



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA



FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS

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

TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

OCEANÓLOGO

PRESENTA

GÉNESIS VERENICE SÁNCHEZ COBARRUBIAS

ENSENADA, B.C.

JUNIO 2019

CARACTERIZACIÓN DE LA COMUNIDAD FITOPLANCTÓNICA EN LA LAGUNA OJO DE LIEBRE (B.C.S.) EN FEBRERO 2018

Tesis que para obtener el título de Oceanólogo

Presenta:

Génesis Verenice Sánchez Cobarrubias

Aprobada por:

Dr. Jorge Manuel López Calderón

Director de Tesis

Dra. Mary Carmen Ruíz De La Torre

Sinodal

Dra. Adriana Gisela Gonzalez Silvera

Secretaria

DEDICATORIA

*Al Apóstol de Jesucristo Nasón Joaquín García por
siempre exhortarnos a la superación, tanto
personal como académica.*

*A mis padres: Enrique y Verenice por permitirme
estudiar lo que me apasiona y ser partícipes de
esta aventura que hoy ha concluido exitosamente,
los amo!*

*Gracias a Dios que me da la vida, gracias a Dios que me
da la paz, su mano fuerte siempre me sostiene y su
grande amor siempre me guiará.*

AGRADECIMIENTOS

A mi tutor y director de tesis el Dr. Jorge López Calderón, gracias por estar ahí para mí semestre tras semestre, recordándome realizar las encuestas de evaluación docente jaja. Por ser ese rayito de luz cuando decidí querer realizar la tesis, por contestar todas mis dudas y apoyarme cuando lo he requerido, por su admirable paciencia para explicar, por todo eso y más... Muchas Gracias!!

A la Dra. Mary Carmen Ruíz de la Torre a quien veo como un ejemplo, la admiro mucho y agradezco que haya sido parte del comité, proporcionándome sus observaciones acertadas y regalándome de su valioso tiempo al momento de identificar el fitoplancton.

A la Dra. Adriana Gonzalez Silvera por compartirme su conocimiento tras la elaboración de esta tesis, sus preguntas y correcciones fueron tomadas en cuenta y sin duda le dieron una mejor ilación al tema. Gracias por ser parte del comité.

A la Dra. Beatriz Martín Atienza, porque me hizo sufrir en ecuaciones diferenciales y vaya que parecía disfrutarlo jaja. Pero a pesar de la dificultad estuvo ahí para brindarme palabras de aliento, mostrándome el compromiso que tiene para con sus alumnos.

A mis amigos que aunque son pocos siempre han estado ahí para acompañarme, distraerme, y para darme consejos.

Por último y no menos importante, gracias a.....

Mis padres: Enrique y Verenice, por su amor y apoyo incondicional.

Mis hermanos: Azael y Samai, por ser mis cómplices de vida.

Familia de Guadalajara: A pesar de la distancia percibo su cariño, esto es para ustedes!

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	4
2.	ANTECEDENTES.....	7
3.	HIPÓTESIS	8
4.	OBJETIVOS	8
4.1.	OBJETIVO GENERAL.....	8
4.2.	OBJETIVOS PARTICULARES.....	9
5.	METODOLOGÍA	9
5.1.	ÁREA DE ESTUDIO	9
5.2.	TOMA DE MUESTRAS	11
5.3.	TRABAJO DE LABORATORIO	11
5.3.1.	ANÁLISIS TAXONÓMICO DEL FITOPLANCTON	11
5.3.2.	ANÁLISIS DE PIGMENTOS POR HPLC	12
5.3.3.	CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE FITOPLANCTON	13
5.4.	ANÁLISIS DE SIMILITUD Y DIVERSIDAD POR ESTACIONES.....	14
5.4.1.	SIMILITUD ENTRE ESTACIONES	15
5.4.2.	DIVERSIDAD Y DOMINANCIA DE GÉNEROS	15
5.5.	TAMAÑO DE FITOPLANCTON POR CLASES: MICROFITOPLANCTON, NANOFITOPLANCTON Y PICOFITOPLANCTON	16
6.	RESULTADOS.....	18
6.1.	ABUNDANCIA E IDENTIFICACIÓN DE LOS GRUPOS FITOPLANCTÓNICOS	18
6.2.	SIMILITUD	24
6.3.	DIVERSIDAD Y DOMINANCIA	26
6.4.	CLOROFILA	27
6.5.	PIGMENTOS DIAGNÓSTICO.....	28
6.6.	VARIABLES OCEANOGRÁFICAS: TEMPERATURA Y SALINIDAD	32
7.	DISCUSIÓN	34
7.1.	ABUNDANCIA E IDENTIFICACIÓN DE GRUPOS FITOPLANCTÓNICOS	34
7.2.	VARIABLES OCEANOGRÁFICAS: TEMPERATURA Y SALINIDAD	41
8.	CONCLUSIONES.....	42
9.	REFERENCIAS	44
10.	ANEXO.....	49

LISTADO DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS

Tabla 1. Pigmentos del fitoplancton utiliza como bio-marcadores diagnóstico, adaptada de Jeffrey <i>et al.</i> (1997).	16
Tabla 2. Géneros del fitoplancton presentes en cada una de las estaciones. Se asignaron colores para denotar los diferentes grupos: rojo diatomeas pennadas, morado diatomeas centrales, verde dinoflagelados y azul silicoflagelados.	19

FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la Laguna Ojo de Liebre y de las nueve estaciones muestreadas en febrero de 2018.....	10
Figura 2. Composición del fitoplancton de acuerdo a la observación por el método de Utermöhl para la Laguna Ojo de Liebre.....	21
Figura 3. Abundancia promedio (y desviación estándar) de los cuatro grupos taxonómicos observados en las nueve estaciones de la Laguna Ojo de Liebre (febrero 2018).....	22
Figura 4. Distribución espacial promedio de los grupos taxonómicos (A) diatomeas centrales, (B) diatomeas pennadas, (C) dinoflagelados y (D) silicoflagelados dentro de la Laguna Ojo de Liebre.	23
Figura 5. Comparación espacial y porcentual de la similitud en estaciones representativas de las porciones externa (La Boca), central (Isla Piedra) e interna (El Remate) de la Laguna Ojo de Liebre (A). En (B) se sustituye la estación El Remate por Estero Norte.	25
Figura 6. Diversidad y dominancia entre los géneros encontrados en la laguna por estaciones.	26
Figura 7. Clorofila a para el mes de febrero 2018 en Laguna Ojo de Liebre.....	27
Figura 8. Composición de pigmentos diagnóstico en Laguna Ojo de Liebre analizados por medio de HPLC.	28
Figura 9. Porcentaje de clorofila <i>a</i> asociado a los diferentes tamaños de fitoplancton establecidos por Uitz <i>et al.</i> (2006).	30
Figura 10. Temperatura (°C) vs Salinidad (ups) de la Laguna Ojo de Liebre.	32

GLOSARIO

Clorofila-. Pigmento común de todos los organismos fotosintéticos, constituyen alrededor del 4% de masa seca del cloroplasto y son solubles en alcohol o acetona. Las clorofilas presentan máximos de absorción próximos a los 400 y 600 nm. Ninguna de ellas absorbe en el verde, lo que les da su color característico.

Batimetría-. Levantamiento del relieve de superficies subacuáticas, tanto los levantamientos del fondo del mar, como el fondo de los cursos de agua, embalses, etc.

Diatomeas-. Organismos eucariontes, unicelulares cuyo tamaño puede variar entre más o menos 10 y 200 μm (0.01 a 0.2 mm). Dado que son organismos acuáticos y fotosintéticos, son consideradas como algas. Las diatomeas son importantes productores primarios, cuyos cloroplastos tienen un tono especial, pardo-dorado, que se debe a la presencia de pigmentos como la fucoxantina, característico de las algas comúnmente llamadas pardas.

Dinoflagelados-. Corresponden a un grupo del fitoplancton principalmente marino de carácter cosmopolita cuyo tamaño fluctúa entre 20 y 500 μm , por lo que se les ubica dentro del microplancton. Son organismos protistas, principalmente planctónicos que se mueven en el agua gracias a dos flagelos desiguales y contienen pigmentos rojo-anaranjados.

Fitoplancton-. Comprende a la mayoría de los microorganismos autótrofos (algas) que habitan las aguas superficiales del océano, estuarios, lagos y estanques. Muchos son móviles, otros llevan a cabo migraciones verticales diurnas. Algunas formas no móviles regulan su flotabilidad. Sin embargo, sus capacidades de locomoción son limitadas y ellos son transportados a grandes distancias por movimientos verticales y horizontales en el agua (advección). El fitoplancton está compuesto de una gran variedad de algas, entre las que destacan las diatomeas y los dinoflagelados.

HPLC- Cromatografía Líquida de Alta Resolución; usada comúnmente para la separación, identificación, purificación y cuantificación de compuestos químicos.

Microfitoplancton- Organismos del fitoplancton en un rango de tamaño de 20 - 200 μm , usualmente dominado por diatomeas y dinoflagelados, aunque algunos fitoflagelados alcanzan más de 20 μm .

Nanofitoplancton- Organismos planctónicos en un rango de tamaño de 2-20 μm , la mayoría de sus representantes comprenden a las distintas clases de fitoflagelados y algunos dinoflagelados desnudos.

Mesotrófico- Del griego "meso" que significa "medio" y "trophe" que significa nutrición. Es decir, lagos u otras masas de agua que tienen una tasa intermedia de producción primaria, en especial en la columna de agua.

Picofitoplancton- Organismos planctónicos en un rango de tamaño de 0.2-2 μm , incluye algunas cianobacterias.

Pigmentos accesorios- Los pigmentos accesorios actúan como antena, conduciendo la energía que absorben hacia el centro de reacción. Una molécula de clorofila en el centro de reacción puede transferir su excitación como energía útil en reacciones de biosíntesis

Productividad primaria- En ecología, es la generación de biomasa por unidad de tiempo y área en un ecosistema. Se conoce como producción primaria a la producción de nueva materia orgánica a partir de materiales inorgánicos, usando para ello la luz del sol; a este proceso se le llama fotosíntesis. Es generada principalmente por diminutos organismos autotróficos que conforman el fitoplancton, son un elemento fundamental en los ecosistemas marinos.

RESUMEN

Se realizó un muestreo el día 7 de febrero de 2018 en la Laguna Ojo de Liebre (LOL) en nueve estaciones representativas del sistema. Durante el recorrido por la LOL se colectaron muestras de agua superficiales, para el análisis de microscopio se almacenaron en botellas de plástico de 250 mL y se fijaron con 2 mL de lugol alcalino. El objetivo del estudio fue caracterizar la comunidad del fitoplancton en la LOL (B.C.S.) basado en los métodos de microscopia óptica (Utermöhl, 1958), y análisis de pigmentos fotosintéticos (Thomas, 2012) para el mes de febrero 2018 y compararlos con datos obtenidos en marzo 1982. Los resultados mostraron una composición taxonómica de 19 géneros, seis correspondientes a diatomeas centrales, nueve a diatomeas pennadas, tres dinoflagelados y un silicoflagelado. La diversidad de géneros disminuyó conforme se adentró a la LOL, al disminuir diversidad aumentó la dominancia, siendo *Thalassionema sp.* el género dominante en el interior de la laguna. Asimismo, el número de pigmentos diagnóstico presentó dicha tendencia, mientras que la clorofila *a* mostró una tendencia inversa. Con base en la cantidad de clorofila *a* se determinó que la LOL es un sistema mesotrófico. De acuerdo a la contribución de las clases de tamaño de fitoplancton a la clorofila *a*, se encontró que el microfitoplancton es el principal contribuyente, seguido por picofitoplancton y como último lugar nanofitoplancton.

Palabras clave: Clorofila *a*, diatomeas pennadas, microfitoplancton, picofitoplancton, pigmentos diagnóstico.

1. INTRODUCCIÓN

México posee alrededor de 30% a 35% de sistemas lagunares-estuarinos a lo largo de su franja costera. Las lagunas costeras son sitios que proporcionan condiciones ideales para que diversos organismos logren crecer, alimentarse y/o reproducirse, además son de relevante importancia porque en muchas de ellas los ciclos biológicos que se llevan a cabo se relacionan a especies animales con alto grado de explotación (Acevedo-Cervantes, 1997). De acuerdo a las características oceanográficas de sus costas Baja California Sur posee una gran variedad de hábitats, tales como bahías, ensenadas, esteros, y lagunas. Las lagunas costeras constituyen son uno de los sitios de mayor diversidad y de importancia pesquera (Bocanegra-Castillo, 1998). Este tipo de ambientes impulsan el desarrollo de especies con interés comercial (e.g. langosta, abulón, camarón, peces, etc.) y de atractivo turístico (e.g. ballenas, aves, peces, etc.) (Bocanegra-Castillo, 1998).

