



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES OCEANOLÓGICAS

“CARACTERIZACIÓN DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA EN LA LAGUNA OJO DE LIEBRE (B.C.S.) DURANTE 2017-2018”

TESIS

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

MAESTRA EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFÍA COSTERA

PRESENTA

GÉNESIS VERENICE SÁNCHEZ COBARRUBIAS

Ensenada, Baja California, México. Noviembre 2021

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

**“CARACTERIZACIÓN DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA EN
LA LAGUNA OJO DE LIEBRE (B.C.S.) DURANTE 2017-2018”**

T E S I S

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

MAESTRA EN CIENCIAS EN OCEANOGRAFÍA COSTERA

PRESENTA

Génesis Verenice Sánchez Cobarrubias

Aprobada por:



Dr. Jorge López Calderón
Director de tesis



Dra. Adriana González Silvera
Sinodal



Dr. Eduardo Santamaría Del Ángel
Sinodal

Resumen

Se determinó la estructura de la comunidad del fitoplancton en la Laguna Ojo de Liebre durante el periodo de septiembre 2017 a junio 2018. Mediante el uso de microscopía óptica y quimiotaxonomía se buscó establecer una relación entre los grupos fitoplanctónicos y las variables físicas temperatura y salinidad. Se realizaron cuatro muestreos, los días: 18 de septiembre 2017, 1 de diciembre 2017, 8 de febrero 2018 y 13 de junio 2018, donde se tomaron datos en nueve estaciones. Adicionalmente, se extrajeron datos de imágenes diarias satelitales multisensor de temperatura superficial del mar (SST) y concentración de clorofila *a* ($Chl_{a_{sat}}$), con resolución espacial de 1 km. Los resultados obtenidos mostraron una variabilidad estacional significativa en la temperatura *in situ* que coincide con la variabilidad estacional típica reportada en la literatura. Se registraron 34 géneros agrupados en: diatomeas céntricas y pennadas, dinoflagelados y silicoflagelados. La presencia de diatomeas fue >80% en cada una de las estaciones y temporadas, siendo el principal constituyente del microfitoplancton, seguido de los dinoflagelados ~10%. De acuerdo a la agrupación morfométrica de las diatomeas, se encontró que las diatomeas pennadas fueron las más abundantes, por lo que este precedente permite establecer una relación con el fitoplancton. El CHEMTAX dio como resultado una comunidad fitoplanctónica representada principalmente por diatomeas, criptofitas, clorofitas y primnesiofitas. Se resalta la contribución por parte de los grupos nano y picofitoplanctónicos, que en conjunto llegaron a representar hasta el 70% del total de Chl_a . Las condiciones hidrográficas que se dan en Bahía San Sebastián Vizcaíno promueven el intercambio de fitoplancton entre un sistema y otro. Esto se vio especialmente en la presencia de primnesiofitas, así como la señal de diatomeas durante temporada cálida (verano). Finalmente, con las series de tiempo se pudo observar que la SST y $Chl_{a_{sat}}$ en esta zona presentaron una influencia temporal muy baja dado que la biomasa producida no se vio alterada por efectos de la temperatura, lo que permitió que Laguna Ojo de Liebre fuera considerada como eutrófica todo el año.

Palabras clave: Laguna costera hipersalina, variabilidad de la estructura de la comunidad fitoplanctónica, CHEMTAX.

Dedicatoria

No hay forma en que pueda agradecer todos los favores que he recibido de parte de Dios, este trabajo es solo una de las muchas bendiciones que me concede. Reconozco su gran amor y poder, soy feliz y la felicidad me lleva a ser agradecida.

Este trabajo es dedicado al Excelentísimo Apóstol de Jesucristo Naasón Joaquín García, quien siempre nos ha alentado a seguir adelante, a demostrarle al mundo que somos hijos de Dios, que somos La Luz del Mundo.

Agradecimientos

En primera instancia agradezco a mi comité de tesis conformado por el Dr. Jorge López Calderón, el Dr. Eduardo Santamaría del Ángel y la Dra. Adriana González Silvera, por su orientación, comentarios y consejos durante el proceso de elaboración de esta tesis.

Al Dr. Jorge López Calderón, a quien tengo en gran estima por permitirme trabajar con él desde la licenciatura y ser la primera alumna bajo su dirección de posgrado. Infinitas gracias por tenerme paciencia y dedicar horas de su día para ayudarme a entender y procesar la información necesaria para realizar este trabajo.

Al Dr. Eduardo Santamaría del Ángel a quien tuve el gusto de conocer al ingresar al posgrado y aprender en sus clases. Agradezco mucho sus palabras de ánimo, esa cualidad de saber cuando un alumno no se encuentra al 100 y ser empático.

A la Dra. Adriana González Silvera por siempre mostrar su amabilidad y disposición, por sus comentarios tan acertados y su ayuda especialmente con la parte del CHEMTAX.

A mis padres a quienes amo con todo el corazón, por siempre estar en las buenas y en las malas. Porque si he llegado hasta aquí ha sido por su impulso y motivación, los amo. Asimismo, a mis hermanos y a Nú, con quienes he compartido grandes momentos y le han puesto 'sabor' a mi vida con sus locuras.

A mi futuro esposo por ser parte de este proceso, por animarme y darme esa paz cuando más la necesité, te amo.

Al CONACYT por la beca otorgada para la realización de mis estudios de Maestría en Oceanografía Costera.

A la Universidad Autónoma de Baja California, específicamente a la Facultad de Ciencias Marinas, que ha sido como mi segunda casa en los últimos años de mi vida. Asimismo, al grupo POPEYE (conformado por alumnos y profesores) por la toma y procesamiento de muestras.

A la Exportadora de Sal S.A de C.V por las facilidades brindadas en el apoyo logístico durante las estancias en Guerrero Negro y en los muestreos.

Contenido

1. Introducción	1
2. Objetivo general	7
3.1 Objetivos particulares	7
3. Área de estudio	8
4. Metodología	11
5.1 Muestreo en campo	11
5.2 Análisis en laboratorio	12
5.2.1 Microscopía óptica	12
5.2.2 HPLC	13
5.3 Grupos taxonómicos por quimiotaxonomía (CHEMTAX)	13
5.4 Imágenes satelitales	15
5.5 Análisis estadístico	16
6 Resultados	18
6.1 Estacionalidad	18
6.2 Composición de la comunidad por microscopía óptica	19
6.3 Clorofila a y pigmentos	27
6.4 CHEMTAX	34
6.5 Análisis estadísticos	38
6.6 Datos satelitales	43
7 Discusión	48
8 Conclusiones	56
9 Referencias	57
Anexos	67

Listado de Tablas

Tabla I. Pigmentos del fitoplancton utilizados como bio-marcadores de grupos algales (adaptada de Jeffrey <i>et al.</i> , 1997).	4
Tabla II. Razones pigmento:clorofila a para cada uno de los grupos fitoplanctónicos, utilizadas como entrada al programa CHEMTAX.	14
Tabla III. Representación de los resultados obtenidos mediante prueba Wilcoxon-Wilcoxon (con una $n=9$ y un valor $1-\alpha=0.95$) (ver metodología para más detalles) (Wilcoxon, 1945; Wilcoxon y Wilcoxon, 1963). Los valores críticos (TL, TU) provienen de la tabla W-W (Wilcoxon <i>et al.</i> , 1970). Se realizaron las pruebas para cada uno de los grupos enunciados en la columna de muestreos. El recuadro rojo señala el único grupo que puede considerarse igual, por lo que en la última columna la decisión se representa con ese símbolo (=).	19
Tabla IV. Listado de géneros observados, así como la agrupación correspondiente durante el periodo de muestreo	20
Tabla V. Intervalos (mínimo y máximo), número de datos (n), mediana y porcentaje de contribución de los pigmentos fotosintéticos (mg m^{-3}) para la temporada cálida (septiembre 2017).....	29
Tabla VI. Intervalos (mínimo y máximo), número de datos (n), mediana y porcentaje de contribución de los pigmentos fotosintéticos (mg m^{-3}) para la temporada de transición negativa (diciembre 2017).....	30
Tabla VII. Intervalos (mínimo y máximo), número de datos (n), mediana y porcentaje de contribución de los pigmentos fotosintéticos (mg m^{-3}) para la temporada fría (febrero 2018).	31
Tabla VIII. Intervalos (mínimo y máximo), número de datos (n), mediana y porcentaje de contribución de los pigmentos fotosintéticos (mg m^{-3}) para la temporada de transición positiva (junio 2018).	33
Tabla IX. Abreviaturas utilizadas para representar a las variables en el análisis de clúster.	38
Tabla X. Análisis de componente principal (ACP) aplicado a la determinación de las asociaciones de grupos fitoplanctónicos con variables físicas. Las variables corresponden a las expresadas en la Tabla IX. Cada componente principal (CP) señala los valores calculados, en negritas se expresan aquellos eigenvectores asociados al CP significativos.	41
Tabla XI. Registro de la media de temperaturas in situ (zona exterior) y de SST para los meses en que se realizó este estudio.....	45
Tabla XII. Representación de los resultados obtenidos mediante prueba Wilcoxon-Wilcoxon para evaluar igualdades entre las diferentes mediciones de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) (con una $n=4$ y un valor $1-\alpha=0.95$) (ver metodología para más detalles) (Wilcoxon, 1945; Wilcoxon y Wilcoxon, 1963). Los valores críticos (TL, TU) provienen de la tabla W-W (Wilcoxon <i>et al.</i> , 1970).....	45

Listado de Figuras

Figura 1. Ubicación geográfica de la Laguna Ojo de Liebre. Las líneas dividen a la laguna en tres zonas: Z.E.: Zona Exterior, Z.C.: Zona Central y Z.I.: Zona Intermedia. Los números representan las estaciones: 1. La Boca, 2. Carros Viejos, 3. La Ventana, 4. El Zacatoso, 5. Las Casitas, 6. El Dátil, 7. Isla Alambre, 8. Isla Piedra, 9. Isla Piedra Sur, 10. Estero Norte, 11. El Remate Norte, 12. El Remate. Únicamente las estaciones: Isla Piedra Sur, La Ventana y El Remate Norte no tuvieron un muestreo sistemático, forman parte de los muestreos realizados durante septiembre 2017 y diciembre 2017.....	10
Figura 2. Abundancias totales de acuerdo a cada uno de los géneros en el periodo de muestreo (septiembre 2017, diciembre 2017, febrero 2018 y junio 2018). Los géneros se encuentran enumerados del 1 al 34, de acuerdo a la clave asignada en la Tabla IV.	21
Figura 3. Contribución porcentual de las abundancias de cada uno de los grupos taxonómicos a las estaciones durante el periodo de muestreo. Las letras corresponden a las temporadas: a) Temporada cálida, b) Temporada de transición negativa, c) Temporada fría, d) Temporada de transición positiva.....	22
Figura 4. Abundancias totales (cel L ⁻¹) representadas mediante logaritmo base 10 para cada uno de los grupos: diatomeas pennadas, diatomeas céntricas, dinoflagelados y silicoflagelados. Las barras de colores representan las estaciones, las cuales se observan en la leyenda inferior. Las letras corresponden a las temporadas: a) Temporada cálida, b) Temporada de transición negativa, c) Temporada fría, d) Temporada de transición positiva.	25
Figura 5. Distribución espacio temporal de la concentración de clorofila a in situ en la Laguna Ojo de Liebre. a) Temporada cálida b) Temporada de transición negativa c) Temporada fría y d) Temporada de transición positiva.	28
Figura 6. Mediana de la razón pigmento:Chla para cada una de las temporadas: a) Temporada cálida b) Temporada de transición negativa c) Temporada fría y d) Temporada de transición positiva.	34
Figura 7. Porcentaje de contribución de los grupos del fitoplancton. Las barras de colores corresponden a los grupos enlistados en la leyenda. Los círculos blancos representan la concentración (mg m ⁻³) de Chla (eje secundario). En el eje x se encuentran las estaciones (distribución espacial) en dirección de la zona exterior hacia la interior. a) Temporada cálida b) Temporada de transición negativa c) Temporada fría y d) Temporada de transición positiva.....	36
Figura 8. Análisis de clúster para determinar el porcentaje de similitud entre variables físicas y biológicas. En rosa se muestran las asociaciones formadas con una ligadura de más del 70%. En el eje x se expresan las abreviaturas de las variables (ver Tabla IX). Las letras representan las temporadas: a) Temporada cálida b) Temporada de transición negativa c) Temporada fría y d) Temporada de transición positiva.	39
Figura 9. Serie de tiempo de la anomalía de la temperatura superficial del mar (SST). Los círculos de colores representan los cuatro meses en que se realizó este estudio: rojo: septiembre 2017, morado: diciembre 2017, azul: febrero 2018 y magenta; junio de 2018. La línea base se sitúa en 0 SD.	45

Figura 10. Serie de tiempo de $Chla_{sat}$. Los círculos de colores corresponden a los cuatro meses en que se realizó este estudio; rojo: septiembre 2017, morado: diciembre 2017, azul: febrero 2018 y magenta; junio 2018. La línea base se sitúa en 0 SD.	47
Figura 11. Variabilidad interanual de la SST y $Chla$. Los círculos de colores corresponden a SST de los meses de muestreo. Los triángulos de colores representan los valores de $Chla$ para los meses de muestreo.	48

Anexos

Anexo 1. Matriz promedio resultante de concentración de pigmentos ($mg\ m^{-3}$), realizada a partir de las ocho matrices de salida generadas por CHEMTAX con el menor error cuadrático medio.	67
Anexo 2. Mediana de las variables: Temperatura ($^{\circ}C$), Salinidad (ups) y $Chla$ ($mg\ m^{-3}$) para cada una de las temporadas, así como los valores medios y número de datos (n).	68
Anexo 3. El marcador rojo representa el sitio de donde se extrajo la información satelital para SST y $Chla_{sat}$. Coordenadas: $27^{\circ}\ 49'\ 12.398''$ $-114^{\circ}\ 13'\ 59.437''$	68
Anexo 4. Series de tiempo de SST y $Chla_{sat}$ de dos sitios costeros dentro de BSV. a) Corresponde a las coordenadas: -114.45 y 27.99 b) Corresponde a las coordenadas: -114.32 y 28.41	69

1. Introducción

Las aguas de la plataforma continental representan el 8% de la superficie oceánica de la Tierra, pero es donde se lleva a cabo casi el 25% de la producción primaria marina (Walsh, 1989). México cuenta con 11,000 kilómetros de línea de costa, los cuales están distribuidos en 17 estados de la república. El litoral de la república mexicana posee una gran cantidad de sistemas lagunares-estuarinos, aproximadamente el 30-35% de su zona costera (Phleger, 1969). En México se han realizado trabajos sobre estos ecosistemas desde los años 60 y estudios como el de Lankford (1977) han permitido la clasificación de estos sistemas de acuerdo con su geomorfología.

Las lagunas costeras se encuentran entre los ambientes más comunes de la línea de costa, en estas zonas se desarrollan un gran número de actividades antropogénicas (Barnes, 1980; Holt *et al.*, 2009). Su importancia se debe principalmente al componente ecológico, pues estos ecosistemas presentan una alta productividad primaria que les permite ser sitios de crianza, reproducción y resguardo de muchos organismos acuáticos de valor comercial, de forma que, logran concentrar una gran biodiversidad (Lara-Domínguez *et al.*, 2011). Además, juegan un papel económico clave, ya que al proveer hábitat a muchas especies de organismos (crustáceos, peces, bivalvos, etc.) sustentan pesquerías artesanales y actividades acuícolas (Lara-Domínguez *et al.*, 2011).

La ecología de las lagunas costeras es muy variable y depende de aspectos físicos y químicos; pueden pasar de tener una dinámica por efecto de marea a ser influenciadas por el viento. Además, pueden variar en su composición, desde estar conformadas principalmente por agua dulce a ser hipersalinas (Gilabert, 2001). Se consideran como lagunas hipersalinas cuando la evaporación es mayor que el aporte por lluvia y/o escorrentía de agua dulce y el balance hídrico es compensado por intercambio de agua de origen oceánico; bajo estas condiciones, y con un aporte de nutrientes moderado o bajo, la producción primaria tiende a ser baja (Souza *et al.*, 2003). No obstante, sitios como el

sistema laguna Magdalena-Almejas (Baja California Sur) a pesar de estar bajo este régimen presentan una alta productividad por la inyección de nutrientes provenientes de la costa (Zaytsev y Cervantes-Duarte, 2018). En estos ecosistemas altamente productivos, el fitoplancton tiene un rol importante en la producción primaria y en el reciclaje de nutrientes que impulsan las redes tróficas costeras (Otero *et al.*, 2020).

Se conoce como fitoplancton a los microorganismos fotosintetizadores y en su mayoría unicelulares, que viven en un medio acuático y que debido a sus formas de locomoción son incapaces de ir en contra de una corriente, por lo que su movimiento depende de la dinámica del medio (Lalli y Parsons, 1993; Falkowski *et al.*, 2004). El fitoplancton constituye la base de la producción de materia orgánica en los ecosistemas acuáticos ya que son capaces de realizar el proceso de fotosíntesis. Este proceso se encarga de transformar la energía solar en energía química disponible para toda la biota, además de producir oxígeno (Falkowski y Raven, 1997). Para que este proceso se realice, se requieren cuatro factores principales: energía en forma de radiación solar, carbono inorgánico en forma de dióxido de carbono o iones bicarbonato, nutrientes y agua (Kirk, 1994).

Para comprender la función biológica que desempeña el fitoplancton como productor primario, resulta importante analizar el papel que presenta la comunidad fitoplanctónica en un cuerpo de agua (Hötzel y Croome, 1999). Mediante diferentes aproximaciones se puede inferir o conocer la composición taxonómica de la comunidad del fitoplancton, una de las técnicas más utilizadas radica en el uso de un microscopio óptico invertido, aplicando el método de Utermöhl (1958). El método de Utermöhl (1958) presenta la ventaja de observar características morfológicas propias de cada especie, como: tamaño celular, morfología, formación de colonias y asociaciones con otras especies (Edler y Elbrächter, 2010). No obstante, una de las limitaciones por parte de este método es la difícil identificación de

organismos de los grupos nano y picofitoplanctónicos, por lo que para realizar su identificación resulta necesario emplear otros métodos (Tester *et al.*, 1995).

Una medida alternativa para cuantificar la biomasa fitoplanctónica se basa en el uso de los pigmentos diagnóstico, la cual permite inferir la contribución de los grupos fitoplanctónicos a la concentración de clorofila *a* (Chl*a*) (Wright *et al.*, 1996; Araujo *et al.*, 2016). La concentración de clorofila *a* es utilizada frecuentemente como un estimador de la biomasa fitoplanctónica, debido a que es el principal pigmento presente en estos organismos (Gregor y Marsálek, 2004). Los pigmentos fotosintéticos se clasifican en tres grandes grupos: clorofilas, carotenoides y ficobiliproteínas (Jeffrey *et al.*, 1997). Pigmentos como las clorofilas *b* y *c*, así como los carotenoides y ficobiliproteínas, tienen la función de absorber luz a longitudes de onda donde la Chl*a* no lo hace, por lo que se les denomina como pigmentos accesorios (Bricaud *et al.*, 2004). Esta técnica se conoce como quimiotaxonomía y mediante el uso de cromatografía líquida de alta frecuencia (HPLC por sus siglas en inglés), permite conocer la relación entre la concentración de los pigmentos diagnóstico o biomarcadores y su correspondencia con los diferentes grupos fitoplanctónicos (Mackey *et al.*, 1996).

La información que se obtiene a partir de los pigmentos del fitoplancton permite caracterizar el estado fisiológico, la composición de especies y la biomasa en el ambiente acuático (Falkowski y Raven 1997). Como se muestra en la Tabla I, la presencia de estos pigmentos biomarcadores permite clasificar diferentes grupos del fitoplancton. Jeffrey *et al.* (1997) presentan una lista exhaustiva de estos pigmentos fotosintéticos y su correspondencia con las principales Divisiones/Clases de microalgas, la cual es útil al momento de clasificar el fitoplancton. No obstante, existen pigmentos que son compartidos entre los grupos, por ejemplo: la fucoxantina está presente en las bacilariofitas, primnesiofitas, crisofitas y rafidofitas.

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

Pigmentos	Abreviatura	Grupo Algal
Clorofila <i>a</i>	Chl <i>a</i>	Todos excepto <i>Prochlorococcus</i>
Divinil Clorofila <i>a</i>	DVChl <i>a</i>	<i>Prochlorococcus</i>
Clorofila <i>c</i> ₃	Chl <i>c</i> ₃	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
		Cianobacterias
Zeaxantina	Zea	(<i>Prochlorococcus</i>) / Clorofitas
Prasinoxantina	Pras	Prasinofitas

Conocer la distribución de la biomasa del fitoplancton en base a su tamaño es fundamental al momento de caracterizar flujos de energía en el ecosistema oceánico (Rodríguez, 2005). De forma general, existen asociaciones entre el tamaño del fitoplancton y los niveles tróficos, el fitoplancton pequeño (pico y nanofitoplancton) comúnmente se asocia con aguas oligotróficas, mientras que el microfitoplancton (como las diatomeas) domina en sistemas productivos ricos en nutrientes (Vidussi *et al.*, 2001). Basado en los pigmentos biomarcadores, peridinina y fucoxantina, Claustre (1994) propuso una ecuación para cuantificar la proporción relativa de diatomeas + dinoflagelados (microfitoplancton), dividida por la sumatoria de siete pigmentos diagnóstico. Bajo esta premisa, Vidussi *et al.* (2001) modificaron este concepto y propusieron tres agrupamientos, utilizando los mismos siete pigmentos biomarcadores y su proporción relativa. Uitz *et al.* (2006) propusieron modificar las ecuaciones de Vidussi *et al.* (2001) utilizando regresión múltiple para obtener

una mejor representación de la estimación de la razón entre la concentración de clorofila *a* total y la concentración de estos siete pigmentos accesorios utilizados como biomarcadores.

A manera de determinar la productividad fitoplanctónica en regiones extensas, se ha empleado el uso de sensores remotos para la detección de pigmentos fitoplanctónicos y ha demostrado ser una herramienta muy útil (Longhurst *et al.*, 1995). Las imágenes que se obtienen de sensores remotos proporcionan datos de la concentración media de los pigmentos fotosintéticos en la primera profundidad óptica, esta capa puede variar de centímetros a decenas de metros y depende de los constituyentes del agua (Kirk, 1994). La validación de la información de sensores remotos a partir de las mediciones *in situ*, es más sencilla en las aguas en las que el fitoplancton y sus productos juegan un papel dominante en las propiedades ópticas del océano (aguas “Caso 1”), que cuando los sedimentos inorgánicos y orgánicos tienen una contribución importante para determinar el color de las aguas, “Caso 2” (Morel & Prieur, 1977). Uno de los propósitos de utilizar sensores remotos radica en la identificación de patrones/tendencias estacionales. Santamaría-del-Ángel *et al.* (1994) utilizaron datos del Coastal Zone Color Scanner para describir la variación estacional e interanual de la concentración de clorofila *a* en el Golfo de California, y lograron concluir que existe una variación estacional muy clara.

