

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA**  
FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS  
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFÍA COSTERA



“EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA ESTRUCTURA DE LA  
COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA EN LA LAGUNA OJO DE LIEBRE,  
B.C.S., DURANTE 2021-2022”.

T E S I S

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

PRESENTA

**ALEJANDRA CRUZ PÉREZ**

Ensenada, Baja California, México  
Junio de 2025

FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS  
POSGRADO EN OCEANOGRAFÍA COSTERA

“EVALUACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DE LA ESTRUCTURA DE LA  
COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA EN LA LAGUNA OJO DE LIEBRE,  
B.C.S., DURANTE 2021-2022”.

TESIS

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

MAESTRA EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFÍA COSTERA

Presenta

ALEJANDRA CRUZ PÉREZ

Aprobada por:



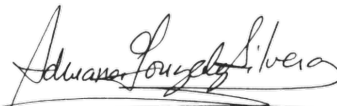
---

Dr. Jorge Manuel López Calderón  
Director de tesis



---

Dra. Mónica Torres Beltrán  
Sinodal



---

Dra. Adriana Gisel Gonzalez Silvera  
Sinodal

## Resumen

El fitoplancton está compuesto por microorganismos fotosintéticos que constituyen la base de la red trófica marina. Este estudio evaluó la variabilidad espacio-temporal de la comunidad fitoplanctónica en la Laguna Ojo de Liebre (Baja California Sur, México) durante 2021 y 2022, utilizando tres enfoques metodológicos: microscopía óptica, quimiotaxonomía (HPLC-CHEMTAX) y análisis moleculares con marcadores genéticos (ARNr 18s). Se identificaron patrones térmicos bien definidos, con temporadas fría (marzo), cálida (agosto) y transicionales (junio y noviembre), que influyeron en la distribución y composición del fitoplancton. La clorofila *a*, como indicador de biomasa fitoplanctónica, osciló entre 0.4 y 2.7 mg m<sup>-3</sup>, con valores máximos en la temporada cálida. Se identificaron 34 géneros fitoplanctónicos, principalmente diatomeas (céntricas y pennadas), dinoflagelados y silicoflagelados, destacando *Navicula sp.* como especie dominante. En la fracción microplanctónica predominaron diatomeas pennadas y dinoflagelados, mientras que en los tamaños nano y picoplanctónicos fueron más abundantes las clorofitas, prasinofitas y criptofitas. Se observó un patrón de distribución temporal inverso: las diatomeas aumentaron en temporadas cálidas y las clorofitas en temporadas frías. Este trabajo representa un esfuerzo pionero en el uso de técnicas moleculares para caracterizar el fitoplancton en este humedal costero. Los análisis moleculares también permitieron identificar organismos mixotróficos, con capacidades tanto autótrofas como heterótrofas, lo cual refleja su adaptabilidad y relevancia ecológica en el ecosistema lagunar.

## **Dedicatoria**

*A mis padres, por ser mi pilar incondicional, por su amor, apoyo y confianza en cada paso que he dado. Gracias por estar siempre ahí, alentándome a alcanzar mis metas y no rendirme ante los desafíos.*

*A mi hermana, mi confidente y guía, que siempre ha estado a mi lado brindándome consejos, ayudándome a elegir el mejor camino y siendo mi inspiración para seguir adelante.*

*A Maza, quien fue un apoyo fundamental durante este proceso, por cada cariñoso ronroneo que me esperaba al regresar a casa tras un largo día de muestreo.*

## **Agradecimientos**

Quiero expresar mi sincero agradecimiento al comité de tesis, integrado por el Dr. Jorge López Calderón, la Dra. Mónica Torres Beltrán y la Dra. Adriana González Silvera, por su orientación y valiosas aportaciones durante el desarrollo de este trabajo. Cada uno, desde su experiencia contribuyó a enriquecer este proceso.

Al Dr. Jorge López Calderón, mi director de tesis, le agradezco profundamente su acompañamiento constante, su disposición para guiarme con paciencia y dedicación, así como su capacidad para motivarme y transmitirme confianza en cada etapa de este proceso académico.

A la Dra. Adriana G. González Silvera y a la Dra. Mónica Torres Beltrán, gracias de corazón por acompañarme con tanta generosidad en este camino. Sus observaciones y consejos no solo fortalecieron mi trabajo, sino que también me hicieron crecer académica y personalmente. Siempre agradeceré la calidez y disposición con la que me guiaron.

Mi gratitud también al grupo de trabajo POPEYE, por ser un espacio donde siempre se aprende y se colabora con alegría. A mis compañeras dentro del grupo, gracias por estar ahí, las risas espontáneas y el apoyo constante.

A los amigos que encontré en este camino, gracias por acompañarme en cada aventura, por compartir esos datos curiosos en cada caminata, por las charlas interminables y por brindarme aliento en los momentos difíciles, así como por celebrar conmigo cada pequeño logro. De ustedes aprendí mucho y me llevo recuerdos que valen más que cualquier dato.

Agradezco a CONAHCYT por el respaldo económico recibido a través de la beca durante mi formación en la maestría, el cual fue fundamental para llevar a cabo este trabajo.

Y, finalmente, a la Exportadora de Sal S.A., por facilitar la logística durante las estancias en Guerrero Negro y por el apoyo durante los muestreos realizados en campo.

## ÍNDICE

1. Introducción.....	7
1.1 Antecedentes .....	10
1.3 Hipótesis.....	13
2. Objetivos .....	13
2.1 Objetivo general .....	13
2.2 Objetivos particulares .....	13
3. Área de estudio .....	14
4. Materiales y metodología .....	16
4.1 Muestreo en campo.....	16
4.2 Análisis en laboratorio .....	17
5. Resultados .....	21
5.1 Composición de la comunidad de microfitoplancton empleando microscopía óptica.....	22
5.2 Composición de la comunidad fitoplanctónica empleando CHEMTAX .....	27
5.3 Composición de la comunidad fitoplanctónica empleando el gen 18S ARNr como marcador taxonómico .....	30
6. Discusión.....	35
7. Conclusiones.....	44
8. Referencias .....	46
9. Anexos .....	52

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla I.</b> Pigmentos del fitoplancton utilizados como biomarcadores de grupos algales (adaptada de Jeffrey et al., 1997). .....	8
<b>Tabla II.</b> Razones de pigmento por grupo fitoplanctónico, usadas como entrada al programa CHEMTAX. ....	19
<b>Tabla III.</b> Clasificación de géneros observados mediante análisis de microscopía óptica, en Laguna Ojo de Liebre, durante 2021 y 2022. En negritas se señalan las diatomeas céntricas. ....	24
<b>Tabla IV.</b> Valores de correlación y significancia con relación a los factores físicos y químicos de las muestras del análisis de coordenadas principales (PCoA). $r^2$ representa los valores de correlación y pval la significancia. ....	33
<b>Tabla V.</b> Comparación de géneros observados, durante el periodo de muestreo y lo reportado por Sánchez-Cobarrubias (2021). ....	41

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Zona de estudio y posición de las nueve estaciones de muestreo y abreviaturas que serán utilizadas en el texto: Boca (B), Carros Viejos (CV), Las Casitas (LC), Isla Alambre (IA), Isla Piedra Norte (IPN), Isla Piedra Sur (IPS), Estero Norte (EN), Remate Sur (RS) y Remate Norte (RN).....	15
<b>Figura 2.</b> Perfiles de (A): temperatura (°C) y (B): salinidad (UPS) para cada estación y mes de muestreo en Laguna Ojo de Liebre. ....	22
<b>Figura 3.</b> Abundancias totales de los grupos que componen la comunidad del microfitoplancton durante los cuatro periodos de muestreo. ....	23
<b>Figura 4.</b> Contribución porcentual de las abundancias de cada género durante el periodo de estudio. A) Agosto, B) Noviembre, C) Marzo, D) Junio. Las líneas punteadas negras indican el inicio del grupo de diatomeas, las líneas punteadas rojas indican el inicio del grupo de silicoflagelados. ....	26
<b>Figura 5.</b> Porcentaje de contribución de los ocho grupos fitoplanctónicos determinados por CHEMTAX: diatomeas, dinoflagelados, primnesiofitas, clorofitas, ciptofitas, prasinofitas, cianobacterias y crisofitas. Los círculos negros representan la concentración de Chl-a ( $\text{mg m}^{-3}$ ) (eje derecho). A) Agosto; B) Noviembre; C) Marzo; D) Junio. ....	28
<b>Figura 6.</b> Porcentaje de contribución de las secuencias de células eucariotas identificadas en la base de datos de Silva 138 mediante QIIME2, utilizando el gen 18 ARNr durante el muestreo de 2021 y 2022. ....	31
<b>Figura 7.</b> Dendrograma de la comunidad fitoplanctónica en base a su composición pigmentaria (16 pigmentos) a lo largo de LOL durante los cuatro meses de estudio (agosto, noviembre, marzo, junio). La etiqueta para cada clado indica: Mes de muestreo_nombre de la estación. Distancia: manhattan, Método de cluster: ward.D. ....	32
<b>Figura 8.</b> Análisis de coordenadas principales (PCoA), indicando la distribución de los pigmentos en LOL. Los vectores indican la correlación de parámetros físicos y químicos (temperatura, salinidad, densidad, profundidad) con la distribución de pigmentos durante el periodo de estudio. Agosto (rosa), noviembre (azul), marzo (marrón) y junio (verde). ....	34

## 1. Introducción

El fitoplancton marino realiza funciones ecológicas esenciales en el ecosistema pelágico global, al desempeñar un papel primordial como el principal productor primario y base de la mayoría de las redes tróficas. A pesar de que representa menos del 1% de la biomasa fotosintética global, es responsable del 45% de la producción primaria anual del planeta (Simon *et al.*, 2009). Por lo anterior tiene relación con diferentes ciclos biogeoquímicos y la dinámica poblacional de los ecosistemas (Simon *et al.*, 2009; Erdoğan *et al.*, 2021; Hayward *et al.*, 2023). Se conforma por organismos procariotas (cianobacterias) y eucariotas, los cuales comprenden una amplia variedad de especies, distribuidas en al menos 8 divisiones taxonómicas (Roy *et al.*, 2011; Jeffrey *et al.*, 1997).

La diversidad y abundancia relativa de las diferentes especies de fitoplancton influyen en cómo el carbono orgánico formado mediante el proceso de la fotosíntesis es utilizado y transferido a través de la red trófica (Catlett *et al.*, 2023). Uno de los atributos clave para esta transferencia es el tamaño celular, ya que determina la cantidad de energía y materia transferible (Irwin *et al.*, 2006; Paczkowska *et al.*, 2020; Ramírez-Altamirano *et al.*, 2023). Para esto, es importante considerar que el fitoplancton se puede clasificar en tres clases de tamaño: picoplancton (0.2-2  $\mu\text{m}$ ), nanoplancton (2-20  $\mu\text{m}$ ) y microplancton (20-200  $\mu\text{m}$ ) (Roy *et al.*, 2011).

El fitoplancton utiliza la radiación solar dentro del intervalo 400-700 nm (Radiación Fotosintéticamente Activa o PAR por sus siglas en inglés), como fuente de energía durante el proceso de fotosíntesis para reducir el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) en azúcares (Manrique-Reol, 2003). Para esto hace uso de pigmentos, que funcionan como antenas captadoras de esta energía y se clasifican en tres grupos: clorofilas, carotenoides y ficobiliproteínas (Jeffrey *et al.*, 1997). Entre las clorofilas, la clorofila a (Chl a) se considera como el pigmento universal ya que se encuentra presente en todas las especies de fitoplancton, a excepción de las cianobacterias del género *Prochlorococcus*, cuyo pigmento equivalente es la Divinil Clorofila a

(DVCl<sub>a</sub>) (Jeffrey *et al.*, 1997). Existen otros pigmentos que son exclusivos de algunos grupos (Tabla I), estas características hacen que los pigmentos sean usados como un insumo para la identificación de grupos algales, independientemente de la morfología o tamaño celular de estos (Jeffrey *et al.*, 1997). Por ejemplo, la peridinina es un pigmento exclusivo del grupo de los dinoflagelados, mientras que la alloxantina es representativo de las criptofitas. Además, hay pigmentos con funciones alternas a la captación de luz como los carotenoides, que protegen a las células de la radiación en exceso (fotoprotección) (Kirk, 1994).

**Tabla I.** Pigmentos del fitoplancton utilizados como biomarcadores de grupos algales (adaptada de Jeffrey *et al.*, 1997).

<b>Pigmentos</b>	<b>Abreviatura</b>	<b>Grupo Algal</b>
		Todos excepto
Clorofila <i>a</i>	Chl <i>a</i>	<i>Prochlorococcus</i>
Divinil Clorofila <i>a</i>	DVChl <i>a</i>	<i>Prochlorococcus</i>
Clorofila <i>c</i> <sub>3</sub>	Chl <i>c</i> <sub>3</sub>	Primnesiofitas
Clorofila <i>b</i>	Chl <i>b</i>	Clorofitas/Prasinofitas
Fucoxantina	Fuco	Diatomeas/Primnesiofitas
19'Butanoiloxifucoxantina	19'But	Crisofitas/Primnesiofitas
19'Hexanoiloxifucoxantina	19'Hex	Primnesiofitas
Peridinina	Peri	Dinoflagelados
Alloxantina	Allo	Criptofitas
Zeaxantina	Zeax	Cianobacterias / Clorofitas
Prasinoxantina	Pras	Prasinofitas

Existen diversas aproximaciones para evaluar la composición taxonómica del fitoplancton. El enfoque tradicional se basa en el uso de la microscopía óptica, siguiendo el método descrito por Utermöhl (1958). Este método permite identificar organismos en base a su morfología, tamaño y/o la formación de colonias o cadenas. Sin embargo, una limitación importante es la dificultad para observar o determinar con claridad la morfología en aquellas células del pico o nanoplancton (Hayward *et al.*, 2023). Posteriormente surgió la quimiotaxonomía, que permite a través de los pigmentos inferir la presencia de aquellos grupos que no se pueden observar al microscopio, como por ejemplo las cianobacterias, clorofitas, primnesiofitas, entre otras. La quimiotaxonomía se ha consolidado como una

herramienta fundamental para el estudio de las comunidades del fitoplancton, facilitando una comprensión más profunda de su distribución y composición en ecosistemas oceánicos y costeros, con especial atención a las especies de menor tamaño ( $<10\mu\text{m}$ ) (Roy *et al.*, 2011; Araujo *et al.*, 2016). El análisis de quimiotaxonomía se basa en el uso del programa CHEMTAX (Chemical Taxonomy), desarrollado por Wright *et al.* (1996). Su aplicación se basa en el ingreso de información sobre el tipo y concentración de los pigmentos diagnósticos o característicos presentes en una muestra, lo cual se determina mediante cromatografía líquida de alta resolución (*High Performance Liquid Chromatography* o HPLC, por sus siglas en inglés) (Roy *et al.*, 2011).

Sin embargo, la quimiotaxonomía no permite identificar al fitoplancton presente a un nivel taxonómico inferior (familia, género o especie). A su vez, algunas especies no dependen exclusivamente de la fotosíntesis (y de los pigmentos) para su desarrollo, sino que presentan estrategias tróficas más complejas, por lo que su identificación y cuantificación en el ambiente por estrategias convencionales resulta un reto. Entre ellas destaca la mixotrofia, una forma de nutrición versátil que permite a ciertos organismos obtener energía y nutrientes a través de la fotosíntesis y mediante la ingestión de materia orgánica en entornos con condiciones cambiantes. Lo anterior demuestra la necesidad de emplear enfoques complementarios para una evaluación más precisa de las comunidades fitoplanctónicas (Yang *et al.*, 2020; Litchman, 2024).

