hasta 5.79 mg/m<sup>3</sup> en la estación 8 (Playa municipal). La estación con mayor concentración promedio de clorofila “a” fue la estación 7 (El naranjo) con 3.21 mg/m<sup>3</sup> y la menor concentración promedio fue 1.33 mg/m<sup>3</sup> en la estación 5 (Centro Bahía).

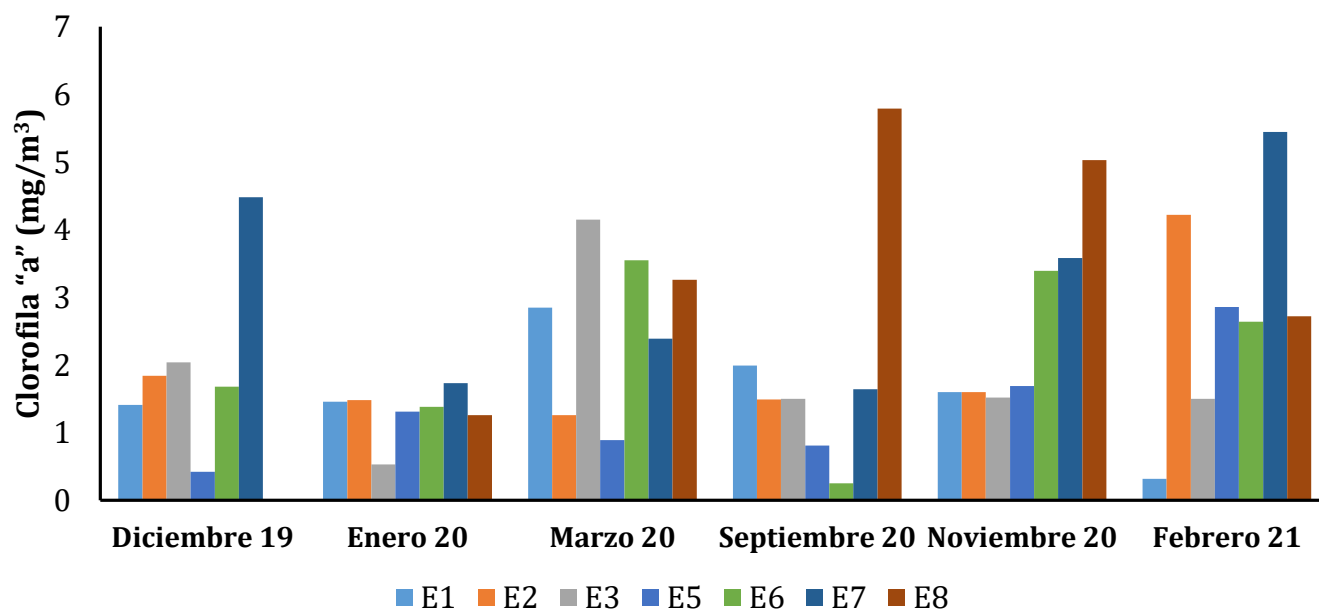


Figura 10. Variación temporal de la clorofila “a” (mg/m<sup>3</sup>) en la Bahía de Todos Santos, B.C., durante el periodo Diciembre 2019-Febrero 2021.



## 5.6 Identificación y cuantificación de los ácidos grasos del grupo de los copépodos presentes en el grupo de los copépodos del mes de febrero de 2021 en Bahía Todos Santos.

En la Tabla V se muestran los ácidos grasos identificados en las cinco estaciones muestreadas. Los ácidos grasos saturados fueron los más abundantes con un valor promedio de 75.38%. La estación 5 (Centro Bahía) presenta el mayor porcentaje de ácidos grasos saturados con el 87.8%, seguida de la estación 8 (Playa municipal) con 78.1%, la estación 7 (El naranjo) es la que presenta el menor porcentaje de contenido de ácidos grasos saturados con 66.3 %.