Mediciones de teledetección de otras variables relevantes como temperatura de la superficie del mar o altura dinámica también puede ayudar a comprender los posibles controles de la producción de clorofila en las regiones costeras y sus vínculos con la hidrología terrestre (Jutla *et al.*, 2012). El valor de temperatura del mar que se extrae mediante la teledetección corresponde a la capa más cercana a la superficie y que se encuentra en contacto directo con la atmósfera. Es esta capa la que recibe y transmite la radiación electromagnética, es decir, es la que controla la temperatura de brillo que observan los sensores, conocida como la temperatura de la superficie del mar (skin sea

surface temperature o SSST) (Quereda, et al., 2006). Utilizando clorofila satelital de varias cuencas oceánicas en todo el mundo, algunos estudios han demostrado que existe una relación inversa entre la clorofila y la SST (Solanki et al., 2001; Legaard y Thomas, 2006).

Las reservas de la biosfera son áreas de ecosistemas terrestres y costeros que fueron creadas no solo con el fin de conservar la biodiversidad, sino para el estudio y la utilización racional de los recursos disponibles en dichas áreas (Acevedo-Cervantes, 1997). La Reserva de la Biosfera El Vizcaíno (REBIV) (Diario Oficial de la Federación, 30 noviembre 1988) se localiza en el norte de BCS, abarca más del 70% del municipio de Mulegé, siendo el área natural protegida más grande de México, con una superficie de 25 470 km² (Troyo-Vega *et al.*, 2019). La Reserva comprende 2,546,790-25-00 ha de las cuales 2,183,351-37-50 ha son zona de amortiguamiento y 363,438-87-00 ha como zonas núcleo (Carabias et al.,). Los ecosistemas de la REBIV incluyen los dos santuarios de la ballena gris creados en 1972: Laguna Ojo de Liebre (LOL) y Laguna San Ignacio. Debido a la importancia que representa la LOL como ecosistema dentro de la REBIV, se han realizado investigaciones con el fin de conocer los patrones que desempeñan ciertos organismos en la laguna, como lo son: ballenas (Alvarado *et al.*, 1986), peces (Bocanegra-Castillo, 1998), aves (Castellanos *et al.*, 2001), moluscos (Quiñones-Arreola, 2003) y tortugas (Fernández-Sanz y Reséndiz, 2021), además de acuacultura (Maguiño-Napuri *et al.*, 2011).

En lo que concierne a fitoplancton, el trabajo de Millán-Núñez *et al.* (1987) es el primer registro que se tiene de la composición y abundancia fitoplanctónica de este humedal. No obstante, se encuentran las investigaciones realizadas por Arellano-Martínez *et al.* (2005) y Arellano-Martínez *et al.* (2011) en donde se mencionó la importancia de los florecimientos del fitoplancton en el ciclo de vida de la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*). Además de estos trabajos, se incluye el de Sánchez-Cobarrubias *et al.* (aceptado) donde se caracterizó la comunidad fitoplanctónica durante el mes de febrero de

2018 y se encontró que el porcentaje de contribución al total de clorofila a por parte del microfitoplancton y picofitoplancton fue muy semejante (44% y 37%, respectivamente). Por lo que este último grupo adquiere relevancia en la productividad de la laguna, y el papel que desempeña debe ser analizado en futuras investigaciones.

Retomando lo anterior, el presente trabajo tiene como fin el estudio de la comunidad fitoplanctónica en la LOL, apoyándose de la microscopía, quimiotaxonomía y sensores remotos, para conocer la estructura de la misma y el cómo se ve influenciada la productividad (en términos de la Chla) por la variabilidad estacional. Este estudio es el primero en considerar a los grupos fitoplanctónicos correspondientes a los tamaños nano y picofitoplancton en la LOL obtenidos por quimiotaxonomía. Además, se busca establecer una relación entre los grupos del microfitoplancton y las variables: temperatura y salinidad.

2. Objetivo general

- Describir la variabilidad temporal de la estructura del fitoplancton en Laguna Ojo de Liebre de septiembre 2017 a junio 2018.

3.1 Objetivos particulares

- Describir la composición a nivel género de la comunidad fitoplanctónica mediante microscopía óptica (microfitoplancton).
- Evaluar la composición taxonómica de la comunidad fitoplanctónica (microfitoplancton, nanofitoplancton y picofitoplancton) en la LOL mediante pigmentos diagnóstico y quimiotaxonomía.
- Relacionar los patrones de abundancia y dominancia (estacional y espacial) de los principales grupos del microfitoplancton con temperatura y salinidad.
- Determinar la variabilidad temporal de temperatura y clorofila satelitales, y compararla con mediciones *in situ*.

3. Área de estudio

En Baja California Sur se encuentran 31 ambientes costeros, conformados por lagunas (seis), estuarios (uno), esteros (seis) y bahías (doce) (De-la-Lanza-Espino *et al.*, 2013). El clima de la región es seco, con una alta tasa de evaporación, precipitación pluvial y escurrimientos superficiales mínimos (esta zona presenta la menor precipitación pluvial del país), lo que promueve que todos los sistemas lagunares presenten una composición anti-estuarina (Contreras, 1985; Acevedo-Cervantes, 1997).

BSV se encuentra localizada dentro del Sistema de la Corriente de California (SCC) (Portela *et al.*, 2016), el cual se caracteriza por el flujo hacia el sur del Agua Subártica del Pacífico, que es transportada por la Corriente de California (CC) (Durazo, 2015). La dinámica de la circulación en toda la región es modulada además por la variabilidad estacional e interanual del SCC (Gutiérrez-de-Velasco *et al.*, 2008). En términos del fitoplancton, en BSV se presenta una variabilidad estacional marcada, con una baja biomasa hacia finales de verano y otoño, mientras que durante primavera y principios de verano se perciben aumentos significativos (~ 0.3 y >5.0 mg m⁻³, respectivamente) (Martínez-Fuentes *et al.*, 2016). Mediante una boca de aproximadamente 4 km de ancho la BSV se conecta con LOL (Gutiérrez-de-Velasco *et al.*, 2008), por lo que se encuentra influenciada por procesos que se dan en la bahía.

La LOL se encuentra situada en costa Pacífico de la península de Baja California, en la parte sureste de BSV (27°35' a 27°52' N 113°58' y 114°10'W) (Fig. 1). Pertenece a un complejo lagunar donde también se encuentran Laguna Guerrero Negro y Laguna Manuela, siendo la primera la mayor de las tres. Posee una superficie de aproximadamente 46 km², distribuida en 48 km de largo y 9 km de ancho, con profundidades que van desde los 6 hasta los 12 metros (Acevedo-Cervantes, 1997). Presenta una batimetría irregular con cuatro islas, entre las que destacan Isla Piedra e Isla Alambre y una gran cantidad de bajos,

que son cubiertos conforme la marea asciende o en caso contrario, cuando esta desciende (flujo y reflujo) (Álvarez-Borrego y Granados Guzmán, 1992).

Respecto a su dinámica, la LOL se rige por una circulación modulada por efecto de la marea, gradientes de densidad y vientos superficiales (Gutiérrez-de-Velasco *et al.*, 2000). De estos componentes, la marea es el de mayor influencia, pues presenta velocidades de aproximadamente 1 m s^{-1} durante marea baja (Gutiérrez-de-Velasco *et al.*, 2000). Además, el viento predominante del noroeste produce una circulación superficial y genera mezcla vertical (Gutiérrez-de-Velasco *et al.*, 2008). La influencia de los factores mencionados, permite que la temperatura del agua en la LOL siga un patrón estacional, con temperaturas durante invierno cercanas a 17°C y en verano a 25°C (Rodríguez-Padilla, 2013). Además, la LOL muestra un gradiente de temperatura que inicia en la boca y aumenta en dirección a la cabecera (Rodríguez-Padilla, 2013).

El clima de la región se considera de tipo seco-semiárido con un régimen de lluvias intermedio y similar en toda la región, con valores máximos en invierno ($1 \text{ a } 2 \text{ mm día}^{-1}$) y cercanos a cero el resto del año, con un porcentaje de precipitación invernal menor a 36 mm (Salinas-Zavala *et al.*, 1991; Gutiérrez de Velasco *et al.*, 2008). Debido a estos factores, la LOL es considerada como una laguna costera de tipo hipersalina, con extensos campos de sal en la cabeza de Ojo de Liebre en áreas que se inundan durante las mareas vivas.

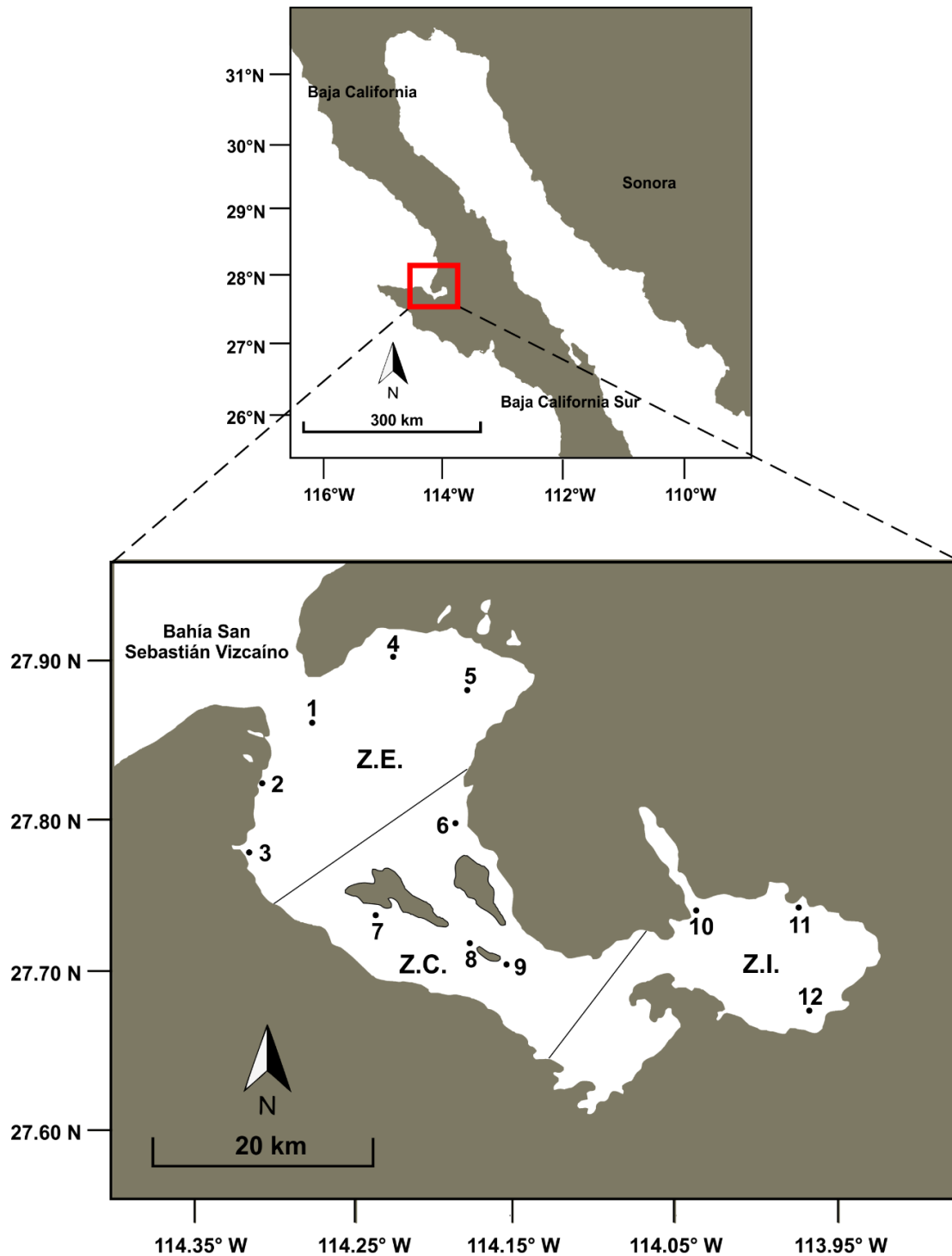


Figura 1. Ubicación geográfica de la Laguna Ojo de Liebre. Las líneas dividen a la laguna en tres zonas: Z.E.: Zona Exterior, Z.C.: Zona Central y Z.I.: Zona Intermedia. Los números representan las estaciones: 1. La Boca, 2. Carros Viejos, 3. La Ventana, 4. El Zacatoso, 5. Las Casitas, 6. El Dátil, 7. Isla Alambre, 8. Isla Piedra, 9. Isla Piedra Sur, 10. Estero Norte, 11. El Remate Norte, 12. El Remate. Únicamente las estaciones: Isla Piedra Sur, La Ventana y El Remate Norte no tuvieron un muestreo sistemático, forman parte de los muestreos realizados durante septiembre 2017 y diciembre 2017.

4. Metodología

El diseño de muestreo en la Laguna Ojo de Liebre fue realizado en base al artículo de Millán-Núñez *et al.* (1987), el cual consideró un total de nueve estaciones dentro de la laguna. Estas se ubicaron en las siguientes localidades (Fig. 1): La Boca, El Dátil, Carros Viejos, Las Casitas, Isla Piedra, Isla Alambre, Estero Norte, El Zacatoso y El Remate. A continuación, se detallan los procedimientos que se llevaron a cabo en campo y en laboratorio para la toma de muestras y su análisis.

5.1 Muestreo en campo

Se realizaron cuatro muestreos en la Laguna Ojo de Liebre con el fin de representar la estacionalidad: 18 de septiembre 2017, 1 de diciembre 2017, 7 de febrero 2018 y 14 de junio 2018. Se utilizó una embarcación con motor fuera de borda (facilitada por la empresa Exportadora de Sal, S.A.) durante el recorrido por la LOL y mediante los sensores acoplados en el CTD (Conductivity-Temperature-Depth, modelo YSI Cast Away) se registraron valores de profundidad, salinidad y temperatura, para cada una de las nueve estaciones.

En cada estación se colectaron dos muestras superficiales de agua: la primera para análisis de microscopía y la segunda para análisis de pigmentos. Para la primera muestra, se tomaron 250 mL de agua de mar y se añadieron 2.5 mL de lugol alcalino (acetato de sodio) con el fin de fijar y preservar las células (Thronsdén, 1978). Las muestras se almacenaron en oscuridad y refrigeración hasta su posterior análisis en el laboratorio. Para la segunda muestra se colectó 1 L de agua de mar y se mantuvo en hielo y en oscuridad, para prevenir la degradación de los pigmentos fotosintéticos. Al volver a tierra, este volumen fue pasado por un filtro de fibra de vidrio GF/F de 25 mm de diámetro, utilizando una bomba de vacío y filtración negativa. Cada filtro se envolvió en papel aluminio, se etiquetó y se almacenó en nitrógeno líquido, hasta la extracción de pigmentos en el laboratorio.

5.2 Análisis en laboratorio

En el laboratorio de productividad primaria (UABC-FCM) se realizaron los análisis de microscopía óptica y HPLC, siguiendo los métodos propuestos por Utermöhl (1958), Van-Heukelem y Thomas (2001) y Thomas (2012).

5.2.1 Microscopía óptica

El análisis cuantitativo de la comunidad fitoplanctónica se realizó siguiendo la técnica de Utermöhl (1958), la cual se basa en el conteo de células usando un microscopio invertido. La ventaja de utilizar el microscopio invertido radica en que, al tener el revólver con los objetivos en la parte inferior y la fuente de luz en la parte superior, se logra realizar un conteo completo del fondo de la cámara de sedimentación (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 2005). El trabajo de cuantificación se realizó utilizando un microscopio Zeiss IM.

Las muestras fueron homogenizadas girando en diferentes sentidos la botella, con el cuidado de no propiciar la formación de burbujas ni la agitación, ya que esta última es capaz de romper las células. Una vez homogenizada la muestra, se colocó en la cámara de sedimentación, al verter un volumen predeterminado en la columna de sedimentación y se dejó sedimentar durante un periodo de 24 h (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 2005). El presente análisis se realizó utilizando un volumen de sedimentación de 50 mL, con el aumento de 200x se observó toda la cámara de sedimentación y con el aumento de 400x se identificaron los taxa más pequeños y/o estructuras (Santamaría-Del-Ángel y Millán-Núñez, 1991). El microfitoplancton se identificó hasta nivel género, utilizando las guías de identificación taxonómica de Cupp (1943) y McGaraghan (2018).

5.2.2 HPLC

La presencia y concentración de pigmentos fue determinada por medio de HPLC (Cromatografía Líquida de Alta Precisión, por sus siglas en inglés) (Vidussi *et al.*, 1996). Para la extracción de los pigmentos se siguió el protocolo de Thomas (2012), que a grandes rasgos consiste en sumergir cada filtro en 4 mL de acetona con vitamina E. Las muestras se ultrasonicaron durante 10 s y se mantuvieron en refrigeración durante 24 h. Posteriormente, cada muestra se centrifugó por 10 min a 3000 rpm. El siguiente paso consistió en filtrar el sobrenadante a través de acrodiscos de membrana PTFE 0.2 μm . Se vertieron 1000 μL de cada muestra en viales de 2 mL, los cuales se colocaron en un sistema HPLC Agilent 1260 equipado con una bomba cuaternaria y una columna cromatográfica Zorbax Eclipse XDB-C8, con tamaño de partícula de 3.5 μm de 4.6x150 mm. Se utilizaron tres solventes para el sistema HPLC: solvente A (70:30%, metanol: 28 mM TbAA, pH 6.5), solvente B (100% metanol) y solvente C (100% acetona). Los pigmentos estándar utilizados para la calibración del HPLC fueron adquiridos de Sigma-Aldrich y DHI (Dinamarca). Los límites promedio de detección para los volúmenes de filtración y extracción en el sistema utilizado son 0.0004 y 0.0013 mg m^{-3} , respectivamente (Thomas, 2012). De este procesamiento, se obtuvo un cromatograma con todas las áreas de absorción y los tiempos de retención asociados a cada pigmento fotosintético, mismos que se utilizaron para determinar la concentración de cada pigmento mediante la ecuación de gobierno (Thomas, 2012).

5.3 Grupos taxonómicos por quimiotaxonomía (CHEMTAX)

A través de la quimiotaxonomía (CHEMTAX) se puede utilizar la información obtenida por HPLC para identificar la contribución de diferentes pigmentos a la concentración de clorofila a total, lo que permite establecer una relación con los grupos del fitoplancton (Mackey *et al.*, 1996). El software CHEMTAX utiliza una matriz de entrada que incluye la

concentración de pigmentos y la razón pigmento:Chla (razón inicial) asociada a cada grupo (Tabla II). Las razones utilizadas para el desarrollo de este trabajo se basaron en las propuestas por Miranda-Álvarez *et al.* (2020), las cuales tuvieron como referencia las razones de Higgings *et al.* (2011) y Jeffrey *et al.* (2011).

Con base en los pigmentos detectados se consideraron ocho grupos del fitoplancton: Bacilariofitas (diatomeas), Dinofitas (dinoflagelados), Primnesiofitas, Clorofitas, Criptofitas, Crisofitas, Prasinofitas y Cianobacterias. La determinación de la abundancia de los dinoflagelados se basó en el pigmento Peridinina, de acuerdo a Higgings *et al.* (2011) este grupo corresponde al Tipo 1 y se compone de organismos autotróficos y/o mixotróficos (Thronsdén, 1997). La estimación del grupo primnesiofitas consideró a los pigmentos Chlc₃, 19'But, 19'Hex y fucoxantina, los cuales representan los Tipos 6, 7 y 8 (Higgins *et al.*, 2011).

Como producto de cada una de las corridas del CHEMTAX se obtuvieron un total de 64 matrices de salida, donde cada una de ellas se revisó detalladamente con la finalidad de seleccionar ocho matrices con el menor error cuadrático medio. Además, con los datos de pigmentos propios del HPLC se compararon las matrices para corroborar la mejor representación de los grupos. Finalmente, se realizó un promedio utilizando las ocho matrices seleccionadas, generando una nueva matriz la cual representó la mejor contribución de los grupos a la clorofila a (Anexo 1).

Tabla II. Razones pigmento:clorofila a para cada uno de los grupos fitoplanctónicos, utilizadas como entrada al programa CHEMTAX.

Grupo/Pigmento	Chl <i>b</i>	19'But	19'Hex	Allo	Fuco	Peri	Zea	Chlc ₃	Pras	Chl <i>a</i>
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	0.70	0	0	0	0	0	0.06	0	0.24	1
Cianobacterias	0	0	0	0	0	0	0.64	0	0	1

Crisofitas	0	0.35	0	0	0	0	0	0	0	1
-------------------	---	------	---	---	---	---	---	---	---	---

5.4 Imágenes satelitales

Con el fin de identificar y comparar la variabilidad temporal a lo largo de casi 19 años de la temperatura y clorofila, se decidió trabajar con imágenes satelitales en un sitio representativo de la zona exterior (Anexo 2). Los datos correspondientes a imágenes satelitales (temperatura y clorofila) son el resultado de imágenes de los sensores: MODIS Aqua, Terra y VIIRS/Suomi NPP, para el periodo de estudio. A partir de estas imágenes se derivaron los productos concentración de clorofila a ($Chla_{sat}$) y temperatura superficial del mar (SST). Para estimar $Chla$, se utilizó el algoritmo estándar OC3/OC4 (OCx) (O'Reilly *et al.*, 1998; 2000), el cual se basó en los reprocesamientos MODIST_V2014.0, MODISA_V2014.0 y VIIRS_V2016.0. Los datos del Nivel 1b se obtuvieron de la página web de la NASA Ocean Color Data (<http://oceandata.sci.gsfc.nasa.gov/>). Para el procesado a nivel 2, se utilizó el SEADAS V7. Los cálculos de SST se basaron en el algoritmo MODIS R2014.0. 2.3.