Recientemente, se inició el uso de marcadores moleculares que permiten discriminar especies crípticas (organismos que son morfológicamente indistinguibles entre sí, pero que son genéticamente distintos y pueden ser considerados especies separadas) de manera precisa, independientemente de su metabolismo o tamaño celular (Simon *et al.*, 2009). El uso de genes marcadores de diversidad taxonómica permite obtener información directa sobre la composición taxonómica de una comunidad a niveles inferiores, lo que complementa y enriquece el enfoque tradicional basado en características morfológicas (Herrera-Sepúlveda, 2008). El gen 18S ARNr se ha consolidado como el marcador principal filogenético en análisis de fitoplancton eucariota, donde se destaca la región hipervariable V4

como la más empleada para la secuenciación de amplicones por su equilibrio entre especificidad y conservación filogenética (Gong y Marchetti, 2019; Prüsse *et al.*, 2007; Hayward *et al.*, 2023).

## 1.1 Antecedentes

La Bahía San Sebastián Vizcaíno se ubica en Baja California Sur (México) y en 1988 fue declarada Reserva de la Biosfera (UNESCO, <https://www.unesco.org/en/mab/el-vizcaino>). Esta reserva es una de las más grandes del mundo, cubre 2.5 millones de hectáreas, lo que representa el 10% de las áreas naturales protegidas de México (Crespo-Guerrero y Jiménez-Pelcastre, 2016). Dentro de la reserva se encuentra la Laguna Ojo de Liebre (LOL) considerada como una de las áreas más importantes dentro de ella. Su ecosistema es excepcional en términos ecológicos, ya que ofrece una amplia variedad de hábitats que favorecen la reproducción y crianza de diversas especies, tanto nativas como migratorias, que reciben protección especial como aves, tortugas marinas, lobos marinos, delfines y ballenas grises, que han logrado superar el estatus de especies en peligro (SEMARNAT, 2020).

Las condiciones naturales de la laguna permiten el desarrollo favorable de especies pesqueras muy valiosas en el mercado, lo que representa un enorme potencial para el desarrollo y aprovechamiento sostenible (SEMAR, 2020). Por ejemplo, se desarrollan importantes pesquerías comerciales que abarcan la captura de almeja mano de león, almeja chocolate, pulpo, jaiba, entre otras. Estas actividades pesqueras son fundamentales para la economía local y proporcionan recursos alimenticios esenciales para la comunidad (De-Cruz-Agüero *et al.*, 1996; Ruiz-Verdugo *et al.*, 2016). Por otro lado, en este lugar se encuentra una de las industrias de producción de sal marina más grande del mundo, Exportadora de Sal S.A. de C.V. produce un promedio de 7.5 millones de toneladas métricas anuales de sal marina, la cual se exporta a diferentes países, entre ellos Japón y Estados Unidos, lo que genera recursos económicos y empleo para la población de Guerrero Negro (Gómez-Cavazos, 2021).

En la laguna se han realizado estudios que han abordado diferentes aspectos relacionados con la conservación de su alta biodiversidad, centrados principalmente en especies en riesgo, como vertebrados terrestres, mamíferos marinos, moluscos bivalvos y aves (Acevedo-Cervantes 1997; Álvarez-Borrego y Granados-Guzmán, 1991; González-Ortiz y Hernández-Alcántara, 2021). Sin embargo, a pesar de su importancia ecológica y económica, la investigación científica de Laguna Ojo de Liebre en términos de sus productores primarios marinos es limitada (Águila-Ramírez *et al.*, 2000; Millán- Nuñez *et al.*, 1987; Sánchez-Cobarrubias, 2021). Por lo que, la evaluación espacial y temporal de la comunidad fitoplanctónica es un área de oportunidad para generar información fundamental de esta laguna costera.

Millán-Núñez *et al.* (1987) estudiaron la distribución de la concentración de clorofila *a* (Chl *a*), feopigmentos y la composición taxonómica del fitoplancton en la LOL. Estos autores reportaron a las diatomeas como el grupo dominante a lo largo de toda la laguna, asimismo, se observó una concentración de Chl *a* de hasta 3.6 mg m<sup>-3</sup> (variación diurna en una estación) durante un florecimiento de la diatomea *Nitzschia longissima*. Posteriormente, Arellano-Martínez (2005) realizó un estudio enfocado en las características ecofisiológicas de la reproducción de la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*) en Laguna Ojo de Liebre, en donde destaca la importancia del fitoplancton, específicamente diatomeas (*Chaetoceros*, *Coscinodiscus*, *Rhizosolenia*, *Skeletonema* y *Thalassiosira*) como su fuente de alimento. Estas microalgas contienen esteroides, los cuales son incorporados por estos organismos filtradores para satisfacer sus demandas fisiológicas. Por lo tanto, la formación de florecimientos algales juega un papel importante en el ciclo de vida de organismos filtradores como el bivalvo *N. subnodosus*.

Treinta años después del estudio de Millán-Núñez *et al.* (1987), Sánchez-Cobarrubias *et al.* (2021) retomaron esta línea de investigación, determinando la condición de LOL en términos de la comunidad del fitoplancton durante el mes de febrero de 2018. En esta investigación se determinó la contribución que tuvo cada uno de los grupos de tamaño celular al total de Chl *a*: microplancton (44%), nanoplancton (20%) y picoplancton (37%). Por otro lado, estos autores encontraron una baja densidad celular (8,000 cel L<sup>-1</sup>) en comparación con lo reportado por Millán-

Núñez *et al.* (1987) ( $25,000 \text{ cel L}^{-1}$ ) y concluyeron que puede estar relacionado con una mayor relevancia del picoplancton en la dinámica de LOL. Posteriormente, Sánchez-Cobarrubias (2021) amplió su investigación de la comunidad fitoplanctónica en LOL durante 2017-2018 utilizando el método CHEMTAX para analizar su composición. Similar a lo reportado por Millán-Núñez *et al.* (1987), encontró un predominio de las diatomeas pennadas, seguidas de dinoflagelados y silicoflagelados. Gracias a la quimiotaxonomía se pudo resaltar la contribución de primnesiofitas en la comunidad y que su distribución está influenciada por la dinámica de Bahía Sebastián Vizcaíno. En tanto que el grupo de las crisofitas mostró una correlación inversa con la variación de la temperatura de la laguna, asociadas a zonas de temperaturas bajas durante la temporada fría del año.

Por lo tanto, realizar investigaciones científicas en la LOL que aborden a productores primarios como el fitoplancton y la variación en la estructura de su comunidad es esencial para el buen manejo de este importante ecosistema costero y tener elementos para analizar su respuesta ante eventos como el cambio climático. Por ejemplo, en 1995 se implementó la pesquería de la almeja mano de león la cual experimentó un rápido crecimiento, posicionándose como un producto de alto valor comercial. Pero en el año 2010 ocurrió un colapso de esta pesquería debido a una alta mortalidad, la cual se ha asociado con diversas causas, incluyendo la explotación comercial y factores ambientales (González-Ortiz y Hernández-Alcántara, 2021). Así como este ejemplo, han ocurrido otros eventos de mortalidad de organismos de los cuales se desconoce una razón concreta. Gutiérrez-de-Velasco (2000) reporta que, durante el año de 1997, se encontraron 94 tortugas varadas, distribuidas tanto en el interior como en el exterior de LOL, lo que se asoció a un choque hipersalino.

### **1.3 Hipótesis**

Utilizar tres técnicas taxonómicas para describir la comunidad del fitoplancton permitirá obtener una descripción más robusta de la variación anual de la composición del fitoplancton en la Laguna Ojo de Liebre durante el periodo 2021-2022.

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo general**

- Determinar la variabilidad espacio-temporal de la estructura y composición del fitoplancton en Laguna Ojo de Liebre durante 2021-2022.

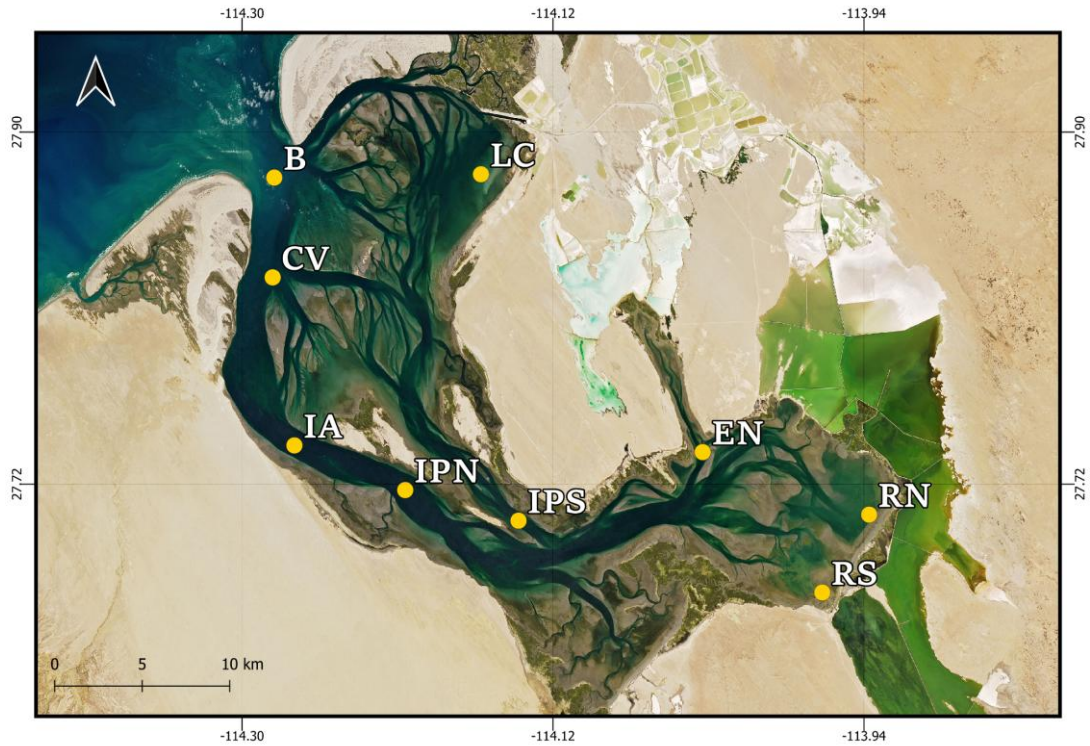
### **2.2 Objetivos particulares**

- Caracterizar taxonómicamente la presencia y abundancia celular de la comunidad fitoplanctónica de LOL empleando microscopía óptica.
- Caracterizar la comunidad fitoplanctónica de LOL utilizando quimiotaxonomía (HPLC-CHEMTAX).
- Caracterizar la comunidad fitoplanctónica de LOL mediante el gen 18S ARNr como marcador taxonómico.
- Comparar la estructura de la comunidad fitoplanctónica de LOL durante 2021-2022 vs. 2017-2018.
- Asociar la variabilidad de parámetros ambientales (temperatura y salinidad) con la distribución y abundancia del fitoplancton de LOL.

### 3. Área de estudio

Laguna Ojo de Liebre (LOL) es una laguna costera hipersalina situada en la costa noroeste del estado de Baja California Sur, entre las coordenadas 27.60° y 27.92° N y 113.92° y 114.32° O (Fig. 1). Forma parte de un conjunto de tres lagunas o humedales: Manuela, Guerrero Negro y Ojo de Liebre, que se conectan con Bahía Sebastián Vizcaíno. La LOL comprende una superficie de 480 km<sup>2</sup>, con una longitud aproximada de 40 km y un ancho promedio de 6 km (Gutiérrez-de-Velasco, 2000; Gutiérrez-de-Velasco *et al.*, 2008). En su interior cuenta con cuatro islas principales: Conchas, Brosas, Piedras y Choya (Rodríguez-Padilla, 2013). Su batimetría incluye una red compleja de canales con profundidades máximas de 30 m, que se extienden a través de zonas de baja profundidad o "bajos" que cubren la mayor parte de su área (Gutiérrez-de-Velasco *et al.*, 2008).

Esta región se caracteriza por un clima seco-semiárido, con una temperatura media anual que oscila entre 15.6 y 27.3°C y precipitaciones anuales promedio de aproximadamente 30 mm. Los aportes fluviales hacia las lagunas son mínimos, exceptuando eventos de precipitaciones excepcionales asociadas con el paso de huracanes (Rodríguez-Padilla, 2013). La dinámica de la circulación en LOL está regida por tres componentes principales: gradientes de densidad, viento y marea, este último de mayor importancia, debido al flujo y reflujo que se genera hacia el mar adyacente, con velocidades típicas de hasta 1 m s<sup>-1</sup>. La marea en la laguna es de tipo mixto, con variaciones que pueden llegar hasta 2 m durante los períodos de marea viva. Mientras que el viento afecta principalmente a la circulación superficial y genera una mezcla vertical que mantiene una columna de agua homogénea (Gutiérrez-de-Velasco *et al.*, 2008).



**Figura 1.** Zona de estudio y posición de las nueve estaciones de muestreo y abreviaturas que serán utilizadas en el texto: Boca (B), Carros Viejos (CV), Las Casitas (LC), Isla Alambre (IA), Isla Piedra Norte (IPN), Isla Piedra Sur (IPS), Estero Norte (EN), Remate Sur (RS) y Remate Norte (RN).

El análisis del clima en el Pacífico del Este revela que los vientos predominantes soplan de manera constante hacia el Sudeste ( $150^\circ$ ) durante todo el año. Estos vientos alcanzan su mayor intensidad en primavera y principios del verano, con una velocidad promedio de  $7 \text{ m s}^{-1}$  en el mes de mayo. En cuanto a la temperatura, salinidad y densidad, las tres presentan gradientes que aumentan hacia el interior de la laguna (Rodríguez-Padilla, 2013; Gutiérrez-de-Velasco, 2000).

## **4. Materiales y metodología**

### **4.1 Muestreo en campo**

Se llevaron a cabo cuatro muestreos en la Laguna Ojo de Liebre (LOL) entre 2021 (agosto, noviembre) y 2022 (marzo, junio). Se seleccionaron nueve estaciones (Fig. 1) en las cuales se colectaron muestras superficiales de agua de mar por medio de una botella Niskin de 5 L. Además, en cada estación se lanzó un CTD YSI CastAway® para medir temperatura, salinidad, densidad y profundidad de la columna de agua.

Para el análisis de la comunidad fitoplanctónica por microscopia, se colectaron 250 mL de la botella Niskin en botellas de polietileno de alta densidad de color ámbar (Nalgene). Se agregó 1 mL de lugol alcalino por cada 100 mL de muestra para fijar y preservar las células del fitoplancton. Para los análisis de quimiotaxonomía y molecular, se recolectaron dos muestras de 2 litros de agua de mar en botellones de alta densidad de color ámbar (Nalgene). Las muestras de quimiotaxonomía se utilizaron para determinar la concentración de pigmentos del fitoplancton, mientras que las muestras para análisis molecular se utilizaron para concentrar la biomasa celular presente y extraer posteriormente su ADN. Cabe mencionar que, para las muestras de agua para análisis molecular, se utilizó una malla de nylon de 200  $\mu\text{m}$  en un embudo para eliminar partículas de mayor tamaño. Estas muestras se conservaron en la oscuridad y hielo hasta ser procesadas en el laboratorio.

## 4.2 Análisis en laboratorio

### 4.2.1 Microscopía óptica

Para la cuantificación e identificación del fitoplancton se usó el método de Utermöhl (1958) y un microscopio invertido Carl Zeiss IM con contraste de fases. Para llevar a cabo la sedimentación de la muestra, se montó una columna de sedimentación en una cámara con una ligera capa de agua de mar destilada y se giró para generar presión y, por lo tanto, vacío. Se homogeneizó cada una de las muestras y se colocó en columnas de sedimentación (50 y 100 mL) y se dejaron en reposo de 24 y 48 h respectivamente (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 2005).