Una laguna costera se define como un cuerpo de agua semicerrado, situado por debajo del nivel máximo de marea más alta, posee un eje longitudinal paralelo a la costa, el cual por medio de una boca (o canal) tiene comunicación con el mar. Suelen ser cuerpos de agua someros y se encuentran limitadas por algún tipo de barrera hidrodinámica o física. Esta barrera influye en la comunicación que existe con el mar, lo que produce un encuentro de dos masas con características muy diferentes, que dan lugar a un ecosistema altamente productivo (Contreras y Castañeda, 2004).

El fitoplancton es el principal componente fotosintético de los ecosistemas pelágicos, conforma una comunidad diversa, constituida cerca de 5,000 especies

de microalgas, distribuidas en aproximadamente 19 clases de 7 divisiones; entre las que se destacan por su abundancia y riqueza Bacillariophyta (diatomeas) y Dinophyta (dinoflagelados) (Peraza-Escarrá, 2017). Se le conoce como fitoplancton a aquellos microorganismos fotosintetizadores (cianobacterias y microalgas) que viven en un medio acuático (ríos, lagos, océanos y lagunas) y que se desplazan o flotan en la columna de agua (Peraza-Escarrá, 2017). Por lo que estos organismos participan en los procesos biogeoquímicos de diversos elementos, encargándose 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 (Varona-Cordero y Gutiérrez-Mendieta, 2006).

En las lagunas costeras, una porción de la biomasa producida por fitoplancton es exportada, así como también son exportados los nutrientes inorgánicos resultado de los procesos de remineralización de la materia orgánica que se produce en la columna de agua y en los sedimentos del fondo (Sosa-Avalos *et al.*, 2013).

Esta comunidad es compleja, la mayoría de los organismos son fotosintéticos y por ende autótrofos, sin embargo, también hay varias especies mixótrofas o incluso totalmente heterótrofas, desempeñando un rol importante no solo como productores primarios, sino también como consumidores primarios, encargándose de reciclar nutrientes en la columna de agua (Meave-del Castillo *et al.*, 2015). De acuerdo con Lara-Lara y Álvarez-Borrego (1975), cuando la correlación que existe entre clorofila *b* y *c* con respecto de clorofila *a* es alta,

denota una comunidad de fitoplancton mucho más vieja, con menor disponibilidad de nutrientes y a su vez poco productiva. Por el contrario, cuando la concentración de clorofila *a* es alta y forma el principal constituyente pigmentario, se tiende a que la comunidad sea muy productiva y probablemente habiten diatomeas.

La composición de las comunidades de fitoplancton es dinámica, los cambios en abundancia y composición dependen de diversos factores físicos e hidrológicos (temperatura, luz, turbulencia, tasa de sedimentación del plancton y tiempo de residencia del agua), químicos (remineralización, materia orgánica, y nutrientes) y biológicos (depredación, parasitismo). El valor promedio para la producción primaria de fitoplancton en lagunas costeras (a nivel mundial) se encuentra estimado en $256 \text{ g C m}^{-2}\text{año}^{-1}$. La cantidad de materia orgánica disponible para la exportación a los diferentes niveles tróficos, bentos o ecosistemas adyacentes, depende del grado de desacoplamiento de los procesos de fotosíntesis y respiración. A pesar de su gran importancia, se han realizado escasos estudios sobre las lagunas costeras tropicales y subtropicales (Sosa-Avalos *et al.* 2013).

En las costas de la península de Baja California existen 22 sistemas lagunares-estuarinos (Contreras, 1985; Acevedo, 1997) en los cuales se han realizado estudios relacionados a la acuacultura, sin embargo muchos de estos sistemas han sido poco explotados, como es el caso de la Laguna Ojo de Liebre (LOL). La LOL es considerada de gran importancia para la preservación de especies ícticas dado que actúa como sitio de refugio y crianza para un gran número de éstas, siendo indispensable a su vez para el tránsito de especies

migratorias. Gracias a estas características, la LOL cuenta con reconocimientos de talla internacional y a su vez fue declarada por la UNESCO patrimonio de la humanidad dentro del programa Hombre y Biósfera (MAB) (De la Cruz-Agüero, 1996). La LOL forma parte de la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno (REBIVI) que fue decretada en noviembre de 1988 por mandato presidencial y publicado en el Diario Oficial de la Federación. Este reconocimiento se debió a la importancia tanto cultural, histórica, recreativa, pesquera y ecológica que representa (Carabias *et al.*, 2010).

2. ANTECEDENTES

Los estudios dedicados a la Laguna Ojo de Liebre (LOL) son escasos, la mayoría de las publicaciones se han centrado en analizar la diversidad íctica (Bocanegra-Castillo, 1998), moluscos (Quiñones-Arreola, 2003), ballenas (Sprague, y Sumichm, 1978), aves (Castellanos *et al.*, 2001) y acuacultura (Maguiño-Napuri *et al.*, 2011), en el cuerpo lagunar, por lo que es necesario ampliar estos estudios y conocer la diversidad fitoplanctónica que reside en la laguna. En 1987 Millán-Núñez y colaboradores publicaron un estudio preliminar para conocer la abundancia y diversidad fitoplanctónica de este humedal.

Posterior al trabajo realizado por Millán-Núñez *et al.* (1987) no se han realizado investigaciones que involucren la productividad primaria o la composición del fitoplancton en Laguna Ojo de Liebre hasta la fecha. Sin embargo, se encuentra la investigación realizada por Arellano-Martínez *et al.* (2004) y Arellano-Martínez *et al.* (2011) en donde se analizó la importancia de los

florecimientos de fitoplancton en el ciclo de vida de la almeja mano de león (*Nodipecten subnodosus*). Arellano-Martínez *et al.* (2004) reportaron que la inducción del desove de *N. subnodosus* pareciera mayormente influenciado por la abundancia de fitoplancton que por la temperatura, es decir que altas concentraciones de clorofila *a* (florecimientos fitoplanctónicos) se relacionan con condiciones favorables para la liberación de larvas, dado que garantiza su supervivencia y alimento. Lo que nos lleva a reconocer la importancia que juega el fitoplancton en este ambiente, ya que la relación de la almeja mano de león depende de la productividad primaria y a su vez, la temperatura en la columna de agua para su ciclo reproductivo y su crecimiento, respectivamente.

3. HIPÓTESIS

La comunidad fitoplanctónica invernal en la Laguna Ojo de Liebre se encuentra dominada por diatomeas pennadas y muestra una estructura similar a la reportada previamente en la literatura.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

- 4.1.1.** Caracterizar la comunidad del fitoplancton en la Laguna Ojo de Liebre B.C.S. basado en los métodos de microscopía óptica (Utermöhl, 1958), y análisis de pigmentos fotosintéticos (Thomas, 2012) para el mes de febrero 2018.

4.2. OBJETIVOS PARTICULARES

- 4.2.1.** Identificar a nivel género la diversidad de la comunidad fitoplanctónica.
- 4.2.2.** Estimar la abundancia y dominancia de los principales grupos y géneros del fitoplancton.
- 4.2.3.** Relacionar las variables oceanográficas con el patrón de distribución espacial del fitoplancton durante febrero de 2018.
- 4.2.4.** Comparar cualitativamente la estructura de la comunidad fitoplanctónica con los géneros reportados para la Laguna Ojo de Liebre en la literatura.

5. METODOLOGÍA

5.1. ÁREA DE ESTUDIO

La Laguna Ojo de Liebre (LOL) pertenece a un complejo lagunar formado además por Laguna Guerrero Negro y Laguna Manuela, siendo la mayor de las tres. Se encuentra situada en la costa del océano Pacífico, al noroeste de México entre los 27°35' y 27°52' de latitud norte y entre los 113°58' y 114°10' de longitud oeste (Figura 1). Posee una superficie de aproximadamente 446 km², distribuidos en 48km de largo y 9km de ancho, con profundidades que van desde los 6 y 12 metros (Acevedo-Cervantes, 1997) (Figura 1).

Presenta una batimetría irregular con dos islas y una gran cantidad de bajos, que son cubiertos conforme la marea asciende o en caso contrario, cuando esta desciende. Debido a la profundidad (50m) que se encuentra fuera de la boca de la LOL, las surgencias locales que se producen no influyen mucho en la

temperatura del agua dentro de la LOL, por lo tanto el agua en el interior no es tan fría como la del océano abierto (Álvarez-Borrego y Granados-Guzmán, 1992).

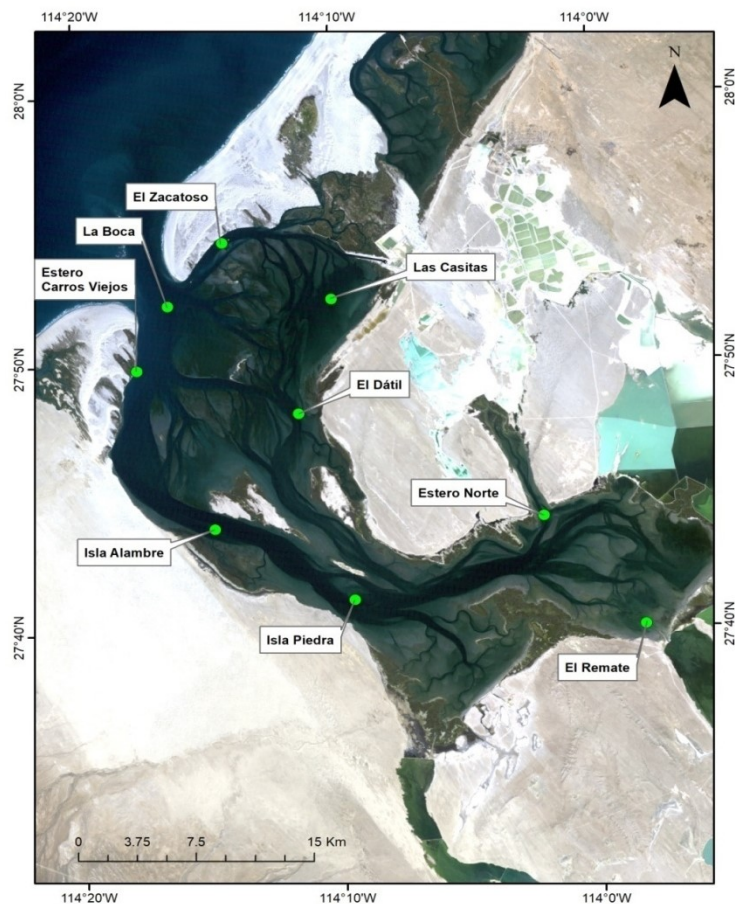


Figura 1. Ubicación geográfica de la Laguna Ojo de Liebre y de las nueve estaciones muestreadas en febrero de 2018.

En general el sedimento tiende a ser fino y muy fino, con arena media en los canales; los limos y arcillas se encuentran en el interior de la laguna. La temperatura oscila entre 16 °C y 24 °C, y la salinidad se presenta generalmente con gradientes hipersalinos (Lankford ,1977), con valores en la parte interna de la laguna de hasta 47 ups (Arellano-Martínez, 2005). De acuerdo a Lankford (1977) la laguna se clasifica como I-C: con barreras arenosas, sin desembocaduras de ríos o poco frecuentes, forma y batimetría variable, modificada por procesos

costeros; energía generada principalmente por corrientes de marea en sus canales y boca, y reducida en los bajos y bancos de arena.

5.2. TOMA DE MUESTRAS

Las muestras se colectaron el día 7 de febrero de 2018 utilizando una embarcación de motor fuera de borda. Durante el recorrido por la LOL se tomaron valores de profundidad, salinidad y temperatura, utilizando un sensor CTD (Conductivity-Temperature-Depth) modelo YSI CastAway para cada una de las nueve estaciones. Se colectaron muestras de agua superficiales, para el análisis de microscopio se almacenaron en botellas de plástico de 250mL y se fijaron con 2mL de lugol alcalino, protegiéndolas de la luz para evitar su deterioro. Las muestras de agua correspondientes para el análisis de pigmentos se colectaron en botellas de 1L manteniéndose en hielo y en ausencia de luz hasta su extracción.

5.3. TRABAJO DE LABORATORIO

5.3.1. ANÁLISIS TAXONÓMICO DEL FITOPLANCTON

El análisis cuantitativo de la comunidad fitoplanctónica se realizó siguiendo el método de Utermöhl (1958) y utilizando un microscopio invertido Zeiss IM 35. La ventaja del microscopio invertido es 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.

Las muestras fueron homogenizadas girando en diferentes sentidos la botella, teniendo el cuidado de no propiciar la formación de burbujas ni la agitación, ya que esta última es capaz de romper las células.

