



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**DISTRIBUCIÓN VERTICAL, PRODUCTIVIDAD
PRIMARIA Y ANÁLISIS ECOLÓGICO DEL
FITOPLANCTON MARINO EN UNA ZONA DE ALTA
PRODUCTIVIDAD EN LA COSTA DE TECPAN DE
GALEANA, GUERRERO, MÉXICO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

P R E S E N T A:

ROMÁN TZICURI BECERRA REYNOSO



**DIRECTOR DE TESIS:
DR. DAVID URIEL HERNÁNDEZ BECERRIL**

Ciudad Universitaria, CDMX a 2017



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Hoja de datos del jurado

1. Datos del alumno

**Becerra
Reynoso
Román Tzicuri
55952297
Universidad Nacional Autónoma de
México
Facultad de Ciencias
Biología
309013536**

2. Datos del tutor

**Dr.
David Uriel
Hernández
Becerril**

3. Datos del sinodal 1

**Dr.
Javier
Carmona
Jiménez**

4. Datos del sinodal 2

**Dra.
Dení Claudia
Rodríguez
Vargas**

5. Datos del sinodal 3

**Dra.
Hilda Patricia
León
Tejera**

6. Datos del sinodal 4

**Dr.
Francisco
Varona
Cordero**

7. Datos del trabajo escrito

**Distribución vertical, productividad primaria y análisis ecológico del
fitoplancton marino en una zona de alta productividad en la costa de
Tecpan de Galeana, Guerrero, México
68 p
2017**

Agradecimientos académicos

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México por darme la educación que tengo desde el bachillerato. A la Facultad de Ciencias por la formación de biólogo que ahora poseo, y a mi casa no oficial, el Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, de donde he obtenido gran parte del conocimiento que necesité para esta tesis. Agradezco también a mi tutor, el Dr. David Uriel Hernández Becerril, que me adoptó en su laboratorio, me dio las bases para poder investigar el fitoplancton, me permitió trabajar en dos cruceros oceanográficos, usar su laboratorio, y con quien he desarrollado mis conocimientos. Debo de agradecer también al Dr. Francisco Varona Cordero, quien me apoyó en esta investigación, me enseñó y logró que aprendiera a realizar el quehacer científico, y por si fuera poco, se encargó de obtener los resultados de citometría de flujo. A mis sinodales, al Dr. Javier Carmona Jiménez, a la Dra. Hilda Patricia León Tejera y a la Dra. Dení Claudia Rodríguez Vargas por su interés, apoyo y comentarios en el presente trabajo. Al M. en C. Erick Jose Ponce Manjarrez y al Dr. Francisco José Gutiérrez Mendieta, del Laboratorio de Ecosistemas Costeros, de la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Iztapalapa por haber realizado los análisis de pigmentos por HPLC. A la Coordinación de la Investigación Científica, por el uso del buque oceanográfico “El Puma”. Al Capitán Pascual Barajas y la tripulación de “El Puma”. Al Laboratorio de Biogeoquímica Acuática por analizar las muestras de nutrientes. Y a la Biol. Yolanda Hornelas Orozco, por las microfotografías en el Microscopio Electrónico de Barrido.

Esta tesis fue apoyada por dos becas PAPIIT (Conclusión de estudios y Titulación), dentro del proyecto “Estructura vertical del fitoplancton marino en el Pacífico Central Mexicano (IN206516).

Agradecimientos personales

Agradezco a mi madre Dulce Olivia Reynoso Rosales por apoyarme durante toda mi educación. A mi padre Luis Alejandro Becerra Arthur. A mi tío el Dr. Víctor Hugo Reynoso Rosales, por haberme convencido de ser biólogo. A mi hermano Emiliano Escudero Reynoso y a mis abuelos y tíos. A Roberto Salazar Pompa, Claudia Salazar Ortíz y Florencia Salazar Ortíz. A mis amigos de la facultad, Carlos Torres, Jorge Medina, Alejandro Cisneros, Armando Rodríguez, Eduardo García y muchos más. A mis amigos iguaneros Ángel Villarreal y Carlos Morán. A mis compañeros de laboratorio Nadia Herrera, Gauvain Peláez y Diana Balbuena. Y finalmente a mi novia, Karen Noriega Piña.

Índice

Resumen	1
Introducción	2
Marco teórico y antecedentes	4
Justificación	15
Hipótesis	15
Objetivos	16
Método	16
Colecta	16
Análisis de muestras	18
Resultados	20
Parámetros ambientales	20
Nutrientes	22
Análisis de la comunidad de fitoplancton	24
Productividad primaria	29
Análisis de pigmentos	29
Asociaciones ecológicas	32
Contribución a la Clorofila a	34
Investigación histórica oceanográfica	36
Discusión	37
Estructura de la comunidad	37
Nutrientes	41
Distribución vertical	41
Asociaciones ecológicas	43
Contribución a la Clorofila a según los pigmentos marcadores	44
Productividad Primaria	44
Análisis históricos oceanográficos	45
Conclusión	49
Anexos	50
Bibliografía	61

Resumen

El fitoplancton marino es la fracción correspondiente a los microorganismos que fotosintetizan suspendidos en el agua, y es de los mayores productores primarios en ecosistemas marinos. Se estudió el fitoplancton marino en una zona de alta productividad con el fin conocer la composición del fitoplancton marino presente, asociar estos resultados con las variables ambientales, y dar una explicación a la alta productividad que se presenta en esta zona. El presente estudio se realizó mediante un análisis de distribución vertical de la comunidad, su productividad primaria en cada profundidad y un análisis ecológico utilizando: análisis multivariados para determinar las relaciones entre abundancias de especies de fitoplancton, datos de citometría de flujo (abundancias de picofitoplancton), análisis de pigmentos como marcadores taxonómicos obtenidos por HPLC, datos de nutrientes ($-\text{NH}_4$, $-\text{NO}_3$, $-\text{NO}_2$, $-\text{PO}_4$ y $-\text{SiO}_2$), y parámetros fisicoquímicos del CTD (Temperatura, Salinidad y Oxígeno disuelto). También se realizó un análisis histórico oceanográfico mediante percepción remota, para conocer si la productividad primaria es estacional, y para explicar la causa de la alta productividad primaria que se presenta. El mayor índice de diversidad (de 3.6 bits/ind) se encontró en el máximo subsuperficial de Clorofila *a*, a los 15 metros de profundidad. Las especies dominantes obtenidas fueron diatomeas pequeñas formadoras de cadenas. La productividad primaria medida *in situ*, mediante el método de O_2 , fue de $29 \text{ mg C m}^{-3}\text{d}^{-1}$ en el máximo subsuperficial de Clorofila *a*, y la productividad primaria integrada fue de $651 \text{ mg C m}^{-2}\text{d}^{-1}$. La Fucoxantina (diatomeas) fue el pigmento que aportó más a la Clorofila *a*. Los análisis multivariados mostraron la asociación entre el máximo subsuperficial de Clorofila *a*, el amonio y las profundidades superficiales. Sin embargo, el picofitoplancton se asoció con los nitratos y la mayor profundidad. El análisis histórico oceanográfico mostró dos

temporadas altamente productivas, una en abril y otra en agosto-septiembre. La comunidad de fitoplancton en Tecpan de Galeana, en abril, se asemeja más a la comunidad de Cabo Corrientes, Jalisco, que a otras comunidades de fitoplancton de Guerrero. Las diatomeas del máximo subsuperficial de Clorofila *a* son las que aportaron la mayor biomasa. Se presentó tanto producción nueva como regenerada. La alta productividad medida *in situ* fue tan alta como los datos de percepción remota, y se propone que el aporte de los ríos de la costa de Guerrero, más la poca estratificación del agua y la surgencia costera son los factores que propician la alta productividad en la costa de Tecpan de Galeana.

Introducción

El fitoplancton corresponde al grupo de microorganismos fotosintéticos adaptados a vivir parcial o totalmente en la columna de agua (Reynolds, 2006). El fitoplancton marino está conformado por especies de varios grupos taxonómicos, como diatomeas, dinoflagelados, haptofitas, criptofitas, crisoficeas, rafidioficeas y clorofitas (Reynolds, 2006). Su importancia ecológica radica en ser el productor primario de los ecosistemas pelágicos, y contribuye con el 45% de la productividad primaria neta del planeta (Simon *et al*, 2009). Por estar a merced de la columna de agua, los organismos planctónicos tienen que lidiar con la turbulencia del agua, que aumenta cerca de la superficie y disminuye con la profundidad y con el hundimiento debido a la gravedad. Para evitar hundirse, las algas tienen adaptaciones morfológicas y fisiológicas que les permite disminuir su densidad con respecto a la del agua, y dependiendo del grupo taxonómico, pueden presentar vacuolas de gas, acumulación de lípidos, bombas de iones, espinas, mucílago, formación de cadenas e incluso formas que le permitan tener una mayor flotación (Reynolds, 2006).

La distribución del fitoplancton marino cambia tanto horizontal (en latitud y longitud) como verticalmente (profundidad). Por medio de sensores remotos es posible cuantificar la fluorescencia según el color del agua, y al inferir que dicha fluorescencia es aportada principalmente por la Clorofila *a* del fitoplancton, se puede tener una idea sobre su distribución horizontal y la temporalidad. Sin embargo, este método solo permite estimar la concentración de Clorofila *a* menos de 25 metros de profundidad (Kemp y Villareal, 2013), y por ende es necesario realizar análisis ecológicos con muestras de fitoplancton *in situ*. Para tener un estudio robusto sobre la ecología del fitoplancton marino, deben usarse las herramientas disponibles como percepción remota, análisis de muestras de red y de botella, datos oceanográficos e información de pigmentos y citometría de flujo.

En la costa de Tecpan de Galeana, Guerrero, se detectó una zona de alta productividad mediante sensores remotos, en el crucero "MareaR" I en el 2009, a bordo del B/O "El Puma" de la Coordinación de la Investigación Científica, de la Universidad Nacional Autónoma de México. Esta zona se seleccionó para hacer una nueva estación oceanográfica dentro del derrotero de los cruceros "MareaR", denominada estación "PG". En los años posteriores esta estación fue muestreada. Pese a que la concentración de clorofila en la estación "PG" se aproximaba a los 30 mg m⁻³ de Clorofila *a* según percepción remota, lo cual es muy alto para una zona costera, no existe información publicada sobre la dinámica oceanográfica, o sobre el fitoplancton marino de la costa de Tecpan de Galeana, y existen muy pocas publicaciones sobre el fitoplancton marino en Guerrero y en el Pacífico tropical mexicano.

Marco teórico y antecedentes

Las definiciones que se han propuesto en la ecología de comunidades para comunidad, composición de la comunidad, y estructura de la comunidad varían según el autor. Se considera para este trabajo a una comunidad como el ensamble de poblaciones de organismos vivientes en un hábitat o lugar determinado (Krebs, 1978), composición de la comunidad como la lista de las especies presentes (Begon *et al*, 2006) y la estructura de la comunidad incluye aspectos físicos, y aspectos biológicos como la composición, abundancia, cambios temporales y relaciones entre las especies (Krebs, 1978).

Dentro de los factores oceanográficos que afectan a la distribución del fitoplancton está la mezcla del agua, que es provocada por la turbulencia. Cuando la turbulencia tiene poca energía, solamente es capaz de lograr una mezcla horizontal del agua, y cuando la turbulencia tiene alta energía puede mezclar el agua verticalmente (Stewart, 2008). Existe una capa del océano importante para el fitoplancton marino: la capa superficial de Ekman, que está influenciada por la incidencia del viento y la fuerza de coriolis. Tanto el viento como la fuerza de coriolis provocan corrientes debajo de la superficie, que disminuyen exponencialmente su fuerza mientras rotan hacia la derecha según aumenta la profundidad, a este efecto se le denomina espiral de Ekman, y es el efecto que determina la profundidad de la capa de Ekman. Estos efectos pueden transportar masas, y están estrechamente relacionados con las surgencias costeras (Stewart, 2008). Basándose en el transporte de masas de Ekman, es posible calcular el índice de surgencia. Dependiendo de la incidencia y dirección del viento, se obtienen valores que de ser positivos, indican surgencia

costera y dan un estimado del volumen de agua que está surgiendo, pero en caso de ser negativos indican hundimiento del agua (Bakun, 1973).

La columna de agua en el océano puede estar estratificada o mezclada verticalmente. Se diferencia entre agua estratificada y agua mezclada según su densidad y su salinidad, un método cuantitativo para conocer la estratificación del agua es la frecuencia Brunt-Väisälä (Santander *et al*, 2003). La estratificación del océano es importante ya que está en constante aumento debido al calentamiento global, y si la estratificación aumenta, la comunidad del fitoplancton marino es afectada en su composición y productividad (Falkowski y Oliver, 2007). Fenómenos oceanográficos que son importantes para la productividad del fitoplancton marino son la estratificación del agua, las tormentas, los remolinos y las surgencias. La estratificación del agua provoca que exista poca mezcla entre la capa de agua que contiene a los nutrientes (nutriclina) y la zona fótica en donde puede estar el fitoplancton, de esta forma, es más difícil que el fitoplancton consiga nutrientes, ocasionando que baje la productividad primaria del fitoplancton, baje la exportación de carbono y cambie la estructura de la comunidad, favoreciendo a las especies de tallas más pequeñas (Falkowski y Oliver, 2007).

Las surgencias son movimientos de agua profunda y rica en nutrientes que emergen y desplazan al agua superficial. Pueden ser originadas por cuerpos subacuáticos, islas, corrientes, plumas de ríos y vientos (Lalli y Parsons, 1997). La surgencia provocada por viento se da cuando el viento corre de manera paralela a la costa (Stewart, 2008). Después de una surgencia, los nutrientes quedan a menor profundidad, y están disponibles para su aprovechamiento por el fitoplancton. Por

ende, las surgencias provocan un gran aumento en la biomasa y productividad del fitoplancton marino (Lalli y Parsons, 1997; Jennings *et al*, 2001).

Cullen (2015) define el máximo subsuperficial de clorofila como la capa dónde se encuentra el máximo local de clorofila, o la mayor concentración de clorofila en la columna de agua. Este máximo se forma en capas y es mantenido por interacciones ecológicas que operan de manera local. En estas interacciones se incluyen procesos autoecológicos como el crecimiento, la aclimatación fotosintética y el hundimiento o la migración vertical del fitoplancton (Cullen, 2015). La distribución vertical de la capa subsuperficial del máximo de clorofila cambia debido a la profundidad de la nutriclina y a la profundidad de la zona fótica, quedando en la zona que permita recibir luz y obtener nutrientes. La profundidad de esta capa subsuperficial del máximo de clorofila es distinta según los nutrientes del agua, siendo poco profunda en mares costeros (posiblemente eutróficos), entre 1 y 10 metros, y muy profunda en mares oligotróficos (50 metros aproximadamente) (Cullen, 2015).

La distribución de los nutrientes en el agua, que aumentan conforme se incrementa la profundidad, es importante para la distribución del fitoplancton marino y su ecología. Por lo tanto, la concentración de los mismos puede limitar o no el crecimiento de las poblaciones del fitoplancton y ocasionar cambios en la comunidad. Los nutrientes que se consideran importantes para todos los productores primarios en ecosistemas terrestres, dulceacuícolas y marinos son el nitrógeno (N), en forma de nitratos, nitritos y amonio, y el fósforo (P), en forma de fosfatos (Elser *et al*, 2007). Para el fitoplancton también se estudia el sílice (S) en forma de silicatos, por ser necesario para la formación de las frústulas de las diatomeas y las paredes celulares de otros

organismos, y finalmente un micronutriente importante para el fitoplancton es el hierro, asociado frecuentemente con florecimientos algales (Reynolds, 2006).

Cuando se habla de limitación del fitoplancton marino por nutrientes, se aplica la proporción de Redfield (Geider y La Roche, 2002), en donde estas proporciones para C:N:P son de 106:16:1. Por debajo de estas proporciones, habría limitación de nutrientes. También existe la limitación por sílice para el fitoplancton marino, si la concentración es menor a 2 μM , se considera que hay limitación por este nutriente (Egge y Aksnes, 1992). Específicamente para el fitoplancton marino, el nitrógeno es el nutriente limitante en lugar del fósforo, según revisiones de experimentos de enriquecimiento del medio natural (Elser *et al*, 2007). Las proporciones de N:P y $\text{NO}_3:\text{NH}_4$ pueden repercutir en la composición de la comunidad del fitoplancton marino. Una proporción donde el nitrógeno sea superior al fósforo propicia la presencia de picocianobacterias y picoeucariontes, mientras que una proporción de fósforo mayor al nitrógeno promueve la presencia de diatomeas y dinoflagelados (Glibert, 2016). También, una proporción de nitratos mayor al amonio favorece la existencia de diatomeas, mientras que una proporción de amonio mayor a los nitratos causa la dominancia de dinoflagelados y picocianobacterias (Glibert, 2016).

Se ha reportado que las comunidades del fitoplancton cambian si se incrementa la cantidad de nitrógeno en el medio, volviéndose dominantes especies formadoras de cadenas de los géneros *Chaetoceros*, *Skeletonema*, *Pseudo-nitzschia* y *Thalassiosira* (Carter *et al*, 2005). Resultados similares se han encontrado en México, al cambiar la composición del fitoplancton de dinoflagelados a diatomeas como *Thalassiosira*, y la sustitución de diatomeas “grandes” como *Coscinodiscus* spp. a diatomeas más

pequeñas (Varona-Cordero *et al*, 2014), y en Chile, donde el enriquecimiento propició la dominancia de diatomeas centrales formadoras de cadenas de los géneros *Skeletonema*, *Thalassiosira* y *Leptocylindrus*, que también reemplazaron a las diatomeas más grandes como *Coscinodiscus* spp. (Labbé-Ibañez *et al*, 2015). Es importante mencionar que se ha reconocido que entre más oligotrófico es el mar, y más profundo es el máximo subsuperficial de clorofila, las especies encontradas son de tallas más pequeñas (Cullen, 2015).

Según el origen del nitrógeno asimilado por el fitoplancton, la productividad se divide en dos. La productividad nueva es la que se da por la adquisición de nitratos del medio, el nitrato no tiene un origen orgánico. Por otro lado, la productividad regenerada es la que resulta del uso de amonio como la principal fuente de nitrógeno, y este amonio tiene un origen orgánico (Dugdale y Goering, 1967).

Dentro de las comunidades biológicas existen dinámicas importantes que se llevan a cabo, y el flujo de energía entre cada nivel trófico es una de estas. Se le conoce como productividad primaria a la tasa en que la biomasa se produce dentro de la comunidad gracias a los organismos fotoautótrofos por unidad de área (En ecosistemas terrestres) o por volumen de agua (En ecosistemas acuáticos) (Begon *et al*, 2006). Puede estimarse en unidades de energía, en masa seca, o en carbono. Se le conoce como productividad primaria bruta al total de energía, biomasa o carbono fijado por el productor primario (fotoautótrofo), y como productividad primaria neta a la diferencia de la productividad primaria neta menos la energía, biomasa o carbono perdido por la respiración fotoautótrofa (Begon *et al*, 2006).

De los métodos existentes para medir la productividad primaria en el océano, se destacan tres: el método de O_2 y CO_2 , de ^{14}C y de $^{18}O_2$ (Marra, 2002). Los métodos tienen diferencias entre sí, el $^{18}O_2$ se realiza adicionando $H_2^{18}O_2$ a la muestra, el $^{18}O_2$ se combustiona produciendo CO_2 , y se calcula la productividad primaria bruta según la concentración de CO_2 mediante espectrometría de masas. El ^{14}C se añade a la muestra en forma de bicarbonato, después se filtra, el ^{14}C se asimila dentro de la célula y se mide con técnicas de radioisótopos. Con este método se puede calcular productividad primaria neta, la productividad neta de la comunidad (aumento de biomasa) y fotosíntesis bruta. Finalmente, el método que no usa radioisótopos es el de O_2 y CO_2 , que funciona mediante incubaciones en botellas claras y oscuras, y se mide el cambio en la concentración del oxígeno disuelto y la tasa de respiración. Se puede estimar productividad primaria neta y productividad primaria bruta (Marra, 2002).

Debido a que los nutrientes tienen una máxima concentración ubicada a mayor profundidad que la capa subsuperficial de Clorofila *a*, para que estos puedan localizarse cerca de las células del fitoplancton, y ser absorbidos, es necesario que ocurra migración vertical (que pueden lograr llevar a cabo algunas especies del fitoplancton), o que se presente una mezcla vertical en el agua, permitiendo que los nutrientes se transporten hacia las zonas menos profundas (Wyatt, 2012). Con la creciente estratificación del agua, debido al calentamiento global, se espera que la productividad baje, pero a su vez, el calentamiento global provocará más lluvias. Entonces aumentará la cantidad de tormentas y remolinos, que pueden tener la fuerza para mezclar nuevamente el agua y aumentar la productividad del fitoplancton (Kemp y Villareal, 2013). Se ha propuesto que el calentamiento global podría generar un asa

de retroalimentación negativa en la productividad del fitoplancton debido tanto al aumento de la precipitación, como a la competencia de las especies diazotróficas, que son cianobacterias del género *Richellia* en simbiosis con algunas diatomeas de los géneros *Rhizosolenia* y *Hemiaulus*, pueden ser abundantes y altamente productivas en aguas estratificadas (Kemp y Villareal, 2013).

