

Estructura de la comunidad fitoplanctónica en Laguna Ojo de Liebre (B. C. S., México) en febrero de 2018

Phytoplankton community structure at Laguna Ojo de Liebre (BCS, Mexico) during February 2018

Génesis Verenice Sánchez-Cobarrubias*, Jorge López-Calderón*✉,
Mary Carmen Ruiz-de la Torre*, Adriana González-Silvera*

Sánchez-Cobarrubias, G. V., López-Calderón, J., Ruiz-de la Torre, M. C., &
González-Silvera, A. (2021). Estructura de la comunidad fitoplanctónica en
Laguna Ojo de Liebre (B. C. S., México) en febrero de 2018. Investigación y
Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes, 29(83), e2752,
<https://doi.org/10.33064/iycuaa2021832752>

RESUMEN

El propósito de este estudio fue determinar la estructura de la comunidad del fitoplancton para el mes de febrero de 2018 en Laguna Ojo de Liebre, un sitio de gran importancia para la biodiversidad de la Reserva de la Biósfera El Vizcaíno. Los parámetros índices de diversidad y abundancia de los principales grupos del fitoplancton se utilizaron para relacionarlos con las variables oceanográficas temperatura y salinidad. Se cuantificó al fitoplancton en tres grupos de tamaño: microfitoplancton (diatomeas, dinoflagelados), nanofitoplancton (cromofitas, criptofitas) y picofitoplancton (cianobacterias, proclorofitas) utilizando análisis por microscopía óptica y quimiotaxonomía (HPLC). Este último método indicó a la fucoxantina (pigmento característico del grupo de las diatomeas) como el carotenoide fotosintético más abundante y predominante en toda la laguna. La temperatura presentó una relación inversa con el microfitoplancton y directa con el nanofitoplancton y el picofitoplancton; el gradiente salino mostró una asociación directa con la distribución de la clorofila total.

Palabras clave: clorofila *a*; diatomeas pennadas; microfitoplancton; picofitoplancton; pigmentos diagnóstico.

Enviado: 8 de julio de 2020 Aceptado: 3 de mayo de 2021

*Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California. Carretera Tijuana-Ensenada 3917, Col. Playitas, C. P. 22860, Ensenada, B.C., México. Correo electrónico: verenice.sanchez@uabc.edu.mx; jorge.lopez67@uabc.edu.mx; mary.ruiz@uabc.edu.mx; adriana.gonzalez@uabc.edu.mx ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6452-9104>; <https://orcid.org/0000-0002-2517-7086>; <https://orcid.org/0000-0002-5566-6294>; <https://orcid.org/0000-0001-7817-5343>

✉Autor para correspondencia

ABSTRACT

The purpose of this study was to determine phytoplankton community structure in February 2018 at Laguna Ojo de Liebre, a relevant site for biodiversity at El Vizcaino Biosphere Reserve. The parameters: diversity and abundance indices of the main phytoplankton groups were used to relate them to the oceanographic variables temperature and salinity. Phytoplankton was quantified in three size groups: microphytoplankton (diatoms, dinoflagellates), nanophytoplankton (Chromophytes, Cryptophytes), and picophytoplankton (Cyanobacteria, Prochlorophytes) using optical microscopy and chemotaxonomy (HPLC) analyses. This last method indicated fucoxanthin (pigment characteristic of diatoms) was the most abundant and predominant photosynthetic carotenoid in the whole lagoon. Temperature showed an inverse relationship with microphytoplankton and a direct relationship with nanophytoplankton and picophytoplankton; saline gradient showed a direct association with the distribution of total chlorophyll.

Keywords: chlorophyll *a*; pennate diatoms; microphytoplankton; picophytoplankton; diagnostic pigments.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la costa de la península de Baja California existen 22 sistemas lagunares-estuarinos, en Baja California Sur debido a la escasa precipitación pluvial todos los sistemas lagunares presentan una composición anti-estuarina (Acevedo-Cervantes, 1997; Contreras, 1985). Una de estas es Laguna Ojo de Liebre (LOL), dentro de la Reserva de la Biósfera El Vizcaíno, decretada en noviembre de 1988 por mandato presidencial y publicada en el *Diario Oficial de la Federación*. Esta distinción se debió a la importancia cultural, histórica, recreativa, pesquera y ecológica que representa (Carabias-Lilo et al., 2000).

La mayoría de las publicaciones científicas se han dedicado a estudiar su componente faunístico (Alvarado, Galindo, Iwadane, Migoya, & Vázquez, 1986; Maguiño-Napurí, Maeda-Martínez, Moctezuma-Cano, Valle-Meza, & Acosta-Salmón, 2011), pero no se han realizado muchos estudios sobre sus productores primarios (fitoplancton, macroalgas, pastos marinos y plantas halófitas). Millán-Núñez, Ripa-Soleno y Aguirre-Buenfil (1987) elaboraron el primer y único registro que existe sobre la composición y abundancia fitoplanctónica de este humedal. No obstante, se encuentran las investigaciones realizadas por Arellano-Martínez (2005) y Arellano-Martínez et al. (2011), en donde se resaltó la estrecha relación entre los florecimientos de fitoplancton y el ciclo de vida de la almeja mano de león (*Nodipeecten subnodosus*).

Las microalgas o fitoplancton comprenden a aquellos microorganismos fotosintetizadores que viven en medio acuático (ríos, lagunas, lagos y océanos). El fitoplancton puede ser agrupado en tres clases de acuerdo con su tamaño: microfitoplancton (20 - 200 μm), nanofitoplancton (2 - 20 μm) y picofitoplancton (0.2 - 2 μm); este se distribuye aproximadamente en 19 clases de siete divisiones taxonómicas; las principales, por su abundancia y riqueza, son Bacillariophyta (diatomeas) y Dinophyta (dinoflagelados); estas divisiones pertenecen al microfitoplancton (Jeffrey & Vesk, 1997). Estos organismos participan en procesos biogeoquímicos de diversos elementos, se encargan de la incorporación y transformación de elementos inorgánicos a formas

orgánicas, que constituyen la materia orgánica requerida por los heterótrofos para llevar a cabo su crecimiento y desarrollo.

El fitoplancton es un elemento importante de la base de la trama trófica de todo ecosistema acuático; por tanto, variaciones en la estructura de la comunidad de microalgas pueden resultar en cambios en la comunidad en niveles tróficos superiores: productores secundarios (herbívoros) o terciarios (carnívoros); es por esto que el fitoplancton puede ser utilizado como un indicador del estado trófico de un ecosistema (Falkowski & Oliver, 2007). Este fue el propósito de la presente investigación: determinar la condición de LOL en términos de la comunidad del fitoplancton en el mes de febrero de 2018 y compararlo con lo reportado por Millán-Núñez et al. (1987) en marzo de 1982. Nuestros objetivos fueron:

- 1) Identificar a nivel género la riqueza de la comunidad fitoplanctónica.
- 2) Estimar la abundancia y dominancia de los principales grupos y géneros del fitoplancton.
- 3) Relacionar la temperatura y la salinidad con el patrón de distribución del fitoplancton.