Las imágenes derivadas de mediciones satelitales multisensor con resolución 1 km (LAC) se utilizaron para realizar compuestas mensuales, a partir de imágenes diarias. Las imágenes utilizadas para temperatura y clorofila a se procesaron con el programa Windows Image Manager (WIM). Se extrajeron los datos de las imágenes procesadas se guardaron en formato latitud-longitud para la manipulación de los valores geofísicos. Con la información extraída de los datos satelitales se realizaron las series de tiempo de compuestas mensuales de SST y $Chla_{sat}$, las series iniciaron en marzo de 2000 y concluyeron en noviembre de 2019, lo que dio como resultado un total de 237 datos, para cada variable.

5.5 Análisis estadístico

A manera de diferenciar la estacionalidad (basada en las estaciones del año, de acuerdo a la fecha de muestreo) en base a la temperatura *in situ* registrada en la laguna y poder describir los resultados en función de ella, se realizó la prueba no paramétrica de Wilcoxon-Wilcoxon para dos muestras independientes. Los valores se calcularon mediante número de observaciones de cada muestra y utilizando una significancia de $1-\alpha=0.95$, se obtuvieron los valores críticos provenientes de las tablas Wilcoxon-Wilcoxon (Wilcoxon, 1945; Wilcoxon y Wilcoxon, 1963; Wilcoxon *et al.*, 1970).

Para comparar datos con diferente naturaleza sin alterar la distribución de los mismos, se realizó una transformación Z. La estandarización de variables con distintas unidades convierte los datos a distancias de cada uno de ellos con el promedio, expresadas en desviaciones estándar (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 2019). Esta transformación se aplicó al trabajar los datos en los diferentes análisis estadísticos (correlación de Pearson, Análisis de clúster, Análisis de componentes principales).

Para correlacionar diferentes variables (como el caso de la SST y la $Chl_{a_{sat}}$ estandarizadas) se utilizó el coeficiente de correlación lineal r de Pearson (r_P). El resultado que se obtiene de r_P puede tomar valores de -1 a 1, indicando correlación inversa y directa, respectivamente. No obstante, cuando el valor es 0 señala que no existe correlación lineal (Foster *et al.*, 2011). La expresión matemática utilizada es:

$$r_P = \frac{(Cov_{A,B})}{SD_A SD_B}$$

Donde:

r_P = Coeficiente de correlación de Pearson

$Cov_{A,B}$ = Covarianza de dos variables, A y B

SD = Desviación estándar de A y B

Con el fin de saber si el coeficiente obtenido es significativo se realizó una prueba de hipótesis según lo siguiente:

$$H_0: r_P = 0$$

$$H_0: r_{\text{Crít}} \neq 0$$

Para aceptar o rechazar h_0 , se compararon dos valores: el calculado (r_P) y el crítico u obtenido de tablas ($r_{\text{crít}}$). Si el valor $r_P < r_{\text{Crít}}$ la hipótesis se acepta y la correlación lineal no será significativa (caso contrario será significativa). En este trabajo se utilizó la tabla de Stevens (2019), una $n= 237$ y se utilizó un $\alpha=0.05$.

Se decidió realizar un análisis de clúster (AC) por la representación gráfica que provee para establecer asociaciones multidimensionales entre un determinado conjunto de datos. Este método utilizó como unión entre los datos el promedio y como medida de distancia la correlación de Pearson. Los valores se utilizaron estandarizados y se codificaron en tres categorías siguiendo los intervalos propuestos: $(-100:-0.5001) = \text{bajo}$, $(-0.5:0.5) = \text{medio}$ y $(0.5001:100) = \text{alto}$, para cada una de las variables *in situ*.

Para obtener asociaciones entre diferentes variables se empleó el análisis de componentes principales (ACP) con resolución numérica. El ACP permite agrupar variables que presentan patrones espacio temporales similares (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 2011). Al igual que en el análisis de clúster, la matriz que se utilizó para ACP se categorizó con los intervalos mencionados. Los componentes se calcularon mediante una matriz de correlación de Pearson, cada componente principal es la mejor combinación numérica de las variables de estudio. Los componentes significativos fueron aquellos con eigenvalores mayores a 1. El resultado final se representó con una tabla compuesta por el número de componentes en columnas y las variables en renglones. Además, se incluyeron como renglones en la parte final los eigenvalores, así como el porcentaje y el porcentaje acumulado que representan cada uno de los componentes principales (CP).

Para realizar las series de tiempo satelitales sin la influencia estacional y conocer la fluctuación de ellas, se requirió el uso de anomalías climatológicas estandarizadas (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 2019). Para obtener las anomalías climatológicas se debe calcular primero la climatología, la cual es la suma del promedio de cada uno de los meses de la serie de tiempo; posteriormente, al valor mensual se le resta el valor obtenido de la climatología y se obtiene la anomalía climatológica (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 2019). No obstante, esta anomalía se estandariza para observar su variabilidad y presencia de valores extremos (en caso de tenerlos).

6 Resultados

6.1 Estacionalidad

Con el fin de describir la estructura de la comunidad, se decidió agrupar los muestreos en base a la variación mensual de la temperatura. Bajo esta finalidad, se efectuó la prueba Wilcoxon-Wilcoxon (Tabla II). Se identificaron tres temporadas estadísticamente diferentes entre sí: cálida (septiembre 2017), transición: negativa y positiva (diciembre 2017 y junio 2018) y fría (febrero 2018). Estas temporadas fueron comparables con las estaciones del año (hemisferio norte): cálida (junio-septiembre) = verano; transición negativa (septiembre-diciembre) = otoño; fría (diciembre-marzo) = invierno; y transición positiva (marzo-junio) = primavera.

La temperatura de los meses septiembre y febrero resultó estadísticamente diferente por lo que se consideraron como temporadas diferentes las cuales correspondieron a las temporadas: cálida y fría, respectivamente. Por otro lado, la decisión de igualdad solo se observó en uno de los escenarios planteados (Tabla III). De tal forma que, los meses diciembre y junio no presentaron diferencias estadísticamente significativas en cuanto a la temperatura. Para este estudio se estableció que estos meses corresponden a una temporada de transición. No obstante, se consideraron como transición negativa

(diciembre) y transición positiva (junio); referido al decremento e incremento que presenta la temperatura durante esos meses.

Tabla III. Representación de los resultados obtenidos mediante prueba Wilcoxon-Wilcoxon (con una $n=9$ y un valor $1-\alpha=0.95$) (ver metodología para más detalles) (Wilcoxon, 1945; Wilcoxon y Wilcoxon, 1963). Los valores críticos (TL, TU) provienen de la tabla W-W (Wilcoxon *et al.*, 1970). Se realizaron las pruebas para cada uno de los grupos enunciados en la columna de muestreos. El recuadro rojo señala el único grupo que puede considerarse igual, por lo que en la última columna la decisión se representa con ese símbolo (=).

Muestreos	Valores Calculados		Valores Críticos		Hipótesis de igualdad
	TA	TB	TA	TB	Decisión
Septiembre – Diciembre	45	126	63	108	$\neq$
Septiembre – Febrero	45	126	63	108	$\neq$
Septiembre – Junio	54	117	63	108	$\neq$
Diciembre- Febrero	48	123	63	108	$\neq$
Diciembre – Junio	63	108	63	108	=
Febrero – Junio	51	120	63	108	$\neq$

6.2 Composición de la comunidad por microscopía óptica

La comunidad del microfitoplancton observada al microscopio estuvo caracterizada por la presencia de: diatomeas, dinoflagelados y silicoflagelados. Las diatomeas se clasificaron de acuerdo a su morfología como diatomeas pennadas y céntricas (Lalli y Parsons, 1993). En este trabajo se encontraron 34 géneros durante los cuatro periodos de muestreo (Tabla IV), la distribución porcentual de la comunidad en término de géneros estuvo constituida por: diatomeas pennadas 38%, diatomeas céntricas 32%, dinoflagelados 27% y silicoflagelados 3%.

Entre las diatomeas pennadas se observaron 13 géneros, donde los de mayor abundancia fueron: *Thalassionema sp.*, y *Navicula sp.* Para las diatomeas céntricas se registraron 11 géneros siendo *Rhizosolenia sp.* uno de los más abundantes. Respecto a los dinoflagelados, se encontraron ocho géneros de los cuales *Prorocentrum sp.* fue el género más frecuente y abundante. Entre los silicoflagelados solo se observó un género, no obstante, se pudieron diferenciar dos especies: *Dictyocha fibula* y *Dictyocha octationaria*.

Tabla IV. Listado de géneros observados, así como la agrupación correspondiente durante el periodo de muestreo.

Clave (#)	Género	Diatomeas Céntricas	Diatomeas Pennadas	Dinoflagelados	Silicoflagelados
1	<i>Asteromphalus sp.</i>	*			
2	<i>Bacteriastrum sp.</i>	*			
3	<i>Biddulphia sp.</i>	*			
4	<i>Chaetoceros sp.</i>	*			
5	<i>Coscinodiscus sp.</i>	*			
6	<i>Guinardia sp.</i>	*			
7	<i>Hemiaulus sp.</i>	*			
8	<i>Leptocylindrus sp.</i>	*			
9	<i>Odontella sp.</i>	*			
10	<i>Rhizosolenia sp.</i>	*			
11	<i>Triceratium sp.</i>	*			
12	<i>Amphiprora sp.</i>		*		
13	<i>Amphora sp.</i>		*		
14	<i>Cocconeis sp.</i>		*		
15	<i>Diploneis sp.</i>		*		
16	<i>Grammatophora sp.</i>		*		
17	<i>Licmophora sp.</i>		*		
18	<i>Lyrella sp.</i>		*		
19	<i>Navicula sp.</i>		*		
20	<i>Nitzschia sp.</i>		*		
21	<i>Pleurosigma sp.</i>		*		
22	<i>Pseudonitzschia sp.</i>		*		
23	<i>Striatella sp.</i>		*		
24	<i>Thalassionema sp.</i>		*		
25	<i>Ceratium sp.</i>			*	
26	<i>Dinophysis sp.</i>			*	
27	<i>Gyrodinium sp.</i>			*	
28	<i>Heterocapsa sp.</i>			*	
29	<i>Noctiluca sp.</i>			*	
30	<i>Oxytoxum sp.</i>			*	
31	<i>Peridinium sp.</i>			*	
32	<i>Prorocentrum sp.</i>			*	
33	<i>Proto-peridinium sp.</i>			*	
34	<i>Dictyocha sp.</i>				*

Como se observa en la Tabla IV, se registraron un total de 34 géneros durante todo el periodo de estudio. Al contabilizar los géneros y las abundancias totales de cada uno de ellos, se encontró que el intervalo de mayor frecuencia fue el $\leq 1 \times 10^3$ cel L⁻¹ (15 géneros) lo que implica un 44% del total (Fig. 2). En orden descendente (en términos de frecuencia), en el intervalo de 1×10^3 a 1×10^4 cel L⁻¹ se encontraron 12 géneros, lo cual representó un 35%. Por último, para el intervalo de más de 1×10^4 cel L⁻¹ se presentó la menor cantidad de géneros (siete) lo que corresponde a un 21% del total registrado. Los géneros *Guinardia sp.*, *Rhizosolenia sp.* (diatomeas céntricas) y *Thalassionema sp.* (diatomea pennada) presentaron los mayores valores, esta última se posicionó como el género más abundante con más de 6×10^4 cel L⁻¹. Por el contrario, el género con menor abundancia fue *Noctiluca sp.* (20 cel L⁻¹) quien solo se observó en una ocasión.

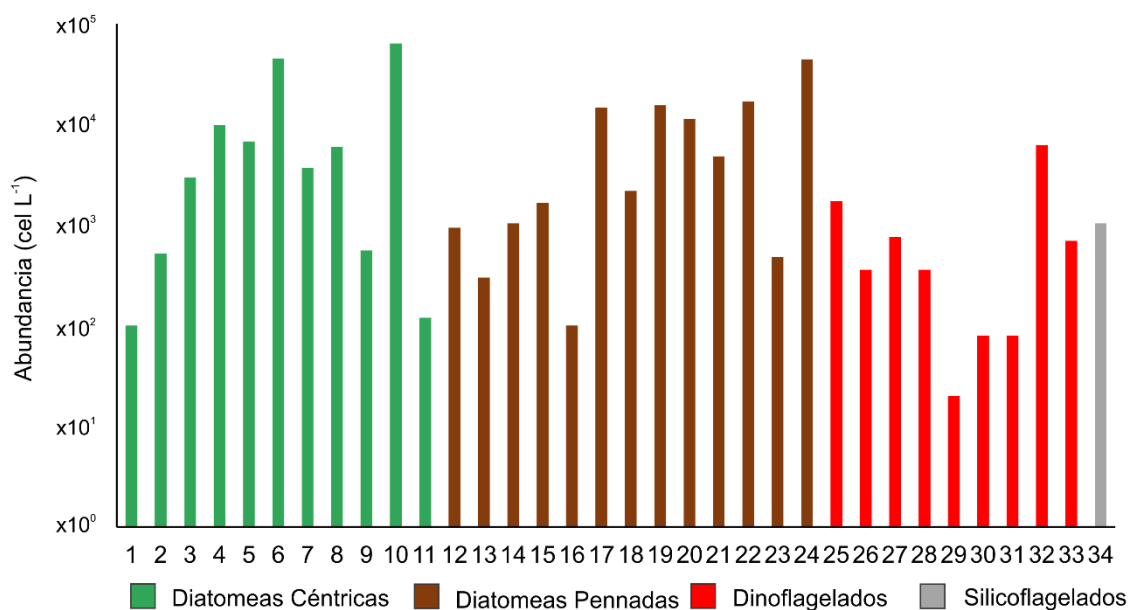


Figura 2. Abundancias totales de acuerdo a cada uno de los géneros en el periodo de muestreo (septiembre 2017, diciembre 2017, febrero 2018 y junio 2018). Los géneros se encuentran enumerados del 1 al 34, de acuerdo a la clave asignada en la Tabla IV.

La variabilidad temporal mostró una sucesión de diatomeas, donde existió un dominio de diatomeas céntricas durante la temporada cálida (Fig. 3a), seguida por una menor

contribución de este grupo durante la transición negativa (Fig. 3b). Para la condición fría las diatomeas pennadas incrementaron y superaron a las céntricas (Fig. 3c), pero es hasta la transición positiva (Fig. 3d), donde se observó el escenario inverso al de la condición cálida.

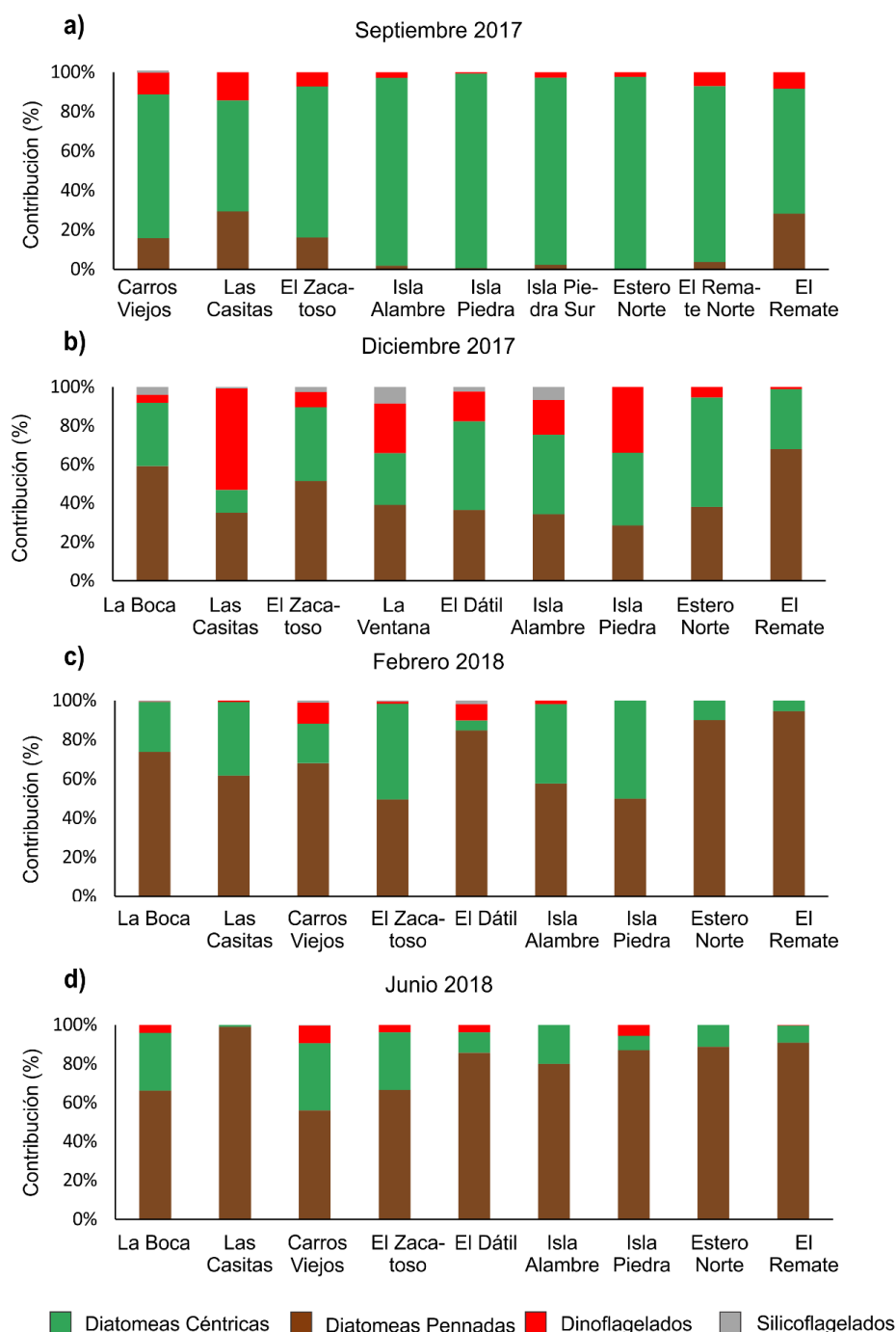


Figura 3. Contribución porcentual de las abundancias de cada uno de los grupos taxonómicos a las estaciones durante el periodo de muestreo. Las letras corresponden a las temporadas: a) Temporada cálida, b) Temporada de transición negativa, c) Temporada fría, d) Temporada de transición positiva.

De forma espacial, durante la condición cálida (Fig. 3a), las diatomeas céntricas presentaron su mayor abundancia porcentual en la zona central con >94% (Isla Piedra, Isla Alambre e Isla Piedra Sur) y su menor abundancia en la zona exterior con aproximadamente 70% (Carros Viejos, Las Casitas y El Zacatoso). Las diatomeas pennadas fueron el segundo grupo con mayor influencia, su distribución fue inversa al de las diatomeas céntricas, constituyendo un 30% como máximo en la estación Las Casitas. La contribución por parte de los dinoflagelados siguió la tendencia de las diatomeas pennadas, con los mayores valores en la zona exterior y los menores en la central (este grupo se presentó en todas las estaciones) (Fig. 3a). En el caso de los silicoflagelados, presentaron la menor contribución porcentual a las abundancias y su mayor influencia se observó en la estación Carros Viejos.

Durante el periodo de transición negativa (Fig. 3b) se observó que la contribución por parte de diatomeas céntricas disminuyó, y las diatomeas pennadas adquirieron porcentajes de entre 25% y 60%. Ambos grupos se mostraron equilibrados, si bien las diatomeas pennadas fueron mayores, la diferencia no fue tan notoria como en la temporada anterior (*i.e.* cálida). La contribución de los dinoflagelados aumentó, su composición taxonómica en la estación Las Casitas se vio representada en un 50% por dinoflagelados, siendo la estación con mayor contribución por parte de este grupo durante todo el periodo de muestreo (septiembre 2017 a junio 2018). Por otro lado, el grupo de los silicoflagelados mostró una extensión mayor, cuya distribución se limitó a las zonas exterior y central, conformadas por seis de las nueve estaciones.

Para la temporada fría resultó más evidente el patrón observado durante la temporada de transición negativa, en este mes la contribución por parte de las diatomeas pennadas fue mayor que la de diatomeas céntricas (Fig. 3c). Las primeras se mostraron con valores desde 40% hasta 80%, con sus máximos en la zona interior (Estero Norte y El Remate). Por otro lado, las diatomeas céntricas disminuyeron llegando a porcentajes

menores al 10% en tres estaciones (El Dátil, Estero Norte y El Remate). Aunque hubo dinoflagelados, su contribución fue pequeña (<10%) y su distribución se observó en las zonas exterior y central, con su máximo en la estación Carros Viejos. El grupo de silicoflagelados tuvo su mayor contribución en la estación El Dátil, no obstante, esta fue menor al 3% del total. Los géneros más significativos que se observaron en esta temporada fueron: *Thalassionema sp.* (diatomea pennada), *Chaetoceros sp.* (diatomea céntrica), *Prorocentrum sp.* (dinoflagelado) y *Dictyocha sp.* (silicoflagelado).

En la transición positiva (Fig. 3d) la presencia de diatomeas pennadas en relación a los demás grupos resultó más evidente, constituyendo en promedio el 80% de la comunidad. En la estación Las Casitas las diatomeas pennadas fueron el grupo más abundante conformando el 99% de los organismos. Entre las diatomeas pennadas más observadas estuvieron: *Thalassionema sp.*, *Nitzschia sp.* y *Pleurosigma sp.* Su menor contribución ocurrió en la estación Carros Viejos, donde este grupo conformó cerca del 55%, seguido por diatomeas céntricas y dinoflagelados. La zona interior fue la de mayor presencia (en promedio) de diatomeas pennadas, seguida de la zona central y por último la zona exterior. La contribución por parte de los dinoflagelados se encontró en un intervalo de 9% a 1%, además de estar ausentes en tres de las nueve estaciones (Las Casitas, Isla Alambre y Estero Norte). En cuanto a los silicoflagelados, su presencia en la comunidad durante esta temporada no fue perceptible, por lo que no se observaron en la figura 3d.

En la figura 4 se indica la abundancia de cada grupo por estación en cada muestreo, donde se puede observar una variabilidad oscilando en el intervalo de 1.1×10^3 a 4.1×10^4 cel L^{-1} , en términos generales (Fig.4). Durante la temporada cálida se registró la mayor abundancia celular de todo el periodo de muestreo, este valor correspondió a diatomeas céntricas y se presentó en la estación Isla Piedra (4.1×10^4 cel L^{-1}). La abundancia por grupos presentó distintas tendencias (Fig. 4a). Las diatomeas pennadas mostraron mayores valores en la zona exterior ($>5 \times 10^3$ cel L^{-1}), mientras las diatomeas céntricas aumentaron

en la zona central y disminuyeron hacia los extremos. Para los dinoflagelados el patrón fue muy constante y presentó un máximo en la estación El Remate Norte (1×10^3 cel L^{-1}). En contraste, los silicoflagelados se observaron aislados y con mayor abundancia celular en la zona exterior.