Dentro de los ácidos grasos saturados los más abundantes fueron el ácido palmítico (C16:0) y el (C13:0), estos presentaron los mayores porcentajes en todas las estaciones muestreadas.

Tabla V. *Contenido de ácidos grasos saturados (SFA), monoinsaturados (MUFAS) y poliinsaturados (PUFAS) de los copéodos obtenidos en el muestreo realizado en Bahía Todos Santos, B.C. durante el mes de Febrero 2021.*

Contenido de grasa	g/100g	g/100g	g/100g	g/100g	g/100g
ID	FAN 3	FAN5	FAN6	FAN7	FAN8
<b>Fatty acids</b>					
C13:0	34.0	26.4	20.9	18.2	18.8
C14:0	5.1	12.6	9.8	8.5	10.3
C15:0	0.8	1.0	1.0	1.1	1.2
C16:0	22.2	36.6	35.1	31.1	37.2
C18:0	6.0	11.1	9.7	7.5	10.6
$\Sigma$ SFA	68.2	87.8	76.5	66.3	78.1
C14:1		0.5	0.4	0.5	0.7
C16:1n7	2.7	2.1	3.4	2.7	4.6
C18:1n9	3.5	3.3	5.9	4.9	3.7
C18:1n7	1.8	1.1	2.0	2.3	2.4
C24:1	nd	nd	2.7	2.0	2.8
$\Sigma$ MUFAS	8.0	7.0	14.5	12.4	14.2
C16:2N4	1.2	1.2	1.2	1.4	1.8
C16:3N4	0.6	0.7	0.7	0.8	0.8
C18:2n6	1.4	nd	1.5	1.7	1.0
C18:3n3	0.8	nd	0.7	0.9	nd
C18:4n3	1.1	nd	0.7	1.0	nd
C20:5n3	8.0	0.3	2.0	6.4	1.7
C22:6n3	10.4	2.4	2.3	9.1	2.4
$\Sigma$ PUFAS	23.5	4.6	9.1	21.3	7.7
NID	0.3	0.6	1.6	0.0	0.0
$\Sigma$ total	100.0	100.0	101.6	100.0	100.0

## 6. Discusión

La Bahía Todos Santos tiene una dinámica muy compleja que tiene un efecto en la oceanografía biológica del sistema. El presente trabajo pretende describir la variabilidad espacio-temporal de la comunidad del zooplancton y su potencial para estudios ecológicos mediante el perfil de ácidos grasos de copépodos, así como los factores relevantes que dan lugar a dicha variabilidad. En esta sección primero se discute sobre los datos obtenidos de dos temporadas del año, otoño e invierno, las características hidrográficas, la variabilidad espacio-temporal del zooplancton y finalmente de la determinación del perfil de ácidos grasos y su relación con los estudios ecológicos.

### 6.1.1 Análisis de las condiciones hidrográficas

El presente estudio se observaron temperaturas muy similares a las reportadas anteriormente (Torres *et al.*, 2006), la temperatura máxima promedio  $\sim 21^{\circ}\text{C}$  se observó en Septiembre 2020 y la mínima promedio de  $\sim 13^{\circ}\text{C}$  en Febrero de 2021. La presencia de los fenómenos oceanográficos conocidos como “El Niño” y “La Niña”, afectan las condiciones ambientales, en particular la temperatura y con esta la disponibilidad de nutrientes (García-Cuellar, 2001). Según la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos (NOAA, por sus siglas en inglés) la segunda mitad del año 2019 los valores del Índice Océanico Niño (ONI) corresponden a valores de una fase neutra del evento por lo que la temperatura no tuvo variaciones significativas y se mantuvo así hasta el mes de Septiembre de 2020 que superaron el umbral asociado a la fase Niña, esta anomalía la podemos relacionar con la disminución drástica de la temperatura del mes de septiembre a noviembre de 2020 que fue de  $\sim 8^{\circ}\text{C}$ . El muestreo de Febrero de 2021 fue el que presentó la temperatura superficial más baja del periodo de muestreo esto corresponde a que este muestreo es parte de la temporada de invierno, sin embargo, podemos también asociarlo a que el fenómeno de la niña persiste hasta Junio del año 2021.

