



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE
BAJA CALIFORNIA**

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS



**“ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD
FITOPLANCTÓNICA EN BAHÍA TODOS SANTOS
(Ensenada, B.C.) DURANTE OTOÑO 2021”**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

OCEANÓLOGA

PRESENTA:

ANGÉLICA SERRANO SILVA

ENSENADA, BAJA CALIFORNIA, MÉXICO,

RESUMEN

El fitoplancton es crucial para la producción primaria en ecosistemas marinos, comprende alrededor de 5,000 especies distribuidas en 19 clases taxonómicas. Su importancia radica en su capacidad para convertir el carbono inorgánico en orgánico y su papel en la Bomba Biológica. Para la temporada de otoño de 2021 se busca describir la estructura y abundancia de la comunidad en la Bahía Todos Santos (BTS) y cómo responde a los cambios fisicoquímicos. Para lograrlo se realizaron muestreos mensuales de septiembre a diciembre, obteniendo muestras para microscopía y análisis de clorofila a. Se identificaron 55 géneros de fitoplancton con abundancias totales de 400 a 50,000 cel/L, excepto en dos eventos de florecimientos durante noviembre (351,500 cel/L) y diciembre (100,140 cel/L). A lo largo del año se observaron variaciones en la dominancia entre diatomeas y dinoflagelados, la dominancia de diatomeas disminuyó después del florecimiento de noviembre. Otros grupos, como silicoflagelados y criptofitas, también estuvieron presentes, pero en menor proporción. La estructura de tamaños reveló un dominio del microfitoplancton, seguido por el nanofitoplancton y el picofitoplancton. La termoclina tuvo un intervalo entre 10 y 25m de profundidad, con temperaturas de 16 a 21 °C en superficie y de 13 a 16 °C en subsuperficie. La concentración de clorofila para los cuatro meses fue menor a 2 mg/m³, a excepción del evento de florecimiento de noviembre con concentraciones en superficie de 10.27 mg/m³ (máximo de clorofila). Se observó una relación entre la estructura de tamaños, la clorofila y la temperatura, el picofitoplancton dominó en la capa superficial en septiembre (21°C) mientras que la contribución máxima del microfitoplancton fue en diciembre (15°C). El máximo de clorofila mensual se presentó con temperaturas de entre 15 y 17°C. Los resultados de este trabajo muestran una comunidad menos diversa y menos abundante en comparación a otras épocas del año.

Palabras clave: fitoplancton, abundancia celular, clorofila a, dominancia, temperatura.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS
CAMPUS ENSENADA



**"ESTRUCTURA DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA EN BAHÍA TODOS SANTOS
(Ensenada, B.C.) DURANTE OTOÑO 2021"**

TESIS

PARA CUBRIR LOS REQUISITOS NECESARIOS PARA OBTENER EL TÍTULO DE
OCEANÓLOGO

PRESENTA:

**Angélica Serrano Silva
350372**

A quien el Comité de Tesis autoriza el trabajo terminal, después de haber efectuado una revisión minuciosa del mismo y de acuerdo con el Art. 19 del R.G.E.P.E.P, las y los señores profesores emiten los siguientes votos aprobatorios mediante rubrica:

**Jorge Manuel López Calderón
DIRECTOR**

**Adriana Gisel González Silvera
SINODAL**

**Víctor Antonio Zavala Hamz
SINODAL**

"Por la Realización Plena del Ser"

DEDICATORIA

A mi mamá Patricia Silva quien me motivo a encaminarme a las ciencias marinas y a mi tía Martha Silva quien nunca me dejó retroceder.

A mi papá, hermanos y mi abuela quienes siempre me han cuidado y han sido mi soporte en todo el camino.

A mis amigos y compañeros más cercanos que me han apoyado, aconsejado y compartido muy buenos momentos.

土屋

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a mi comité de tesis. Al Dr. Jorge Manuel López Calderón por darme la oportunidad de poder trabajar en este proyecto, por su dirección, por compartir sus conocimientos, su tiempo y por siempre aconsejarme, no solo en lo académico, como también en situaciones personales.

A la Dra. Adriana Gisel González Silvera agradezco su tiempo y orientación, así como siempre motivarme y darme la oportunidad de participar en diferentes proyectos y eventos. Y al Dr. Víctor Antonio Zavala Hamz por toda su guía, dedicación y apoyo en esta última etapa.

Agradezco al equipo de POPEYE por darme una cálida bienvenida al inicio del proyecto y permitirme ser parte de esta familia, donde compartí momentos divertidos durante trabajos de laboratorio, desayunos, eventos de divulgación y salidas de campo hasta terminar el día con una buena pizza.



ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	8
2.	ANTECEDENTES	9
3.	ÁREA DE ESTUDIO	12
4.	HIPÓTESIS	14
5.	OBJETIVOS	15
5.1.	Objetivo General	15
5.2.	Objetivos Específicos	15
6.	METODOLOGÍA	15
6.1.	Muestreo en Campo	15
6.2.	Análisis de Laboratorio	17
6.2.1.	Microscopía Óptica	17
6.2.2.	Análisis de Pigmentos por HPLC	18
6.3.	Densidad del Fitoplancton	20
6.4.	Índice de Simpson	20
6.5.	Tamaño del Fitoplancton	21
7.	RESULTADOS	22
7.1.	Estructura de la comunidad por microscopía óptica	22
7.2.	Índice de Simpson	30
7.3.	Variabilidad espacial y temporal de la clorofila a	32
7.4.	Estructura de tamaños de la comunidad.	33
7.5.	Variables físicas y químicas	35
8.	DISCUSIÓN	39
9.	CONCLUSIONES	46
10.	BIBLIOGRAFÍA	48
11.	ANEXO	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio, Bahía Todos Santos (BTS), y las tres estaciones de muestreo. Mapa base obtenido de Durazo y colaboradores (2024).	13
Figura 2. Microscopio invertido ZEISS IM.	17
Figura 3. Columnas de plexiglass correspondientes a tres volúmenes, de izquierda a derecha: 50, 100 y 25 mL.	18
Figura 4. Abundancia celular (cel/L) para cuatro especies de fitoplancton: <i>C. fulvescens</i> , <i>Coscinodiscus sp.</i> , <i>Gymnodinium sp.</i> y <i>L. polyedra</i> . (a) superficie y (b) subsuperficie.	23
Figura 5. Abundancia celular (cel/L) de los siete grupos fitoplanctónicos identificados de septiembre a diciembre de 2021. (a) superficie, (b) subsuperficie, sup=superficie, ss=subsuperficie. Eje ordenado a la izquierda corresponde a diatomeas y dinoflagelados, eje ordenado a la derecha corresponde al resto de los grupos.	25
Figura 6. Abundancia porcentual para los grupos de diatomeas y dinoflagelados presentes en muestras superficiales (a) y subsuperficiales (b) de tres estaciones en Bahía Todos Santos durante los meses de septiembre a diciembre del 2021 (sup=superficie, ss=subsuperficie).	28
Figura 7. Abundancia porcentual para los grupos de rafdofitas, silicoflagelados, euglenofitas, criptofitas y primnesiofitas presentes en muestras superficiales (a) y subsuperficiales (b) de tres estaciones en Bahía Todos Santos durante los meses de septiembre a diciembre del 2021 (sup=superficie, ss=subsuperficie).	29
Figura 8. Índice de Simpson (diversidad y dominancia de especies) para cada estación durante los meses de septiembre a diciembre de 2021, (a) superficie y (b) subsuperficie (sup=superficie, ss=subsuperficie).	31
Figura 9. Variación espacial y temporal de la Chla (mg m^{-3}) en (a) superficie y (b) subsuperficie.	32
Figura 10. Fracciones correspondientes a los tres tamaños de fitoplancton: microfitoplancton, nanofitoplancton y picofitoplancton. (a) septiembre, (b) octubre, (c) noviembre, (d) diciembre, sup=superficie, ss=subsuperficie.	34
Figura 11. Perfiles de salinidad para Bahía Todos Santos durante la temporada de otoño 2021. (a) septiembre, (b) octubre, (c) noviembre, (d) diciembre.	36
Figura 12. Perfiles de temperatura para Bahía Todos Santos durante la temporada de otoño 2021. (a) septiembre, (b) octubre, (c) noviembre, (d) diciembre. Los puntos indican la profundidad donde se tomaron las muestras subsuperficiales.	37

ÍNDICE TABLAS

Tabla I. Fecha de muestreos realizados en el presente estudio.	16
Tabla II. Pigmentos diagnóstico utilizados para el cálculo de tamaño.	21

1. INTRODUCCIÓN

El fitoplancton marino son microorganismos, en su mayoría unicelulares, que obtienen energía a través de la fotosíntesis, por lo que se encuentran en las capas superficiales del océano (i.e. zona eufótica). Su tamaño oscila desde 0.4 a 200 μm y representa menos del 1% de la biomasa fotosintética marina. Sin embargo, es responsable de más del 45% de la producción primaria neta anual del planeta (Field et al., 1998). Esta comunidad se compone de aproximadamente 5,000 especies, distribuidas en 19 clases de siete divisiones taxonómicas (Peraza, 2017). Dentro de estos taxones, las diatomeas, los dinoflagelados y las haptofitas dominan en las plataformas continentales (Simon et al., 2009).

El fitoplancton es la base de las redes tróficas en los ecosistemas marinos, ya que son los responsables de la transformación del dióxido de carbono (carbono inorgánico) en carbono orgánico, durante el proceso de fotosíntesis (Reynolds, 2006). Además de contribuir a la captura de carbono atmosférico, también participa en otros ciclos biogeoquímicos como el del nitrógeno (N) y el fósforo (F), a través de los cuales los transporta hacia las zonas más profundas de la columna de agua, en lo que se denomina como “Bomba biológica” (Falkowski & Raven, 2007). Esto recalca su relevancia en los ecosistemas, y la necesidad de describir de manera espacial y temporal la estructura de su comunidad y la variabilidad de su abundancia.

Los cambios en la estructura y variabilidad de la comunidad dependen de factores físicos como la temperatura y la luz. La temperatura influye en el metabolismo del fitoplancton, el cual tiende a aumentar en aguas más cálidas, mientras que temperaturas extremas o cambios bruscos inhiben su crecimiento (Reynolds, 2006). A su vez, la temperatura disminuye con la profundidad, y cuando los cambios son muy intensos se puede formar una termoclina que separa las aguas superficiales de las más profundas. Esta termoclina funciona como una barrera a los flujos verticales de nutrientes y al hundimiento celular, por lo que afecta de forma muy importante al desarrollo del fitoplancton (Miranda-Álvarez et al., 2020). Por otro lado, la luz es esencial en el proceso de fotosíntesis y puede limitar su distribución vertical (Falkowski & Raven, 2000). Por esta razón, se define a la zona eufótica como aquella capa superficial del océano hasta donde llega en 1% de la luz incidente en la superficie (Kirk, 1994) y la cual recibe luz suficiente para que se lleve a cabo la fotosíntesis. Para que el fitoplancton presente un desarrollo significativo, este debe permanecer en la zona eufótica, pero también debe tener nutrientes para su desarrollo. Los procesos físicos, como la estratificación o la mezcla vertical, van a determinar el balance entre luz y nutrientes que puede favorecer más o menos a la comunidad fitoplanctónica (Miranda-Álvarez et al., 2020).

2. ANTECEDENTES

La Bahía de Todos Santos (BTS) es un cuerpo de agua semicerrado, el cual es fuertemente influenciado por la variación estacional del Sistema de la Corriente de California o SCC (Durazo et al. 2024). Frente a la bahía, este sistema se

caracteriza por la presencia de surgencias costeras que se intensifican en la primavera y verano. Se ha reportado que la composición taxonómica y los cambios en la biomasa del fitoplancton siguen al ciclo estacional de estas surgencias costeras ya que transportan nutrientes a la zona eufótica y promueven un aumento en la biomasa del fitoplancton (Espinosa-Carreón et al., 2001).

Estudios recientes (Ramírez-Altamirano et al., 2023; Guzmán-Hernández, 2023) describieron a la comunidad fitoplanctónica perteneciente a la BTS, con base en información obtenida con microscopia óptica. Ramírez-Altamirano y colaboradores (2023), para el periodo de febrero 2017 a octubre 2018, caracterizaron a la comunidad fitoplanctónica en tres grandes grupos: diatomeas, dinoflagelados y nanoflagelados, siendo las diatomeas el grupo más dominante (65%). Guzmán-Hernández (2023), para el periodo de febrero a agosto del 2021, reportó la presencia de cuatro grupos: diatomeas, dinoflagelados, silicoflagelados y fitoflagelados, donde los dinoflagelados dominaron la comunidad (55%). Por otro lado, con base en pigmentos diagnóstico, las mismas autoras y Alcalá-Valenzuela (2023), destacaron también la importancia de clorofitas y haptofitas en la comunidad fitoplanctónica.

La clorofila-a (Chla) es el pigmento que está presente en la mayoría de los grupos fitoplanctónicos y, por esta razón, se ha utilizado como indicador de la biomasa de la comunidad (Jeffrey et al. 1997). En la BTS se ha detectado una variabilidad estacional marcada en la concentración de Chla, con los valores más altos durante los meses de primavera y otoño, y los más bajos en verano (Alcalá-Valenzuela, 2023; Guzmán-Hernández, 2023). Sin embargo, esto puede variar de

un año a otro. Por ejemplo, Ramírez-Altamirano y colaboradores (2023) no observan un patrón estacional definido en el 2017 y 2018, pero si describen diferencias espaciales, donde reportan mayor biomasa fitoplanctónica en la zona costera que en la zona más alejada de la costa.

Además de la Chla, los grupos fitoplanctónicos pueden ser definidos por contener pigmentos exclusivos que se han usado para evaluar las categorías de tamaños: microfitoplancton, nanofitoplancton y picofitoplancton (Sieburth et al. 1978; Claustre et al. 1994; Vidussi et al. 2001; Uitz et al. 2006).

Otro descriptor de la estructura de la comunidad del fitoplancton es la dominancia, que representa la probabilidad de que dos individuos escogidos al azar pertenezcan a la misma especie (Simpson, 1949). El índice de Simpson es un índice que toma en cuenta la cantidad de especies presentes en el hábitat, así como la abundancia celular de cada especie (Simpson, 1949), pero no se han encontrado estudios en la región que describan la dominancia mediante este índice. Por otro lado, se ha usado el índice de Shannon-Wiener para medir la biodiversidad de las comunidades fitoplanctónicas en la bahía (Jiménez-Herrera, 2017). Este trabajo mostró que para la zona exterior de la bahía existe una mayor diversidad durante los meses de abril y mayo del 2015; en la zona intermedia (entre San Miguel y las Islas Todos Santos) las mayores diversidades se dieron durante abril a agosto y noviembre a diciembre de 2015 y, por último, en la zona interior (frente a Punta Banda) los meses con mayor diversidad fueron enero, marzo, mayo y noviembre de 2015.

Estas cuatro investigaciones que se han realizado en la bahía describen la diversidad, la estructura de la comunidad, la biomasa en función de la Chla, para superficie y/o subsuperficie y su relación con la temperatura. Aplicar índices ecológicos como la dominancia o metodologías como la estructura de tamaños nos permiten describir otro aspecto relevante del fitoplancton en la bahía.

3. ÁREA DE ESTUDIO

La Bahía Todos Santos (BTS), se encuentra en la región noroeste de la península de Baja California entre los 31°40' a 31°56' N y 116°36' a 116°55' W, con un área aproximada de 180 km² y una profundidad promedio de 50m (Espinosa-Carreón et al., 2001; Mateos et al., 2009). Se caracteriza por tener dos zonas que conectan con el océano Pacífico: una al norte, entre la Isla Todos Santos y Punta San Miguel con una longitud aproximada de 10 km con 40 m de profundidad; y una al sur, ubicada entre Isla Todos Santos y Punta Banda con longitud aproximada de 5 km. En esta, su batimetría se encuentra asociada a un cañón submarino con una profundidad aproximada de 350 m (Delgadillo-Hinojosa et al., 2015).