Una manera holística de describir la ecología del fitoplancton fue realizada por Ramón Margalef (1977), que aplicando solamente dos dimensiones (turbulencia del agua y concentración de nutrientes), la Mandala de Margalef nos indica algunas especies del fitoplancton que puedan pertenecer a tres de sus dominios: El primer dominio es caracterizado por alta turbulencia y gran concentración de nutrientes, y se encuentran ahí especies como *Chaetoceros* y *Thalassiosira*, propios de los florecimientos algales de primavera. El segundo dominio tiene poca turbulencia y una gran concentración de nutrientes, representado por especies como *Gonyaulax* y *Alexandrium*, y es consistente con fenómenos como mareas rojas. El tercer dominio tiene poca turbulencia y poca concentración de nutrientes, y tiene especies como *Ornithocercus*, *Tripes* y *Coccolithus*. El cuarto dominio, con mucha turbulencia y pocos nutrientes está vacío, y puede tener especies sobrevivientes de los otros dominios (Wyatt, 2012). Actualmente existe una nueva mandala para el fitoplancton, en donde toman en cuenta más dimensiones como temperatura, incidencia de luz, nitrógeno contra fósforo, nitratos contra amonio, tasa de crecimiento, tamaño celular, tipo de estrategia (K ó r), tipo de pigmentos, nueva producción contra producción regenerada, y cuestiones biológicas como autotrofia y mixotrofia. Cabe mencionar que esta nueva mandala incluye organismos del picofitoplancton, tanto picoeucariontes como picocianobacterias (Glibert, 2016). Específicamente en la fracción del

picofitoplancton, que está compuesta por picoeucariontes (Prasinofíceas y cocolitofóridos, por mencionar algunos) y picocianobacterias, existen dos géneros que aportan la mayor cantidad de productividad y abundancia en el océano: *Prochlorococcus* y *Synechococcus*. Son cianobacterias tan pequeñas que fueron descubiertas gracias a técnicas de epifluorescencia, y actualmente se estudian por medio de citometría de flujo. *Synechococcus* ha sido encontrado tanto en mares oligotróficos como eutróficos, y a profundidades tanto altas, como bajas, mientras que *Prochlorococcus* se distribuye en mares tropicales y subtropicales (Flombaum *et al*, 2013). En general, la abundancia de *Prochlorococcus* suele ser mayor a la de *Synechococcus* (Partensky *et al*, 1999). Se han encontrado distintos ecotipos con adaptaciones a la luz para ambos géneros. En *Synechococcus* se ha identificado diferencias en las proporciones de los cromóforos ficurobilina (PUB) y ficoeritobilina (PEB). Las poblaciones de *Synechococcus* con PEB alta son de aguas costeras mesotróficas, mientras que las poblaciones de *Synechococcus* de PUB alta son de aguas oceánicas oligotróficas. *Prochlorococcus* también presenta ecotipos distintos, reconocidos como adaptados a mucha luz, o adaptados a poca luz. Los ecotipos presentados tienen diferencias tanto ecológicas como genéticas (Partensky *et al*, 1999).

Área de estudio

Las muestras fueron colectadas en la zona de alta productividad, en la costa de Tecpan de Galeana, Guerrero, en una estación oceanográfica denominada "PG", con las coordenadas 17°08.278', -100°54.092' (Fig. 1). Cercano a la estación "PG" desemboca el Río San Luis y la laguna de Nuxco, en el municipio de Tecpan de Galeana, Guerrero, y al noroeste desembocan los ríos Coyuquilla y Petatlán, en el

municipio de Petatlán, Guerrero. Existe también una pequeña prolongación de tierra al noroeste, que corresponde a Puerto Vicente Guerrero, en el municipio de Tecpan de Galeana, Guerrero. Se menciona previamente a esta estación oceanográfica en un estudio para determinar la concentración de ácido domoico generado por diatomeas del género *Pseudo-nitzschia*, resultando una concentración de 0.17 ng/mL y una abundancia celular de 155 288 cel/L (Ahuja-Jiménez, 2015). En muestreos posteriores (Crucero “MareaR” VIII) fue muestreada esta estación con el fin de hacer un estudio de la productividad primaria, fraccionando entre el microfitoplancton, y el nano más el picofitoplancton (Ponce-Manjarrez *et al*, 2016).



Mapa de elaboración propia con base en el conjunto de datos vectoriales del INEGI serie III, escala 1:50 000 cartas E14C44 (Nuxco), E14C34 (San Luis, San Pedro), y E14C33 (Papanoa).

Fig. 1. Mapa de la ubicación de la estación "PG" en la costa de Tecpan de Galeana, Guerrero.

Según Kessler (2006), la corriente que actúa en la costa occidental mexicana, desde Cabo Corrientes hasta Oaxaca es la Corriente Mexicana Occidental. Se considera

una actualización del trabajo publicado anteriormente por Wyrтки (1965) en donde se indica que la Corriente Costera de Costa Rica llega hasta Cabo Corrientes. Kessler (2006) argumenta que no existe continuidad entre la Corriente Costera de Costa Rica y la Corriente de Mexicana Occidental debido a que la velocidad baja drásticamente en el Golfo de Tehuantepec, y por tanto son dos corrientes distintas. Kessler (2006) ofrece mapas estacionales de tres meses cada uno sobre las corrientes geostróficas en Pacífico tropical mexicano. Para el mes de abril, las corrientes geostróficas a la altura de Tecpan de Galeana corren de noroeste a sureste y los vectores disminuyen cerca de la costa. Sin embargo, en el mes de agosto los vectores se hacen muy pequeños, como si no actuara ninguna corriente o viento, y parece que prevalece una corriente geostrófica que viene del Golfo de Tehuantepec de sureste a noroeste (Kessler, 2006). Debido al poco enfoque hacia la Corriente Mexicana Occidental en el trabajo de Kessler (2006) también es necesario conocer la información del trabajo de Wyrтки (1965) sobre la Corriente Costera de Costa Rica, pero sabiendo que la parte que corresponde a México es una corriente distinta. En junio y julio la corriente corre hacia el norte, cercana a la costa, pero de agosto a diciembre se aleja de la costa después del Golfo de Tehuantepec, y el agua pasa a formar parte de la Corriente Ecuatorial del Norte. De enero a marzo la Corriente Costera de Costa Rica se mueve hacia el oriente, y no penetra en el Golfo de Tehuantepec, y en abril y marzo la corriente se restablece hacia el Golfo de Tehuantepec. En la parte de México, de octubre a abril se genera una contracorriente que va de norte a sur y se aleja de la costa, hacia el este, pero retoma la Corriente Costera de Costa Rica (Wyrтки, 1965).

Por la proximidad de la estación "PG" a la costa de Michoacán, y por ser parte del Pacífico Tropical Mexicano, es probable que presente fluctuaciones climáticas

similares a las reportadas previamente en una investigación histórica mediante percepción remota, realizada por Gallegos *et al* (2006), donde se identifican dos rasgos ambientales en el gradiente de temperatura, el aumento de norte a sur, y de la costa hacia el océano (oriente a poniente). A su vez, existe un retraso de tres meses entre el ritmo astronómico y la temperatura superficial del mar, debido a la inercia térmica de la capa superficial del océano, quedando marzo como el mes más frío, y noviembre como el más caliente. Para Michoacán, la tasa de enfriamiento es menor que en Colima y Jalisco, y la tasa de calentamiento que tiene es poca del mes de abril a mayo, y en junio aumenta. También, esta parte del Pacífico mexicano tiene una caída de 2°C en septiembre (Gallegos *et al*, 2006). Se ha estudiado la estratificación del océano en todo el norte del Pacífico y del Atlántico, y los datos disponibles de frecuencias Brunt-Väisälä más cercanos al Pacífico tropical mexicano son de $N = 10, 14$ y $18 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$, considerándose como agua estratificada (Emery *et al*, 1984).

También existen registros sobre la productividad primaria del fitoplancton medido por medio de percepción remota en el Pacífico tropical mexicano, principalmente para la zona de Cabo Corrientes, Jalisco. Se registró entre 292 y 366 $\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ con un promedio de 335 $\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$. La productividad más alta se registró en las costas de Jalisco y Nayarit, y los meses con mayor productividad fueron diciembre y enero en promedio (Sosa-Ávalos *et al*, 2006). Otro análisis mediante percepción remota obtuvo datos entre 1.50 y 0.38 $\text{gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ (López-Sandoval *et al*, 2009a). Los análisis de productividad primaria *in situ* tuvieron como resultado una productividad primaria neta de 1 a 4 $\text{mg C m}^{-3} \cdot \text{hr}^{-1}$ y una productividad primaria integrada entre 106 y 637 $\text{mgC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$.

$2d^{-1}$ según la estación, en el mes de mayo, en un estudio hecho durante tres cruceros en la zona de Cabo Corrientes, Jalisco (López-Sandoval *et al*, 2009b).

Justificación

Siendo prácticamente nula la información básica sobre la diversidad del fitoplancton de la costa de Tecpan de Galeana, y habiendo pocas publicaciones del tema en la costa de Guerrero y el Pacífico tropical mexicano este trabajo contribuye con información de la estructura de la comunidad, análisis ecológico y oceanográfico, además de describir la distribución vertical del fitoplancton, que es un tema poco estudiado. Además, en el presente trabajo se propondrá una explicación a la gran productividad primaria que existe en el lugar, posiblemente mayor a la de otras zonas productivas del Pacífico Tropical Mexicano.

Hipótesis

- Si el máximo subsuperficial de Clorofila *a* se encuentra en la zona óptima para la presencia de fitoplancton, entonces a esta profundidad, la estructura de la comunidad será compleja y diversa.
- Si la concentración de Clorofila *a* analizada por percepción remota es acertada, entonces se encontrará una productividad primaria considerable.
- La costa de Tecpan de Galeana presentará esta productividad estacionalmente. Y si esto sucede, entonces existirá una relación con la época de surgencias del Pacífico tropical mexicano.

Objetivos

- Determinar la estructura de la comunidad y función mediante los índices de diversidad y dominancia del fitoplancton marino, y su productividad primaria, en la costa de Tecpan de Galeana, Guerrero.
- Realizar una investigación histórica de la productividad primaria del punto de muestreo, por medio de bases de datos de percepción remota.
- Determinar las condiciones ambientales que se asocian más con los grupos del fitoplancton marino que aportan más productividad primaria en el punto de muestreo, y explicar el fenómeno con esta información.

Materiales y método

Colecta

El muestreo se llevó a cabo en el crucero oceanográfico "MareaR" VII, con un derrotero de Cabo Corrientes, Jalisco, a Acapulco, Guerrero, a bordo del B/O "El Puma" de la Coordinación de la Investigación Científica, de la Universidad Nacional Autónoma de México, saliendo desde Mazatlán, Sinaloa. La colecta se hizo en la estación "PG", el 22 de abril del 2015. Para colectar el fitoplancton, se usaron botellas Niskin de 10 litros de capacidad instaladas en la roseta del buque con un CTD (Sonda para medir conductividad específica, temperatura y presión) y fluorómetro acoplado (Ferrario *et al*, 1995). Dichas botellas se cerraron en la superficie, sobre el máximo de clorofila, en el máximo de clorofila, debajo del máximo de clorofila y en la profundidad de mínimo oxígeno. Posteriormente, las botellas se submuestrearon y se tomó muestra para hacer un experimento de productividad primaria con el método de oxígeno de Winkler, llenando botellas DBO claras y oscuras, dejando incubar *in situ* a las mismas profundidades que se tomó cada muestra por 4 horas y titulando al terminar la incubación (Strickland y Parsons, 1972). La siguiente muestra obtenida de

las botellas fue filtrada con dos filtros Millipore de 22 y 45 μm , y congelada para analizar los nutrientes del agua posteriormente, en el Laboratorio de Biogeoquímica Acuática del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Después se tomó muestra de agua para pigmentos y para citometría de flujo, en crioviales de 5 mL, usando glutaraldehído como fijador (Marie *et al*, 1999; Vidussi *et al*, 1996). Posteriormente, se submuestrearon tres litros de cada botella, y se filtraron con un tren de filtración y una bomba de vacío, en filtros Millipore de nitrocelulosa de 45 μm de abertura de poro y 4.7 cm de diámetro, con el fin de obtener muestras de cocolitofóridos (Bollmann *et al*, 2002). Después, se fijó muestra de agua por cada profundidad con lugol, en frascos ámbar de 250 mL para cuantificar fitoplancton. Finalmente se montó la red de fitoplancton de 30 μm en el winche del barco, y se realizó un lance con ella a una profundidad por debajo del máximo de clorofila. La muestra de red fue dividida en dos submuestras, y fue fijada una parte en formol al 4% y la otra parte en alcohol al 70% (Thronsen, 1978).

Análisis de muestras

Las muestras de red, botella y filtros se analizaron en el Laboratorio de Ecología y Diversidad de Fitoplancton Marino, del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México. Para identificar las especies, se usaron los trabajos de Moreno *et al*, (1996); Tomas (1997); Esqueda-Lara y Hernández-Becerril (2010); Hernández-Becerril y Díaz-Almeyda, (2006); Sournia, (1968); Li *et al*, (2011); Aké-Castillo *et al*, (1999); Fernandes y Frassao-Santos, (2011). Las muestras de red se observaron al microscopio óptico, utilizando un volumen aproximado de una gota del fondo de la muestra en un portaobjetos, y cubriendo con un cubreobjetos, en un microscopio óptico Olympus BX 40. Las especies encontradas fueron fotografiadas

con una cámara Hitachi KP D50 montada en el microscopio. Las muestras de botella se analizaron con el método de sedimentación de Utermöhl (Hasle, 1978) utilizando cámaras de sedimentación para fitoplancton de 25 mL, se dejaron sedimentar durante 24 horas, y posteriormente se observaron en un microscopio invertido Zeiss Inverstoskop, y se cuantificaron las células por especie, para obtener la abundancia, en dos transectos, a 20x de magnificación, contando como mínimo 300 células por muestra.

Los filtros para coccolitofóridos fueron montados cortando una rebanada triangular del filtro, para obtener muestra del centro y de la periferia, y se les colocó de una a tres gotas de aceite de inmersión, sobre un portaobjetos para transparentarlos (Bollmann *et al*, 2002). Posteriormente, se les cubrió con un cubreobjetos y se observaron a 40x y 100x en el microscopio óptico. Se reservó un pedazo de filtro para analizarse en el Microscopio Electrónico de Barrido del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (Bollmann *et al*, 2002) y los coccolitofóridos se identificaron con el trabajo de Hernández-Becerril *et al*, (2016).

Las muestras para pigmentos fueron procesadas en el Laboratorio de Ecosistemas Costeros, de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa por medio de cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC) (Vidussi *et al*, 1996). Las muestras para citometría de flujo fueron analizadas en el Laboratorio Nacional de Citometría de flujo, en el Instituto de Investigaciones Biomédicas de la Universidad Nacional Autónoma de México con el método descrito por Marie *et al*, (1999).

Análisis de la comunidad

Con las abundancias obtenidas del análisis de muestras de botella con el método de Utermöhl, se determinó la estructura de la comunidad de fitoplancton, utilizando el programa MVSP 3.21 para calcular índices de Diversidad de Shannon usando las funciones \ln , \log_{10} y \log_2 , y de Dominancia de Simpson por cada profundidad. Se realizó una prueba de Olmstead-Tukey (Sokal y Rohlf, 1981) en una hoja de cálculo de LibreOffice Calc para diferenciar entre las especies dominantes, raras, ocasionales y constantes, con el fin de utilizar solamente las especies dominantes en los análisis multivariados.

Análisis estadísticos

En una matriz se colocaron los parámetros fisicoquímicos medidos con el CTD, con las abundancias por especie, la concentración de pigmentos y las abundancias obtenidas por citometría de flujo. Los datos fisicoquímicos, de nutrientes, pigmentos y citometría de flujo fueron transformados con la función $\text{Log}(x + 1)$, mientras que los datos de abundancias fueron transformados con la función $\sqrt[4]{x}$ (Salgado-Ugarte, 2010), para que se pudiesen graficar en valores entre 0 y 10. Una vez obtenidas estas especies dominantes, se realizó una prueba de normalidad Shapiro Wilk en el software Statistica versión 10 para las variables físico químicas. Ya que se verificó la normalidad de los datos, se computaron correlaciones de Pearson entre cada una de las variables, con el fin de no utilizar variables correlacionadas entre sí, para no saturar los análisis multivariados. Después, se realizó un Análisis de Componentes Principales en el software Statistica versión 10 con las variables ambientales escogidas y las especies dominantes. Y Finalmente se realizó un Análisis de Correspondencia Canónica en el programa XLSTAT, con el método de Mínimos

Cuadrados Parciales. Este análisis permite ordenar a las especies junto con las variables ambientales para encontrar asociaciones y determinar qué variable ambiental explica la variación de los datos de especies (ter-Braak y Verdonschot, 1995).

Análisis históricos oceanográficos

Se calculó la frecuencia Brunt-Väisälä usando la siguiente ecuación: $N^2 = (g/p)(dp/dz)$, siendo g la aceleración de la gravedad (9.8 m/s^2), p la densidad y z la profundidad. Esta frecuencia fue calculada con el fin de conocer si el agua en la estación "PG" estaba estratificada o mezclada, en caso de que esta frecuencia fuera alta, la estratificación de la columna de agua es alta también, y si la frecuencia es baja, se considera como no estratificada. Los datos de productividad primaria se procesaron para obtener la tasa de respiración, la productividad primaria bruta y la productividad primaria neta (Strickland y Parsons, 1972) y se utilizó un factor publicado por Brower y Zar, (1981). También se calculó la productividad primaria neta integrada con la ecuación publicada en Ramírez y Pizarro (2005). Para obtener información histórica de la productividad de la estación "PG" se buscaron y descargaron datos de clorofila medida por percepción remota (disponibles en <https://coastwatch.pfeg.noaa.gov/erddap/griddap/erdMBchla8day.graph?chlorophyll>) de cada mes de los tres años anteriores.

Resultados

Parámetros ambientales

Con los datos obtenidos del CTD se realizó el perfil vertical del lance, con la fluorescencia de la clorofila (uR), la temperatura ($^{\circ}\text{C}$), la salinidad (0/00) y el oxígeno

disuelto (mg L^{-1}). Se localizaron dos picos del máximo subsuperficial de Clorofila *a*, a los 5 y 15 metros, de casi 8 uR. La salinidad aumentó relativamente poco en relación a la profundidad, y la temperatura disminuyó de 28 a 16 °C (Fig.2).

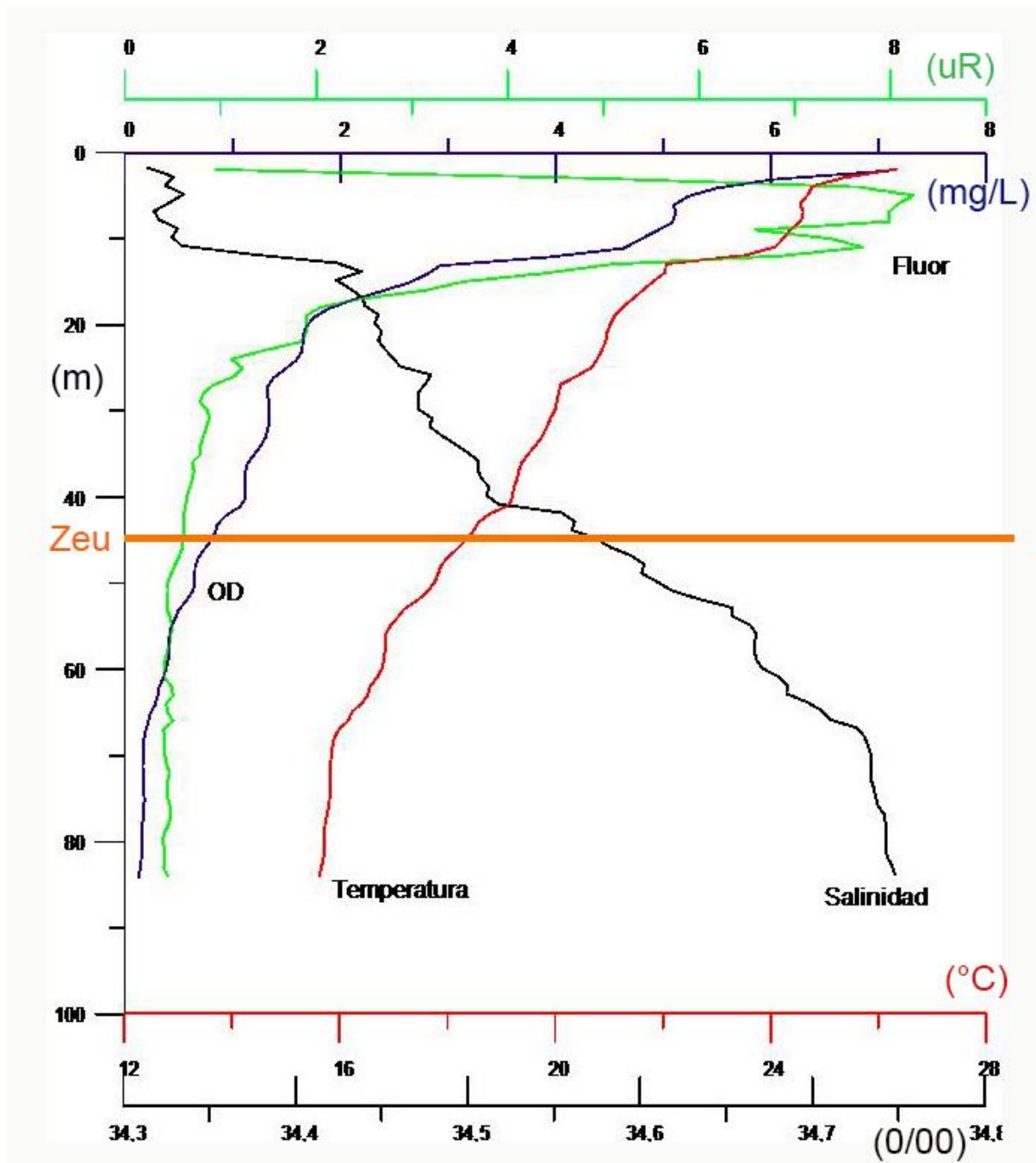


Fig. 2. Perfil vertical de la temperatura (°C), salinidad (0/00), oxígeno disuelto (mg/L) y fluorescencia (uR) de la estación PG. La zona eufótica calculada con los resultados del disco de Secchi está señalada con una línea anaranjada.