La temperatura superficial en Bahía Todos Santos tuvo variaciones significativas a lo largo del periodo de muestreo. Mientras que a nivel espacial la temperatura superficial promedio en las temporadas de otoño e invierno, manifestó poca

variación entre estaciones, de menos de 1°C, lo que corresponde con lo reportado para la bahía (Delgadillo-Hinojosa *et al.*, 2015). La estación más fría fue la 5 (Centro BTS) que se ubica en medio de la entrada norte de la bahía entre la Isla Todos Santos y Punta San Miguel, esto debido a que es la que tiene mayor influencia del océano adyacente y las mayores profundidades al ser la estación más lejana a la costa en comparación al resto de las estaciones muestreadas. Por lo que esta estación se considera un punto de referencia de las condiciones externas de la bahía.

### **6.1.2 Identificación y cuantificación de la comunidad del zooplancton en la Bahía Todos Santos**

La información de la distribución espacio-temporal del zooplancton en Bahía Todos Santos es escasa (Jiménez-Pérez, *et al.*, 1989; Castro-Longoria, 1989; Jiménez-Pérez, 1989), por lo que los datos arrojados en el presente estudio pueden servir como una actualización de la información que se tiene del sitio. La identificación taxonómica a nivel de grandes grupos se realizó mediante taxonomía convencional, sin embargo en futuros estudios es necesario acompañarla de una identificación más precisa con ayuda de técnicas moleculares. En este estudio se realizaron muestreos en la zona costera de Bahía Todos Santos en las temporadas de otoño e invierno (2019-2021).

La composición y distribución espacial del zooplancton varía a lo largo del año, en respuesta principalmente a los patrones de circulación local o regional y por procesos oceanográficos que determinan las características fisicoquímicas y biológicas de la columna de agua (Jiménez-Pérez, 2007). En diversos estudios de diferentes partes del mundo así como en el presente trabajo, uno de los grupos más abundante del zooplancton es el de los copépodos (Lavaniegos *et al.*, 2010; Giraldo & Gutiérrez, 2007; Hernández-Nava, 2011; Jiménez-Pérez *et al.*, 2013), en este caso los copépodos representan más del 50% de la abundancia total en todos los muestreos de las temporadas de otoño e invierno, lo cual corresponde con lo citado en la literatura. El 95% de la abundancia total estuvo representado sólo por cuatro grupos, a diferencia de estudios previos en los que el mismo porcentaje se ve representado por ~ocho grupos diferentes (Castro-Longoria, 1989; Jiménez-Pérez, 1989), ambos estudios se realizaron bajo condiciones de año niño, mientras que el presente trabajo abarco el

inicio de un año niña débil. En el caso del estudio de Castro-Longoria, 1989 el segundo grupo más abundante fue el de los quetognatos, seguido de las larvas de eufausidos y los cladóceros. Según Jiménez-Pérez, 1989, el segundo grupo más abundante fueron los sifonóforos y se reportan valores de abundancia alrededor de los 10,000 org/m<sup>3</sup> y mínimos de 3,000 org/m<sup>3</sup>. En este trabajo el grupo de los eufausidos y sifonóforos representa solo un pequeño porcentaje de la abundancia total y la abundancia se encuentra en valores inferiores a los reportados en los trabajos antes mencionados. Respecto a la diversidad de la comunidad, es muy similar a los estudios de Castro-Longoria, 1989; Jiménez-Pérez, 1989, a excepción del grupo de los cumaceos que no se encuentran en el presente estudio. Esto podría ser resultado de las diferencias en la media de la red de muestreo, tanto la luz de malla como el diámetro de la boca fueron diferentes a los utilizados en este trabajo, además de que en este estudio solo se tomó muestra de la superficie.