Las cámaras de sedimentación consisten en columnas cilíndricas de plexiglass y sus volúmenes van desde 2 ml a 100 ml. El presente análisis se realizó utilizando una cámara de 50 ml, posicionándola en una superficie horizontal exenta de perturbación, evitando de esta forma que las células se concentren en los extremos de la cámara. Se vertió el contenido de la muestra en la cámara de sedimentación y se dejó sedimentar durante un periodo de 24 h.

Este análisis se realizó con la cuantificación de las células en toda la cámara utilizando un aumento de 200x, algunas células se observaron con un aumento de 400x, esto para captar con mayor detalle las estructuras. La forma en que se realizó el conteo consistió desplazar la cámara montada en la platina de arriba-abajo e izquierda-derecha, y viceversa. Se contaron los individuos que estuvieran dentro del campo ocular, siempre y cuando fueran células completas, se contó toda la cámara de sedimentación con el fin de determinar un número total de células.

El método de Utermöhl tiene un límite óptico de detección, por lo que las células pertenecientes a los grupos de nanofitoplancton y picofitoplancton no pueden ser determinadas por este método, sin embargo el microfitoplancton fue identificado hasta nivel género, utilizando las guías de identificación taxonómica de Cupp (1943), Kudela (2018) y López-Osorio *et al.* (2011)

5.3.2. ANÁLISIS DE PIGMENTOS POR HPLC

Este análisis se llevó a cabo utilizando el equipo: HPLC Agilent 1260 LC. Se siguió el método del Laboratorio Point Horn (HPL) (Heukelem y Thomas, 2001;

Thomas, 2012), el cual consiste en un sistema de cuatro bombas y una columna Zorbax Eclipse XDB C8 de 3.5 μm y 4.6x150mm. Se utilizó un sistema de gradientes con tres solventes y de fase reversa con metanol: solvente A (70:30%, metanol:28mM TbAA, pH 6.5), solvente B (100% metanol), solvente C (100% acetona). Con una temperatura de 60°C para el funcionamiento de la columna para la separación de todos los pigmentos que fueron cuantificados con un gradiente lineal simple.

Para la extracción de los pigmentos, previamente se realizó lo siguiente: cada filtro GF/F con las células de fitoplancton se sumergió en 4 mL de 100% acetona con vitamina E como estándar interno; cada muestra fue sonicada durante 10 s y refrigerada durante 24 h. Posteriormente se centrifugó cada muestra por 10 min a 3000 rpm; cada muestra se filtró con acrodiscos de membrana PTFE 0.2 μm para evitar que la columna se obstruya con restos de los filtros. Un volumen final de 1 mL fue inyectado en el sistema de HPLC utilizando viales de 2 mL. Mediciones de control de calidad se realizaron durante el análisis de las muestras para verificar la eficiencia del método dentro de las expectativas planteadas (Millán-Núñez, 2005).

5.3.3. CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE FITOPLANCTON

En este trabajo se realizó la cuantificación de fitoplancton utilizando un aumento de 200x, contando todo el fondo de la cámara. La expresión se encuentra dada por una regla de tres donde se considera el volumen sedimentado (Santamaría-del-Ángel *et al.*, 2005):

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

N= Número de células por muestra

V= Volumen sedimentado (50 mL)

1000= Factor de conversión a litro

5.4. ANÁLISIS DE SIMILITUD Y DIVERSIDAD POR ESTACIONES

Se definió el número de estaciones y la distribución de éstas de acuerdo al artículo base de este trabajo, Millán-Núñez *et al.* (1987). En donde se muestreó durante 31 de marzo y 1 de abril de 1982 en nueve estaciones de la LOL. Sin embargo, para tener mayor detalle y poder definir tendencias se llevó a cabo una zonación en el área de estudio. La laguna se seccionó en tres: exterior, central e interna. La parte exterior converge con las aguas oceánicas y comprende cuatro estaciones: La Boca, Carros Viejos, El Zacatoso y Las Casitas. En la zona central se encuentran las islas y se compone de tres estaciones: El Dátil, Isla Piedra e Isla Alambre. La zona más interna de la laguna se encuentra cerca a las áreas de desecación y producción de sal, las estaciones que se ven involucradas son: Estero Norte y El Remate.

Teniendo seccionada la laguna, surgió el interés de evaluar la similitud (en cuanto a géneros) entre estaciones, tomando estaciones representativas de las zonas mencionadas (exterior, central e interna), con el propósito de determinar la heterogeneidad de la LOL en términos de la comunidad fitoplanctónica.

5.4.1. SIMILITUD ENTRE ESTACIONES

Se realizó un análisis para comparar la similitud de géneros entre las estaciones La Boca, Isla Piedra, Estero Norte y El Remate. Empleando el coeficiente de Sorensen: (Varona-Cordero y Gutiérrez-Mendieta, 2006).

$$Ss = 2c/(S1 + S2)$$

Donde:

Ss= Coeficiente de similitud de Sorensen

c= Especies en común entre las dos estaciones

S1= Número de especies de la estación uno

S2= Número de especies de la estación dos

Este índice toma valores de cero a uno, siendo uno la máxima expresión de similitud entre dos estaciones. Este índice compara dos comunidades y en caso de que posean las mismas especies el valor de similitud entre ellas será el máximo tomando valores de cero a uno, aunque las abundancias para cada especie sean diferentes en cada comunidad (Solís-Gil y Escobedo-Quintero, 2002).

5.4.2. DIVERSIDAD Y DOMINANCIA DE GÉNEROS

El índice de Simpson se utilizó para calcular la diversidad de géneros por estación. Este índice estima la diversidad, sin embargo también provee la dominancia ya que esta es utilizada para calcular la diversidad utilizando una diferencia y se denota de la siguiente forma:

$$Ds = 1 - \lambda = 1 - \sum Pi^2$$

Donde:

Ds= Índice de diversidad de Simpson

λ = Dominancia

Pi=proporción de cada especie presente en la muestra

5.5. TAMAÑO DE FITOPLANCTON POR CLASES: MICROFITOPLANCTON, NANOFITOPLANCTON Y PICOFITOPLANCTON

El HPLC juega un papel importante en la caracterización de la comunidad ya que nos permitió evaluar la contribución de los grupos del nanofitoplancton y picofitoplancton, lo que no es posible determinar con el microscopio. Jeffrey *et al.* (1997) presentan una clasificación de los grupos de microalgas basados en los pigmentos, la cual ha servido como guía al momento de identificar los principales grupos de fitoplancton en muestras de agua (Tabla 1).

Tabla 1. Pigmentos del fitoplancton utiliza como bio-marcadores diagnóstico, adaptada de Jeffrey *et al.* (1997).

Pigmentos	Abreviatura	Grupo Algal
Divinil Cl <i>a</i>	DVCl <i>a</i>	<i>Prochlorococcus</i>
Monovinil Cl <i>b</i>	MVCl <i>b</i>	Clorofitas
19'Butanoiloxifucoxantina	19'But	Crisofitas, Primnesiofitas
Fucoxantina	Fuco	Diatomeas, Primnesiofitas, Crisiofitas, Rafidofitas
19'Hexanoiloxifucoxantina	19'Hex	Primnesiofitas
Peridinina	Peri	Dinoflagelados

Alloxantina	Allo	Criptofitas
Zeaxantina	Zea	Cianobacterias (incluyendo <i>Prochlorococcus</i>), Rodófitas, Proclorofitas, Clorofitas, Estigmatofitas

Utilizando los pigmentos obtenidos mediante el análisis de HPLC se aplicaron las ecuaciones propuestas por Vidussi *et al.* (2001) y modificadas por Uitz *et al.* (2006), con las cuales se determinó el porcentaje de clorofila *a* asociado al tamaño de grupo en cuestión. Estas ecuaciones consideran los siete pigmentos diagnósticos: fucoxantina (Fuco), zeaxantina (Zea), peridinina (Peri), alloxantina (Allo), clorofila *b* (TChl *b*), 19'-butanoiloxifucoxantina (19'But) y 19'-hexanoiloxifucoxantina (19'Hex), para estimar la contribución al total de la clorofila de parte de cada una de las clases de tamaño de fitoplancton. Primero se busca calcular el $\sum DPW$ este valor representa la concentración de clorofila *a* que puede reconstruirse a partir del conocimiento de los otros siete pigmentos:

$$\begin{aligned} \sum DPW = & 1.41[Fuco] + 1.41[Peri] + 1.27[19'Hex] + 0.35[19'But] \\ & + 0.60[Allo] + 1.01[TChl\ b] + 0.86[Zea] \end{aligned}$$

Posteriormente, las fracciones de la concentración de clorofila *a* asociadas con cada una de las tres clases fitoplanctónicas microfitoplancton (*f*micro), nanofitoplancton (*f*nano) y picofitoplancton (*f*pico) se derivan de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

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

$$f_{nano} = (1.27[19'Hex] + 0.35[19'But] + 0.60[Allo]) / \sum DPW$$

$$fpico = (1.01[Chlb] + 0.86[Zea]) / \sum DPW$$

6. RESULTADOS

6.1. ABUNDANCIA E IDENTIFICACIÓN DE LOS GRUPOS FITOPLANCTÓNICOS

Se identificaron diecinueve géneros en la laguna, entre los cuales destaca el grupo de las diatomeas pennadas. La Tabla 1 muestra la información obtenida de los conteos de fitoplancton, donde se llevó a cabo el registro de los géneros. Los géneros más representativos de la comunidad fitoplanctónica incluyen a *Chaetoceros sp.* y *Navicula sp.* (diatomeas centrales y pennadas), que fueron los únicos presentes en las nueve estaciones. Nueve de los géneros presentes: *Chaetoceros sp.*, *Coscinodiscus sp.*, *Diploneis sp.*, *Navicula sp.*, *Nitzschia sp.*, *Pleurosigma sp.*, *Peridinium sp.*, *Rhizosolenia sp.* y *Thalassionema sp.* fueron reportados por Millán Núñez *et al.* (1987), sin embargo *Cocconeis sp.*, *Amphora sp.*, *Biddulphia sp.*, *Synedra sp.*, *Fragilaria sp.*, *Gonyaulax sp.*, *Dytilum sp.*, *Opephora sp.* *Eucampia sp.* y flagelados, fueron reportados por estos autores pero no se encontraron para este muestreo.

Se encontraron diez géneros nuevos que no fueron reportados por Millán-Núñez *et al.* (1987) y son: *Amphiprora sp.*, *Bacteriastrum sp.*, *Ceratium sp.*, *Dictyocha sp.*, *Guinardia sp.*, *Licmophora sp.*, *Leptocylindrus sp.*, *Prorocentrum sp.*, *Pseudonitzschia sp.*, y *Striatella sp.*

Tabla 2. Géneros del fitoplancton presentes en cada una de las estaciones. Se asignaron colores para denotar los diferentes grupos: rojo diatomeas pennadas, morado diatomeas centrales, verde dinoflagelados y azul silicoflagelados.

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

Hubo un mayor número de géneros en la zona exterior (dieciocho), conforme nos adentramos en la laguna la cantidad disminuyó, pasando a ser dieciséis géneros en el área central y once géneros en la zona interior.

Las estaciones El Zacatoso y Carros Viejos poseen la mayor variedad de géneros (quince), mientras que la menor diversidad (ocho) se presentó en las estaciones Isla Piedra, Isla Alambre y Estero Norte, por otro lado *Peridinium sp.* fue el género menos abundante en la LOL, encontrándose solamente en la estación El Dátil.

En la zona exterior se encontraron nueve géneros correspondientes a diatomeas pennadas (*Amphiprora sp.*, *Diploneis sp.*, *Licmophora sp.*, *Navicula sp.*, *Nitzschia sp.*, *Pleurosigma sp.*, *Pseudonitzschia sp.*, *Striatella sp.* y *Thalassionema sp.*), seis diatomeas centrales (*Bacteriastrum sp.*, *Chaetoceros sp.*, *Coscinodiscus sp.*, *Guinardia sp.*, *Leptocylindrus sp.* y *Rhizosolenia sp.*), dos dinoflagelados (*Cearatium sp.* y *Prorocentrum sp.*) y un silicoflagelado (*Dictyocha sp.*), siendo esta zona la más rica en géneros. En la parte central el número de géneros se redujo a dieciséis, presentando ocho diatomeas pennadas (*Amphiprora sp.*, *Diploneis sp.*, *Licmophora sp.*, *Navicula sp.*, *Pleurosigma sp.*, *Pseudonitzschia sp.*, *Striatella sp.* y *Thalassionema sp.*), cinco centrales (*Bacteriastrum sp.*, *Coscinodiscus sp.*, *Guinardia sp.*, *Leptocylindrus sp.* y *Rhizosolenia sp.*), dos dinoflagelados (*Peridinium sp.* y *Prorocentrum sp.*) y un silicoflagelado (*Dictyocha sp.*). En la zona interna se encontró la menor cantidad de géneros, la diversidad de esta zona se restringe solo a diatomeas pennadas y centrales, seis (*Amphiprora sp.*, *Navicula sp.*, *Nitzschia sp.*, *Pleurosigma sp.*, *Pseudonitzschia sp.* y *Thalassionema sp.*) y cinco (*Chaetoceros sp.*, *Coscinodiscus sp.*, *Diploneis sp.*, *Leptocylindrus sp.* y *Rhizosolenia sp.*) géneros respectivamente.