Se obtuvo una frecuencia Brunt-Väisälä de $3.12 \cdot 10^{-3} \text{ s}^{-1}$, por lo tanto se consideró a la columna de agua como mezclada verticalmente, no estratificada. La profundidad del disco de Secchi fue de 14 metros, y se calculó la profundidad de la zona fótica hasta los 44.7 m según la fórmula de Kirk, (1994).

Nutrientes

Se determinó la concentración de nutrientes de ocho profundidades en la estación “PG” y se realizó el perfil correspondiente. Se encontró la nutriclina a los 30 m de profundidad (Fig.3).

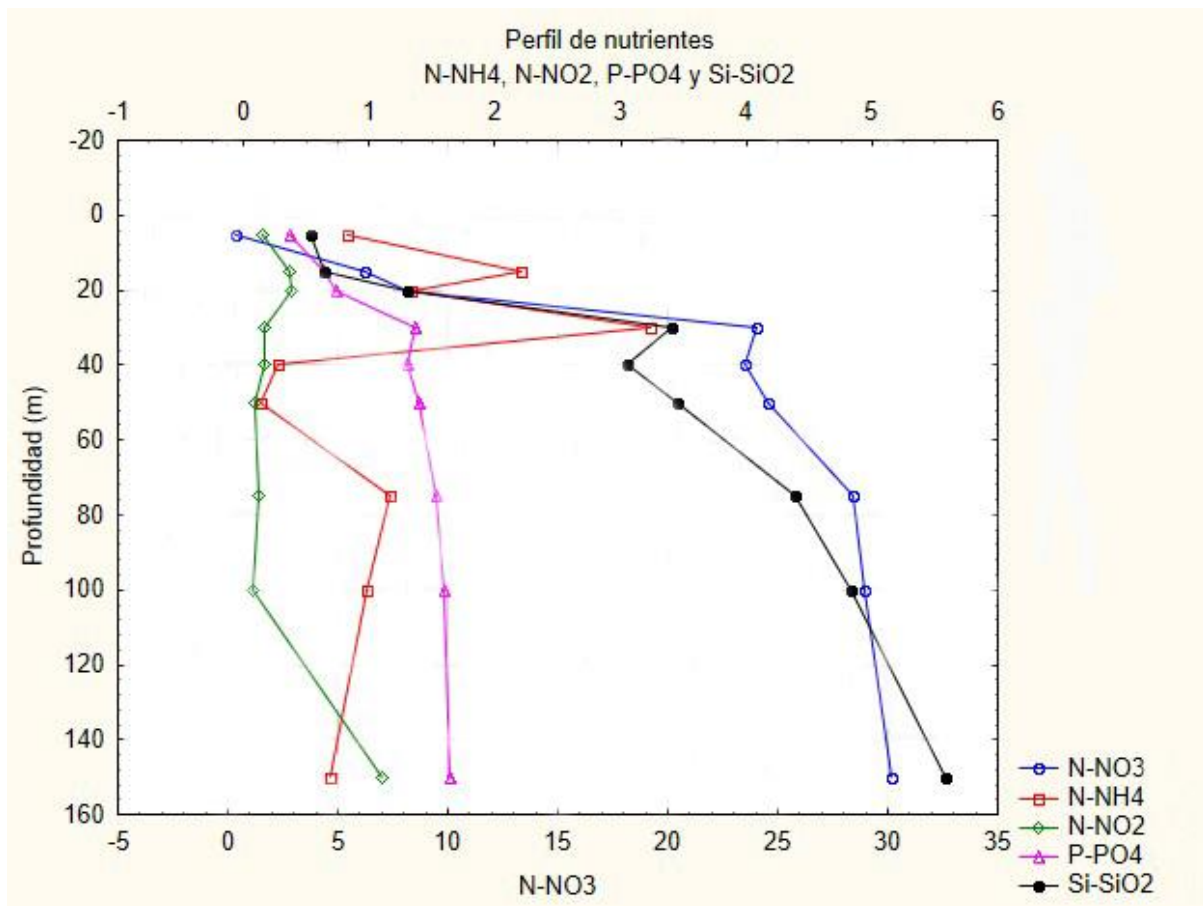


Fig. 3. Perfil vertical de nutrientes de la estación “PG”. Se realizó una escala para los nitratos (N-NO3) y otra para el amonio (N-NH4), los nitritos (N-NO2), los fosfatos (P-PO4) y los silicatos (Si-SiO2).

Haciendo cocientes entre los nutrientes para saber cuál fue limitante en la zona de estudio, se encontró que el nitrógeno fue limitante en las primeras tres profundidades, y el sílice fue limitante en toda la columna de agua (A1.Tab.2.), con base en proporciones las proporciones de nutrientes (Geider y La Roche, 2002; Egge y Aksnes, 1992).

Para conocer si los datos de las variables ambientales (salinidad, temperatura, profundidad, Oxígeno disuelto, nutrientes, etc.) tenían una distribución normal, se realizó una prueba de normalidad Shapiro-Wilk. En donde se obtuvo que los datos de profundidad, temperatura, salinidad, Oxígeno disuelto en concentración y en porcentaje, y amonio se distribuían estadísticamente de forma normal, mientras que los datos de Sigma-T, nitratos, nitritos, fosfatos y silicatos no se distribuían estadísticamente de manera normal. Por tanto, se escogió realizar las correlaciones entre estas variables de manera paramétrica. La mayoría de las variables estuvo fuertemente correlacionada con las restantes, exceptuando al amonio y a los nitritos. Cabe mencionar que el amonio y la Productividad Primaria Neta (se muestra el cálculo más abajo) tienen una correlación positiva no significativa, mientras que con los nitratos existe una correlación negativa (Fig.4).

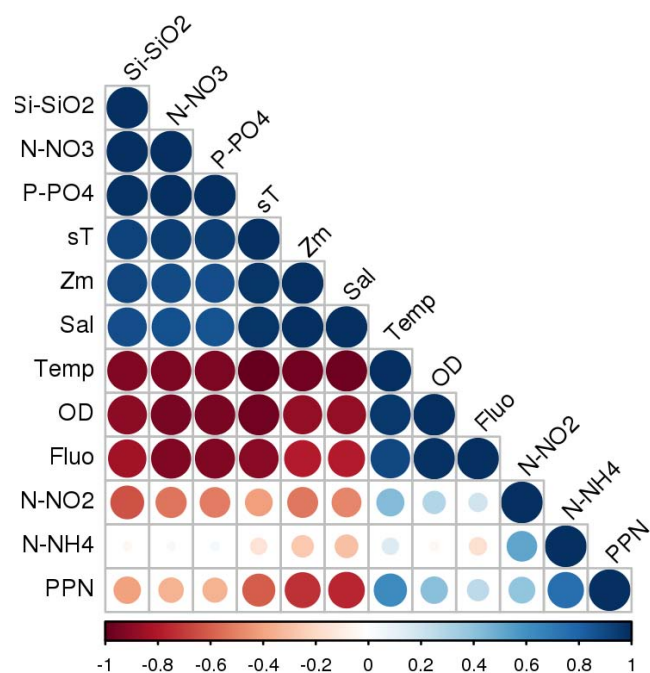


Fig. 4. Matriz de correlaciones entre las variables ambientales, en rojo las correlaciones negativas y en azul las positivas. Los valores de 0.95 o más son significativos. Se incluye también a la productividad primaria y la fluorescencia.

Análisis de la estructura de la comunidad de fitoplancton

En las muestras de botella se registraron 29 especies de fitoplancton, correspondiendo 28 a diatomeas y una especie a dinoflagelados.

Tabla 1. Lista de especies y abundancia en cel/L por cada profundidad.

Especie	B 1	B 2	B 4	B 6	B 7	Categoría (Fig.5)
<i>Chaetoceros buceros</i>	0	3463	0	0	0	Rara
<i>C. peruvianus</i>	0	0	0	3078	0	Rara
<i>C. spp1.</i>	46951	51184	3848	0	0	Dominante
<i>C. spp2.</i>	11160	39254	4233	0	769	Dominante
<i>C. spp3.</i>	5387	37714	0	0	0	Constante
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i>	27324	21936	0	769	0	Dominante
<i>Ditylum brightwellii</i>	0	384	384	0	0	Ocasional
<i>Eucampia cornuta</i>	384	12315	0	0	0	Dominante
<i>Guinardia flaccida</i>	0	2309	0	0	0	Rara
<i>G. striata</i>	15008	27708	0	0	0	Dominante
<i>Helicotheca tamesis</i>	2309	3463	0	0	0	Dominante
<i>Lauderia annulata</i>	0	1539	0	0	0	Rara
<i>Leptocylindrus danicus</i>	9621	18472	0	384	0	Dominante
<i>L. mediterraneus</i>	0	7696	0	0	0	Rara
<i>Lioloma pacifica</i>	769	3463	0	0	0	Dominante

<i>Proboscia indica</i>	0	1539	0	0	0	Rara
<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>	1539	21936	0	769	0	Dominante
<i>P. pungens</i>	769	8466	0	0	0	Dominante
<i>Pseudosolenia calcar-avis</i>	769	0	0	0	0	Rara
<i>Rhizosolenia acuminata</i>	769	0	0	0	0	Rara
<i>R. bergonii</i>	0	384	0	0	0	Rara
<i>R. crassispina</i>	384	769	0	0	0	Dominante
<i>R. hebetata</i>	0	384	0	0	0	Rara
<i>R. hyalina</i>	0	769	0	0	0	Rara
<i>R. imbricata</i>	769	769	0	0	0	Dominante
<i>Stephanopyxis turris</i>	0	769	0	0	0	Rara
<i>Thalassiosira sp</i>	1154	7696	0	0	384	Dominante
<i>Thalassionema nitzschioides</i>	1154	2309	0	0	0	Dominante
<i>Tripos lineatum</i>	384	0	0	0	0	Rara

Debido al poco aumento óptico con el que se llevó a cabo el método, diferenciar ciertas especies del género *Chaetoceros* fue difícil, y se contaron en tres grupos: *Chaetoceros* spp. 1, de talla pequeña, que en su mayoría eran *Chaetoceros socialis*, *Chaetoceros* spp. 2, de talla mediana, en general eran *Chaetoceros curvisetus*, y *Chaetoceros* spp. 3, de talla grande, donde se encontró *Chaetoceros lorenzianus* y *Chaetoceros mannai*.

Las especies identificadas en los conteos de las botellas fueron procesadas por medio de una prueba Olmstead-Tukey para diferenciarlas en especies dominantes, constantes, ocasionales y raras (Fig.5).

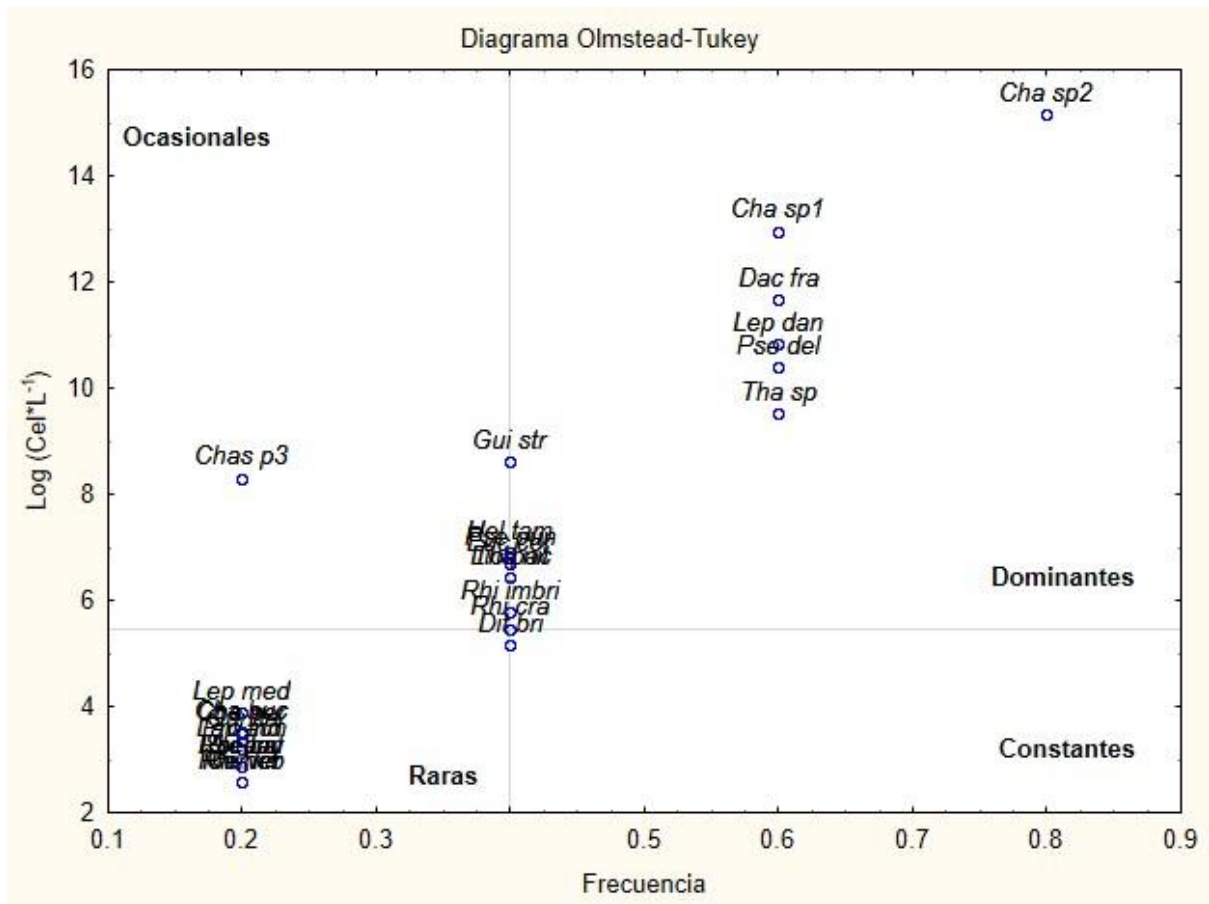


Fig.5. Diagrama Olmstead-Tukey de las especies de la estación PG.

Una vez obtenidas las especies dominantes, se excluyeron las especies constantes, ocasionales y raras para los siguientes análisis, quedando: *Chaetoceros* spp. 1, *Chaetoceros* spp. 2, *Dactyliosolen fragilissimus*, *Leptocylindrus danicus*, *Pseudo-nitzschia delicatissima*, *Pseudo-nitzschia pungens*, *Thalassiosira* sp., *Guinardia striata*, *Helicotheca tamesis*, *Rhizosolenia imbricata*, *Rhizosolenia crassispina*, *Eucampia cornuta* y *Thalassionema nitzschioides*.

Las especies obtenidas en los análisis de muestras de red y de filtros para cocolitofóridos no entraron en los análisis estadísticos, debido a que estos métodos no permitían su conteo (Tabs. 4 y 5). En total se obtuvieron 29 especies de diatomeas en muestra de red, 21 de dinoflagelados, una rafidofícea y dos silicoflagelados. En las

muestras de filtros sólo se encontró una especie de coccolitofóridos, y se encontraron 12 especies de diatomeas pequeñas.

Tabla 2. Lista de especies identificadas en muestras de red.

Especies de muestras de red

Diatomeas	<i>Stephanopyxis turris</i>
<i>Actinoptychus parvus</i>	Dinoflagelados
<i>Alveus marinus</i>	<i>Alexandrium</i> sp.
<i>Bacteriastrum hyalinum</i>	<i>Dinophysis caudata</i>
<i>Biddulphia alternans</i>	<i>D. fortii</i>
<i>Cerataulus</i> sp.	<i>Gymnodinium catenatum</i>
<i>Chaetoceros compressus</i>	<i>Goniodoma acuminatum</i>
<i>C. decipiens</i>	<i>G. sphaericum</i>
<i>C. lorenzianus</i>	<i>Gonyaulax monospina</i>
<i>C. messanensis</i>	<i>G. turbeynei</i>
<i>C. socialis</i>	<i>Podolampas spinifera</i>
<i>Climacodium frauenfeldianum</i>	<i>Prorocentrum compressum</i>
<i>Dactylosolen fragilissimus</i>	<i>P. gracile</i>
<i>Dictylum brightwellii</i>	<i>Protoperidinium conicum</i>
<i>Eucampia cornuta</i>	<i>P. brochii</i>
<i>Fragilariopsis doliolus</i>	<i>P. latispinus</i>
<i>Guinardia striata</i>	<i>P. oceanicum</i>
<i>Helicotheca thamesis</i>	<i>Pyrophacus steinii</i>
<i>Lauderia annulata</i>	<i>Scrippsiella trochoidea</i>
<i>Lioloma pacifica</i>	<i>Tripos carriense</i>
<i>Odontella longicuris</i>	<i>T. dens</i>
<i>O. rhombus</i>	<i>T. furca</i>
<i>Proboscia indica</i>	<i>T. lineatum</i>
<i>Pseudonitzschia delicatissima</i>	Rafidioficeas
<i>P. pungens</i>	<i>Fibrocapsa japonica</i>
<i>Pseudosolenia calcar avis</i>	Silicoflagelados
<i>Rhizosolenia bergonii</i>	<i>Dictyocha fibula</i>
<i>R. castracanei</i>	<i>D. octonaria</i>
<i>R. crassispina</i>	

Tabla 3. Lista de especies identificadas en muestras de filtros.

Especies de muestras de filtros

Cocolitofóridos

Reticulofenestra parvula

Nitzschia leehyi

Diatomeas

Skeletonema pseudocostatum

Chaetoceros socialis

S. tropicum

Cyclotella sp.

Thalassiosira delicatula

Eucampia zodiacus

T. echinata

Fragilariopsis pseudonana

T. minúscula

Hemiaulus hauckii

T. tealata

Con las abundancias de fitoplancton del conteo en las muestras de botella, se calcularon los índices de diversidad de Shannon (H-) y dominancia de Simpson (S) para cada una de las profundidades (Tab.4).

Tabla 4. Índices de diversidad de Shannon usando \log_2 , \log_{10} y \ln para cada profundidad. Se muestran también los índices de dominancia usando \ln y el número de taxones

Profundidad (m)	Taxones	H' Log2 (bits/ind)	H' Log10 (decits/ind)	H' In (nats/ind)	Dominancia (S)	Abundancia (cel/L)
5	18	2.764	0.832	1.916	0.2143	126604
15	25	3.626	1.092	2.513	0.1051	2766
30	3	1.22	0.367	0.845	0.4587	8465
50	4	1.547	0.466	1.072	0.432	5000
75	2	0.918	0.276	0.637	0.5556	1153

Productividad primaria

Después se obtuvieron los siguientes resultados del experimento de productividad primaria (Tab.5), que se llevó a cabo con una incubación *in situ* durante cuatro horas.

Tabla 5. Resultados de tasa de respiración, productividad primaria bruta y productividad primaria neta medida en Carbono.

Profundidad m	Respiración mgC m⁻³hr⁻¹	PB mgC m⁻³hr⁻¹	PN mgC m⁻³hr⁻¹
5	94.4	95.97	17.3
15	0	3.83	17.92
20	56.75	76.78	29.48
30	37.32	38.39	7.28
40	46.54	38.39	0

Se llevó a cabo una integración de la productividad primaria, para compararse con otros trabajos. Se obtuvo una productividad primaria neta integrada de 52 mgC m⁻²hr⁻¹, y calculado para las 12.5 horas de luz que hubo durante el 22/04/2015 para Acapulco (http://salidaypuestadelosol.com/Mexico/Acapulco_14284.html), la productividad primaria neta integrada por día fue de 651 mg C m⁻²d⁻¹.

Análisis de pigmentos

Usando a los pigmentos como indicadores taxonómicos, se puede detectar la presencia de grupos taxonómicos no visibles en otros métodos (ópticos y citometría de flujo). Se encontraron los pigmentos de Clorofila *a*, Clorofila C2, Peridinina, 19'-BF, Fucoxantina, Prasincoxantina, Aloxantina, Zeaxantina, Clorofila *b*, Divinil clorofila *a* y beta carotenos. Comprobando así la presencia de dinoflagelados, cocolitofóridos, diatomeas, prasinoficea y picocianobacterias: *Prochlorococcus* y *Synechococcus*, respectivamente (Fig.6).