Si bien en el presente estudio no fue posible resolver con detalle la variación estacional debido a que no se muestreó en cada temporada del año, en general el patrón temporal de abundancia de zooplancton encontrado en se apega a los descritos anteriormente (Jiménez-Pérez, 1989; Castro-Longoria, 1989). Estos autores encontraron que los valores de abundancia tienen sus picos máximos en la temporada de verano, disminuyen hacia el otoño pero en noviembre se detecta un ligero aumento, después de eso la abundancia tiende a disminuir nuevamente hasta presentar los valores más bajos en el invierno. De manera similar, nuestros datos arrojaron que en la temporada de otoño, en el mes de noviembre 2020 se registraron los valores más altos (7,362.39 org/m<sup>3</sup>) de abundancia mientras que los valores más bajos (811.54 org/m<sup>3</sup>) se alcanzaron en el mes de marzo 2020 de la temporada de invierno. La disminución de la abundancia en las temporadas de invierno se atribuye al agotamiento de los nutrientes por la actividad del fitoplancton y al efecto combinado de la disminución de la temperatura y la baja incidencia de luz solar llega a suprimir la actividad del fitoplancton.

Se realizó un análisis de componentes principales para saber qué factores están mayormente relacionados a la abundancia del zooplancton a lo largo del periodo diciembre 2019-Febrero 2021. En este análisis se consideraron factores ambientales

como clorofila, oxígeno, profundidad y temperatura, los cuales responden a la variabilidad del océano adyacente (Espinosa-Carreón *et al.*, 2001). Los resultados arrojaron que, como se esperaba el zooplancton está relacionado mayormente con el oxígeno y la clorofila. Es posible estimar la biomasa de fitoplancton a partir de los valores de clorofila “a” por dicha razón se esperaba que los valores de abundancias de zooplancton estuvieran mayormente relacionadas con la clorofila “a” ya que el fitoplancton es el alimento natural del zooplancton (Gaxiola-Castro *et al.*, 2010). Con respecto a la distribución espacial, es también como se esperaba, asociada a los valores de clorofila y oxígeno.

En cuanto a la diversidad del zooplancton, se espera que sea mayor durante la temporada de invierno según lo reportado en estudios anteriores (Spinelli *et al.*, 2016; Jiménez-Pérez, 2007), relacionado con la concentración de clorofila “a”, favoreciendo la coexistencia de más especies. En los periodos de primavera y verano se registran valores altos de radiación y temperatura, que afecta a las tasas de comportamiento y de mortalidad en las comunidades del zooplancton. Con base en el índice de Shannon calculado para los datos de este estudio (Tabla 4), no es posible tener una clara diferencia en las temporadas de otoño e invierno. El valor mínimo y máximo del índice fueron los que se reflejaron en los muestreos de enero de 2020 y marzo de 2020, respectivamente. Ambos muestreos pertenecen a la temporada de invierno, sin embargo el muestreo correspondiente a marzo de 2020 está relacionado a valores de temperatura y clorofila más altos respecto a los obtenidos para el muestreo de Enero de 2020.

### **6.1.3 Determinación del perfil de Ácidos grasos de los copépodos.**

En el presente estudio la extracción de ácidos grasos se llevó a cabo con organismos colectados el mes de Febrero de 2021 que pertenece a la temporada de invierno, y en particular fue el mes más frío de los meses muestreados entre Diciembre 2019- Febrero 2021, ya que las concentraciones de los distintos grupos de ácidos grasos pueden variar a lo largo del año con valores altos de ácidos grasos en invierno y primavera a diferencia de las encontradas en los muestreos de verano y otoño (Gonçalves *et al.*, 2012). En el presente estudio los mayores porcentajes de ácidos

grasos correspondieron a los ácidos grasos saturados, especialmente en las estaciones 5 (Centro Bahía), 6 (Mariculivos) y 8 (Playa Municipal) que son las estaciones con las temperaturas más bajas. Por su sensibilidad los ácidos grasos son buenos indicadores de estrés ambiental y estacionalidad, además son importantes porque representan la principal fuente de energía para las larvas recién eclosionadas (Gonçalves *et al.*, 2012; Dantagnan & Izquierdo, 2007).