Una vez concluido el periodo de sedimentación, con ayuda de un portaobjeto se retiró la columna de sedimentación y se procedió a revisar el contenido sedimentado. Del volumen pequeño (50 mL) se registraron y cuantificaron todos los géneros fitoplanctónicos observados en aumento de 200x, mientras que en el volumen mayor (100 mL) se registraron los géneros no observados en el volumen pequeño empleando el aumento de 200x, con la finalidad de cuantificar los géneros menos abundantes (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 2005). La identificación de géneros fitoplanctónicos se llevó a cabo considerando las guías de Thomas (1997), Almazán-Becerril *et al.*, (2016) y la base de datos en línea <https://www.algaebase.org/>.

Para el cálculo de la abundancia celular se empleó la siguiente ecuación:

$$Abundancia \left[ \frac{cel}{L} \right] = N * 1000 \text{ vol} \dots (1)$$

Donde:

N = número de células de un taxón cuantificados a 200x

vol = volumen sedimentado en mL

1000 = factor de conversión a litro

#### 4.2.2 Análisis de quimiotaxonomía (HPLC-CHEMTAX)

Para analizar y cuantificar los pigmentos del fitoplancton, se utilizó la técnica de Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC) en un sistema Agilent 1260, siguiendo el método descrito en Thomas (2012). Se utilizaron 2 L de las muestras colectadas previamente en botellones de alta densidad de color ámbar (Nalgene) de 4 L y se pasaron por filtros Whatman GF/F de 25 mm de diámetro mediante un sistema de filtrado positivo. Estos filtros se conservaron a -20 °C hasta el momento de la extracción de los pigmentos.

La extracción de los pigmentos se realizó colocando cada filtro en tubos que contenían una solución compuesta por 100 µL de agua destilada grado HPLC y 4 mL de acetona 100% con vitamina E como estándar interno. Los viales se agitaron en un vórtex durante 10 segundos, después se colocaron en un sonicador durante 10 segundos y se almacenaron a -20 °C por un periodo de 24h. Después, las muestras se centrifugaron por 10 min a 3000 rpm, se extrajo 1 mL del sobrenadante de la muestra que se colocó en un vial de 1.5 mL para posteriormente colocarlo en el HPLC para su análisis. De cada muestra se obtuvo un cromatograma, en el cual se determinó la concentración de cada pigmento presente para cada muestra mediante la siguiente ecuación de estado:

$$C_{Pi} = \frac{\hat{A}_{C1} V_m \hat{C}_{pi}}{\hat{A}_{s1} V_f V_c} \dots (2)$$

Donde:

$C_{Pi}$ = concentración del pigmento ( $\mu\text{g L}^{-1}$ )

$\hat{C}_{pi}$ = cantidad de pigmento ( $\mu\text{g inyección}^{-1}$ )

$V_f$ = volumen de filtración

$V_m$ = cantidad de solvente de extracción agregado a la muestra

$V_c$ = volumen de la muestra inyectada al HPLC

$\hat{A}_{C1}$ =área del estándar interno inyectado, antes de agregar a la muestra

$\hat{A}_{s1}$ =área del estándar interno inyectado a la muestra

Una vez conocida la concentración de cada pigmento en la muestra, se utilizó el software CHEMTAX, para determinar la presencia de grupos fitoplanctónicos en base a los pigmentos diagnóstico (Tabla I). El CHEMTAX se basa en un análisis factorial y utiliza algoritmos de descenso pronunciado para estimar la contribución de cada grupo algal a la Chl *a* (Mackey et al. 1996). El programa requiere una matriz de entrada que contiene las razones de pigmento/Chl *a* asociada a cada grupo algal (Tabla II), la cual en este trabajo se basó en Sánchez-Cobarrubias (2021). El programa genera 64 matrices de salida donde se presenta la contribución de cada grupo algal a la Chl *a*. De estas se seleccionaron las seis con el menor error cuadrático medio y, posteriormente, el promedio se tomó como el resultado final que sirvió para los análisis posteriores.

**Tabla II.** Razones de pigmento por grupo fitoplanctónico, usadas como entrada al programa CHEMTAX.

<b>Grupo / Pigmento</b>	<b>Chl <i>b</i></b>	<b>19'But</b>	<b>19'Hex</b>	<b>Allo</b>	<b>Fuco</b>	<b>Peri</b>	<b>Zea</b>	<b>Chl <i>c</i><sub>3</sub></b>	<b>Pras</b>	<b>Chl <i>a</i></b>
Diatomeas	0	0	0	0	0.62	0	0	0	0	1
Dinoflagelados	0	0	0	0	0	0.56	0	0	0	1
Primnesiofitas	0	0.05	0.42	0	0.27	0	0	0.17	0	1
Clorofitas	0.32	0	0	0	0	0	0.03	0	0	1
Criptofitas	0	0	0	0.38	0	0	0	0	0	1
Prasinofitas	0.7	0	0	0	0	0	0.06	0	0.24	1
Cianobacterias	0	0	0	0	0	0	0.64	0	0	1

Para evaluar la relación entre los factores físicos y químicos y la estructura de la comunidad de fitoplancton con base en la razón de pigmentos obtenida, se llevó a cabo un análisis de coordenadas principales (PCoA). Se tomó la matriz de razones pigmento/Chl *a* que se utilizó para el análisis en CHEMTAX (Tabla II), además de una matriz con la relación de los valores de los parámetros físicos y químicos de temperatura, salinidad, densidad y profundidad. El análisis de PCoA se realizó utilizando la librería *ecodist* (Goslee & Urban, 2007) utilizando una matriz

disimilitud de Bray-Curtis para los pigmentos y los argumentos “vectors” y “scores” para obtener las correlaciones con las variables físicas y químicas.

#### 4.2.3 Análisis molecular

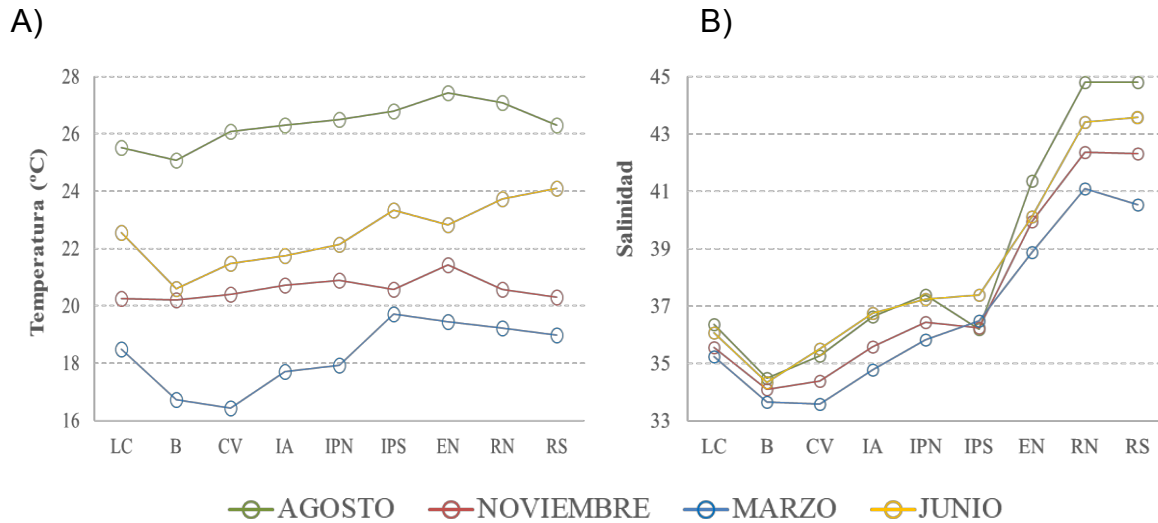
La concentración de biomasa para el análisis molecular se llevó a cabo filtrando hasta 2 L de agua utilizando filtros de membrana Track-etched (Nucleopore) de 0.8  $\mu\text{m}$ . Los filtros se conservaron a  $-20^{\circ}\text{C}$  hasta su extracción de ADN en el laboratorio. La extracción de ADN se llevó a cabo utilizando el kit DNeasy PowerWater (Qiagen) siguiendo el protocolo Quick-Start del kit y agregando un paso de incubación a  $65^{\circ}\text{C}$  por 60 min. Posterior a la extracción, el ADN total fue cuantificado utilizando un NanoDrop, para posteriormente ser enviado para la secuenciación de amplicones del gen 18S rRNA. Para la secuenciación, se consideraron las muestras con concentración mayores o iguales a  $1 \text{ ng } \mu\text{l}^{-1}$  y un valor mínimo 260/280 igual a 1.8. La secuenciación de amplicones del gen 18S rRNA se llevó a cabo utilizando cebadores específicos para la región V4 de eucariotas E572F (CYGCGGTAATTCCAGCTC) y E1009R (AYGGTATCTRATCRTCTTYG) (Comeau *et al.*, 2011) en el centro de secuenciación de Integrated Microbiome Resource (IMR) de la Universidad Dalhousie, Halifax, Canadá, utilizando la tecnología Illumina MiSeq.

Las secuencias fueron analizadas con el software QIIME2 siguiendo el protocolo para amplicones del gen 18S rRNA ([https://github.com/LangilleLab/microbiome\\_helper/wiki/Amplicon-SOP-v2-\(qiime2-2022.11\)](https://github.com/LangilleLab/microbiome_helper/wiki/Amplicon-SOP-v2-(qiime2-2022.11))). Brevemente, las secuencias obtenidas se analizaron para determinar su calidad y después se agruparon en secuencias variantes (ASVs) (Boylen *et al.*, 2019). Posteriormente fueron anotadas taxonómicamente usando la base de datos Protist Ribosomal Reference (PR2) (Guillou *et al.*, 2023) que ofrece un recurso especializado para acceder a secuencias de ADN y ARN ribosómico de subunidades pequeñas en eucariotas (200,000 secuencias de la subunidad 18S), con una taxonomía curada. Este enfoque amplio es especialmente útil para interpretar conjuntos de datos generados mediante secuenciación masiva de alto

rendimiento, proporcionando una herramienta esencial para estudios de diversidad microbiana y filogenia (Guillou *et al.*, 2013). La variación de la estructura de la comunidad fitoplanctónica se determinó usando la abundancia relativa y la distribución de las ASVs obtenidas. Para la visualización de los resultados se utilizó la herramienta en línea de QIIME2 View (*QIIME 2 View*, 2024) y posteriormente fueron manualmente editadas con la paquetería Illustrator V6.

## 5. Resultados

Durante los cuatro muestreos realizados en Laguna Ojo de Liebre se determinó la temperatura y la salinidad de la columna de agua, los perfiles verticales de estos datos se incluyen en el Anexo I. Debido a que la columna de agua se encuentra bien mezclada en la laguna, se pudieron utilizar promedios verticales para el análisis. La temperatura mostró un intervalo de variabilidad entre 16.4 °C y 27.5 °C, por lo que fue posible identificar dos meses extremos y dos meses de transición (Fig. 2A). El mes de agosto fue el mes más cálido, con temperaturas que fueron de 25 °C (B) a 27.4 °C (EN). En contraste, marzo fue el mes más frío, con un intervalo de temperatura que varió entre 16.4 °C (CV) y 19.7 °C (IPS). El gradiente térmico (de la boca hacia el remate) para estos meses fue de 2.4 y 3.3 °C, respectivamente. En cambio, los meses de noviembre y junio presentaron temperaturas que fluctuaron entre 20.2 °C y 24 °C, por lo que se consideran de transición entre las temporadas fría y cálida en la laguna (Fig. 2A).



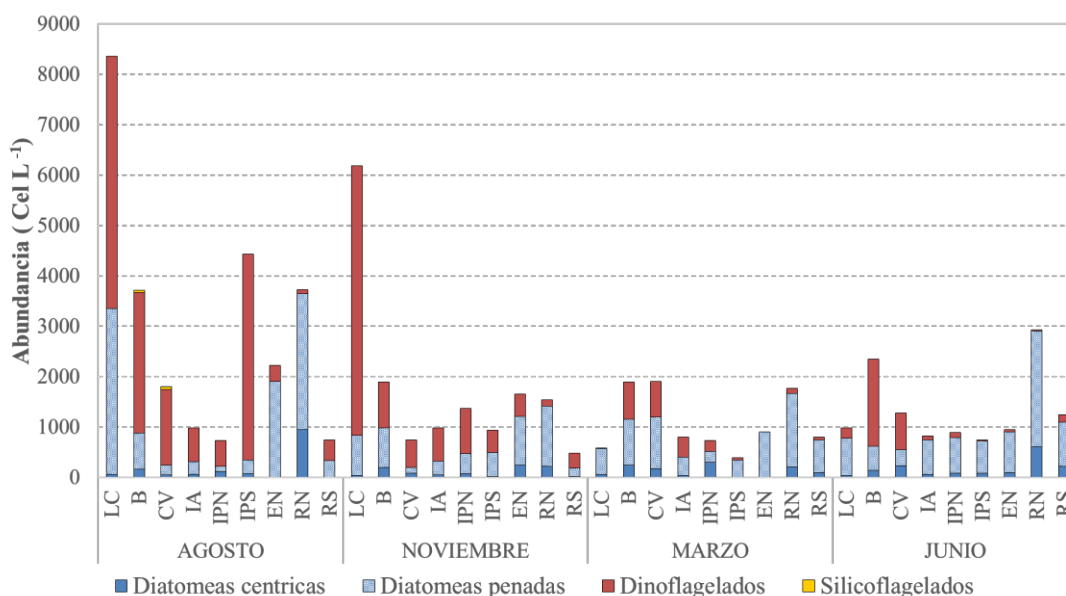
**Figura 2.** Perfiles de (A): temperatura (°C) y (B): salinidad (UPS) para cada estación y mes de muestreo en Laguna Ojo de Liebre.

La salinidad mostró un intervalo de variación promedio de 33.6 a 44.8 UPS, con un incremento desde la boca hacia el remate. Sin embargo, a diferencia de la temperatura, presentó una menor variabilidad temporal ya que seis de las nueve estaciones presentaron valores de salinidad menores a 38 UPS (Fig. 2B). Las tres estaciones restantes (EN, RN, RS) ubicadas en la zona interior de la laguna, mostraron valores representativos de un ambiente hipersalino (38 a 45 UPS).

### 5.1 Composición de la comunidad de microfitoplancton empleando microscopía óptica

La comunidad microplancónica, estuvo conformada por tres grupos: diatomeas, dinoflagelados y silicoflagelados. Con respecto a la distribución y abundancia celular del fitoplancton, las diatomeas mostraron una contribución del 52% del total de la comunidad. En comparación, los dinoflagelados constituyeron el 47% de la comunidad. Se registraron los máximos de ambos grupos (diatomeas y dinoflagelados) en el mes de agosto con una densidad celular de 15,380 y 11,250 cel L<sup>-1</sup> (13% céntricas y 87% pennadas), respectivamente (Fig. 3). En cuanto a los mínimos, se observaron para dinoflagelados en el mes de marzo 2,280 cel L<sup>-1</sup> y en

noviembre en el caso de las diatomeas 6,130 cel L<sup>-1</sup> (15% céntricas y 85% pennadas). La abundancia de silicoflagelados fue la menor con 40 células L<sup>-1</sup> representando el 1% de la comunidad y únicamente se observaron en el mes de agosto en las estaciones más cercanas a Bahía Sebastián Vizcaíno (B y CV) (Fig. 3). Durante los meses de agosto y noviembre se observaron densidades celulares superiores a 3,000 cel L<sup>-1</sup>, en agosto fue para la zona externa (LC, B), media (IPS) e interna (RN). Mientras que para noviembre solo fue para la zona externa (LC) (Fig. 3).



**Figura 3.** Abundancias totales de los grupos que componen la comunidad del microfitoplancton durante los cuatro periodos de muestreo.