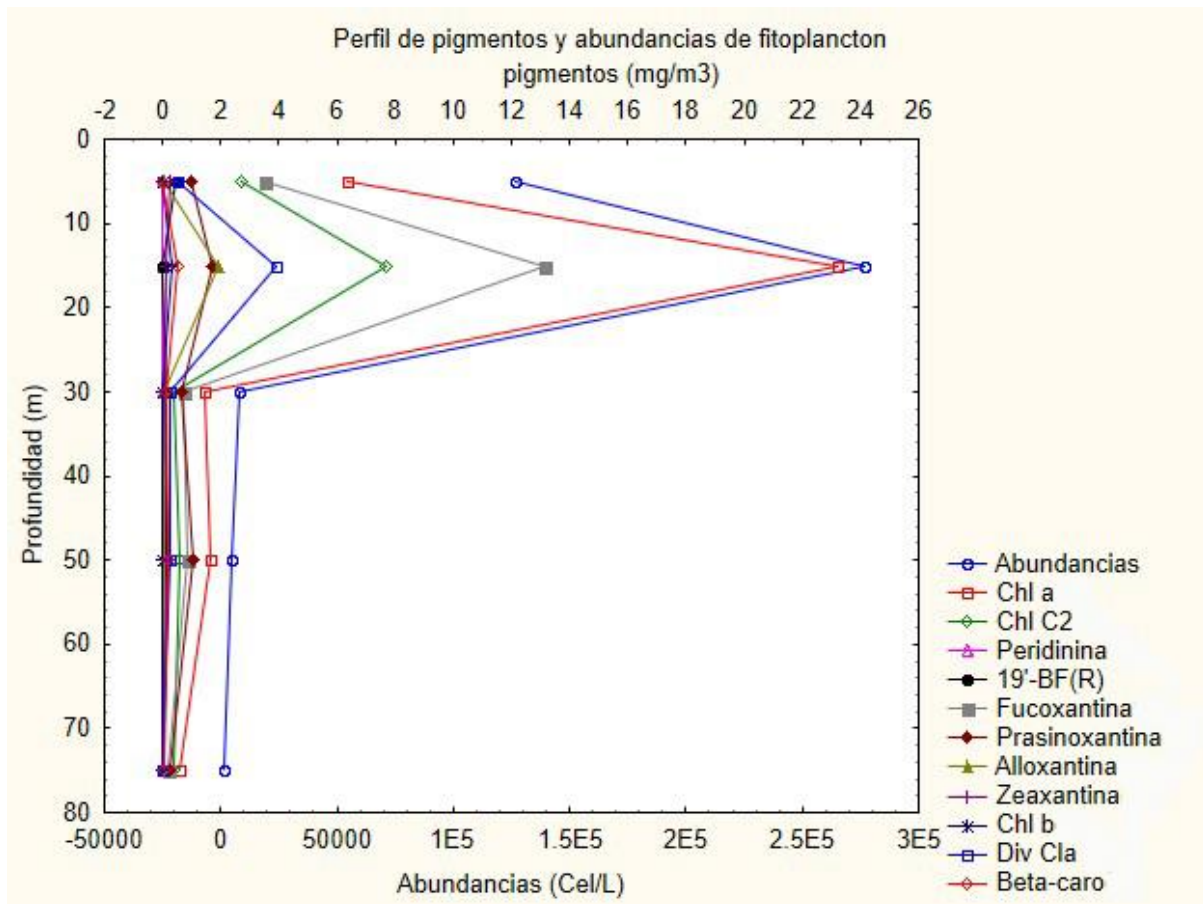


Fig.6. Perfil de pigmentos y abundancias de fitoplancton según la profundidad.

Por medio de citometría de flujo se estudió la fracción del picofitoplancton de la estación "PG". Se encontraron abundancias de Picoeucariontes, *Synechococcus* tipo I y II, y *Prochlorococcus* (Fig. 7). Se reportan las máximas abundancias de los taxones a 15 metros de profundidad.

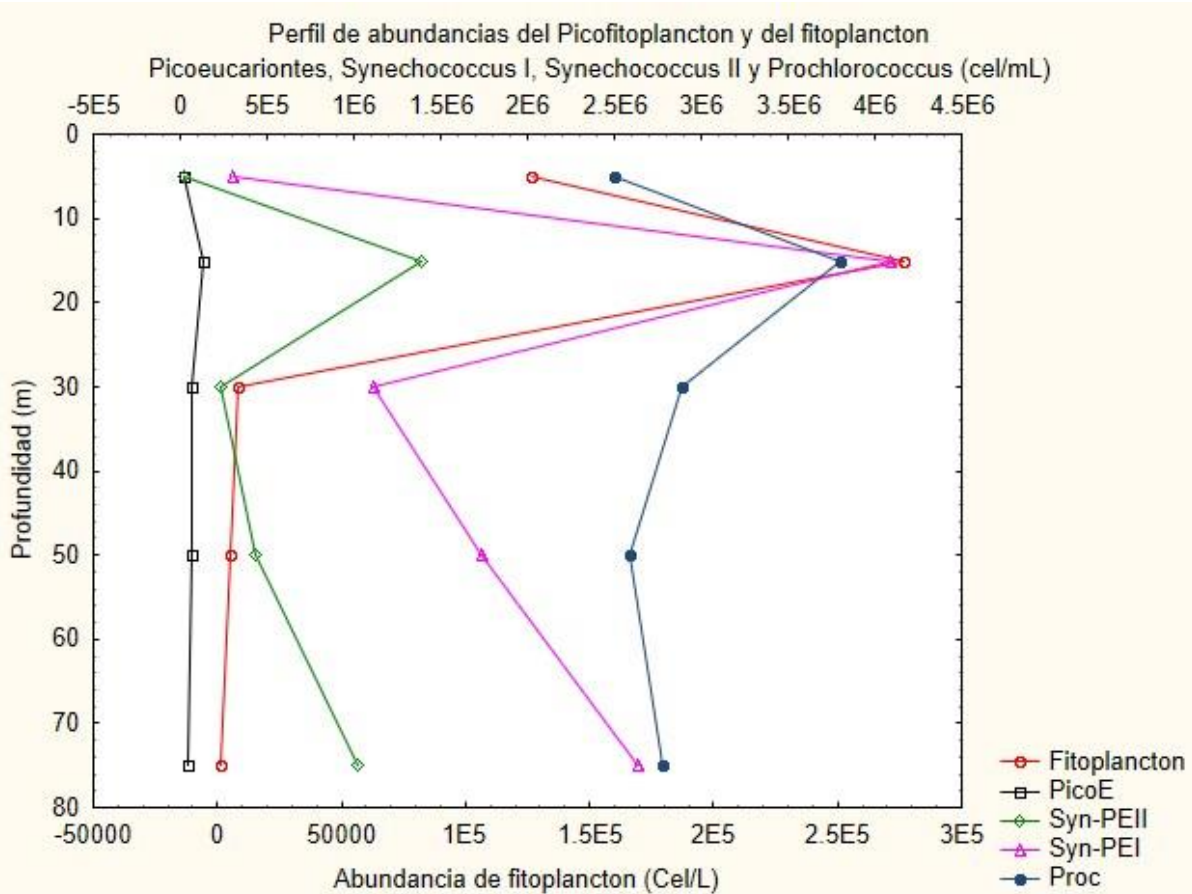


Fig.7. Perfil de las abundancias de picofitoplancton (Picoeucariontes, *Synechococcus* tipo I y II, y *Prochlorococcus*) obtenidas por medio de citometría de flujo, y graficando en otra escala las abundancias de fitoplancton.

Asociaciones ecológicas

De manera exploratoria, se computó un Análisis de Componentes Principales (ACP) para conocer el comportamiento de los datos, y poder eliminar variables que no se acercaran al máximo de probabilidad, o que no tuviesen variación significativa (Fig.8).

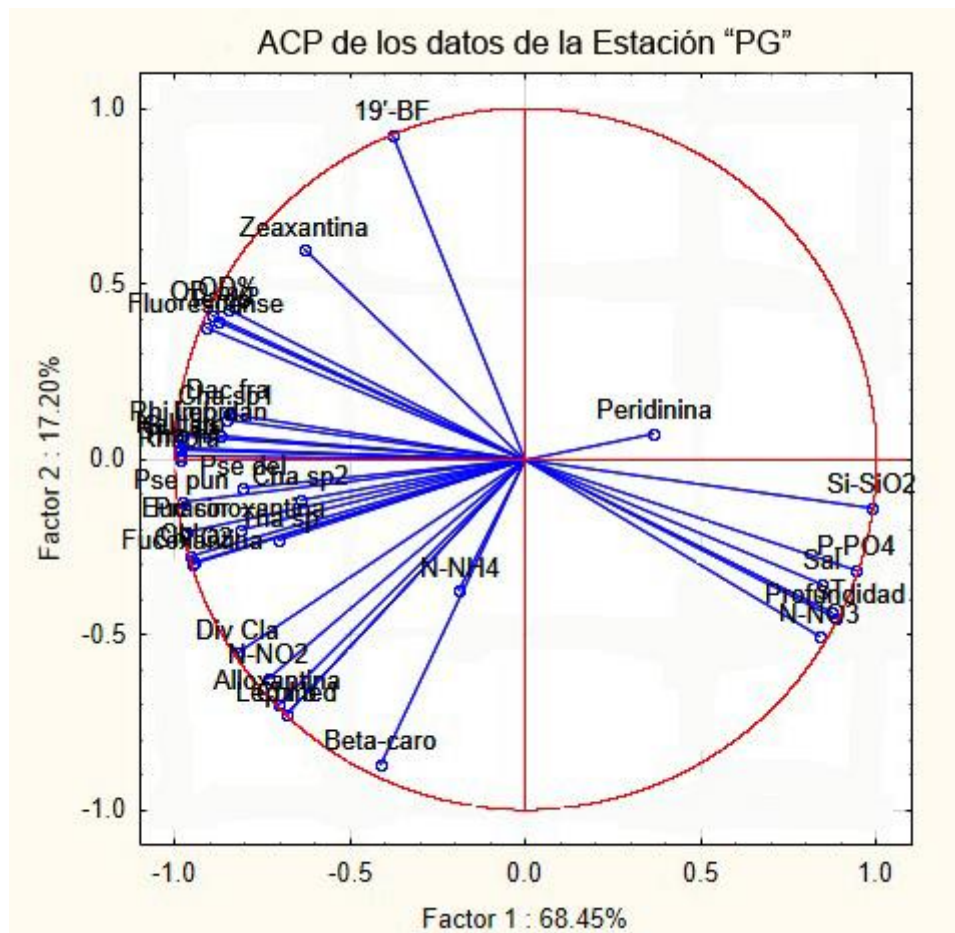


Fig.8. Análisis de componentes principales, usando únicamente especies dominantes, datos de pigmentos, nutrientes y variables fisicoquímicas.

En el ACP se obtuvo que la matriz fue singular, esto se debe a la gran cantidad de correlaciones que existen entre las variables fisicoquímicas. Los eigenvalues obtenidos fueron de 68.45% para el componente 1, y 17.2% para el componente 2, sumando un 85.65%. Para los análisis posteriores, se eliminaron las variables que no explicaban gran parte de la varianza, que en este caso fue la peridina.

Con las variables depuradas, se llevó a cabo un Análisis de Correspondencias Canónicas (ACC) con el método de mínimos cuadrados parciales (Fig. 9). El primer eje (F1) nos indica la diferencia entre la parte superficial (izquierda) y la parte profunda (derecha), se puede observar que los picoeucariontes, *Synechococcus* I y II, y *Prochlorococcus* quedan del lado más profundo (lado derecho), asociados con el fosfato, los silicatos y los nitratos. Mientras que las especies de diatomeas, que están en la parte superficial (lado izquierdo) están asociadas al amonio, oxígeno disuelto y la temperatura. También en esta dimensión, en forma de vector, quedan los pigmentos Clorofila *a*, fucoxantina y Clorofila C2, los tres presentes en las diatomeas. En el segundo eje (F2) podemos diferenciar entre *Prochlorococcus* y *Synechococcus*, ya que hay una mayor asociación entre *Synechococcus* y los nitratos, mientras que, *Prochlorococcus* y los picoeucariontes no están tan asociados a los nitratos. De igual manera, resultó que en el segundo eje se agrupan las especies de diatomeas según la profundidad y el amonio. Ya que *Chaetoceros socialis*, *Leptocylindrus danicus*, *Guinardia striata* y *Dactylosolen fragilissimus*, entre otras, se asocian más con la profundidad de la botella 1 (5 m), mientras que *Pseudo-nitzschia pungens*, *P. delicatissima* y *Thalassiosira* sp. están más asociadas al amonio y a la profundidad de la botella 2 (15 m). Esto sugiere que el máximo subsuperficial de Clorofila *a* está asociado a la presencia de amonio.

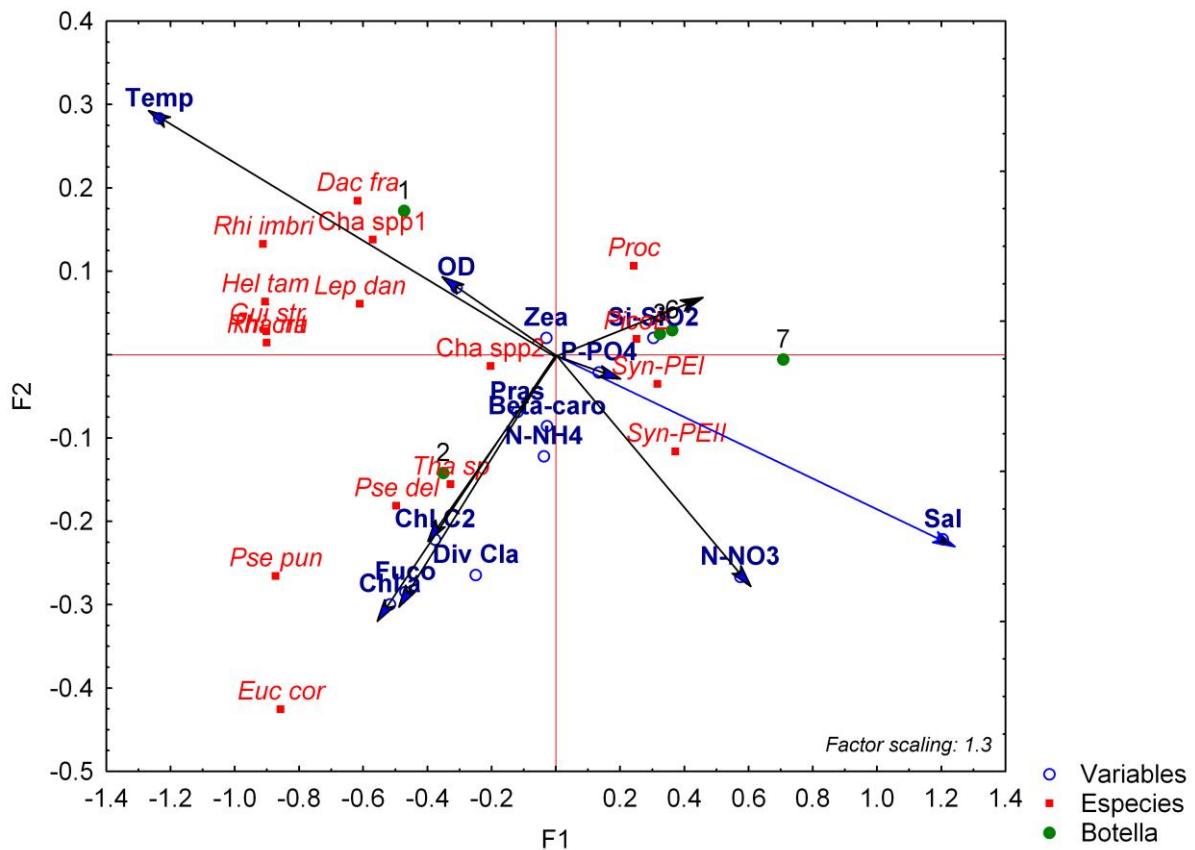


Fig.9. Análisis de Correspondencias Canónicas, con 100% de Eigenvalue con los dos ejes, F1: 96.90%, F2: 6.10%. Los vectores se realizaron con las variables físico químicas y los pigmentos marcadores. Los puntos verdes corresponden al número de botella (profundidad) y las especies están escritas en rojo.

Contribución a la Clorofila a

Para conocer cuál es el grupo taxonómico que aportó la mayor biomasa a la comunidad, según la concentración de los pigmentos en la columna de agua, se realizaron regresiones lineales entre la concentración de Clorofila a y los demás pigmentos fotosintéticos marcadores (Fig.10).

Matriz de regresiones lineales de Chl a contra los demás pigmentos

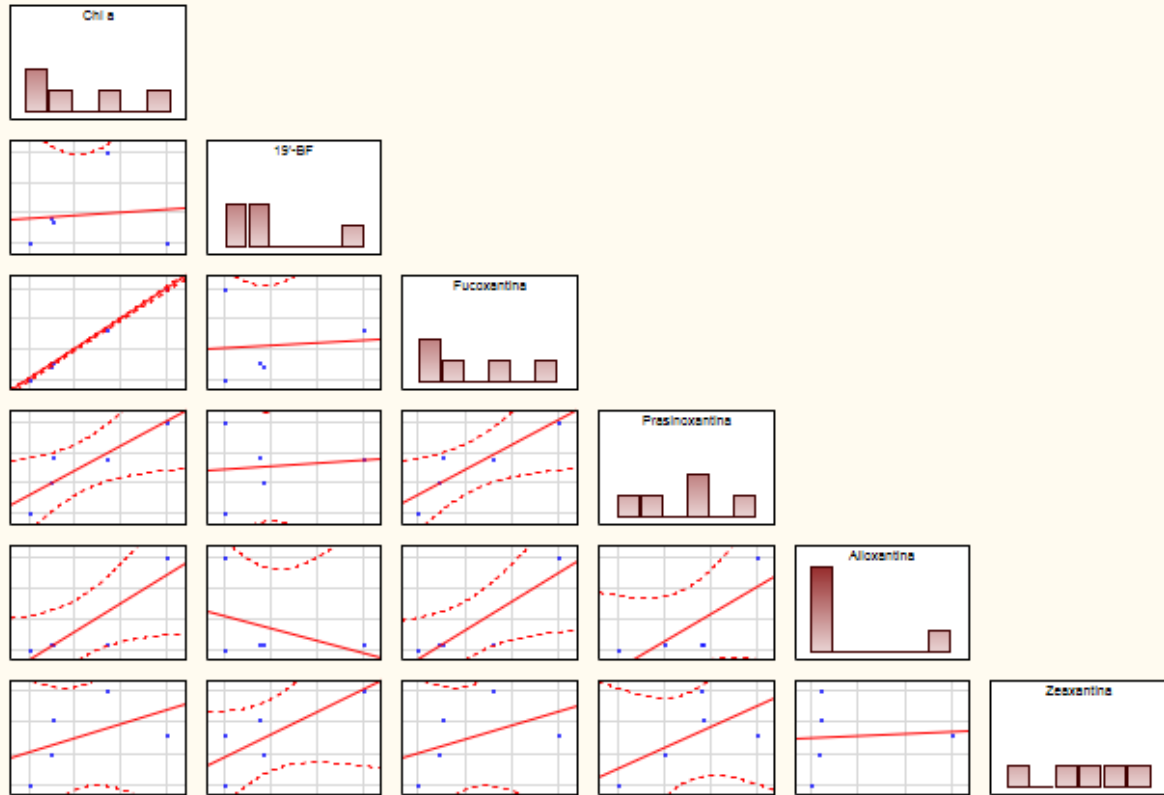


Fig.10. Regresiones lineales entre la Clorofila a y los pigmentos fotosintéticos marcadores 19'BF, Fucoxantina, Prasinoxantina, Aloxantina y Zeaxantina.

De todos los pigmentos analizados, el que presentó una regresión positiva y significativa con la Clorofila a, presentando un alto coeficiente de determinación (0.99) fue la fucoxantina, sugiriendo que la mayor contribución a la biomasa como Clorofila a de la comunidad es realizada por diatomeas (Fig.11).

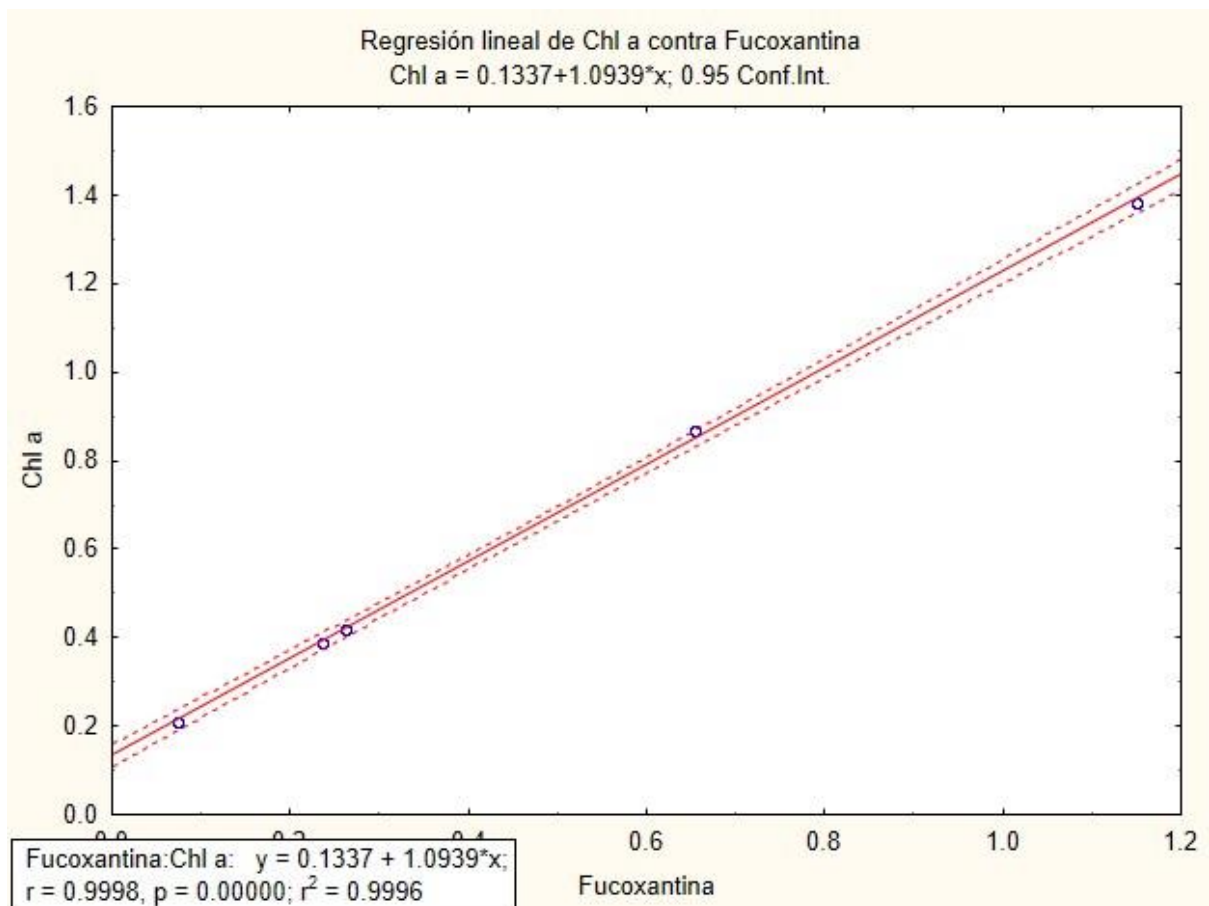


Fig.11. Regresión lineal de la Clorofila a y la fucoxantina.