MATERIALES Y MÉTODOS

Laguna Ojo de Liebre pertenece a un complejo lagunar formado además por Laguna Guerrero Negro y Laguna Manuela, siendo la mayor de las tres. Estas se separan por un extenso campo de dunas de origen eólico tipo barján, cubriendo un área de 40 km² (Inman, Ewing, & Corliss, 1966). Como resultado de la interacción con el viento las pendientes pronunciadas de las dunas se localizan del lado interno de las lagunas, las cuales son muy escarpadas y llegan a fusionarse con la pendiente de los canales de marea al interior de las lagunas (Postma, 1965).

LOL se encuentra situada en el Pacífico noroeste mexicano, entre los paralelos 27° 35' y 27° 52' de latitud norte y entre los meridianos 113° 58' y 114° 10' de longitud oeste (figura 1). Cubre un área aproximada de 480 km², se extiende aproximadamente 40 km tierra adentro con un ancho promedio de 6 km y se comunica al mar abierto por una boca que mide cerca de 3.7 km. En su interior se encuentran cuatro islas principales: Conchas, Brosas, Piedras y Choya (Rodríguez-Padilla, 2013). Presenta batimetría irregular; además de una gran cantidad de bajos, que son cubiertos conforme la marea asciende o, en caso contrario, cuando esta desciende.

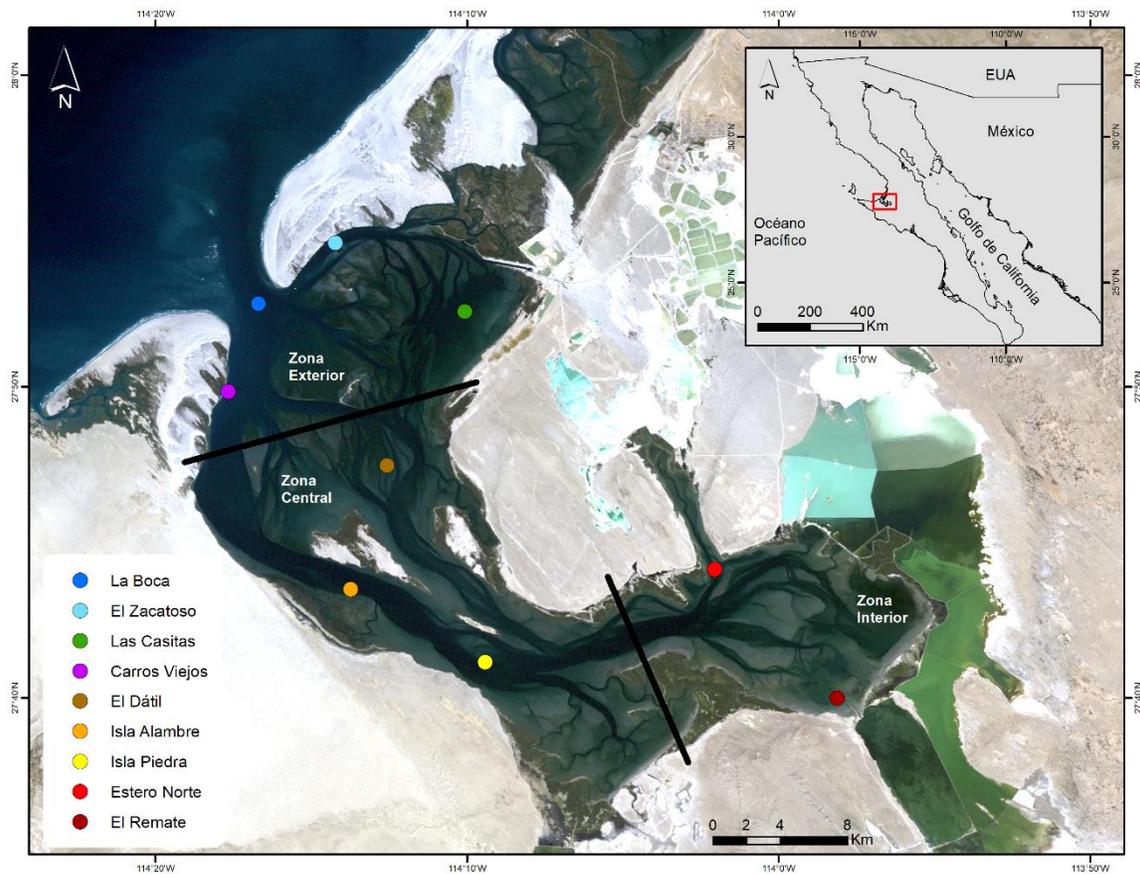


Figura 1. Imagen Landsat de Laguna Ojo de Liebre con la simbología para las diferentes estaciones de muestreo utilizadas en este estudio. En el mapa insertado se aprecia la ubicación de la laguna en la península de Baja California. Elaboración propia.

El sistema lagunar es hipersalino con extensos campos de sal en la cabeza de LOL, en áreas que se inundan durante las mareas vivas. Los rangos de temperatura y salinidad para Laguna Guerrero Negro son de 21.58 a 23.35 °C y de 34.17 a 35.62 ups, respectivamente, por lo que la estratificación no es muy grande (Postma, 1965). Para LOL los rangos de temperatura son de entre 14.69 a 27.29 °C y para la salinidad de 34.03 a 49.59 ups (Rodríguez-Padilla, 2013). Las corrientes predominantes no rebasan los 4 km/h, pero pueden ser muy turbulentas en la zona de canales o zonas más profundas; la altura de la marea está entre 1.2 y 2.7 m (Gutiérrez de Velasco, 2000).

Trabajo de campo

Se realizó un recorrido el día 7 de febrero de 2018 utilizando una embarcación con motor fuera de borda. Durante el recorrido se registraron valores de profundidad, salinidad y temperatura utilizando un sensor CTD (conductivity-temperature-depth, modelo YSI CastAway) en cada una de nueve estaciones. Estas se definieron con el propósito de replicar el patrón de muestreo que fue definido por Millán-Núñez et al. (1987). Para este estudio, LOL se dividió en tres secciones: exterior, central e interior (figura 1). En cada estación se tomaron dos muestras superficiales de agua, la primera para análisis por microscopía óptica y cada una se almacenó en una botella de plástico de 250 ml. Esta

muestra se fijó con 2 ml de lugol alcalino (acetato de sodio) y se mantuvieron en oscuridad para evitar su deterioro.