Los copépodos son una alternativa de alimento vivo para las larvas de peces y crustáceos marinos de importancia comercial, ya que estos son su alimento natural y cuentan con un alto contenido de proteína, lípidos y principalmente de ácidos grasos esenciales que son indispensables para el desarrollo larval (Cazares-Salazar, 2014). Sin embargo son difíciles de cultivar en laboratorio y la producción a gran escala no está del todo resuelta (Lazo, 2000). Para este trabajo se hicieron pruebas preliminares y se corroboró la dificultad del cultivo de copépodos, y se recomienda alimentarlos con una combinación de dos o más microalgas ya que esto puede mejorar su desarrollo, debido a que de la combinación de estas puede complementar las deficiencias nutricionales de cada microalga (Cazares-Salazar, 2014). También se recomienda evaluar los ácidos grasos en cultivos alimentados con ciertas microalgas de la región. En las zonas costeras de Baja California, las especies de fitoplancton más abundantes pueden llegar a ser nocivas *Lingulodinium polyedrum* y *Pseudo-nitzschia* (Peña-Manjarrez, 2008; Horta-García, 2020). Estas microalgas son productoras de metabolitos secundarios, y su producción puede verse afectada por las copepodamidas producidas por los copépodos. Las copepodamidas se caracterizan por contener ácidos grasos tales como los descritos en este trabajo para la comunidad de copépodos de la BTS en invierno. Por lo que la caracterización de los ácidos grasos en BTS, y en particular los que conforman las copepodamidas, permitiría entender su papel en la formación de FAN recurrentes en la BTS. Algunos de los efectos descritos para estos compuestos químicos son que favorecen los fenotipos de menor tamaño de microalgas y promueven la producción de metabolitos secundarios tóxicos que conducen a la proliferación de algas nocivas. Lo que puede ser un factor pasado por alto en la formación de florecimientos de algas nocivas (Selander *et al.*, 2019).

La utilización de las muestras solo del mes de febrero de 2020 se debe a que inicialmente se hicieron pruebas preliminares con los copépodos de la zona para la extracción de lípidos, pero debido a que se requería mas muestra de la que se podía obtener, se estableció un cultivo sin embargo, no fue posible mantenerlo de manera exitosa. Finalmente se tomó la decisión de realizar la extracción de ácidos grasos, debido a que el protocolo se ajustaba de una mejor manera a la cantidad de muestra que se podía obtener de los arrastres.

En futuros estudios, para la extracción de ácidos grasos se recomienda seguir el protocolo implementado en el presente estudio ya que no requiere una gran cantidad de material biológico. Para observar la variación temporal y espacial de estos, se recomienda realizar muestreos de manera periódica en todas las temporadas del año.

## **7. Conclusión**

Este trabajo muestra una actualización sobre la distribución espacio-temporal del zooplancton en la Bahía Todos Santos, su abundancia y relación con la dinámica de la bahía, durante el periodo diciembre 2019- febrero 2021, comparando las temporadas de otoño e invierno.

Durante la temporada de otoño e invierno 2019-2021 la comunidad del zooplancton estuvo representada por cuatro grupos dominantes, siendo los copépodos el grupo más abundante, seguido de cladóceros, larvas cifonautas y larvas nauplio.

En el muestreo de noviembre de 2020 se presentaron los valores más altos de abundancia, seguido de Febrero de 2021, estos cambios en la comunidad se vieron favorecidos por el fenómeno de La niña que se presentó a finales del año 2020, este se caracteriza por bajas temperaturas y predominancia de vientos provenientes del oeste.

Los ácidos grasos más abundantes fueron los ácidos grasos saturados y las mayores concentraciones de éstos se asociaron a las temperaturas más bajas del muestreo.