Investigación histórica oceanográfica

Para hacer una investigación histórica de la productividad primaria de la costa de Tecpan de Galeana, se descargaron imágenes satelitales de Clorofila a, por cada mes del 2013 al 2015. Se encontraron dos épocas de alta productividad en la costa de Tecpan de Galeana, una en abril y otra en agosto-septiembre. Este muestreo se realizó durante el fenómeno de oscilación del sur “El Niño”, del 2015. Para el 22 de abril del 2015 los vientos corrieron paralelos a la costa de noroeste a sureste. El índice de surgencias para el mes de abril del 2015 fue de 102, indicando surgencia costera con un gran volumen de agua surgiendo. Las corrientes geostróficas del 14 al 24 de abril del 2015 presentaron remolinos, y después corrieron con dirección sureste, paralelo a la costa a la altura de Tecpan de Galeana.

Discusión

Estructura de la comunidad

En la estación “PG”, la mayor parte de las especies encontradas y cuantificadas en este estudio fueron de diatomeas, lo cual es consistente con la turbulencia y poca estratificación registrada en la columna de agua (Falkowski y Oliver, 2007) y dichas características son similares a las del primer dominio de la Mandala de Margalef (Wyatt, 2012). Las especies dominantes según la prueba Olmstead-Tukey (como *Chaetoceros socialis* (Spp.1) *Chaetoceros curvisetus* (Spp.2), *Guinardia striata*, *Dactyliosolen fragilissimus*, *Leptocylindrus danicus*, *Thalassiosira* sp. y *Pseudonitzschia delicatissima*) son formadoras de cadenas, y esto se asemeja a las especies encontradas en lugares donde se ha enriquecido con nitrógeno el agua (Carter *et al*, 2005; Labbé-Ibáñez *et al*, 2015; Varona-Cordero *et al*, 2014). Como se esperaba, la mayor abundancia celular e índice de diversidad, junto con la menor dominancia se encontró en el máximo subsuperficial de Clorofila *a*. Por encima de este, la diversidad y la abundancia no fueron tan altas, y disminuyeron drásticamente por debajo del pico, mientras la dominancia aumentaba. Solamente se encontró una especie de dinoflagelado (*Tripes lineatum*), la cual por ser especie rara según la prueba Olmstead-Tukey, y por tener el pigmento (Peridinina) con poca probabilidad de explicación de la varianza en el Análisis de Componentes Principales, no fue relevante para el análisis.

Al analizar las muestras de red, se registraron más especies de diatomeas y dinoflagelados. Pese a la cercanía, en términos de riqueza, la comunidad fitoplanctónica de Tecpan de Galeana no se asemeja a la de la bahía de Acapulco, ya que se reportan mayor cantidad de especies de dinoflagelados que de diatomeas

(Meave *et al*, 2012; Moreno-Díaz *et al*, 2015). En estudios fuera de la bahía de Acapulco, la riqueza no se asemeja tampoco a la obtenida en Tecpan de Galeana, ya que se registran también dinoflagelados (14 especies) en las muestras de botella (Rodríguez-Palacio *et al*, 2011). Lo mismo sucede en términos de especies dominantes, ya que para Guerrero se han reportado especies dominantes e importantes del género *Gymnodinium* y *Prasinoderma* (Vega-Juárez, 2014) y especies como *Cylindrotheca closterium*, *Pseudo-nitzschia delicatissima*, *Pseudo-nitzschia subpacific*a y *Rhizosolenia cf. debyana* (Rodríguez-Palacio *et al*, 2011). Otra zona cercana a Tecpan de Galeana que ha sido estudiada es el puerto de Lázaro Cárdenas, y pese a que el estudio se enfocó en una marea roja presente (originada por *Gymnodinium catenatum*), también hubo diferencias en la comunidad del fitoplancton, ya que hubo altas abundancias de *Bacteriastrum hyalinum*, *Pseudo-nitzschia seriata*, *Coscinodiscus wailesii*, entre otras (Vega-Juárez, 2014). Entonces, que la comunidad que más se asemeja al fitoplancton de Tecpan de Galeana es la de Cabo Corrientes, porque ambos presentan *Chaetoceros socialis*, *Pseudo-nitzschia delicatissima*, y el género *Leptocylindrus* en grandes abundancias (Vega-Juárez, 2014).

La población de cocolitofóridos fue baja, con los conteos en los filtros solamente se encontraron tres especímenes de la especie *Reticulofenestra parvula*. Se esperaba encontrar más abundancia y riqueza de cocolitofóridos, debido a los trabajos previos realizados en el Pacífico mexicano, en específico en las estaciones oceanográficas de Guerrero (Torres-Martínez, 2013; Torres-Martínez, 2015). Se propone que la baja abundancia y riqueza de cocolitofóridos en la costa Tecpan de Galeana está asociada con la comunidad de diatomeas, que difiere más a la comunidad de las costas de

Guerrero, y se asemeja a la comunidad de la zona de Cabo Corrientes, misma donde se ha registrado menor abundancia y riqueza de cocolitofóridos (Torres-Martínez, 2015). No considero que la poca abundancia de cocolitofóridos se deba a algún tipo de competencia contra las diatomeas, ya que ambos grupos están en distintas dimensiones dentro de la Mandala de Margalef (Glibert, 2016; Wyatt, 2012) y dependen de distintos factores y condiciones.

En muestras de red se registraron más especies (53 entre dinoflagelados y diatomeas), principalmente a la presencia de dinoflagelados y diatomeas más grandes, que por estar en menores densidades en la columna de agua, es más difícil encontrarlas en las muestras de botella. También, como la red de fitoplancton arrastró y concentró los organismos de la columna de agua desde una profundidad de 100 metros, puede haber ejemplares heterótrofos o mixótrofos (dinoflagelados) que no pertenecen a la profundidad del máximo subsuperficial de Clorofila *a*. En general, el análisis de filtros, red y botellas de fitoplancton se diferenciaron en la presencia de especies de tallas distintas (grandes en red, medianas en botellas y pequeñas en filtros), pero algunas especies dominantes, como *Chaetoceros socialis*, se encontró en los tres tipos de muestras.

Comparando con diversos trabajos sobre ecología de comunidades de fitoplancton marino en varias partes del mundo (Tab.5) a partir de índice de Shannon calculado con las funciones \log_2 , \log_{10} y \ln , la diversidad de la costa de Tecpan de Galeana es más alta que la diversidad media registrada en otras partes del mundo (Tab.5), pero es superada por los datos puntuales de diversidad más alta de casi todas las mismas localidades. Cabe mencionar que estos estudios están hechos con más de una

estación de colecta, en más de una temporada y en distintos ambientes, principalmente costeros y estuarinos. Estas cuestiones producen que se aumente la riqueza y abundancia de especies de distintos ecosistemas en el análisis, y aumentar por ende la diversidad local (Moreno *et al*, 2011). Cabe mencionar que el trabajo con mayor índice de diversidad (4.01 a 5.94 nats/ind) fue realizado por medio de marcadores moleculares (Boopathi *et al*, 2015), y quizás por tener un método tan preciso, la cantidad de especies registradas es alta, y por ende su diversidad también.

Tabla 5. Literatura con índice de diversidad de Shannon reportado, tanto con log 2, ln y log 10. ND (no determinado) corresponde a los trabajos donde no se especifica qué función logarítmica se usó.

Lugar	H' log 2 (Bits/ind)	H' ln (Nats/ind)	H' log 10 (Decits/ind)	H' ND	Referencia
Mar del este, China	-	4.01 a 5.94	-	-	(Boopathi <i>et al</i> , 2015)
Bahía Nha Trang, Vietnam	-	1.92 a 2.55	-	-	(Doan-Nhu <i>et al</i> , 2016)
Delta Mahakam, Indonesia	-	1.25 a 2.1	-	-	(Effendi <i>et al</i> , 2016)
Yucatán, México	0.6 a 0.8	-	-	-	(Herrera-Silveira y Morales-Ojeda, 2009)
Estuario del Yangtze, China	-	-	-	0.5 a 2.5	(Jiang <i>et al</i> , 2014)
Mar Rojo, Egipto	-	-	-	3.36 a 3.97	(Nassar <i>et al</i> , 2014)
Sur del Mediterráneo, Egipto	-	-	-	1.51 a 2.28	(Nassar y Gharib, 2014)
Bahía de Bengala, India	-	-	1.6 a 2.3	-	(Roy, 2009)
Sureste de India	3.8 a 3.95	-	-	-	(Sampathkumar <i>et al</i> , 2015)
Estuario la Plata, Argentina	3 a 3.7	-	-	-	(Sathicq <i>et al</i> , 2015)
Mar Egeo, Mediterráneo	-	0.99 a 1.75	-	-	(Spatharis <i>et al</i> , 2011)
Mal der sur, China	2.41 a 3.01	-	-	-	(Wang <i>et al</i> , 2014)
Tecpan de Galeana	3.626 a 0.918	1.092 a 0.276	2.513 a 0.637	-	(en este trabajo)

El presente trabajo no describe los cambios en la composición de la comunidad del fitoplancton marino en la escala temporal, pero para otorgar una estructura completa de la comunidad ofrece los cambios temporales en la abundancia, que se observan según la concentración de Clorofila *a*, medida por percepción remota en el análisis histórico oceanográfico.

Nutrientes

En la profundidad de los 5 metros, la proporción de $\text{NH}_4:\text{NO}_3$ es mayor, a los 15 metros esta proporción no es tan distinta, y a las siguientes profundidades aumenta la proporción $\text{NO}_3:\text{NH}_4$. Entonces, se relaciona la alta cantidad de amonio con el máximo de Clorofila, posiblemente porque las diatomeas y el fitoplancton tienen una mayor facilidad para asimilar el amonio que los nitratos (Dortch, 1990), y en específico las diatomeas tienen una preferencia del amonio sobre los nitratos (Litchman *et al*, 2007). Con respecto a la limitación de nutrientes, el máximo subsuperficial de Clorofila *a* resultó tener limitación por nitrógeno y por sílice. Posiblemente, debido a una escala temporal, se pudo haber llevado a cabo el muestreo después del agotamiento de estos recursos, presentándose aún abundancias altas, pero concentraciones bajas de nutrientes.

Distribución vertical

La capa del máximo subsuperficial de Clorofila *a* se presentó a los 15 metros, pero también hubo una concentración similar de clorofila, medida por fluorescencia desde antes de los 10 metros, con una caída a los 10. Esto se puede deber a dos razones; la primera, que por tratarse de agua mezclada verticalmente según la frecuencia Brunt-Väisälä, puede provocar que se extienda el grosor de la capa subsuperficial de

Clorofila. La otra razón consiste en la presencia de varias capas subsuperficiales de Clorofila, muy delgadas y cercanas entre sí, derivadas de la fotoaclimatación de los organismos. Estas capas delgadas no pueden ser diferenciadas por el fluorómetro del CTD, pero ya han sido propuestas anteriormente (Durham y Stocker, 2012). La nutriclina se encontró por debajo del pico de clorofila, notándose el agotamiento de los nutrientes en la parte superior a ésta por el fitoplancton en el máximo de clorofila. Los pigmentos tuvieron una distribución vertical igual a la de las abundancias del fitoplancton y a la fluorescencia, con la mayor concentración a los 15 metros. La población de picoeucariontes tuvo una distribución vertical similar a la distribución de la del microfitoplancton y la fluorescencia a bajas profundidades, pese a que se suelen registrar los máximos poblacionales de *Prochlorococcus* y *Synechococcus* a mayores profundidades (Rabouille *et al*, 2007). Sin embargo, las poblaciones de *Synechococcus* tipo I y II, y *Prochlorococcus*, tuvieron una distribución vertical distinta a la de las abundancias de fitoplancton en las mayores profundidades, ya que a los 75 m de profundidad aumenta el tamaño de su población, sugiriendo otro pico imperceptible para el CTD a mayor profundidad. *Synechococcus* tipo I predominó sobre *Prochlorococcus* solamente en el máximo subsuperficial de clorofila, lo cual no suele suceder debido a que *Prochlorococcus* tiene un espectro de absorción más amplio que *Synechococcus*, y debido a que presenta Divinil Clorofila *a* (Shimada *et al*, 1996; Rabouille *et al*, 2007). También, a los 75 metros se puede observar un aumento en *Synechococcus* tipo II, debido a que este ecotipo es el que se adapta mejor a incidencias menores de luz (Rabouille *et al*, 2007; Scanlan y West, 2002; Partensky *et al*, 1999).

Asociaciones ecológicas

El presente Análisis de Correspondencias Canónicas (CCA) con el método de Mínimos Cuadrados Parciales indicó las asociaciones presentes en la comunidad del fitoplancton y las variables ambientales. Las especies de fitoplancton son divididas de la fracción del picofitoplancton por la profundidad y el tipo de nutriente, teniendo mayor asociación el fitoplancton con el amonio y el picofitoplancton con los nitratos. Usando el segundo eje, se logra diferenciar entre *Synechococcus* y *Prochlorococcus* posiblemente con relación de *Synechococcus* con los nitratos. El fitoplancton se divide usando el segundo eje entre especies como *Chaetoceros socialis*, *Guinardia striata* y *Dactylosolen fragilissimus*, entre otras que están en la parte más superficial, mientras que *Chaetoceros curvisetus*, *Thalassiosira* sp., *Pseudo-nitzschia delicatissima* y *P. pungens* se localizan mayoritariamente en el máximo subsuperficial de Clorofila *a*, a la profundidad de 15 metros, y quedan asociadas de manera muy cercana al amonio. Esta asociación entre el amonio y el máximo subsuperficial de Clorofila *a* indica que existe producción regenerada a esta profundidad. Mientras que la asociación del picofitoplancton con los nitratos sugiere nueva producción en las partes más profundas de la columna. Otro análisis que corrobora la presencia de producción regenerada es que la Productividad Primaria Neta en contra la concentración de amonio obtuvo una correlación positiva, aunque no significativa, mientras que contra los nitratos la correlación fue negativa. Comparando con otros CCA publicados para Cabo Corrientes, Lázaro Cárdenas y Guerrero, tanto la distribución de los nutrientes y variables fisicoquímicas, como la distribución de las especies no son similares (Vega-Juárez, 2014).

Contribución a la Clorofila *a* según los pigmentos marcadores

Los resultados de las regresiones lineales de los pigmentos contra Clorofila *a* indican que el pigmento con mayor coeficiente de determinación fue la fucoxantina, seguido por la Clorofila C2 (ambos pigmentos presentes en las diatomeas). De esta manera se comprueba que la mayor parte de la productividad primaria en la estación "PG" se debe a las diatomeas, y gracias a la prueba Olmstead-Tukey, se infiere que las especies que tienen mayor biomasa son las más dominantes, como *Chaetoceros socialis* (Spp.1) *Chaetoceros curvisetus* (Spp.2), *Guinardia striata*, *Dactyliosolen fragilissimus*, *Leptocylindrus danicus*, *Thalassiosira* sp. y *Pseudo-nitzschia delicatissima*.

Productividad Primaria

La productividad primaria neta integrada que se calculó *in situ* fue alta (de 651 mgC m⁻²d⁻¹), superior al promedio de la zona de Cabo Corrientes, Jalisco medidas tanto por percepción remota como *in situ* (López-Sandoval *et al*, 2009a; López-Sandoval *et al*, 2009b; Sosa-Ávalos *et al*, 2006). Pero comparando con los máximos datos de productividad primaria integrada obtenidos en la parte costera sur de Cabo Corrientes, que fueron de 800 mgC m⁻²d⁻¹, la estación "PG" fue menos productiva. Equiparando únicamente con datos puntuales de productividad primaria, la estación "PG" tuvo también datos altos (17 y 29 mgC m⁻³h⁻¹), contra los 1 a 4 mgC m⁻³h⁻¹ de Cabo Corrientes (López-Sandoval *et al*, 2009b). Aunque se han registrado datos aún más altos (de 40 y 22 mgC m⁻³h⁻¹) para el Golfo de Tehuantepec (Robles-Jarero y Lara-Lara, 1993). La concentración de Clorofila *a* obtenida en el máximo de clorofila fue de 24 mg m⁻³, esta concentración es muy alta para comparando con datos publicados anteriormente en el Pacífico tropical mexicano. Se ha reportado un máximo de 11.5

mg m⁻³ de Clorofila *a* para Cabo Corrientes (López-Sandoval *et al*, 2009b) y un máximo de 11.2 mg m⁻³ para el Golfo de Tehuantepec (Robles-Jarero y Lara-Lara, 1993). La concentración Clorofila *a* calculada por medio de percepción remota para la estación “PG” no es tan distinta de la concentración de Clorofila *a* calculada por medio de HPLC, entonces los registros anteriores de esta estación por medio de percepción remota (aproximadamente 30 mg m⁻³ en cada crucero) no son erróneos. En este trabajo no se llevaron a cabo incubaciones para medición de productividad primaria con muestras fraccionadas (entre microfitoplancton y picofitoplancton), pero debido al gran aporte de la fucoxantina al total de Clorofila *a*, y según un trabajo posterior sobre productividad primaria fraccionada en la misma zona (Ponce-Manjarrez *et al*, 2016) las diatomeas son las algas que aportan la mayor productividad, tanto en la fracción del microfitoplancton, como en la del nano y picofitoplancton. Los taxones que llevan a cabo esta alta productividad serían *Chaetoceros socialis*, *Pseudo-nitzschia delicatissima* y *Thalassiosira* sp. entre otras, ya que son especies dominantes y pequeñas.

Análisis históricos oceanográficos

La productividad primaria de la estación “PG” está ligada a las surgencias costeras que se producen en abril y mayo en el Pacífico central mexicano. Pese a que se presentó el fenómeno de “El Niño”, el índice de surgencias no se vio afectado en abril y mayo (Cervantes-Duarte *et al*, 2016). Comparando con registros para la costa oeste de Norteamérica, el índice de surgencia obtenido (de 102) fue tan alto como las surgencias más altas reportadas por cada cuarto de año (Bakun, 1973). A su vez, debido a la dirección de los vientos en la costa de Tecpan de Galeana existe la posibilidad de que se formara una surgencia costera. Por otro lado, el análisis de las

Corrientes Geostróficas (que son las corrientes que están por debajo de la capa de Ekman) presentan giros entre el 12 y 14 de abril, a la altura de Lázaro Cárdenas, y para el 22 de abril las corrientes geostroficas corren hacia el sureste. Entonces, puede suceder que los nutrientes de los cuerpos lagunares y los ríos que quedan al noroeste de Tecpan de Galeana sean transportados hacia esta zona, y que por acción de los vientos exista una surgencia costera y puedan llegar a la zona fótica. Cabe mencionar, que algo notorio por percepción remota es que Puerto Vicente, al noroeste de la costa de Tecpan de Galeana, puede actuar como una barrera para el flujo del agua rica en nutrientes que viene de manera paralela a la costa desde el noroeste de Guerrero, resultando en áreas con menor concentración de Clorofila *a* cercanas a la costa, al sureste de Puerto Vicente Guerrero, y también se puede observar que las plumas de agua dulce de los ríos Coyuquilla y Petatlán, al norte de Puerto Vicente tienen una gran influencia sobre la concentración de Clorofila *a* en la estación PG, así como la pluma de agua dulce del Río San Luis y San Pedro afecta la concentración de Clorofila más al sureste de la Estación PG (Fig. 11). Los nitratos, nitritos y silicatos pueden tener un origen en el agua más profunda, y presentarse debido a la surgencia costera, pero el amonio puede tener un origen orgánico, posiblemente aportado por los ríos de la costa de Petatlán, o puede ser producido por bacterias (Libes, 2009). Según los resultados del ACC y las correlaciones de la Productividad Primaria Neta contra las variables fisicoquímicas, existe una producción regenerada (Dougdale y Goering, 1967) para el máximo subsuperficial de Clorofila *a*, y los nitratos asociados al picofitoplancton indican producción nueva, por lo tanto quizás la alta productividad primaria se deba a tener aportes de ambos tipos de producción. Según la distribución de los nutrientes (fig.3) la producción nueva ocurre en las partes más superficiales, y la producción regenerada en las partes más profundas.