La segunda muestra se utilizó para análisis por HPLC; cada muestra se colectó en botellas de 1 l cubiertas con cinta gris para prevenir el paso de la luz y se mantuvieron en hielo. Posteriormente se concentró el fitoplancton al pasar este volumen de agua por un filtro de fibra de vidrio GF/F, utilizando una bomba de vacío marca Gast con filtración negativa. Cada filtro se envolvió en papel aluminio, se etiquetó y se almacenó en nitrógeno líquido, hasta su extracción en el laboratorio.

Análisis en laboratorio

En el Laboratorio de Productividad Primaria (UABC - FCM) se realizaron los análisis de microscopía óptica y quimiotaxonomía (HPLC) siguiendo los métodos propuestos por Thomas (2012), Utermöhl (1958) y Van Heukelem y Thomas (2001). El análisis cuantitativo de la comunidad de microfitoplancton se realizó utilizando un microscopio invertido Zeiss IM. Se utilizó una cámara de sedimentación de 50 ml y se dejó reposar cada muestra fijada con lugol alcalino durante un periodo de 24 h.

La cuantificación se realizó con los aumentos de 200x y 400x para visualizar las estructuras de las células con mayor detalle. El microfitoplancton fue identificado hasta nivel género mediante las guías de identificación taxonómica de Cupp (1943), López-Osorio, Canon-Páez y Gracia-Escobar (2011) y McGaraghan (2018). La extracción de pigmentos fotosintéticos de las muestras y el cálculo de su concentración se realizó siguiendo el método descrito en Thomas (2012) usando un sistema HPLC Agilent 1260 LC.

Diversidad Alfa y Beta

Se calculó el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') en base ln (Magurran, 2003) para determinar la diversidad de géneros en cada una de las estaciones, dicho índice toma valores entre 0 y 5. Asimismo, se calculó la diversidad máxima (H' Máx.), a partir del ln de la riqueza. Se utilizó el índice de equidad de Pielou (J') para conocer la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada, que fue determinado: $J' = H'/H'$ Máx; este índice toma valores de 0 a 1. La similitud entre estaciones se calculó mediante el coeficiente de similitud de Sorensen (CCs) cualitativo, el cual se encuentra en función del número de géneros que posee cada una y del número de géneros que comparten en común, tomando valores de 0 a 1.

Contribución a la clorofila *a* total

Utilizando los pigmentos fotosintéticos obtenidos mediante el análisis de HPLC se aplicaron las ecuaciones propuestas por Vidussi, Claustre, Manca, Luchetta y Marty (2001) y modificadas por Uitz, Claustre, Morel y Hooker (2006), con las cuales se determinó el porcentaje de clorofila *a* asociado con los tres grupos de tamaño de fitoplancton (microfitoplancton (fmicro), nanofitoplancton (fnano) y picofitoplancton (fpico)). Estas ecuaciones consideran siete pigmentos diagnóstico: fucoxantina, zeaxantina, peridina, alloxantina, clorofila *b*, 19'-butanoiloxifucoxantina y 19'-hexanoiloxifucoxantina.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de componente principal (ACP) con la finalidad de identificar los parámetros que expliquen patrones de distribución o asociación de las variables oceanográficas y biológicas.

RESULTADOS

A continuación, se describen los resultados obtenidos para determinar la condición de Laguna Ojo de Liebre en términos de la comunidad de fitoplancton para el mes de febrero de 2018 mediante microscopía óptica y quimiotaenología.

Microscopía óptica

Se identificaron 19 géneros de microalgas en la laguna en estudio, entre los cuales destaca el grupo de las diatomeas pennadas (tabla 1). Los géneros más representativos incluyen a *Chaetoceros* sp. y *Navicula* sp. (diatomea central y pennada, respectivamente), que fueron los únicos presentes en las nueve estaciones.

Tabla 1

Listado de géneros presentes en las estaciones de muestreo. Se asignaron símbolos para denotar los diferentes grupos: diatomeas pennadas (x), diatomeas centrales (y), dinoflagelados (z) y silicoflagelados (+). Con un asterisco se marcan los géneros que no habían sido reportados anteriormente para la laguna

Género	La Boca	El Zacatoso	El Dátil	Carros Viejos	El Remate	Isla Alambre	Isla Piedra	Las Casitas	Estero Norte
<i>Amphiprora</i> sp.*			x					x	x
<i>Diploneis</i> sp.			x	x	x	x		x	x
<i>Licmophora</i> sp.*			x	x					
<i>Navicula</i> sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Nitzschia</i> sp.	x	x		x	x			x	
<i>Pleurosigma</i> sp.	x	x	x		x	x	x	x	x
<i>Pseudonitzschia</i> sp.*	x	x	x	x	x				
<i>Striatella</i> sp.*		x	x	x		x			
<i>Thalassionema</i> sp.		x	x	x	x		x	x	x
<i>Bacteriastrium</i> sp.*		y				y	y	y	
<i>Chaetoceros</i> sp.	y	y	y	y	y	y	y	y	y
<i>Coscinudiscus</i> sp.		y	y	y	y		y		y
<i>Guinardia</i> sp.*	y	y		y			y	y	
<i>Leptocylindrus</i> sp.*	y	y		y	y	y	y	y	y
<i>Rhizosolenia</i> sp.	y	y		y	y	y	y	y	y
<i>Ceratium</i> sp.*	z	z		z					
<i>Prorocentrum</i> sp.*		z	z	z		z		z	
<i>Peridinium</i> sp.			z						
<i>Dictyocha</i> sp.*	+	+	+	+					

Nota: Elaboración propia.

La abundancia de géneros disminuyó hacia el interior de la laguna estudiada. Las estaciones El Zacatoso y Carros Viejos tuvieron el mayor número de géneros (15), mientras que la menor cantidad (nueve) se presentó en las estaciones Isla Piedra, Isla Alambre y Estero Norte. Por otro lado, *Peridinium* sp. fue el género menos abundante en LOL, encontrándose solamente en la estación El Dátil. Las diatomeas pennadas contribuyeron con más de 50% a la abundancia en todas las estaciones, siendo además el grupo más

frecuente. Las diatomeas centrales ocuparon el segundo lugar en representatividad y fueron más abundantes en la zona exterior. Por otro lado, los dinoflagelados fueron observados solamente en seis estaciones y en cuatro silicoflagelados (tabla 1).