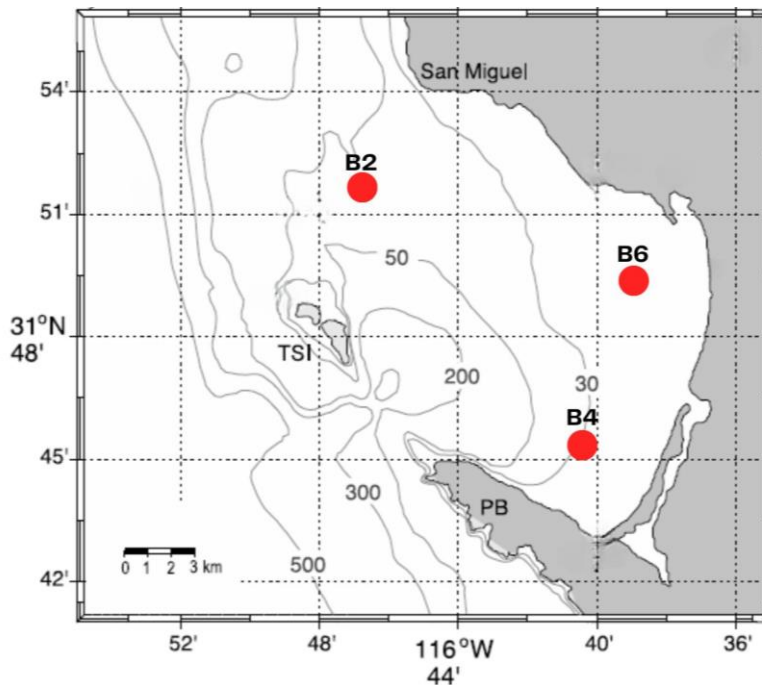


Figura 1. Localización del área de estudio, Bahía Todos Santos (BTS), y las tres estaciones de muestreo. Mapa base obtenido de Durazo y colaboradores (2024).

La bahía se encuentra influenciada por el Sistema de la Corriente de California (SCC), el cual se caracteriza por presentar: i) un flujo superficial hacia el ecuador conocido como la Corriente de California (CC), debido a su origen subártico se caracteriza por ser relativamente fría (10 a 20°C), baja salinidad (32.5 a 33.8 UPS) y alto contenido de oxígeno disuelto; y ii) un flujo subsuperficial hacia el polo conocido como Contracorriente de California (CUC) la cual transporta agua de alta salinidad, rica en nutrientes y bajo oxígeno disuelto (Durazo, 2015).

Cerca de la costa, los vientos predominantes del NW producen un transporte de Ekman hacia afuera de la costa, generando un afloramiento de aguas subsuperficiales principalmente durante primavera, cuando los vientos son más intensos (>4m/s). El agua de surgencia entra a la bahía por la boca norte aportando

agua rica en nutrientes. En su recorrido se divide en dos brazos, uno principal que se dirige hacia la boca sur de la bahía (perceptible durante todo el año) y uno secundario, el cual se adentra a la bahía desde la península de Punta Banda. Este último continua paralelo a la costa, vira hacia el sureste en dirección a la boca del estero de Punta Banda y finalmente hacia el noroeste en dirección a Punta Morro. Este cambio en la dirección de la corriente genera un patrón de circulación ciclónica dentro de la bahía, de menor intensidad en otoño-invierno por una disminución en la intensidad de los vientos del NW, que promueve la retención de aguas de surgencia (Durazo et al., 2024).

Durante las temporadas de otoño e invierno la dirección del viento cambia ligeramente más al norte (NNW) con intensidad mínima (~2 m/s) (Durazo et al., 2024). Las condiciones Santana (vientos dominantes de E-NE), que son frecuentes en estas temporadas, provocan un cambio en la circulación ciclónica de la bahía cuando la velocidad del viento supera los 7 m/s (Navarro-Olache et al., 2021).

4. HIPÓTESIS

La estructura de la comunidad fitoplanctónica en la Bahía Todos Santos muestra cambios durante el otoño en comparación a otras épocas del año que pueden ser cuantificados usando técnicas de microscopía óptica y cromatografía líquida de alta precisión.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo General

Describir la estructura de la comunidad fitoplanctónica en la Bahía Todos Santos (Ensenada, B.C.) mediante microscopía óptica y cromatografía líquida de alta precisión para la temporada de otoño 2021.

5.2. Objetivos Específicos

1. Identificar a las especies del microfitoplancton que se encuentran en la Bahía Todos Santos de septiembre a diciembre de 2021.
2. Calcular la abundancia celular, diversidad y dominancia de la comunidad fitoplanctónica durante el periodo de estudio.
3. Estimar las fracciones presentes correspondientes al micro, nano y picofitoplancton mediante la concentración de pigmentos diagnóstico.
4. Asociar de manera espacial y temporal la presencia y proporción de cada grupo fitoplanctónico con variables físicas y químicas (temperatura y salinidad).

6. METODOLOGÍA

6.1. Muestreo en Campo

Se realizaron muestreos mensuales de septiembre a diciembre de 2021 (Tabla I) para tres estaciones dentro de la Bahía Todos Santos (B2, B4 y B6) (Fig. 1). La primera (B2) considerada como representativa de condiciones oceánicas y

las dos últimas (B4 y B6) como representativas de condiciones costeras (Ramírez-Altamirano, 2019).

Tabla I. Fecha de muestreos realizados en el presente estudio.

FECHA	MES REPRESENTADO
01/oct/2021	Septiembre
28/oct/2021	Octubre
12/nov/2021	Noviembre
03/dic/2021	Diciembre

En cada estación se colectó agua de mar de dos profundidades: superficie y subsuperficie (máximo 30m) utilizando una Botella Niskin. De cada profundidad se llenaron botellas de polietileno de alta densidad color ámbar (Nalgene), una de 8 L para el análisis de pigmentos y otra de 250 mL para el análisis taxonómico al microscopio. A esta última se le agregaron 2.5 mL de una solución de Lugol alcalino con el fin de preservar las células. Todas las muestras fueron etiquetadas con fecha, estación y profundidad del muestreo.

Las muestras recolectadas para el análisis de pigmentos pasaron por un sistema de filtración positiva donde se filtraron 2000 mL de agua en filtros de fibra de vidrio Whatman™ GF/F con 25 mm de diámetro. Estos se almacenaron en papel aluminio, se etiquetaron con fecha, estación, profundidad de muestreo y se mantuvieron en congelación (-20°C) para después usarlos en el análisis de pigmentos por cromatografía de alta precisión (HPLC).

Por último, los parámetros físicos y químicos del agua de mar (temperatura y salinidad) se obtuvieron mediante lances de un CTD YSI CastAway®.

6.2. Análisis de Laboratorio

6.2.1. Microscopía Óptica

El análisis cuantitativo de la comunidad de fitoplancton se realizó mediante el método Utermöhl (1958) utilizando un microscopio invertido ZEISS IM. Cada muestra se homogeneizó lentamente dando giros a las botellas, con cuidado de no generar burbujas para no romper las células o cadenas de células presentes.

El método consistió en utilizar cámaras de sedimentación (Fig. 3). Los volúmenes de sedimentación para cada estación fueron los siguientes: 25-50 mL para B4 y B6 con tiempo de sedimentación de 24 h para cada muestra; 50-100 mL para B2 con tiempo de sedimentación de 48 h. La selección se basó en sedimentar aquellos volúmenes que nos brinden un conteo representativo de la comunidad fitoplanctónica para cada muestra y que proporcionen campos visuales cómodos en el microscopio (sin llegar a saturar el campo). Para el caso de la estación B2, se sedimentaron volúmenes más grandes debido a que al estar más alejada de la costa la abundancia del fitoplancton disminuye.



Figura 2. Microscopio invertido ZEISS IM.

El análisis se realizó dando un barrido a toda la cámara de sedimentación, cuantificando e identificando cada célula (hasta nivel de especie cuando fue posible) utilizando guías de identificación taxonómica (Almazán-Becerril et al., 2016 y Tomas, 1997). La lectura de cada muestra se realizó de la siguiente manera: volúmenes pequeños (25 mL B4-6 y 50 mL B2) se observaron con un aumento de 200x para cuantificar e identificar todas las células completas presentes; volúmenes grandes (50 mL B4-6 y 100 mL B2) se observaron con un aumento de 100x donde se cuantificaron aquellas células que no se contaron en el volumen anterior.



Figura 3. Columnas de plexiglass correspondientes a tres volúmenes, de izquierda a derecha: 50, 100 y 25 mL.

6.2.2. Análisis de Pigmentos por HPLC

El análisis de pigmentos fotosintéticos se llevó a cabo con un equipo HPLC Agilent 1260 LC siguiendo el método del Laboratorio Point Horn (HPL) (Van Heukelem & Thomas, 2001 modificado por Thomas, 2012). El método utiliza un sistema de cuatro bombas, temperatura controlada a 60°C, una columna Eclipse XDB C8 4:6 x 150mm 3.5 μ m y funciona con un sistema de gradientes con tres

solventes: solvente A (70:30%, metanol: 28mM tetrabutil amonio, pH 6.5), solvente B (100% metanol) y solvente C (100% acetona). Además se utiliza un buffer para disolver la muestra, compuesto por 90:10 (v:v) de 28 mM tetrabutil amonio: 100% metanol y una solución de vitamina E, compuesta por 500 mL de acetona 100% grado HPLC y 4 mL de vitamina E, la cual funciona como estándar interno de referencia.

La extracción de los pigmentos se realizó agregando los filtros Whatman GF/F congelados en tubos de centrifuga (numerados de acuerdo con el número de muestra) agregando 4 mL del solvente de extracción con vitamina E y 0.1 mL de agua desionizada. Los tubos se colocaron en un vortex por tres segundos (para iniciar con la ruptura de las células) para después llevarlos a un sonicador durante 10 segundos (para continuar con la ruptura de las células). Se dejó la extracción de pigmentos en refrigeración a -20°C durante 24 horas.

Pasado el tiempo de extracción, los tubos se llevaron a un vortex durante cinco segundos para después centrifugar por 10 minutos a 3000 rpm. Se pasó el contenido de los tubos a nuevos tubos de centrifuga utilizando filtros de jeringa Acrodisc de 0.2 µm de poro para eliminar cualquier impureza. Seguidamente se colocó un volumen de 1.0 mL del filtrado en un vial (enumerado según la muestra) y estos ingresan al equipo HPLC Agilent 1260 LC para el análisis cromatográfico.

6.3. Densidad del Fitoplancton

La abundancia celular se determinó siguiendo la siguiente ecuación (Santamaría-Del-Ángel et al. 2005):

$$Abundancia (cél * L^{-1}) = \frac{N * 1000}{V}$$

Donde:

N = número de células de cada género por muestra

V = volumen sedimentado (mL)

1000= factor de conversión a litro

6.4 Índice de Simpson

Con el fin de estimar la diversidad y dominancia de géneros para cada muestra se utilizó el Índice de Simpson. El índice arroja valores de cero a uno, siendo uno el máximo valor de diversidad (Margalef, 1977).

$$Ds = 1 - l'$$

$$l' = \sum \left(\frac{Ni}{N} \right)^2$$

Donde:

Ds = índice de diversidad de Simpson

l' = dominancia

N_i = número de individuos de la especie *i* dentro de la muestra

N = total de individuos en la muestra

6.5 Tamaño del Fitoplancton

Mediante la concentración obtenida de los pigmentos, se utilizaron las ecuaciones propuestas por Vidussi y colaboradores (2001) y modificadas por Uitz y colaboradores (2006) para clasificar a la comunidad presente en tres tamaños: microfitoplancton (20-200µm), nanofitoplancton (2-20µm) y picofitoplancton (<2µm). Estas ecuaciones consideran la concentración de siete pigmentos diagnóstico (Tabla 2) para estimar cuánto contribuye cada fracción de tamaño del fitoplancton al total de clorofila *a*.

Tabla II. Pigmentos diagnóstico utilizados para el cálculo de tamaño.

ABREVIATURA	PIGMENTO ASOCIADO
Fuco	Fucoxantina
Peri	Peridinina
19'Hex	19'-hexanoiloxifucoxantina
19'But	19'-butanoiloxifucoxantina
Allo	Aloxantina
Chl <i>b</i>	Clorofila <i>b</i>
Zea	Zeaxantina

$$\Sigma DPW = 1.41[Fuco] + 1.41[Peri] + 1.27[19'Hex] + 1.35[19'But] \\ + 0.6[Allo] + 1.01[Chl b] + 0.86[Zea]$$

$$f_{micro} = (1.41[Fuco] + 1.41[Peri]) / \Sigma DPW$$

$$f_{nano} = (1.27[19'Hex] + 0.35[19'But] + 0.6[Allo]) / \Sigma DPW$$

$$f_{pico} = (0.01[Chl b] + 0.86[Zea]) / \Sigma DPW$$

El valor de ΣDPW representa la concentración de clorofila a que se puede reconstruir a partir de la concentración de los siete pigmentos diagnóstico.

7. RESULTADOS

7.1. Estructura de la comunidad por microscopía óptica

Con base en el análisis de microscopía óptica, en Bahía Todos Santos (BTS) se identificaron 55 géneros de fitoplancton distribuidos en siete grupos (Anexo A y B). En todas las estaciones para ambas profundidades (superficie y 20m) la sumatoria total de células fue de 400 a 50,000 cel/L, excepto en la estación B6 donde en la capa subsuperficial se observaron abundancias de 50,400 y 100,140 cel/L para los meses de septiembre y diciembre, respectivamente. En la capa superficial se observó el máximo en todo el periodo de estudio con 351,500 cel/L para el mes de noviembre.

De estos 55 géneros, solo cuatro se presentaron de manera permanente a ambas profundidades, una diatomea; *Coscinodiscus sp.* y tres dinoflagelados; *Cochlodinium fulvescens*, *Gymnodinium sp.* y *Lingulodinium polyedra*. Para la capa superficial (Fig. 4a), estos géneros presentaron abundancias menores a 10,000 cel/L hasta el mes de noviembre (B6, máximos superficiales para tres géneros, a

excepción de *Coscinodiscus sp.*: 22,720; 29,520 y 48,560 cel/L, respectivamente) y para diciembre, solo dos presentaron abundancias mayores a 10,000 cel/L: *L. polyedra* en todas las estaciones y *Gymnodinium sp.* (B2).

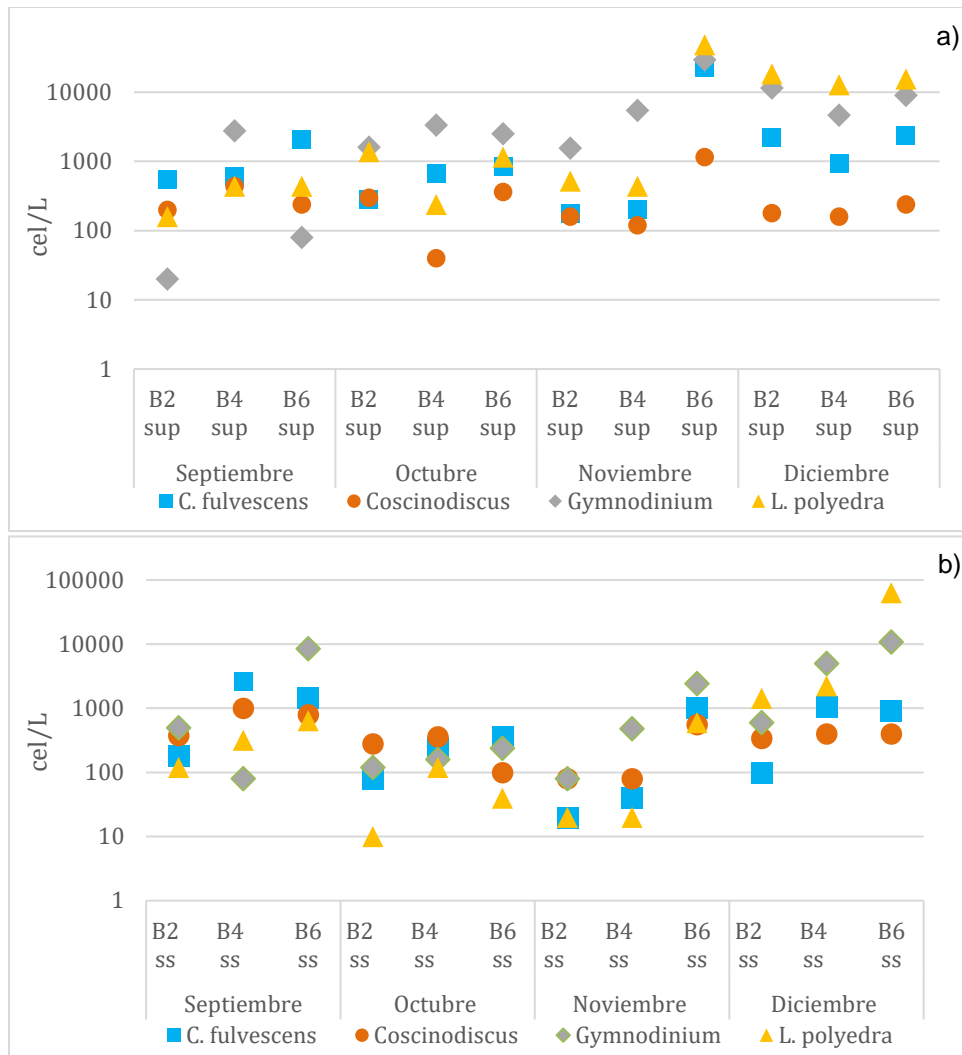


Figura 4. Abundancia celular (cel/L) para cuatro especies de fitoplancton: *C. fulvescens*, *Coscinodiscus sp.*, *Gymnodinium sp.* y *L. polyedra*. (a) superficie y (b) subsuperficie.