Con el método de Utermöhl (1958) se obtuvo el conteo de géneros de fitoplancton presentes para las diferentes estaciones, estos géneros se ordenaron en grandes grupos de acuerdo a su clasificación taxonómica utilizando la base de datos de Algaebase (Guiry y Guiry, 2019). Los grupos que comprenden la comunidad del fitoplancton en la laguna de acuerdo a su frecuencia son cuatro:

diatomeas pennadas, diatomeas centrales, dinoflagelados y silicoflagelados (Figura 2).

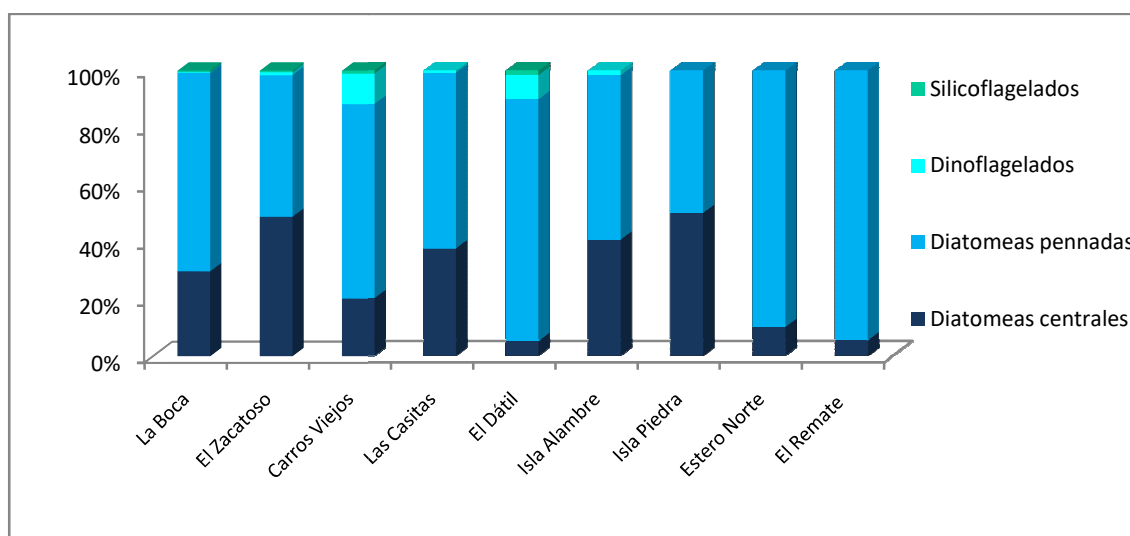


Figura 2. Composición del fitoplancton de acuerdo a la observación por el método de Utermöhl para la Laguna Ojo de Liebre.

Las diatomeas pennadas (microfitoplancton) contribuyen con más del 50% de la abundancia en todas las estaciones, lo que demuestra que fue el grupo más dominante en la laguna. Las diatomeas centrales fueron las que siguieron en representatividad, cuya distribución se dio en todas las estaciones de la LOL. Sin embargo tienen mayor presencia en la zona exterior. Mientras que los dinoflagelados aparecieron solamente en seis estaciones, y solamente en cuatro estaciones se observaron silicoflagelados (Figura 2).

En la Figura 3 se muestra la distribución espacial de los grupos taxonómicos del microfitoplancton. Se puede observar que existe una dispersión elevada, sobre todo en el grupo de las diatomeas, por lo tanto no fue posible hacer un análisis estadístico entre las estaciones. Sin embargo, es posible ver patrones

espaciales relevantes: tanto diatomeas centrales como pennadas estuvieron presentes en todas las estaciones y presentan un patrón bimodal con mayores abundancias en las porciones externa (cercana a la boca) e interna (cercana al Remate) y abundancia mínima en la porción central (cercana a las islas).

Por otro lado, los dinoflagelados mostraron un patrón inverso, con mayor abundancia en la porción central (Carros Viejos) en comparación con las porciones externa e interna. Mientras que los silicoflagelados fueron el grupo menos abundante, con solamente un género presente en cuatro estaciones, cuya distribución también fue mayor en la parte externa de la laguna, siendo más abundante en la estación El Zacatoso.

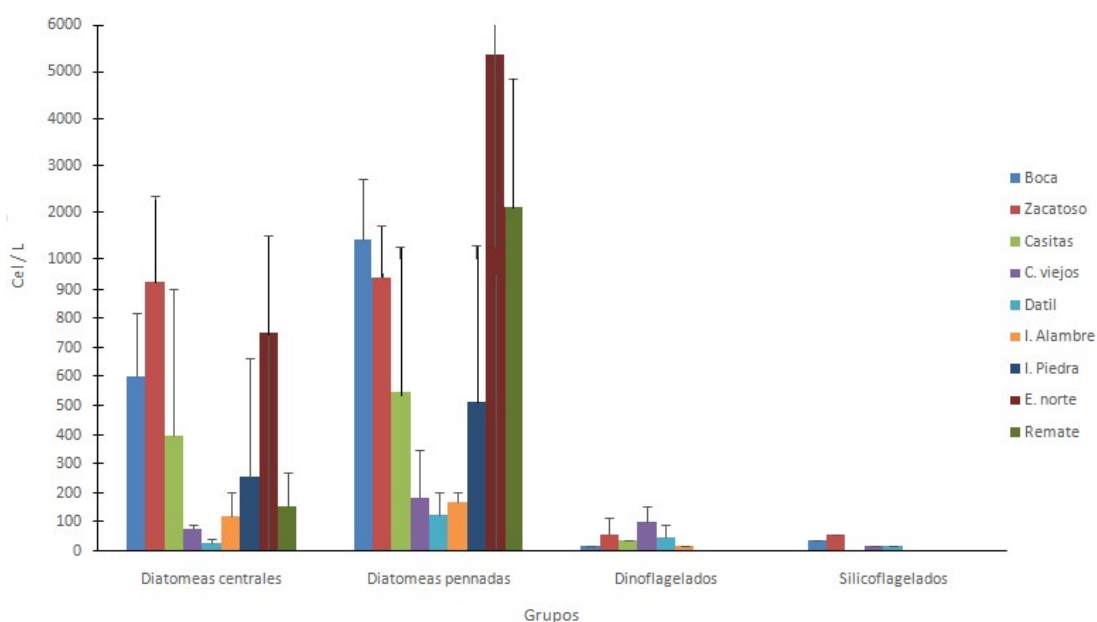


Figura 3. Abundancia promedio (y desviación estándar) de los cuatro grupos taxonómicos observados en las nueve estaciones de la Laguna Ojo de Liebre (febrero 2018).

La mayoría de los grupos no rebasan las 1000 células L^{-1} , sobre todo los dinoflagelados y silicoflagelados quienes a partir de las islas y hasta la parte más interna de la laguna están ausentes (Figura 3). En el Estero Norte, El Remate y La Boca la abundancia de las diatomeas pennadas se dispara, por lo que se asignó una mayor amplitud en el eje ordenado por arriba de las 1000 células L^{-1} , lo que explica porque esta estación es la que presentó la máxima dominancia ejercida por un género, en este caso *Thalassionema sp.* (ver Figura 6).

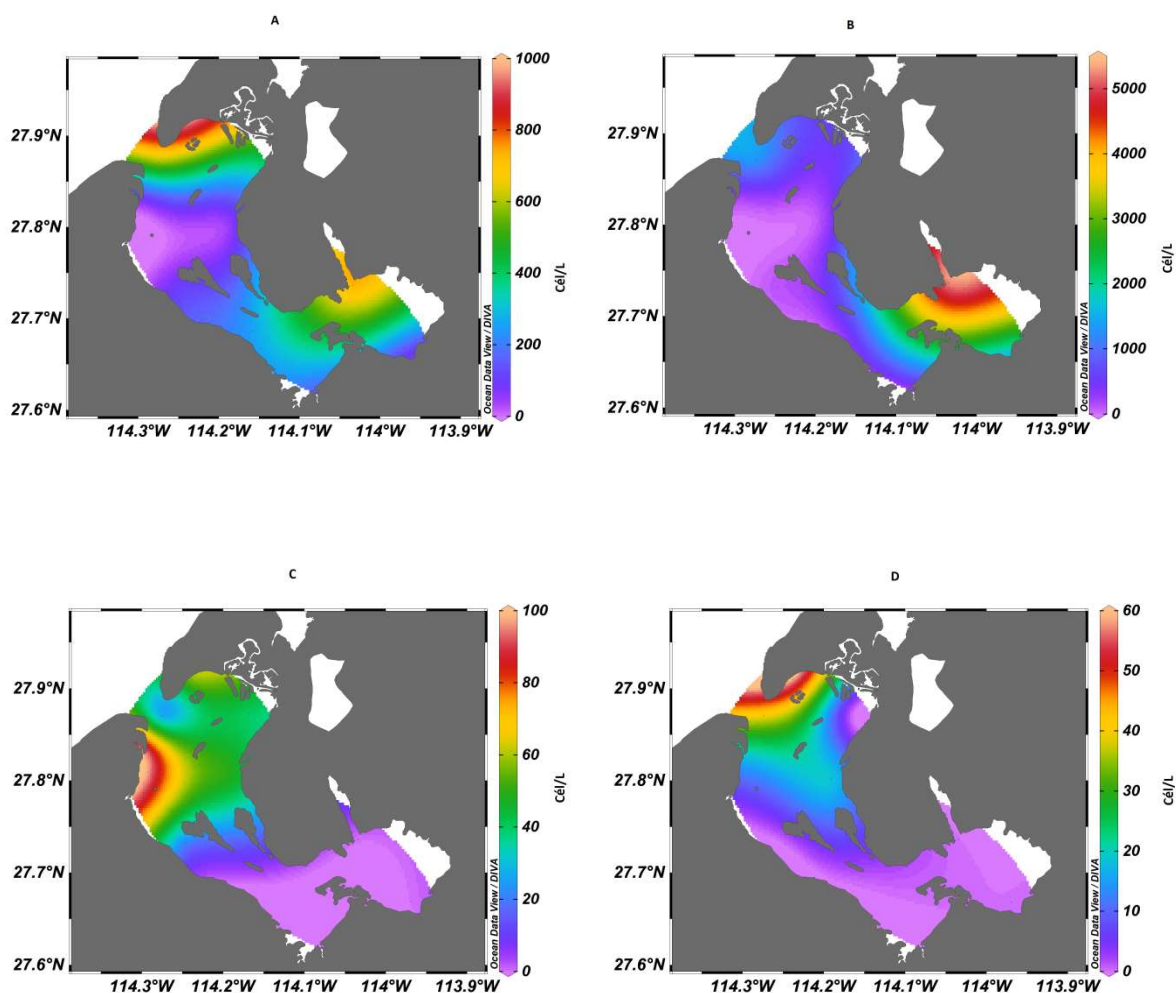


Figura 4. Distribución espacial promedio de los grupos taxonómicos (A) diatomeas centrales, (B) diatomeas pennadas, (C) dinoflagelados y (D) silicoflagelados dentro de la Laguna Ojo de Liebre.

En la Figura 4 se han generado mapas de distribución espacial de acuerdo a la abundancia promedio de los grupos taxonómicos cuantificados al microscopio. Se observa cierta similitud en los mapas 9 A y 9 D en la zona de la boca, concentrándose la mayor cantidad de células en parte más norteña de la laguna (La Boca, El Zacatoso, Carros Viejos).

Las diatomeas pennadas (9 B) fueron el grupo más frecuente y su concentración mayor se observó en Estero Norte. Cerca de las islas sus valores fueron menores, sin embargo, si se comparan con los obtenidos con las diatomeas centrales (9 A), pareciera que la distribución es inversa. Esto debido a que las diatomeas pennadas superaron en abundancia a los demás grupos, teniendo una fuerte dominancia de *Thalassionema sp.* en la zona interior. Lo anterior muestra en el mapa que en la zona de la boca hay baja abundancia, sin embargo, incluso en esa área son valores altos (1000 cél L^{-1}), ya que su concentración máxima promedio es por lo menos cinco veces mayor que la de los otros grupos.

6.2. SIMILITUD

El índice de similitud se utilizó para realizar la comparación entre las tres zonas (exterior, central e interna), buscando la presencia de alguna estructura que definiera la distribución de géneros en la LOL.