Las diatomeas centrales y pennadas presentaron un patrón de distribución espacial bimodal (figura 2), con mayores abundancias en las zonas exterior (cercana a La Boca, ≈ 926 cél l⁻¹) e interior (cercana a El Remate, ≈ 750 cél l⁻¹) y abundancia mínima en la zona central (cercana a las islas, ≈ 70 cél l⁻¹). Cabe recalcar que en la figura 2 la máxima abundancia promedio del grupo de diatomeas pennadas en Estero Norte (5380 cél l⁻¹), fue resultado de un solo género (*Thalassionema* sp., 26100 cél l⁻¹).

Por otro lado, grupos menos abundantes fueron los dinoflagelados y silicoflagelados. Los primeros mostraron un patrón inverso, con mayor abundancia promedio en la zona central (Carros Viejos, 100 cél l⁻¹) en comparación con las zonas exterior e interior; mientras que los segundos fueron el grupo menos abundante, presentes principalmente en la zona exterior de la laguna analizada, siendo más abundantes en la estación El Zacatoso (60 cél l⁻¹). La mayoría de los grupos no rebasaron las 1000 cél l⁻¹, especialmente los dinoflagelados y silicoflagelados; las diatomeas pennadas fueron el único grupo cuya abundancia promedio superó este límite, sobre todo en las estaciones de la zona interior (Estero Norte y El Remate).

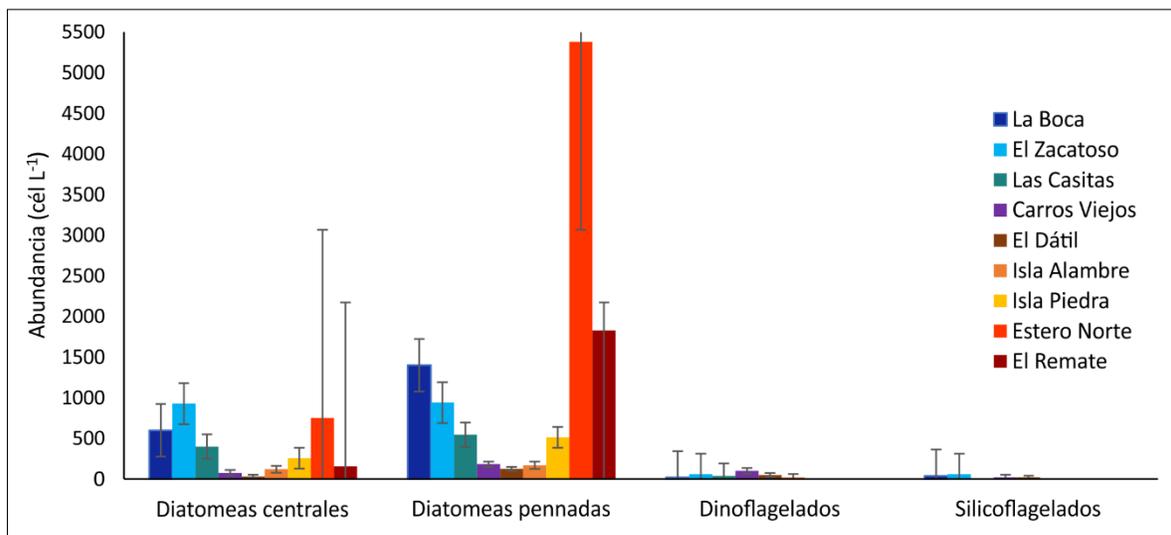


Figura 2. Abundancia promedio y desviación estándar de los cuatro grupos taxonómicos observados en las nueve estaciones de Laguna Ojo de Liebre (febrero 2018).
Elaboración propia.

Diversidad y similitud

Se observó que la diversidad (H') presentó valores más altos en las zonas exterior y central, con oscilación de 1.40 a 2.33, siendo Carros Viejos la estación más diversa ($H' = 2.33$) (figura 3), mientras que en la zona interior (de 0.58 a 1.33) Estero Norte presentó la menor diversidad ($H' = 0.58$). La diversidad máxima (H' Máx.) se mantuvo en el intervalo de 2.71 a 2.20, con la zona exterior con los valores más altos; mientras que en la central e interior se registraron los más bajos. El índice de equidad (J') presentó un intervalo de 0.26 a 0.93, Isla Alambre fue la

estación con mayor homogeneidad ($J' = 0.93$), mientras que Estero Norte obtuvo la menor ($J = 0.26$).

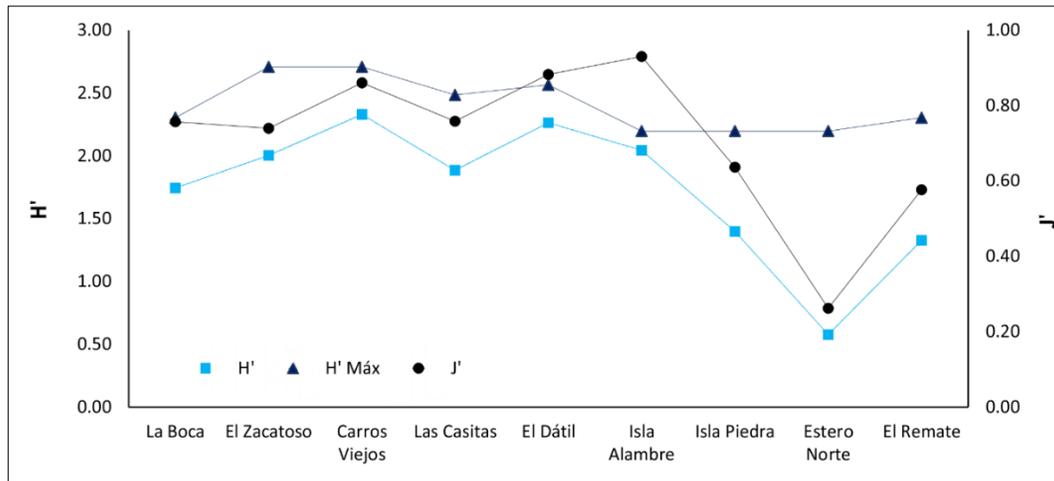


Figura 3. El índice de Shannon-Wiener se muestra en cuadros celestes expresando la diversidad (H'), la diversidad máxima (H' Máx.) en triángulos azul oscuro y el índice de equidad de Pielou (J') en círculos negros. Elaboración propia.