En agosto se presentó otra época de alta productividad, los vientos no son paralelos a la costa, entonces se descarta la posibilidad de surgencia. Es probable que, durante esta época, el agua esté más estratificada. Como la alta productividad se dispara rápidamente entre agosto y septiembre, puede deberse a que la estratificación se rompa posteriormente debido a la presencia de tormentas, ya que aumentan tanto la mezcla vertical del agua como la fertilización del agua por escorrentía. Otro aspecto que se debe de tomar en cuenta es la baja estratificación del agua en la estación "PG", ya que en general el Pacífico tropical mexicano se caracteriza por estar fuertemente estratificado (Emery *et al*, 1984). Estas condiciones oceanográficas no pueden ser particulares solamente para la costa de Tecpan de Galeana, y quizás estén compartidas por otras localidades a lo largo de la costa del Pacífico central mexicano. Entonces, la singularidad de la productividad primaria de esta la costa de Tecpan de Galeana aún no está completamente explicada.

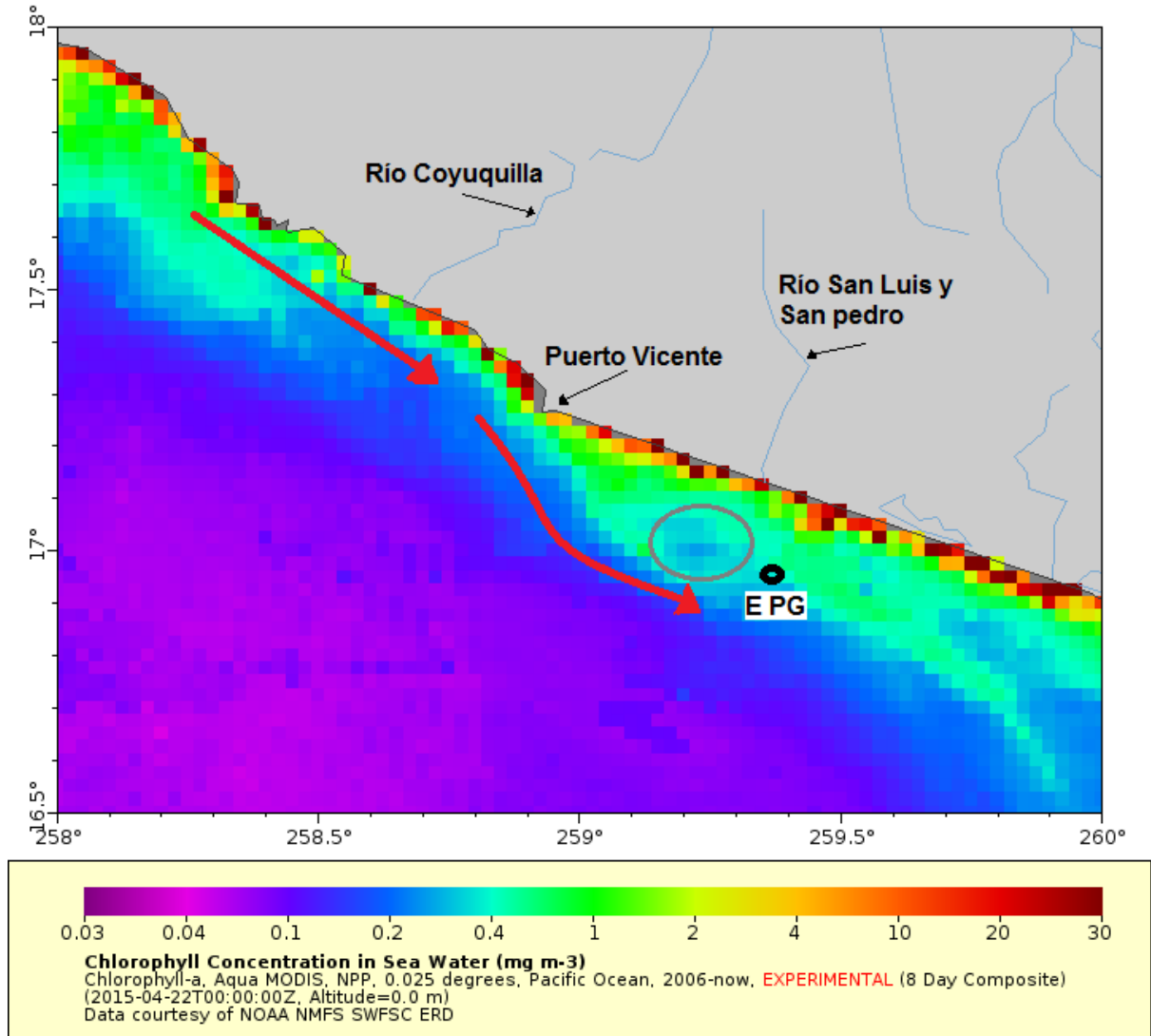


Fig. 11. Se muestra un mapa de concentración de clorofila medido por percepción remota. Se indica la zona con baja concentración de pigmentos (Círculo gris) derivada de la acción de Puerto Vicente como una barrera para el viento y corrientes (Flechas rojas).

Conclusiones

La comunidad del fitoplancton marino de la costa de Tecpan de Galeana, Guerrero se constituye principalmente por diatomeas, en el mes de abril. A su vez, el aporte de Clorofila *a* es dado en mayor parte por las diatomeas y de igual manera la biomasa.

La distribución vertical del fitoplancton está limitada por el amonio en la parte superior, y por la nitratoclina por debajo. El picofitoplancton presenta dos picos de abundancia, uno en el máximo subsuperficial de clorofila, y otro en las partes más profundas del lance.

Las asociaciones ecológicas estudiadas indican que el máximo subsuperficial de clorofila se compone por diatomeas, y están asociadas al amonio. Mientras que las picocianobacterias están asociadas a los nitratos y a las mayores profundidades.

Según el análisis histórico oceanográfico, como se esperaba, la alta productividad de la estación "PG" es estacional y ocurre siempre en el mes de abril, y contrario a lo que se esperaba, existe otra época de alta productividad en agosto - septiembre. Para agosto, las cuestiones oceanográficas que influyen son los vientos paralelos a la costa, la fertilización por plumas de los ríos, las corrientes geostróficas paralelas a la costa y el hecho de que Puerto Vicente actúe como barrera para el transporte de agua hacia la estación "PG".

La alta productividad primaria de la costa de Tecpan de Galeana, Guerrero, se dio posiblemente por un evento de surgencia y a la poca estratificación del agua, aunado a que se presentó tanto producción regenerada como producción nueva. Sin

embargo, esta no es la única localidad que puede presentar estos fenómenos, y no queda completamente resuelto la causa de esta productividad.

Anexos 1

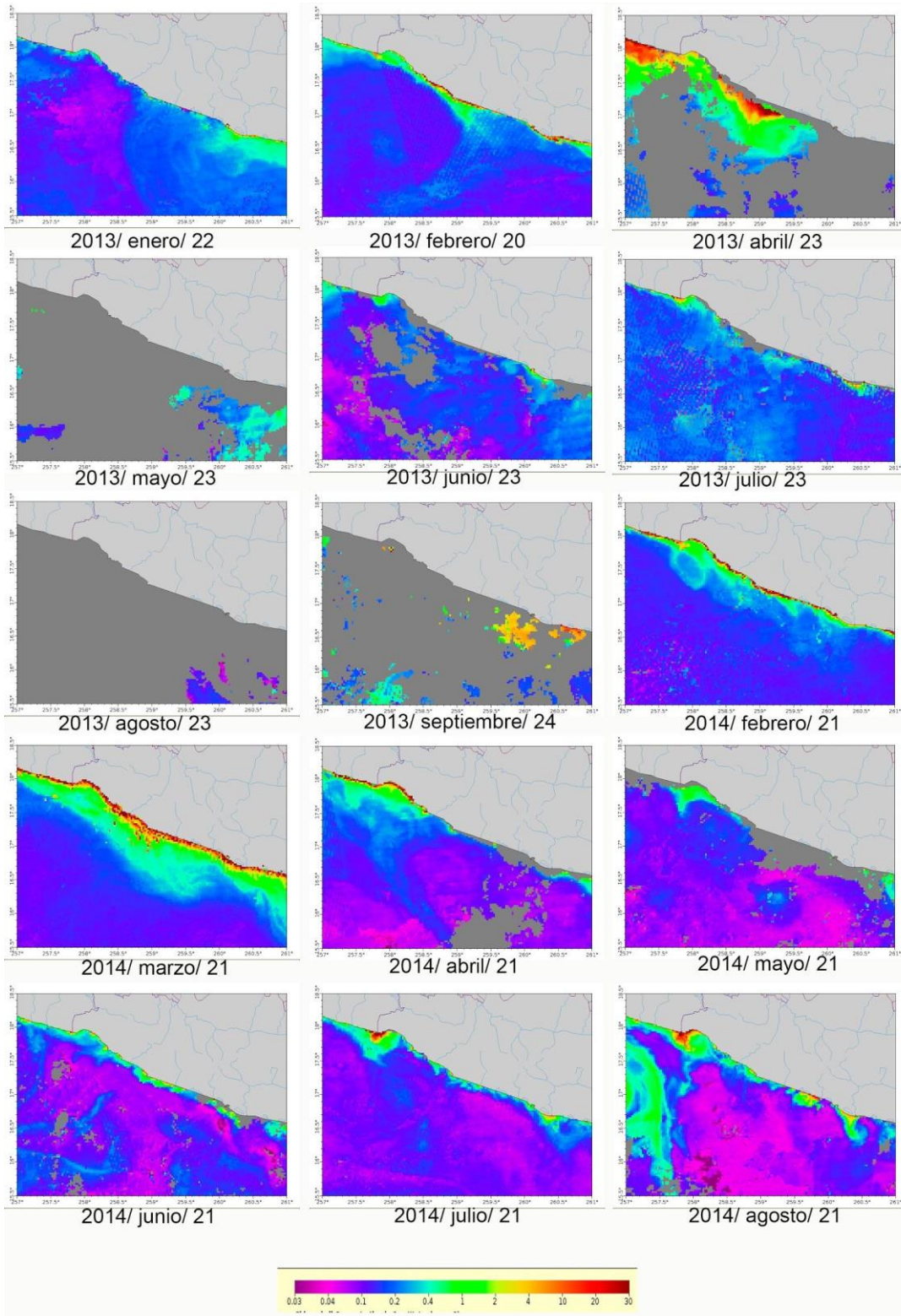
Tabla 1. Resultados de la tasa de respiración, productividad primaria bruta y productividad primaria neta medida en Oxígeno.

Respiración	PB	PN
mgO₂/l/hr	mgO₂/l/hr	mgO₂/l/hr
0.252	0.307	0.055
0.000	0.012	0.057
0.151	0.246	0.094
0.100	0.123	0.023
0.124	0.123	0.000

Tabla 2. Concentraciones de nutrientes (μM) y proporciones de nutrientes para conocer la limitación de éstos.

N-NO₃	N-NO₂	P-PO₄	Si-SiO₂	DIN	N:P	Si/DIN	Si/P
0.39	0.15	0.37	0.54	1.35	4	0.3958114	1.4540916
6.27	0.37	0.64	0.65	8.85	14	0.0736203	1.0146496
8.15	0.38	0.74	1.30	9.85	13	0.1314492	1.7433189
24.01	0.17	1.37	3.41	27.43	20	0.1242345	2.489753
23.50	0.17	1.31	3.05	23.94	18	0.1274063	2.3203507
24.55	0.09	1.39	3.45	24.78	18	0.1391599	2.4721259
28.44	0.12	1.54	4.39	29.71	19	0.1476457	2.8434942
28.95	0.08	1.60	4.83	30.01	19	0.1608276	3.0123463
30.14	1.10	1.64	5.58	31.93	19	0.1746396	3.3925478

Anexos 2



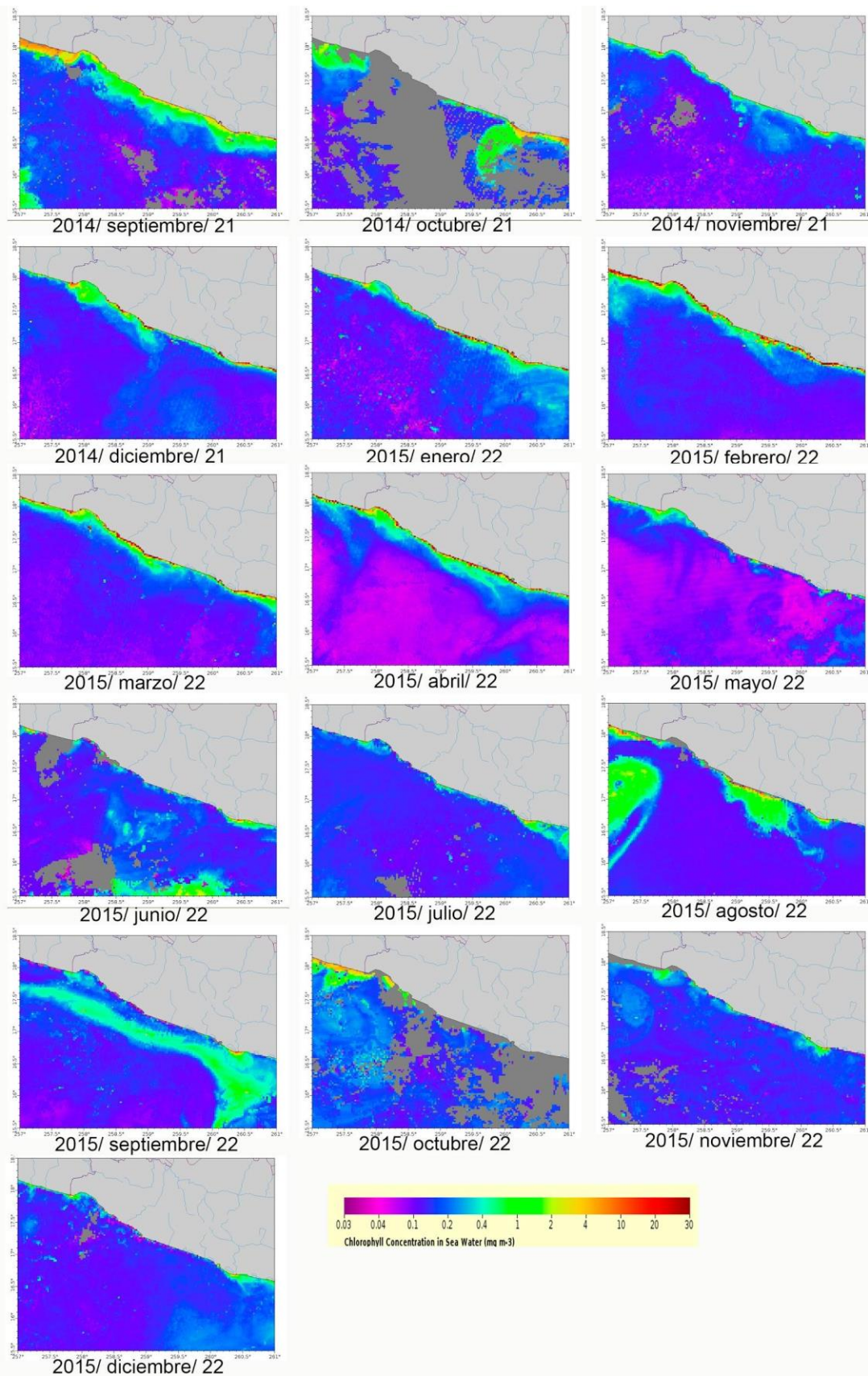


Fig.1. Imágenes satelitales del Pacífico tropical mexicano, en la zona de Tecpan de Galeana, Guerrero, de septiembre del 2014 a diciembre del 2015.

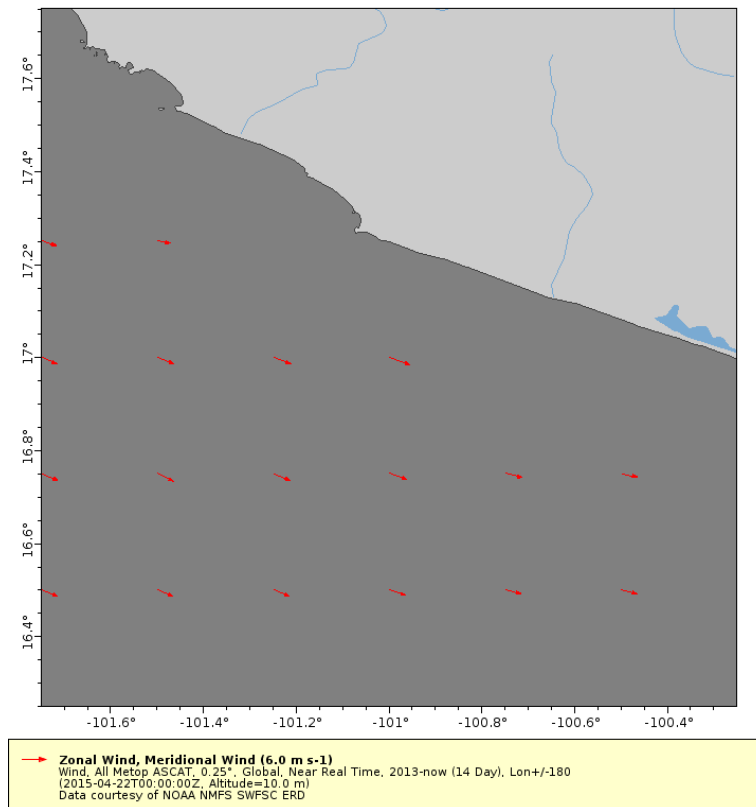


Fig.2. Vectores de viento en la costa de Tecpan de galeana, el 22 de abril del 2015.

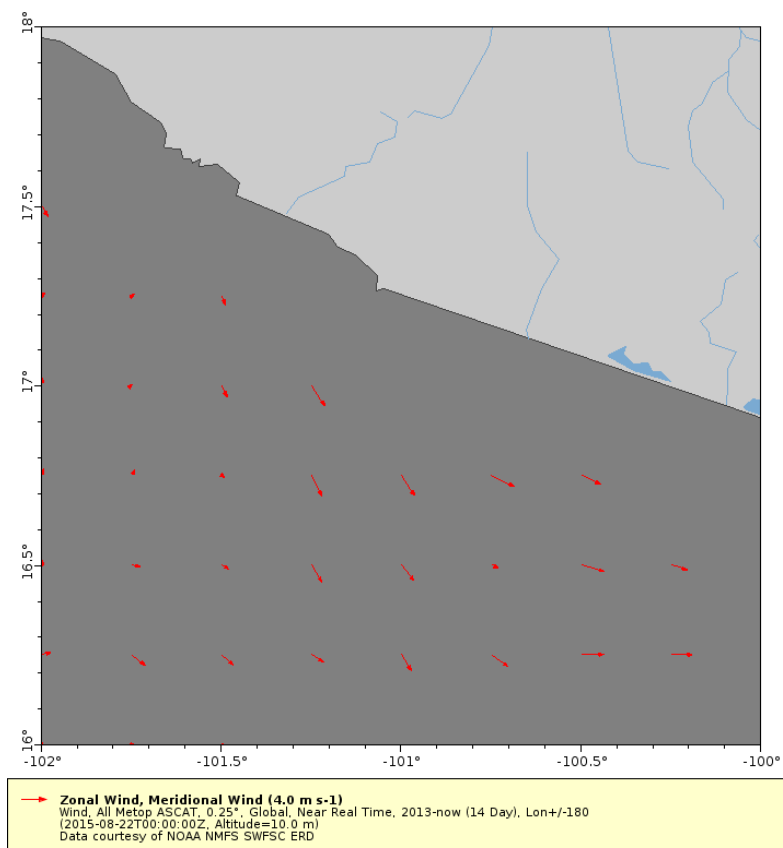
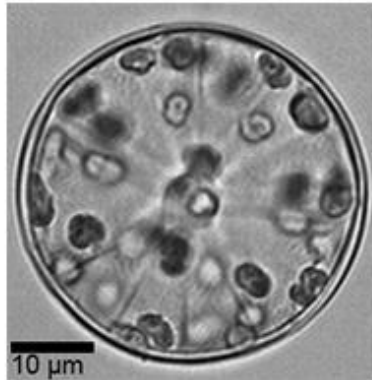
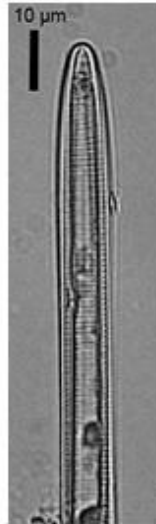


Fig.3. Vectores de viento en la costa de Tecpan de galeana, el 22 de agosto del 2015.

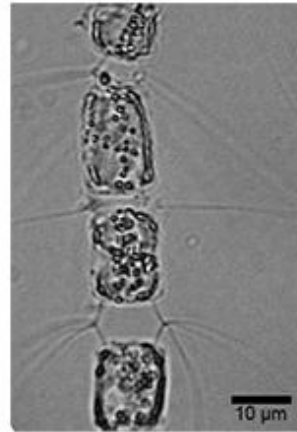
Catálogo de las Diatomeas de la Costa de Tepcan de Galeana, Guerrero



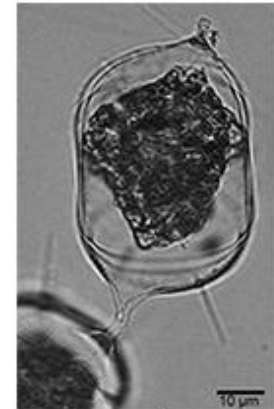
Actinoptychus parvus



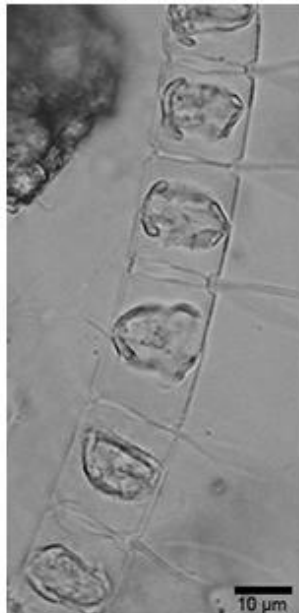
Alveus marinus



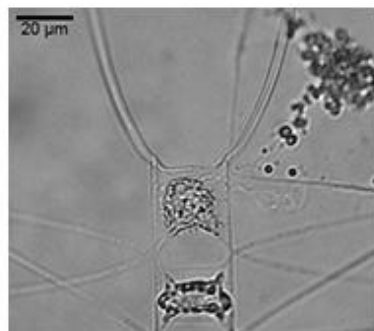
Bacteriastrum hyalinum



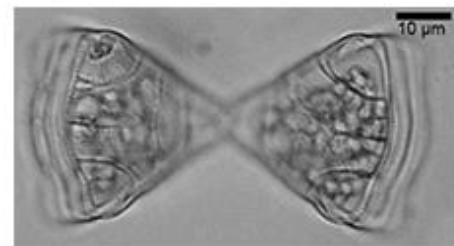
Cerataulus sp.