Se representaron las tres zonas de la laguna (Figura 5 A) con las estaciones: La Boca (exterior), Isla Piedra (central) y El Remate (interna). Se consideró que para este análisis las estaciones más alejadas entre sí son La Boca y El Remate, y para tener un espectro más completo en cuanto a la similitud que

comparten se asignó como punto intermedio entre éstas la estación Isla Piedra. Se utilizó el coeficiente de Sorensen para determinar el porcentaje de similitud (Figura 5 A) entre estas estaciones. Aunque la distancia pareciera ser un factor que influye en la distribución espacial, el análisis indica que existe un 70% de similitud entre La Boca y El Remate. Sin embargo, entre la Boca e Isla Piedra este porcentaje baja un poco (63%) similar.

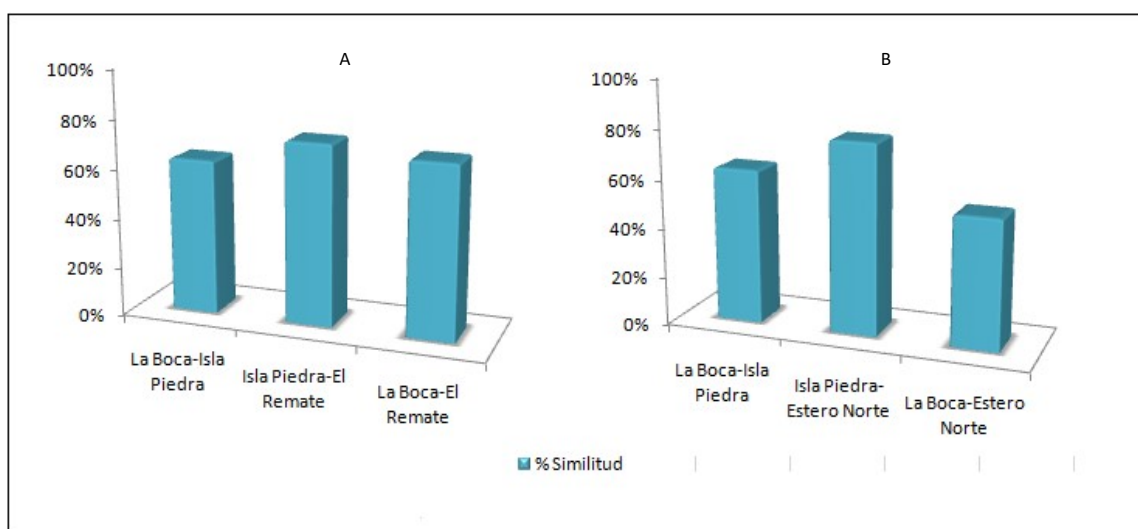


Figura 5. Comparación espacial y porcentual de la similitud en estaciones representativas de las porciones externa (La Boca), central (Isla Piedra) e interna (El Remate) de la Laguna Ojo de Liebre (A). En (B) se sustituye la estación El Remate por Estero Norte.

Las estaciones La Boca y Estero Norte presentaron el menor porcentaje de similitud (52.6%) (Figura 5 B). Estero Norte es la segunda estación más lejana y al compararla con Isla Piedra el porcentaje fue muy similar al obtenido con El Remate. Por otro lado, el mayor porcentaje de similitud se encontró entre la Isla Piedra y Estero Norte (78%).

6.3. DIVERSIDAD Y DOMINANCIA

Se evaluó la diversidad entre estaciones, considerando la cantidad de géneros presentes. La dominancia al ser el complemento de éste índice, también fue calculada y ambos valores se expresaron en porcentajes (Figura 6).

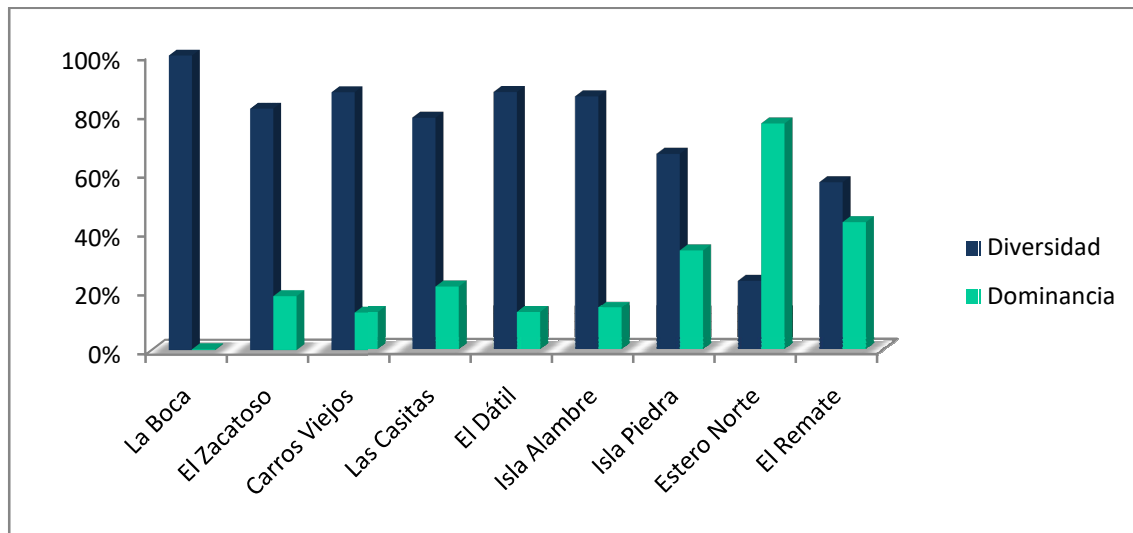


Figura 6. Diversidad y dominancia entre los géneros encontrados en la laguna por estaciones.

Aunado al análisis de similitud se calcularon los índices de diversidad y dominancia. Este análisis confirma la baja similitud que existe entre las estaciones La Boca y Estero Norte, ya que para el caso de la primera la diversidad es prácticamente 100%, mientras que en la segunda sucede lo opuesto, la diversidad es menor que la dominancia (20% y 80%, respectivamente). Se observa que la diversidad es superior a la dominancia en siete de las nueve estaciones, lo que sugiere una buena distribución en la composición de la comunidad fitoplanctónica. En la estación El Remate la diferencia entre la diversidad y dominancia es de

apenas 10%, por lo que se considera una zona neutral, mientras que Estero Norte fue la única estación donde la dominancia es ~60% mayor que la diversidad.

6.4. CLOROFILA

La clorofila *a* presentó valores de 0.6 a 1.3 mg m⁻³, la concentración mayor se encontró en Estero Norte coincidiendo con el máximo en abundancia celular (Figura 7). Considerando los promedios de clorofila *a* para las tres zonas en las que se dividió la LOL, se observó que la clorofila *a* va aumentando conforme nos adentramos en la laguna. La zona exterior fue la que presentó menor concentración de clorofila *a* (0.8 mg m⁻³), la parte central aumenta hasta llegar a 1.04 mg m⁻³ y la zona interior posee la concentración máxima (1.2 mg m⁻³).

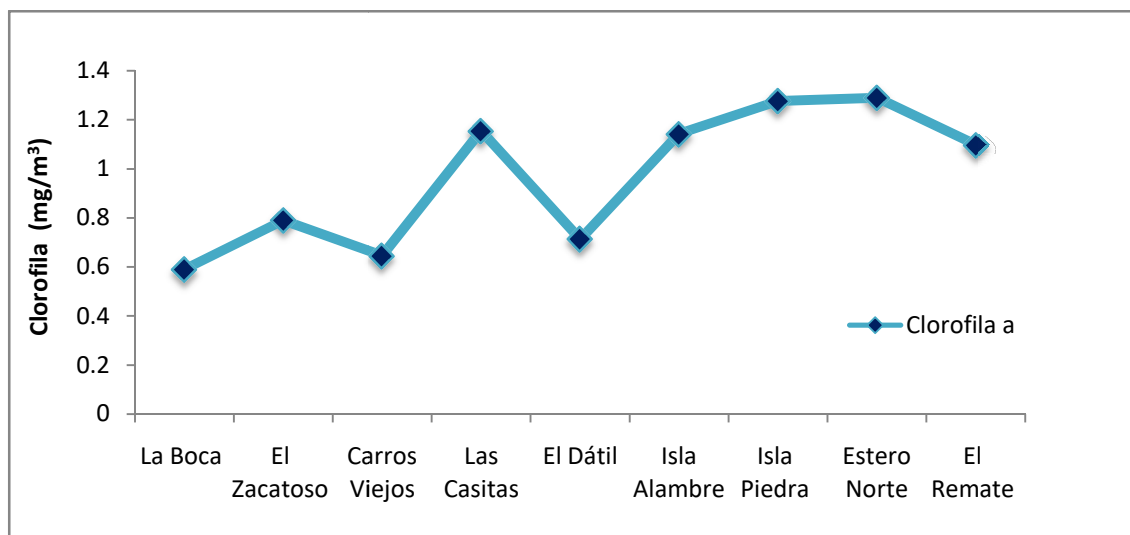


Figura 7. Clorofila *a* para el mes de febrero 2018 en Laguna Ojo de Liebre.

Con base a la clorofila *a* registrada en este muestreo se pudo considerar a la LOL como un sistema mesotrófico para febrero 2018. Ya que los valores de clorofila *a* que entran dentro de esta clasificación según Barocio-León *et al.* (2006)

se encuentran en el intervalo de >0.02 a $<2.0 \text{ mg m}^{-3}$ y la LOL presenta un promedio de 1 mg m^{-3} .

6.5. PIGMENTOS DIAGNÓSTICO

Utilizando el análisis de HPLC se identificaron veintinueve diferentes pigmentos fotosintéticos. Sin embargo se decidió utilizar solo siete pigmentos diagnóstico, ya que son aquellos utilizados por Vidussi *et al.* (2006), para determinar la contribución de los tres tamaños de fitoplancton (microfitoplancton, nanofitoplancton y picofitoplancton) al total de la clorofila. Estos siete pigmentos diagnóstico se encuentran asociados a diferentes grupos taxonómicos: la fucoxantina se relaciona a las diatomeas, la zeaxantina a cianobacterias, la peridina a dinoflagelados, la alloxantina a criptofitas, la clorofila *b* a clorofitas, la 19'-but a crisofitas y primnesiofitas, y 19'-hex a primnesiofitas (Jeffrey, *et al.*, 1997).

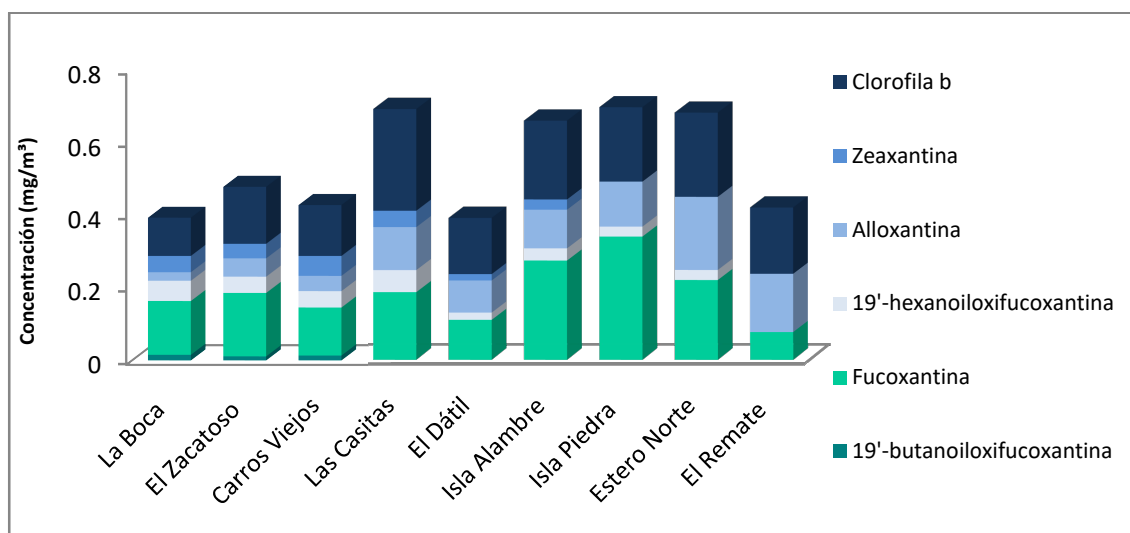


Figura 8. Composición de pigmentos diagnóstico en Laguna Ojo de Liebre analizados por medio de HPLC.