Para evaluar la similitud entre estaciones, se empleó el índice de similitud de Sorensen (CCs) cualitativo (figura 4). Se graficaron aquellos pares de estaciones cuya similitud fue ≥ 0.70 , lo que arrojó 12 grupos. Se observaron tres grupos: $CCs < 0.75$, $CCs < 0.80$ y $CCs \geq 0.80$. El primer grupo fue el más frecuente y mostró similitud entre seis pares de estaciones de las tres zonas; el segundo también se presentó en las tres zonas, pero se redujo su frecuencia a cuatro pares. El último grupo se presentó solo en dos zonas (exterior e interior) y fue el único que no formó pares con estaciones de zonas distintas.

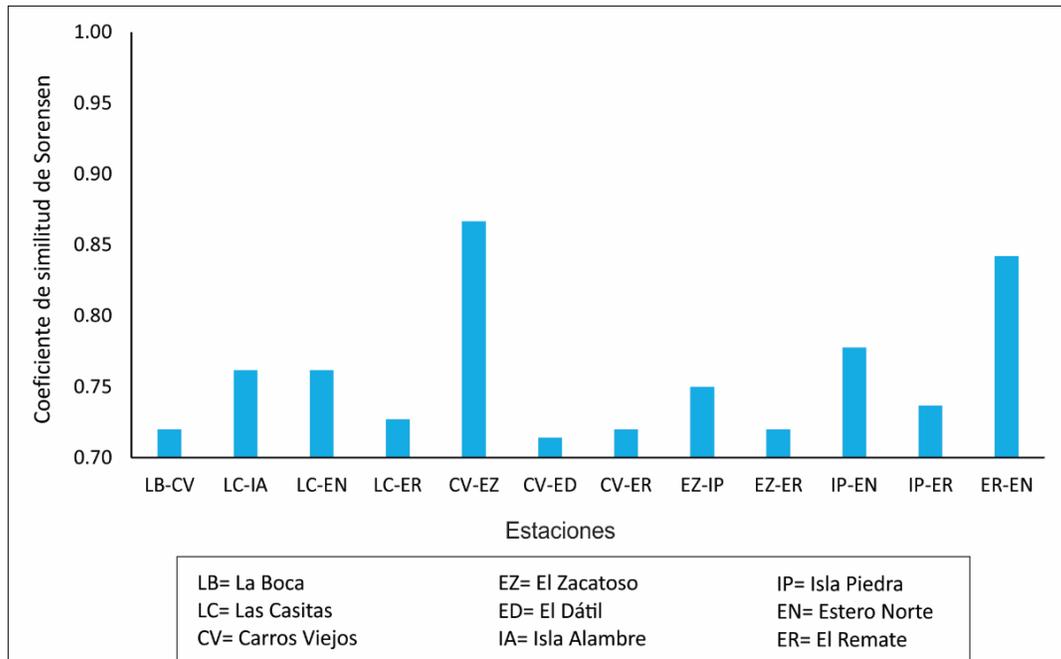


Figura 4. Coeficiente de similitud de Sorensen (CCs) para grupos de estaciones con una similitud ≥ 0.70 . Elaboración propia.

Análisis de componentes principales

Se obtuvieron dos componentes significativos, los cuales permiten explicar la varianza total de los datos en 84%. En el primer componente (CP1) se encontraron las variables asociadas a las clases de tamaño del fitoplancton (fmicro, fnano y fpico), así como la temperatura. Mientras que en el segundo componente (CP2) se concentró la variabilidad asociada con la clorofila total y la salinidad (tabla 2). La presencia de las variables en un mismo componente indica relación entre ellas, de tal forma que la contribución del nanofitoplancton y picofitoplancton a la clorofila total respondió de forma directa con la temperatura. El caso contrario se observó en la fracción del microfitoplancton, donde esta variable presentó un signo negativo, denotando una relación inversa con la temperatura. Por otro lado, en el segundo componente, la clorofila total y la salinidad mostraron una relación positiva.

Tabla 2
Análisis de componente principal (ACP). En negritas se marcan las variables con una asociación significativa para cada componente

Variable	CP1	CP2
Microfitoplancton	-0.972	-0.203
Nanofitoplancton	0.891	-0.027
Picofitoplancton	0.901	0.299
Clorofila total	-0.010	-0.932
Temperatura	0.825	-0.275
Salinidad	0.275	-0.820
Eigenvalor	3.307	1.746
Proporción	0.551	0.291
Acumulativo	0.551	0.842

Nota: Elaboración propia.

Clorofila a

La clorofila a presentó valores de 0.6 a 1.3 mg m⁻³, la mayor concentración se encontró en Estero Norte y coincide con el máximo en abundancia celular (datos no mostrados). Al considerar los promedios de clorofila a para las tres zonas en las que se dividió la laguna estudiada, se observó que aumenta hacia el interior de la misma. La zona exterior fue la que presentó menores valores (0.8 mg m⁻³); en la zona central aumentó a 1.04 mg m⁻³, mientras que en la zona interior se obtuvo la concentración máxima (1.2 mg m⁻³).

Estructura del fitoplancton

La clorofila a en LOL fue producto principalmente del microfitoplancton, seguido del picofitoplancton y como menor contribuyente se encontró el nanofitoplancton. La relación entre microfitoplancton y picofitoplancton fue inversa. En la figura 5 se muestra la participación de los grupos del fitoplancton a la sumatoria de la clorofila a, y se observa que en cinco de las nueve estaciones el grupo que más contribuyó fue el microfitoplancton (dos estaciones en la zona exterior, dos en la zona central, y una en la zona interior). En tres de las estaciones restantes el grupo con mayor importancia fue el picofitoplancton (una estación en la zona exterior, una en la zona central y una en la zona interior, ver figura 1) y solamente en Carros Viejos el picofitoplancton y el microfitoplancton tuvieron el mismo aporte al total de la clorofila a.

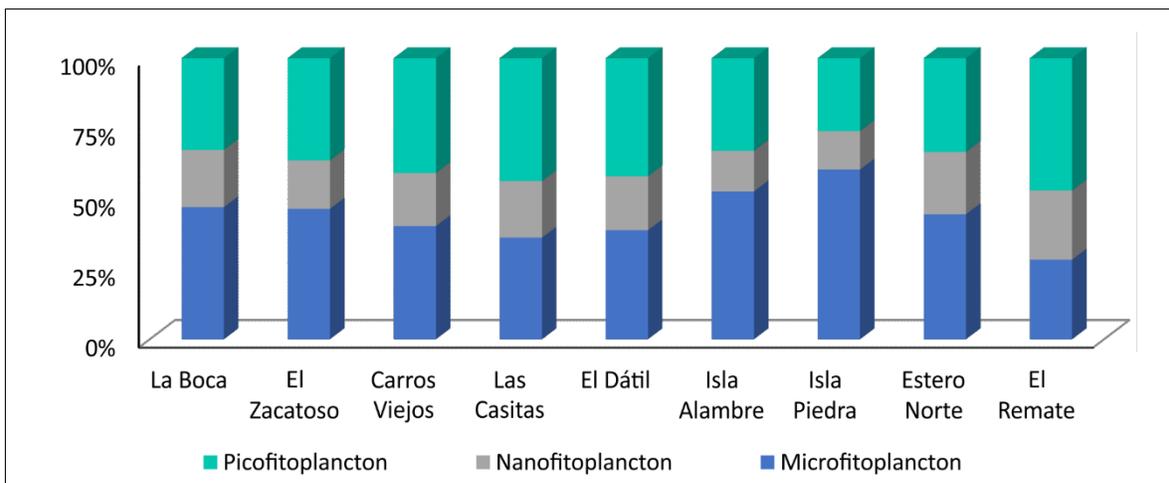


Figura 5. Porcentaje de clorofila a asociado a los diferentes tamaños de la comunidad del fitoplancton, estimados mediante las ecuaciones de Uitz et al. (2006). Elaboración propia.