Chaetoceros compressus



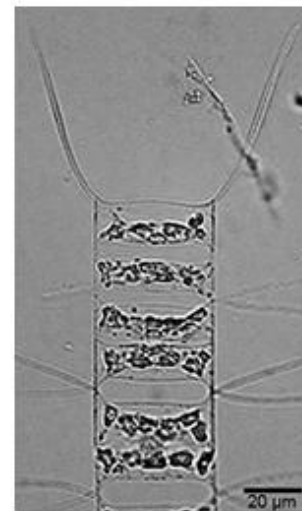
Chaetoceros decipiens



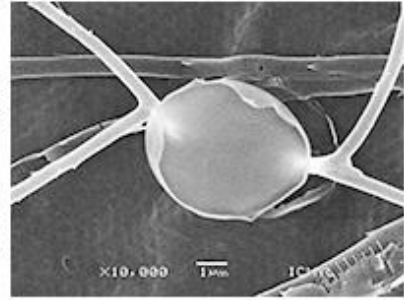
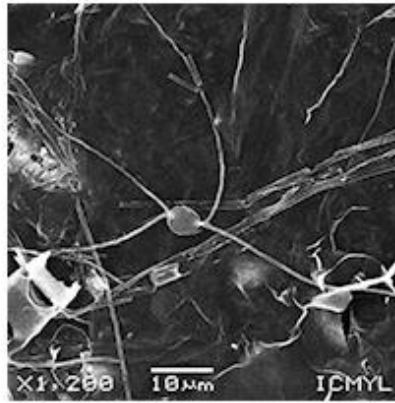
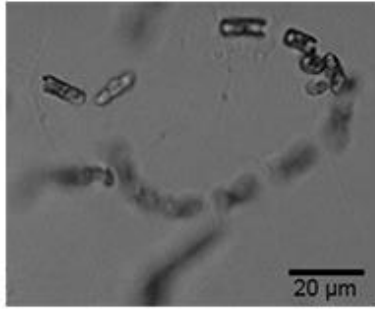
Biddulphia alternans



Chaetoceros messanensis

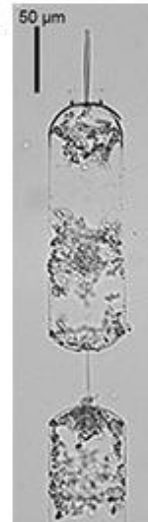
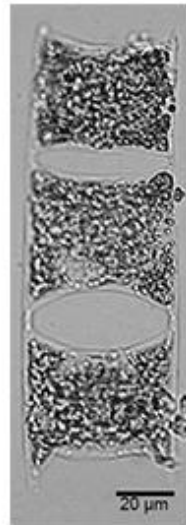


Chaetoceros lorenzianus



Cyclotella sp.

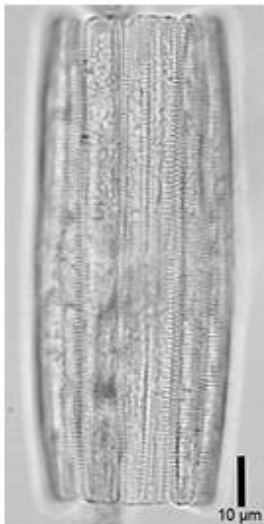
Chaetoceros socialis



Dictylum brightwellii



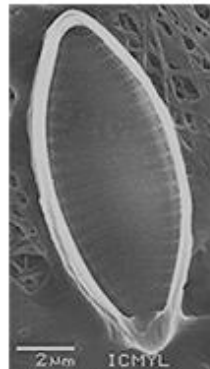
Eucampia cornuta



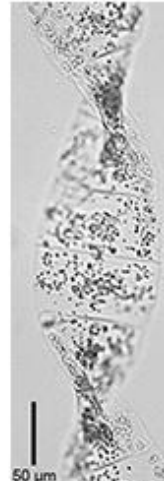
Fragilariopsis doliolus

Climacodium frauenfeldianum

Dactylosolen fragilissimus



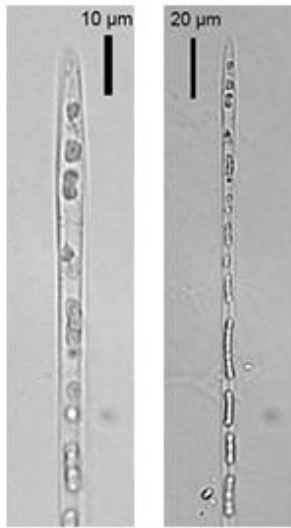
Fragilariopsis pseudonana



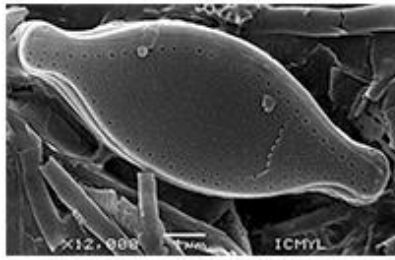
Helicotheca tamesis



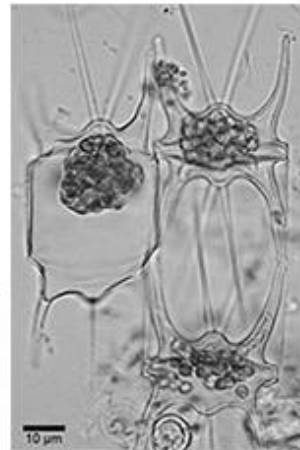
Guinardia striata



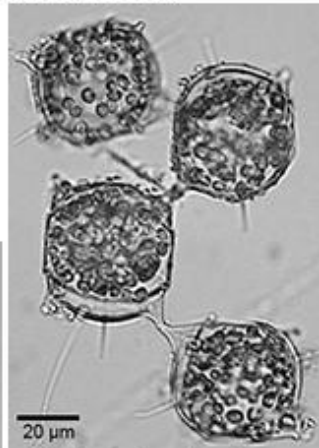
Lioloma pacificum



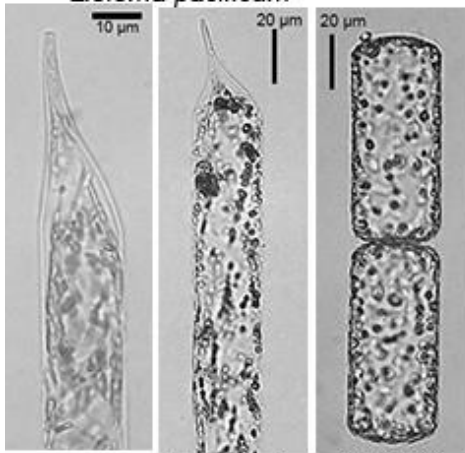
Nitzschia leehyi



Odontella longicruris



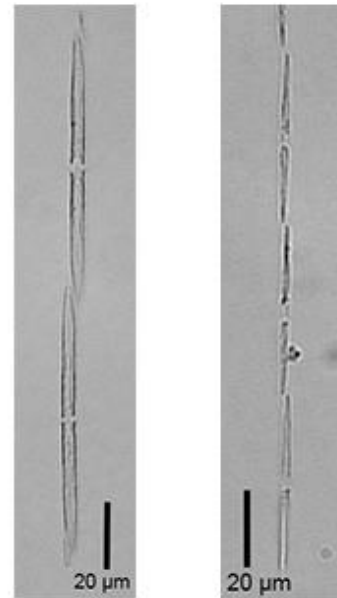
Odontella rhombus



Proboscia alata

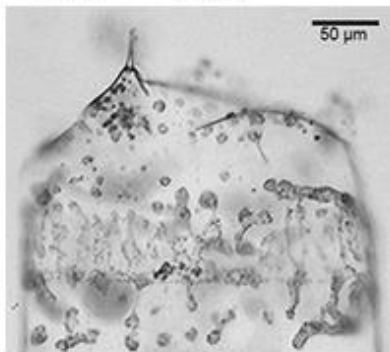
Proboscia indica

Lauderia annulata



Pseudonitzschia pungens

Pseudonitzschia delicatissima



Rhizosolenia castraneii



Pseudosolenia calcar-avis



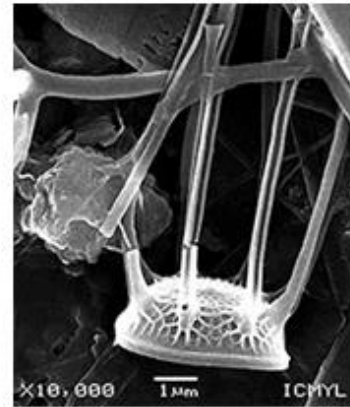
Rhizosolenia bergonii



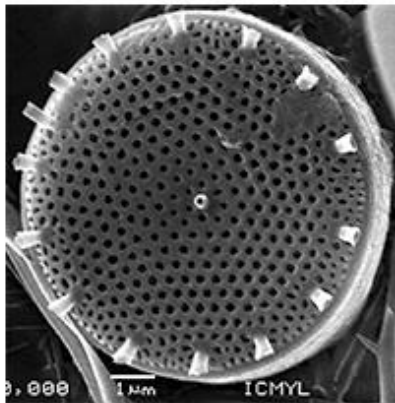
Rhizosolenia crassispina



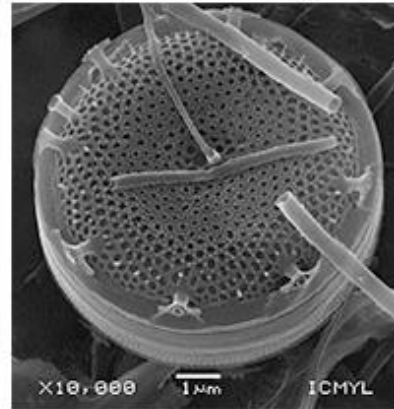
Rhizosolenia imbricata



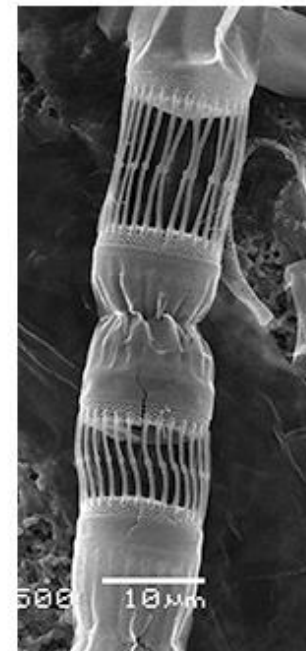
Skeletonema pseudocostatum



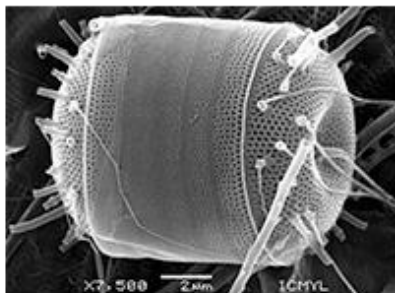
Thalassiosira delicatula



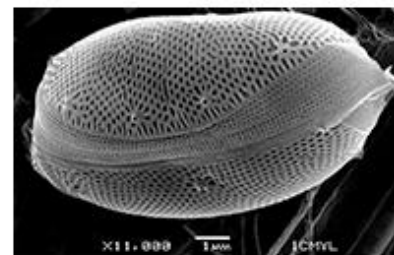
Thalassiosira tealata



Skeletonema tropicum



Thalassiosira echinata



Thalassiosira minuscula

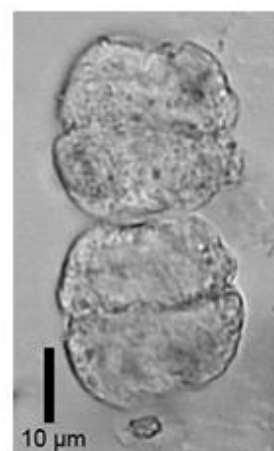
Catálogo de dinoflagelados de la costa de Tecpan de Galeana, Guerrero



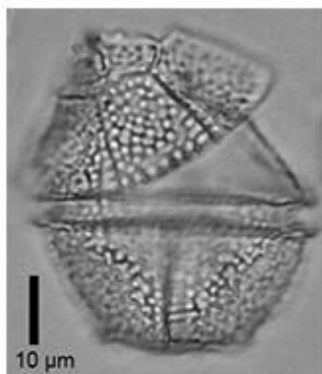
Dinophysis caudata



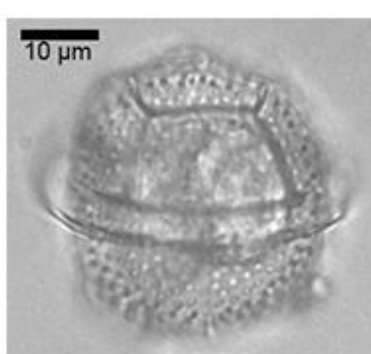
Dinophysis fortii



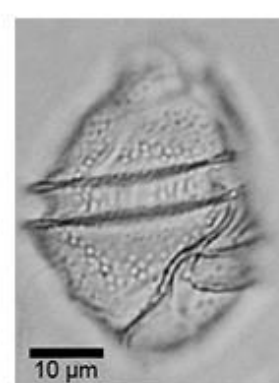
Gymnodinium catenatum



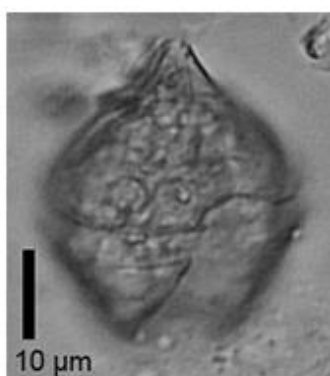
Goniodoma acuminatum



Goniodoma sphaericum



Gonyaulax monospina



Gonyaulax turbeynei



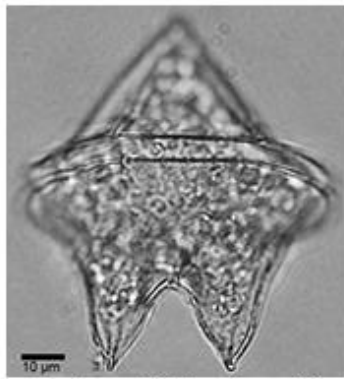
Podolampas spinifera



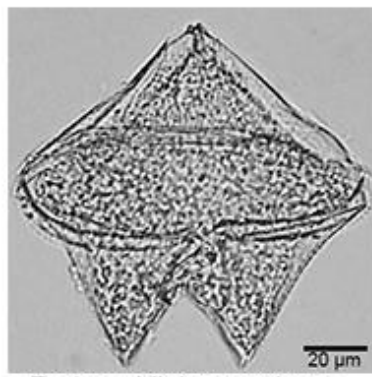
Prorocentrum compressum



Prorocentrum gracile



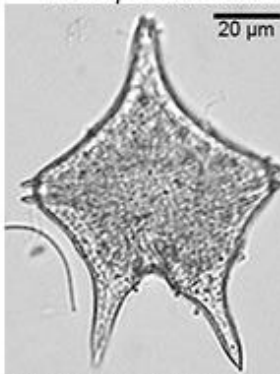
Protoperidinium brochii



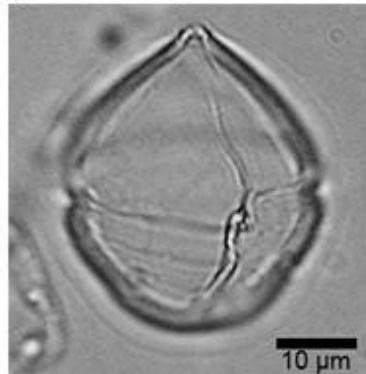
Protoperidinium conicum



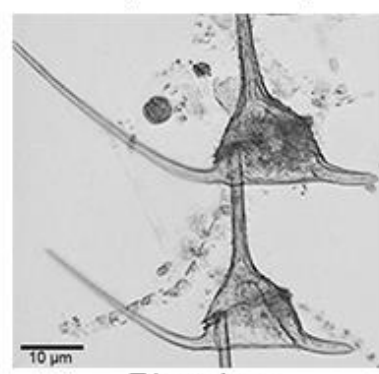
Protoperidinium latispinum



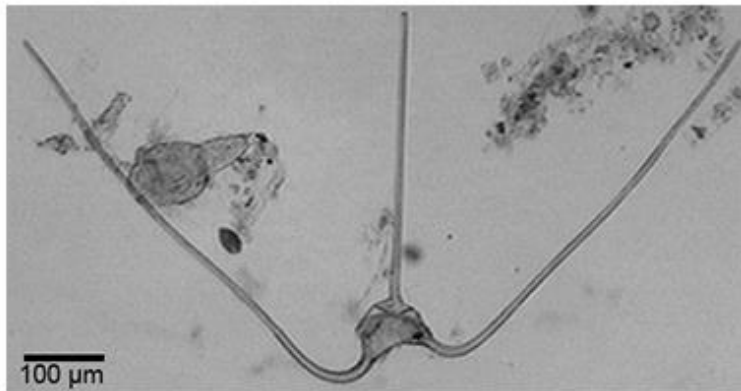
Protoperidinium oceanicum



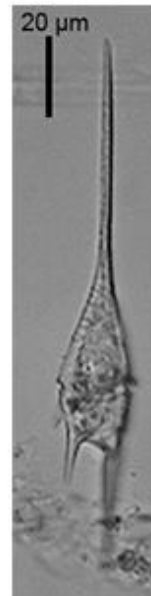
Scrippsiella trochoidea



Tripos dens



Tripos carriense

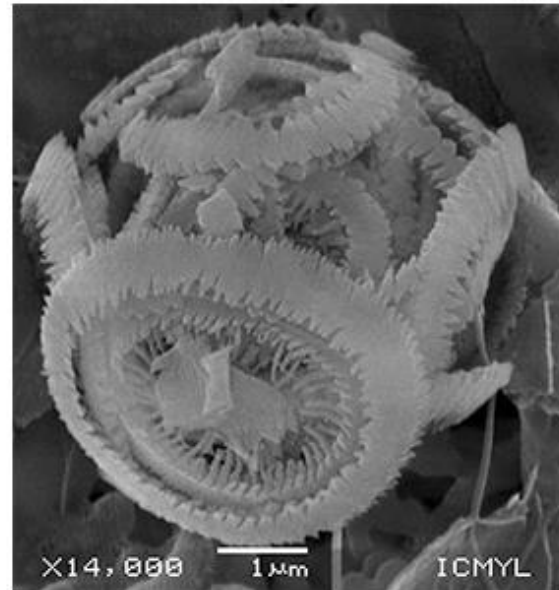
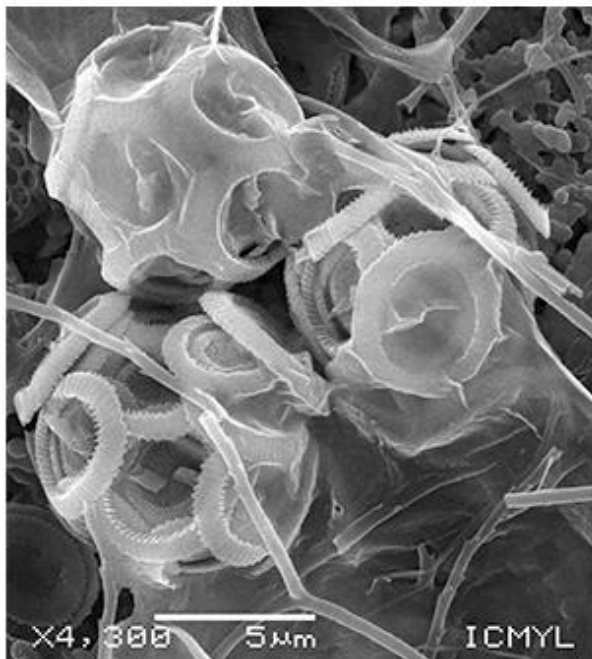
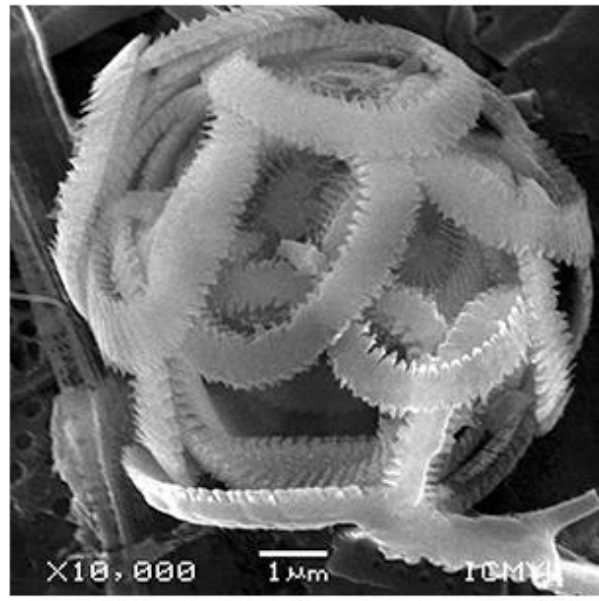
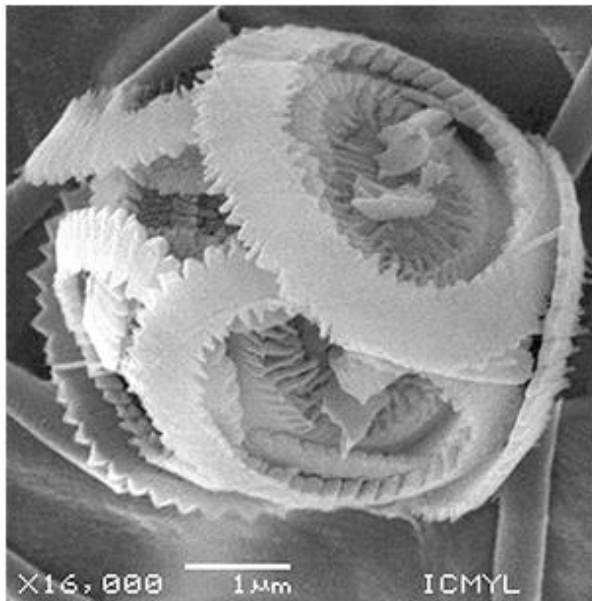