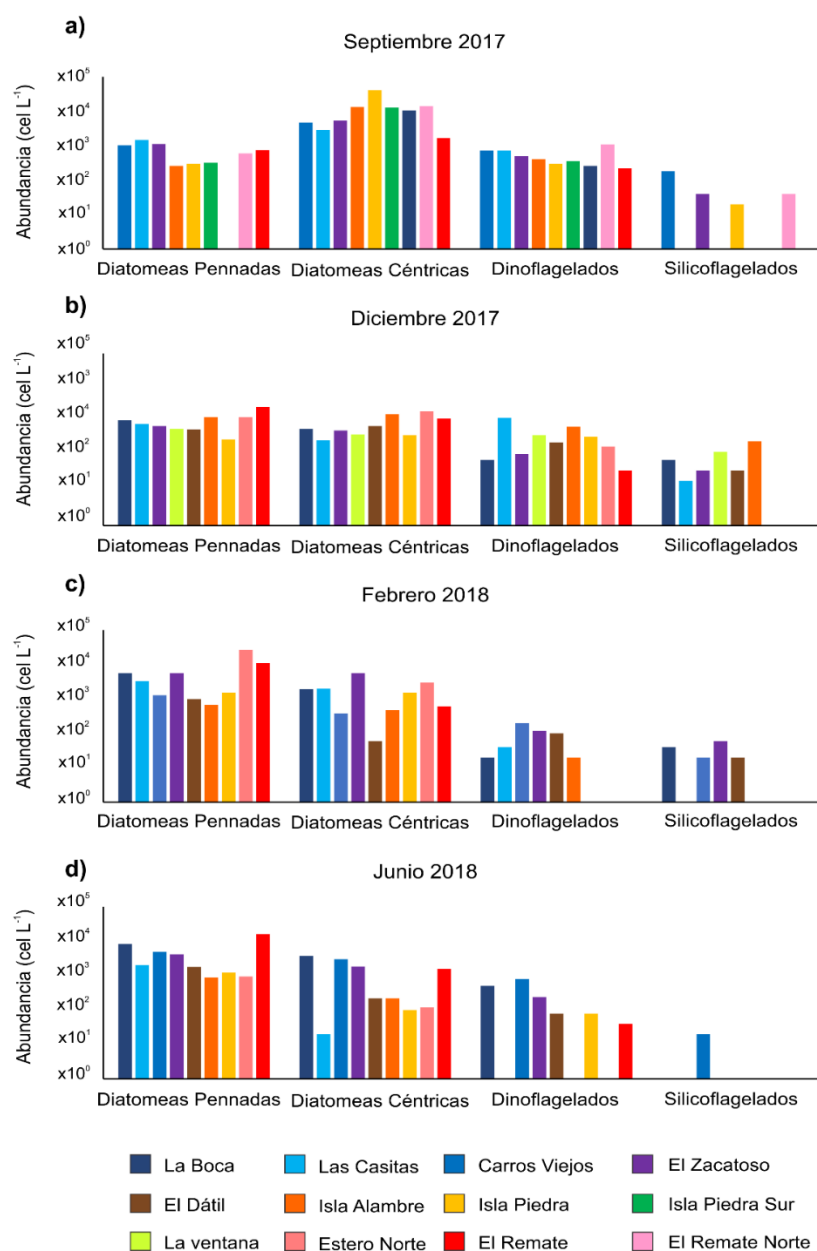


Figura 4. Abundancias totales (cel L^{-1}) representadas mediante logaritmo base 10 para cada uno de los grupos: diatomeas pennadas, diatomeas céntricas, dinoflagelados y silicoflagelados. Las barras de colores representan las estaciones, las cuales se observan en la leyenda inferior. Las letras corresponden a las temporadas: a)

Temporada cálida, b) Temporada de transición negativa, c) Temporada fría, d) Temporada de transición positiva.

En comparación con las demás temporadas, la temporada de transición negativa mostró el escenario con menor abundancia celular en todos los grupos (Fig. 4b). La mayoría de las abundancias se encontraron por debajo de $2.6 \times 10^3 \text{ cel L}^{-1}$. El grupo de las diatomeas pennadas mostró su mayor abundancia en la zona interior (El Remate), aunque la distribución espacial se observó constante. Al igual que con las diatomeas pennadas, las diatomeas céntricas exhibieron el mismo patrón, aunque en este caso la estación con mayor abundancia fue Estero Norte ($2.1 \times 10^3 \text{ cel L}^{-1}$). Por otro lado, los dinoflagelados mostraron una mayor abundancia en la zona central, cabe resaltar que el máximo de este grupo se observó en la estación Las Casitas $1.3 \times 10^3 \text{ cel L}^{-1}$ (zona exterior). En esta temporada los silicoflagelados fueron más frecuentes, se encontraron en seis de las nueve estaciones y se mantuvieron en el intervalo de $2 \times 10^1 \text{ cel L}^{-1}$ a $2.8 \times 10^2 \text{ cel L}^{-1}$.

La temporada fría (Fig. 4c) mostró una tendencia bimodal para las diatomeas céntricas y pennadas. Los valores más altos se encontraron en las zonas exterior e interior, en las estaciones: El Zacatoso y Estero Norte, respectivamente. No obstante, estos grupos se diferencian por un orden de magnitud siendo más abundantes las diatomeas pennadas ($2.6 \times 10^4 \text{ cel L}^{-1}$) en Estero Norte. Los dinoflagelados se vieron restringidos a las zonas exterior y central, con valores por debajo de las $2 \times 10^2 \text{ cel L}^{-1}$. En cuanto a los silicoflagelados, solo se observaron en la zona exterior, con abundancias por debajo de las $1 \times 10^2 \text{ cel L}^{-1}$.

Durante la temporada de transición positiva la tendencia general (Fig. 4d) mostró un decremento desde la zona exterior en dirección a la interior en tres de los grupos (excepto silicoflagelados). Las diatomeas pennadas fueron el grupo con mayor abundancia celular y presentaron su máximo en la estación El Remate ($1.6 \times 10^4 \text{ cel L}^{-1}$), a pesar de la tendencia decreciente de la zona exterior a la interior. Por otro lado, las diatomeas céntricas exhibieron

los valores más altos en la zona exterior (La Boca= 3.7×10^3 cel L⁻¹). La abundancia de dinoflagelados siguió la misma tendencia ya mencionada, los valores más altos se encontraron en las estaciones de la zona exterior (8×10^2 cel L⁻¹) y los menores en la interior (4×10^2 cel L⁻¹). Como en las otras temporadas, el grupo de los silicoflagelados fue el menos frecuente y a la vez el menos abundante, en esta temporada sólo se observaron organismos en la estación Carros Viejos (2×10^1 cel L⁻¹).

6.3 Clorofila a y pigmentos

La figura 5a-d muestra la variabilidad (tanto espacial como temporal) de la Chla, considerada como indicador de la biomasa del fitoplancton. Cabe mencionar que, para las muestras de junio 2018 debido a un error técnico, solo se registraron pigmentos para ocho estaciones. Se observó que para la temporada cálida (Fig. 5a) cuatro de las nueve estaciones tuvieron los valores más altos (>1.8 mg m⁻³), siendo 2.08 mg m⁻³ (zona interior) el máximo valor registrado para todo el periodo de muestreo comprendido en este trabajo. Por otro lado, la menor concentración en esta temporada fue 0.56 mg m⁻³, y se registró en la zona intermedia. Para la temporada de transición negativa (Fig. 5b) se observó que la clorofila en general disminuyó respecto a la temporada anterior. En este escenario la concentración mayor fue 1.98 mg m⁻³ y se localizó en la zona exterior. No obstante, resalta que alrededor del máximo de Chla se situaron valores <1.0 mg m⁻³, por lo que la concentración menor para esta temporada fue 0.21 mg m⁻³ y también se localizó en la zona exterior, específicamente en La Boca. Respecto a la temporada fría (Fig. 5c) se presentó un escenario más homogéneo, donde los valores más bajos se ubicaron en la zona exterior e incrementaron hacia la zona interior; la concentración de Chla se mantuvo en el intervalo de 0.59 mg m⁻³ a 1.29 mg m⁻³. Por otro lado, en la temporada de transición positiva (Fig. 5d) la mayoría de las estaciones mostraron valores cercanos a 1.0 mg m⁻³ (círculos verdes), excepto El Remate (círculo azul), la cual se encontró en la zona interior con una

concentración de 0.64 mg m^{-3} . Para finalizar, la mayor concentración fue 1.25 mg m^{-3} y se encontró en la zona exterior (Carros Viejos).

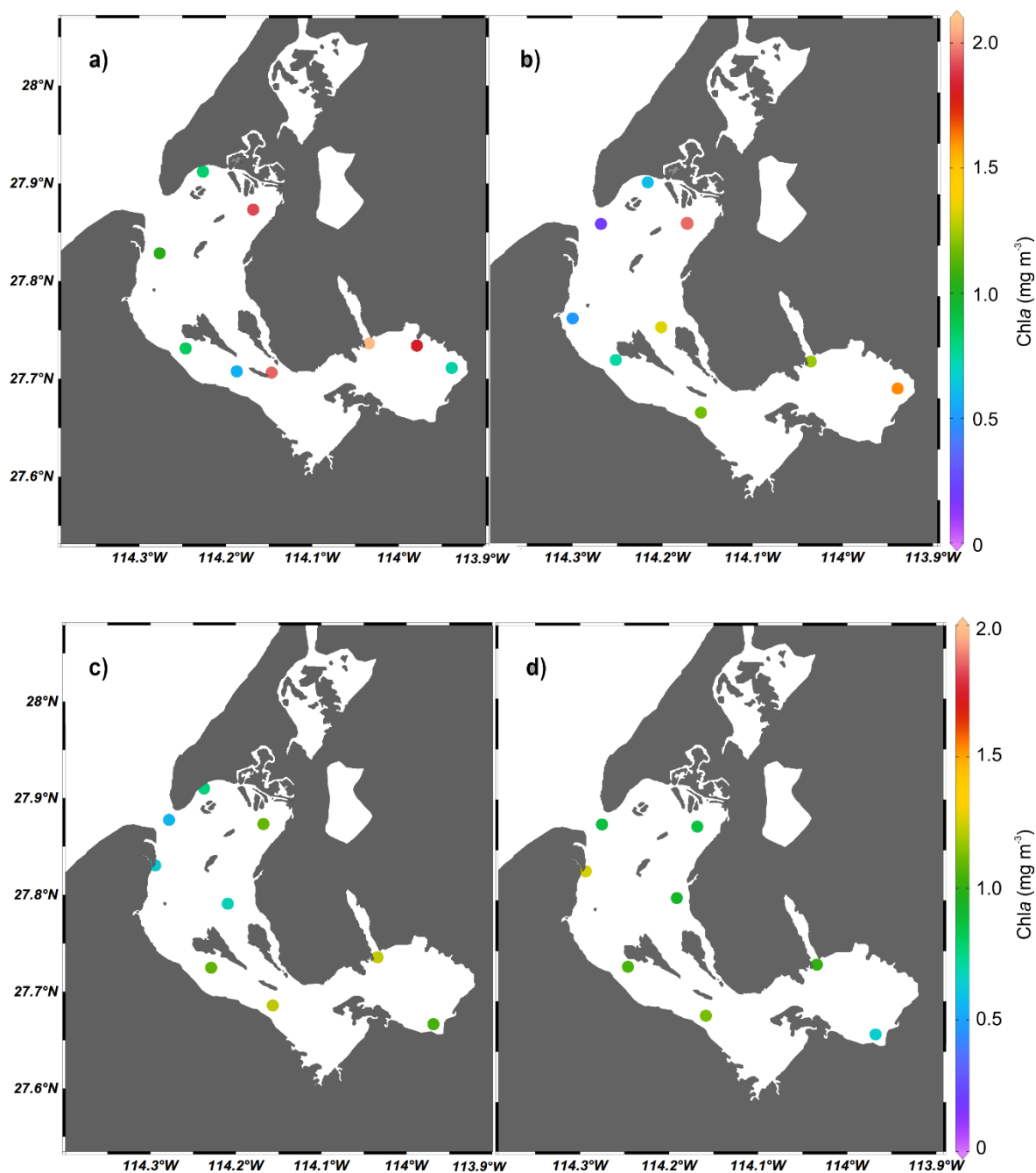


Figura 5. Distribución espacio temporal de la concentración de clorofila *a in situ* en la Laguna Ojo de Liebre. a) Temporada cálida b) Temporada de transición negativa c) Temporada fría y d) Temporada de transición positiva.

Respecto a los pigmentos, se registraron un total de 16 entre los que destacan como pigmentos diagnóstico: Fuco, Peri, Allo, Pras, Zea, Chl*b*, Chl*c*, 19'Hex y 19'But (ver Tabla I

para las abreviaturas). A continuación, se describe su patrón, valores mínimos, máximos, medianas y porcentajes de contribución para cada una de las temporadas de estudio.

En la temporada cálida (Tabla V) se presentaron todos los pigmentos analizados. Del grupo de las clorofilas la concentración total fue 1.47 mg m^{-3} , donde la Chla representó un 70%. Dentro de este grupo, resaltan Chlc₂ y Chlb; la Chlc₂ representó el ~16% del total, no obstante, este pigmento no es exclusivo de un solo grupo fitoplanctónico. Por otro lado, la Chlb (~10%) es asociada a las Prasinofitas y Clorofitas. Los carotenos presentaron una concentración en base a la mediana de 0.62 mg m^{-3} , Fuco fue el pigmento más abundante y representó el 50% del total. Por otro lado, Allo contribuyó un ~10%, pigmento característico de las Criptofitas. Carotenos menos abundantes fueron 19'But y Diato con menos del 2% de contribución. Respecto a "otros pigmentos", Pras constituyó la mayor contribución dentro de este grupo (43%), siendo el pigmento marcador de Prasinofitas.

Tabla V. Intervalos (mínimo y máximo), número de datos (n), mediana y porcentaje de contribución de los pigmentos fotosintéticos (mg m^{-3}) para la temporada cálida (septiembre 2017).

	Mínimo (mg m^{-3})	Máximo (mg m^{-3})	n	Mediana (mg m^{-3})	%
Clorofilas					
Chla	0.57	2.08	9	1.03	70.10
Chlb	0.04	0.16	8	0.14	9.52
Chlc ₂	0.11	0.47	8	0.24	16.30
Chlc ₃	0.01	0.10	8	0.06	4.08
Total				1.47	
Carotenos					
Allo	0.01	0.08	8	0.06	9.68
β Caroteno	0.02	0.08	9	0.05	8.06
Diadi	0.04	0.09	9	0.06	9.68
Diato	0.01	0.02	6	0.01	1.61
Fuco	0.15	0.92	9	0.31	50.00
Peri	0.02	0.06	4	0.03	4.84
Zea	0.03	0.09	9	0.06	9.68
19'But	0.01	0.02	3	0.01	1.61

19'Hex	0.02	0.03	7	0.03	4.84
Total				0.62	
Otros pigmentos					
Neo	0.01	0.02	7	0.02	28.60
Pras	0.02	0.03	7	0.03	42.90
Viola	0.01	0.03	7	0.02	28.60
Total	0.07				

En la Tabla VI se puede observar que para la temporada de transición negativa los 16 pigmentos también estuvieron presentes. La concentración del total de clorofilas aumentó respecto a la temporada cálida, se registraron 1.61 mg m^{-3} y la Chla representó un 73% de esta concentración. En esta temporada se observó una menor diferencia en cuanto a los porcentajes de contribución de la Chlc₂ (14%) y la Chlb (11%) al total. En cuanto a los carotenos, el pigmento con menor concentración fue Diato 0.01 mg m^{-3} (~2%). En contraste, Fuco fue el de mayor concentración (0.21 mg m^{-3}) y representó un 36% de la concentración total. Cabe señalar que Allo representó en esta temporada un 23%, por lo que fue el segundo caroteno más abundante. Por parte de "otros pigmentos", la concentración total se mantuvo en 0.11 mg m^{-3} , Pras fue el pigmento con mayor contribución en este grupo (46%).

Tabla VI. Intervalos (mínimo y máximo), número de datos (n), mediana y porcentaje de contribución de los pigmentos fotosintéticos (mg m^{-3}) para la temporada de transición negativa (diciembre 2017).

	Mínimo (mg m^{-3})	Máximo (mg m^{-3})	n	Mediana (mg m^{-3})	%
Clorofilas					
Chla	0.21	1.98	9	1.17	72.70
Chlb	0.03	0.35	9	0.18	11.20
Chlc ₂	0.08	0.39	9	0.22	13.60
Chlc ₃	0.01	0.06	8	0.04	2.50
Total				1.61	

Carotenos					
Allo	0.02	0.26	6	0.13	22.50
β Caroteno	0.01	0.08	8	0.04	6.90
Diadi	0.01	0.06	9	0.03	5.00
Diato	0.01	0.01	2	0.01	1.70
Fuco	0.04	0.49	9	0.21	36.20
Peri	0.03	0.05	2	0.03	6.90
Zea	0.02	0.07	4	0.04	6.90
19'But	0.03	0.05	2	0.04	6.90
19'Hex	0.02	0.08	9	0.04	6.90
Total				0.58	
Otros pigmentos					
Neo	0.01	0.04	7	0.03	27.30
Pras	0.01	0.10	8	0.05	45.50
Viola	0.01	0.05	6	0.03	27.30
Total				0.11	

Durante la temporada fría (Tabla VII) se registraron 15 de 16 pigmentos, en esta ocasión el pigmento ausente fue Peri, aunque si se observaron dinoflagelados en el microscopio. Del grupo de las clorofilas el total registrado fue 1.46 mg m^{-3} constituido en un 75% por Chla. A diferencia de las temporadas pasadas, la Chlb incrementó y su porcentaje de contribución fue 12%, mientras que la Chlc₂ fue ~10%. Los carotenos alcanzaron un valor de 0.56 mg m^{-3} , Fuco fue el caroteno más abundante y representó el 30% del total, mientras que 19'But constituyó tan solo el ~2%. Los "otros pigmentos" tuvieron una concentración de 0.10 mg m^{-3} , donde Pras representó el 50% del total registrado.

Tabla VII. Intervalos (mínimo y máximo), número de datos (n), mediana y porcentaje de contribución de los pigmentos fotosintéticos (mg m^{-3}) para la temporada fría (febrero 2018).

	Mínimo (mg m^{-3})	Máximo (mg m^{-3})	n	Mediana (mg m^{-3})	%
Clorofilas					
Chla	0.59	1.29	9	1.10	75.30
Chlb	0.11	0.28	9	0.18	12.30
Chlc ₂	0.08	0.19	9	0.15	10.30

Chlc ₃	0.00	0.04	9	0.03	2.10
Total				1.46	
Carotenos					
Allo	0.02	0.20	9	0.11	19.60
β Caroteno	0.03	0.06	9	0.05	8.90
Diadi	0.01	0.05	9	0.03	5.40
Diato	0.02	0.20	9	0.11	19.60
Fuco	0.08	0.34	9	0.17	30.40
Zea	0.02	0.05	6	0.04	7.10
19'But	0.01	0.02	3	0.01	1.80
19'Hex	0.02	0.06	8	0.04	7.10
Total				0.56	
Otros pigmentos					
Neo	0.01	0.04	9	0.02	20.00
Pras	0.03	0.08	9	0.05	50.00
Viola	0.01	0.05	9	0.03	30.00
Total				0.10	

Por último, en la condición de transición positiva (Tabla VIII) se presentaron todos los pigmentos. Para el grupo de las clorofilas la concentración total fue 1.28 mg m⁻³, de los cuales la Chla representó un 75%. A diferencia de las demás temporadas, la concentración de Chla registrada en esta temporada fue la menor (0.96 mg m⁻³). Similar a la temporada fría, la contribución por parte de la Chlb fue ~13%, superior a la Chlc₂ (10%). Por otro lado, como en todas las temporadas anteriores Fuco fue el pigmento más abundante de los carotenos y constituyó el 37% de la concentración total (0.51 mg m⁻³). El segundo caroteno con mayor contribución fue Zea (~16%), a diferencia de las temporadas pasadas donde Allo fue más abundante. Por otro lado, la menor contribución al total de los carotenos se dio por parte de los pigmentos 19'But y Diato (2% cada uno). Los "otros pigmentos" exhibieron un valor de 0.07 mg m⁻³, siguiendo la misma tendencia con el mayor aporte por parte de Pras (43%).

Tabla VIII. Intervalos (mínimo y máximo), número de datos (n), mediana y porcentaje de contribución de los pigmentos fotosintéticos (mg m^{-3}) para la temporada de transición positiva (junio 2018).

	Mínimo (mg m^{-3})	Máximo (mg m^{-3})	N	Mediana (mg m^{-3})	%
Clorofilas					
Chla	0.64	1.25	8	0.96	75.00
Chlb	0.10	0.22	8	0.16	12.50
Chlc ₂	0.12	0.15	7	0.13	10.10
Chlc ₃	0.02	0.08	8	0.03	2.30
Total				1.28	
Carotenos					
Allo	0.02	0.10	8	0.07	13.70
β Caroteno	0.03	0.08	8	0.06	11.80
Diadi	0.02	0.04	8	0.03	5.90
Diato	0.01	0.01	2	0.01	2.00
Fuco	0.08	0.24	8	0.19	37.20
Peri	0.02	0.03	7	0.02	3.90
Zea	0.01	0.12	8	0.08	15.70
19'But	0.01	0.01	3	0.01	2.00
19'Hex	0.02	0.07	7	0.04	7.80
Total				0.51	
Otros pigmentos					
Neo	0.01	0.03	8	0.02	28.60
Pras	0.02	0.06	8	0.03	42.80
Viola	0.01	0.04	8	0.02	28.60
Total				0.07	

En la figura 6, se evaluó para las cuatro temporadas el porcentaje de contribución de los pigmentos diagnóstico referidos a la Chla. En la época cálida (Fig. 6a) los pigmentos con mayor contribución fueron Fuco (43%), Chlb (19%) y Allo (8%). Durante la temporada de transición negativa (Fig. 6b) Fuco siguió siendo el pigmento principal. Sin embargo, disminuyó su contribución y representó cerca del 28%. La Chlb incrementó un 5% (24%), mientras que Allo llegó al 17%. Para la condición fría (Fig. 6c) la proporción de Fuco se mantuvo (28%), mientras que la Chlb incrementó y fue el pigmento con mayor contribución (30%); Allo aumentó un ~2% en su contribución (18%) y no se detectó Peri. Por último, durante la temporada de transición positiva (Fig. 6d) se observó una tendencia similar a la de la condición fría, en este caso Fuco se posicionó con un 30% mientras que Chlb alcanzó

un valor de 29%. Aunque Allo disminuyó al 12%, se resalta la presencia de Peri conformando el 5% (a diferencia de la temporada anterior).