Para la capa subsuperficial (Fig. 4b), las abundancias menores a 10,000 cel/L fueron más frecuentes durante el periodo de estudio, excepto en diciembre (B6) para *L. polyedra* y *Gymnodinium sp.* (63,400 y 10,880 cel/L respectivamente).

La Figura 5 muestra las abundancias celulares de los siete grupos mencionados anteriormente. El grupo de dinoflagelados es el más abundante y su abundancia mínima es en noviembre (Fig. 5b) (B2 subsuperficial, 420 cel/L) y un máximo durante el mismo mes en la muestra B6 superficial (Fig. 5a) con 336,420 cel/L. El grupo de las diatomeas ocupó el segundo lugar en abundancias con un mínimo durante noviembre (570 cel/L, B2 subsuperficial, Fig. 5b) y un máximo en septiembre (29,520 cel/L, B4 superficial, Fig. 5a).

En tercer lugar, se encuentran los silicoflagelados con abundancia máxima de 2,780 cel/L durante octubre (Fig. 5a) en la estación B2 superficial y dos mínimos en noviembre (B2 superficial) y diciembre (B2 subsuperficial) (Figs. 5a y 5b), con una abundancia de 20 cel/L para ambas. Las criptofitas tuvieron un máximo de 640 cel/L (octubre B4 superficial) y un mínimo de 20 cel/L (noviembre B2 superficial), mientras que las rafidofitas presentaron dos mínimos de 20 cel/L (septiembre B2 superficial y diciembre B2 subsuperficial) y tres máximos subsuperficiales de 360 cel/L para las estaciones B6 (septiembre, noviembre) y B4 (diciembre).

Por último, las primnesiofitas y euglenofitas solo se reportaron en algunas estaciones. Las primeras únicamente en septiembre B2 superficial y octubre B6 subsuperficial, con abundancias de 20 y 40 cel/L, respectivamente. En tanto que el segundo grupo solo reportó 20 cel/L en septiembre B2 superficial.

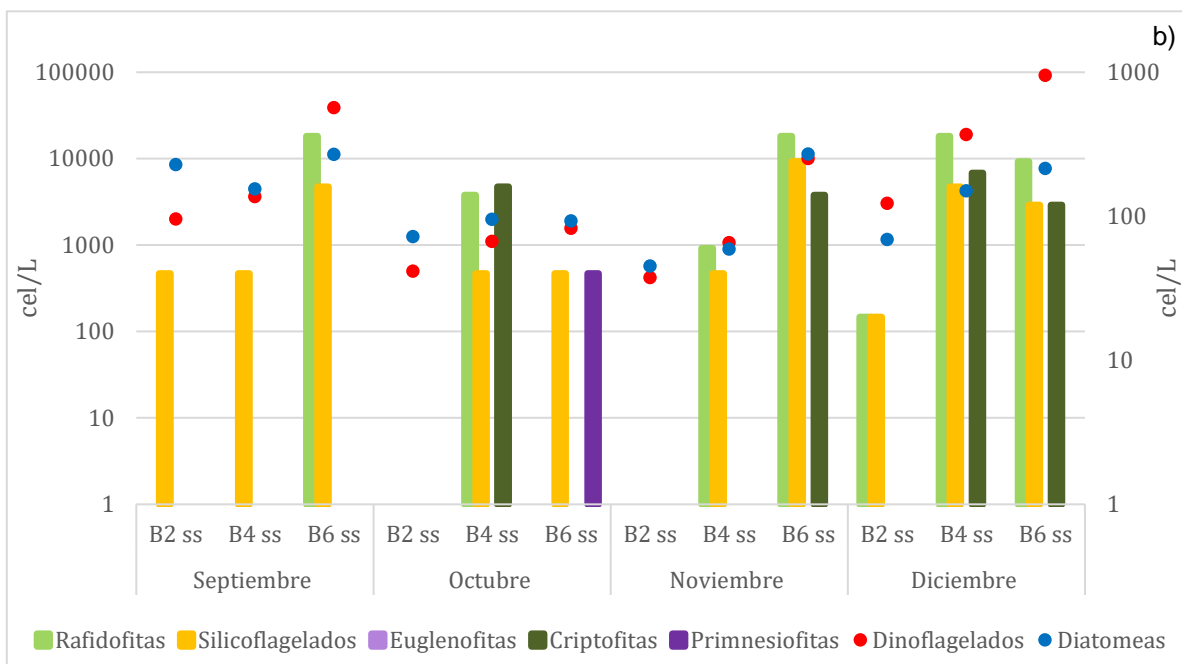
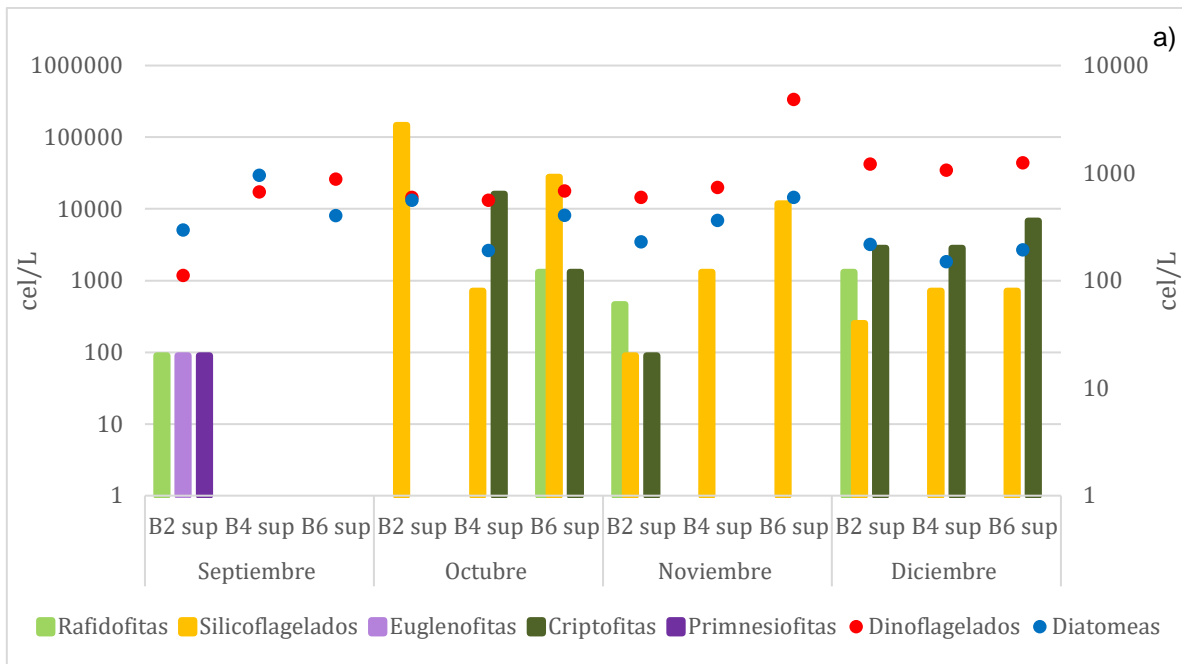


Figura 5. Abundancia celular (cel/L) de los siete grupos fitoplanctónicos identificados de septiembre a diciembre de 2021. (a) superficie, (b) subsuperficie, sup=superficie, ss=subsuperficie. Eje ordenado a la izquierda corresponde a diatomeas y dinoflagelados, eje ordenado a la derecha corresponde al resto de los grupos.

En las Figuras 6 y 7 se observan las abundancias porcentuales de cada grupo del fitoplancton presente en cada muestra, donde se observó que los grupos de diatomeas y dinoflagelados (Fig. 6) se presentan de manera ubicua durante el periodo de estudio. El grupo de dinoflagelados presentó menor abundancia (18%) durante el mes de septiembre (mínimo en B2 para ambas profundidades) y aumenta hacia finales del año (máximo en noviembre B6 superficial con 95%), registrando mayores porcentajes en superficie a partir de octubre. Mientras que las diatomeas presentaron un patrón inverso a los dinoflagelados.

Los cinco grupos restantes representaron menos del 10% de la abundancia total en cada muestra (Fig. 7). En septiembre estos grupos representaron menos del 1% de la abundancia total reportando la presencia de rafidofitas (máximo B6 subsuperficial 0.71%), silicoflagelados (máximo B4 subsuperficial 0.49%), primnesiofitas (únicos dos registros en B2 superficial 0.32% y octubre B6 subsuperficial 1.13%) y euglenofitas (único registro B2 superficial 0.32%). En octubre se observaron las mayores abundancias porcentuales (máximo B4 subsuperficial 9.94%), además de los máximos para los grupos de silicoflagelados (B2 superficial 9.05%), criptofitas (B4 subsuperficial 4.68%), rafidofitas (B4 subsuperficial 4.09%) y primnesiofitas.

Para el mes de noviembre en la estación B6 superficial se observó el mínimo en abundancia porcentual para todo el periodo de estudio con 0.15% representados por silicoflagelados. Las muestras subsuperficiales correspondientes a las estaciones B4 y B6 mostraron valores entre 3 a 5% (4.85% y 3.35%, respectivamente), la primera estación representada por rafidofitas (2.91%) y

silicoflagelados (1.94%), mientras que la segunda se compone por rafdofitas (1.63%), silicoflagelados (1.09%) y criptofitas (0.63%). Por último, diciembre fue el único mes donde se observó la presencia de alguno de estos cinco grupos en todas las estaciones para ambas profundidades y representan menos del 1% de la abundancia total, excepto en B4 subsuperficial (3.02% total) representada por^{a)} rafdofitas (0.51%), silicoflagelados (0.67%) y criptofitas (0.84%).

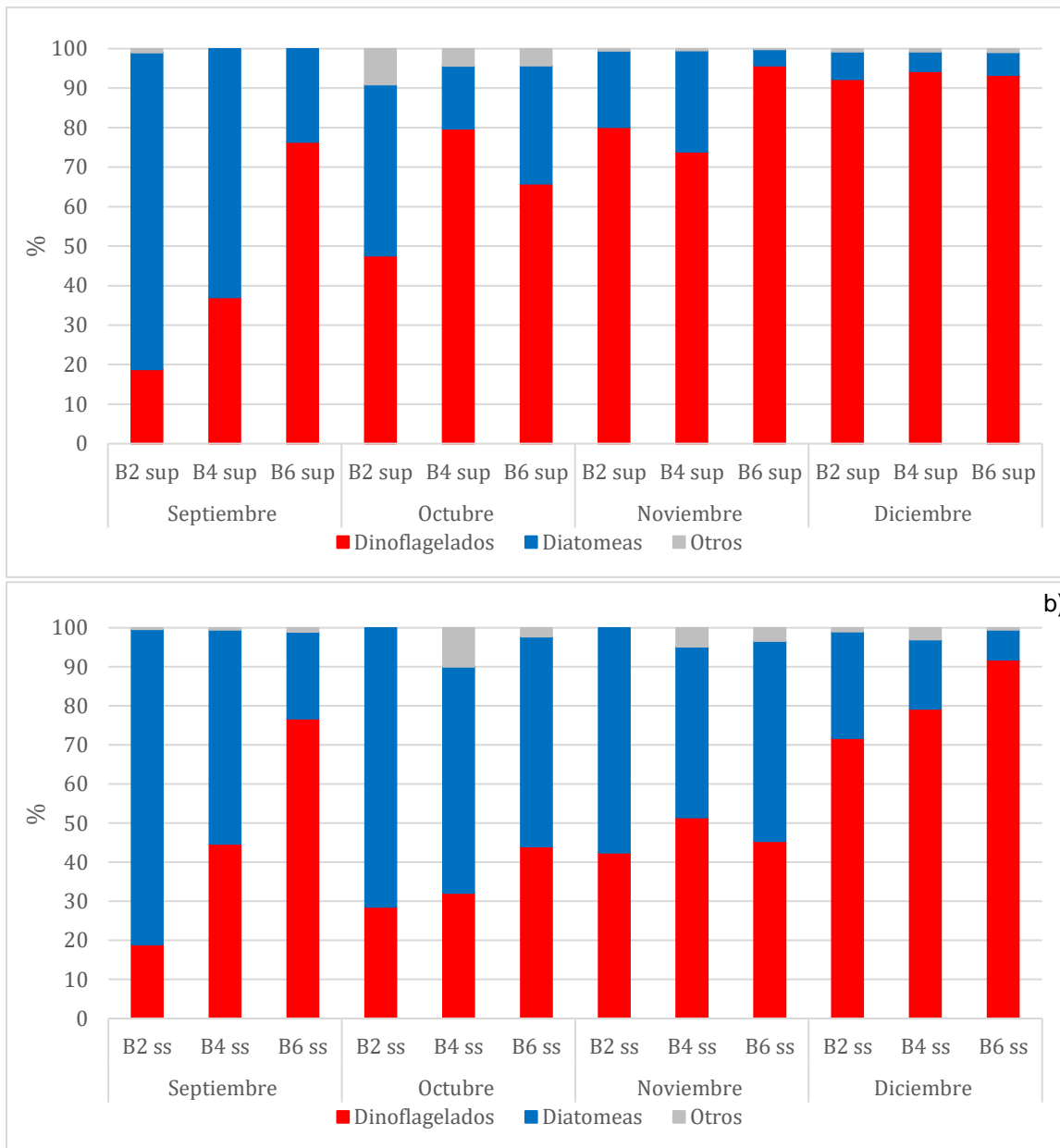


Figura 6. Abundancia porcentual para los grupos de diatomeas y dinoflagelados presentes en muestras superficiales (a) y subsuperficiales (b) de tres estaciones en Bahía Todos Santos durante los meses de septiembre a diciembre del 2021 (sup=superficie, ss=subsuperficie).

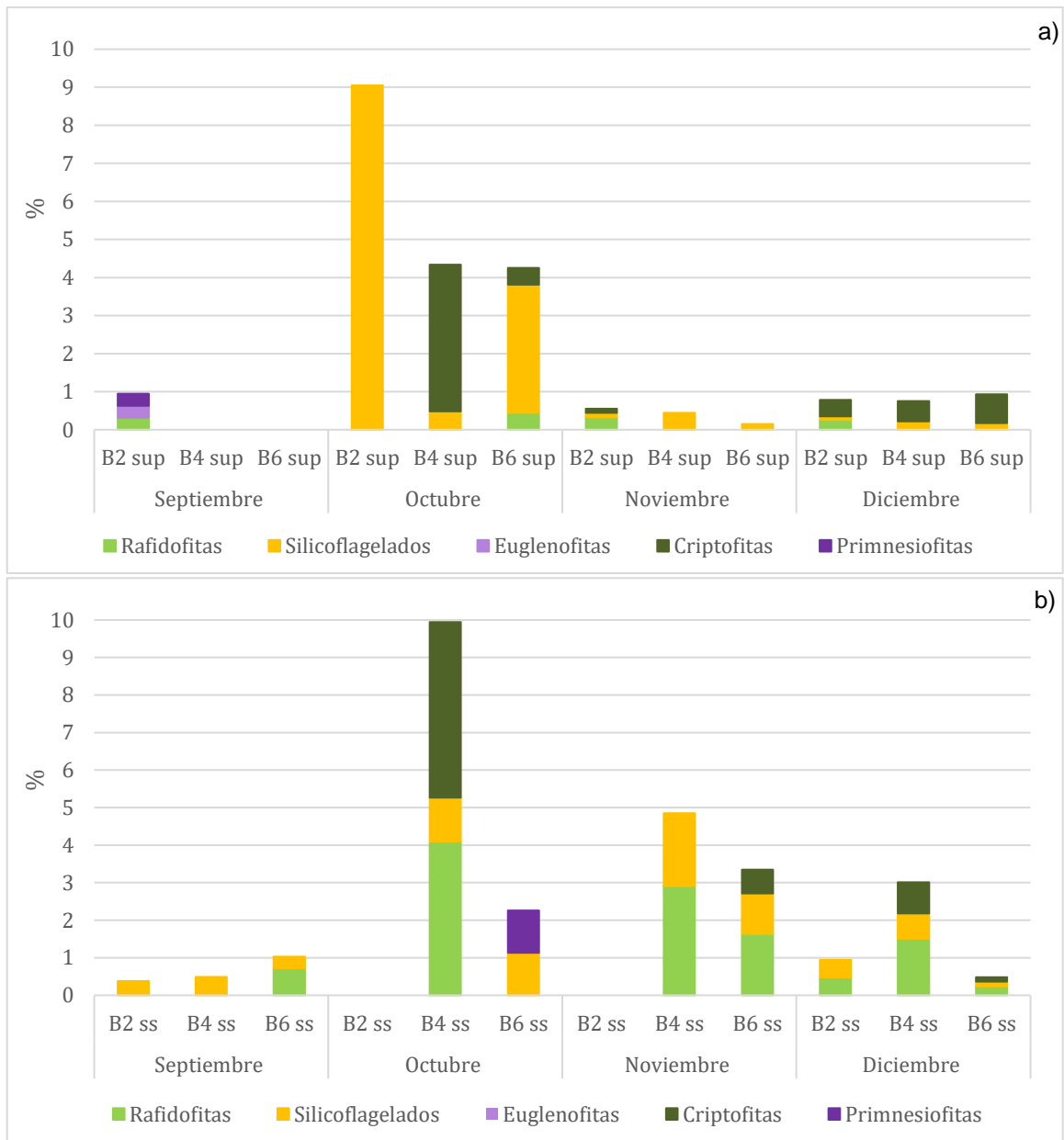


Figura 7. Abundancia porcentual para los grupos de rafidofitas, silicoflagelados, euglenofitas, criptofitas y primnesiofitas presentes en muestras superficiales (a) y subsuperficiales (b) de tres estaciones en Bahía Todos Santos durante los meses de septiembre a diciembre del 2021 (sup=superficie, ss=subsuperficie).