La mayor variedad de pigmentos accesorios se encontraron en la zona más externa de la laguna (Figura 5). Tres de las cuatro estaciones comprendidas en esta zona presentaron los seis pigmentos detectados (clorofila *b*, zeaxantina, alloxantina, 19'hex, 19'but y fucoxantina) y no se encontró peridininina para este muestreo. Las Casitas fue la única estación de la zona externa con cinco pigmentos. Cabe destacar que es una de las dos estaciones con la mayor concentración total de pigmentos en la laguna, la otra fue Isla Piedra. Conforme nos acercamos a la zona central (El Dátil e Isla Alambre) el número de pigmentos presentes se mantuvo en cinco (clorofila *b*, zeaxantina, alloxantina, 19'hex y fucoxantina), pero al llegar a Isla Piedra solo se detectaron cuatro pigmentos diagnóstico (clorofila *b*, alloxantina, 19'hex y fucoxantina). Al situarnos en la zona más interna de la laguna encontramos la estación con el menor número de pigmentos (El Remate), los cuales son: clorofila *b*, alloxantina, y fucoxantina (Figura 5). Los pigmentos fucoxantina, clorofila *b* y alloxantina fueron los más abundantes, y fueron observados en todas las estaciones (Figura 5). Estos pigmentos indican la presencia de diatomeas, clorofitas y criptofitas.

Omitiendo los pigmentos más frecuentes (fucoxantina, clorofila *b* y alloxantina) de acuerdo a la disminución de pigmentos en las diferentes zonas, se pudo inferir que para la parte exterior de la LOL la composición de la comunidad se conformó por cianobacterias, crisofitas y primnesiofitas. Posteriormente, en la estación cuatro (Las Casitas) el grupo de las crisofitas deja de figurar, y para la zona central siguen manteniéndose los mismos grupos taxonómicos hasta llegar a la estación Isla Alambre. A partir de la estación Isla Piedra ya no se encontraron

cianobacterias y se tiene la presencia solo de primnesiofitas. En la zona interior, en El Remate ya no se encontraron primnesiofitas y los grupos que determinan la composición de esta estación se reducen a los de los pigmentos más abundantes.

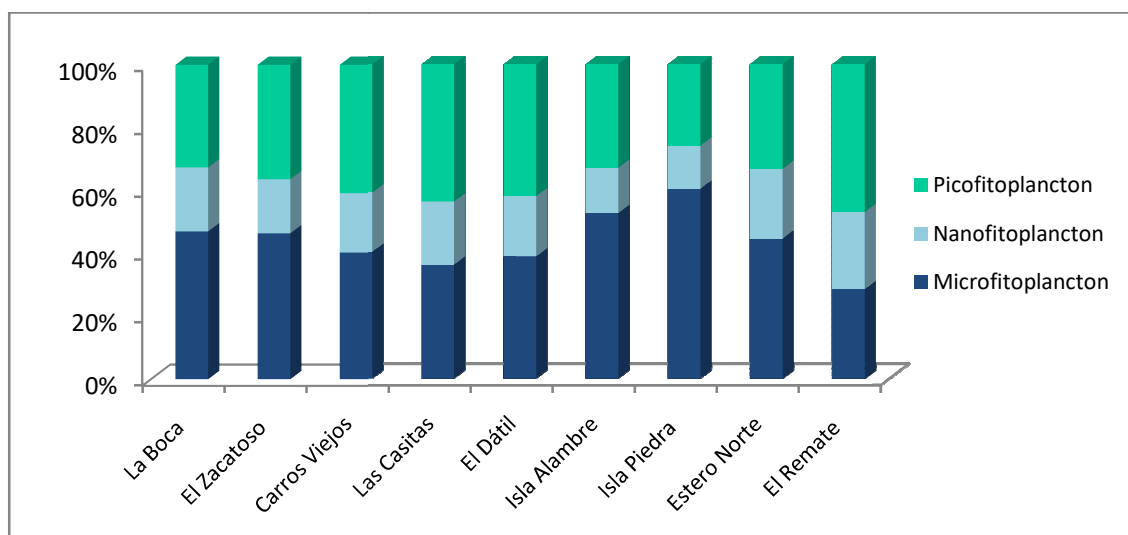


Figura 9. Porcentaje de clorofila *a* asociado a los diferentes tamaños de fitoplancton establecidos por Uitz *et al.* (2006).

Cabe destacar que en términos generales, la clorofila *a* en la laguna es producto principalmente del microfitoplancton, seguido del picofitoplancton y como menor contribuyente el nanofitoplancton. La relación entre microfitoplancton y picofitoplancton fue inversa.

En la Figura 6 se muestra la contribución de los distintos tamaños del fitoplancton al total de 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) y

solamente en una estación (Carros Viejos), ambos tamaños (microfitoplancton y picofitoplancton) tuvieron el mismo aporte a la clorofila *a*.

En la zona más exterior de la bahía se encuentran cuatro estaciones, en las dos más cercanas a la boca (La Boca y El Zacatoso) el grupo del microfitoplancton contribuyó, con el 46% al total de la clorofila *a*. La otra estación que comprende esta zona posee un mayor aporte a la clorofila *a* por parte del picofitoplancton cerca del 44% (Las Casitas) y en la última estación perteneciente a esta zona (Carros Viejos), se encontró que tanto el microfitoplancton como el picofitoplancton realizaron un aporte del 40% al total de clorofila *a*, por lo que no hay un tamaño que domine.

En la porción central de la laguna se encuentran tres estaciones, de las cuales solo en la estación El Dátil se tiene la mayor contribución a la clorofila *a* 42% a causa del picofitoplancton, en Isla Alambre e Isla Piedra cerca del 53% es producto del microfitoplancton.

Conforme nos acercamos al interior de la laguna, el aporte del microfitoplancton decrece y a su vez aumenta el del picofitoplancton, las últimas dos estaciones poseen la estación más interna (El Remate) posee el mayor porcentaje de clorofila *a* en presencia de picofitoplancton, constituyendo el 47%.

Adicionalmente, para el caso del nanofitoplancton el valor promedio fue de 20% en general, el aporte de clorofila *a* por parte de esta clase se mantuvo casi constante, sin embargo cabe resaltar que su máximo aporte fue en la zona interior,

teniendo para estas dos estaciones (Estero Norte y El Remate) 22% y 25% respectivamente.

6.6. VARIABLES OCEANOGRÁFICAS: TEMPERATURA Y SALINIDAD

La distribución de la temperatura en la laguna se mantuvo en un intervalo de 19.2 a 20.5°C. Las Casitas fue la estación con mayor temperatura (20.5°C), y el opuesto fue La Boca.

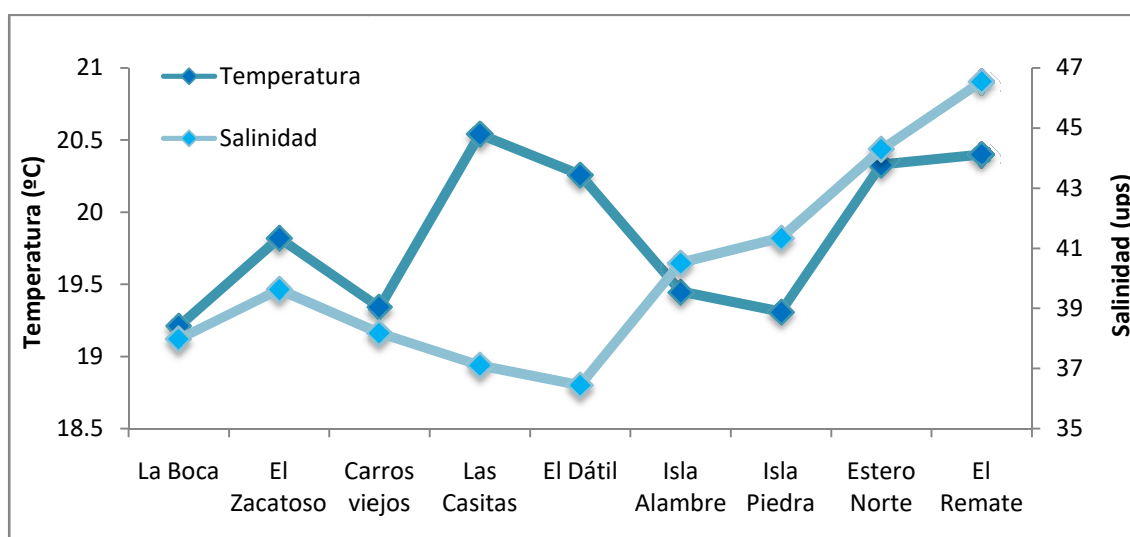


Figura 10. Temperatura (°C) vs Salinidad (ups) de la Laguna Ojo de Liebre.

Centrándonos en la distribución de la temperatura en la LOL, su valor máximo se presentó en la zona exterior (20.5°C) y en la parte central su valor mínimo (19.2°C), siendo la diferencia máxima de temperatura 1.3°C en toda la laguna. En la zona interior la temperatura se encontró estable y cercana al valor máximo (Norte y El Remate). Los cambios en valores de temperatura se encontraron asociados a la batimetría del lugar. El agua en los canales, al ser más profundos se calientan menos en comparación con las zonas someras (Álvarez-

Borrego y Granados-Guzmán, 1992), por tal motivo las estaciones que se encuentran en sitios más profundos poseen temperaturas bajas (e. g., La boca o Isla Piedra) el caso contrario ocurre con las estaciones en sitios someros. La variación de temperatura se ve relacionada a la batimetría de la laguna (Figura 1 y Figura 10).

Por otro lado, la salinidad mostró una variación de 36.4 a 46.5, donde fueron visibles dos patrones: una ligera disminución a partir de la boca y hasta El Dátil, y un incremento más pronunciado desde El Dátil hasta El Remate (Figura 10).

7. DISCUSIÓN

El objetivo principal de este trabajo fue caracterizar la comunidad fitoplanctónica en la Laguna Ojo de Liebre. Ha sido poca información sobre este tema y después de casi treinta y cinco años se ha retomado la investigación en este sitio. El presente trabajo tiene como precursor el realizado por Millán-Núñez *et al.* (1987), y por esto se ha realizado una comparación entre ambos con el fin de obtener una mejor perspectiva del cambio. A continuación se muestran los puntos más relevantes en cuanto a los resultados obtenidos, dividiendo la información en dos secciones que abarcan abundancia e identificación de grupos fitoplanctónicos y variables oceanográficas: temperatura y salinidad.

7.1. ABUNDANCIA E IDENTIFICACIÓN DE GRUPOS FITOPLANCTÓNICOS

Durante el mes de febrero de 2018 los géneros que se encontraron en la laguna no fueron exactamente los mismos que se presentaron durante el muestreo de Millán-Núñez *et al.* (1987) llevado a cabo durante finales de marzo y principios de abril de 1982. Se identificaron 19 géneros en el muestreo realizado en febrero de 2018, compartiendo el 47% de los géneros con los reportados por Millán-Núñez *et al.* (1987). Cabe resaltar que este porcentaje (47%) se divide en: 42% diatomeas y 5% dinoflagelados. El 53% restante de los géneros reportados en este trabajo son nuevos registros para la comunidad fitoplanctónica que reside en la laguna (21% diatomeas pennadas, 16% diatomeas centrales, 10% dinoflagelados y 5% silicoflagelados) y el 53% reportado por Millán Núñez *et al.*

(1987) son géneros que no lograron observarse durante este muestreo (21% diatomeas pennadas, 21% diatomeas centrales, 5% dinoflagelados y 5% flagelados). Como se planteó en un principio lo anterior satisface la hipótesis planteada, ya que la estructura de la comunidad fitoplanctónica continúa siendo caracterizada por diatomeas pennadas y comparte una similitud del 47% con lo reportado en la literatura desde hace más de 35 años.

La forma en que se llevó a cabo la cuantificación del fitoplancton (Utermöhl, 1958) ha sido ampliamente utilizada para determinar la abundancia celular, permitiendo para este análisis la diferenciación a nivel género. De esta manera se agruparon los géneros de acuerdo a su taxonomía, en donde se destacó la presencia de diatomeas pennadas como mayor constituyente de la comunidad fitoplanctónica, seguido de diatomeas centrales, dinoflagelados y silicoflagelados (Figura 2). Las diatomeas son el taxón más abundante comprendiendo cerca del 85% de la comunidad, coincide con lo reportado por Contreras (1985) considerando a las diatomeas como la flora fitoplanctónica predominante en las lagunas costeras de México. La presencia de estas radica en su capacidad de adaptación en sistemas donde la disponibilidad de nutrientes, turbulencia y luz es alta (como sucede con la LOL), lo que lleva al desarrollo de una red alimenticia con células más grandes (diatomeas) que transfieren una mayor proporción de la productividad primaria a tróficos superiores niveles, por otro lado en aguas con oceánicas u oligotróficas es más común que la comunidad se fitoplanctónica se encuentre dominada por picofitoplancton (Cullen, *et al.*, 2002).