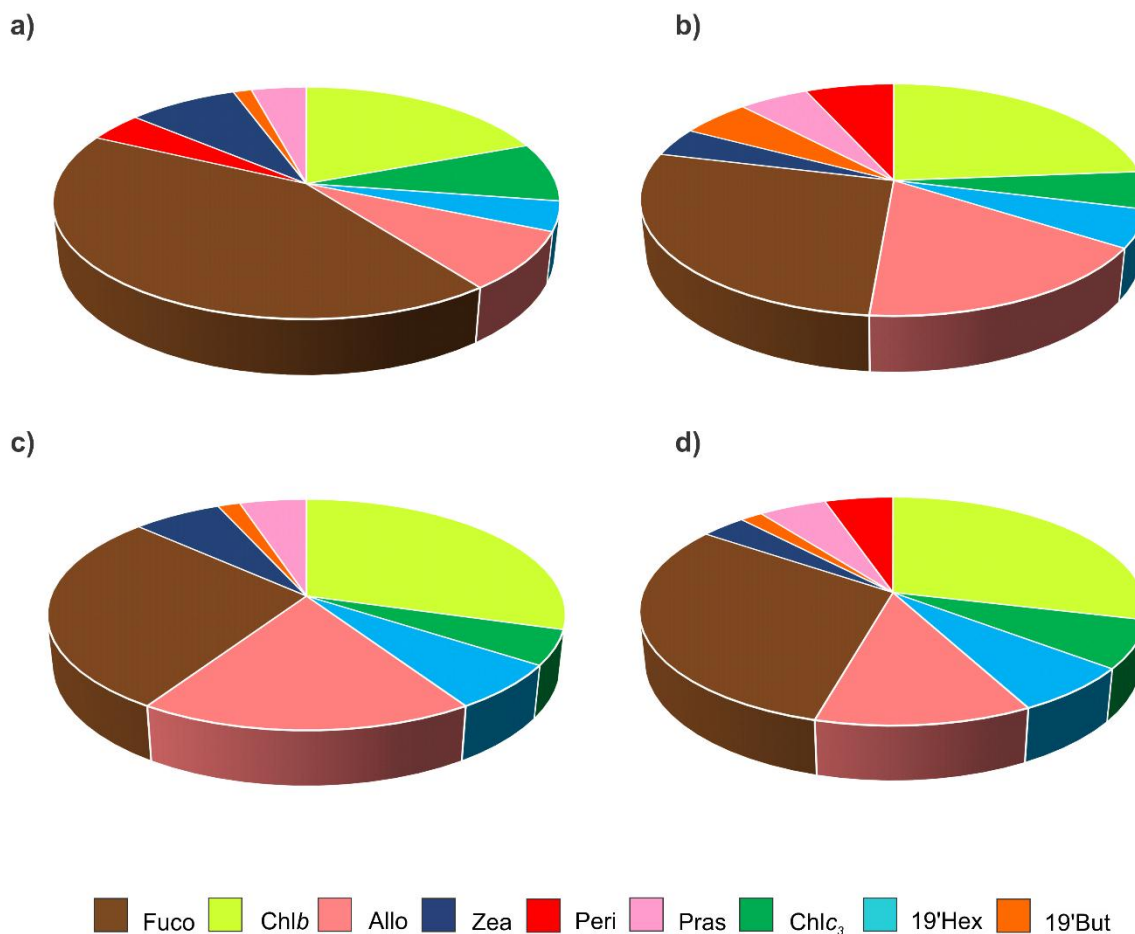


Figura 6. Mediana de la razón pigmento;Chla para cada una de las temporadas: a) Temporada cálida b) Temporada de transición negativa c) Temporada fría y d) Temporada de transición positiva.

6.4 CHEMTAX

En la temporada cálida la comunidad se vio dominada principalmente por diatomeas las cuales representaron hasta el 60%, seguidas de clorofitas, primnesiofitas y criptofitas, con valores en el intervalo de 5-20%, para los tres grupos (Fig. 7a). Se observaron tres máximos en la distribución de diatomeas por zonas, en la zona exterior Las Casitas, en la

central en Piedra Sur y en la interior en la estación Estero Norte. Los máximos de las zonas coincidieron con los picos más altos de la concentración de Chla (1.91 mg m^{-3} , 1.95 mg m^{-3} y 2.07 mg m^{-3}). Los dinoflagelados y crisofitas fueron los grupos con menor contribución; los dinoflagelados tuvieron su distribución en las zonas central e interior con valores menores al 10%, mientras que las crisofitas solo se registraron en Las Casitas.

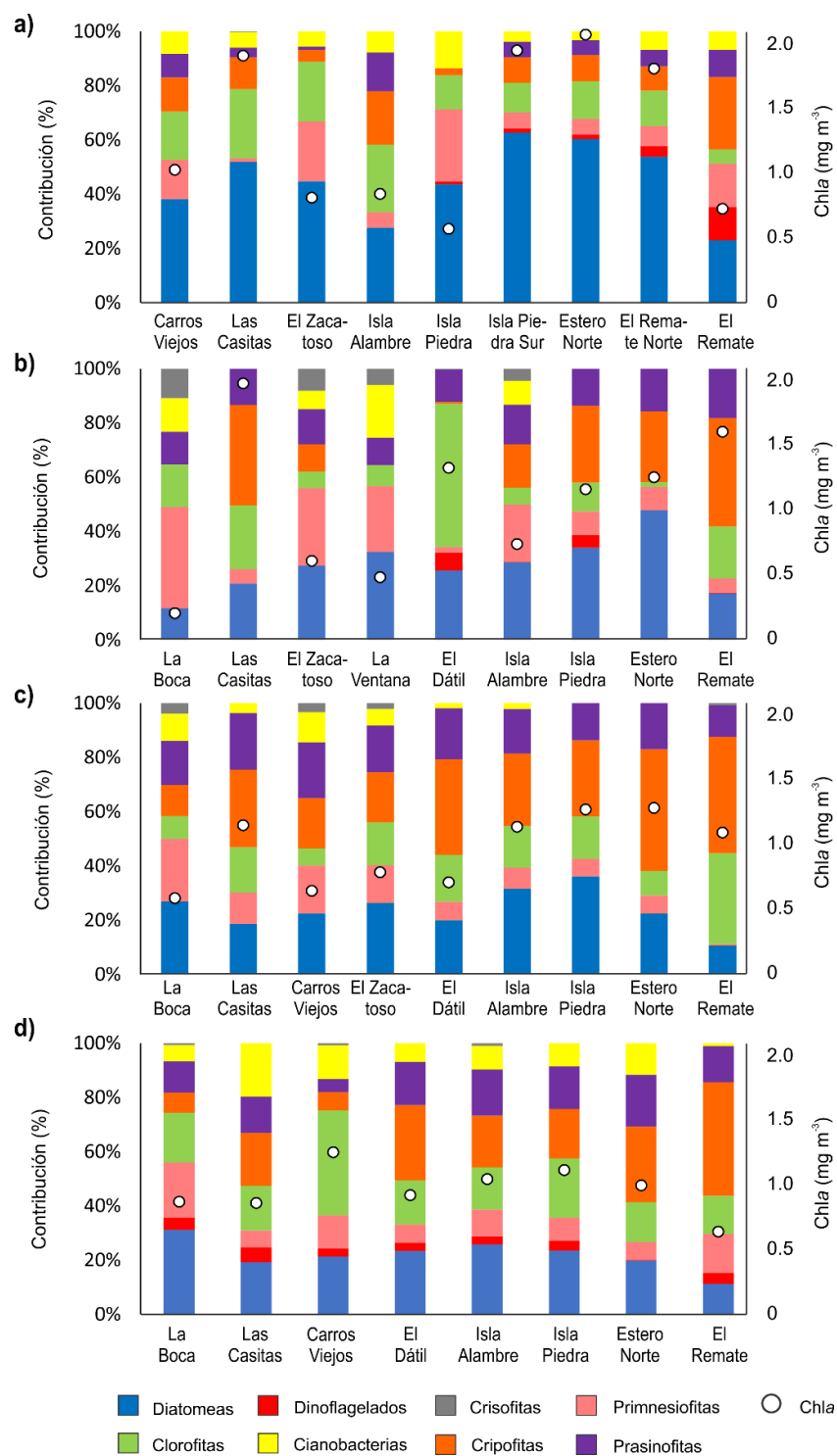


Figura 7. Porcentaje de contribución de los grupos del fitoplancton. Las barras de colores corresponden a los grupos enlistados en la leyenda. Los círculos blancos representan la concentración (mg m^{-3}) de Chla (eje secundario). En el eje x se encuentran las estaciones (distribución espacial) en dirección de la zona exterior hacia la interior. a) Temporada cálida b) Temporada de transición negativa c) Temporada fría y d) Temporada de transición positiva.

Durante la temporada de transición negativa (Fig. 7b) la dominancia de diatomeas disminuyó con respecto a la temporada anterior, aunque en general fue el grupo con mayor influencia detectándose así mismo una tendencia de incremento hacia la zona interior. Los grupos clorofitas, primnesiofitas y criptofitas siguieron conformando parte de la comunidad con valores en algunas estaciones $>30\%$. Las crisofitas y prasinofitas aumentaron, en contraste, los dinoflagelados disminuyeron y su contribución se vio limitada a la zona central donde lo veo. El máximo de clorofila *a* se encontró en Las Casitas (1.98 mg m^{-3}), de acuerdo a la composición fitoplanctónica en esa estación, las criptofitas y clorofitas son las principales responsables de tal valor en productividad.

En la temporada fría, las diatomeas disminuyeron en contribución (máx. 35%), mientras que incrementaron las criptofitas (hasta 40% en algunas estaciones) (Fig. 7c) y se observó un patrón inverso entre ambos grupos. Respecto a grupos con menor contribución, la presencia de cianobacterias se restringió a las zonas exterior y central, mientras que las crisofitas solo se registraron en la zona exterior. Por otro lado, fue la única temporada en la que no se detectaron dinoflagelados por medio de quimiotaxonomía. La tendencia de la concentración de clorofila *a* se mostró en aumento hacia el interior de la laguna, presentó 1.3 mg m^{-3} en Estero Norte, donde tal concentración se asoció principalmente a la contribución del grupo de criptofitas; cabe señalar que en la zona exterior se muestra otro pico de clorofila *a* en la estación Las Casitas (1.1 mg m^{-3}).

Por último, en la temporada de transición positiva (Fig. 7d) permanecieron los grupos mencionados en la temporada fría como predominantes y con la misma tendencia. Incrementaron las cianobacterias y se distribuyeron en las tres zonas de la laguna. Además, se mostró un decremento de primnesiofitas con relación a las temporadas anteriores, que se mantuvo más o menos constante ($<10\%$). Cabe señalar la presencia de dinoflagelados, a diferencia de la temporada anterior este grupo representó $<5\%$ de la comunidad. De nuevo, el grupo de crisofitas fue el menos abundante. Respecto a la Chla se registró un

máximo en la zona exterior en la estación Carros Viejos (1.2 mg m^{-3}), cuyo grupo con mayor contribución en esa estación fue clorofitas. Además, la Chla mostró una distribución espacial muy similar a la de la temporada fría (Fig. 7c).

6.5 Análisis estadísticos

El análisis de clúster (AC) permitió observar asociaciones entre diferentes variables, representadas gráficamente por dendrogramas. Se consideraron variables físicas (salinidad, temperatura y prisma de marea) y variables biológicas (diatomeas pennadas, diatomeas céntricas, dinoflagelados y silicoflagelados). La nomenclatura utilizada para cada una de estas variables se muestra en la Tabla IX.

Tabla IX. Abreviaturas utilizadas para representar a las variables en el análisis de clúster.

Abreviatura	Variable	Abreviatura	Variable	Abreviatura	Variable
SB	Salinidad baja	SM	Salinidad media	SA	Salinidad alta
TB	Temperatura baja	TM	Temperatura media	TA	Temperatura alta
PB	Prisma bajo	PM	Prisma medio	PA	Prisma alto
DPB	D. pennadas bajas	DPM	D. pennadas medias	DPA	D. pennadas altas
DCB	D. céntricas bajas	DCM	D. céntricas medias	DCA	D. céntricas altas
DB	Dinoflagelados bajos	DM	Dinoflagelados medios	DA	Dinoflagelados altos
SiB	Silicoflagelados bajos	SiM	Silicoflagelados medios	SiA	Silicoflagelados altos

Para la temporada cálida (Fig. 8a) se presentó un prisma medio (2175 mm), las temperaturas se clasificaron como altas en ocho de las nueve estaciones; la salinidad se presentó con valores bajos, medios y altos. Se formaron cinco clústeres de asociación (Fig. 8a). El primer clúster (de izquierda a derecha) muestra una asociación entre baja salinidad con temperaturas medias. En el segundo y tercer clústeres se asociaron baja presencia de diatomeas pennadas con mayor abundancia de diatomeas céntricas y abundancia media de dinoflagelados. En el cuarto y quinto clústeres se dieron las asociaciones de abundancia media de diatomeas pennadas con máxima abundancia de dinoflagelados; y la abundancia

de diatomeas céntricas disminuyó a media. Por otro lado, las demás variables no figuraron dentro de este análisis debido a que su similitud fue menor al 70%.

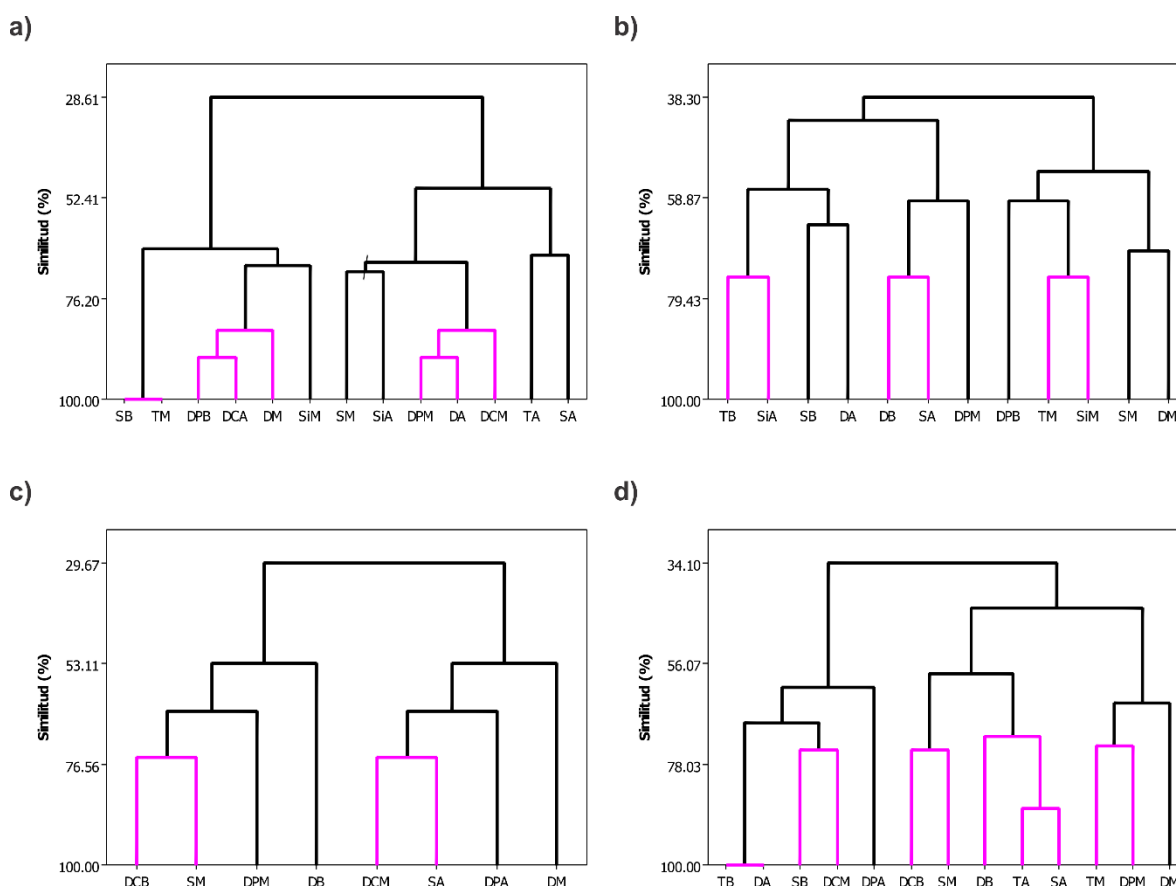


Figura 8. Análisis de clúster para determinar el porcentaje de similitud entre variables físicas y biológicas. En rosa se muestran las asociaciones formadas con una ligadura de más del 70%. En el eje x se expresan las abreviaturas de las variables (ver Tabla IX). Las letras representan las temporadas: a) Temporada cálida b) Temporada de transición negativa c) Temporada fría y d) Temporada de transición positiva.

Durante la temporada de transición negativa (Fig. 8b) se registró un prisma de marea de categoría media, similar al registrado para la condición cálida (2149 mm). Las temperaturas fueron medias en ocho de las nueve estaciones; la salinidad osciló entre las categorías: media y alta. Bajo este análisis se definieron tres clústeres con similitud mayor al 70%. A diferencia de la temporada anterior, aquí las asociaciones que se formaron involucran variables físicas y biológicas para un mismo clúster. El primero mostró asociación de temperatura baja con alta abundancia de silicoflagelados. En el segundo, la

salinidad alta se relacionó con baja abundancia de dinoflagelados. Y el último clúster se formó por temperatura media y media abundancia de silicoflagelados.

El prisma de marea fue de 902 mm en la temporada fría (Fig. 8c), el menor de las cuatro temporadas (categoría baja). Además, las temperaturas registradas fueron las menores por lo que las nueve estaciones también se clasificaron como bajas; mientras que la salinidad mostró una variabilidad de media a alta. En esta temporada solo se formaron dos clústeres, el primero se formó con salinidad media y baja abundancia por parte de las diatomeas céntricas. En el segundo clúster, se presentó asociación entre salinidad alta y abundancia media de diatomeas céntricas. Al igual que en la temporada anterior, se observaron asociaciones entre variables físicas y biológicas.

Por último, en la temporada de transición positiva (Fig. 8d) el prisma de marea fue de 2543 mm, categorizado como el más alto. Las temperaturas presentes formaron parte de las tres categorías definidas, al igual que la salinidad. Durante esta temporada se registraron seis clústeres, el de mayor similitud considera una relación directa de bajas temperaturas y alta abundancia de dinoflagelados. Por otro lado, baja salinidad se asoció con abundancia media de diatomeas céntricas; mientras que salinidad media se asoció con una baja abundancia de diatomeas céntricas. Sin embargo, la salinidad alta no se asoció con alguna variable biológica sino con alta temperatura; además, a este clúster se agregó la baja abundancia de dinoflagelados. En el sexto clúster, la temperatura media covaría con la abundancia media de diatomeas pennadas.

Para detallar las asociaciones que se formaron mediante el análisis de clúster, se realizó un análisis de componentes principales (ACP) con resolución numérica. De esta manera, se puede inferir el sentido de las relaciones, así como el porcentaje de asociación entre las variables de distinta naturaleza que puede ser explicado por cada uno de los componentes (Tabla X). Se utilizaron las mismas variables que en el análisis de clúster (Tabla IX) y se seleccionaron los componentes con eigenvalores mayores a 1. Estos

componentes representaron para cada temporada el 95% (cálida), 85% (transición negativa), 90% (fría) y 88% (transición positiva). Los eigenvectores más altos permitieron determinar la asociación entre las variables y los componentes, cada uno de estos eigenvectores se observa en la Tabla X en negritas.

Para la condición cálida se obtuvieron cuatro componentes principales (Tabla Xa), los cuales describen en un 95% las asociaciones entre las variables. En el componente uno (CP1) resultan asociaciones entre las variables biológicas, mientras que las variables físicas intervienen en los componentes dos y tres (CP2 y CP3), en el cuarto componente (CP4) no se encontró covariabilidad. En el CP1 se asociaron directamente cuatro variables: baja abundancia de diatomeas pennadas, media abundancia de dinoflagelados, media abundancia de silicoflagelados y alta abundancia de diatomeas céntricas. Mientras que, de forma inversa se asociaron cuatro variables: media abundancia de diatomeas pennadas, media abundancia de diatomeas céntricas, alta abundancia de dinoflagelados y alta abundancia de silicoflagelados. En el CP2 se muestra que las variables físicas covarían directamente: alta temperatura en asociación con alta salinidad; y baja salinidad con temperatura media. En el CP3 solo se presentó la salinidad media, lo que implica una variación que no puede ser asociada con ninguna de las demás variables.