7.2. Índice de Simpson

Se evaluó el Índice de Simpson para estimar la diversidad de la comunidad del fitoplancton con base en las abundancias celulares reportadas. La Figura 8 muestra los valores de diversidad y dominancia de cada estación a lo largo del periodo de estudio, presentando un intervalo de diversidad de 0.08 (mínimo observado en noviembre B6 superficial) a 0.58 (máximo observado en octubre B2 superficial). En la capa superficial (Fig. 8a), la diversidad disminuyó hacia el mes de diciembre, mientras que en la capa subsuperficial (Fig. 8b) aumentó de septiembre a noviembre y disminuyó durante diciembre.

La dominancia de especies, se presentó mayormente en un intervalo de 0.42 (mínimo observado en octubre B2 superficial) a 0.92 (máximo observado en noviembre B6 superficial). Las mayores dominancias se presentaron en la capa superficial, especialmente durante el mes de noviembre en la estación B6 y durante diciembre en las tres estaciones (B2, B4 y B6 con dominancia de 0.86, 0.89 y 0.87, respectivamente).

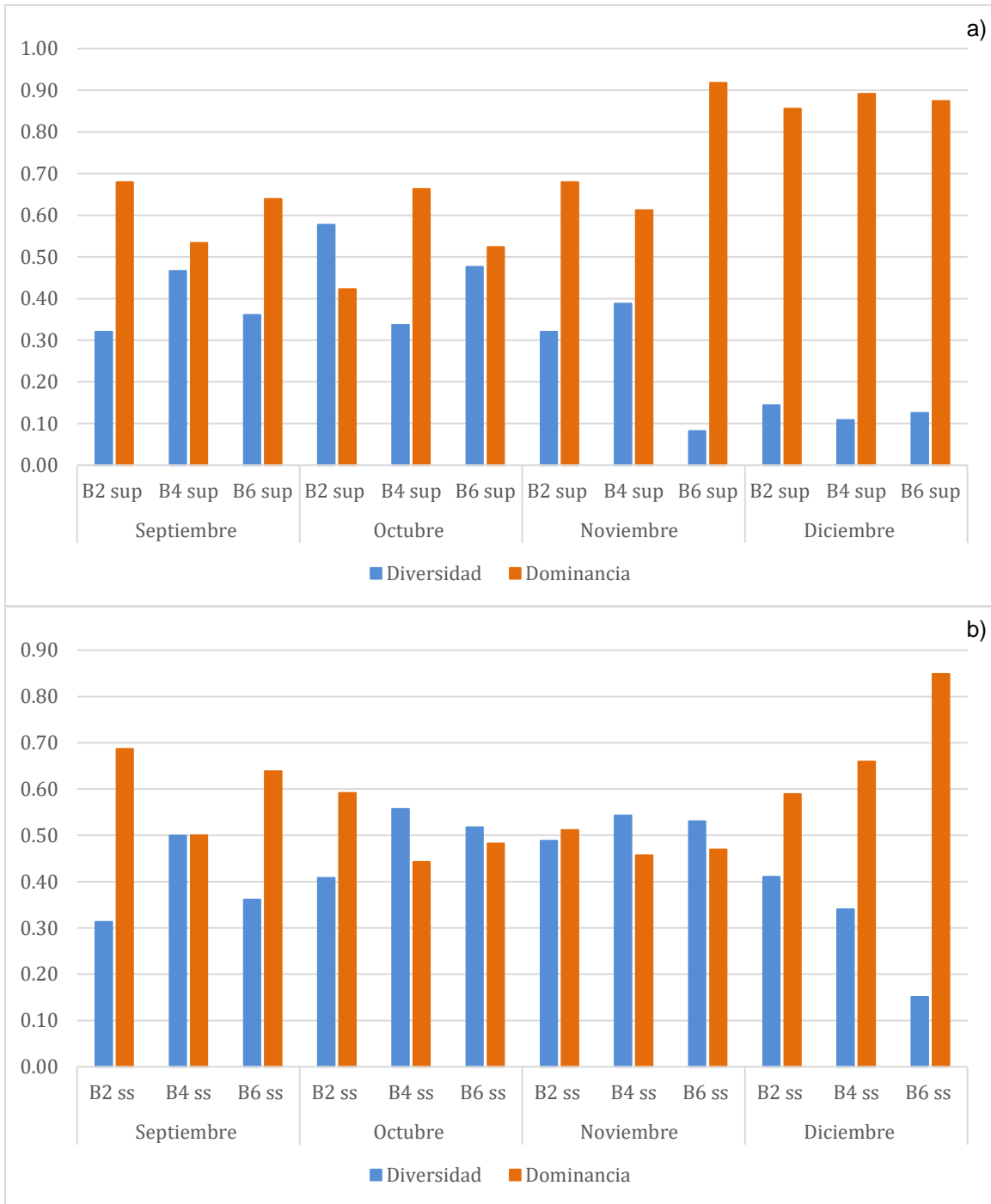


Figura 8. Índice de Simpson (diversidad y dominancia de especies) para cada estación durante los meses de septiembre a diciembre de 2021, (a) superficie y (b) subsuperficie (sup=superficie, ss=subsuperficie).

7.3. Variabilidad espacial y temporal de la clorofila a

A lo largo del periodo de estudio la clorofila a (Chla) presentó concentraciones entre 0.21 y 10.27 mg/m³ (Fig. 9).

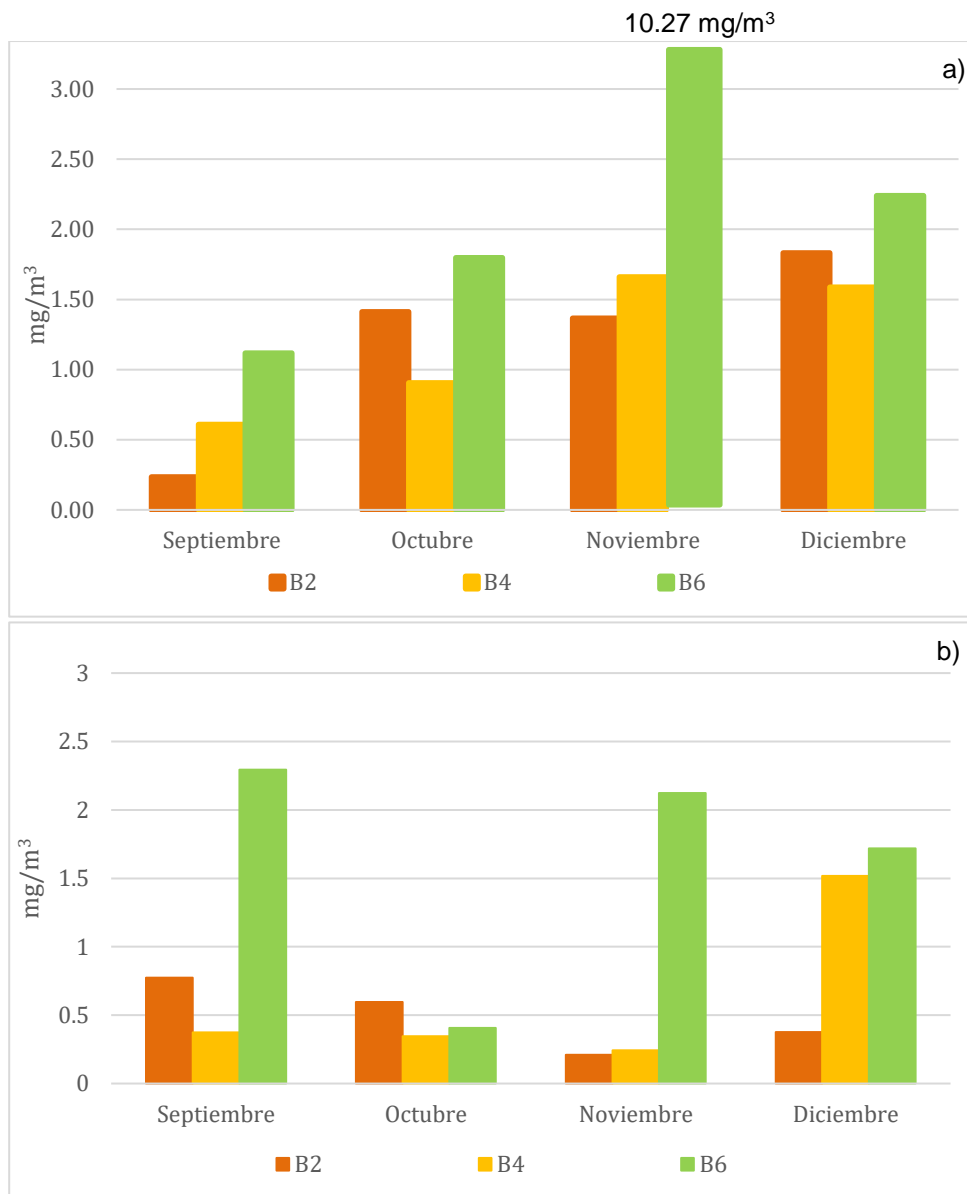


Figura 9. Variación espacial y temporal de la Chla (mg m⁻³) en (a) superficie y (b) subsuperficie.

En la capa superficial (Fig. 9a) la Chla presentó un intervalo de 0.23 a 10.27 mg/m^3 (mínimo en septiembre B2 y máximo en noviembre B6) y fue aumentando de septiembre a diciembre para todas las estaciones. La capa subsuperficial (Fig. 9b) presentó un intervalo de 0.21 a 2.29 mg/m^3 (mínimo en noviembre B2 y máximo en septiembre B6), a diferencia de la capa superficial, las estaciones B2 y B6 presentaron mayor concentración durante septiembre y disminuyó hacia diciembre, mientras que la estación B4 mostró poca variación excepto en diciembre donde obtuvo su máximo.

7.4. Estructura de tamaños de la comunidad.

La Figura 10 muestra las fracciones correspondientes a los tres grupos de tamaño de la comunidad del fitoplancton durante otoño 2021. De manera general, la fracción correspondiente al microfitoplancton dominó durante los cuatro meses representando en promedio el 66% de la comunidad con un mínimo superficial en el mes de octubre (Fig. 10a) para la estación B6 (47%) y un máximo subsuperficial en septiembre B4 (85%) (Fig. 10b).

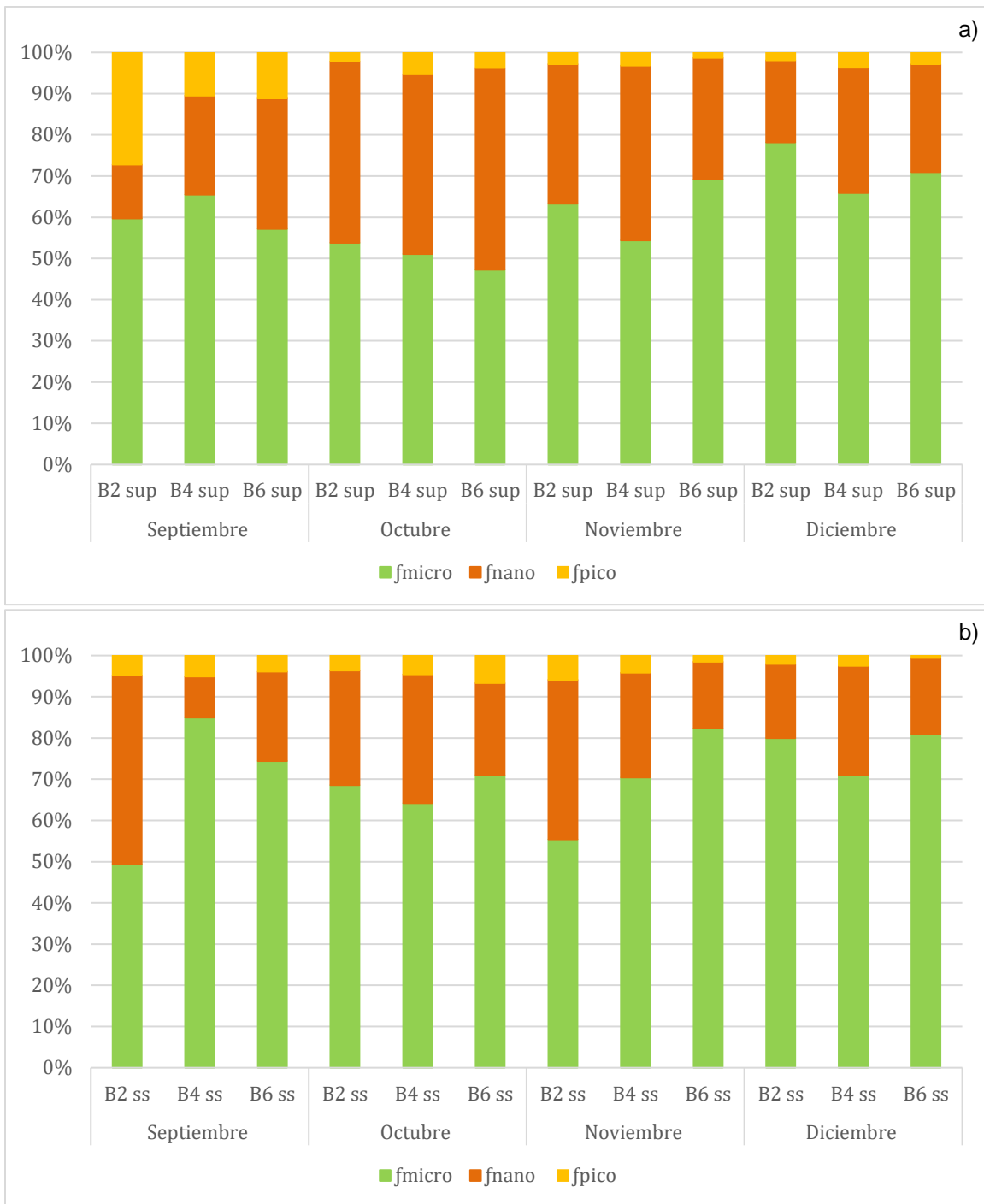


Figura 10. Fracciones correspondientes a los tres tamaños de fitoplancton: microfitoplancton, nanofitoplancton y picofitoplancton. (a) septiembre, (b) octubre, (c) noviembre, (d) diciembre, sup=superficie, ss=subsuperficie.

La fracción correspondiente al nanofitoplancton ocupó el segundo lugar representando el 29% de la comunidad durante el periodo de estudio, con un

mínimo en septiembre (B4 subsuperficial 10%) y máximo durante octubre (B6 superficial 48%). Por último, la fracción del picofitoplancton fue la menos dominante en los cuatro meses (representando el 5% de la comunidad) y tendió a disminuir hacia el final del periodo. Se reportó un mínimo del 1% en diciembre (B6 subsuperficial) y un máximo del 30% en septiembre (B2 superficial).

7.5. Variables físicas y químicas

La Figura 11 muestra los perfiles de salinidad para las tres estaciones analizadas durante los cuatro meses de estudio y se observó que en ninguno de los casos ocurrió una haloclina bien definida.

En promedio, la salinidad en este periodo fue de 33.35 ± 0.11 UPS, los valores máximos y mínimos se reportan ambos durante noviembre (B4), dentro de los primeros cinco metros de profundidad, con valores de 33.76 y 32.79 UPS, respectivamente.

Por el contrario, el perfil de temperatura sí presentó una estratificación en la columna de agua para la mayoría de los meses (Fig. 12), con una termoclina ubicada entre los 10 y 25m, aproximadamente. Para el mes de septiembre (Fig. 12a) se presentó una capa superficial (0-10m) mezclada y bien definida (20.0 ± 0.68 °C), especialmente para las estaciones B2 y B4. La termoclina se presentó de manera similar en las tres estaciones con temperaturas desde 18.0 ± 0.59 °C a 14.0 ± 0.26 °C. Por su profundidad, la estación B2 es la única donde existe una columna por debajo de la termoclina (25-47m, 14.0 ± 0.43 °C).