Durante el periodo de estudio, se registró un total de 34 géneros, distribuidos de la siguiente manera: 16 asociados al grupo de diatomeas, las cuales se clasificaron de acuerdo con su morfología, en céntricas (5) y pennadas (11); 17 pertenecientes al grupo de dinoflagelados y un único género de silicoflagelados (Tabla III). Además, el análisis de microscopía óptica permitió la identificación de 48 especies (Anexo I), evidenciando la diversidad y composición de fitoplancton presente en la comunidad de la LOL.

**Tabla III.** Clasificación de géneros observados mediante análisis de microscopía óptica, en Laguna Ojo de Liebre, durante 2021 y 2022. En negritas se señalan las diatomeas céntricas.

<b>Diatomeas</b>		<b>Dinoflagelados</b>		<b>Silicoflagelados</b>	
1	<b><i>Asteromphalus sp</i></b>	1	<i>Akashiwa sp</i>	1	<i>Dictyocha sp</i>
2	<b><i>Bacteriastrum sp</i></b>	2	<i>Blepharocysta</i>		
3	<b><i>Coscinodiscus sp</i></b>	3	<i>Cochlodinium sp</i>		
4	<i>Dactyliosolen sp</i>	4	<i>Dinophysis sp.</i>		
5	<i>Haslea sp</i>	5	<i>Diplopsalis sp</i>		
6	<i>Lauderia sp</i>	6	<i>Gymnodinium sp</i>		
7	<i>Licmophora sp</i>	7	<i>Gyrodinium sp</i>		
8	<i>Lithodesmium sp</i>	8	<i>Heterocapsa sp</i>		
9	<i>Navicula sp</i>	9	<i>Oxyphysis sp</i>		
10	<i>Nitzschia sp</i>	10	<i>Oxytoxum sp</i>		
11	<b><i>Paralia sp</i></b>	11	<i>Peridinium sp</i>		
12	<i>Pleurosigma sp</i>	12	<i>Podolampas sp</i>		
13	<i>Pseudonitzschia sp</i>	13	<i>Prorocentrum sp</i>		
14	<b><i>Rhizosoleina sp</i></b>	14	<i>Proto-peridinium sp</i>		
15	<i>Skeletonema sp</i>	15	<i>Scrippsiella sp</i>		
16	<i>Thalassionema sp</i>	16	<i>Takayama sp</i>		
		17	<i>Tripos sp</i>		

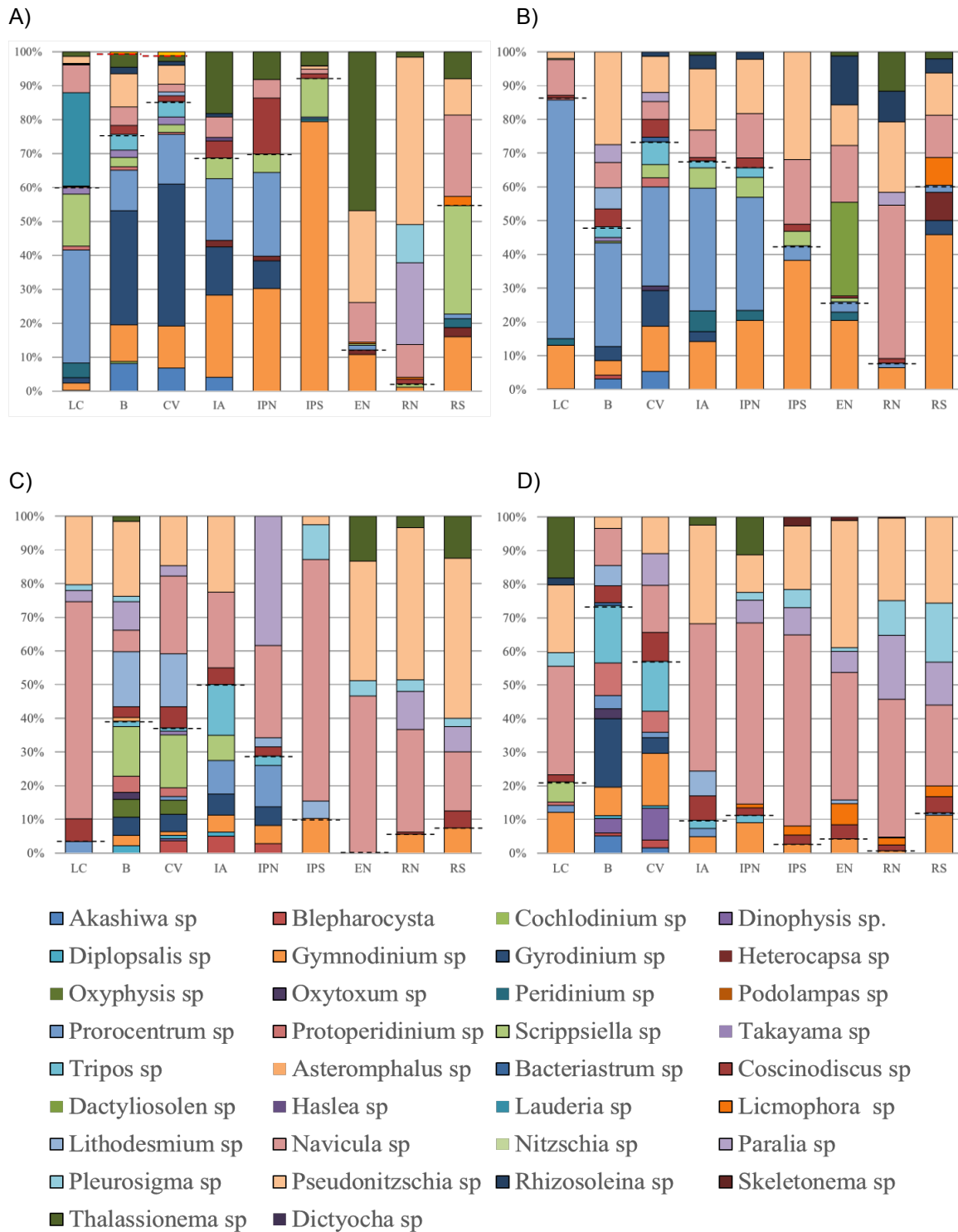
Los géneros más frecuentes identificados fueron: *Coscinodiscus sp.*, *Pseudonitzschia sp.*, *Gymnodinium sp.* y *Navicula sp.* La presencia de este último fue constante tanto espacial, como temporalmente. Durante el mes cálido (agosto), se observó un claro predominio de dinoflagelados, con *Gymnodinium sp.* como el género más representativo, alcanzando su mayor contribución porcentual en IPS con un 80%. Por otro lado, las diatomeas estuvieron representadas por *Pseudonitzschia sp.* (49%, RN) y *Thalassionema sp.* (47%, EN) las cuales presentaron su mayor contribución en la parte interna de la laguna. Además, cabe destacar que en este periodo se registró la presencia de la única especie de silicoflagelados, *Dictyocha fibula* (Fig. 4A).

En noviembre, la distribución porcentual de ambos grupos mostró mayor equidad, sobre todo para la porción interna de la laguna (Fig. 4B). Además, se evidenciaron cambios en la composición específica de cada grupo. En el caso de los dinoflagelados, la parte externa de la laguna estuvo dominada por *Prorocentrum sp.*, mientras que en la zona interna prevaleció *Gymnodinium sp.* En cuanto a las

diatomeas, los géneros con mayor contribución porcentual fueron *Navicula sp.*, alcanzando un máximo del 45% en RN, en cambio *Pseudonitzschia sp.* estuvo presente en la parte externa (B) y media (IPS) con un porcentaje aproximado de 30%.

Durante el mes frío (marzo, Fig. 4C), se observó un cambio abrupto en la dominancia de los principales grupos fitoplanctónicos, con un claro desplazamiento de los dinoflagelados. En este periodo, *Navicula sp.* se consolidó como el género dominante, alcanzando una contribución porcentual aproximada del 70%. Además, *Pseudonitzschia sp.* incrementó su importancia dentro de la comunidad de diatomeas (23%), y su máxima abundancia continuó en la parte interna de la laguna (RN, RS) arriba del 45%. Un aspecto relevante de este periodo fue el incremento en la presencia de *Paralia sp.*, que adquirió mayor importancia en la estructura comunitaria, especialmente en la estación IPN, donde alcanzó una contribución del 38%, en comparación con el máximo que tuvo en agosto para la estación RN (24%, Fig. 4A).

Durante el mes de junio, se observa que las diatomeas continúan siendo el grupo dominante, prácticamente en toda la laguna a excepción de dos estaciones ubicadas en la parte exterior (B y CV) (Fig. 4D), en donde la mayor contribución porcentual se asoció con los dinoflagelados 74 y 57%, respectivamente. A partir de la estación IA y en dirección hacia el interior de la laguna, *Navicula sp.* tomó mayor relevancia en la comunidad fitoplanctónica, con una presencia máxima en IPS (57%), seguido de *Pseudonitzschia sp.*

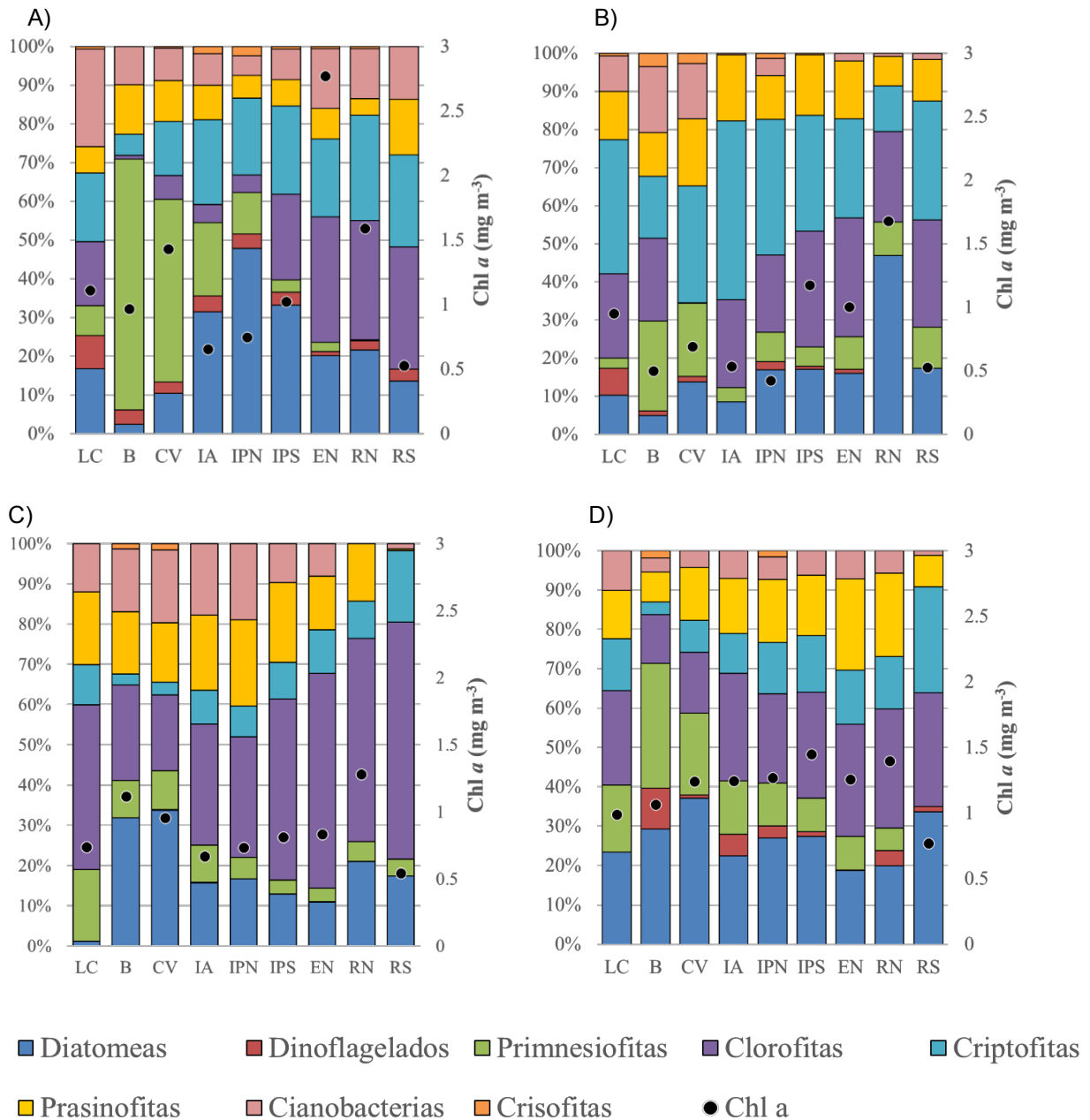


**Figura 4.** Contribución porcentual de las abundancias de cada género durante el periodo de estudio. A) Agosto, B) Noviembre, C) Marzo, D) Junio. Las líneas punteadas negras indican el inicio del grupo de diatomeas, las líneas punteadas rojas indican el inicio del grupo de silicoflagelados.

## 5.2 Composición de la comunidad fitoplanctónica empleando CHEMTAX

En general se identificaron ocho grupos taxonómicos mediante quimiotaxonomía (CHEMTAX). Durante agosto, las diatomeas mostraron en la mayor parte de las estaciones, la mayor contribución a la concentración de Chl *a* (Fig. 5A). El máximo (48%) se encontró en la región de las islas, particularmente en IPN. Las criptofitas tuvieron una contribución relativamente constante, con un promedio del 19%, aunque su presencia disminuyó significativamente en la estación B (5%). Las primnesiofitas mostraron la mayor contribución de este mes (64%) en la boca de la laguna, la cual disminuyó gradualmente hacia el interior, mientras que la proporción de clorofitas aumentó paralelamente. Las cianobacterias, por su parte, contribuyeron con un 12% en promedio a la Chl *a*, con un máximo del 25% en LC. Aquí se observó el valor máximo de Chl *a* registrado en este estudio ( $2.7 \text{ mg m}^{-3}$ , EN), asociado con la mayor contribución por parte del grupo de las clorofitas (32%, Fig. 5A).

Para el mes de noviembre, se observaron cambios significativos en la contribución de los grupos fitoplanctónicos a la Chl *a* en la laguna (Fig. 5B). En este mes, las criptofitas mostraron la mayor contribución promedio (30%) a lo largo de la laguna y alcanzaron un máximo de 46% en la estación IA. Las clorofitas contribuyeron en promedio con un 22% para toda la laguna, excepto en la estación CV (0.2%). Por otro lado, las cianobacterias mostraron una reducción notable en su contribución respecto al mes anterior, disminuyendo a un promedio del 6%, con su mayor presencia en las estaciones cercanas a Bahía Vizcaíno (16%, B y CV). Las diatomeas, por su parte, mostraron su máximo porcentaje de contribución (47%) en la estación RN, donde se observó el máximo de Chl *a* ( $1.6 \text{ mg m}^{-3}$ ) para el mes de noviembre. Aquí ocurrió el mínimo de Chl *a* ( $0.4 \text{ mg m}^{-3}$ ) en la parte media de la laguna (IPN), donde el grupo que mayor contribuyó a la Chl *a* fueron las criptofitas (36%).



**Figura 5.** Porcentaje de contribución de los ocho grupos fitoplanctónicos determinados por CHEMTAX: diatomeas, dinoflagelados, primnesiofitas, clorofitas, ciptofitas, prasinofitas, cianobacterias y crisofitas. Los círculos negros representan la concentración de Chl-a (mg m<sup>-3</sup>) (eje derecho). A) Agosto; B) Noviembre; C) Marzo; D) Junio.