## 8. Referencias

- Alvariño, A. (1976). El zooplancton y la pesca. Mem. Simp. Sobre recursos pesqueros masivos de México, Ensenada, B.C., 28-30 sept. 1976. p. 279-293
- Anderson, M. J., Gorley, R. N., & Clarke, K. R. (2008). PERMANOVA + for PRIMER: Guide to software and statistical methods ( 217 pp). Plymouth, UK: PRIMER-E.
- Argote-Espinoza, M.L., Gavidia-Medina, F.J., Amador-Buenrostro, A., 1991. Wind-induced circulation in Todos Santos bay, B.C., Mexico. *Atmósfera* 4, 101–115
- Arts, M.T., Brett, M.T., Kainz, M.J., 2009. *Lipids in Aquatic Ecosystems*. Springer, New York.
- Bougis, E. P. 1976. *Marine Plankton Ecology*. American Elsevier Publ. Co. New York, 327 p.
- Carreón, T. L. E., Castro, G. G., Pacheco, J. M. R., & Martínez, S. N. (2001). Temperatura, salinidad, nutrientes y clorofila a en aguas costeras de la Ensenada del Sur de California. *Ciencias Marinas*, 27(3), 397-422.
- Castro, R., Martínez, A., 2010. Variabilidad espacial y temporal del campo de viento frente a la península de Baja California. In: Gaxiola-Castro, G., Durazo, R. (Eds.), *Dinámica del Ecosistema Pelágico Frente a Baja California, 1997–2007*. Instituto Nacional de Ecología—CICESE, Mexico (504 pp.).
- Castro-Longoria, E. (1989). Zooplankton biomass and community structure in Todos Santos Bay, B.C., Mexico, during the 1982-83 El Niño Event. *Ciencias Marinas*, 15(4), 1–20. <https://doi.org/10.7773/cm.v15i4.676>
- Cohen, J.E., C.Small, A.Mellinger, J.Gallup, J.Sachs; P.M.Vitousek, H.A.Mooney, 1997. Estimates of coastal populations . *Science* 278 (5341): 1211-1212.

Dantagnan, P., & Izquierdo, M. (2007). Requerimientos de ácidos grasos en larvas de peces: efectos de factores ambientales.

Delgadillo-Hinojosa, F., Camacho-Ibar, V., Huerta-Díaz, M. A., Torres-Delgado, V., Pérez-Brunius, P., Lares, L., Marinone, S. G., Segovia, J. A., Peña-Manjarrez, J. L., García-Mendoza, E., & Castro, R. (2015). Seasonal behavior of dissolved cadmium and Cd/PO<sub>4</sub> ratio in todos santos bay: A retention site of upwelled waters in the baja california peninsula, mexico. *Marine Chemistry*, 168, 37–48. <https://doi.org/10.1016/j.marchem.2014.10.010>

Durazo, R., Ramírez-manguilar, A. M., & Miranda, L. E. (n.d.). Climatología de variables hidrográficas. 3918, 25–57.

Espinosa Carreon, T. L., Gaxiola Castro, G., Robles Pacheco, J. M., & Najera Martinez, S. (2001). Temperatura, salinidad, nutrientes y clorofila a en aguas costeras de la ensenada del sur de California. Temperature, salinity, nutrients and chlorophyll a in coastal waters of the Southern California Bight. *Ciencias Marinas*, 27(3), 397–422.

García-Cuellar, J.A. 2001. Ciclo reproductivo de la madreperla *Pinctada mazatlánica* (Hanley, 1856), y su relación con los fenómenos “El Niño” y “La Niña” (1997-1999), en la Isla Espíritu Santo, Baja California Sur, México. Tesis de Maestría en Ciencias. CICIMAR-IPN. 75 p

Gasca, R. y E. Suárez. 1996. Introducción al estudio del zooplancton marino. ECOSUR- CONACYT. México. 711 p.