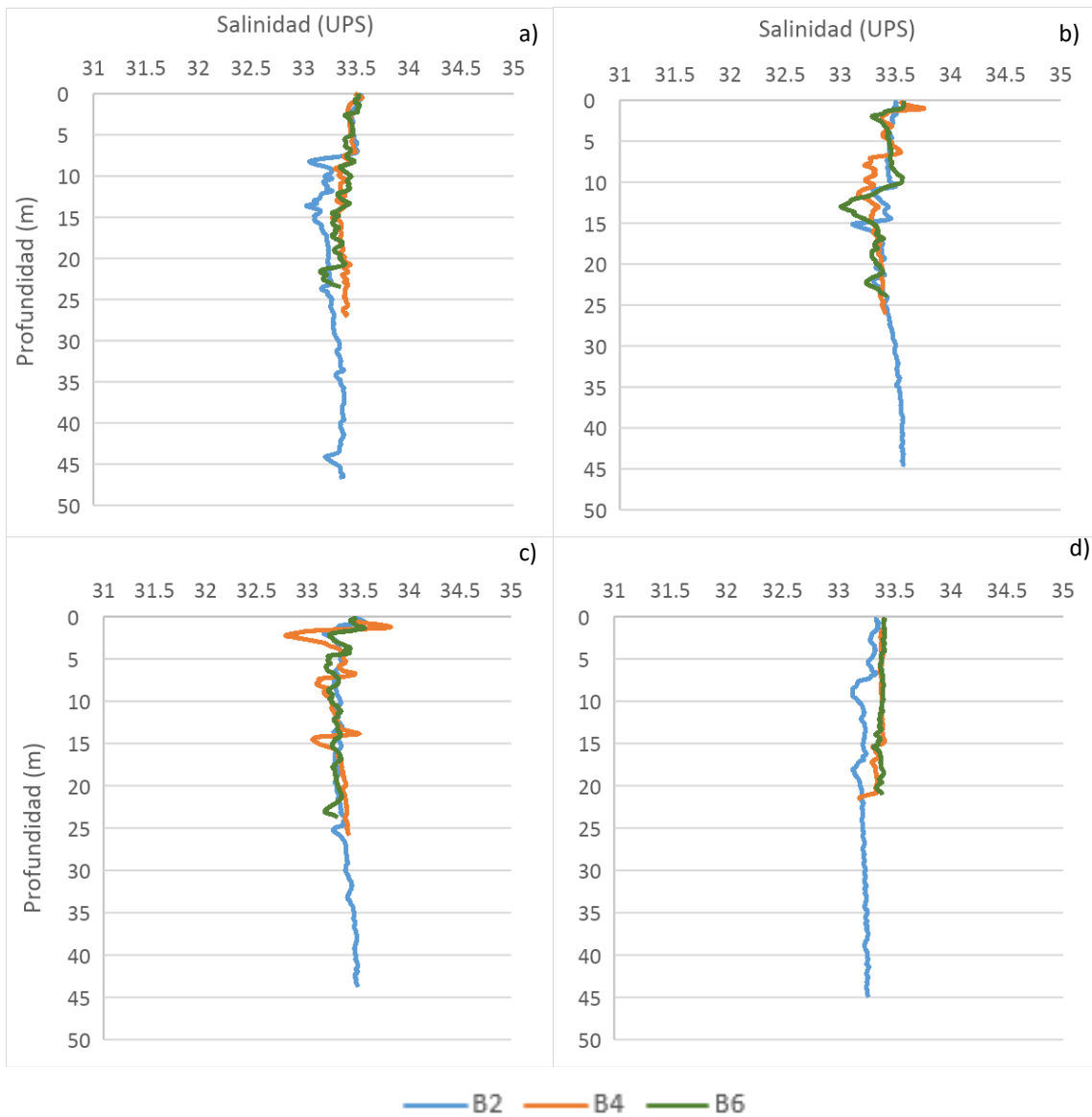


Figura 11. Perfiles de salinidad para Bahía Todos Santos durante la temporada de otoño 2021. (a) septiembre, (b) octubre, (c) noviembre, (d) diciembre.

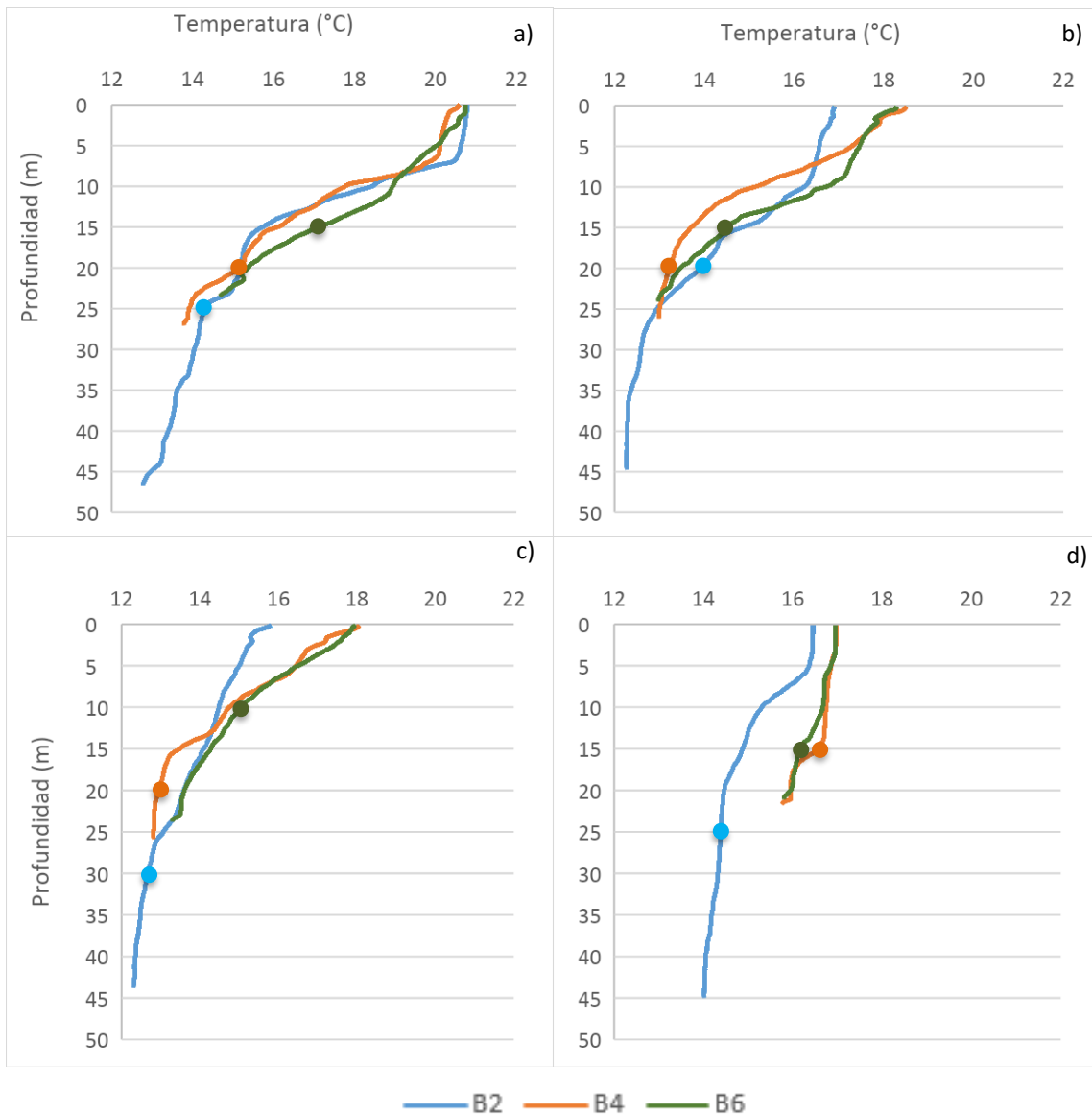


Figura 12. Perfiles de temperatura para Bahía Todos Santos durante la temporada de otoño 2021. (a) septiembre, (b) octubre, (c) noviembre, (d) diciembre. Los puntos indican la profundidad donde se tomaron las muestras subsuperficiales.

En el mes de octubre (Fig. 12b), para las estaciones B2 y B6 se aprecia una capa superficial (0 a 10m) menos mezclada que en el mes anterior, la primera ligeramente más fría (16.6 ± 0.19 °C) que la segunda (17.5 ± 0.38 °C), mientras que la termoclina para ambas estaciones se encontró de 11 a 25m, 15.8 a 12.9 °C para la estación B2 y de 16.2 a 12.9 °C para la estación B6. En cambio, la estación B4 no

presentó una capa de mezcla, por lo que aquí la termoclina abarca desde 0 a 15 m con temperaturas de 18.5 a 13.7 °C, respectivamente. Por último, en las estaciones B2 y B4 se alcanza a apreciar una columna por debajo de la termoclina con temperaturas promedio de 12.0 ± 0.22 °C para B2 (25-45m) y 13.0 ± 0.15 °C para B4 (15-20m).

Para el mes de noviembre (Fig. 12c), la estación B2 presentó una termoclina aún menos definida desde la superficie hasta los 25m, con temperaturas de 15.8 a 13.0 °C respectivamente. En cuanto a las estaciones costeras, B4 presentó una termoclina desde 0 a 15m con temperaturas de 18.1 a 13.5 °C respectivamente, mientras que para la estación B6 la termoclina cubrió toda la columna de agua, desde la superficie (17.9 °C) hasta los 24m de profundidad (13.3 °C). En las estaciones B2 y B4 existió una columna por debajo de la termoclina con temperaturas promedio de 13.0 ± 0.19 °C (25 a 44m) para la estación oceánica y 13.0 ± 0.17 °C (15-25m) para la estación costera.

Para el mes de diciembre (Fig. 12d) aumentó la mezcla superficial, en la estación oceánica se observó una capa homogénea de 0 a 5m, con temperatura promedio de 16.4 ± 0.03 °C, seguida de una termoclina que se extendió hasta los 20m mostrando temperaturas desde 16.3 a 14.5 °C. Debajo de esta capa, la temperatura promedio fue de 14.0 ± 0.15 °C hasta los 45m de profundidad. Para la estación B4 se presentó una capa mezclada hasta los 15m con temperaturas de 17.0 ± 0.12 °C y una ligera termoclina con temperaturas de 16.7 a 15.7 °C entre 15 y 20m de profundidad. Por último, la capa de mezcla para la estación B6 se presentó

hasta 10m de profundidad (17.0 ± 0.12 °C), con una termoclina debilitada hasta los 20m con temperaturas de 16.5 a 15.8 °C.

8. DISCUSIÓN

En el presente trabajo se reportaron 55 géneros del fitoplancton para la temporada de otoño 2021 en la BTS con abundancias totales menores a 50,000 cel/L en cada estación de muestreo. Estos valores corresponden a una comunidad más diversa y abundante que la reportada por Ramírez-Altamirano y colaboradores (2023) donde identificaron un total de 45 géneros con abundancias totales menores a 40,000 cel/L para los otoños de 2017 (noviembre) y 2018 (octubre), estos 45 géneros corresponden a cuatro grupos: crisofitas, nanoflagelados, dinoflagelados y diatomeas, este último grupo obtuvo el mayor porcentaje de contribución, dominando la comunidad en un 80%. Caso contrario a lo obtenido en el presente trabajo, donde el grupo de los dinoflagelados fue el dominante. Para la temperatura, reportan de manera general un 2017 más frío a comparación de 2018, en noviembre 2017 la temperatura superficial del mar varió entre 17 y 18°C, mientras que en octubre 2018 varió de 19 a 20°C, siendo temperaturas más altas a las reportadas durante otoño 2021 (16 a 18°C).

Para la temporada de otoño 2021, el análisis de la abundancia celular arrojó dos eventos de florecimiento que exceden las 50,000 cel/L de abundancia total. El primero corresponde al máximo de abundancia registrado durante noviembre en la estación B6 superficial (351,500 cel/L). Este máximo de abundancia celular corresponde al máximo de clorofila registrado para el periodo de estudio (10.27

mg/m³) representado por un florecimiento de dinoflagelados (336,420 cel/L del total), especialmente de la especie *Prorocentrum micans* la cual reportó una abundancia celular de 130,440 cel/L (B6 superficial).

La especie *Prorocentrum micans* ha sido responsable de florecimientos algales en la región en años anteriores, Peña-Manjarrez y colaboradores (2009) reportan eventos recurrentes de este tipo en la zona costera del Sur de California desde 1901. Vázquez y colaboradores (2021) caracterizan esta especie como capaz de soportar amplios rangos de salinidad (38.7 a 61.7 UPS) y temperatura (30.4 a 33.4 °C) debido a un estudio realizado en Ría Lagartos y en las lagunas costeras de la Isla de Cozumel, siendo valores más altos a los reportados durante el florecimiento (promedio de temperatura de 17.9 °C y salinidad de 33.35 UPS). Esta característica euriterma y eurihalina de la especie indica la posibilidad de continuar observando florecimientos o que se mantenga como una especie frecuente en la BTS, ante escenarios potenciales de incremento de temperatura. Uchida (1977) caracteriza a esta especie como formadora de florecimientos algales nocivos (FAN), ya que se han registrado evidencias de que genera mortandad de peces por asfixia, además de excretar una sustancia que inhibe el crecimiento de diatomeas, lo cual puede estar relacionado con el dominio de dinoflagelados para la bahía a partir de noviembre.

El segundo florecimiento se presentó durante diciembre de 2021 en la estación B6 subsuperficial con abundancia celular de 100,140 cel/L, a diferencia del florecimiento de noviembre, este aumento en la biomasa no se refleja en la concentración de Chla que se mantuvo por debajo de los 2 mg/m³. Este evento se

encontraba representado por la especie *L. polyedra* con una abundancia celular de 63,440 cel/L. Esta especie se caracteriza por ser un organismo heterótrofo (mixotrofia), capaz de cambiar su metabolismo para obtener su alimento sin necesidad de la Chla, por lo que su cuantificación no refleja la biomasa en su totalidad (Glibert et al., 2012).

Aunque no se observó una relación entre factores abióticos, como la salinidad y la comunidad del fitoplancton, si se observó una relación entre la temperatura y la concentración de Chla. Para el mes de septiembre, las mayores concentraciones se presentaron en la capa subsuperficial cuando la temperatura, para las tres estaciones es de $\sim 15^{\circ}\text{C}$, este mes se caracteriza por presentar una termoclina bien marcada además de las mayores temperaturas superficiales (21°C). Para los meses de octubre y noviembre, la temperatura tanto en superficie (16 a 18°C) y subsuperficie (13 a 14°C) disminuye, por lo que la estratificación se debilita y el máximo de clorofila se desplaza hacia la capa superficial. Por último, durante diciembre la termoclina es reemplazada por una columna de agua bien mezclada ($\sim 17^{\circ}\text{C}$) por lo que las concentraciones de Chla son similares tanto en superficie como en subsuperficie, a excepción de B2 subsuperficial donde la Chla disminuye a 0.37 mg/m^3 y se asocia con una disminución de la temperatura a $\sim 14^{\circ}\text{C}$.

El análisis de abundancias porcentuales muestra un cambio en la comunidad a mitad del periodo de estudio (*i.e.* sucesión). Para los meses de septiembre y octubre se observó un dominio de diatomeas, mientras que para el resto del año se presentó un dominio de dinoflagelados generado por un florecimiento de *Prorocentrum micans* durante noviembre. Reynolds (2006), describe la sucesión

como un cambio en la estructura de la comunidad impulsado por factores bióticos y abióticos los cuales modifican las condiciones del medio y favorecen a especies tolerantes. Wang y colaboradores (2022) describen que la sucesión de diatomeas a dinoflagelados en mares marginales se debe a una limitación en las concentraciones de fósforo inorgánico disuelto (DIP). En un periodo experimental describen la sucesión mediante tres fases: (i) fase de crecimiento y (ii) fase decreciente (dominadas por diatomeas); y (iii) fase de rebote dominada por dinoflagelados. En condiciones de alto DIP el grupo de las diatomeas domina, al agotarse, las diatomeas también disminuyen. En el caso de los dinoflagelados, estos son capaces de hidrolizar una variedad de compuestos orgánicos mediante el reciclaje de productos metabólicos en condiciones de limitación de nutrientes, por lo que los nutrientes orgánicos liberados durante la fase de dominancia de diatomeas pueden estimular el crecimiento de dinoflagelados aún bajo condiciones de limitación de DIP (Wang et al., 2022).

Para la región de la BTS, Durazo y colaboradores (2024) describen un patrón de circulación ciclónica dominante. Estudios como el realizado por Navarro-Olache y colaboradores (2021) demuestran que las condiciones Santana (vientos dominantes de E-NE) provocan un cambio, de la circulación ciclónica de la bahía a una circulación anticiclónica, cuando la velocidad del viento supera los 7 m/s. Estos eventos transportan el agua superficial fuera de la bahía generando un afloramiento de aguas subsuperficiales en la zona costera, provocando un aumento en la biomasa fitoplanctónica. El florecimiento de dinoflagelados registrado durante noviembre 2021 en la estación B6, podría estar relacionado a condiciones Santana

que se presentaron los días 10 a 13 de noviembre con velocidades de viento entre 7 y 8 m/s (Gobierno del Estado de Baja California, 2021).