Tabla X. Análisis de componente principal (ACP) aplicado a la determinación de las asociaciones de grupos fitoplanctónicos con variables físicas. Las variables corresponden a las expresadas en la Tabla IX. Cada componente principal (CP) señala los valores calculados, en negritas se expresan aquellos eigenvectores asociados al CP significativos.

a)

	CP1	CP2	CP3	CP4
Eigenvalores				
Eigenvalor	6.32	2.78	1.85	1.38
Proporción	0.49	0.21	0.14	0.11
Acumulativo	0.49	0.70	0.84	0.95
SB	0.54	-0.57	0.15	0.04
DPB	0.93	0.15	-0.43	0.43
TM	0.54	-0.57	0.15	0.04
SM	-0.53	-0.52	-0.62	-0.48
DPM	-0.93	-0.15	0.43	-0.43
DCM	-0.81	-0.03	0.66	0.00
DM	0.87	0.39	-0.09	0.58
SiM	0.52	0.47	0.10	-0.39
TA	-0.54	0.57	-0.15	-0.04
SA	0.18	0.88	0.53	0.46
DCA	0.81	0.03	-0.66	0.00
DA	-0.87	-0.39	0.09	-0.58
SiA	-0.52	-0.47	-0.10	0.39

b)

	CP1	CP2	CP3	CP4
Eigenvalores				
Eigenvalor	3.53	2.89	2.16	1.61
Proporción	0.29	0.24	0.18	0.13
Acumulativo	0.29	0.54	0.72	0.85
TB	-0.73	0.23	-0.42	-0.17
SB	-0.58	0.15	0.71	-0.01
DPB	0.22	0.71	0.28	-0.26
DB	0.24	-0.69	0.00	-0.71
TM	0.73	-0.23	0.42	0.17
SM	0.33	0.23	-0.62	0.51
DPM	-0.22	-0.71	-0.28	0.26
DM	-0.04	0.89	-0.51	0.15
SiM	0.90	0.26	-0.13	0.07
SA	0.44	-0.43	-0.31	-0.50
DA	-0.22	-0.28	0.62	0.62
SiA	-0.90	-0.26	0.13	-0.07

c)

	CP1	CP2	CP3
Eigenvalores			
Eigenvalor	3.51	2.36	1.36
Proporción	0.44	0.30	0.17
Acumulativo	0.44	0.73	0.90
DCB	0.71	0.07	0.45
DB	0.25	0.80	-0.32
SM	0.91	0.03	-0.26
DPM	0.59	-0.73	-0.58
DCM	-0.71	-0.07	-0.45
DM	-0.25	-0.80	0.32
SA	-0.91	-0.03	0.26
DPA	-0.59	0.73	0.58

d)

	CP1	CP2	CP3	CP4
Eigenvalores				
Eigenvalor	4.79	3.51	1.82	1.36
Proporción	0.37	0.27	0.14	0.11
Acumulativo	0.37	0.64	0.78	0.88
TB	-0.78	0.25	0.53	0.02
SB	-0.68	-0.47	0.02	0.37
DCB	0.82	0.05	0.53	0.23
DB	0.84	0.07	-0.20	-0.06
TM	0.08	-0.85	-0.35	-0.45
SM	0.41	-0.27	0.40	-0.63
DPM	0.36	-0.76	0.21	0.40
DCM	-0.82	-0.05	-0.53	-0.23
DM	-0.21	-0.44	-0.41	0.07
TA	0.61	0.67	-0.10	0.46
SA	0.46	0.73	-0.32	0.06
DPA	-0.36	0.76	-0.21	-0.40
DA	-0.78	0.25	0.53	0.02

En el caso de transición negativa el ACP arrojó 4 componentes (Tabla Xb), en el CP1 se asocia la baja temperatura con alta abundancia de silicoflagelados. Sin embargo, estas variables mantienen una relación inversa con temperatura media y abundancia media de silicoflagelados, quienes covarían entre sí. En el CP2 se muestra una asociación directa entre baja abundancia de diatomeas pennadas y abundancia media de dinoflagelados, por otro lado, de forma inversa se asocia la abundancia media de diatomeas pennadas. Cabe señalar, que en el CP3 la salinidad covaría de forma inversa entre sus categorías media y baja. Para el CP4 la baja abundancia de dinoflagelados mostró una relación directa con la alta salinidad, mientras de forma inversa a estas variables covaría la alta abundancia de dinoflagelados.

La condición fría presentó la menor variabilidad entre sus datos, por lo que sus variables se redujeron (Tabla Xc). Se presentaron tres componentes, donde se observa en el CP1 la asociación de la salinidad y las diatomeas céntricas, exhibiendo un comportamiento directo entre salinidad media y baja abundancia de diatomeas céntricas, así como una asociación directa e inversa a la anterior por parte de la abundancia media de diatomeas céntricas y salinidad alta. Por otro lado, en el CP2 se encontraron los dinoflagelados y las diatomeas pennadas; se observó asociación directa entre baja abundancia de dinoflagelados y alta abundancia de diatomeas pennadas, mientras que, covariando pero de forma inversa se presentó media abundancia de diatomeas pennadas y abundancia media de dinoflagelados. En el CP3 no se mostró una asociación entre variables, no obstante, se incluye el componente porque su eigenvector fue significativo.

En la transición negativa (Tabla Xd) resultaron cuatro CP's, describiendo un 88% las asociaciones de las variables de estudio. En el caso del primer componente se asociaron las variables: baja abundancia de diatomeas céntricas y baja abundancia de dinoflagelados. Por otro lado, de forma inversa a estas variables covarían: baja temperatura, baja salinidad, abundancia media de diatomeas céntricas y alta abundancia de dinoflagelados. En el CP2 la temperatura media, abundancia media de diatomeas pennadas y abundancia media de dinoflagelados covarían entre sí, mientras que de forma inversa lo hacen la temperatura alta, salinidad alta y abundancias altas de diatomeas pennadas. Por otro lado, en el CP3 no se representó una asociación significativa entre las variables. Por último, en el CP4 la salinidad media no formó asociación con alguna variable, por lo que su variabilidad es independiente, como se observó en la Tabla Xa.

6.6 Datos satelitales

Se construyeron series de tiempo a partir de imágenes satelitales, las cuales permitieron identificar las características de los meses en que se llevaron a cabo los

muestreos, y además tener una idea de la variabilidad interanual en el área (Anexo 3). La serie de tiempo (Fig. 9) inició en marzo del año 2000 y concluyó en noviembre de 2019 (n=237), con la información se generó una línea base (LB), la cual se posicionó a una temperatura de 21.1 °C (Fig. 9, línea horizontal en cero). Para comparar la LB con datos *in situ*, se calculó la media de las temperaturas *in situ* para cada una de las temporadas de la zona exterior. Junio de 2018 fue el mes que presentó la temperatura más similar a la LB con 21.4 °C. Se definieron como eventos fríos aquellos que presentaron una desviación estándar menor a -1.5 y eventos cálidos los que estuvieran a más de 1.5 desviaciones estándar. Se encontraron 14 meses dentro de la clasificación fría, mientras que para eventos cálidos resultaron 21 meses; en términos de anomalías climatológicas la variabilidad se mostró entre las 2.7 SD y -2.5 SD. La Fig. 9 muestra la serie de tiempo que se generó, se percibe la fluctuación a lo largo de casi 19 años, del año 2000 al 2002 se presentaron los meses más fríos, mientras que de 2014 a 2016 ocurrieron los meses con temperaturas más elevadas. Los círculos de colores señalan los meses en que se llevaron a cabo los muestreos en la laguna. Los valores que se asociaron para los meses de muestreo (Fig. 9) presentaron una tendencia inversa a lo que se “esperaría”. Por ejemplo, el septiembre de 2017 fue más frío que el de 2002 ó 2018, caso contrario con febrero 2018, donde al compararlo con otros febreros (2014 y 2017) fue ligeramente más cálido. No obstante, estos valores cayeron dentro del intervalo propuesto como condiciones típicas para los 19 años de la serie de tiempo.

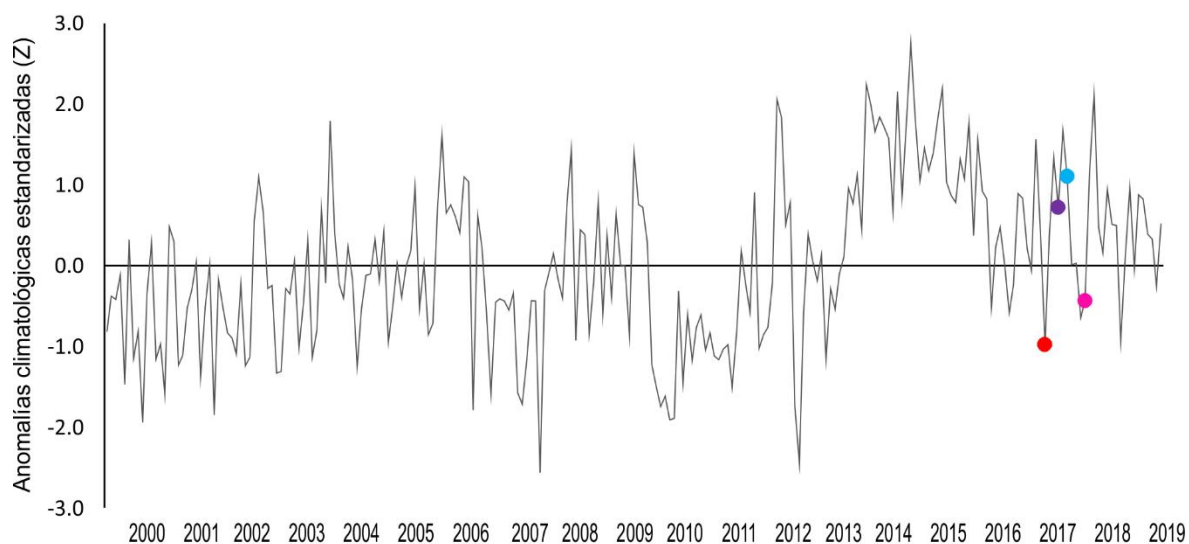


Figura 9. Serie de tiempo de la anomalía de la temperatura superficial del mar (SST). Los círculos de colores representan los cuatro meses en que se realizó este estudio: rojo: septiembre 2017, morado: diciembre 2017, azul: febrero 2018 y magenta; junio de 2018. La línea base se sitúa en 0 SD.

La tabla XI muestra los valores medios registrados de temperatura *in situ* y los obtenidos por imágenes satelitales. Se aplicó la prueba Wilcoxon-Wilcoxon (Tabla XII) y se aceptó la hipótesis de igualdad, lo que implica que los métodos no presentaron diferencias en la obtención de esta variable, y se pudo considerar que la medición de la SST fue igual estadísticamente hablando que la medición *in situ* para los meses de muestreo, utilizando $1-\alpha=0.95$.

Tabla XI. Registro de la media de temperaturas *in situ* (zona exterior) y de SST para los meses en que se realizó este estudio.

Año	Mes	T (°C)	SST (°C)
2017	Septiembre	22.7	23.6
2017	Diciembre	20.8	19.0
2018	Febrero	19.8	19.1
2018	Junio	21.4	21.6

Tabla XII. Representación de los resultados obtenidos mediante prueba Wilcoxon-Wilcoxon para evaluar igualdades entre las diferentes mediciones de temperatura (°C) (con una $n=4$ y un valor $1-\alpha=0.95$) (ver metodología para más detalles) (Wilcoxon, 1945; Wilcoxon y Wilcoxon, 1963). Los valores críticos (TL, TU) provienen de la tabla W-W (Wilcoxon *et al.*, 1970).

Variable	n <i>in situ</i>	n satelital	Valores calculados	Valores críticos	Hipótesis de igualdad
----------	------------------	-------------	--------------------	------------------	-----------------------

			TA	TB	TA	TB	Decisión
Temperatura	4	4	15	21	11	25	=

Para la serie de $Chla_{sat}$ la estandarización por anomalías climáticas, permitió eliminar la estacionalidad. La serie inició en marzo de 2000 y terminó en noviembre de 2019 (para que coincidiera con la de temperatura), siendo un total de 237 meses (Fig. 10). Las concentraciones máximas de clorofila satelital estuvieron entre los 8.0 y 9.1 $mg\ m^{-3}$, la línea base se posicionó en los 5.2 $mg\ m^{-3}$. Estos valores se deben considerar como una estimación aproximada, dado que los valores de la clorofila son integraciones de la primera profundidad óptica y puede variar de centímetros a varias decenas de metros, dependiendo de las características ópticas de la columna de agua (Kirk, 2011).

De acuerdo a la estandarización por anomalías climáticas se elaboró la Fig. 10, donde se percibe la variabilidad que ha tenido la zona exterior de la laguna, presentando anomalías en el intervalo de -2.5 SD a 3.0 SD. Desde el año 2000 hasta 2003 se exhibió el mayor incremento de la $Chla_{sat}$ (llegando hasta 9.1 $mg\ m^{-3}$), en contraste con los últimos cinco años de la serie, donde se observó que la variabilidad disminuyó y presentó una tendencia hacia anomalías negativas. Los valores correspondientes a las temporadas de muestreo (círculos de colores) se encontraron entre las -0.2 y -1.0 SD. De tal forma que, la $Chla_{sat}$ de este periodo respecto a las mediciones de otros meses de la serie de tiempo siempre fue ligeramente menor.

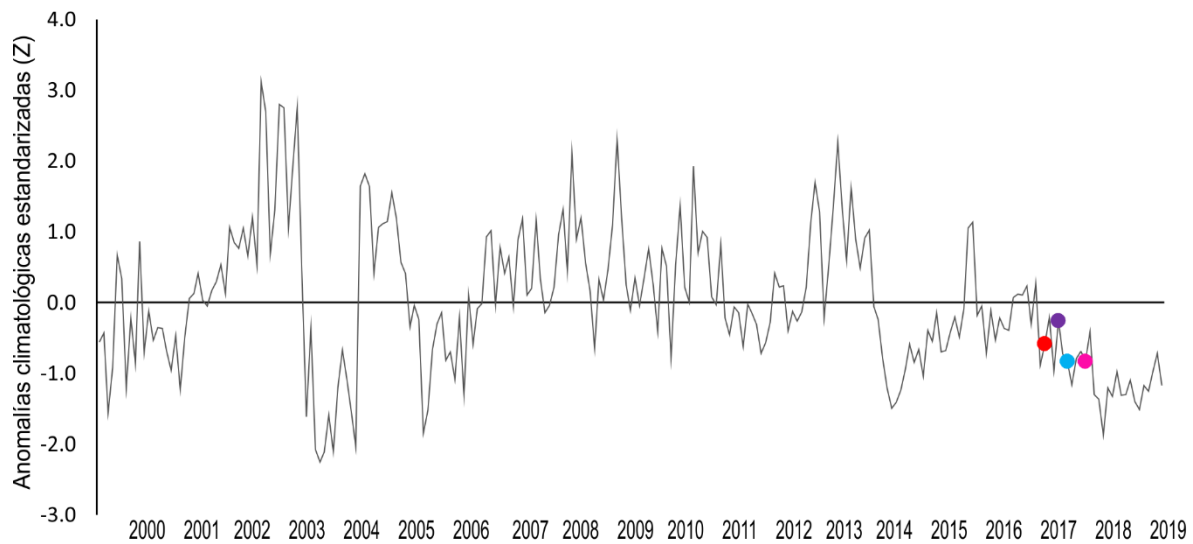


Figura 10. Serie de tiempo de $Chla_{sat}$. Los círculos de colores corresponden a los cuatro meses en que se realizó este estudio; rojo: septiembre 2017, morado: diciembre 2017, azul: febrero 2018 y magenta; junio 2018. La línea base se sitúa en 0 SD.

Las series de tiempo realizadas (Figs. 9 y 10) permiten conocer la fluctuación de cada una de estas variables por separado; no obstante, al superponer estas gráficas se observa la fluctuación de una respecto a la otra (Fig. 11) y se destaca que, para esta zona de la laguna, a mayor concentración de $Chla_{sat}$ la SST disminuye. Lo anterior se corroboró mediante un análisis de correlación de Pearson, donde $r_P = -0.195$ y $r_{P_{crit}} = 0.139$ (r_P obtenida con $n=237$ y r_{crit} $n=200$), lo que implica que existe una correlación lineal entre ambas variables, y que además ocurre de forma inversa.

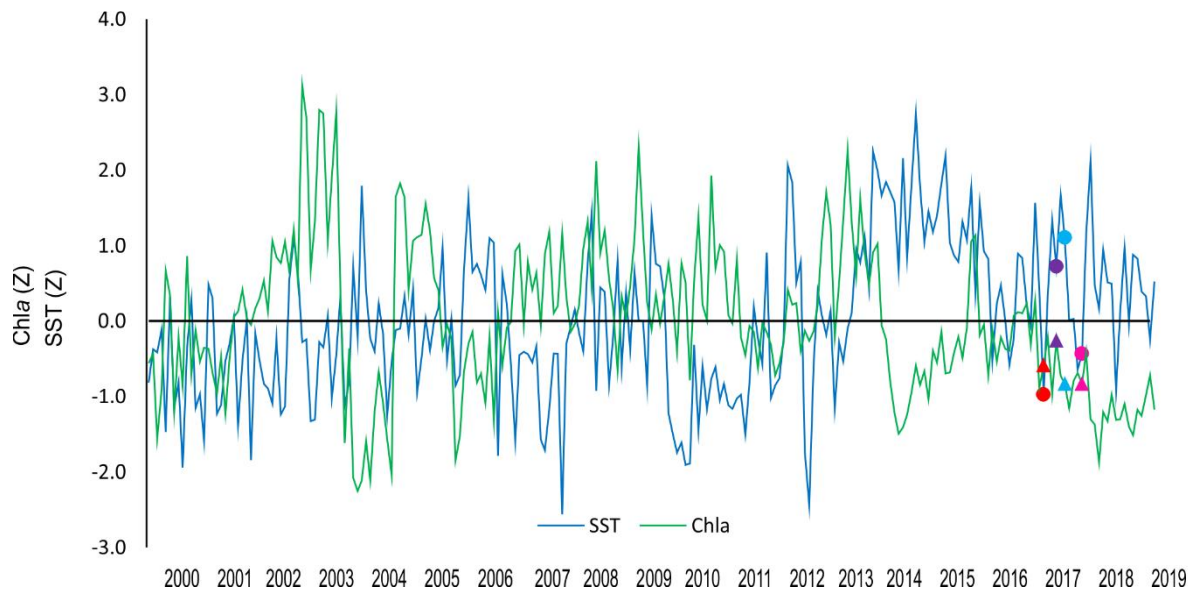


Figura 11. Variabilidad interanual de la SST y Chla. Los círculos de colores corresponden a SST de los meses de muestreo. Los triángulos de colores representan los valores de Chla para los meses de muestreo.

7 Discusión

La temperatura en Laguna Ojo de Liebre (LOL), mostró un patrón estacional que concuerda con lo reportado por Rodríguez-Padilla (2013) y Cívico-Collados (2016), quienes registraron la mayor temperatura en verano (septiembre) de sus respectivos años (2015 y 2008-2009); lo mismo fue observado en el presente trabajo para el mes de septiembre 2017. Mientras que, ambos autores señalan que la menor temperatura se presentó durante invierno (enero), de la misma forma ocurrió en el presente estudio, al registrar la menor temperatura en el mes de febrero 2018. La estacionalidad de la temperatura exhibió una temporada cálida, otra fría y dos de transición, este comportamiento ha sido reportado en otras lagunas costeras del Golfo de California como Topolobampo (Hernández-del-Real y Escobedo-Urías, 1996) y el sistema lagunar Navachiste (Quiroz-del-Campo, 2014), así como para Ensenada de La Paz (Baja California Sur) (Cervantes-Duarte *et al.*, 2001). Aunado al patrón de temperatura, se pudo determinar una covariabilidad directa de esta variable con la salinidad. La distribución que presenta la salinidad reportada por Gutiérrez-

de-Velazco *et al.* (2008) fue consistente con lo obtenido en este trabajo por medio de los análisis estadísticos (AC y ACP, Fig.8 y Tabla X).

El carácter hipersalino de la LOL es relevante, ya que se sabe que estos ambientes son relativamente poco comunes en el mundo, con una distribución limitada (Buskey *et al.*, 1998). La menor abundancia celular se presentó durante la temporada de transición negativa (otoño), una de las razones a las que se puede atribuir dicho decremento se asocia con las condiciones oceanográficas durante el periodo de estudio. La influencia del sistema de la Corriente de California es visible en BSV y se caracteriza por un flujo hacia el sur del Agua Subártica del Pacífico (ASAP) que es transportado por la Corriente de California (CC), y la Masa de Agua Ecuatorial (MAE) la cual es transportada mediante la Contra Corriente de California (CCA) (Durazo, 2015). Las características que poseen las masas de agua ASAP y MAE son distintas debido a su formación, por lo que las condiciones oceanográficas difieren entre temporadas. Durante finales de verano y otoño la CC se debilita y se separa de la costa (Durazo *et al.*, 2010), lo que permite que el agua asociada a la MAE (alta salinidad, alto contenido de nutrientes y bajo oxígeno disuelto) (Mancilla-Peraza *et al.*, 1993; Durazo, 2015) influya en la zona costera. De forma similar a lo reportado en el presente trabajo, Gracia-Escobar *et al.* (2014) mencionan que, para la laguna hipersalina de Bahía San Quintín (BSQ), se observó una baja abundancia fitoplanctónica durante octubre (otoño) y los autores señalan que este decremento pudo estar asociado a los cambios estacionales de las condiciones oceanográficas del océano adyacente.

El grupo de las diatomeas (Bacillariophyta) ha sido considerado como el más diverso y productivo en ecosistemas marinos (López-Fuerte *et al.*, 2015). La comunidad en LOL se conformó por la presencia de este grupo con valores >80% para cada una de las estaciones y temporadas, por lo que fue el principal constituyente del microfitoplancton, seguido de los dinoflagelados ~10% (Figs. 3 y 4). Este tipo de distribución porcentual se ha reportado por diferentes autores tanto para sistemas estuarinos como para sistemas hipersalinos (Aké-

Castillo y Vázquez, 2008; Loza-Álvarez *et al.*, 2018; El-Kassas *et al.*, 2016). Del grupo de las diatomeas, de acuerdo a su morfología se pudo establecer que las pennadas fueron las más representativas. Principalmente dentro de este grupo se encuentran organismos correspondientes al ticoplancton, los cuales presentan hábitos principalmente bentónicos pero que al ser desprendidos del sustrato forman parte de la columna de agua/superficie (Porter, 2008). En este sentido, al ser LOL una laguna somera favorece una mayor turbulencia en la columna de agua, lo que conlleva a la resuspensión de material particulado y nutrientes, propiciando condiciones favorables para las diatomeas. En un ambiente similar, Siqueiros-Beltrones *et al.* (2017) analizaron para Laguna Guerrero Negro (LGN) (la cual forma parte del complejo lagunar junto con LOL) la estructura de la comunidad de diatomeas bentónicas y encontraron una alta diversidad en las asociaciones. De esta forma, al encontrarse interconectadas LGN y LOL, se podría considerar que ambos sitios comparten características que favorecen las asociaciones de diatomeas bentónicas. Especies pertenecientes a los géneros observados en LOL (*Biddulphia sp.*, *Grammatophora sp.*, *Thalassionema sp.*, *Cocconeis sp.*, *Nitzschia sp.*, *Lyrella sp.*, *Diploneis sp.*, *Navicula sp.*, *Pleurosigma sp.*, *Amphora sp.* y *Coscinodiscus sp.*) han sido reportadas en LGN, lo que sugiere que en LOL la presencia del ticoplancton (e.g. diatomeas bentónicas) puede ser un componente importante del microfitoplancton que aún no ha sido estudiado. Por otra parte, para BSQ se ha reportado que la comunidad de diatomeas bentónicas está conformada por un 88% de diatomeas pennadas y un 12% de diatomeas centrales (Hernández-Becerril y Álvarez-Borrego, 1983); aún es necesario determinar si para LOL ocurre una distribución similar.