Gaxiola-Castro, G., Cepeda-Morales, J., Nájera-Martínez, S., Espinosa-Carreón, T. L., De la Cruz-Orozco, M. E., Sosa-Avalos, R., Aguirre-Hernández, E., & Cantú-Ontiveros, J. P. (2010). Biomasa y producción del fitoplancton. *Dinámica Del Ecosistema Pelágico Frente a Baja California , 1997-2007. Diez Años de Investigaciones Mexicanas de La Corriente de California*, 59–86.

Giraldo, A., & Gutiérrez, E. (2007). Composición taxonómica del zooplancton superficial en el Pacífico colombiano (septiembre 2003). *Investigaciones marinas*, 35(1), 117-122.

Gonçalves, A. M. M., Azeiteiro, U. M., Pardal, M. A., & De Troch, M. (2012). Fatty acid profiling reveals seasonal and spatial shifts in zooplankton diet in a temperate estuary. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2012.05.020>

Grebner, W., Berglund, E. C., Berggren, F., Eklund, J., Harðadóttir, S., Andersson, M. X., & Selander, E. (2019). Induction of defensive traits in marine plankton—new copepodamide structures. *Limnology and Oceanography*, 64(2), 820–831. <https://doi.org/10.1002/lno.11077>

Griffiths, F.B. and Caperon, J. (1979). Description and use of an improved method for determining estuarine zooplankton grazing rates on phytoplankton. *Mar. Biol*, 54:301-309.

Hammer, Ø., D. A. T. Harper and P. D. Ryan. 2001. Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 1-9.

Hernández, M. (2011). Zooplankton de Bahía de los Ángeles (Golfo de California) durante la temporada de arribo del tiburón ballena (*Rhincodon typus*). Centro de investigación científica y de educación superior de Ensenada.

Hobson, E. S., & Chess, J. R. (1976). Trophic interactions among fishes and zooplankters near shore at Santa Catalina Island, California. *Fish. Bull*, 74(3), 567-598.

Jiménez Pérez, L. C. (1989). Temporal variation of zooplankton in Todos Santos Bay, Baja California, Mexico. *Ciencias Marinas*, 15(3), 81–96. <https://doi.org/10.7773/cm.v15i3.648>

Jimenez- Perez, Luis Clemente (2007). CARACTERIZACION DE LAS COMUNIDADES DE COPEPODOS CALANOIDES DE LA PARTE SUR DE LA CORRIENTE DE CALIFORNIA DURANTE EL NIÑO 1997-98 Y SU TRANSICION HACIA LA NIÑA 1999-2000 [Tesis de doctorado]. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.

Jiménez-Pérez, L. C., Del Carmen Cortés-Lara, M., & Cupul-Magaña, A. L. (2013). Parches del zooplancton asociados con dos florecimientos algales nocivos en Bahía de Banderas. *Hidrobiologica*, 23(2), 176–186.

Jónasdóttir, S. H. (2019). Fatty acid profiles and production in marine phytoplankton. *Marine drugs*, 17(3), 151.

Kleppel, G. S. (1993). On the diets of calanoid copepods. *Marine Ecology Progress Series*, 99(1–2), 183–195. <https://doi.org/10.3354/meps099183>

Kraul, S. (1989). Production of live prey for marine fish larvae. *J. World Aquac. Soc.* 9: 595-607p.

Lavaniegos BE, Ambriz-Arreola I, Hereu CM, Jimenez-Perez LC, Cadena-Ramirez JL, GarcíaGarcía P. 2010. Variabilidad estacional e interanual del zooplancton. En: Gaxiola-Castro G, Durazo R (eds.), *Dinámica del Ecosistema Pelágico frente a Baja California, 1997–2007: Diez años de Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California*. Pp. 87-126.