La comparación con Guzmán-Hernández (2023) nos permite describir la variación del periodo de primavera-verano de 2021 (en ambas capas). La abundancia celular y la diversidad de especies disminuyen conforme avanza el año, comportamiento que también se observa en las variaciones de la Chla (promedio de 2.03 a 1.01 mg/m³ para el periodo de febrero a agosto). Se identificaron 58 géneros con una variación en la abundancia celular total en superficie de 10,840 a 297,020 cel/L (0.3 a 2.45 mg/m³) y en subsuperficie de 3,540 a 343,060 cel/L (mayor clorofila, 0.126 a 7.39 mg/m³). Además, identifica a cuatro géneros frecuentes; una diatomea (*Nitzschia sp.*) y tres dinoflagelados (*Gymnodinium sp.*, *Tripos sp.* y *Prorocentrum sp.*), siendo el dinoflagelado *Gymnodinium sp.* (evento de florecimiento registrado durante abril en la estación B2 subsuperficial, con abundancia celular de 159,960 cel/L y Chla a 7.39 mg/m³) el único género que se mantuvo hasta diciembre del mismo año. Giffard-Mena (1997) también reporta al género *Gymnodinium sp.* como frecuente en la BTS durante la temporada de julio de 1991 a enero de 1992 en superficie y registrando un florecimiento para el mes de noviembre con la mayor abundancia en la zona costera cerca a la desembocadura del arroyo El Gallo (213,000 cel/L) y la menor abundancia en la zona intermedia de la bahía (46,000 cel/L). Las abundancias celulares registradas para este género durante el otoño de 2021 fueron menores a las reportadas por Giffard-Mena (1997), sin embargo, fue en el mismo mes de noviembre cuando se observó su máximo en abundancia celular en la estación B6 (29,520 cel/L).

El porcentaje de contribución de cada grupo fitoplanctónico reportado por Guzmán-Hernández (2023) arrojó para la capa superficial un dominio de diatomeas de febrero a mayo, seguido de un dominio de dinoflagelados para el resto del periodo (junio a agosto). Mientras que para la capa subsuperficial las diatomeas dominan solo de febrero a marzo y el resto del periodo dominan los dinoflagelados. Los datos aquí reportados permiten complementar la información sobre la sucesión de la comunidad fitoplanctónica para el resto del año 2021, tanto en densidad celular como en grupos (diatomeas/dinoflagelados) los datos coinciden con la sucesión reportada para latitudes templadas (Reynolds, 2006).

Estudios como el realizado por Alcalá-Valenzuela (2023), nos permiten observar la variación de la comunidad durante el otoño de 2021, pero desde la óptica de la quimiotaxonomía (CHEMTAX). Se identificaron siete grupos fitoplanctónicos, siendo las primnesiofitas, las diatomeas, los dinoflagelados y las clorofitas los que presentan una mayor contribución a la Chla. El análisis de CHEMTAX confirma la variación del microfitoplancton (diatomeas y dinoflagelados) observado mediante microscopía óptica: una capa superficial con mayor contribución de diatomeas durante septiembre que va disminuyendo a finales del año (mayor contribución en B2), mientras que en la capa subsuperficial las diatomeas incrementan a partir de noviembre, pero se mantienen en menor proporción respecto a los dinoflagelados. Mientras que los dinoflagelados, en la capa superficial, disminuyen en octubre y aumentan su contribución a partir de noviembre, especialmente en la estación B6 debido al florecimiento. Por último, las primnesiofitas estuvieron presentes durante todo el periodo de estudio, en las tres

estaciones y en ambas profundidades. Mediante el análisis de microscopía (realizado durante este trabajo) únicamente se observaron durante septiembre (B2 superficial) y octubre (B6 subsuperficial).

Durante el florecimiento (en la estación B6 superficial), el análisis de CHEMTAX arrojó contribuciones similares de los grupos: dinoflagelados, primnesiofitas y crisofitas (Alcalá-Valenzuela, 2023). Lo anterior confirma las ventajas de utilizar ambas técnicas para analizar la estructura de la comunidad del fitoplancton. El análisis de microscopía óptica en este trabajo únicamente nos permite describir el 66% de la comunidad, por lo que el análisis de CHEMTAX permite describir el 34% restante.

En la región de la BTS no se encontraron estudios donde se utilicen las fórmulas como las de Vidussi y colaboradores (2001) que cuantifiquen la contribución de cada fracción de tamaño al total de la Chla.

Se encontró una relación entre los tamaños de la comunidad y la temperatura de la columna de agua, la máxima contribución del microfitoplancton (74%) coincidió con el mes que tuvo la menor estratificación (diciembre) y por lo mismo, la menor temperatura. Para la fracción del picofitoplancton ocurre el caso contrario, disminuye hacia finales del año, su mayor contribución se presentó durante septiembre (10% para la estación B2 superficial) cuando la columna de agua se encontraba bien estratificada y con las mayores temperaturas superficiales registradas (21°C).

La concentración de clorofila (Chla) también ha sido utilizada para determinar el nivel trófico de un sistema. Bricaud y colaboradores (2004) describen tres tipos

de ambientes: oligotrófico $Chla < 0.2 \text{ mg/m}^3$, mesotrófico $0.2 \text{ mg/m}^3 \leq Chla \leq 2 \text{ mg/m}^3$ y eutrófico $Chla > 2 \text{ mg/m}^3$. Los mismos autores relacionan el nivel trófico con la estructura de la comunidad (tamaño celular). Las aguas eutróficas se caracterizan por un dominio del microfitoplancton, aguas mesotróficas dominadas principalmente por el nanofitoplancton (y variaciones en el microfitoplancton), y las aguas oligotróficas se caracterizan por un dominio tanto del nanofitoplancton como del picofitoplancton (contribuciones variables de ambos tamaños). Lo anterior sitúa a la BTS como un ambiente mesotrófico para el otoño de 2021 (en cuanto a la Chla), sin embargo, las fracciones de tamaño observadas corresponden a un ambiente eutrófico (dominado por el microfitoplancton).

9. CONCLUSIONES

Se identificaron 55 géneros de microfitoplancton en el otoño de 2021, destacando cuatro como los más representativos: *Coscinodiscus sp.*, *Cochlodinium fulvescens*, *Gymnodinium sp* y *L. polyedra*. Estos géneros se clasificaron en siete grupos con la siguiente sucesión: diatomeas dominando en septiembre y octubre; dinoflagelados dominando en noviembre y diciembre (coincidente con la sucesión típica reportada para latitudes templadas).

Hubo dos eventos de florecimiento ($>50,000 \text{ cel/L}$), el primero en noviembre ($351,500 \text{ cel/L}$ y 10.27 mg/m^3 de Chla), con *Prorocentrum micans* como la especie dominante ($130,440 \text{ cel/L}$). El segundo evento fue en diciembre ($100,140 \text{ cel/L}$ y 1.71 mg/m^3 de Chla) con *L. polyedra* como la especie dominante ($63,440 \text{ cel/L}$). La baja Chla de diciembre se explica por la dominancia de dinoflagelados mixotróficos.

El análisis de la estructura de tamaños reveló que el microfitoplancton domina para el periodo de estudio (66%), compuesto principalmente por diatomeas y dinoflagelados. Basándonos en el estudio de Alcalá-Valenzuela (2023) las fracciones del nano y picofitoplancton (34%) se asociaron con grupos como primnesiofitas, crisofitas y clorofitas.

Durante el periodo de estudio, la ausencia de una haloclina muestra una baja influencia de esta variable en los cambios en la estructura de la comunidad. Sin embargo, se observó una relación entre la temperatura de la columna de agua y la variación en la comunidad. La mayor contribución del microfitoplancton ocurrió a finales del año, cuando la termoclina se mostró más débil, mientras que el picofitoplancton tuvo su mayor contribución en la capa superficial en septiembre, cuando se observó la mayor estratificación de la columna de agua. Esta misma relación se observó para la concentración de clorofila, las mayores concentraciones coincidieron con temperaturas entre 15 y 17 °C.

10. BIBLIOGRAFÍA

- Alcalá-Valenzuela, K. (2023). *Variabilidad espacial y temporal de las propiedades bio-ópticas de la Bahía de Todos Santos (2021-2022)*. Universidad Autónoma de Baja California- Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Oceanografía Costera. 65p.
- Almazán-Becerril, A., Aké-Castillo, J. A., García-Mendoza, E., Sánchez-Bravo, Y. A., Escobar-Morales, S., & Valadez-Cruz, F. (2016). *Catálogo de microalgas de Bahía de Todos Santos, Baja California*. (CICESE (ed.)).
- Bricaud, A., Claustre, H., Ras, J., & Oubelkheir, K. (2004). Natural variability of phytoplanktonic absorption in oceanic waters: Influence of the size structure of algal populations. *Journal of Geophysical Research*, 109(440), 1–12. <https://doi.org/10.1029/2004JC002419>
- Claustre, H., P. Kerherve, J.C. Marty y L. Prieur. (1994). Phytoplankton photoadaptation related to some frontal physical processes. *Journal of Marine Systems*, 5: 251-265.
- 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/PO4 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. (2015). Seasonality of the transitional region of the California Current System off Baja California. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 120(2), 1173–1196. <https://doi.org/10.1002/2014JC010405>
- Durazo, R., Flores-Vidal, X., Castro, R., Ocampo-Torres, F. J., Saavedra, J., Rodríguez-Padilla, I., & Larrañaga, M. (2024). Surface circulation in Todos Santos Bay, Baja California, México. *Continental Shelf Research*, 273(December 2023). <https://doi.org/10.1016/j.csr.2024.105171>
- Espinosa-Carreón, T. L., Gaxiola-Castro, G., Robles-Pacheco, J. M., & Nájera-Martínez, S. (2001). TEMPERATURE, SALINITY, NUTRIENTS AND CHLOROPHYLL a IN COASTAL WATERS OF THE SOUTHERN CALIFORNIA BIGHT. *Ciencias Marinas*, 27(3), 397–422. <http://dx.doi.org/10.7773/cm.v27i3.490>
- Espinosa-Carreón, T. L., Strub, P. T., Beier, E., Ocampo-Torres, F., & Gaxiola-Castro, G. (2004). Seasonal and interannual variability of satellite-derived chlorophyll pigment, surface height, and temperature off Baja California. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 109(C3), 1–20. <https://doi.org/10.1029/2003JC002105>
- Falkowski, P.G., & Raven, J.A. (2007). *Aquatic photosynthesis*. Segunda edición, Princeton University Press. 484pp.
- Field, C. B., Behrenfeld, M. J., Randerson, J. T., & Falkowski, P. (1998). Primary Production of the Biosphere: Integrating Terrestrial and Oceanic Components. *Science*, 281(5374), 237–240. <https://doi.org/10.1126/science.281.5374.237>
- Gaxiola-Castro, G., & Durazo, R. (2010). *Dinámica del ecosistema pelágico frente a Baja California 1991-2007. Diez años de investigaciones mexicanas de la Corriente de California*. S. y G. Editores (ed.); México, D.F. Primera Ed. 501 pp.
- Gobierno del Estado de Baja California. (2021). Emite gobierno de Baja California aviso meteorológico por condición Santa Ana. [en línea]. <https://www.bajacalifornia.gob.mx/Prensa/Noticia/2116>
- Giffard-Mena, Ivonne. 1997. “Variación del fitoplancton con relación a las aguas residuales en la Bahía De Todos Santos, B.C.” UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA, Ensenada, B.C.

- Guzmán-Hernandez, M. E. (2023). *Aplicación de microscopía óptica, quimiotaxonomía y herramientas moleculares en la identificación del fitoplancton de Bahía de Todos Santos (Ensenada, B.C.)*. Universidad Autónoma de Baja California. Tesis para obtener el grado de Maestra en Ciencias en Oceanografía Costera. 82 p.
- Jeffrey, S. W., & Vesik, M. (1997). Introduction to marine phytoplankton and their pigment signatures. In *Phytoplankton Pigments in Oceanography: Guidelines to Modern Methods* (UNESCO Pub, pp. 37–84). [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(97\)00810-8](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(97)00810-8)
- Jiménez-Herrera, M. (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”*. Universidad Autónoma de Baja California. Tesis para obtener el Título de Oceanólogo. 41p.
- Kirk, J. (1994). *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kudela, R., Pitcher, G., Probyn, T., Figueiras, F., Moita, T., & Trainer, V. (2005). Harmful Algal Blooms in Coastal Upwelling Systems. *Oceanography*, 18(2), 184–197. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2005.53>
- Lambers, H., Chapin, F. S., & Pons, T. L. (2008). Plant Physiological Ecology. In *Archivo Español de Arte* (Second Edi). Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-78341-3>
- Largier, J. L. (2020). Upwelling Bays: How Coastal Upwelling Controls Circulation, Habitat, and Productivity in Bays. *Annual Review of Marine Science*, 12, 415–447. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010419-011020>
- Lynn, R. J., & Simpson, J. J. (1987). The California Current system: The seasonal variability of its physical characteristics. *Journal of Geophysical Research*, 92(C12), 12947. <https://doi.org/10.1029/JC092iC12p12947>
- Margalef, R. (1977). *Ecología*. Ed. Omega, Barcelona. 951 pp.
- 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>
- Mateos, E., & Marinone, S. G. (2017). Current variability by wave propagation in Todos Santos Bay, Baja California, Mexico. *Ciencias Marinas*, 43(3), 191–201. <https://doi.org/10.7773/cm.v43i3.2775>
- Miranda-Álvarez, C., González-Silvera, A., Santamaría-del-Angel, E. et al. Phytoplankton pigments and community structure in the northeastern tropical pacific using HPLC-CHEMTAX analysis. *Journal of Oceanography* 76, 91–108 (2020).
- Millán-Núñez, R., y Álvarez-Borrego, S.. 1978. “Series De Tiempo De Clorofilas a, b y C, Y Sus Feofitinas En Las Bocas De Dos Lagunas Costeras”. *Ciencias Marinas* 5(2):41–52. doi: 10.7773/cm.v5i2.323.
- Navarro-Olache, L. F., Castro, R., Durazo, R., Hernández-Walls, R., Mejía-Trejo, A., Flores-Vidal, X., & Flores-Morales, A. L. (2021). Influence of Santa Ana winds on the surface circulation of Todos Santos Bay, Baja California, Mexico. *Atmosfera*, 34(1), 97–109. <https://doi.org/10.20937/ATM.52719>
- Peña-Manjarrez, J., Gaxiola-Castro, G., & Helenes-Escamilla, J. (2009). Environmental factors influencing the variability of *Lingulodinium polyedrum* and *Scrippsiella trochoidea* (Dinophyceae) cyst production. *Ciencias Marinas*, 35(1), 1–14. <https://doi.org/10.7773/cm.v35i1.1406>
- Peña-Manjarrez, J. L. (2008). *Ecología de Dinoflagelados Productores de Florecimientos en la Bahía*

de Todos Santos, Baja California. CICESE. Programa de Posgrado en Ciencias en Ecología Marina. Tesis para obtener el Grado de Doctor en Ciencias. 240 p.