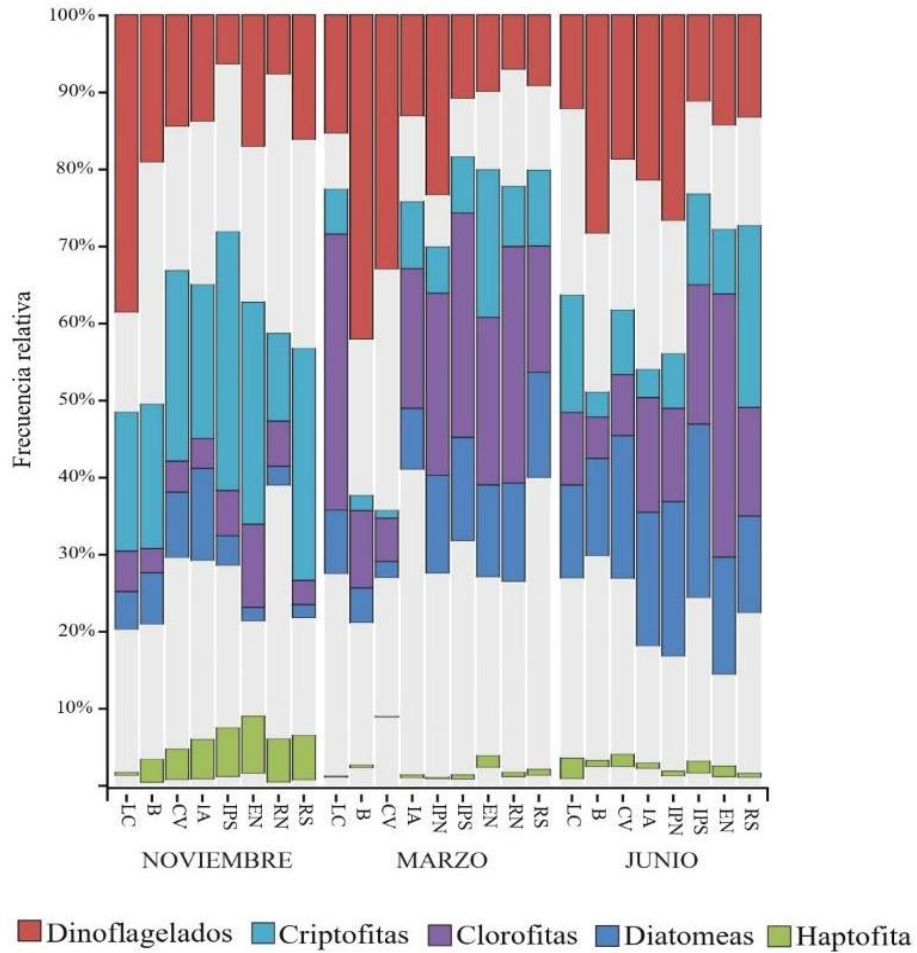
En el mes de marzo, las clorofitas dominaron con una contribución promedio del 39% que se mantuvo constante a lo largo de la laguna y alcanzó un máximo del 59% en la estación RS (Fig. 5C). Seguidas por las diatomeas que presentaron una contribución promedio del 18%, seguido de las prasinofitas (15%) y las cianobacterias (11%), estas últimas presentaron su mayor contribución principalmente en la parte media de la laguna (IPN). La máxima concentración de Chl *a* ( $1.28 \text{ mg m}^{-3}$ ) se observó en el Remate norte (RN), atribuido principalmente al aporte de clorofitas (50%).

Durante el mes de junio, las diatomeas presentaron su distribución más homogénea en la laguna, con un promedio del 27% presentando su mayor aporte del 31% en la estación de la Boca el cual disminuyó hacia el interior de la laguna, similar a su distribución de agosto (Fig. 5D). La Chl *a* mostró valores mayores a  $1 \text{ mg m}^{-3}$  para toda la laguna, excepto en la estación RS ( $0.7 \text{ mg m}^{-3}$ ). Se observaron dos máximos de Chl *a* en las estaciones IPS y RN ambas con concentraciones de  $1.4 \text{ mg m}^{-3}$ . En el primer caso, contribuyeron de manera equitativa clorofitas y diatomeas con un 26%, mientras que en el segundo caso la contribución de las clorofitas (31%) fue ligeramente mayor al de las diatomeas (20%). Las cianobacterias, por su parte, aportaron un 6% en promedio a la Chl *a* total, con un máximo del 10% en LC.

### **5.3 Composición de la comunidad fitoplanctónica empleando el gen 18S ARNr como marcador taxonómico**

De las secuencias generadas del análisis molecular se identificaron grupos taxonómicos representativos de la comunidad del fitoplancton, las cuales se agruparon en 5 divisiones: dinoflagelados, criptofitas, clorofitas, diatomeas y haptofitas (clase primnesiofita), que mostraron variaciones espacio-temporales en su abundancia relativa en la laguna. Se observó la presencia de dinoflagelados, con una abundancia relativa promedio de 40% (Fig. 6) la cual disminuyó hacia el interior de la laguna. Temporalmente, se puede apreciar que este grupo es más abundante durante los meses de marzo y noviembre. En comparación, las clorofitas resultaron más abundantes en noviembre con 20% en la mayoría de las estaciones, salvo en RN en donde disminuyó a un 10%, aproximadamente. En el mes de marzo, se observó la menor abundancia relativa de este grupo, lo que resulta en un patrón inverso al observado para las criptofitas (Fig. 6). Respecto a las diatomeas, se observó un aumento progresivo en su abundancia relativa a lo largo de los meses de muestreo con un máximo de abundancia relativa del 20% en junio. Finalmente, las haptofitas presentaron la abundancia relativa más baja (<10%) y con un patrón temporal similar al de las clorofitas.

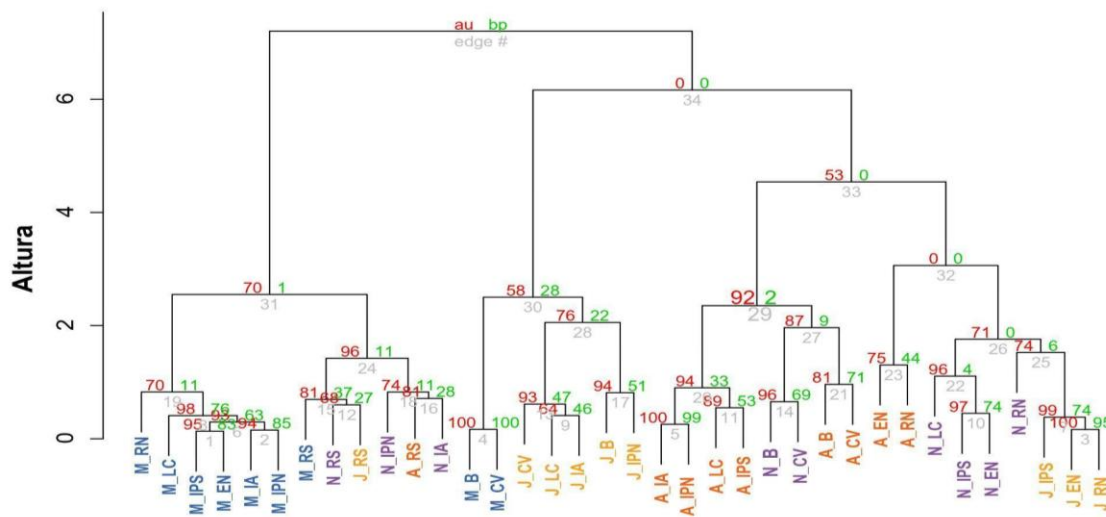
Con respecto a la resolución taxonómica del análisis molecular, se observó que para algunas divisiones fue posible obtener información hasta el nivel jerárquico de clase y en un caso en particular hasta orden. Por ejemplo, para los dinoflagelados se observó que la clase Dinophyceae y el orden Syndiniales fueron los mayores constituyentes de este grupo, con un 63% y 34% del total de secuencias identificadas, respectivamente. Para las clorofitas, la clase Trebouxiophyceae constituyó el 99% de las secuencias de este grupo, mientras que para las criptofitas y haptofitas, las clases Cryptophyceae y Prymnesiophyceae incluyeron la totalidad de las secuencias identificadas, respectivamente. Respecto a las diatomeas el filo Bacillariophyta representó el 92% de las secuencias de este grupo.



**Figura 6.** Porcentaje de contribución de las secuencias de células eucariotas identificadas en la base de datos de Silva 138 mediante QIIME2, utilizando el gen 18 ARNr durante el muestreo de 2021 y 2022.

#### 5.4. Composición de la comunidad fitoplanctónica eucariota asociada a la variabilidad de los factores físicos y químicos

Con el propósito de determinar patrones temporales en la estructura de la comunidad fitoplanctónica, se llevó a cabo un análisis de agrupamiento jerárquico con la información de la concentración de pigmentos de la comunidad (Fig. 7). De acuerdo con los resultados obtenidos, durante la temporada cálida en agosto se observó una mayor disimilitud entre grupos. Por ejemplo, aquellos que incluyen estaciones cercanas a la boca y al remate (B, CV, EN, RN) y otro con estaciones principalmente de la zona central de la laguna (IA, IPN, LC, IPS), mientras que la estación RS se agrupó de manera independiente (Fig. 7). En contraste, durante el mes de marzo se observó una relación homogénea entre estaciones, con excepción de RS, B y CV. Estas dos últimas, son las estaciones más cercanas a Bahía Vizcaíno y mostraron una mayor similitud entre sí. En general, la estación RS, se mantuvo en un mismo grupo durante los meses de marzo, noviembre y junio. En tanto que en agosto esta estación se agrupó con las estaciones de la parte central de la laguna (IPN e IA) (Fig. 7).

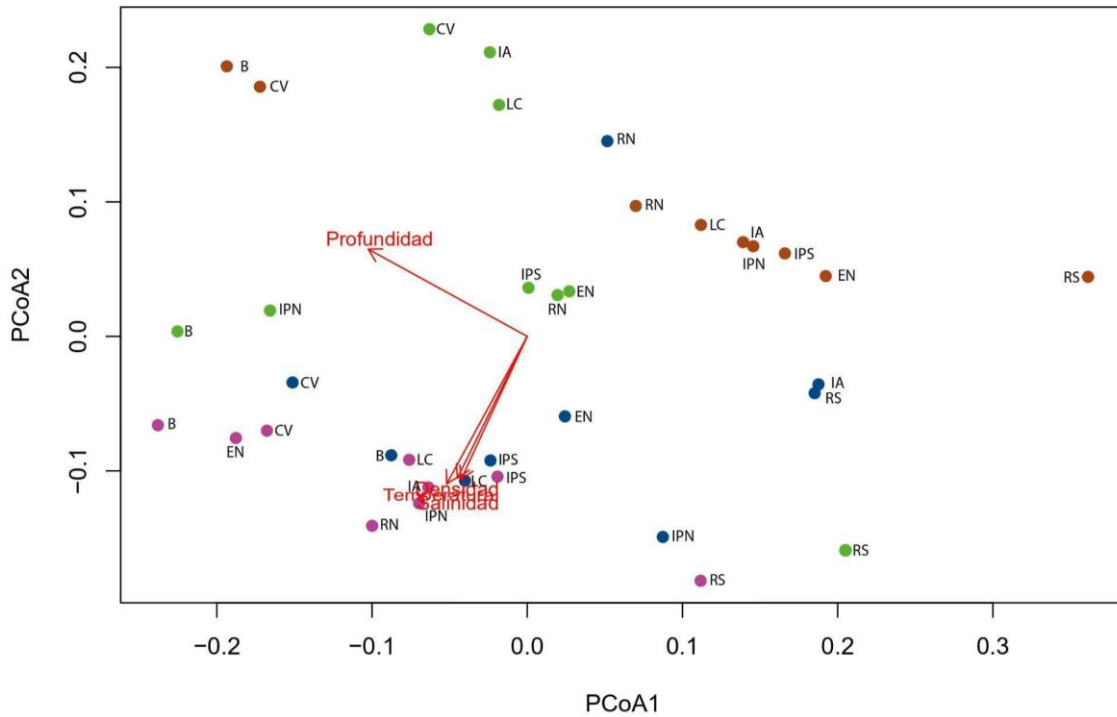


**Figura 7.** Dendrograma de la comunidad fitoplanctónica en base a su composición pigmentaria (16 pigmentos) a lo largo de LOL durante los cuatro meses de estudio (agosto, noviembre, marzo, junio). La etiqueta para cada clado indica: Mes de muestreo\_nombre de la estación. Distancia: manhattan, Método de cluster: ward.D.

Con el propósito de evaluar la relación entre los parámetros físicos y químicos y la distribución espacio-temporal de la comunidad de fitoplancton se realizó un análisis de coordenadas principales (PCoA), utilizando la matriz de disimilitud generada con los datos de concentración de pigmentos (Fig. 8). En este análisis, se incorporaron vectores cuya magnitud representa la correlación entre cada variable fisicoquímica y la estructura de la comunidad. De manera similar a lo observado con el análisis de agrupación jerárquica, las muestras del mes de marzo se agrupan entre sí principalmente aquellas en la parte central de la laguna, y tienen una mayor disimilitud con las que corresponden a los meses de agosto y noviembre. En particular, los patrones de agrupamiento sugieren una influencia directa de los parámetros físicos y químicos de temperatura, salinidad y densidad, como se observa principalmente en marzo. En general, se obtuvo que la temperatura fue la variable más significativa para explicar la variación en la composición y estructura de la comunidad eucariota, mostrando valores de correlación y significancia de  $r^2 = 0.68$ ,  $p = 0.001$  (Tabla IV).

**Tabla IV.** Valores de correlación y significancia con relación a los factores físicos y químicos de las muestras del análisis de coordenadas principales (PCoA).  $r^2$  representa los valores de correlación y pval la significancia.

<b>Variable</b>	<b><math>r^2</math></b>	<b>pval</b>
Profundidad	0.608	0.002
Temperatura	0.608	0.001
Salinidad	0.574	0.002
Densidad	0.574	0.002



**Figura 8.** Análisis de coordenadas principales (PCoA), indicando la distribución de los pigmentos en LOL. Los vectores indican la correlación de parámetros físicos y químicos (temperatura, salinidad, densidad, profundidad) con la distribución de pigmentos durante el periodo de estudio. Agosto (rosa), noviembre (azul), marzo (marrón) y junio (verde).

## 6. Discusión

### 6.1 Variabilidad hidrológica en la Laguna Ojo de Liebre

En el presente estudio, se observaron dos temporalidades térmicas bien definidas, una cálida asociada a los meses de verano (agosto) y otra fría, correspondiente al invierno (marzo), así como dos períodos de transición térmica en junio y noviembre. Estos patrones coinciden con los reportados por Rodríguez-Padilla (2013) y Gutiérrez-de-Velasco (2000). Ambos autores señalan un incremento tanto en la temperatura como en la salinidad hacia el interior de la laguna, consecuencia de la morfología semicerrada de LOL, lo que favorece altas tasas de evaporación. En general, la Bahía Sebastián Vizcaíno (BSV) se caracteriza por una marcada variabilidad estacional, resultado de las interacciones entre vientos predominantes, intercambio de masas de agua y procesos de surgencias. Durante primavera y verano, esta zona es favorecida por el ascenso de aguas profundas, frías y ricas en nutrientes, como parte de uno de los sistemas de surgencias más intensos y productivos asociados con la Corriente de California (Mancilla-Peraza *et al.*, 1993). Mientras que en invierno la presencia de Agua Ecuatorial Subsuperficial en BSV genera una disminución en su productividad primaria (Amador-Buenrostro *et al.*, 1995; Durazo, 2015). Esta dinámica tiene una conexión directa con la Laguna Ojo de Liebre (LOL), lo que influye en sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

Además, la dinámica hidrográfica de LOL está influenciada principalmente por tres componentes: la evaporación, la circulación inducida por gradientes de densidad (producto de variaciones en temperatura y salinidad), del viento y de la marea (Rodríguez-Padilla, 2013). De estos factores, la marea representa el forzamiento físico de mayor magnitud en el sistema lagunar, favoreciendo el intercambio (bombeo) de materia orgánica entre la zona externa de la laguna y Bahía Sebastián Vizcaíno (Rodríguez-Padilla, 2013; Villa-Guerrero, 2019). En este contexto, es relevante señalar que nuestros muestreos se realizaron en distintas fases del ciclo mareal: marea muerta (agosto y noviembre) y marea viva (marzo y junio).