En relación al grupo de diatomeas por CHEMTAX, la máxima contribución se exhibió durante la temporada cálida (verano) (Fig. 7 a), cuyos valores más altos se encontraron en el intervalo de 40-60%. Parte de este incremento se podría relacionar con la presencia del segundo máximo relativo de surgencias que ocurre en BSV, el cual se produce entre

septiembre - octubre (Gutiérrez-de-Velasco *et al.*, 2008) y que coincide con la temporada cálida analizada (septiembre). La investigación realizada por Mathieu-Resuge *et al.* (2019) menciona la presencia de un flujo de diatomeas provenientes de la bahía hacia la LOL, las cuales fueron detectadas por el uso de biomarcadores durante agosto y además proponen la hipótesis de que la zona exterior de LOL recibe pulsos de producción primaria proveniente de BSV. Esta hipótesis podría explicar la tendencia observada en el presente trabajo, la cual considera una contribución de diatomeas mayor en verano respecto a los demás muestreos. El muestreo que realizamos para la temporada cálida se llevó a cabo en condición de flujo en marea viva, Santamaría-del-Ángel y Millán-Núñez (1991) mencionan que la estructura fitoplanctónica durante mareas vivas se distribuye de manera homogénea en la columna de agua. Lo anterior refuerza la idea de que durante mareas vivas se establece una conexión entre BSV y LOL.

Respecto a los grupos de criptofitas y clorofitas, es la primera vez que ambos se registran en LOL, a diferencia de BSQ donde se han realizado varios estudios que documentan la contribución de los mismos (Millán-Núñez *et al.*, 2004; Moreno-Miranda 2007; Gracia-Escobar *et al.*, 2014). Estos autores han señalado a la Allo como un pigmento abundante, con concentraciones $>0.5 \text{ mg m}^{-3}$, por lo que consideran a las criptofitas como dominantes en la estructura fitoplanctónica. En contraste con LOL, donde la concentración máxima es menor a la mitad que lo reportado para BSQ (0.26 mg m^{-3}). Millán-Núñez *et al.* (1987) reportaron para LOL valores de Chl**b** en el intervalo de 0.0 a 0.40 mg m^{-3} , de forma muy similar para el periodo 2017-2018 el intervalo se mantuvo entre 0.0 y 0.35 mg m^{-3} . Aunque los autores no relacionaron este pigmento a ningún grupo en específico, gracias a la quimiotaxonomía el presente trabajo permite que se asocie a clorofitas.

Recientemente el trabajo realizado por Larios-Muñiz (2020) en BSV resalta la presencia de primnesiofitas en la bahía con una contribución entre el 30 y 80% durante septiembre (2017), encontrando estos valores tanto en superficie como en los máximos

subsuperficiales. En la presente investigación este grupo estuvo presente a lo largo del periodo de estudio (Fig. 7), no obstante, durante las temporadas cálida (septiembre) y de transición negativa (diciembre), exhibió su mayor porcentaje de contribución (aprox. 20%) en estaciones de la zona exterior. El hecho de que este grupo presente su mayor porcentaje de contribución en la zona exterior permite reforzar la idea de que es introducido desde BSV mediante el intercambio entre ambos cuerpos por efecto de corrientes de marea, las cuales fueron condiciones de mareas vivas durante las temporadas cálida y transición negativa. Dentro del grupo de primnesiofitas se encuentran los cocolitofóridos (nanofitoplancton), los cuales se caracterizan por presentar en sus exoesqueletos placas de carbonato de calcio denominadas cocolitos (Billard e Inouye, 2004) lo que los convierte un grupo de fácil visualización al microscopio, sin embargo, no fueron observados en el presente estudio. De manera similar, Larios-Muñiz (2020), reporta que en ninguna de sus muestras logró identificar células de cocolitofóridos al microscopio, lo que sugiere que el tamaño de estas células sea $<5\ \mu\text{m}$ para BSV y LOL.

Por otro lado, grupos con menor contribución fueron crisofitas y dinoflagelados. Las crisofitas pertenecen al grupo monofilético Heterokonta, dentro de este grupo se encuentran los silicoflagelados (orden Dictyochales) (Andersen, 2004). Las abundancias de estos organismos se han relacionado estrechamente con las propiedades de las masas de agua, especialmente con la temperatura que define estos cuerpos de agua (*e.g. Dictyocha speculum* asociada a aguas del Pacífico subártico) (Poelchau, 1976). Aunque en este trabajo no se realizaron asociaciones con masas de agua, la distribución espacial y temporal de este grupo (Fig. 7 a-d) permitió que se pudiera observar una tendencia con la temperatura. Se ha evidenciado la presencia de este grupo fitoplanctónico en aguas frías o zonas de surgencias, donde la temperatura tiende a ser menor y las aguas ricas en nutrientes, especialmente en sílice (Murray y Shrader, 1983; McCartney, 1995). Esto podría relacionarse con el patrón espacial observado y lo obtenido en los análisis estadísticos

(Fig.8 y Tabla X) y proponer que la temperatura (espacial y temporalmente) es el factor que limita la abundancia de este grupo en LOL, con sus mayores abundancias durante las temporadas fría (febrero) y transición negativa (diciembre).

El grupo de los dinoflagelados comprende a algunos organismos que presentan estrategias competitivas muy singulares. La mixotrofia es una estrategia nutricional mediante la cual los organismos pueden obtener nutrientes y/o energía mediante autotrofia fototrófica o heterotrofia (Yang *et al.*, 2021). De tal forma que al ser algunos de estos organismos mixotróficos o heterotróficos el CHEMTAX estaría realizando una subestimación de este grupo (Higgins *et al.*, 2011). Lo anterior se presentó durante la temporada fría (febrero), ya que se observaron dinoflagelados con bajas abundancias promedio (80 cel L^{-1}) (Fig. 4c), pero la concentración de peridinina estuvo ausente (Tabla VII y Fig. 7c). El dinoflagelado *Prorocentrum sp.* fue el género más dominante en todo el periodo de estudio (septiembre 2017 a junio 2018) y es, además, reconocido como mixotrófico (Jeong *et al.*, 2010). Es por esta razón que para estudios de la estructura de la comunidad del fitoplancton se recomienda tener un enfoque metodológico complementario, en el que se utilicen técnicas como citometría de flujo o microscopía óptica que proveen información más detallada de la composición taxonómica del fitoplancton (Gocke *et al.*, 2017; Miranda-Álvarez, 2020), además del uso de técnicas basadas en cromatografía como el CHEMTAX.

La comparación entre la comunidad fitoplanctónica en LOL registrada por Millán-Núñez *et al.* (1987) y la reportada en este trabajo, presentó ciertas diferencias. En relación a la comunidad microfitoplanctónica, para 1982 los autores reportaron 18 géneros y un grupo de células flageladas. Durante 2017-2018 se observaron 12 de estos géneros previos y se añadieron 12 géneros, los cuales no habían sido reportados anteriormente. En esta ocasión también se observaron células flageladas en algunas muestras (valores no cuantificados). Se enfatiza que en ambos trabajos el grupo de diatomeas pennadas fue el

más frecuente, esta tendencia apoya el escenario planteado de la importancia del fitoplancton en esta laguna, ya que continúan jugando un papel importante en la comunidad, tanto en 1982 como en 2017-2018. Aunado a esto, Millán-Núñez *et al.* (1987) señalan que el valor máximo de Chla fue 1.2 mg m^{-3} , mientras que en el presente la concentración más alta registrada fue 2.08 mg m^{-3} (temporada cálida, septiembre). Sánchez-Cobarrubias *et al.* (aceptado) mencionan que para febrero 2018 a pesar de haber observado una concentración de clorofila similar a la reportada por Millán-Núñez *et al.* (1987), la abundancia celular en 2018 fue considerablemente menor (e.g. diatomeas céntricas: 25000 cel L^{-1} en 1982 vs 8 cel L^{-1} en 2018). Lo anterior implica que grupos taxonómicos que no son visibles al microscopio constituyen un porcentaje relevante a la concentración total de Chla. Esto se puede observar, por ejemplo, en la Fig. 7 c, estación Las Casitas, donde las diatomeas contribuyen con <20% mientras que grupos como criptofitas, clorofitas y primnesiofitas aportan en conjunto más del 80% de la contribución.

En términos de percepción remota, el estudio realizado por Martínez-Fuentes *et al.* (2016), muestra la variabilidad interanual (1997-2012) de la Chla_{sat} y SST en BSV. Los autores reportan una estacionalidad muy marcada respecto a la SST, con las temperaturas más bajas durante el periodo de diciembre a mayo/junio valores $<16 \text{ }^{\circ}\text{C}$, asociados a la influencia de surgencias costeras; mientras que en promedio para los meses de agosto a octubre se registraron temperaturas $>20 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Además, reportaron los valores más altos de Chla_{sat} en el periodo comprendido de marzo a junio ($>5 \text{ mg m}^{-3}$), mientras que los menores a partir de agosto y hasta enero ($\sim 0.3 \text{ mg m}^{-3}$). En el presente trabajo, obtuvimos que para LOL todos los valores fueron mayores. El promedio de la SST para ambos periodos fue $19.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ y $24.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (diciembre-mayo/junio y agosto-octubre) y en términos de Chla_{sat} referida a la mediana, $\sim 4.6 \text{ mg m}^{-3}$ para el periodo de marzo a junio, mientras que de agosto a enero fue $\sim 5.4 \text{ mg m}^{-3}$. Esta variación estacional no es muy marcada en la zona exterior de LOL, igualmente, en el anexo 4 (a y b) se muestra que la variabilidad temporal en dos sitios

costeros dentro de BSV, adyacentes a LOL, no es tan evidente como se menciona en la literatura. Si bien, existe una mayor correlación entre las variables satelitales afuera que dentro de LOL, la variabilidad que presentó la $Chla_{sat}$ entre un periodo y otro fue de 0.33 mg m^{-3} , considerando la mayor concentración de $Chla_{sat}$ durante el periodo de marzo-junio, lo anterior implica que la estacionalidad es baja y difiere de lo obtenido por Martínez-Fuentes *et al.* (2016). Por otra parte, si consideramos el criterio de Mirabal-Gómez *et al.* (2017) para aguas costeras, se sugiere que valores de $Chla_{sat} > 2.0 \text{ mg m}^{-3}$ son eutróficos y $< 2.0 \text{ mg m}^{-3}$ son mesotróficos, lo que indica que la LOL se mantiene en un estado eutrófico sin importar la estacionalidad. En contraste, la correlación de ambas variables en la LOL utilizando los datos *in situ* (temperatura promedio vs mediana de la $Chla$), no fue estadísticamente significativa (datos no mostrados), a diferencia de los datos de percepción remota. Lo anterior puede estar asociado al número reducido de datos disponible para las correlaciones *in situ* ($n=36$) o a que en la LOL factores como la marea, viento, energía cinética turbulenta y radiación solar en una columna de agua más delgada ($\sim 10 \text{ m}$) hacen más compleja la asociación entre elementos físicos y biológicos, a diferencia de una cuenca más amplia como lo es BSV (e.g. los datos satelitales de los dos sitios ubicados en BSV siempre mostraron correlaciones significativas y mayores que en LOL).

El presente trabajo se llevó a cabo en una laguna costera hipersalina que ha sido muy poco explorada en términos de ecología del fitoplancton durante los últimos 40 años, por lo mismo no se pudieron contestar todas las preguntas planteadas y por el contrario surgieron más. La LOL representa un sistema eutrófico, donde los distintos grupos de tamaño del fitoplancton juegan un papel fundamental para la producción primaria, por lo que para comprender el funcionamiento de este sistema se requiere un monitoreo periódico del estado de la comunidad. No obstante, esta información debe ir de la mano de variables físicas, ya que estas comprenden un factor importante para establecer y describir relaciones, por lo que se sugiere que al realizar futuros estudios se tomen en cuenta: estado

de la marea (e.g. flujo/reflujo), viento, profundidad de la zona fótica, series de tiempo, entre otros. De esta forma, al cubrir más aspectos, la información generada podrá acercarse más a la realidad del sistema.

8. Conclusiones

La complejidad de un sitio como LOL lo vuelve único, en este trabajo se trató de obtener información que resultara útil para comprender un poco de la estructura fitoplanctónica que se presentó durante 2017-2018. Se destaca que la comunidad del microfitoplancton en LOL está constituida principalmente por diatomeas, seguidas por dinoflagelados y en menor término por silicoflagelados. Las diatomeas pennadas fue el grupo más abundante de todos, lo cual abre una puerta a futuras investigaciones sobre el rol que desempeña el fitoplancton en esta laguna.

Este es el primer trabajo que considera la composición de la comunidad fitoplanctónica mediante el uso del CHEMTAX. Los resultados obtenidos destacan a las fracciones nano y picofitoplanctónicas con la presencia de: criptofitas, clorofitas, primnesiofitas y crisofitas. El tener una relación de grupos logró que se pudiera observar la influencia de BSV en LOL, como fue el caso de las primnesiofitas donde se percibió una mayor contribución en la zona exterior. Por otro lado, se presentó el caso donde la influencia de factores físicos como la variabilidad de temperatura (espacial y temporal) se correlacionó con el grupo de las crisofitas. Esta correlación fue inversa, lo cual permitió asociarlas a zonas de temperaturas bajas y con mayor abundancia durante las temporadas transición negativa y fría (diciembre y febrero).

Finalmente, se pudieron establecer como líneas base a lo largo de casi 19 años (2000-2019) los valores 21°C para SST y 5 mg m⁻³ para Chla_{sat}, para la zona exterior de la laguna. Estos valores sugieren que, en esa zona la influencia estacional fue muy baja dado que la biomasa producida no se vio alterada por efectos de la temperatura, lo que permitió

considerarla como eutrófica todo el año. Lo anterior demuestra que en la LOL los procesos físicos locales permiten que ocurra mezcla y se fertilice la columna de agua de manera constante, lo que se manifiesta en una productividad primaria alta (eutrófica).

9. Referencias

Acevedo-Cervantes, A. (1997). Caracterización ecológica de la comunidad íctica de la Laguna Ojo de Liebre, B.C.S. México (Tesis). Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.

Aké-Castillo, J. A., y Vázquez, G. (2008). Phytoplankton variation and its relation to nutrients and allochthonous organic matter in a coastal lagoon on the Gulf of Mexico. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 78(4), 705–714.

Alvarado, J., Galindo, J., Iwadane, M., y Migoya, R. (1986). Evaluación de los Parámetros Ambientales y su Relación con la Distribución y Movimientos de la Ballena Gris *Eschrichtius robustus* Lacepede 1804 en la Laguna Ojo de Liebre, BCS México.

Álvarez-Borrego, S., y Granados-Guzmán, A. (1992). Temporal and spatial variation of temperature in a winter habitat of the gray whale: Ojo de Liebre Lagoon. *Ciencias Marinas*, 18(1), 151–165.

Andersen, R. A. (2004). Biology and systematics of heterokont and haptophyte algae. *American Journal of Botany*, 91(10), 1508–1522.

Araujo, M. L. V., Mendes, C. R. B., Tavano, V. M., Garcia, C. A. E., & Baringer, M. O. N. (2016). Contrasting patterns of phytoplankton pigments and chemotaxonomic groups along 30 S in the subtropical South Atlantic Ocean. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 120, 112-121.

Arellano-Martínez, M. (2005). Características ecofisiológicas de la reproducción de *Nodipecten subnodosus* (Sowerby, 1835) (PECTINIDAE) en la Laguna Ojo de Liebre,

B.C.S., México. (Tesis). Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.

Arellano-Martínez, M., Ceballos-Vázquez, B. P., Ruíz-Verdugo C., Pérez-De- León, E., Cervantes-Duarte, R., & Domínguez-Valdéz, P. M. (2011). Growth and reproduction of the lion's paw scallop *Nodipecten subnodosus* in a suspended culture system at Guerrero Negro lagoon, Baja California Sur, Mexico. *Aquaculture Research* 42:571-582.

Barnes, R. S. K. (1980). Coastal lagoons. Cambridge-Studies in modern biology. Cambridge Univ. Press. 106 p.

Billard, C., & Inouye, I. (2004). What is new in coccolithophore biology? En Y. J. Thierstein H.R., Coccolithophores. Springer, Berlin, Heidelberg. Bocanegra-Castillo, N. (1998). Interacciones tróficas de la ictiofauna más abundante en la Laguna Ojo de Liebre, Baja California Sur., México (Tesis). Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.

Bricaud, A. H. (2004). Natural variability of phytoplankton absorption in oceanic waters: Influence of the size structure of algal populations. *Journal of Geophysical Research* (109), 1-12.

Buskey, E. J., Wysor, B., & Hyatt, C. (1998). The role of hypersalinity in the persistence of the Texas "brown tide" in the Laguna Madre. *Journal of Plankton Research*, 20(8), 1553-1565.

Carabias, J., Provenico, E., y De-la-Maza, J. (2000). Programa de manejo Reserva de la Biosfera El Vizcaíno. 243 pp.

Castellanos, A., Salinas, F., & Ortega-Rubio, A. (2001). Inventory and conservation of breeding waterbirds at Ojo de Liebre and Guerrero Negro Lagoons, Baja California Sur Mexico. *Ciencias Marinas*, 27(3), 351-373.

Cervantes-Duarte, R., Aguirre-Bahena, F., Reyes-Salinas, A., y Valdez-Holguín, J. E. (2001). Caracterización hidrológica de una laguna costera de Baja California Sur, México. *Oceanides*, 16(2): 93-105.

Cívico-Collados, L. (2016). Estructura de la comunidad de peces y captura comercial estacional en la laguna Ojo de Liebre, B.C.S., México durante 2015-2016. México. Tesis. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.

Claustre, H. (1994). The trophic status of various oceanic provinces as revealed by phytoplankton pigment signatures, *Limnology and Oceanography*, 39.

Contreras, F. (1985). Las lagunas costeras mexicanas. Centro de Ecodesarrollo-secretaria de pesca, México. 263 pp.

Cupp, E. (1943). Marine plankton diatoms of the west coast of North America. University of California Press, Berkeley and the Angeles. USA, 238 p.

De-la-Lanza-Espino, G., Pérez, M. A. O., y Pérez, J. L. C. (2013). Diferenciación hidrogeomorfológica de los ambientes costeros del Pacífico, del Golfo de México y del Mar Caribe. *Investigaciones Geograficas*, 81(81), 33–50.

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.

Edler, L., & Elbrächter, M. (2010). The Utermöhl method for quantitative phytoplankton analysis. En: Intergovernmental Oceanographic Commission of ©UNESCO. 2010. Karlson, B., Cusack, C. and Bresnan, E. (editors). *Microscopic and molecular methods for quantitative phytoplankton analysis*. Paris, UNESCO. (IOC Manuals and Guides, no. 55.) (IOC/2010/MG/55): 13- 20.

El-Kassas, H. Y., Nassar, M. Z. A., & Gharib, S. M. (2016). Study of phytoplankton in a natural hypersaline lagoon in a desert area (Bardawil Lagoon in Northern Sinai, Egypt). *Rendiconti Lincei*, 27(3), 483–493.

Falkowski, P. G., Katz, M. E., Knoll, A. H., Quigg, A., Raven, J. A., Schofield, O., & Taylor, F. J. R. (2004). The evolution of modern eukaryotic phytoplankton. *Science*, 305(5682), 354–360.

Falkowski, P. G., & Raven, J. A. (1997). *Aquatic Photosynthesis*; Blackwell Science: Malden, MA, USA, 1997; p. 375

Fernández-Sanz, H., & Reséndiz, E. (2021). Comparison of body temperature and heart rate in sea turtles from Baja California Sur, Mexico. *Ciencias Marinas*, 47(2), 139–146.

Foster, G. C., Lane, D., Scott, D., Hebl, M., Guerra, R., Osherson, D., & Zimmer, H. (2018). An Introduction to Psychological Statistics. *Open Educational Resources Collection*. 4.

Gilabert, J. (2001). Seasonal plankton dynamics in a Mediterranean hypersaline coastal lagoon: the Mar Menor. *Journal of Plankton Research*, 23(2), 207–218.

Gocke, K., Meyerhöfer, M., Mancera-Pineda, J. E., & Vidal, L. A. (2017). Phytoplankton composition in coastal lagoons of different trophic status in northern Colombia determined by microscope and HPLC-pigment analysis. *Bulletin of Marine and Coastal Research*. 263-278.

Gracia-Escobar, M. F., Millán-Núñez, R., González-Silvera, A., Santamaría-del-Ángel, E., Camacho-Ibar, V. F., y 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*, 04(02), 80–100.

Gregor, J. B., & Marsálek, B. (2004). Freshwater Phytoplankton Quantification by Chlorophyll a: A Comparative Study of in vitro, in vivo and in situ Methods. *Water Res.* 38: 517-522.

Gutiérrez-de-Velasco, G., Herrera Cervantes, H., Trávina Castro, A., Cosío López, M. A. y Torres Chávez, H. (2008). Oceanografía de la Región Pacífico Norte del Estado de Baja California Sur. Unidad de la Paz, CICESE. 54 pp.

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

Hallegraeff, G. M., Anderson, D. M. & Cembella, A. D. (1995). Manual on harmful marine microalgae. (1st ed.). IOC Manuals and Guides No. 33. Paris, France: UNESCO.

Hernández-Becerril, D. U., y Álvarez-Borrego, S. (1983). Diatomeas Bentónicas en Bahía San Quintín, B. C. *Ciencias Marinas*, 9(2), 121–131.

Hernández-Real, M. T., y Escobedo-Urías, D. (1996). Calidad del agua del sistema lagunar de Topolobampo, Sinaloa. Período 1987-1995. Informe Técnico. S. M. DIGONAV, EIOPC. 22 p.

Higgins, H. W., Wright, S. W., & Schlüter, L. (2011). Quantitative interpretation of chemotaxonomic pigment data. En Roy S, Llewellyn CA, Egeland SA, Johnsen G (eds.), *Phytoplankton pigments: characterization chemotaxonomy and applications in oceanography*. Cambridge University Press, Cambridge, 257–313.

Holt, J., Harle, J., Proctor, R., Michel, S., Ashworth, M., Batstone, C., Allen, I., Holmes, R., Smyth, T., Haines, K., Bretherton, D., & Smith, G. (2009). Modelling the global coastal ocean. *Philos. Trans. R. Soc. A* 367: 939–951

Hötzels, G., y Croome, R. (1999). A phytoplankton methods manual for Australian freshwaters, LWRRDC Occasional Paper 22/99. Green Words & Images, Canberra, 58 pp.

Jeffrey, S. W., & M. Vesk. (1997). Introduction to marine phytoplankton and their pigment signatures. In: Jeffrey, S.W., R.F.C. Mantoura y S.W. Wright (Comp.). *Phytoplankton Pigments in Oceanography*. Monogr. Oceanogr. Method. 10; UNESCO. pp. 37-84.