- Peraza, R. (2017). *Diversidad y abundancia de fitoplancton del embalse Abreus (Cienfuegos, Cuba)* [Centro de Investigaciones Marinas de la Universidad de la Habana]. https://www.oceandocs.org/bitstream/handle/1834/10996/TESIS_MAESTRÍA_ROSELY_PEREZA.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttp://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencia_en_desarrollo/article/view/3499
- Ramírez-Altamirano, Y. L., González-Silvera, A., López-Calderón, J., & Santamaria-Del-angel, E. (2023). Evaluation of the taxonomic composition of phytoplankton using microscopy and CHEMTAX in Todos Santos Bay (Baja California, México) during 2017-2018. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 51(2), 218–237. <https://doi.org/10.3856/vol51-issue2-fulltext-2988>
- Reynolds, C. S. (2006). The Ecology of Phytoplankton. In *Вестник Росздравнадзора* (Vol. 4, Issue 1). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511542145>
- Santamaría-Del-Ángel, E., Millán-Núñez, R., González-Silvera, A., & Cajal-Medrano, R. (2005). Estimación de la taxocenosis fitoplanctónicas. Algunas consideraciones generales al método Uthermöhl en estudios costeros. *En Manuales Del Cuerpo Académico de Ecología Del Fitoplancton de La Facultad de Ciencias Marinas de La Universidad Autónoma de Baja California. Series White Papers POPEYE 28 P.* <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3836.6245>
- Sieburth, J. V., Smetacek, and J. Lenz, Pelagic ecosystem structure: Heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions, *Limnol. Oceanogr.*, 23, 1256-1263, 1978.
- Simon, N., Cras, A.-L., Foulon, E., & Lemée, R. (2009). Diversity and evolution of marine phytoplankton. *Comptes Rendus Biologies*, 332(2–3), 159–170. <https://doi.org/10.1016/j.crv.2008.09.009>
- Simpson, E. H. (1949). Measurement of Diversity. *Nature*, 688(1943), 688. <https://doi.org/10.1038/163688a0>
- Thomas, C. S. (2012). The HPL Method. Chapter 6. *The Fifth SeaWiFS HPLC Analysis Round-Robin Experiment (SeaHARRE-5)*, NASA/TM-20(November 2012), 63–72.
- Tomas, C. R. (1997). *Identifying Marine Phytoplankton* (Academic P). Florida Marina Research Institute.
- Uchida, T. (1977): Excretion of a diatom inhibitory substance by *Prorocentrum micans*. Ehrenberg. *Jap. J. Ecol.* 27:1-4.
- Uitz, J., Claustre, H., Morel, A., & Hooker, S. B. (2006). Vertical distribution of phytoplankton communities in open ocean: An assessment based on surface chlorophyll. *Journal of Geophysical Research*, 111. <https://doi.org/10.1029/2005JC003207>
- Utermöhl, H. (1958). Zur Vervollkommung der quantitativén phytoplankton methodic. *Mitt. Int. Verein. Theor. Anew. Lim.* 17-47 pp.
- Van Heukelem, L., & Thomas, C. S. (2001). Computer-assisted high-performance liquid chromatography method development with applications to the isolation and analysis of phytoplankton pigments. *Journal of Chromatography A*, 910, 31–49. [https://doi.org/10.1016/S0378-4347\(00\)00603-4](https://doi.org/10.1016/S0378-4347(00)00603-4)
- Varona-Cordero, F., & Gutiérrez, J. (2006). Composición estacional del fitoplancton de dos lagunas costeras del Pacífico tropical. *HIDROBIOLOGICA*, 16(2), 159–174. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57816207>
- Vázquez, G., Áke-Castillo, J., Orduña-Medrano, R. (2021). Catálogo de Fitoplancton de Sistemas

Costeros del Golfo de México y Mar Caribe. Río Tuxpan, estero Tumilco, estero Jácome, laguna La Mancha, río Tonalá, Ría Lagartos e isla de Cozumel. CEMIE-Océano, Universidad Autónoma de Campeche. 160 p.

- Vidussi, F., Claustre, H., Manca, B. B., Luchetta, A., & Marty, J.-C. (2001). Phytoplankton pigment distribution in relation to upper thermocline circulation in the eastern Mediterranean Sea during winter. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, *106*(C9), 19939–19956. <https://doi.org/10.1029/1999JC000308>
- Wang, X., Jiang, S., Wu, Y., & Wang, Y. (2022). Synchronous Shifts in Nutrients and Organic Carbon Responses Over the Diatom-to-Dinoflagellate Succession. *Frontiers in Marine Science*, *9*. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.845372>
- Ward, B. A., & Follows, M. J. (2016). Marine mixotrophy increases trophic transfer efficiency, mean organism size, and vertical carbon flux. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *113*(11), 2958–2963. <https://doi.org/10.1073/pnas.1517118113>
- Zhang, G., Liu, Z., Zhang, Z., Ding, C., & Sun, J. (2023). The impact of environmental factors on the phytoplankton communities in the Western Pacific Ocean: HPLC-CHEMTAX approach. *Frontiers in Marine Science*, *10*(May), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1185939>

11. ANEXO

Anexo A. Presencia y ausencia de géneros y especies de fitoplancton identificados en la capa superficial en las tres estaciones, durante otoño de 2021.

GÉNERO/ESPECIE	SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE		
	B2	B4	B6	B2	B4	B6	B2	B4	B6	B2	B4	B6
Dinoflagelados												
<i>Akashiwo sanguinea</i>				x		x	x	x	x	x	x	x
<i>Ceratium sp.</i>		x	x									
<i>Ceratium azoricus</i>										x		x
<i>Ceratium candelabrum</i>				x		x	x			x		
<i>Ceratium divaricatos</i>			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Ceratium furca</i>		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Ceratium fusus</i>		x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
<i>Ceratium lineatum</i>				x		x	x	x		x	x	x
<i>Ceratium macroceros</i>	x			x						x		x
<i>Ceratium massilensis</i>	x											
<i>Ceratium pentagonus</i>	x											
<i>Ceratium seta</i>	x											
<i>Cochlodinium fulvencens</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Dinophysis sp.</i>		x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Dinophysis acuminata</i>			x									
<i>Dinophysis caudata</i>			x			x	x	x		x	x	x
<i>Diplopsalis sp.</i>				x	x	x				x		x
<i>Gonyaulax sp.</i>					x					x	x	x
<i>Gymnodinium sp.</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Gyrodinium sp.</i>		x	x	x	x	x	x	x	x	x		x
<i>Gyrodinium falcatum</i>									x	x	x	x
<i>Gyrodinium spirale</i>	x											
<i>Heterocapsa sp.</i>	x							x			x	
<i>Karenia sp.</i>	x									x	x	x
<i>Lingulodinium polyedra</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Oxyphysis sp.</i>		x	x	x	x	x		x	x	x	x	x
<i>Oxytoxum elegans</i>												x
<i>Oxytoxum sceptrum</i>	x											
<i>Oxytoxum scolopax</i>										x	x	x
<i>Phalacroma sp.</i>						x	x	x	x	x	x	x
<i>Polykrikos sp.</i>		x	x		x	x	x		x	x	x	x
<i>Prorocentrum sp.</i>		x	x	x						x	x	
<i>Prorocentrum gracile</i>	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Prorocentrum micans</i>				x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Prorocentrum minimum</i>			x									

<i>Prorocentrum rostratum</i>				x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Protooperidinium sp.</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Protooperidinium cassum</i>	x				x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Protooperidinium conicum</i>										x	x	x
<i>Protooperidinium divergens</i>											x	x
<i>Protooperidinium grande</i>											x	
<i>Protooperidinium mite</i>	x							x		x		x
<i>Protooperidinium oceanicum</i>											x	
<i>Pyrophacus sp.</i>									x	x	x	x
<i>Scrippsiella sp.</i>				x	x	x	x	x	x	x	x	x
Diatomeas												
<i>Asteromphalus sp.</i>	x		x		x		x	x			x	
<i>Bacteriastrum sp.</i>	x	x	x	x						x	x	x
<i>Bacteriastrum delicatulum</i>	x											
<i>Chaetoceros sp.</i>	x	x	x	x	x							
<i>Coscinodiscus sp.</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Cylindrotheca closterium</i>	x											
<i>Ditylum sp.</i>				x				x				
<i>Grammatophora marina</i>												x
<i>Guinardia sp.</i>				x	x	x	x	x	x	x		x
<i>Guinardia flaccida</i>		x									x	
<i>Hemiaulus sp.</i>	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x
<i>Lauderia sp.</i>		x		x	x				x			
<i>Licmophora sp.</i>				x			x					
<i>Lioloma pacificum</i>	x	x	x	x		x	x		x			x
<i>Navicula sp.</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Nitzschia sp.</i>				x	x	x	x	x	x	x		x
<i>Nitzschia longissima</i>	x											
<i>Pleurosigma sp.</i>		x		x					x	x		
<i>Podolampas sp.</i>									x	x	x	x
<i>Pseudo-nitzschia sp.</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Rhizosolenia sp.</i>	x			x		x	x			x		x
<i>Thalassionema sp.</i>	x			x		x	x	x	x	x		x
<i>Thalassiosira sp.</i>	x						x	x	x			
Rafidofitas												
<i>Chattonella sp.</i>						x	x			x		
<i>Fibrocapsa sp.</i>	x											
Primnesiofitas												
<i>Phaeocystis globosa</i>	x											
Silicoflagelados												
<i>Dictyocha sp.</i>				x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Octactis sp.</i>				x		x		x				
Euglenofitas												

<i>Euglena sp.</i>	x												
Criptofitas													
<i>Leucocryptos marina</i>					x	x	x				x	x	x

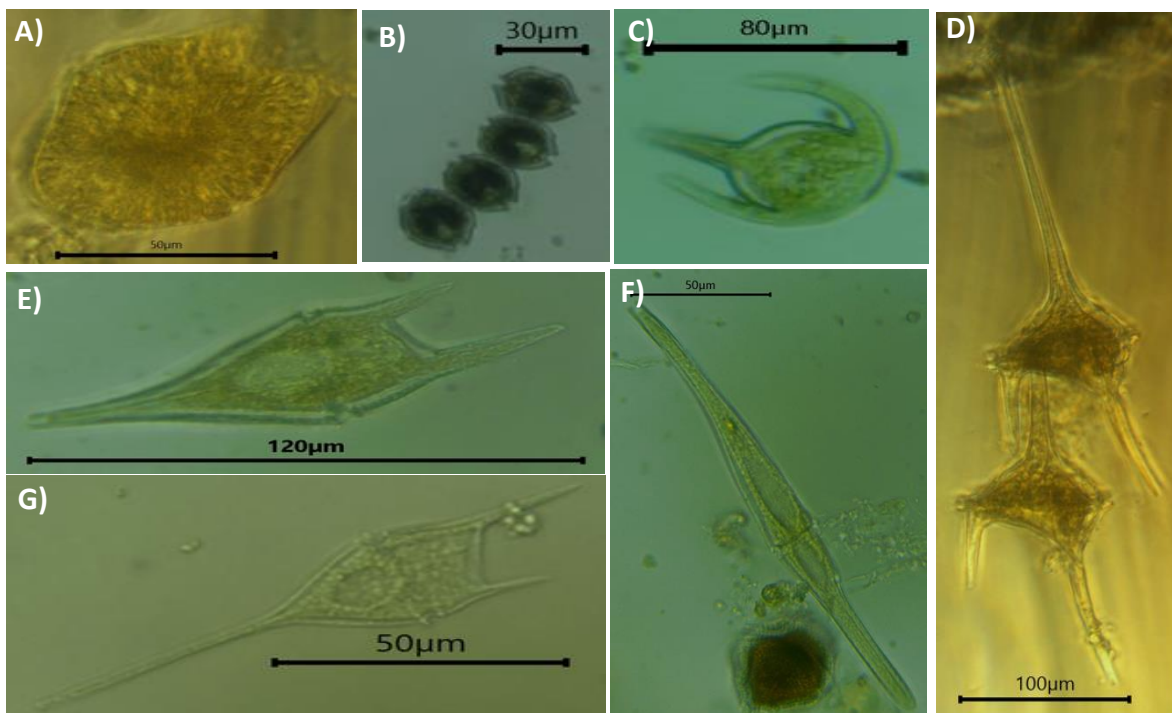
Anexo B. Presencia y ausencia de géneros y especies de fitoplancton identificados en la capa subsuperficial en las tres estaciones, durante otoño de 2021.

GÉNERO/ESPECIE	SEPTIEMBRE			OCTUBRE			NOVIEMBRE			DICIEMBRE		
	B2	B4	B6	B2	B4	B6	B2	B4	B6	B2	B4	B6
Dinoflagelados												
<i>Akashiwo sanguinea</i>										x	x	x
<i>Alexandrium catenella</i>												x
<i>Ceratium sp.</i>	x		x						x			
<i>Ceratium azoricus</i>											x	x
<i>Ceratium divaricatos</i>										x		x
<i>Ceratium furca</i>		x				x			x	x	x	x
<i>Ceratium fusus</i>		x					x	x	x	x	x	x
<i>Ceratium lineatum</i>									x	x	x	x
<i>Ceratium platycorne</i>										x		
<i>Ceratium seta</i>		x										
<i>Ceratium symmetricum</i>	x											
<i>Cochlodinium fulvencens</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Dinophysis sp.</i>	x	x	x	x					x	x	x	x
<i>Dinophysis caudata</i>		x							x		x	x
<i>Diplopsalis sp.</i>				x	x	x						
<i>Diplopsalis lenticula</i>												x
<i>Gonyaulax sp.</i>												x
<i>Gymnodinium sp.</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Gymnodinium gracile</i>												x
<i>Gyrodinium sp.</i>	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Gyrodinium falcatum</i>												x
<i>Heterocapsa sp.</i>												x
<i>Heterocapsa triquetra</i>					x							
<i>Karenia sp.</i>												x
<i>Lingulodinium polyedra</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Oxyphysis sp.</i>	x	x	x		x		x		x		x	x
<i>Oxytoxum sp.</i>												x
<i>Oxytoxum cf. laticeps</i>												x
<i>Oxytoxum elegans</i>											x	
<i>Oxytoxum sceptrum</i>		x				x						x
<i>Oxytoxum scolopax</i>											x	x

<i>Phalacroma sp.</i>									x	x	x	x
<i>Polykrikos sp.</i>		x	x	x		x	x		x	x	x	x
<i>Prorocentrum sp.</i>	x		x		x		x				x	x
<i>Prorocentrum gracile</i>					x	x	x	x	x		x	x
<i>Prorocentrum micans</i>				x	x		x	x	x	x	x	x
<i>Prorocentrum rostratum</i>						x			x		x	x
<i>Protoperidinium sp.</i>	x	x	x				x	x	x	x	x	
<i>Protoperidinium cassum</i>				x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Protoperidinium conicum</i>						x					x	x
<i>Protoperidinium divergens</i>											x	
<i>Protoperidinium grande</i>					x	x						
<i>Protoperidinium mite</i>											x	x
<i>Pyrocystis lunula</i>	x											
<i>Pyrophacus sp.</i>									x			x
<i>Pyrophacus vancampoae</i>		x										
<i>Scrippsiella sp.</i>						x					x	x
Diatomeas												
<i>Asteromphalus sp.</i>		x	x						x		x	
<i>Bacteriastrum sp.</i>	x	x	x		x	x	x		x	x	x	x
<i>Chaetoceros sp.</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x
<i>Coscinodiscus sp.</i>	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x
<i>Coscinodiscus perforatus</i>						x					x	
<i>Ditylum sp.</i>				x					x			
<i>Entomoneis alata</i>						x						
<i>Grammatophora marina</i>										x	x	x
<i>Guinardia sp.</i>	x	x		x		x			x	x	x	
<i>Guinardia flaccida</i>		x			x	x						x
<i>Guinardia striata</i>						x						x
<i>Haslea sp.</i>										x	x	x
<i>Hemiaulus sp.</i>			x		x		x		x	x	x	x
<i>Lauderia sp.</i>	x				x	x			x		x	
<i>Lauderia anulata</i>		x										
<i>Leptocylindrus</i>						x						
<i>Licmophora sp.</i>	x				x	x			x			
<i>Lioloma pacificum</i>	x	x	x		x	x			x	x	x	
<i>Membraneis cf. challengeri</i>					x	x						
<i>Navicula sp.</i>	x	x	x	x	x	x		x	x		x	x
<i>Nitzschia sp.</i>				x	x		x	x	x	x	x	x
<i>Plancktoniella sol</i>	x		x	x								
<i>Pleurosigma sp.</i>	x	x	x	x				x	x		x	
<i>Podolampas sp.</i>									x	x	x	x