DISCUSIÓN

Esta es la segunda contribución publicada sobre la estructura de la comunidad del fitoplancton para Laguna Ojo de Liebre, después del trabajo pionero de Millán-Núñez et al. (1987) hace más de tres décadas y la primera que aplica el análisis de pigmentos por HPLC para complementar la descripción de la comunidad. Es fundamental continuar con este tipo de investigaciones acerca de los productores primarios de los ecosistemas costeros

debido a su alta variabilidad, muestra de ello es el hecho de que en este trabajo se registraron 10 géneros nuevos y nueve géneros reportados para marzo 1982 no fueron observados en febrero de 2018.

En cuanto a la diversidad fitoplanctónica, el índice de diversidad de Shannon-Wiener (H') de la laguna analizada presentó un intervalo de variación entre 0.58 y 2.33, de manera que la riqueza de géneros taxonómicos se considera baja para el periodo de muestreo. De acuerdo con Margalef (1972), el índice de diversidad de Shannon-Wiener va a variar en general entre 1.5 y 3.5. Valores menores a 2 representan una baja diversidad, mientras que de 2 a 3.5 son clasificados como medios, y superiores a 3.5 indican una alta diversidad.

Por otro lado, el índice de equidad de Pielou mostró que la mayor homogeneidad respecto a la abundancia de géneros se concentra en la zonas exterior y central ($J' > 0.6$), siendo la zona interior en particular una zona poco homogénea ($J' = 0.26$ a 0.58). Lo anterior indica que la zona interior, al presentar condiciones ambientales más extremas como temperatura y salinidad, favorece la abundancia de un menor número de géneros, como ocurrió en el Estero Norte con la diatomea pennada *Thalassionema* sp. Respecto al coeficiente de similitud de Sorensen (CCs), sus valores máximos (≥ 0.80) muestran que los extremos de la laguna en estudio son homogéneos en cuanto a la distribución de géneros (Carros Viejos-El Zacatoso = 0.87 vs. El Remate-Estero Norte = 0.84), en comparación con la zona central que es una zona de transición, en donde las tres estaciones (Isla Alambre, Isla Piedra y El Dátil) tuvieron valores de similitud < 0.7 entre sí (datos no mostrados).

Con base en el promedio de clorofila *a* obtenido en este muestreo (1 mg m^{-3}) se clasificó a LOL como un sistema mesotrófico, de acuerdo con la clasificación propuesta por Barocio-León, Millán-Núñez, Santamaría-Del Ángel, González-Silvera y Trees (2006). Sin embargo, al comparar las abundancias reportadas por Millán-Núñez et al. (1987) con las obtenidas en el presente estudio se obtuvieron diferencias considerables. Para diatomeas céntricas se habían reportado abundancias de 25000 cél l^{-1} , mientras que en el presente trabajo solamente en las estaciones La Boca, El Remate y Estero Norte se observaron valores superiores a 1000 cél l^{-1} (solamente para diatomeas pennadas), lo que indica un considerable decremento para el microfitoplancton entre ambos periodos. A pesar de esta gran diferencia, los valores máximos de clorofila *a* reportados por Millán-Núñez et al. (1987) fueron equivalentes a los obtenidos aquí: 1.2 vs 1.3 mg m^{-3} , respectivamente.

Un cambio de aproximadamente un orden de magnitud en la presencia de células grandes (microfitoplancton) que no impacta de manera significativa la concentración de clorofila *a* sugiere que grupos más pequeños de fitoplancton contribuyen al total de clorofila *a*, como se cuantificó con el grupo de picofitoplancton, que constituye 37% de la comunidad de microalgas de LOL. Sin embargo, esta reducción en la presencia de células grandes implica un cambio en la estructura de la comunidad de fitoplancton, lo cual puede tener implicaciones relevantes en niveles tróficos superiores (Jiménez-Quiroz et al., 2019).

El análisis por HPLC hizo posible cuantificar la presencia de los grupos más pequeños del fitoplancton (fnano y fpico) en la laguna estudiada que no pueden ser detectados en un análisis de la estructura de la comunidad usando solamente el microscopio óptico. Gracias a esto, también es posible comparar un ambiente mesotrófico como lo es LOL, dominada en casi 50% por microfitoplancton (diatomeas), con ambientes oligotróficos

como el Domo de Costa Rica en el Pacífico Este Tropical. Aquí, Taylor et al. (2016) determinaron que la contribución a la biomasa fitoplanctónica está dominada por el picofitoplancton con alrededor de 60% del total.

La diferencia de tamaño en los productores primarios microscópicos tiene implicaciones relevantes, ya que sistemas dominados por células grandes (microfitoplancton) se caracterizan por la actividad trófica del pastoreo o herbivoría del zooplancton, y un flujo alto de carbono a niveles tróficos superiores, junto con una mayor exportación de materia orgánica hacia el océano profundo (*i.e.* bomba biológica). Por otro lado, los sistemas dominados por células pequeñas (picofitoplancton) se caracterizan por una mayor participación trófica del bucle microbiano, que involucra un reciclaje de materia orgánica y reducciones de los flujos de carbono hacia niveles tróficos superiores y de materia orgánica hacia el océano profundo (López-Sandoval, 2013).

Respecto a las variables oceanográficas, el intervalo de temperatura registrado para la laguna en estudio durante el muestreo fue de 1.3 °C (20.5 a 19.2 °C, figura 6) mientras que para marzo de 1982 Millán-Núñez et al. (1987) reportaron un intervalo de 3 °C (18 a 15 °C), lo que podría indicar un aumento de temperatura para LOL.