Tripos lineatum



Tripos furca

Catálogo cocolitofóridos de la costa de Tecpan de Galeana, Guerrero



Reticulofenestra parvula

Bibliografía

- Ahuja-Jiménez, Y. 2015. Identificación y potencial tóxico de especies de diatomeas planctónicas pertenecientes al género *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyceae) mediante la utilización de HPLC-UV. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México. 52 pp.
- Aké-Castillo, J. A., Hernández-Becerril, D. U., y Meave-Del Castillo, M. E. 1999. Species of the Genus *Thalassiosira* (Bacillariophyceae) from the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Botanica Marina*, 42: 487 - 503.
- Bakun, A. 1973. Coastal Upwelling Indices, West Coast of North America, 1946 - 71. US Department of Commerce, NOAA Technical Report NMFS SSRF-671. Seattle, Washington, EEUU. pp 103.
- Begon, M., Townsend, C. R., y Harper, J. L. 2006. Ecology from Individuals to Ecosystems. Blackwell Publishing. Oxford, Reino Unido. pp 738.
- Bollmann, J., Cortés, M. Y., Haidar, A. T., Brabec, B., Close, A., Hofmann, R., Palma, S., Tupas, L., y Thierstein, H. R. 2002. Techniques of quantitative analyses of calcareous marine phytoplankton. *Marine Micropaleontology*, 44: 163 - 185.
- Boopathi, T., Lee, J., Youn, S. H., y Ki, J. 2015. Temporal and spatial dynamics of phytoplankton diversity in the East China Sea near Jeju Island (Korea): A pyrosequencing-based study. *Biochemical Systematics and Ecology*, 63: 143 - 152.
- Brower, J. E., y Zar, J. H. 1981. Field and Laboratory methods for general ecology. William C. Brown Company Publishers. Dubuque, Iowa, EEUU. pp 273.
- Carter, C. M., Ross, A. H., Schiel, D. R., Howard-Williams, C., y Haydn, B. 2005. In situ microcosm experiment on the influence of nitrate and light on phytoplankton community composition. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 326(1): 1 - 13.
- Cervantes-Duarte, R., García-Romero, F. J., Hernández-Trujillo, S., Funes-Rodríguez, R., y López-López, S. 2016. Efecto del ENSO 2015 sobre la variación de nutrientes y la Clorofila-a en el litoral de Bahía Magdalena, B.C.S, México. *Memorias del XIX Congreso Nacional de Oceanografía*. Ciudad de México, México. pp 69 - 74.

- Cullen J. J. 2015. Subsurface Chlorophyll Maximum Layers: Enduring Enigma or Mystery Solved? *Annual Review of Marine Sciences*, 7: 207 - 239.
- Doan-Nhu, H., Nguyen-Ngoc, L., y Nguyen, C. 2016. ENSO and anthropogenic impacts on phytoplankton diversity in tropical coastal waters. *Progress in Oceanography*, 140:1 - 13.
- Dortch, Q. 1990. The interaction between ammonium and nitrate uptake in phytoplankton. *Marine Ecology Progress Series*, 61: 183 - 201.
- Dugdale, R. C., y Goering, J. J. 1967. Uptake of new and regenerated forms of nitrogen in primary productivity. *Limnology and Oceanography*, 12: 196 - 206.
- Durham, W. M., y Stocker, R. 2012. Thin Phytoplankton Layers: Characteristics, Mechanisms and Consequences. *Annual Review of Marine Science*, 4: 177 - 207.
- Effendi, H., Kawaroe, M., Lestari, D. F., Mursalin, y Permadi, T. 2016. Distribution of phytoplankton diversity and abundance in Mahakam Delta, East Kalimantan. *Procedia Environmental Sciences*, 33: 496 - 504.
- Egge, J. K., y Aksnes, D. L. 1992. Silicate as regulating nutrient in phytoplankton competition. *Marine Ecology Progress Series*, 83: 281 - 289.
- Elser, J. J., Bracken, M. E. S., Cleland, E. E., Gruner, D. S., Harpole, S. W., Hillebrand, H., Ngai, J. T., Seabloom, E. W., Shurin, J. B., y Smith, J. E. 2007. Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 10: 1135 - 1142.
- Emery, W. J., Lee, W. G., Magaard, L. 1984. Geographic and Seasonal Distributions of Brunt-Väisälä Frequency and Rossby Radii in the North Pacific and North Atlantic. *Journal of Physical Oceanography*, 14: 294 - 317.
- Esqueda-Lara, K., y Hernández-Becerril, D. H. 2010. Dinoflagelados microplanctónicos marinos del Pacífico central de México (Isla Isabel, Nayarit y costas de Jalisco y Colima). Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. pp 206.
- Falkowski, P. G., y Oliver, M. J. 2007. Mix and Match: how climate selects phytoplankton. *Nature Reviews Microbiology*, 5(10): 813 - 819.

- Fernandes, L. F., y Frassao-Santos, E. K. 2011. Mucilaginous species of *Thalassiosira* Cleve emend. Hasle (Diatomae) in South Brazilians waters. *Acta Botanica Brassilica*, 25(1): 31 - 42.
- Ferrario, M. E., Sar, E. A., y Sala, S. E. 1995. Metodología básica para el estudio del fitoplancton con especial referencia a las diatomeas. En Alveal, K., Ferrario, M.E., Oliveira, E. C. y Sar, E. *Manual de Métodos Ficológicos*. Universidad de Concepción, Concepción, Chile. pp 1 - 24.
- Flombaum, P., Gallegos, J. L, Gordillo, R. A., Rincón, J., Zabala, L, L., Jiao, N., Karl, D. M., Li, W. K. W., Lomas, M. W., Veneziano, D., Vera, C. S., Vrugt, J. A., y Martini, A. C. 2013. Present and future lobal distributions of the marine Cyanobacteria *Prochlorococcus* and *Synechococcus*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(24): 9824 - 9829.
- Gallegos, A., Rodríguez, R., Márquez, E., Lecuanda, R. y Zavala-Hidalgo, J. 2006. Una climatología de la superficie del mar de las aguas adyacentes a las costas de Jalisco, Colima y Michoacán, México: 1993- 2003. En Jiménez Quiroz, M. C. y Espino Barr, E. *Los recursos pesqueros y acuícolas de Jalisco, Colima y Michoacán*. Instituto Nacional de Pesca, Manzanillo, Colima, México. pp 17- 28.
- Geider, R. J., y La Roche, J. 2002. Redfield revisited: variability of C:N:P in marine microalgae and its biochemical basis. *European Journal of Phycology*, 37: 1 - 17.
- Glibert, P. M. 2016. A new phytoplankton mandala incorporating twelve dimensions, including nutritional physiology. *Harmful algae*, 55: 25 - 30.
- Hasle, G. R. 1978. Using the inverted microscope. En Sournia, A. *Phytoplankton Manual*, Organización de las Naciones Unidas para la educación, la ciencia y la cultura, Paris, Francia, pp 191 - 196.
- Hernández-Becerril, D. U., Esqueda-Lara, K., y Torres-Martínes, R. 2016. Cocolitofóridos del Pacífico Mexicano y del Golfo de México. MAPorrúa, Ciudad de México, México. pp 97.
- Hernández-Becerril, D. U., y Díaz-Almeyda, E. M. 2006. The *Nitzschia* bicapitata group, new records of the genus *Nitzschia*, and further studies on species of *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyta) from Mexican Pacific coasts. *Nova Hedwigia*, 130: 293 - 306.

- Herrera-Silveira, J. A., y Morales-Ojeda, S. M. 2009. Evaluation of the health status of a coastal ecosystem in southeast Mexico: Assessment of water quality, phytoplankton and submerged vegetation. *Marine Pollution Bulletin*, 59: 72 - 86.
- Jennings, S., Kaiser, M. J., y Reynolds, J. D. 2001. *Marine Fisheries Ecology*. Blackwell Publishing. Berlín, Alemania. pp 28.
- Jiang, Z., Liu, J., Chen, J., Chen, Q., Yan, X., Xuan, J., y Zeng, J. 2014. Responses of summer phytoplankton community to drastic environmental changes in the Changjiang (Yangtze River) estuary during the past 50 years. *Water Research*, 54: 1 - 11.
- Kemp, A. E. S., y Villareal, T. A. 2013. High diatom production and export in stratified waters - A potential negative feedback to global warming. *Progress in Oceanography*, 119: 4 - 23.
- Kessler, W. S. 2006. The circulation of eastern tropical Pacific: A review. *Progress in Oceanography*, 69: 181 - 217.
- Kirk, J. T. O. 1994. *Light and photosynthesis in aquatic Ecosystems*. Cambridge University Press. Cambridge, Reino Unido. pp 401.
- Krebs, C. J. 1978. *Ecology the Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. Harper International Edition. New York, New York, EEUU. pp 678.
- Labbé-Ibáñez, P., Iriarte, J. L., y Pantoja, S. 2015. Respuesta del microfitoplancton a la adición de nitrato y ácido silícico en fiordos de la Patagonia Chilena. *Latin American Journal of Aquatic Research*, 43(1): 80 - 93.
- Lalli, C. M., y Parsons, T. R. 1997. *Biological Oceanography an introduction*. Elsevier Butterworth Heinemann. University of British Columbia. Vancouver, Canadá. pp 323.
- Li, Y., Zhao, Q., y Lü, S. 2011. The genus *Thalassiosira* off the Guangdong coast, South China Sea. *Botanica Marina*, 56(1):83 - 110.
- Libes, S. M. 2009. *Introduction to Marine Biogeochemistry*. Academic Press, Londres, Reino Unido. pp 909.
- Litchman, E., Klausmeier, C. A., Schofield, O. R., y Falkowski, P. G. 2007. The role of functional traits and trades-offs in structuring phytoplankton communities: scaling from cellular to ecosystem level. *Ecology letters*, 10: 1170 - 1181.

- López-Sandoval, D. C., Lara-Lara, J. R., y Álvarez-Borrego, S. 2009a. Phytoplankton production by remote sensing in the region off Cabo Corrientes, Mexico. *Hidrobiologica*, 19(3): 185 - 192.
- López-Sandoval, D. C., Lara-Lara, J.R., Lavín, M. F., Álvarez-Borrego, S., y Gaxiola-Castro, G. 2009b. Primary Productivity in the eastern tropical Pacific off Cabo Corrientes, Mexico. *Ciencias Marinas*, 35(2): 169 - 182.
- Margalef, R. 1977. Function and structure in an ecosystem: organization of plankton. En Elskens, I., Sanfeld, A., y Vigneron, J. *Etude et gestion du système marin*. Université Libre de Bruxelles, Louvaine-la-neuve, Bélgica. pp 58 - 88.
- Marie, D., Partensky, F., Vaulot, D. y Brussaard, C. 1999. Enumeration of phytoplankton, bacteria, and viruses in marine samples. En Robingson, J. P., Darzynkiewicz, Z. Dean, P. N.Orfao, A. Rabinovitch, P. Stewart, C. C. Tanke H. J. y Wheeless, L. L. *Current Protocols in Cytometry*. John Wiley and Sons, Suplemento 10: 11.11 pp 1 - 15.
- Marra, J. 2002. Approaches to the Measurement of Plankton Production. En Williams, P. J. B., Thomas, D. N., y Reynolds, C. S. *Phytoplankton Productivity Carbon assimilation in marine and freshwater ecosystems*. Blackwell Science. Oxford, Reino Unido. pp 78- 108.
- Meave-del Castillo, M. E., Zamudio-Reséndiz, M. E., y Castillo-Rivera, M. 2012. Riqueza fitoplanctónica de la bahía de Acapulco y zona costera aledaña, Guerrero, México. *Acta Botánica Mexicana*, 100: 405 - 487.
- Moreno, C. E., Barragán, F., Pineda, E., y Pavón, N. P. 2011. Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades biológicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82: 1249 - 1261.
- Moreno, J.L., Licea, S., y Santoyo, H. 1996. *Diatomeas del Golfo de California*. Universidad Autónoma de Baja California Sur. La Paz, Baja California Sur, México. pp 273.
- Moreno-Díaz, G., Rojas-Herrera, A. A., González-González, J., Violante-González, J., Rosas-Acevedo, J. L., y García-Ibáñez, S. 2015. Variación temporal de la abundancia y composición de especies del fitoplancton colectado con red, en la bahía de Acapulco, México. *Revista Bio Ciencias*, (3)2: 88 - 102.

- Nassar, M. Z., y Gharib, S. M. 2014. Spatial and temporal patterns of phytoplankton composition in Burullus Lagoon, Southern Mediterranean Coast, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 40: 133 - 142.
- Nassar, M. Z., Mohamed, H. R., Khiray, H. M., y Rashedy, S. H. 2014. Seasonal fluctuations of phytoplankton community and physico-chemical parameters of the north western part of the Red Sea, Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Research*, 40: 395 - 403.
- Partensky, F., Blanchot, J., y Vaulot, D. 1999. Differential distribution and ecology of *Prochlorococcus* and *Synechococcus* in oceanic waters: a review. *Bulletin de l'Institut océanographique*, 19: 457 - 475.
- Ponce-Manjarrez, E. J., Varona-Cordero, F., López-Mejía, D., Hernández-Becerril, D. U., y Gutiérrez-Mendieta, F. J. 2016. Producción Primaria por fracciones de tamaño en una zona costera del Pacífico tropical mexicano, mediante microscopía, HPLC y Citometría de Flujo. *Memorias del XIX Congreso Nacional de Oceanografía*, Ciudad de México, México. pp 295 -300.
- Rabouille, S., Edwards, C. A., y Zehr, J. P. 2007. Modelling the vertical distribution of *Prochlorococcus* and *Synechococcus* in the North Pacific Subtropical Ocean. *Environmental Microbiology*, 9(10): 2588 - 2602.
- Ramírez, B., y Pizarro, E. 2005. Distribución de Clorofila a y feopigmentos en los canales australes chilenos comprendidos entre Puerto Montt y la Laguna de San Rafael, Chile. *Revista Ciencia y Tecnología del Mar*, 28(1): 45 - 62.
- Reynolds, C. S. 2006. *The Ecology of Phytoplankton*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido, 1 - 21.
- Robles-Jarero, E. G., y Lara-Lara, J. R. 1993. Phytoplankton biomass and primary productivity in the Gulf of Tehuantepec, Mexico. *Journal of Plankton Research*, 15(12): 1341 - 1358.
- Rodríguez-Palacio, M. C., Lozano-Ramírez, C., Méndez-Oblea, M. C., Moreno-Rivas, G., Morales-Blake, A., y Hernández-Becerril, D. U. 2011. Fitoplancton de la costa de Guerrero, México del crucero oceanográfico "MareaR I" (826 de marzo-4 de abril, 2009). *Avances Sobre Investigaciones Marinas y Acuícolas del Pacífico Tropical Mexicano*, 2: 279 - 290.
- Roy, S. 2009. Do phytoplankton communities evolve through a self-regulatory abundance-diversity relationship? *Biosystems*, 95: 160 - 165.

- Salgado-Ugarte, I. H. 2010. Re-expresión de los datos. En Salgado-Ugarte, I. H. Métodos Estadísticos Exploratorios y Confirmatorios para Análisis de Datos un Enfoque Biométrico. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- Sampathkumar, P., Balakrishnan, S., Kamalakannan, K., Sankar, R., Ramkumar, L., Ramesh, S., Kabilan, N., Sureshkumar, T., Thenmozhi, C., Gopinath, M., Jayasudha, S., Arokiyasundram, A., Lenin, T., y Balasubramanian, T. 2015. Hydrographical parameters and phytoplankton assemblages along the Pondicherry-Nagapattinam coastal waters, southeast coast of India. *Advances in Climate Change Research*, 6: 36 - 45.
- Santander, E., Herrera, L., y Merino, C. 2003. Fluctuación diaria del fitoplancton en la capa superficial del océano durante la primavera de 1997 en el norte de Chile (20°18'S): II. Composición específica y abundancia celular. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 38(1): 13 - 25.
- Sathicq, M. B., Bauer, D. E., y Gómez, N. 2015. Influence of El Niño Southern Oscillation phenomenon on coastal phytoplankton in a mixohaline ecosystem on the southeastern of South America: Río de la Plata estuary. *Marine Pollution Bulletin*. 98: 26 - 33.
- Scanlan, D. J., y West, N. J. 2002. Molecular ecology of the marine cyanobacterial genera *Prochlorococcus* and *Synechococcus*. *FEMS Microbiology Ecology*, 40: 1 - 12.
- Shimada, A., Maruyama, T., y Miyachi, S. 1996. Vertical distributions and photosynthetic action spectra of two oceanic phytoplankters, *Prochlorococcus marinus* and *Synechococcus* sp. *Marine Biology*, 127: 15 - 23.
- Simon, N., Cras, A. L., Foulon, E., y Lemeé, R. 2009. Diversity and evolution of marine phytoplankton. *Comptes Rendus Biologies*, 332: 159 – 160.
- Sosa-Ávalos, R., Martínez-Gaxiola, M. D. y Gaxiola-Castro, G. 2006. Producción primaria en el Pacífico tropical mexicano estimada a partir de datos derivados de sensores remotos. En Jiménez Quiroz, M. C. y Espino Barr, E. Los recursos pesqueros y acuícolas de Jalisco, Colima y Michoacán. Instituto Nacional de Pesca, Manzanillo, Colima, México. pp 17- 28.
- Sournia, A. 1968. Diatomées Planctoniques du Canal de Mozambique et de L'île Maurice. Orstom. París, Francia. pp 657.

- Spatharis, S., Roelke, D. L., Dimitrakopoulos, P. G., y Kokkoris, G. D. 2011. Analysing the (mis) behavior of Shannon index in eutrophication studies using field and simulated phytoplankton assemblages. *Ecological indicators*, 11: 697 - 703.
- Sokal, R., y Rohlf, F. J. 1981. *Biometry*. Freeman. San Francisco, California, EEUU. pp 259.
- Stewart, R. 2008. *Introduction to Physical Oceanography*. Texas A & M University. Texas, EEUU, pp 345.
- Strickland, J. D. H., y Parsons, T. R. 1972. *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. Fishery Research Board of Canada, 167: 263 - 266.
- ter Braak, C. J. F., y Verdonschot, P. F. M. 1995. Canonical Correspondence Analysis and related multivariate methods in aquatic ecology. *Aquatic sciences*, 57(3): 255 - 251.
- Throndsen, J. 1978. Preservation and storage. En Sournia, A. *Phytoplankton Manual*, Organización de las Naciones Unidas para la educación, la ciencia y la cultura, Paris, Francia. pp 69 - 74.
- Tomas, C. R. 1997. *Identifying Marine Phytoplankton*.
- Torres-Martínez, R. Composición, abundancia y distribución de cocolitofóridos del Pacífico tropical mexicano (abril-mayo, 2010). Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Autónoma de México, México. pp 90.
- Torres-Martínez, R. Composición, Abundancia y distribución de cocolitofóridos (Haptophyta) en el Pacífico mexicano. Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México. pp 109.
- Varona-Cordero, F., Gutiérrez-Mendieta, F. J., y Rivera-Monroy, V. H. 2014. In situ response of phytoplankton to nutrient additions in a tropical coastal lagoon, (La Mancha, Veracruz, Mexico). *Estuaries and Coasts*, 37(6): 1353 - 1375.
- Vega-Juárez, G. 2014. Caracterización de las proliferaciones algales ocurridas en el Pacífico central mexicano del 10 al 22 de abril del 2012. Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México, México. pp 185.
- Vidussi, F., Claustre, H., Bustillos-Guzmán, J., Cailleau, C. y Marty, J.C., 1996. Rapid HPLC method for determination of phytoplankton chemotaxonomic pigments: separation of chlorophyll a from divinyl-chlorophyll a and zeaxanthin from lutein. *Journal of Plankton Research*, 18: 2377-2382.

- Wang, Z., Song, S., y Qi, Y. 2014. A comparative study of phytoneuston and the phytoplankton community structure in Daya Bay, South China Sea. *Journal of Sea Research*, 85: 474 - 482.
- Wyatt, T. 2012. Margalef's mandala and phytoplankton bloom strategies. *Deep-Sea research II*, 101: 32 - 49.
- Wyrтки, K. 1965. Surface Currents of the Eastern Tropical Pacific Ocean. *Inter-American Tropical Tuna Commission*, 9(5): 271 - 303.