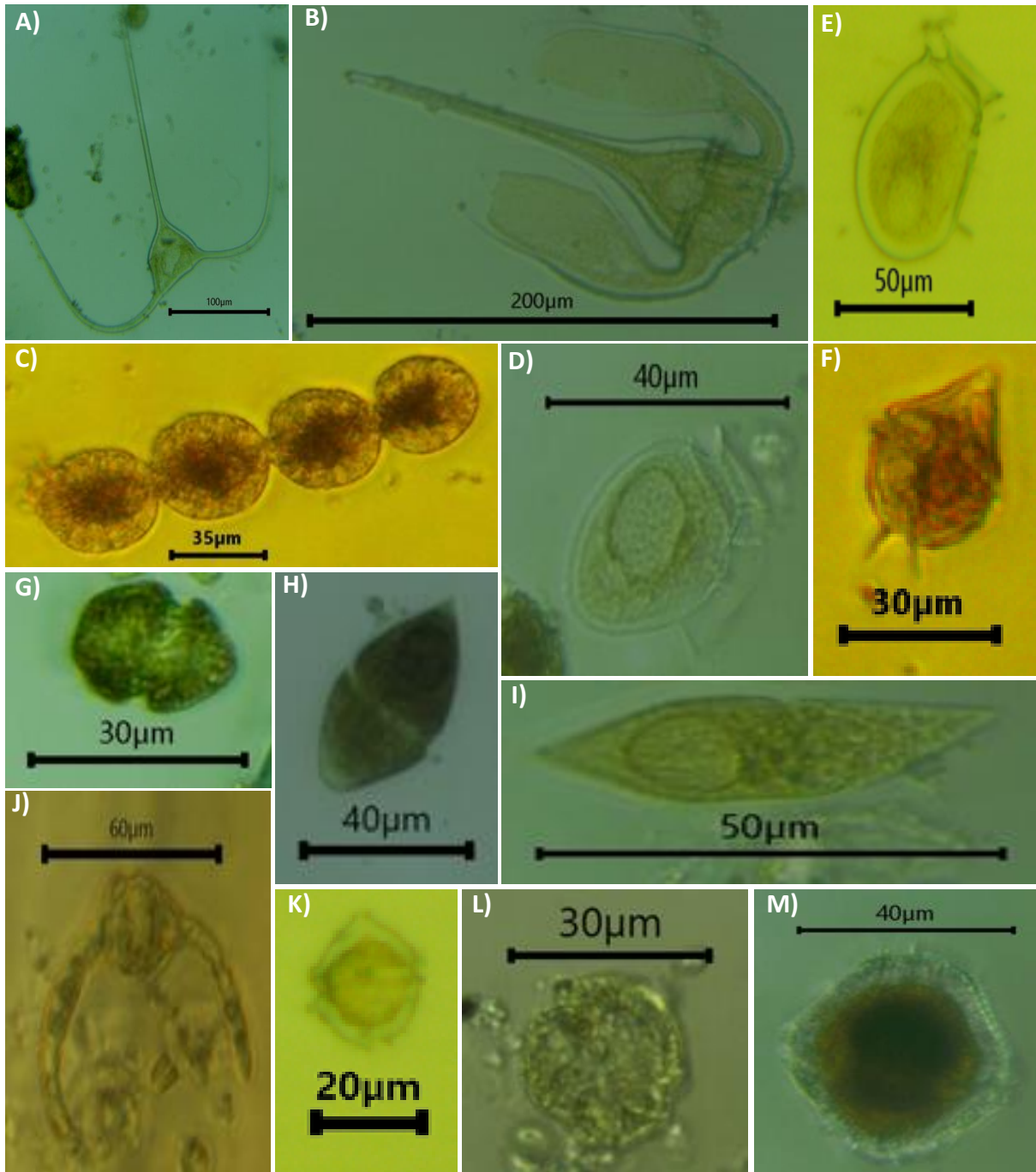
<i>Proboscia alata</i>		x										
<i>Pseudo-nitzschia sp.</i>	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x
<i>Rhizosolenia sp.</i>									x		x	x
<i>Skeletonema sp.</i>											x	
<i>Thalassionema sp.</i>	x	x	x		x	x			x		x	x
<i>Thalassiosira sp.</i>	x	x			x	x		x	x			
Rafidofitas												
<i>Chattonella sp.</i>								x	x	x	x	x
<i>Fibrocapsa sp.</i>			x		x							
Primnesiofitas												
<i>Phaeocystis sp.</i>						x						
Silicoflagelados												
<i>Dictyocha sp.</i>	x		x		x			x	x	x	x	x
<i>Octactis sp.</i>		x										
Criptofitas												
<i>Leucocryptos marina</i>					x				x		x	x

Anexo C. Archivo fotográfico de géneros y especies de dinoflagelados identificados mediante microscopía óptica durante el otoño de 2021.



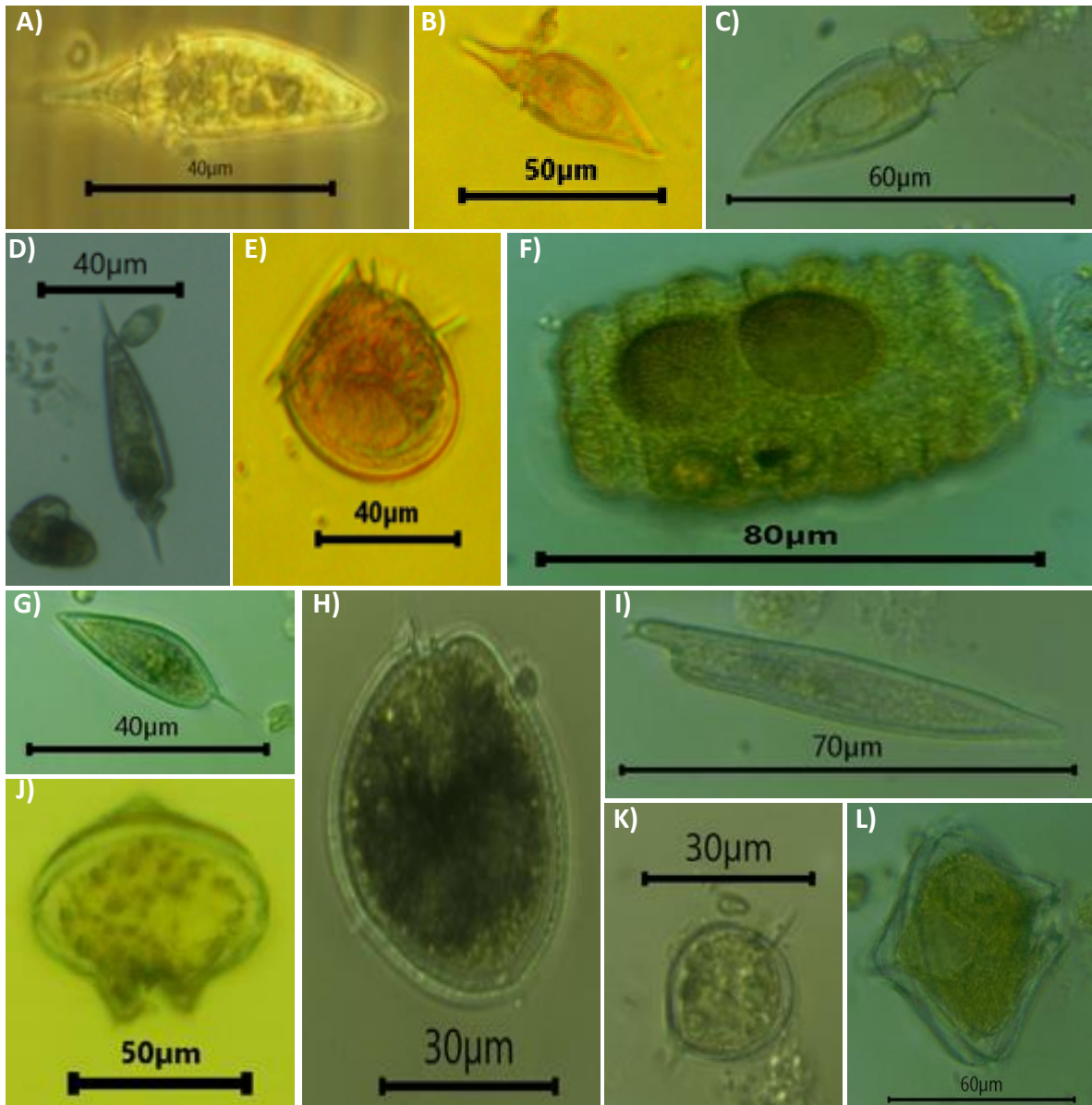
A) *Akashiwo sanguinea* **B)** *Alexandrium catenella* **C)** *Ceratium azoricus* **D)** *Ceratium candelabrum* **E)** *Ceratium furca* **F)** *Ceratium fusus* **G)** *Ceratium lineatum*

Anexo D. Archivo fotográfico de géneros y especies de dinoflagelados identificados mediante microscopía óptica durante el otoño de 2021.



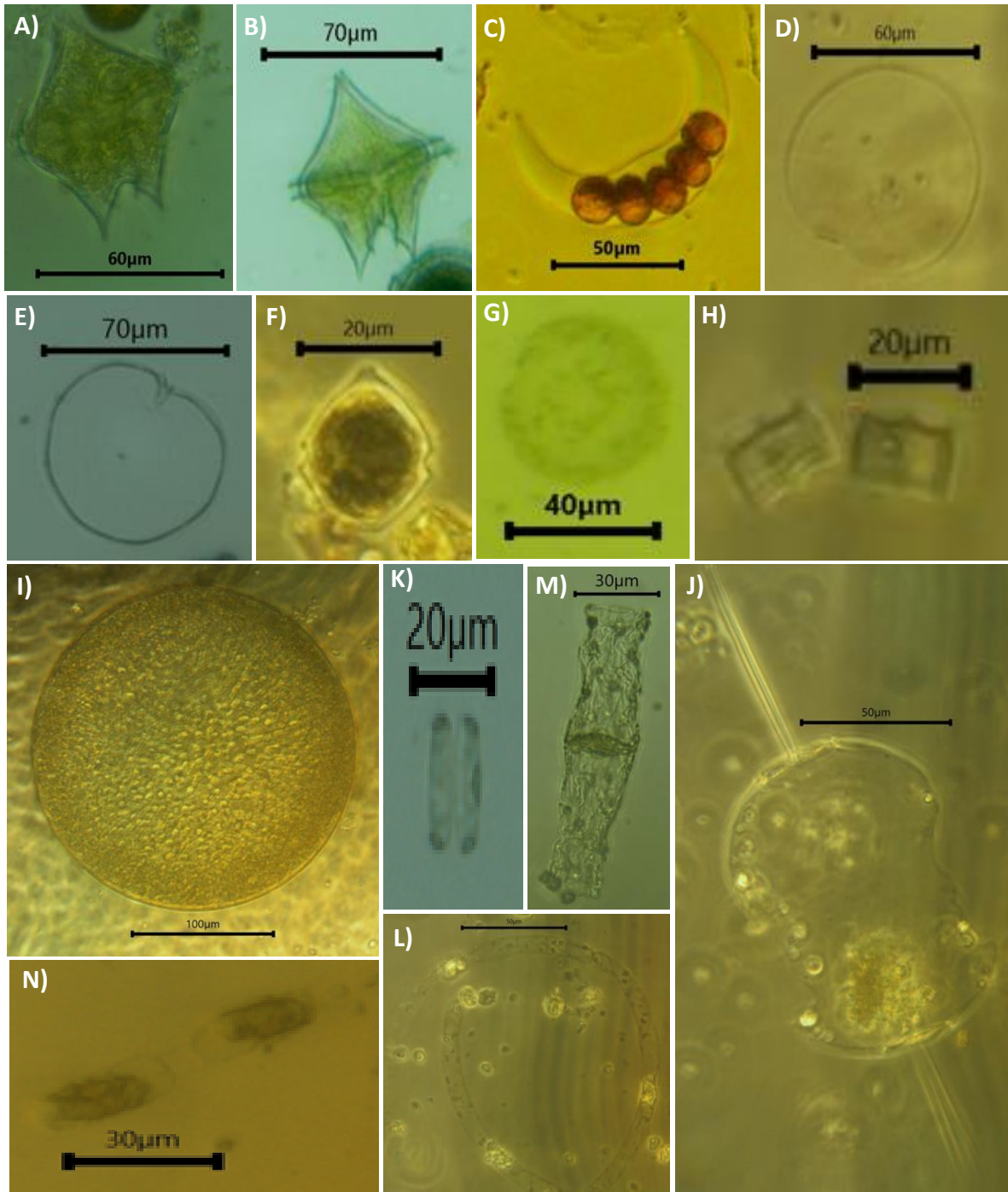
A) *Ceratium macroceros* **B)** *Ceratium platycorne* **C)** *Cochlodinium fulvencens* **D)** *Dinophysis* sp. **E)** *Dinophysis acuminata* **F)** *Gonyaulax* sp. **G)** *Gymnodinium* sp. **H)** *Gymnodinium gracile* **I)** *Gyrodinium* sp. **J)** *Gyrodinium falcatum* **K)** *Heterocapsa* sp. **L)** *Karenia* sp. **M)** *Lingulodinium polyedra*

Anexo E. Archivo fotográfico de géneros y especies de dinoflagelados identificados mediante microscopía óptica durante el otoño de 2021.



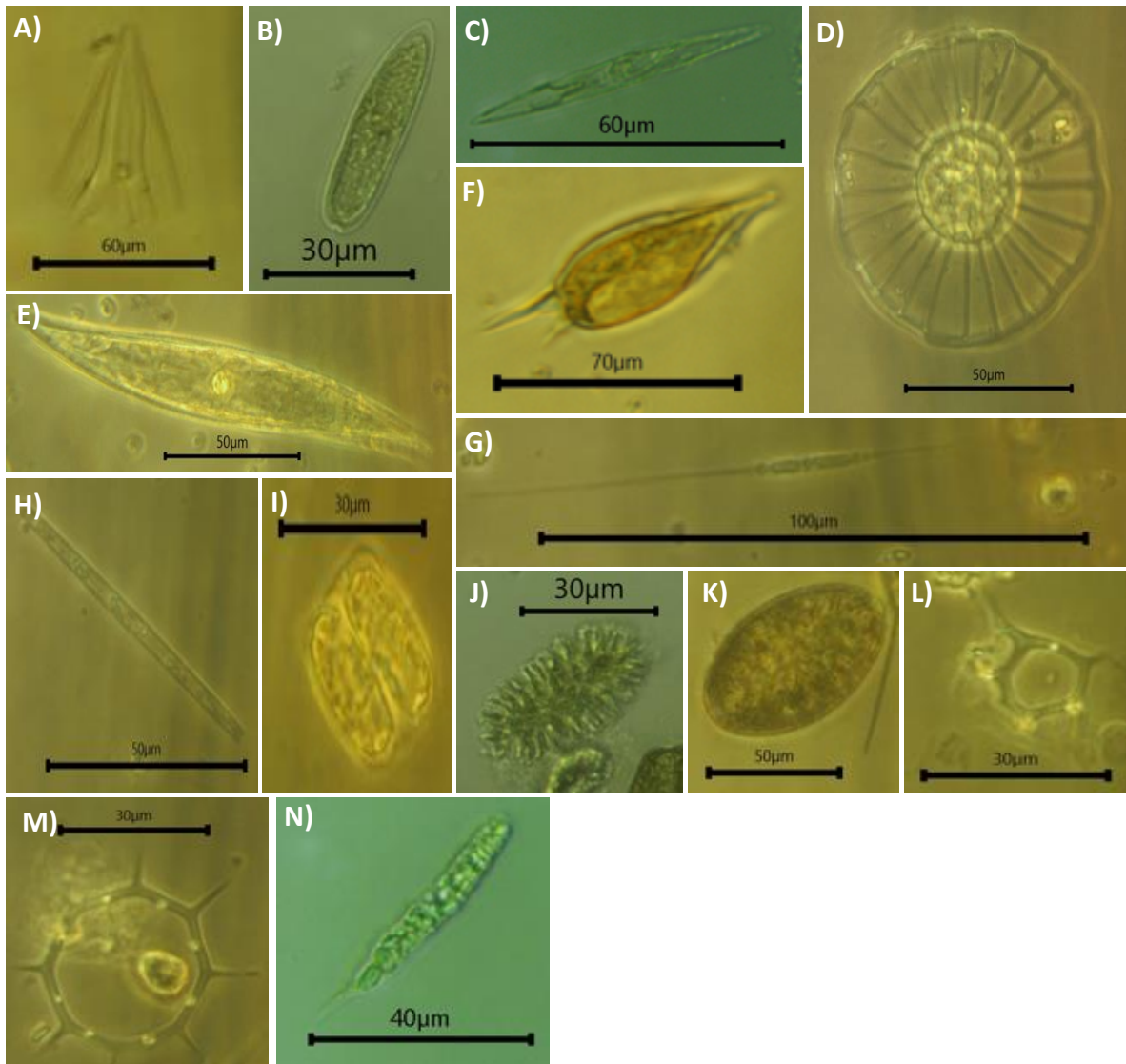
A) *Oxyphysis* sp. **B)** *Oxytoxum* sp. **C)** *Oxytoxum sceptrum* **D)** *Oxytoxum scolopax* **E)** *Phalacroma* sp. **F)** *Polykrikos* **G)** *Prorocentrum gracile* **H)** *Prorocentrum micans* **I)** *Prorocentrum rostratum* **J)** *Protopteridinium* sp. **K)** *Protopteridinium cassum* **L)** *Protopteridinium conicum*

Anexo F. Archivo fotográfico de géneros y especies de dinoflagelados y diatomeas identificados mediante microscopía óptica durante el otoño de 2021.



Dinoflagelados: A) *Protoperidinium divergens* B) *Protoperidinium mite* C) *Pyrocystis lunula* D) *Pyrophacus* sp. E) *Pyrophacus vancampoae* F) *Scrippsiella* sp. **Diatomeas:** G) *Ateromphalus* sp. H) *Chaetoceros* sp. I) *Coscinodiscus* sp. J) *Ditylum* sp. K) *Grammatophroa marina* L) *Guinardia* sp. M) *Guinardia flaccida* N) *Hemiaulus* sp.

Anexo G. Archivo fotográfico de géneros y especies de diatomeas y grupos poco abundantes identificados mediante microscopía óptica durante el otoño de 2021.



Diatomeas: A) *Licmophora* sp. B) *Navicula* sp. C) *Nitzschia* sp. D) *Plancktoniella* sol E) *Pleurosigma* sp. F) *Podolampas* sp. G) *Pseudo-nitzschia* sp. H) *Thalassionema* sp. I) *Thalassiosira* sp. **Rafidofitas:** J) *Chattonella* sp. K) *Fibrocapsa* sp. **Silicoflagelados:** L) *Dictyocha* sp. M) *Octactis* sp. **Criptofitas:** N) *Leucocryptos marina*