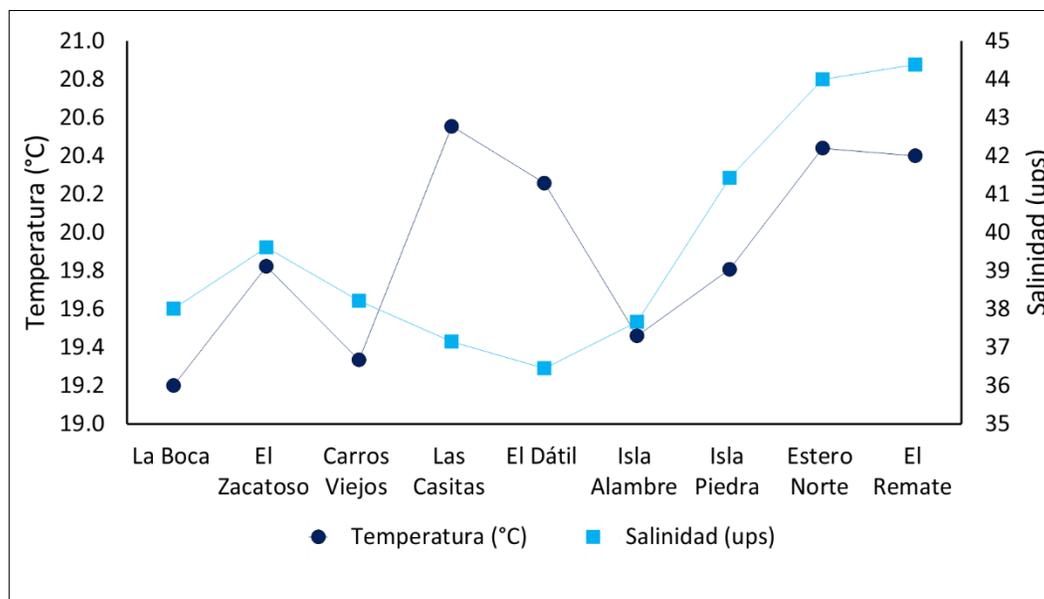


Figura 6. Fluctuación de las variables oceanográficas para la zona de estudio. Los círculos en azul oscuro representan la temperatura (°C), mientras que los cuadros en celeste representan la salinidad. Elaboración propia.

Cívico-Collados (2016) reporta una temperatura promedio para el mes de febrero de 2016 de ≈ 20 °C, similar al máximo obtenido en el presente trabajo. Sin embargo, para 2001 y 2002 Arellano-Martínez (2005) encontraron temperaturas promedio para febrero de 15.9 °C y 17.3 °C, respectivamente, menores incluso que lo reportado para marzo de 1982. Esto habla de la alta variabilidad de la temperatura en esta laguna costera. La batimetría es un factor importante para estos cambios, ya que las temperaturas más bajas se asocian con las zonas más profundas de los canales y las temperaturas mayores con las zonas de los bajos.

CONCLUSIONES

Se encontró que en Laguna Ojo de Liebre el grupo taxonómico de fitoplancton más abundante fueron las diatomeas pennadas, representadas por nueve géneros; *Navicula* sp. fue el único género que estuvo presente en todas las estaciones y *Thalassionema* sp. fue el más dominante (26100 cél l⁻¹) en el Estero Norte (zona interior). El índice de diversidad de Shannon-Wiener se mantuvo en un intervalo entre 0.58 y 2.33, lo que permite definir a la diversidad microfitoplanctónica de LOL como baja para el periodo de muestreo.

Los tres grupos de tamaño del fitoplancton en la laguna estudiada contribuyeron al total de la clorofila *a* en las siguientes proporciones: microfitoplancton (44%), nanofitoplancton (20%) y picofitoplancton (37%). Dado que el valor de clorofila *a* observado (promedio 1.0 mg m⁻³) fue similar a las concentraciones reportadas por Millán-Núñez et al. (1987), de 1.2 mg m⁻³, a pesar de la gran diferencia de la abundancia del microfitoplancton (8 cél l⁻¹ vs. 25000 cél l⁻¹), se plantea que el rol del picofitoplancton toma mayor relevancia para LOL.

El gradiente térmico dentro de LOL se asoció de forma inversa con la fracción de clorofila *a* correspondiente al microfitoplancton, al contrario de las fracciones nanofitoplancton y picofitoplancton; mismas que presentaron una asociación directa con el patrón de distribución de temperatura.

Por otro lado, el gradiente salino mostró una asociación directa con la distribución de la clorofila total.

Este es el primer trabajo publicado para esta laguna sobre la estructura de la comunidad del fitoplancton en los últimos 33 años y el único que aporta información sobre la quimiotaxonomía de la microflora en este humedal (figura 7). Aún hace falta profundizar en la descripción de la dinámica de estos productores primarios, sobre todo ante el actual escenario de cambio climático y recordando que el fitoplancton juega un papel clave para el estado de salud de este ecosistema costero.

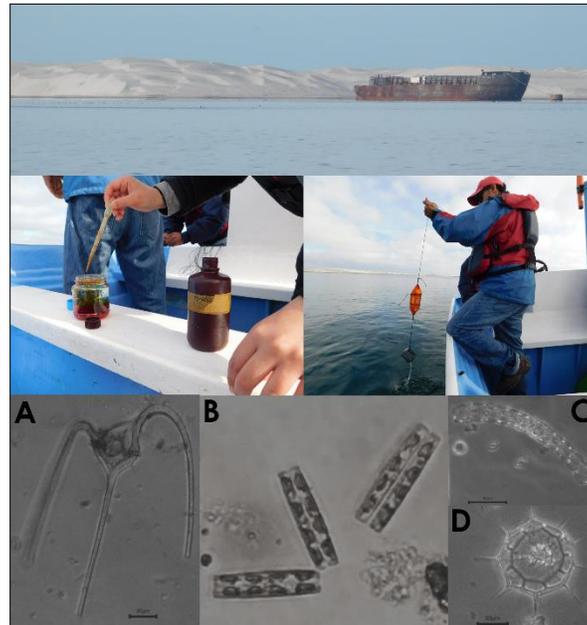


Figura 7. Muestreo sobre la estructura del fitoplancton realizado en Laguna Ojo de Liebre en febrero 2018. A: *Ceratium* sp. B: *Thalassionema* sp. C: *Guinardia* sp. D: *Dictyocha* sp. Elaboración propia.