La concentración de Chl *a* en el agua se asocia directamente con la abundancia del fitoplancton, lo que es un indicador de la productividad primaria. Se registraron valores máximos de Chl *a* durante el mes de agosto (2.7 mg m<sup>-3</sup>) y mínimos en marzo (0.4 mg m<sup>-3</sup>), lo que reafirma la interacción que existe entre BSV y LOL. Temporalmente, los meses en los que el muestreo coincidió con condiciones de marea muerta, se registró un único máximo de Chl *a*, localizado en la parte interna de la laguna, lo que sugiere una influencia limitada del intercambio con BSV y un mayor tiempo de residencia de la biomasa fitoplanctónica en zonas confinadas. En contraste, en los meses muestreados con marea viva, se observaron dos máximos de Chl *a*, uno en la parte interna y otro en la externa, lo que refleja una mayor dinámica de intercambio entre la laguna y la bahía adyacente.

## 6.2 Estructura de la comunidad fitoplanctónica en LOL

El objetivo principal de este estudio fue caracterizar la estructura de la comunidad fitoplanctónica en la Laguna Ojo de Liebre durante el periodo 2021-2022. Esta laguna costera hipersalina es un ecosistema de gran importancia ecológica y económica, por lo que resulta esencial fomentar investigaciones centradas en sus productores primarios, dado su papel clave en la base de la red trófica. Este trabajo constituye el primer esfuerzo en la región que incorpora un enfoque taxonómico molecular, el cual busca obtener una caracterización más robusta de la comunidad fitoplanctónica, contribuyendo así a una mejor comprensión del ecosistema.

La comunidad microplanctónica, estuvo conformada en su mayoría por diatomeas y dinoflagelados. En este estudio, las diatomeas (pennadas) fueron las más representativas (*Navicula sp.* en la parte interna y *Pseudonitzschia sp.* en la parte externa), lo que coincide con la importancia que tiene este grupo en lagunas costeras (Aké-Castillo *et al.*, 1995). Por otro lado, se observó una mayor relevancia por parte de los dinoflagelados al presentar una abundancia similar a las diatomeas mediante la microscopía óptica. En comparación, Sánchez-Cobarrubias *et al.* (2021), reportó una dominancia más marcada por parte de las diatomeas (>80%).

En una laguna costera estos cambios en la composición taxonómica sugieren una posible respuesta de la comunidad fitoplanctónica a las condiciones ambientales, lo que podría estar asociado a variaciones en factores como la temperatura, disponibilidad de nutrientes y dinámica de circulación en la laguna (Shang *et al.*, 2024). Al norte de la península de Baja California, Gracia-Escobar *et al.* (2014) reportan una menor presencia de dinoflagelados en Bahía San Quintín respecto a lo aquí observado, con una densidad celular máxima promedio de 1040 cel L<sup>-1</sup> durante marea viva y con densidades celulares máximas promedio de hasta 9320 cel L<sup>-1</sup> en el océano adyacente. Esto contrasta con los valores aquí reportados, con una densidad total de 11250 cel L<sup>-1</sup> en la estación boca, pero durante un periodo de marea muerta, donde la influencia del mar adyacente es menor.

Además, se observó una relación de la variación temporal de los parámetros fisicoquímicos con la concentración de Chl *a* y la composición fitoplanctónica de la laguna. Por ejemplo, se observó que en marzo, el máximo externo (estación B, Fig. 5C) se asoció con una comunidad diversa, compuesta por diatomeas, clorofitas, prasinofitas y cianobacterias, con mayor influencia de BSV. En cambio, el máximo interno (RN), mostró una comunidad menos diversa, dominada por clorofitas (50%) y diatomeas (21%). Para junio (también bajo condiciones de marea viva), se identificaron dos ensamblajes diferenciados: uno externo (B) dominado por primnesiofitas y diatomeas, y otro interno caracterizado por clorofitas, diatomeas y prasinofitas (RN, Fig. 5D). Cabe destacar la presencia de géneros compartidos entre ambos pulsos de Chl *a* (*Navicula* sp., *Paralia* sp. y *Pseudonitzschia* sp.), así como géneros exclusivos para la zona interna (*Licmophora* sp. y *Pleurosigma* sp.), lo cual refuerza la heterogeneidad espacial y la influencia de los forzamientos mareales sobre la estructura de la comunidad fitoplanctónica.

Es de resaltar el papel del nanofitoplancton en la estructura de la comunidad de la laguna (Sánchez-Cobarrubias, 2021). La contribución relativa de estos grupos no solo refleja su importancia en la dinámica ecológica en la laguna, sino que también permite inferir posibles interacciones con factores ambientales, como la disponibilidad de nutrientes y la influencia de las masas de agua exteriores (Larios-Muñiz, 2020; Sánchez-Cobarrubias, 2021). Por ejemplo, las primnesiofitas

mostraron su mayor contribución (destacando la estación B con 64%) en la zona exterior durante el mes de agosto, la cual disminuye hacia el interior de la laguna, que coincide con el periodo de surgencias, asociadas a la intrusión de la Corriente de California en BSV (Martínez-Fuentes, 2016). En este contexto, Larios-Muñiz (2020) destaca que las primnesiofitas son un componente particularmente representativo de la comunidad fitoplanctónica en BSV. Además, señala que su tamaño podría ser inferior a 5  $\mu\text{m}$ , lo que dificulta su observación en el microscopio óptico.

La composición de los grupos dominantes mostró una clara señal anual en su estructura, reflejando variaciones estacionales a lo largo del periodo de estudio. El patrón observado revela una dinámica inversa entre diatomeas y clorofitas: las primeras muestran afinidad a temperaturas cálidas (agosto), mientras que las segundas tienden a asociarse a condiciones más frías (marzo) (Fig. 5A, C). En ecosistemas altamente dinámicos como las lagunas costeras, la composición fitoplanctónica presenta patrones temporales bien definidos que reflejan adaptaciones ecológicas diferentes entre los grupos dominantes (Aké-Castillo *et al.*, 1995). Diversos estudios han documentado una dinámica inversa entre ambos grupos, donde las diatomeas tienden a dominar durante periodos cálidos, caracterizados por mayor irradiancia y mezcla vertical, condiciones que favorecen su alta tasa de crecimiento y aprovechamiento de nutrientes (Cloern, 1996; Álvarez-Borrego & Gaxiola-Castro, 1988). En contraste, las clorofitas presentan un mayor desarrollo durante las estaciones frías o de transición, especialmente en sectores interiores de las lagunas, donde la estratificación, alta salinidad y menor turbulencia son más comunes (Martínez-Lopez *et al.*, 2001; Santoyo *et al.*, 2006).

Además, las clorofitas son un filo de algas verdes que incluyen organismos con bio-volúmenes pequeños y estrategias de vida oportunistas, lo que les permite crecer rápidamente bajo condiciones favorables, se caracterizan por su distribución cosmopolita y su presencia en sistemas acuáticos eutróficos (Ortega-Mayagoitia y Rojo, 2000). Los análisis moleculares permitieron una clasificación más precisa dentro de este filo, en donde el 99% de las secuencias pertenecen a la clase Trebouxiophyceae. Esta clase ha sido previamente registrada en una amplia

variedad de ecosistemas acuáticos, incluidas las lagunas costeras. Se caracterizan por su notable capacidad de adaptación a condiciones ambientales variables, como fluctuaciones en salinidad, temperatura y disponibilidad de nutrientes, rasgos comunes en estos ecosistemas transicionales (Guiry & Guiry, 2024). Estudios como el de Zúñiga *et al.* (2019) destacan que las Trebouxiophyceae pueden representar una fracción importante de la comunidad fitoplanctónica en lagunas costeras, contribuyendo significativamente a la productividad primaria y al equilibrio ecológico. Su presencia frecuente en estos sistemas sugiere tanto una elevada tolerancia a condiciones extremas como una capacidad de colonización rápida ante cambios ambientales, lo que las convierte en componentes clave en la dinámica ecológica de las lagunas costeras (Roselli *et al.*, 2013).

Respecto a la comparación de nuestros datos con lo reportado por Sánchez-Cobarrubias (2021), encontramos ciertas diferencias en la comunidad fitoplanctónica. Con relación a la comunidad microplanctónica, la diversidad de géneros observados fue similar (34 en ambos casos), pero con cambios importantes en la diversidad y dominancia, probablemente atribuibles a variaciones ambientales que influyen en la dinámica de las comunidades del fitoplancton. La comunidad de microplancton estuvo principalmente dominada por diatomeas (mayormente pennadas), con 24 géneros reportados para el periodo 2017-2018, mientras que en este trabajo (2021-2022) observamos solo 16 géneros. En cuanto a los dinoflagelados, se identificaron 17 géneros en este estudio, frente a los 9 géneros reportados por Sánchez-Cobarrubias (2021). Esto sugiere una modificación significativa en la estructura de la comunidad, ya que, aunque las diatomeas siguen siendo el grupo predominante, los dinoflagelados mostraron mayor presencia. Ambos grupos son característicos del microfitoplancton (Tilstone *et al.*, 2017), pero los dinoflagelados en general tienden a constituir un mayor riesgo a la calidad del medio ambiente, debido a la producción de diferentes toxinas (Band-Schmidt *et al.*, 2019). El predominio de ciertas clases de tamaño y biomasa total de fitoplancton pueden modificar la productividad de un sistema costero, células de mayor tamaño proveen mayor biomasa y suelen relacionarse con sistemas eutróficos (Montecino *et al.*, 2008; Tilstone *et al.*, 2017). Mientras que una mayor contribución de biomasa

del nano y picofitoplancton se asocia con sistemas mesotróficos y oligotróficos (Bricaud *et al.* 2004). Estos cambios en la diversidad y estructura comunitaria resaltan la capacidad del ecosistema para responder a fluctuaciones ambientales y la complejidad de sus interacciones biológicas.

La mayoría de los estudios realizados anteriormente sobre ecología del fitoplancton en México se enfocaron en el análisis de organismos del microfitoplancton (>20  $\mu\text{m}$ ) (Millán-Núñez & Rivas-Lozano, 1988) y la fracción del nanofitoplancton fue poco considerada. A través de la quimiotaxonomía ha sido posible incluir a estos grupos más pequeños (Guzman-Hernandez, 2023). Gracias a esta herramienta (CHEMTAX) ha sido posible estimar la presencia de 8 grupos taxonómicos en LOL: diatomeas, dinoflagelados, crisofitas, criptofitas, primnesiofitas, prasinofitas, clorofitas y cianobacterias. De ellos, las clorofitas, criptofitas, y primnesiofitas muestran una contribución importante al total de Chl *a* y las tres pertenecen al nano y picofitoplancton. De acuerdo con Ayala-Rodríguez (2008), un aspecto destacado del nanoplancton es su metabolismo mixotrófico y que combina la fotosíntesis con la ingesta de materia orgánica y que está presente en varios grupos (primnesiofitas, dinoflagelados, criptofitas).

En los análisis realizados mediante HPLC-CHEMTAX en la Laguna Ojo de Liebre, se detectó una baja presencia de dinoflagelados en términos de su contribución a la Chl *a*. Los ejemplares autótrofos de este grupo mostraron una mayor afinidad a temperaturas cálidas (>20°C) (Fig. 5A). Sin embargo, observaciones por microscopía óptica revelaron una gran abundancia de estos organismos, lo que sugiere que los dinoflagelados presentes en este ecosistema podrían ser predominantemente mixótrofos. Esta discrepancia puede explicarse por las limitaciones de los métodos basados en pigmentos, que tienden a subestimar organismos cuya actividad metabólica no se refleja directamente en la variación de perfiles pigmentarios. En LOL, la mixotrofia podría representar una ventaja significativa, permitiendo a los dinoflagelados complementar su nutrición fotosintética con la ingesta de presas en momentos de baja disponibilidad de luz (alta turbidez). Este comportamiento resalta la importancia de las estrategias tróficas

diversificadas para el éxito ecológico de los dinoflagelados en sistemas costeros complejos (Johnson & Moeller, 2018).

**Tabla V.** Comparación de géneros observados, durante el periodo de muestreo y lo reportado por Sánchez-Cobarrubias (2021).

Este estudio (exclusivas)	Sánchez-Cobarrubias (2021) (exclusivas)	En común
<b>DIATOMEAS CÉTRICAS</b>		
<i>Paralia</i> sp.	<i>Biddulphia</i> sp.	<i>Asteromphalus</i> sp.
	<i>Chaetoceros</i> sp.	<i>Bacteriastrum</i> sp.
	<i>Guinardia</i> sp.	<i>Coscinodiscus</i> sp.
	<i>Hemiaulus</i> sp.	<i>Rhizosolenia</i> sp.
	<i>Leptocylindrus</i> sp.	
	<i>Odontella</i> sp.	
	<i>Triceratium</i> sp.	
<b>DIATOMEAS PENNADAS</b>		
<i>Dactyliosolen</i> sp.	<i>Amphiprora</i> sp.	<i>Licmophora</i> sp.
<i>Haslea</i> sp.	<i>Amphora</i> sp.	<i>Navicula</i> sp.
<i>Lauderia</i> sp.	<i>Cocconeis</i> sp.	<i>Nitzschia</i> sp.
<i>Lithodesmium</i> sp.	<i>Diploneis</i> sp.	<i>Pleurosigma</i> sp.
<i>Skeletonema</i> sp.	<i>Gramatophora</i> sp.	<i>Pseudonitzschia</i> sp.
	<i>Lyrella</i> sp.	<i>Thalassionema</i> sp.
<b>DINOFLAGELADOS</b>		
<i>Akashiwa</i> sp.	<i>Noctiluca</i> sp.	<i>Dinophysis</i> sp.
<i>Blepharocysta</i> sp.		<i>Gyrodinium</i> sp.
<i>Cochlodinium</i> sp.		<i>Heterocapsa</i> sp.
<i>Diplopsalis</i> sp.		<i>Oxytoxum</i> sp.
<i>Gymnodinium</i> sp.		<i>Peridinium</i> sp.
<i>Oxyphysis</i> sp.		<i>Prorocentrum</i> sp.
<i>Podolampas</i> sp.		<i>Protopteridinium</i> sp.
<i>Scripssiella</i> sp.		<i>Tripos</i> sp.
<i>Takayama</i> sp.		
<b>SILICOFLEGELADOS</b>		
		<i>Dictyocha</i> sp.