Jeffrey, S. W., Writght, S. W., & Zapata, M. (2011). Microalgal classes and their signature pigments, In: Roy S, Llewellyn CA, Egeland E, Johnsen G (eds) *Phytoplankton pigments: characterization, chemotaxonomy and applications in oceanography*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 3–77.

Jeong, H.J., Du Yoo, Y., Kim, J.S., Ah Seong, K., Kang, N.S., Kim, T.H. (2010). Growth, Feeding and Ecological Roles of the Mixotrophic and Heterotrophic Dinoflagellates in Marine Planktonic Food Webs. *Ocean Science Journal* 45(2): 65-91

Jutla, A. S., Akanda, A. S., & Islam, S. (2012). Satellite remote sensing of space-time plankton variability in the Bay of Bengal: Connections to cholera outbreaks. *Remote Sensing of Environment*, 123(March 2020), 196–206

Kirk, J. (1994). *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems*. Cambridge: Cambridge University Press.

Kirk, J. (2011). *Light and photosynthesis in aquatic ecosystems*. 3rd edition. United Kingdom at the University Press, Cambridge. 665 p.

Lalli, C. M., & Parsons, T. R. (1993). *Biological oceanography an introduction*. Elsevier. 337 pp.

Lankford, R. R. (1977). Coastal lagoons of Mexico: their origin and classification. *Estuarine processes*, 2, 182-215.

Lara-Domínguez, A., Contreras-Espinosa, F., Castañeda-López, O., Barba-Macías, E., y Pérez-Hernández, M. (2011). *Lagunas costeras y estuarios*. p. 297-313.

Larios-Muñiz, M. (2020). Variabilidad del fitoplancton en respuesta a procesos físicos en la Bahía Sebastián Vizcaíno, Baja California, México. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Marinas, U.A.B.C., Ensenada, B. C., 87.

Longhurst, A. (1995). Seasonal cycles of pelagic production and consumption. *Progress in Oceanography* 36: 77-167.

López-Fuerte, F. O., Siqueiros-Beltrones, D. A., y Yabur, R. (2015). First record of benthic (Bacillariophyceae and Fragilariophyceae) from Isla Guadalupe, Baja California, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 86, 281–292.

Loza Álvarez, S., Benavides-Morera, R., Brenes-Rodríguez, C. L., & Ballester Saxon, D. (2018). Estructura del fitoplancton en las épocas seca y lluviosa en el golfo de Papagayo, Costa Rica. *Revista Ciencias Marinas y Costeras*, 10(2), 9.

Mackey, M. D., Mackey, D. J., Higgins, W. H., & Wright, S. W. (1996). CHEMTAX a program for estimating class abundances from chemical markers: application to HPLC measurements of phytoplankton. *Marine Ecology Progress Series*, 144, 265-283.

Maguiño-Napurí, R., Maeda-Martínez, A., Moctezuma-Cano, T., Valle-Meza, G., & Acosta-Salmón, H. (2011). Larval abundance and spat collection of the lion's paw scallop *Nodipecten subnodosus* in Ojo de Liebre Lagoon, Baja California Sur, México. *Ciencias marinas*, 37(1), 51-57.

Mancilla Peraza, M., López Castillo, G., y Palacios Hernández, E. (1993). Variabilidad hidrográfica de bahía Vizcaíno, Baja California, México. *Ciencias Marinas*, 19(3), 265-284.

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.

Mathieu-Resuge, M., Kraffe, E., Le Grand, F., Boens, A., Bideau, A., Lluch-Cota, S. E., & Schaal, G. (2019). Trophic ecology of suspension-feeding bivalves inhabiting a north-eastern Pacific coastal lagoon: Comparison of different biomarkers. *Marine Environmental Research*, 145 (February), 155–163.

McCartney, K. (1995). Silicoflagellates, In C. D. Blome et al (convenors), Siliceous Microfossils. *Paleontological Society Short Courses in Paleontology*, p. 159-176.

McGaraghan, A. (2018). Tiny Drifters: a guide to the phytoplankton along the California coast. *Kudela Biological and Satellite Oceanography Laboratory*. 90 pp. <https://www.blurb.es/b/8544625-phytoplankton-identification-guide-2018>

Millán-Núñez, R., Millán-Núñez, E., Álvarez-Borrego, S., Trees, C. C., y Santamaría-Del-Ángel, E. (2004). Variabilidad de la comunidad del fitoplancton en Bahía San Quintín estimada mediante el análisis de pigmentos Variability of the phytoplankton community in San Quintín Bay based on pigment analysis. *Ciencias Marinas*, 30(1A), 145–153.

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.

Mirabal-Gómez, U., Álvarez-Borrego, S. A., y Lara-Lara, J. R. (2017). Satellite-derived phytoplankton biomass and production variability in 2 contrasting coastal areas: off southern California and off northern Baja California. *Ciencias Marinas*, 43(4), 229–248.

Miranda-Álvarez, C., González-Silvera, A., Santamaría-del-Angel, E., López-Calderón, J., Godínez, V. M., Sánchez-Velasco, L., y Hernández-Walls, R. (2020). Phytoplankton pigments and community structure in the northeastern tropical pacific using HPLC-CHEMTAX analysis. *Journal of Oceanography*, 76(2), 91-108.

Morel, A., & Prieur, L. (1977). Analysis of variations in ocean color. *Limnology and Oceanography* 22: 709-722.

Moreno-Miranda, C. (2007) Variabilidad espacial de la composición taxonómica del fitoplancton en Bahía San Quintín. Tesis de Maestría, Facultad de Ciencias Marinas, U.A.B.C., Ensenada, B.C., 81.

Murray, D., & Schrader, H. (1983). Distribution of silicoflagellates in plankton and core top samples from the Gulf of California. *Marine Micropaleontology*, 7(6), 517–539.

Otero, J., Álvarez-Salgado, X. A., & Bode, A. (2020). Phytoplankton Diversity Effect on Ecosystem Functioning in a Coastal Upwelling System. *Frontiers in Marine Science*, Vol. 7.

Phleger, F. B. (1969), “Some general features of coastal lagoons”, en Ayala Castañares A. y F. B. Phleger (eds.), *Lagunas costeras*, Un Simposio; Mem. Simp. Internat. Lagunas Costeras, UNAM-UNESCO, pp. 5-26.

Poelchau, H.S. (1976). Distribution of Holocene silicoflagellates in North Pacific sediments. *Micropaleontology* 22 (2), 164–193.

Portela E., Beier E., Barton E. D., Castro, R., Godínez, V., Sánchez-Velasco y Trasviña A. (2016). Water masses and circulation in the tropical pacific off central Mexico and surrounding areas. *Journal Physical Oceanography*, 46(10), 3069–3081.

Porter, S. D. (2008). *Algal Attributes: an autecological classification of algal taxa collected by the National Water-Quality Assessment Program*. U.S. Geological Survey Data Series 329. Virginia, USA.

Quereda, J., Ruescas, A., Monton, E., & Barberá, J. (2006). La teledetección de la temperatura superficial del mar: una validación de algoritmos en las aguas litorales del Mediterráneo español. *Cuadernos de Geografía*, (80), 125–146.

Quiñones-Arreola, M. F., (2003). Comparación del patrón reproductivo del *Megapitaria squialida* (Sowerby, 1835) en la Laguna Ojo de Liebre, Océano Pacífico y en Bahía Juncalito, Golfo de California, B.C.S., México. (Tesis). Instituto Politécnico Nacional.

Quiroz-del-Campo, N. (2014). Variabilidad de la productividad fitoplanctónica en el sistema lagunar Navachiste. México. (Tesis). Instituto Politécnico Nacional.

Rodríguez J. (2005). La estructura de tamaños del plancton: un tópico interdisciplinar y Margalefiano. *Ecosistemas*. 2005/1

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. (Unpublished Thesis).

Salinas-Zavala, C. A., Coria-Benet. R., y Díaz-Rivera. (1991). Climatología y meteorología 95-116 pp. La Reserva de la Biosfera el Vizcaíno en la península de Baja California. Centro de Investigaciones Biológicas de Baja California Sur, A.C. México.

Sánchez-Cobarrubias, G. V., López-Calderón, J. M., González-Silvera, A. G., y Ruíz-de-la-Torre, M. C. (2021). Estructura de la comunidad fitoplanctónica en la Laguna Ojo de Liebre (B.C.S) durante febrero 2018. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. (en proceso de publicación).

Santamaría-del-Ángel, E., Álvarez-Borrego, S., & Muller-Karger, F. E. (1994). Gulf of California biogeographic regions based on coastal zone color scanner imagery. *Journal of Geophysical Research*, 99(C4), 7411–7421.

Santamaría-del-Ángel, E., González-Silvera, A., Millán-Núñez, R., Callejas-Jiménez, M. E., y Cajal-Medrano, R. (2011). Determining dynamic biogeographic regions using remote sensing data. *Handbook of Satellite Remote Sensing Image Interpretation: Applications for Marine Living Resources Conservation and Management*, 273-293.

Santamaría-del-Ángel, E., Millán-Núñez, R., González-Silvera, A., y Cajal-Medrano, R. (2005) Estimación de la taxocenosis fitoplanctónicas. Algunas consideraciones generales al método Utermöhl 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.

Santamaría-Del-Ángel, E., y Millán-Núñez, R. (1991). Variation of the phytoplankton structure in Puerto Don Juan, Bahía de los Ángeles, Baja California, México. *Ciencias Marinas*. 17 (2): 1-24.

Santamaría-del-Ángel, E., Sebastián-Frasquet, M.-T., Gonzalez-Silvera, A., Aguilar Maldonado, J. A., Mercado-Santana, J. A., & Herrera Carmona, J. C. (2019). Uso Potencial de las Anomalías Estandarizadas en la Interpretación de Fenómenos Oceanográficos Globales a Es. In *Costas y Mares Mexicanos: Construyendo la Línea Base para su Futuro Sostenible Oceanografía* (pp. 1–20).

Siqueiros-Beltrones, D. A., Argumedo-Hernández, U., y López-Fuerte, F. O. (2017). Diversidad de especies de diatomeas bentónicas en la laguna Guerrero Negro (Reserva de la Biosfera El Vizcaíno), península de Baja California, México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 88(1), 21–35.

Solanki, H. U., Dwivedi, R. M., & Nayark, S. R. (2001). Synergistic analysis of SeaWiFS chlorophyll concentration and NOAA-AVHRR SST feature for exploring marine living resources. *International Journal of Remote Sensing*, 22, 3877–3882

Souza, M. F. L., Kjerfve, B., & Knoppers, B. (2003) Nutrient budgets and trophic state in a hypersaline coastal lagoon: Lagoa de Araruama, Brazil. *Estuar Coast Shelf Sci* 57:843–858

Stevens, S. (2019). Introduction to statistics think and do. Worldwide Center of Mathematics. 298 pp.

Tester, P., Geesey, M., Guo, C., Paerl, H., & Millie, D. (1995). Evaluating phytoplankton dynamics in the Newport River estuary (North Carolina, USA) by HPLC-derived pigment profiles. *Mar Ecol Prog Ser* 24: 237-245.

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.

Throndsen J. (1978). Preservation and storage. cap. 4 pag. 69-74 En: *Phytoplankton Manual*. A. Sournia (Ed.) Unesco. París 337 p

Throndsen J. (1997). The planktonic marine flagellates. In: Tomas C. R. (ed). *Identifying marine phytoplankton*, 591–729.

Troyo-Vega, B., Arnaud, G., Swartz, S., y Ortega-Rubio, A. (2019). Impacto Socioeconómico del Turismo de la ballena gris (*Eschrichtius robustus*), en dos localidades de la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno, Baja California Sur, México.

Uitz, J., Claustre, H., Morel, A., & Stanford, B. H. (2006). Vertical distribution of phytoplankton communities in open ocean: An assessment based on surface chlorophyll. *Journal of Geophysical Research*, 111: C08005.

Utermöhl, H. (1958). Zur Vervollkommung der quantitate ivén phytoplankton methodic. *Mitt. Int. Verein. Theor. Anew. Lim.* 17-47.

Van-Heukelem, L., y Thomas, C. S. (2001). Computer-assisted high performance liquid chromatography method with applications to the isolation and analysis of phytoplankton pigments. *Journal of Chromatography.*, A 910: 31–49

Vidussi, F., Claustre, H., Bustillos-Guzmán, J., Cailliau, C., & Marty, J. C. (1996). Determination of chlorophylls and carotenoids of marine phytoplankton: separation of chlorophyll a from divinyl-chlorophyll a and zeaxanthin from lutein. *Journal of Plankton Research* 18: 2377-2382.

Vidussi, F., Claustre, H., Manca, B. B., Luchetta, A., & Marty, J. C. (2001). Phytoplankton pigment distribution in relation to upper thermocline circulation in the eastern Mediterranean Sea during winter, *Journal of Geophysical Research* 106(C9): 19939-19956.

Walsh, J.J., (1989). How much shelf production reaches the deep sea? In: Berger, W.H., Smetacek, V.S., Wefer, G. (Eds.), *Productivity of the Ocean: Present and Past*. John Wiley & Sons, pp. 175-191

Wilcoxon, F., Katii, S.K., & Wilcoxon, R. (1963). *Critical Values and Probability Levels for the Wilcoxon Rank Sum Test and the Wilcoxon Signed Rank Test*. Pearl, River, N.Y.: American Cyanamid Co and Florida State University.

Wilcoxon-F. (1945). Individual Comparisons by Ranking Methods. *Biometrics Bulletin*, 1, 80-83.

Wilcoxon-F., Katti, S.K. & Wilcoxon R. (1970). *Critical Values and Probability Levels for the Wilcoxon Rank Sum Test and the Wilcoxon Signed Rank Test*. En H. a. Owen, *Selected Tables in Mathematical Statistic*. Chicago: Makham Publishing Co.

Wright, S.W., Thomas, D.P., Marchant, H.J., Higgins, H.W., Mackey, M. D. & Mackey, D.J. (1996). Analysis of phytoplankton of the Australian sector of the Southern Ocean: composition of microscopy and size frequency data with interpretations of pigment HPLC data using the CHEMTAX matrix factorization program. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 144: 285- 298.

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.

Zaytsev, O., & Cervantes-Duarte, R. (2018). Nutrient flux estimates in a tidal basin: A case study of Magdalena lagoon, Mexican Pacific coast. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 207, 16–29.

Anexos

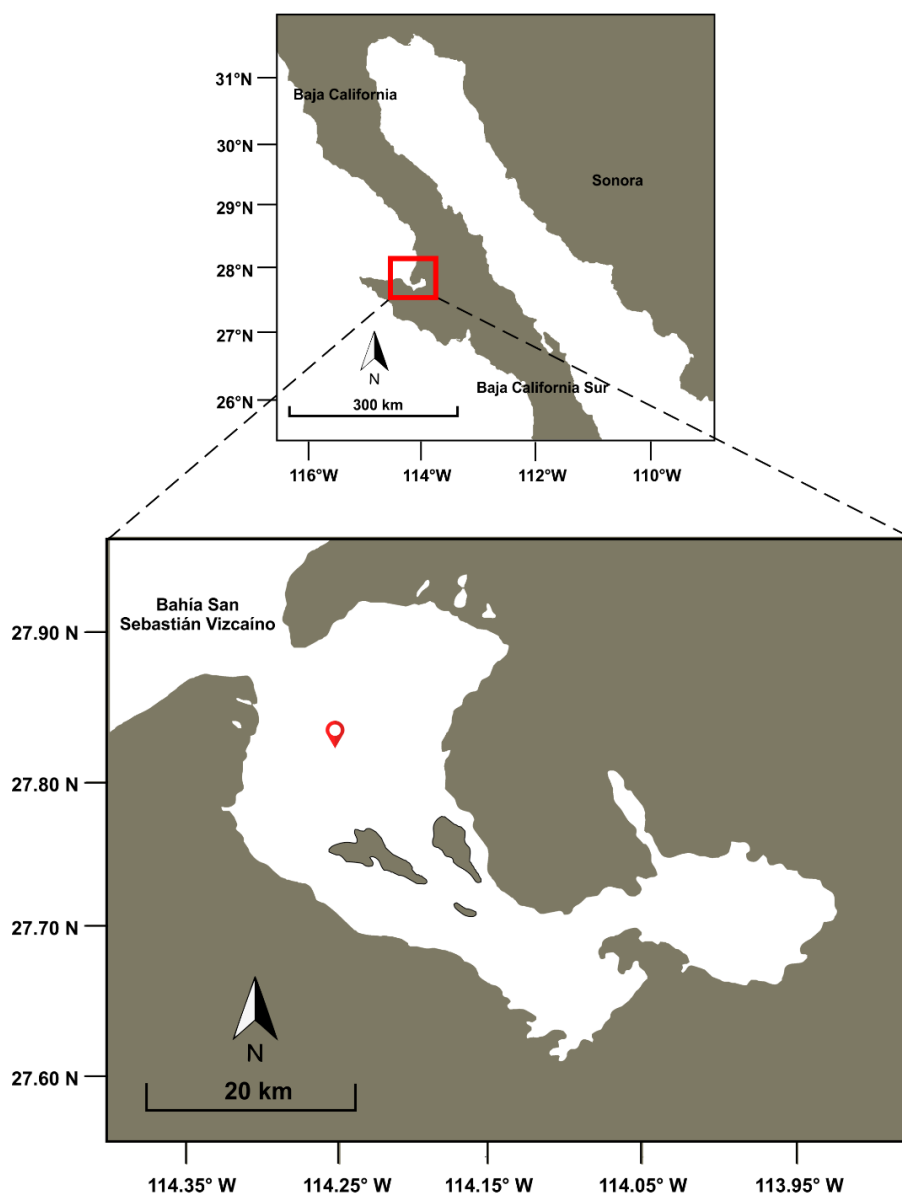
Anexo 1. Matriz promedio resultante de concentración de pigmentos (mg m^{-3}), realizada a partir de las ocho matrices de salida generadas por CHEMTAX con el menor error cuadrático medio.

Muestra	Diatomeas	Dinoflagelados	Primnesiofitas	Clorofitas	Criptofitas	Prasinofitas	Cianobacterias	Crisofitas
1	0.359976	0.001152	0.087905	0.176808	0.304307	0.18795	0.02425	0
2	0.209034	0.000981	0.107568	0.125538	0.145527	0.1364	0.047673	0.01709
3	0.460928	0.00196	0.08135	0.198118	0.358686	0.174862	0	0
4	0.145016	0.00044	0.113493	0.040699	0.119857	0.132777	0.07195	0.021411
5	0.117096	0.004086	0.003306	0.366653	0.470654	0.126377	0	0.009464
6	0.159127	0.000191	0.135068	0.049766	0.067035	0.096461	0.059127	0.022802
7	0.214232	0	0.133644	0.193509	0.329854	0.241304	0.042294	0
8	0.142064	0.000617	0.048316	0.122745	0.251929	0.133666	0.013447	0
9	0.290449	0.003143	0.081281	0.116498	0.579248	0.217758	0	0.0005
10	0.023952	0	0.077641	0.032414	0	0.024925	0.025658	0.022592
11	0.395897	0.055887	0.09971	0.124069	0.330846	0.15895	0	0
12	0.601324	0.000196	0.108452	0.022653	0.328111	0.196621	0	0.001501
13	0.411552	0	0.104398	0.467929	0.73336	0.266863	0	0
14	0.157607	0	0.116905	0.038613	0	0.048842	0.093771	0.029435
15	0.166725	0	0.174844	0.037553	0.061172	0.079413	0.041219	0.049836
16	0.276143	0.005194	0.083311	0.308621	0.643641	0.292263	0	0.001696
17	0.340592	0.087982	0.027584	0.704482	0.00946	0.158471	0	0.003415
18	0.212532	0.000133	0.156493	0.04717	0.117626	0.108736	0.065033	0.033256
19	0.248934	0.005783	0.151001	0.072426	0.014492	0	0.07749	0
20	0.232562	0	0.047077	0.209742	0.16545	0.120285	0.065663	0
21	0.392396	0	0.148433	0.183959	0.128088	0.089457	0.08503	0
22	0.363956	0	0.177887	0.180292	0.035031	0.009397	0.045754	0
23	1.223262	0.030783	0.116017	0.213111	0.183874	0.110646	0.07605	0
24	0.992285	0.003389	0.022351	0.489388	0.223798	0.066729	0.111061	0.004345
25	1.252864	0.03326	0.119641	0.290052	0.198949	0.113513	0.067075	0
26	0.16681	0.089568	0.11501	0.038586	0.193446	0.072368	0.049505	0
27	0.975831	0.06984	0.135074	0.236559	0.160993	0.110863	0.123803	0
28	0.198235	0.00144	0.066087	0.146542	0.278411	0.191455	0.116114	0
29	0.266993	0.038346	0.15278	0.48554	0.084476	0.059729	0.157665	0.009169
30	0.166105	0.047097	0.053531	0.141948	0.167428	0.116168	0.169042	0
31	0.263409	0.040371	0.094457	0.244637	0.202628	0.176353	0.095363	0
32	0.272387	0.038774	0.177066	0.159767	0.065147	0.101477	0.051727	0.005667
33	0.216578	0.026984	0.061749	0.150586	0.256106	0.147082	0.063393	0
34	0.072485	0.025574	0.091546	0.090065	0.267908	0.084878	0.007234	0
35	0.270422	0.03122	0.102717	0.162409	0.200232	0.177156	0.092335	0.009901

Anexo 2. Mediana de las variables: Temperatura (°C), Salinidad (ups) y Chla (mg m⁻³) para cada una de las temporadas, así como los valores medios y número de datos (n).

Temporada	Temperatura (°C)			Salinidad (ups)			Chla (mg m ⁻³)		
	Media	Mediana	n	Media	Mediana	n	Media	Mediana	n
Cálida	22.7	22.8	9	37.1	37.4	9	1.30	1.03	8
Transición Negativa	20.8	20.8	9	33.4	32.4	9	0.94	1.17	8
Fría	19.8	19.8	9	39.6	38.2	9	1.04	1.10	8
Transición Positiva	21.4	21.6	9	34.6	33.8	9	0.96	0.96	8

Anexo 3. El marcador rojo representa el sitio de donde se extrajo la información satelital para SST y Chla_{sat}. Coordenadas: 27° 49' 12.398" -114° 13' 59.437"



Anexo 4. Series de tiempo de SST y Chla_{sat} de dos sitios costeros dentro de BSV. a) Corresponde a las coordenadas: -114.45 y 27.99 b) Corresponde a las coordenadas: -114.32 y 28.41.