Los valores de abundancia del microfitoplancton mostraron una dispersión elevada lo que impidió realizar un análisis estadístico entre las estaciones (ver Figura 8). Sin embargo, al analizar la distribución promedio de los grupos principales se lograron identificar ciertos patrones espaciales. Para diatomeas centrales y pennadas se observó un patrón de distribución bimodal, con las mayores abundancias en los extremos de la LOL (porciones externa e interna), mientras que la menor radicó en la zona central. Asimismo, las mayores abundancias se encuentran asociadas a las zonas donde la temperatura es mayor (El Zacatoso, Las Casitas, Estero Norte y El Remate), mientras que la parte central presentó los menores valores. Los dinoflagelados presentaron una distribución inversa, concentrándose sobre todo en Estero Carros Viejos (la zona externa de la LOL), mientras que los silicoflagelados fue el grupo menos frecuente y se registró principalmente en la zona exterior (El Zacatoso).

Al realizar la comparación con las abundancias celulares expresadas por Millán-Núñez *et al.* (1987) se encontró con un aproximado de abundancia mínima de 25 cél L⁻¹ asociado a diatomeas céntricas, y al compararse con las del presente trabajo (8 cél L⁻¹ reportadas para *Chaetoceros sp.*) se observó que existe diferencia de un orden de magnitud.

Sin embargo la clorofila *a* máxima reportada por Millán-Núñez *et al.* (1987) fue similar (1.2 mg m⁻³) a la obtenida en febrero 2018 (1.3 mg m⁻³), lo que podría expresar que a pesar de la baja abundancia celular de microfitoplancton en el presente muestreo, la otra fracción de tamaño importante es el picofitoplancton,

quien se encuentra constituyendo el 37% de la comunidad fitoplanctónica en la laguna.

Lo anterior muestra que a pesar de que ha habido una extraordinaria reducción en la abundancia del microfitoplancton, esta disminución no se ha reflejado en un cambio de la concentración de clorofila *a*. Esta “estabilidad” puede ser atribuida al grupo del picofitoplancton, que actualmente contribuye con el 37% al total de clorofila *a* (ver Figura 6), lo que podría ser una respuesta ante la disminución del microfitoplancton en la laguna. Sin embargo, esta disminución en el microfitoplancton puede llegar a ser un problema para los organismos filtradores. Según Arellano-Martínez (2005) algunos de los moluscos filtradores (*Nodipecten subnodosus*) que residen en la LOL responden ante el aumento de microfitoplancton, siendo éste motivo de desove, que probablemente asegura el suministro de alimento para las larvas. Al tener menor cantidad de microfitoplancton los organismos se ven restringidos al desove y a una dieta de menor calidad.

Se conoce que el fitoplancton juega un papel importante en la ecología de sistemas acuáticos y es que además de ser productores de oxígeno, y de ser la base de la cadena trófica, también son eficazmente utilizados como biomarcadores de calidad del agua (Baylón-Coritoma *et al.*, 2018). La concentración de clorofila *a* presente en una comunidad fitoplanctónica logra ser utilizada para conocer el estado trófico del sistema. De esta forma, con base a lo reportado por Barocio-León *et al.* (2006) se puede definir que la LOL es un sistema mesotrófico dado que el valor máximo de clorofila *a* registrado en febrero de 2018 fue de 1.3

mg m⁻³ (y 1.0 mg m⁻³ de clorofila *a* como promedio). Al compararse con las concentraciones máximas de clorofila *a* reportadas por Millán-Núñez *et al.* (1987) y Arellano-Martínez (2005), ambos valores mostraron una concentración de 1.2 mg m⁻³, por lo tanto se observa que los valores anteriores (1982 y 2001) y lo encontrado en este estudio (2018) son similares, con lo que se podría asumir a grandes rasgos que se ha mantenido desde hace más de treinta y cinco años el estado trófico de la laguna.

Algunos pigmentos de los grupos del fitoplancton son altamente específicos, es por ello que se consideran como un rasgo de identificación taxonómica. Existe una amplia variedad de estos, por ejemplo, la peridininina es uno de los principales pigmentos presentes en las células de dinoflagelados, se utilizan como bio-marcadores taxonómicos para determinados grupos de microalgas (Quiroz-Del Campo, 2014). El análisis por HPLC mostró un resultado similar que el análisis de microscopía, en donde la fucoxantina fue el carotenoide fotosintético más abundante y presente en toda la laguna (Figura 4).

Por otro lado, seguido de la clorofila *b* y la alloxantina, 19'-But fue el pigmento con menor concentración, y peridininina fue el único pigmento que no se encontró. Sin embargo, si se encontraron dinoflagelados al microscopio (ver Anexos). Esta diferencia puede ser explicada por el hecho de que la peridininina no es un pigmento que esté presente en todos los géneros de dinoflagelados, ya que entre estos hay géneros heterotróficos obligados o mixotróficos (Gómez, *et al.*, 2011). Lo que indica que los géneros observados al microscopio poseían esa característica. Es importante mencionar que se observó una reducción en el

número de pigmentos diagnóstico conforme se adentra en la laguna, pasando de detectar seis pigmentos en La Boca hasta llegar a tres en El Remate. Esta reducción de pigmentos se vio relacionada con la disminución de diversidad, siendo la zona interior la menos diversa en cuanto a ambas variables. Cabe resaltar, que este es el primer trabajo que reporta las concentraciones de pigmento del fitoplancton mediante el uso de HPLC para la LOL.

Taylor *et al.* (2016) también realizó un trabajo similar al presente, donde por medio del análisis de HPLC y de ecuaciones para tamaños de fitoplancton que utilizan pigmentos diagnóstico, logró definir que para su zona de estudio (Domo de Costa Rica) la contribución a la biomasa fitoplanctónica se encuentra dada por el picofitoplancton, siendo este un ~60% del total. Para LOL, se observó que la mayor cantidad aportada por el grupo del microfitoplancton (44%), seguido del picofitoplancton aportando un 37% y en último lugar el nanofitoplancton con un 19%. Lo anterior tiene sus implicaciones, cuando se presenta en mayor proporción para una determinada zona el fitoplancton de menor tamaño (picoplancton), predomina el bucle microbiano y a su vez, el reciclaje de nutrientes, lo que conlleva a que la exportación de materia orgánica hacia el interior del océano sea débil. No obstante, cuando se tiene mayor presencia de microfitoplancton, la organización trófica se caracteriza por la presencia del pastoreo (por parte del zooplancton) y la transferencia de carbono hacia niveles tróficos superiores, la exportación de materia hacia el océano se vuelve más importante (López-Sandoval, 2013).

El índice de similitud de Sorensen se utilizó para comparar las estaciones y para establecer si existía en diferencias entre las tres zonas en que dividimos la laguna (exterior, central e interna), (Figura 3). Considerando lo anterior el análisis arrojó que en la LOL la distancia por sí misma no es el principal factor que influye en la distribución del fitoplancton, ya que las estaciones más alejadas entre sí (La Boca y El Remate), no son las de menor similitud, sino que fueron La Boca y Estero Norte las más disímiles. Por lo tanto no es la distancia lo que modifica la comunidad del fitoplancton sino la configuración del estero, que posiblemente restringe el intercambio de células con el resto de la porción interna de la laguna. Posibles explicaciones para esto son la geomorfología y el intercambio de mareas, ya que la configuración geomorfológica del Estero Norte le mantiene más aislado que otras estaciones (Figura 1), por lo que al ingresar el agua a la LOL no se logra distribuir fácilmente al estero. Por otro lado, durante la fase del mareas vivas se produce un intercambio mayor de material en la LOL, para el día en que se realizó el muestreo (7 de febrero) la marea fue muerta, lo que pudo haber influido reduciendo el intercambio de fitoplancton al Estero Norte.

Para complementar el análisis de similitud, se evaluaron los patrones espaciales de diversidad y dominancia (Figura 4). La Boca fue la estación con mayor diversidad. Esto se debe a su localización, ya que al internarse en la laguna en términos generales la dominancia aumentó gradualmente, y es en Estero Norte donde se encontró el escenario más opuesto respecto a La Boca, lo que confirma la baja similitud entre ambas estaciones. En términos generales se puede inferir que la dominancia aumenta gradualmente hacia el interior de la laguna.

7.2. VARIABLES OCEANOGRÁFICAS: TEMPERATURA Y SALINIDAD

La temperatura desempeña un rol importante en la sucesión estacional de las comunidades fitoplanctónicas, al favorecer la predominancia y biomasa de algunos grupos algales. Se tiene evidencia que el aumento de temperatura induce a la disminución del crecimiento del fitoplancton, lo que trae consigo un desplazamiento de los grupos con menor capacidad de adaptación a las altas temperaturas o estrategias de reducción de tamaño para adaptarse y mantenerse a lo largo del año, como lo hacen las diatomeas (Ayala-Rodríguez, 2008).

Centrándonos en la distribución de la temperatura en la LOL, su valor máximo se presentó en la zona exterior (20.5°C) y en la parte central su valor mínimo (19.2°C), siendo la diferencia máxima de temperatura 1.3°C en toda la laguna. En la zona interior la temperatura se encontró estable y cercana al valor máximo (Estero Norte y El Remate). La temperatura registrada para 1982 por Millán-Núñez *et al.* (1987) se encontró en un intervalo de 15°C a 18°C. Aunque la diferencia fue mayor para 1982, resulta claro el aumento de temperatura en la LOL. El muestreo realizado por Cívico-Collados (2016) arrojó para febrero una temperatura promedio de 20°C, dicho valor se asemeja al máximo obtenido en 2018. Sin embargo, para 2001 y 2002 Arellano-Martínez (2005) encontró temperaturas promedio para febrero de 15.9°C y 17.3°C respectivamente, siendo comparativamente menores inclusive, que los reportados en 1982. La variación de temperatura se ve relacionada a la batimetría de la laguna (ver Figura 1), con las temperaturas menores asociadas a los canales más profundos y las temperaturas altas a zonas más someras o bajos.

Cabe mencionar que, desafortunadamente los valores de conductividad registrados por la unidad de CTD sobreestimaron las condiciones reales por falta de mantenimiento en la unidad, por lo tanto se recomienda utilizarlos solo como indicadores de tendencias pero no de manera cuantitativa. Sin embargo, es bien sabido que los altos valores de salinidad en la laguna la hacen también un ecosistema único, y las especies que se encuentran residiendo en ella poseen un amplio intervalo de tolerancia.

8. CONCLUSIONES

Se encontró que en la Laguna Ojo de Liebre (LOL) el grupo taxonómico del fitoplancton más abundante fueron las diatomeas pennadas, encontrándose representadas por nueve géneros: *Amphiprora sp.*, *Diploneis sp.*, *Licmophora sp.*, *Navicula sp.*, *Nitzschia sp.*, *Pleurosigma sp.*, *Pseudonitzschia sp.*, *Striatella sp.* y *Thalassionema sp.*, entre los cuales cabe destacar que *Navicula sp.* fue el único género que estuvo presente en todas las estaciones. En el Estero Norte (zona interna) el género *Thalassionema sp.* dominó con una abundancia de 36,020 células L⁻¹, este género ya había sido reportado previamente por Millán-Núñez *et al.* (1987), lo que indica se trata de una especie clave para la comunidad al menos durante treinta y cinco años.

Como segundo constituyente de la composición fitoplanctónica, se registró el grupo de diatomeas centrales siendo representadas por seis géneros: *Bacteriastrum sp.*, *Chaetoceros sp.*, *Coscinodiscus sp.*, *Guinardia sp.*, *Leptocylindrus sp.* y *Rhizosolenia sp.*, de los cuales *Chaetoceros sp.* fue el más

frecuente, encontrándose en las nueve estaciones. Diatomeas pennadas y centrales estuvieron distribuidas a lo largo de la LOL, sin embargo, en la parte central es donde fueron menos abundantes.

Grupos menos frecuentes en la comunidad fueron dinoflagelados, (géneros: *Ceratium sp.*, *Peridinium sp.* y *Prorocentrum sp.*) y silicoflagelados (género: *Dictyocha sp.*) presentes en seis y cuatro de las nueve estaciones, siendo respectivamente.

Los tres grupos de tamaño del fitoplancton en la LOL contribuyeron al total de la clorofila *a* en las siguientes proporciones: microfitoplancton (44%), nanofitoplancton (20%) y picofitoplancton (37%). Dado que la concentración de clorofila *a* se ha mantenido similar entre los valores actuales (promedio 1.0 mg m^{-3}) y los valores reportados por Millán-Núñez *et al.* (1987, 1.2 mg m^{-3}) a pesar de la fuerte reducción de la abundancia del microfitoplancton (un orden de magnitud comparando los mínimos valores de ambos trabajos), se considera que el rol del picofitoplancton ha tomado mayor relevancia para la laguna.