Las técnicas moleculares que utilizan marcadores genéticos para taxonomía (18S rRNA) nos permiten analizar la estructura de la comunidad del fitoplancton independiente del tamaño de las células o de su perfil pigmentario celular. Esto también resulta útil cuando se desea identificar especies que comparten apariencia externa o incluso identificar organismos con estrategias mixotróficas o heterotróficas (Herrera-Sepúlveda, 2008). A nivel de división taxonómica, identificamos cinco grupos principales de fitoplancton en la Laguna Ojo de Liebre: dinoflagelados, clorofitas, criptofitas, diatomeas y haptophyta (clase primnesiofita). Entre estos, se destaca la presencia de dinoflagelados (por encima de las diatomeas), particularmente en la zona externa de la laguna, donde alcanzaron aproximadamente el 40% de frecuencia relativa. Estos resultados son similares a las observaciones realizadas mediante microscopía óptica, lo que refuerza la importancia de este grupo en la laguna durante nuestro periodo de estudio. Sin embargo contrastan a lo reportado en 2017-2018, cuando los dinoflagelados no fueron tan frecuentes (Sánchez-Cobarrubias, 2021). La incorporación de técnicas de identificación a nivel molecular ha permitido superar algunas limitaciones de los métodos tradicionales, como la subestimación de organismos fitoplanctónicos debido a su tamaño o su tipo de metabolismo. A través del análisis del material genético, es posible detectar una mayor diversidad taxonómica, incluyendo organismos mixotróficos y heterotróficos que pueden pasar desapercibidos en análisis pigmentarios. Sin embargo, la efectividad de este enfoque depende de múltiples factores técnicos, como la elección del gen marcado, la región específica del gen analizado, los cebadores (primers) utilizados y la eficiencia del proceso de extracción de ADN. Estos elementos pueden influir en la sensibilidad y precisión de la detección, por lo que es fundamental estandarizar y optimizar cada etapa del procedimiento molecular para obtener resultados representativos confiables (Gong y Marchetti, 2019; Tanabe *et al.*, 2016). Las herramientas taxonómicas que aquí se utilizaron poseen fortalezas y limitaciones (e.g. tamaño celular, estrategias metabólicas, resolución taxonómica), al utilizarlas de manera conjunta se logra una visión más integral de la diversidad de la comunidad del fitoplancton. De esta forma será posible ampliar el conocimiento actual y fortalecer la línea base para futuras

investigaciones sobre el papel que juega la estructura de la comunidad fitoplanctónica en humedales costeros, como Laguna Ojo de Liebre.

## 7. Conclusiones

El estudio de la comunidad fitoplanctónica en la región de Laguna Ojo de Liebre permitió una caracterización detallada de la diversidad y estructura de esta comunidad. Se identificaron un total de 34 géneros de microfitoplancton, con un predominio notable de diatomeas pennadas (*Navicula*), sin embargo, la presencia de dinoflagelados fue más importante que lo observado en estudios previos (2017-2018) y que lo reportado para otras lagunas costeras de la península de Baja California.

Los grupos más pequeños del fitoplancton (nano y pico) mostraron una contribución significativa al total de la Chl *a*. Esta comunidad fue dominada por clorofitas, primnesiofitas y criptofitas, lo que sugiere una diversidad taxonómica considerable para la comunidad en Laguna Ojo de Liebre, con implicaciones importantes en la dinámica de la red trófica y la transferencia de energía.

En términos generales se observó una variación anual en la diversidad a la contribución de la Chl *a* y la abundancia celular de la comunidad, con las mayores densidades ( $>5000$  cel  $L^{-1}$ ) y la mayor diversidad (diatomeas, clorofitas, criptofitas y primnesiofitas) para la temporada cálida (agosto) y la menor densidad ( $<3000$  cel  $L^{-1}$ ) y diversidad (clorofitas, diatomeas) para la temporada fría (marzo).

El empleo de técnicas moleculares permitió una identificación más detallada de microorganismos con estrategias de alimentación mixotróficas, especialmente entre los dinoflagelados. Esta herramienta amplía el conocimiento sobre la diversidad funcional de la comunidad fitoplanctónica y subraya la importancia de los organismos mixótrofos.

Este trabajo contribuye al entendimiento de la estructura y dinámica de la comunidad fitoplanctónica en Laguna Ojo de Liebre y resalta la importancia de realizar un monitoreo continuo, considerando que cambios en la comunidad fitoplanctónica pueden servir como indicadores de alteraciones en el ecosistema marino. Los hallazgos obtenidos no solo amplían el conocimiento de la ecología del

fitoplancton en esta área, sino que también proporcionan una base para futuras investigaciones sobre la salud y funcionalidad del ecosistema en respuesta a factores ambientales y antropogénicos.

## 8. Referencias

- Acevedo-Cervantes A. (1997). Caracterización ecológica de la comunidad íctica de la Laguna Ojo de Liebre, B.C.S., México. Instituto Politécnico Nacional. Maestría en Ciencias. La Paz, Baja California Sur. 123pp.
- Águila-Ramírez, Ruth Noemí, Casas Valdez, Margarita, Cruz Ayala, Mary Belle, & Núñez López, Roberto Aurelio. (2000). Variación estacional de la ficoflora en la Laguna Ojo de Liebre, Baja California Sur, México. *Hidrobiológica*, 10(2), 147-160.
- Aké-Castillo, J. A., Meave del Castillo, M.E., & and Hernández-Becerril, D. U. (1995). Morphology and distribution of species of the diatom genus *Skeletonema* in a tropical coastal lagoon. *European Journal of Phycology*, 30(2), 107–115. <https://doi.org/10.1080/09670269500650871>
- Almazán-Becerril, A., Aké-Castillo, J. A., García-Mendoza, E., Sánchez-Bravo, Y. A., Escobar-Morales, S., Valadez-Cruz, F. (2016). Catálogo de microalgas de Bahía de Todos Santos, Baja California. México: CICESE.
- Álvarez-Borrego, S., & Gaxiola-Castro, G. (1988). Photosynthetic pigments and plankton biomass in the Mexican Pacific. *Continental Shelf Research*, 8(5–7), 631–636.
- Amador-Buenrostro, A., Argote-Espinosa, M., Mancilla-Peraza, M., & Figueroa-Rodríguez, M. (1995). Short term variations of the anticyclonic circulation in Bahía Sebastián Vizcaíno, BC. *Ciencias Marinas*, 21(2), 201–223. <https://doi.org/10.7773/cm.v21i2.987>
- Arellano-Martínez, M. (2005). Características ecofisiológicas de la reproducción de *Nodipecten subnodosus* (Sowerby, 1835) (PECTINIDAE) en la Laguna Ojo de Liebre, 57 B.C.S., México. (Tesis). Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.
- Ayala-Rodríguez G. (2008). Grupos funcionales del fitoplancton y estado trófico del sistema Lagunar Topolobampo-Ohuira-Santa María. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional. 170 pp.
- Band-Schmidt, C. J., Durán-Riveroll, L. M., Bustillos-Guzmán, J. J., Leyva-Valencia, I., López-Cortés, D. J., Núñez-Vázquez, E. J., Hernández-Sandoval, F. E., & Ramírez-Rodríguez, D. V. (2019). Paralytic Toxin Producing Dinoflagellates in Latin America: Ecology and Physiology. *Frontiers in Marine Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00042>
- Bolyen E., Rideout J.R., Dillon M.R., Bokulich N.A., Abnet C.C., Al-Ghalith G.A. y Will, L. (2019). Reproducible, interactive, scalable and extensible microbiome data science using QIIME 2. *Nature Biotechnology*, 37(8), 852-857. doi: 10.1038/s41587-019-0209-9.
- 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>
- Catlett Dylan, Siegel David A., Matson Paul G., Wear Emma K., Carlson Craig A., Lankiewicz Thomas S., Iglesias-Rodriguez M. Debora. (2023) Integrating phytoplankton pigment and DNA meta-barcoding observations to determine

- phytoplankton composition in the coastal ocean. *Limnology and Oceanography*. 68(2). 361-376. <https://doi.org/10.1002/lno.12274>
- Cloern, J. E. (1996). Phytoplankton bloom dynamics in coastal ecosystems: A review with some general lessons from sustained investigation of San Francisco Bay, California. *Reviews of Geophysics*, **34**(2), 127–168
- Dai, Y., Yang, S., Zhao, D., Hu, C., Xu, W., Anderson, D. M., Li, Y., Song, X.-P., Boyce, D. G., Gibson, L., Zheng, C., & Feng, L. (2023). Coastal phytoplankton blooms expand and intensify in the 21st century. *Nature*, 615(7951), Article 7951. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-05760-y>
- De-Cruz-Agüero, J., Arellano-Martínez, M., & Cota-Gómez, V. M. (1996). Systematic list of the marine fishes from Ojo de Liebre and Guerrero Negro lagoons, BCS and BC, Mexico. *Ciencias Marinas*, 22(1), Article 1. <https://doi.org/10.7773/cm.v22i1.831>
- 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.
- Durazo, R., Ramirez-Manguilar A. M., Miranda L. E., & Soto-Mardones L. A. (2010). Climatología de variables hidrográficas. 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*, 25-57.
- Erdoğan Şeyda, Meryem Bekiloğlu, Elena Litchman, Elizabeth T Miller, Eti E Levi, Tuba Bucak, Ülkü Nihan Tavşanoğlu (2021). Determinants of phytoplankton size structure in warm, shallow lakes. *Journal of Plankton Research*, 43 (3) 353–366. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbab035>
- Fang, L., Leliaert, F., Zhang, Z.-H., Penny, D. and Zhong, B.-J. (2017), Evolution of the Chlorophyta: Insights from chloroplast phylogenomic analyses. *Jnl of Sytematics Evolution*, 55: 322-332. <https://doi.org/10.1111/jse.12248>
- Goela P.C., Danchenko S., Icely J.D., Lubian L.M., Cristina S., Newton A. (2014) Using CHEMTAX to evaluate seasonal and interannual dynamics of the phytoplankton community off the South-west coast of Portugal, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 151: 112-123. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2014.10.001>.
- Gómez Cavazos E. E. (2021) La visión de la salina más grande del mundo: Guerrero Negro. Laboratorio Internacional del Paisajes Culturales. Universidad Autónoma de Nuevo León (10) 16pp. DOI: 10.5821/id.10836
- Gong, Weida, y Marchetti, Adrian. 2019. “Estimation of 18S Gene Copy Number in Marine Eukaryotic Plankton Using a Next-Generation Sequencing Approach”. *Frontiers in Marine Science* 6. doi: 10.3389/fmars.2019.00219.
- González-Ortiz L., Hernández-Alcántara P. (2021) Infestación de *Nodipecten subnodosus* (Mollusca: Bivalvia) por la esponja perforadora *Cliona californiana* en la laguna Ojo de Liebre, noroeste de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 92, 13pp. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2021.92.3460>

- Goslee, S. C., & Urban, D. L. (2007). The ecodist Package for Dissimilarity-based Analysis of Ecological Data. *Journal of Statistical Software*, 22, 1–19. <https://doi.org/10.18637/jss.v022.i07>
- Gracia-Escobar, M. F., Millán-Núñez, R., González-Silvera, A., Santamaría-del-Angel, E., Camacho-Ibar, V. F., & Trees, C. C. (2014). Changes in the Abundance and Composition of Phytoplankton in a Coastal Lagoon during Neap-Spring Tide Conditions. *Open Journal of Marine Science*, 2014. <https://doi.org/10.4236/ojms.2014.42010>
- Guillou, L., Bachar, D., Audic, S., Bass, D., Berney, C., Bittner, L., Boutte, C. 2013. The Protist Ribosomal Reference database (PR2): a catalog of unicellular eukaryote Small Sub-Unit rRNA sequences with curated taxonomy. *Nucleic Acids Res.* 41:D597–604.
- Guiry, M. D., & Guiry, G. M. (2024). AlgaeBase. National University of Ireland, Galway. Recuperado de <https://www.algaebase.org>
- Gutiérrez-de-Velasco, G. (2000). Análisis de la Circulación y las Condiciones Físicas de Laguna Ojo de Liebre, B.C.S. en relación a la Mortandad de tortugas marinas durante diciembre de 1997. Informe Final Para La Compañía Exportadora de Sal, ESSA. México. 44 pp.
- Gutiérrez-de-Velasco, G., Herrera Cervantes, H., Trasvina Castro, A., Cosío López, M. A. y Torres Chávez, H. (2008). Oceanografía de la Región Pacifico Norte del Estado de Baja California Sur. Unidad de la Paz, CICESE. 54 pp.
- Guzman-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.). Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Marinas. UABC. Ensenada, B.C. 82pp.
- Hayward Alexander, Pinkerton Matthew H., Gutierrez-Rodriguez Andres (2023). phytoclass: A pigment-based chemotaxonomic method to determine the biomass of phytoplankton classes. *Limnology and Oceanography*. 21(4). 220-241.
- Henao-Castro, A., Comba, N., Alvarado-Chacón, E. y Santamaría, J. (2015). Bacterias autótrofas y heterótrofas asociadas a nieve marina lodosa en arrecifes con escorrentía continental. *Universitas Scientiarum*20(1): 9- 16. doi: 10.11144/Javeriana.SC20-1.baha
- Herrera-Sepúlveda, Angélica. (2008). “Diseño de métodos moleculares para el análisis de fitoplancton tóxico y nocivo.” Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C., La Paz, Baja California Sur.136pp.
- Irwin Andrew J., Zoe V. Finkel, Oscar M. E. Schofield, Paul G. Falkowski (2006). Scaling-up from nutrient physiology to the size-structure of phytoplankton communities, *Journal of Plankton Research*, 28(5), 459–471. <https://doi.org/10.1093/plankt/fbi148>
- Jeffrey, S. W., Mantoura, R. F., y Wright, S., W. (1997). *Phytoplankton Pigments in Oceanography: Guidelines and Modern Methods*. UNESCO Publishing, Paris, 661 p.
- Johnson, M. D., & Moeller, H. V. (2018). Editorial: Mixotrophy in Protists: From Model Systems to Mathematical Models. *Frontiers in Marine Science*, 5. <https://doi.org/10.3389/fmars.2018.00490>