Agradecimientos

Los autores desean agradecer a la Universidad Autónoma de Baja California por haber financiado esta investigación a través del proyecto 386: "Estructura de la comunidad fitoplanctónica en Laguna Ojo de Liebre como indicador de productividad", como parte de la 2da. Convocatoria Interna de Apoyo a Proyectos de Investigación, modalidad Nuevos Profesores de Tiempo Completo. Un especial agradecimiento a la empresa Exportadora de Sal, S. A. por las facilidades brindadas en el apoyo logístico durante las estancias en Guerrero Negro y en los muestreos; en particular a su personal que, entre otras cosas, ayudó con la conducción de las embarcaciones y los buceos en la laguna: Ing. Fabián Castillo Romero, Joaquín Rivera Rodríguez y Antonio Zaragoza Aguilar.

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.
- Alvarado, J., Galindo, J., Iwadane, M., Migoya, R., & Vázquez, M. (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, B. C. S., México. *Ciencia Pesquera*, 5, 33-49.

- 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(4), 571-582.
- Barocio-León, O. A., Millán-Núñez, R., Santamaría-Del Ángel, E., González-Silvera, A., & Trees, C. C. (2006). Spatial variability of phytoplankton absorption coefficients and pigments off Baja California during November 2002. *Journal of Oceanography*, 62, 873-885.
- Carabias Lilo, J., Provencio, E., De La Maza Elvira, J., Gutiérrez Carbonell, D., Gómez Cruz, M., & Sánchez Sotomayor, V. (2000). *Programa de manejo de la Reserva de la Biósfera El Vizcaíno* (243 pp.). México, D. F.: Desarrollo Gráfico Editorial.
- 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* (Tesis). Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada.
- Contreras, F. (1985). *Las lagunas costeras mexicanas* (263 pp.). México: Centro de Ecodesarrollo-Secretaría de Pesca.
- Cupp, E. (1943). Marine plankton diatoms of the West Coast of North America. En H. Sverdrup, R. H. Fleming, L. H. Miller, & Z. E. Zobell (Eds.), *Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography* (Vol. 5, 238 pp.). USA-England: University of California Press-Cambridge University Press.
- Falkowski, P. G., & Oliver, M. J. (2007). Mix and match: how climate selects phytoplankton. *Nature Reviews Microbiology*, 5, 813-819. doi: 10.1038/nrmicro1751
- Gutiérrez de Velasco, G. (2000). *Análisis de la circulación y las condiciones físicas de la 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* (44 pp.). México: CICESE.
- Inman, D. L., Ewing, G. C., & Corliss, J. B. (1966). Coastal sand dunes of Guerrero Negro, Baja California, Mexico. *Geological Society of America Bulletin*, 77(8), 787-802. doi: 10.1130/0016-7606(1966)77[787:CSDOGN]2.0.CO;2
- Jeffrey, S. W., & Veski, M. (1997). Introduction to marine phytoplankton and their pigment signatures. In S. W. Jeffrey, R. F. C. Mantoura, & S. W. Wright (Ed.), *Monographs on Oceanographic Methodology: Vol. 10. Phytoplankton Pigments in Oceanography: Guidelines To Modern Methods* (pp. 37-84). Paris: UNESCO Publishing.

- Jiménez-Quiroz, M. del C., Cervantes-Duarte, R., Funes-Rodríguez, R., Barón-Campis, S. A., García-Romero, F. de J., Hernández-Trujillo, S., ... Barrón-Barraza, F. J. (2019). Impact of "The Blob" and "El Niño" in the SW Baja California Peninsula: Plankton and Environmental Variability of Bahía Magdalena. *Frontiers in Marine Science*, 6. doi: 10.3389/fmars.2019.00025
- López-Osorio, R., Canon-Páez, M., & Gracia-Escobar, M. (2011). Catálogo de Fitoplancton de la Bahía de Cartagena, Bahía Portete y Agua de Lastre. En *Serie de Publicaciones Especiales CIOH* (Vol. 5, 127 pp.). Cartagena de Indias, Colombia: Dimar.
- López-Sandoval, D. C. (2013). *Fijación de carbono, exudación y respiración en fitoplancton marino: Relación con el tamaño celular y la afiliación taxonómica* (Tesis). España: Universidad de Vigo. Recuperado de <http://www.investigacion.biblioteca.uvigo.es/xmlui/handle/11093/88>
- 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, Mexico. *Ciencias Marinas*, 37(1), 51-57. doi: 10.7773/cm.v37i1.1772
- Magurran, A. E. (2003). *Measuring Biological Diversity*. US: Wiley-Blackwell.
- Margalef, R. (1972). Homage to Evelyn Hutchinson, or why is there an upper limit to diversity. *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences*, 44, 211-235.
- McGaraghan, A. (Ed.) (2018). *Tiny Drifters. A guide to the phytoplankton along the California coast* (90 pp.). US: Kudela Biological and Satellite Oceanography Laboratory. Recuperado de <https://www.blurb.es/b/8544625-phytoplankton-identification-guide-2018>
- Millán-Núñez, R., Ripa-Soleno, E., & 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. *Ciencias Marinas*, 13(1), 30-38. doi: 10.7773/cm.v13i1.527
- Postma, H. (1965). Water circulation and suspended matter in Baja California lagoons. *Netherlands Journal of Sea Research*, 2(4), 566-604. doi: 10.1016/0077-7579(65)90005-0
- 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, México* (Tesis). Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías.
- Taylor, A. G., Landry, M. R., Freibott, A., Selph, K. E., & Gutiérrez-Rodríguez, A. (2016). Patterns of microbial community biomass, composition and HPLC diagnostic pigments in the Costa Rica upwelling dome. *Journal of Plankton Research*, 38(2), 183-198. doi: 10.1093/plankt/fbv086

- Thomas, C. S. (2012). The HPL Method. Chapter 6. In S. B. Hooker et al. (Eds.), *The Fifth SeaWiFS HPLC Analysis Round-Robin Experiment (SeaHARRE-5)*. NASA Technical Memorandum-2012-217503 (pp. 63-72). Greenbelt, Maryland: NASA Goddard Space Flight Center.
- Uitz, J., Claustre, H., Morel, A., & Hooker, S. B. (2006). Vertical distribution of phytoplankton communities in open ocean: An assessment based on surface chlorophyll. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 111, C08005. doi: 10.1029/2005JC003207
- Utermöhl, H. (1958). Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methodik. *SIL Communications*, 9(1), 1-38. doi: 10.1080/05384680.1958.11904091
- Van Heukelem, L., & Thomas, C. S. (2001). Computer-assisted high-performance liquid chromatography method development with applications to the isolation and analysis of phytoplankton pigments. *Journal of Chromatography A*, 910(1), 31-49. doi: 10.1016/s0378-4347(00)00603-4
- 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. doi: 10.1029/1999JC000308



Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Usted es libre de Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato
Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material
La licenciente no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Atribución — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciente.

NoComercial — Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales.

CompartirIgual — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.