La temperatura tiene una dependencia de acuerdo a la hidrografía de la LOL, siendo los canales profundos los que definen las temperaturas más bajas y las zonas más someras las temperaturas más altas. Con los datos de temperatura se buscó establecer una relación con la abundancia de géneros, para describir un patrón de acuerdo a la afinidad de los mismos por las diferentes zonas, sin embargo no fue posible estimar cierta relación, ya que los valores de abundancia fueron sumamente dispersos.

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.
- ÁLVAREZ-BORREGO, S., y GRANADOS-GUZMÁN, A. (1992). Variación espacio temporal en un hábitat de invierno de la ballena gris: Laguna Ojo de Liebre. *Ciencias Marinas*, 18(1): 151-165.
- AYALA-RODRÍGUEZ, G. (2008). Grupos funcionales del fitoplancton y estado trófico del Sistema Lagunar Topolobampo-Ohuira-Santa María. México (Tesis). Instituto Politécnico Nacional. Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas.
- ARELLANO-MARTÍNEZ, M., RACOTTA, I. S., CEBALLOS-VÁZQUEZ, B. P., y ELORDUY-GARAY, J. F. (2004). Biochemical composition, reproductive activity and food availability of the Lion's Paw scallop *Nodipecten subnodosus* in the Laguna Ojo de Liebre, Baja California Sur, Mexico. *Journal of Shellfish Research* 23 (1):15-23.
- 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., y 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.
- BAROCIO-LEÓN, O., MILLÁN-NUNÉZ, R., SANTAMARÍA-DEL-ÁNGEL, E., GONZALEZ-SILVERA, A., y TREES, C., (2006). Spatial variability of phytoplankton absorption coefficients and pigments off Baja California during November 2002. *Journal of Oceanography* 62, 873–885.
- BAYLÓN-CORITOMA, M., ROA-CASTRO, K., LIBIO-SÁNCHEZ, T., TAPIA-UGAZ, L., JARA-PENA, E., MACEDO-PRADA, D., y DEXTRE-RUBINA, A. (2018). Evaluation of the Diversity of Phytoplanktonic Algae As Water Quality Indicators in High Andean Lakes of the Department of Pasco (Peru). *Ecología Aplicada*, 17(1).

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.

CARABIAS, J., PROVENCIO, E., DE LA MAZA, J., GUTIERREZ, D., GOMEZ, M., y SÁNCHEZ, V. (2000). Programa de manejo de la reserva de la biosfera El Vizcaíno, Desarrollo Gráfico Editorial, México, D.F.

CASTELLANOS, A., SALINAS, F., y 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.

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.

CONTRERAS, F. (1985). Las lagunas costeras mexicanas. Centro de Ecodesarrollo-Secretaría de pesca, Mexico 263 pp.

CONTRERAS, F., y CASTAÑEDA, O. (2004). La biodiversidad de las lagunas costeras. *Ciencias* 76, octubre-diciembre, 46-56. Recuperado el 22 de febrero 2019 de: <http://www.revistaciencias.unam.mx/es/77-revistas/revista-ciencias-76/618-la-biodiversidad-de-las-lagunas-costeras.html>

CULLEN, J. J., FRANKS, P. J., KARL, D. M., y LONGHURST, A. (2002). Physical influences on marine ecosystem dynamics. *The sea*, 12, 297-336.

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 CRUZ-AGÜERO, J., COTA-GÓMEZ, V. M., y ARELLANO-MARTÍNEZ, M. (1996). Lista sistemática de los peces marinos de las lagunas Ojo de Liebre y Guerrero Negro, B.C.S. y B.C., México. *Ciencias Marinas*, 22(1) 111-128.

GÓMEZ, F., MOREIRA, D., y LÓPEZ-GARCÍA, P. (2011). Avances en el estudio de los dinoflagelados (Dinophyceae) con la filogenia molecular. *Hidrobiológica*, 21(3), 343-364. Recuperado en 03 de junio de 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972011000300011&lng=es&tling=es

GUIRY, M. D., y GUIRY, G. M. (2019). *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National, University of Ireland, Galway. <http://www.algaebase.org>; searched on 18 March 2019.

JEFFREY, S. W., MANTOURA, R. F., y WRIGHT, S., W. (1997). *Phytoplankton Pigments in Oceanography: Guidelines and Modern Methods*. UNESCO Publishing, Paris, 661 pp.

KUDELA biological and satellite oceanography laboratory. (2018). *Tiny Drifters a guide to the phytoplankton along the California coast*.

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

LARA-LARA, J. R., y ÁLVAREZ-BORREGO, S. A. (1975). Ciclo anual de clorofilas y producción orgánica primaria en Bahía de San Quintín, B.C. México. *Ciencias Marinas*, 2(1), 77–97.

LÓPEZ-OSORIO, R., CANON-PAEZ, M., y GRACIA-ESCOBAR, M. (2011). Catálogo de Fitoplancton de la Bahía de Cartagena.

LOPÉZ-SANDOVAL, D. (2012). Fijación de carbono, exudación y respiración en fitoplancton marino: Relación el tamaño celular y la afiliación taxonómica, 1–264. <https://doi.org/10.1174/021435502753511268>

MAGUIÑO-NAPURÍ, R., MAEDA-MARTÍNEZ, AN., MOCTEZUMA-CANO, T., VALLE-MEZA, G., y 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.

MEAVE-DEL CASTILLO, M. E., ZAMUDIO-RESENDIZ, M. E., y CASTILLO-RIVERA, M. (2012). Phytoplanktonic richness of the Bahía de Acapulco, Guerrero, Mexico. *Acta botánica mexicana*, (100), 405-487. Recuperado en 27 de mayo de 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-71512012000300013&lng=es&tlng=en

MILLÁN-NÚÑEZ, R. (2005). Protocolo Para el Análisis de Pigmentos por HPLC en Agilent 1260. Cuerpo Académico “ECOLOGÍA DEL FITOPLANCTON” De la DES de Ciencias Naturales y Exactas de la UABC. México.

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.

PERAZA-ESCARRÁ, R. (2017). Diversidad y abundancia de fitoplancton del embalse Abreus (Cienfuegos, Cuba). Cuba. (Tesis). Centro de Investigaciones Marinas de la Universidad de La Habana y Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos.

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.

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.

SPRAGUE, J. G., MILLER, N. B., y SUMICH, J., L. (1978). Observations of gray whales in Laguna de San Quintín, northwestern Baja California, Mexico. *Journal of Mammalogy*, 59(2), 425-427.

SOLÍS-GIL, J., y ESCOBEDO-QUINTERO, J. (2002). Estructura de la comunidad de peces de arrecife de Bahía Banderas, México. Temporada 1996. México (Tesis). Universidad Autónoma de Nayarit y Universidad Autónoma de Guadalajara.

SOSA-AVALOS, R., GAXIOLA-CASTRO, G., OLIVOS-ORTIZ, A., y SILVA-IÑIGUEZ, L. (2013). Nutrientes inorgánicos y producción del fitoplancton en una laguna costera subtropical de México. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. <https://doi.org/10.4067/S0718-19572013000100012>

TAYLOR, A. G., LANDRY, M. R., FREIBOTT, A., SELPH, K. E., y GUTIERREZ-RODRÍGUEZ, A. (2015). Patterns of microbial community biomass, composition and HPLC diagnostic pigments in the Costa Rica upwelling dome. *Journal of Plankton Research*, 38(2), 183–198.

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.

UITZ, J., CLAUSTRE, H., MOREL, A., y HOOKER, S., B. (2006). Vertical distribution of phytoplankton communities in open ocean: An assessment based on surface chlorophyll. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 111(8).

UTHERMÖHL, H. (1958). Zur Vervollkommung der quantitativén phytoplankton methodic. Mitt. Int. Verein. Theor. Anew. Lim. 17-47.

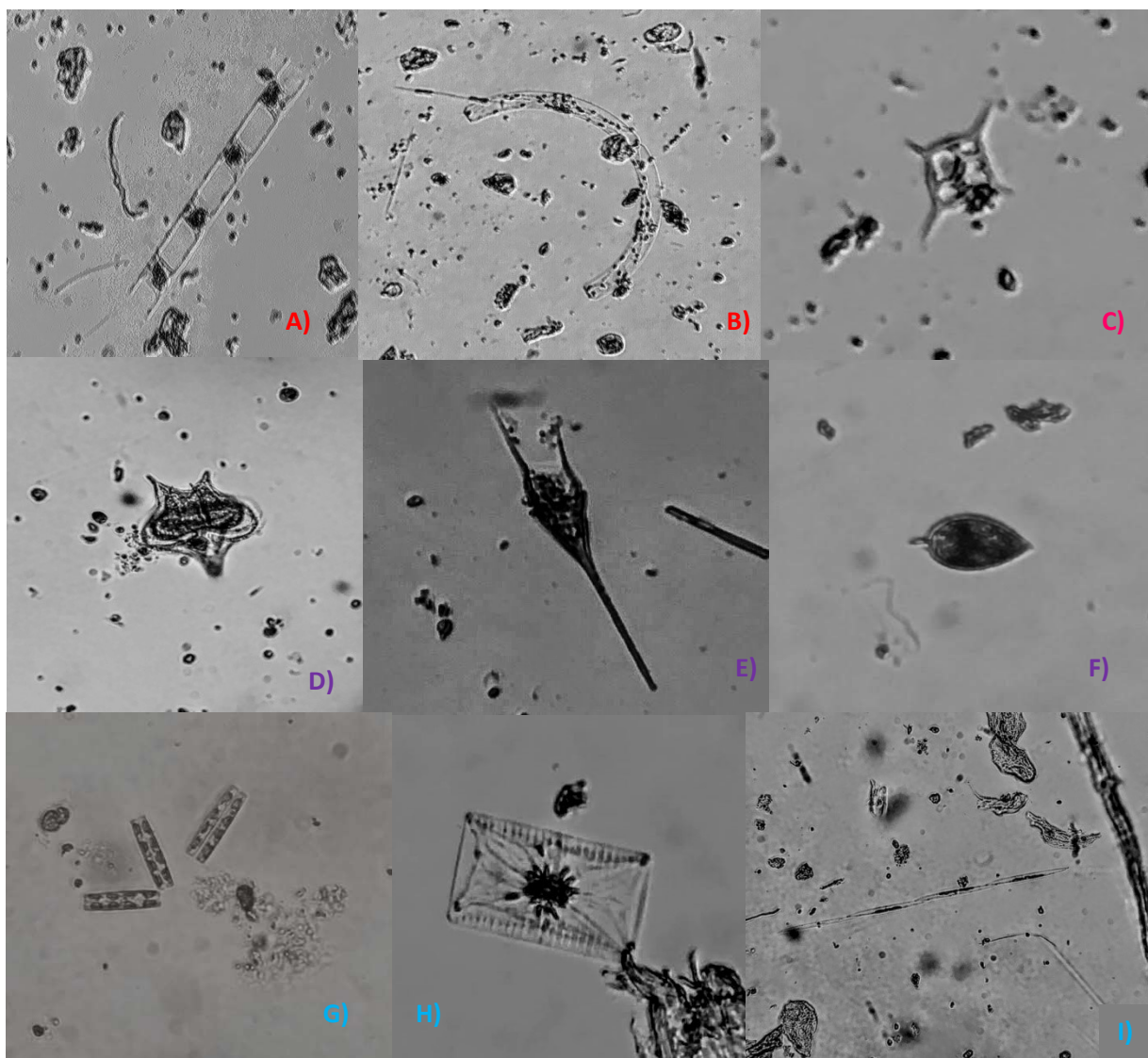
VAN HEUKELEM, L., y THOMAS, C., S. (2001). Computer-assisted highperformance liquid chromatography method with applications to the isolation and analysis of phytoplankton pigments. *Journal of Chromatography*, A 910: 31–49

VARONA-CORDERO, F., y GUTIÉRREZ-MENDIETA, J. (2006). Composición estacional del fitoplancton de dos lagunas costeras del Pacífico tropical. Mexico. *Hidrobiológica* 16 (2): 159-174.

VIDUSSI, F., CLAUSTRE, H., MANCA, B. B., LUCHETTA, A., y JEAN-CLAUDE, M. (2001). Phytoplankton pigment distribution in relation to upper circulation in the eastern Mediterranean Sea during winter. *Journal of Geophysical Research*, 106, 939–956.

10. ANEXO

Representación de grupos del microfitoplancton para la Laguna Ojo de Liebre en febrero de 2018.



Anexo 1. **Diatomeas centrales:** A) *Chaetoceros* sp. cadena de cuatro células. B) *Guinardia* sp. **Silicoflagelados:** C) *Dictyocha* sp. **Dinoflagelados:** D) *Peridinium* sp. E) *Ceratium* sp. F) *Prorocentrum* sp. **Diatomeas pennadas:** G) *Thalassionema* sp. tres células H) *Striatella* sp. I) *Pseudonitzschia* sp. cadena de tres células.