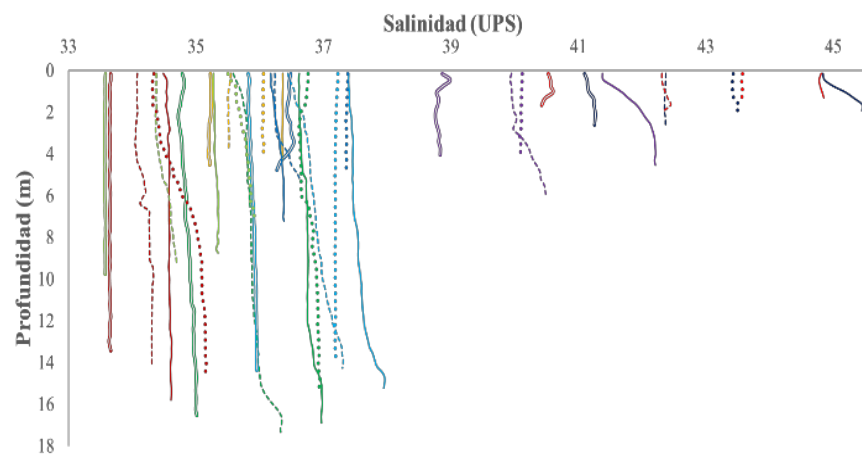
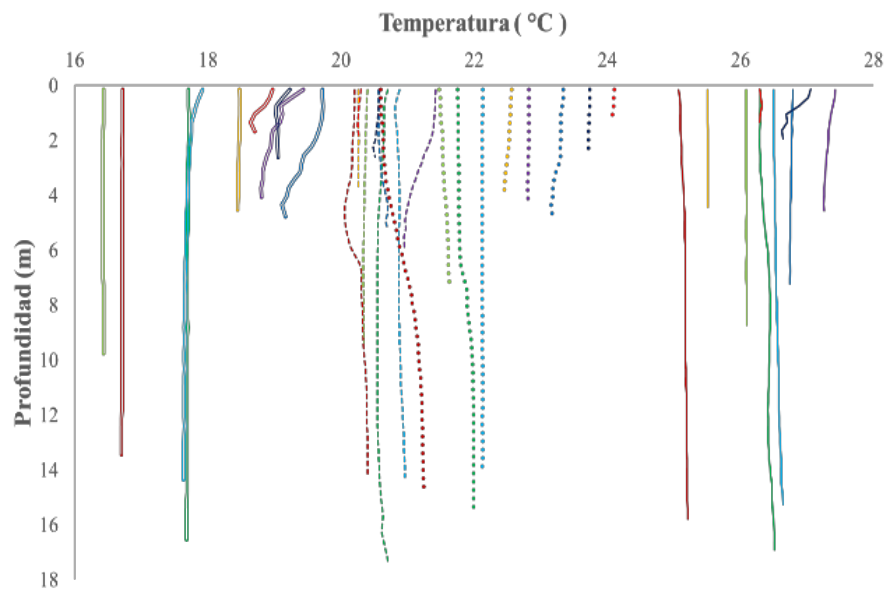
- Kirk, J. (1994). Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge: Cambridge University Press.
- Larios-Muñiz M.S. (2020) Variabilidad del fitoplancton en respuesta a procesos físicos en la Bahía Sebastián Vizcaíno, Baja California, México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. 87pp.
- Litchman E., De Tezanos Pinto P (2024) Ecology of Algae and Cyanobacteria (Phytoplankton). *Limnology* 4(18) 511-538 pp. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822701-5.00018-5>.
- Mancilla Peraza, M., López Castillo, G., Palacios Hernández, E. (1993). Variabilidad hidrográfica de bahía Vizcaíno, Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 19(3), 265-284.
- Manrique Reol, E. (2003). Los pigmentos fotosintéticos, algo más que la captación de luz para la fotosíntesis *Ecosistemas*, vol. 7 (1), 1-11.
- Martínez-Fuentes, L. M., Gaxiola-Castro, G., Gómez-Ocampo, E., Kahru, M., (2016). Effects of interannual events (1997–2012) on the hydrography and phytoplankton biomass of Sebastián Vizcaíno Bay. *Ciencias Marinas*, 2016, 42
- Millán-Núñez, R., y Rivas-Lozano, A. M. 1988. "Nutrients and chlorophylls in the Todos Santos Bay (May 1983)". *Ciencias Marinas* 14(4):23–42. doi: 10.7773/cm.v14i4.617
- Millán-Núñez, R., Ripa-Soleno, E., y Aguirre-Buenfil, L. A. (1987). Preliminary study of the composition and abundance of the phytoplankton and chlorophytes in Laguna Ojo de Liebre, B.C.S., Mexico. *Ciencias Marinas*, 13(1): 30-38.
- Montecino V, Paredes M. Alejandra, Vargas C., Uribe P., Giglio S., Pizarro G. (2008) Bio-óptica y Estructura de tamaños del fitoplancton asociado con producción biológica en la región de Aysén: Agosto y Noviembre 2003. *Ciencias y Tecnología del Mar*, 31(1), 83-97. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62412163005>
- Ornólfssdóttir E.B., Pinckney J.L., Tester P.A., (2003). Quantification of the relative abundance of the toxic Dinoflagellate, *Karenia Brevis* (Dinophyta) using unique photopigments. *Journal of Phycology* Vol. 39: 449-457
- Ortega-Mayagoitia E. & C. Rojo (2000). Phytoplankton from Las Tablas de Daimiel National Park III. Diatoms and Chlorophytes. *Anales Jard. Bot. Madrid* 58(1):17-32.
- Paczkowska J., Brugel S., Rowe O, Lefébure R., Brutemark A. and Adersson A. (2020). Response of Coastal Phytoplankton to High Inflow of Terrestrial Matter. Department of Ecology and Environmental Science, Umeå University, Umeå, Sweden. 18pp.
- Prüsse E, Quast C., Knittel K., Fuchs B. M, Ludwig W., Peplies J., y Glöckner F. O. (2007). SILVA: a comprehensive online resource for quality checked and aligned ribosomal RNA sequence data compatible with ARB. *Nucleic Acids Research*, 35(21), 7188-7196. doi: 10.1093/nar/gkm864
- QIIME 2 View. (2024). Retrieved June 3, 2025, from <https://view.qiime2.org/>
- Ramírez-Altamirano, Yessica Lizbeth, González-Silvera, Adriana, López-Calderón, Jorge, & Santamaria-del-Angel, Eduardo. (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://dx.doi.org/10.3856/vol51-issue2-fulltext-2988>
- Rodríguez-Padilla, I. (2013). Análisis estadístico de la distribución espacial y temporal (2008-2010) de la Temperatura y Salinidad en la Laguna Ojo de Liebre, Baja California Sur. Tesis de Licenciatura. p. 124.
- Roselli, L., Stanca, E., Ludovisi, A., Durante, G., Souza, J. S. D., Dural, M., Alp, T., Bulent, S., Gjoni, V., Ghinis, S., & Basset, A. (2013). Multi-scale biodiversity patterns in phytoplankton from coastal lagoons: The Eastern Mediterranean. *Transitional Waters Bulletin*, 7(2), Article 2. <https://doi.org/10.1285/i1825229Xv7n2p202>
- Roy S., Llewellyn C.A., Skarstad Egeland E., Johnsen G., (2011) *Phytoplankton Pigments: Characterization, Chemotaxonomy and Applications in Oceanography*. 894pp.
- Ruiz-Verdugo, C. A., Koch, V., Félix-Pico, E., Beltran-Lugo, A. I., Cáceres-Martínez, C., Mazon-Suastegui, J. M., Robles-Mungaray, M., & Cáceres-Martínez, J. (2016). Chapter 29—Scallop Fisheries and Aquaculture in Mexico. In S. E. Shumway & G. J. Parsons (Eds.), *Developments in Aquaculture and Fisheries Science* (Vol. 40, pp. 1111–1125). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-62710-0.00029-8>
- Sánchez- Cobarrubias G. (2021). Caracterización de la comunidad fitoplanctónica en la Laguna Ojo de Liebre (B.C.S) durante 2017-2018. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencia Marinas. UABC. Ensenada, B.C. 77pp.
- Sánchez-Cobarrubias, G. V., López-Calderón, J., Ruiz-de la Torre, M. C., & González-Silvera, A. (2021). Estructura de la comunidad fitoplanctónica en Laguna Ojo de Liebre (B. C. S., México) en febrero de 2018. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 29(83), e2752, <https://doi.org/10.33064/iycuaa2021832752>
- Santamaría-del-Ángel E., R. Millán-Núñez, A. González-Silvera y R. Cajal-Medrano (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.
- Santoyo, H., González-Silvera, A., & Gaxiola-Castro, G. (2006). Variabilidad estacional del fitoplancton en Bahía de La Paz, B.C.S., México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 41(2), 109–120.
- SEMARNAT (2020) Proyecto Unidad de Manejo Acuícola en Laguna Ojo de Liebre, Estado de Baja California Sur. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 323pp.
- Shang, X., Yang, S., & Sun, J. (2024). Succession of phytoplankton communities from macro-scale to micro-scale in coastal waters of Qinhuangdao, China. *Frontiers in Marine Science*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1371196>

- Simon, Nathalie, Anne-Lise Cras, Elodie Foulon, y Rodolphe Lemée. (2009). "Diversity and Evolution of Marine Phytoplankton". *Comptes Rendus Biologies* 332(2):159–70. doi: 10.1016/j.crv.2008.09.009.
- Soto-Lopez L. J. (2024). Procesos que controlan la química del sistema del carbono en la laguna Ojo de Liebre B.C.S. Tesis de licenciatura. Facultad de Ciencias Marinas. Universidad Autónoma de Baja California. 52 pp.
- Tanabe, Akifumi S., Satoshi Nagai, Kohsuke Hida, Motoshige Yasuike, Atushi Fujiwara, Yoji Nakamura, Yoshihito Takano, y Seiji Katakura. (2016). "Comparative Study of the Validity of Three Regions of the 18S-RRNA Gene for Massively Parallel Sequencing-Based Monitoring of the Planktonic Eukaryote Community". *Molecular Ecology Resources* 16(2):402–14. doi: <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12459>.
- Thomas, C. S. (2012). The HPLC method. chapter 6. In: *The fifth SeaWiFS HPL analysis round-robin experiment (SeaHARRE-5)*. NASA/TM-2012-217503.SEAHERRE5, by: Stanford B. et al. November 2012:63-72.
- Thomas, C.R. (Ed.) (1997). *Identifying marine phytoplankton*. Academic Press: San Diego. ISBN 0-12-693018-X. XV, 858 pp.
- Tilstone, G. H., Lange, P. K., Misra, A., Brewin, R. J. W., & Cain, T. (2017). Microphytoplankton photosynthesis, primary production and potential export production in the Atlantic Ocean. *Progress in Oceanography*, 158, 109–129. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2017.01.006>
- Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommung der quantitativén phytoplankton methodic. *Mitt. Int. Verein. Theor. Anew. Lim.* 17-47.7
- Villa-Guerrero, A. (2019). *Circulación por marea y transporte de sedimento en el sistema lagunar Ojo de Liebre-Guerrero Negro*. (Tesis de maestría). CICESE. <https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1007/2988>.
- Yang, H., Hu, Z., & Tang, Y. Z. (2021). Plasticity and Multiplicity of Trophic Modes in the Dinoflagellate *Karlodinium* and Their Pertinence to Population Maintenance and Bloom Dynamics. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(1), 51.
- Zúñiga, D., Morales, E. A., & Cifuentes, L. (2019). Diversity and distribution of green algae in coastal lagoons. *Journal of Phycology*, 55(2), 342–355.

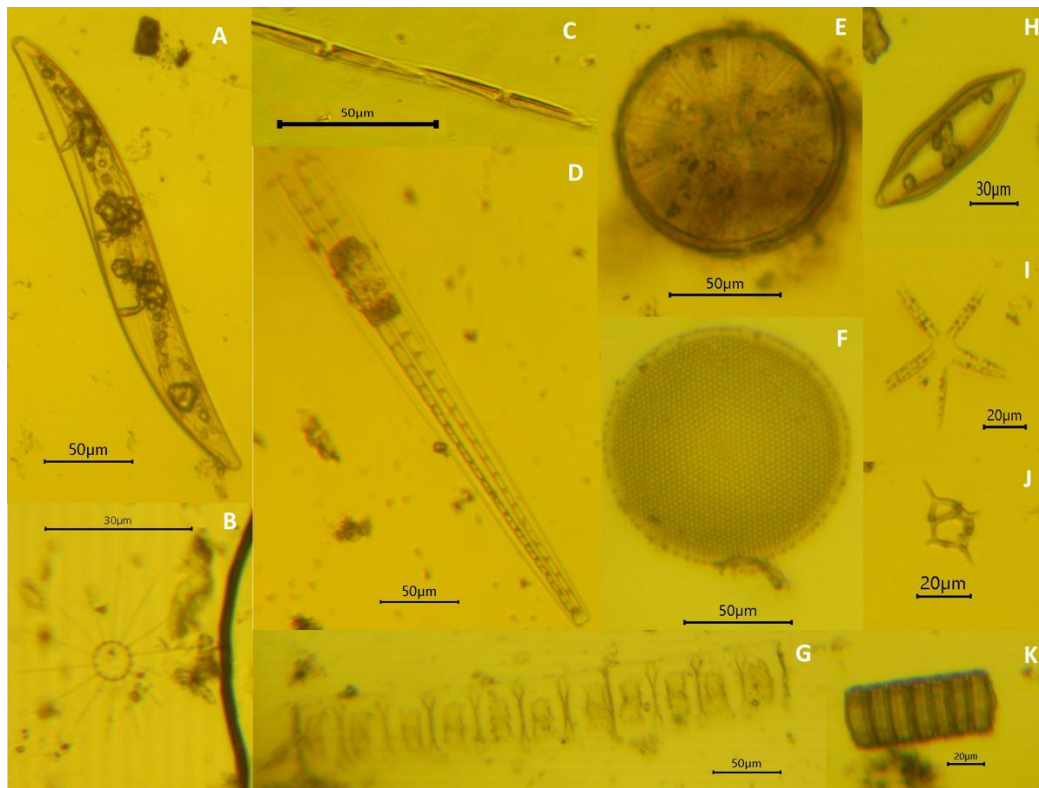
## 9. Anexos

### Anexo IA. Perfiles de parámetros físicos y químicos (temperatura y salinidad) en LOL.



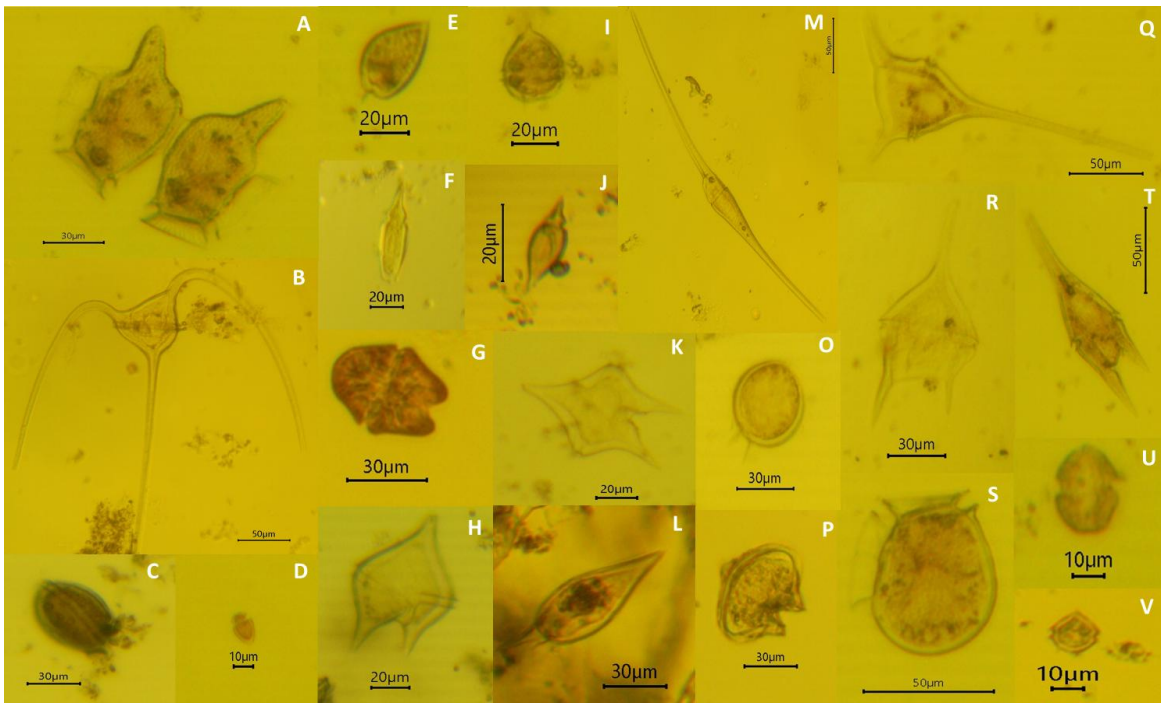


**Anexo II.** Archivo fotográfico correspondiente al grupo de diatomeas y silicoflagelados encontradas en Laguna Ojo de Liebre, durante 2021-2022.



A) *Pleurosigma* sp., B) *Bacteriastrium* sp., C) *Pseudonitzschia* sp., D) *Licmophora* sp., E) *Astreromphalus* sp., F) *Coscinodiscus* sp., G) *Lithodesmium* sp., H) *Navicula* sp., I) *Thalassionema nitzschioides*, J) *Dictyocha* sp. K) *Paralia* sp.

**Anexo III.** Archivo fotográfico correspondiente al grupo de dinoflagelados encontrados en Laguna Ojo de Liebre, durante 2021 y 2022.



A) *Dinophysys caudata*, B) *Tripos macroceros*, C) *Diplopsalis lenticula*, D) *Heterocapsa* sp., E) *Prorocentrum micans*, F) *Oxyphysis oxytoxoides*, G) *Akashiwo sanguinea*, H) *Protoperidinium* sp. I) J) *Oxytoxum* sp., K) *Protoperidinium divergens*, L) *Podolompas palmipes*, M) *Tripos seta*, O) *Blepharocysta* sp., P) *Protoperidinium conicum*, Q) *Tripos divaricatus*, R) *Tripos pentagonus*, S) *Dinophysys acuminata*, T) *Tripos furca*, U) *Gymnodinium* sp., V) *Scripssiella tronchoidea*.