Lazo, C. J.P. (2000). Conocimiento actual y nuevas perspectivas en el desarrollo de dietas para larvas de peces marinos. En: Cruz -Suárez, L.E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Olvera-Novoa, M.A. y Civera-Cerecedo, R. (eds.). *Avances en Nutrición Acuícola V. Memorias del V Simposium Internacional de Nutrición Acuícola*. 19-22 Noviembre, Mérida, 300-312 p

Lindström, J., Grebner, W., Rigby, K., & Selander, E. (2017). Effects of predator lipids on dinoflagellate defence mechanisms - Increased bioluminescence capacity. *Scientific Reports*, 7(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13293-4>

Magalhães, A., L.C. Pereira and R.M. Costa. 2015. Relationships between copepod community structure, rainfall regimes, and hydrological variables in a tropical mangrove estuary (Amazon coast, Brazil). *Helgol. Mar. Res.*, 69(1): 123-136. <https://doi.org/10.1007/s10152-014-0421-4>.

Marcovecchio, Jorge & Freije, Hugo. (2004). Efectos de la intervención antrópica sobre sistemas marinos costeros: El estuario de Bahía Blanca. *Anales de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 56. 115-132.

Margalef, R. (1977). *Ecología*. Editorial Omega, S. A. Barcelona España. 951 p.

Mateos, E., Marinone, S. G., & Parés-Sierra, A. (2009). Towards the numerical simulation of the summer circulation in Todos Santos Bay, Ensenada, B.C. Mexico. *Ocean Modelling*, 27(1-2), 107-112. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2008.11.002>

Parrish, C.C., Nichols, P.D., Pethybridge, H. *et al.* Direct determination of fatty acids in fish tissues: quantifying top predator trophic connections. *Oecologia* 177, 85-95 (2015). <https://doi.org/10.1007/s00442-014-3131-3>

Reynolds, C. S. (2006). *Ecology of Phytoplankton* (Second Edi., pp. 250-292). New York: Cambridge University Press.

Salazar, A. C. (2014). Efecto de dietas mixtas de microalgas marinas en el cultivo y composición de ácidos grasos esenciales del copépodo *Pseudodiaptomus euryhalinus*.

Selander E, Berglund EC, Engstrom P, *et al.* 2019. Copepods drive large-scale trait mediated effects in marine plankton. *Science Advances* 5: eaat5096.

Selander, E., Kubanek, J., Hamberg, M., Andersson, M. X., Cervin, G., & Pavia, H. (2015). Predator lipids induce paralytic shellfish toxins in bloom-forming algae. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(20), 6395-6400. <https://doi.org/10.1073/pnas.1420154112>

Smith, D. L. (1977). *A guide to marine coastal plankton and marine invertebrate larvae*.

Smith, D. L. (1977). *A guide to marine coastal plankton and marine invertebrate larvae*.

Spector, A. A. (1999). Essentiality of fatty acids. *Lipids*, 34(1), S1-S3.

Spinelli, M. L., Gonçalves, R. J., Villafañe, V. E., & Capitano, F. L. (2016). Diversity of copepods in Atlantic Patagonian coastal waters throughout an annual cycle. *Ciencias marinas*, 42(1), 31-47.

Suárez-Morales, E., Ordóñez-López, U., & Vásquez-Yeomans, L. (2013). Las investigaciones de zooplancton marino en el sureste de México ( 1985-2010 ): logros y perspectivas institucionales Marine zooplankton research in southeastern Mexico ( 1985-2010 ): institutional achievements and perspectives. *Sociedad y Ambiente*, 1(1),96-112.

Torres, C. R., Mejía, A., Argote, M. L., Ramírez, I., & Mancillas, M. (2006). Three-dimensional circulation in Todos Santos Bay, Ensenada, BC, Mexico. *Simulación y Modelado en Ingeniería y Ciencias. SVMNI*, pp. MF115–MF122.

Trapp, A., Heuschele, J., & Selander, E. (2021). Eavesdropping on plankton-can zooplankton monitoring improve forecasting of biotoxins from harmful algae blooms? *Limnol. Oceanogr*, 9999, 1–17. <https://doi.org/10.1002/lno.11891>