



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

Abundancia del género *Pseudo-nitzschia* en tres zonas: playa, mar y arrecife dentro del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

BIÓLOGO

PRESENTA:

Karla Daniela González Pedraza

ASESOR:

Biól. Angélica Elaine González Schaff

Ciudad de México, 2019.





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.

*“El mar es sólo la encarnación de una existencia sobrenatural y maravillosa.
No es más que amor y emoción; es el infinito viviente.”*

- Julio Verne

Agradecimientos

A mi directora de tesis la Biól. Angélica Elaine González Schaff por su valiosa asesoría en la realización de este trabajo de tesis, además del apoyo, confianza y consejos profesionales y personales. Gracias por la motivación y la pasión transmitida durante las sesiones de laboratorio.

A mis sinodales: Biol. José Luis Guzmán Santiago, Dra. Alejandrina Graciela Ávila Ortiz, Dr. Antonio Valencia Hernández y M en C.E. Rocío Espitia Licea por su tiempo al leer este trabajo y brindarme las herramientas necesarias para enriquecer y mejorar mi trabajo.

A la UNAM, por empapararme de conocimiento desde mí ingreso a la preparatoria y por brindarme un hogar dentro de sus instalaciones. A la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, por darme las bases necesarias para ser una gran científica.

A mi madre, María Angélica Pedraza Escalante, por haber confiado en mí, por haberme dado valor y motivación a lo largo de mi formación como profesional. Gracias por darme la fortaleza para no rendirme ante cualquier situación, gracias por enseñarme a esforzarme y a tener la valentía para no abandonar mis sueños. Gracias por todo el apoyo, comprensión y cariño que me has brindado desde niña. Te amo.

A Daniel Pedraza Escalante, por ser como un padre para mí. Agradezco el apoyo, cuidado, consejos y cariño que me has brindado desde pequeña. Gracias por depositar tu confianza en mí y ser uno de los soportes más importantes en mi vida y en mi formación académica. Admiro tu bondad, honestidad, empatía y valentía. Te quiero.

A mi abuela, Elia Escalante Correa, gracias por la confianza y el apoyo que me has brindado, ya que sin él, no hubiera podido salir adelante. Eres una de las principales razones de todo lo que hago y jamás tendré forma de agradecer lo que has hecho por mí. Gracias por todo tu amor.

A mis amigos, que siempre estuvieron a mi lado para apoyarme, por todas las experiencias que compartimos juntos a lo largo de la carrera. A Narda Mena y Cinthia Hidalgo por su amistad, consejos y apoyo a pesar del distanciamiento. A mis amigos de laboratorio: Viviana Becerril, por su ingenio, apoyo y ocurrencias que hacen que estalle de risa en cualquier momento; Vania Mendoza por su apoyo, su nobleza y valentía; a Said Hernández por su particular sentido del humor que a veces me saca sustos; a Aniela Bernal por todo su cariño, por el apoyo, consejos, honestidad y comprensión que me ha brindado desde que la conocí. A Alex Juárez, Zuleima Barrientos y David Ramírez. ¡Los quiero mucho!

A toda mi familia, amigos y a aquellas personas que han llegado a mi vida. Gracias por su apoyo, por tanta felicidad, conocimiento, amor por la ciencia, y la vida misma. Sin ustedes no sería la persona que hoy soy, gracias.

Índice

Resumen	
Introducción	10
Marco teórico.....	15
Antecedentes	20
Justificación	22
Hipótesis	22
Objetivos.....	23
Área de estudio	24
Método	28
Resultados.....	33
Descripción de las especies	33
Proporción de las especies del género <i>Pseudo- nitzschia</i>	37
Densidades de <i>Pseudo- nitzschia</i>	39
Análisis estadístico	41
Variables ambientales	45
Discusión	50
Densidades.....	50
Variables ambientales	52
Conclusiones.....	55
Referencias.....	57
Anexo. Fotografía de los organismos	62

Índice de figuras

1. Morfología de especies del género <i>Pseudo-nitzschia</i> presentes en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano con microscopía electrónica.....	14
2. Representación simplificada de las diatomeas	16
3. Dibujo esquemático de los caracteres morfológicos del género <i>Pseudo-nitzschia</i>	18
4. Área de estudio: PNSAV	24
5. Polígono del área Natural Protegida PNSAV con las estaciones de muestreo.	27
6. <i>Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima</i>	34
7. <i>Pseudo-nitzschia subcurvata</i>	34
8. <i>Pseudo-nitzschia</i> sp1	35
9. <i>Pseudo-nitzschia</i> sp2.....	35
10. <i>Pseudo-nitzschia</i> sp3.....	36

Índice de gráficas

1. Proporción anual de <i>Pseudo- nitzschia</i> dentro del fitoplancton.....	37
2. Proporción anual en mar	38
3. Proporción anual en arrecife	38
4. Proporción anual en playa.....	38
5. Densidad del género <i>Pseudo- nitzschia</i> durante un ciclo anual en la estación de playa dentro del PNSAV	39
6. Densidad del género <i>Pseudo- nitzschia</i> durante un ciclo anual en la estación de mar dentro del PNSAV	39
7. Densidad del género <i>Pseudo- nitzschia</i> durante un ciclo anual en la estación de arrecife dentro del PNSAV	40
8. Gráfico múltiple de caja y bigotes para densidad por mes	41
9. Gráfico múltiple de caja y bigotes para densidad por zona	43
10. Parámetros hidrológicos en un periodo anual en la estación de arrecife dentro del PNSAV	46
11. Parámetros hidrológicos en un periodo anual en la estación de mar dentro del PNSAV	47
12. Parámetros hidrológicos en un periodo anual en la estación de playa dentro del PNSAV	47
13. Parámetros hidrológicos en un periodo anual en la estación de arrecife dentro del PNSAV	48
14. Parámetros hidrológicos en un periodo anual en la estación de mar dentro del PNSAV	48
15. Parámetros hidrológicos en un periodo anual en la estación de playa dentro del PNSAV	49

Resumen

El género *Pseudo-nitzschia* es reconocido por su capacidad de formar florecimientos algales nocivos (FAN) y porque algunas especies pertenecientes al género producen ácido domoico (AD), una neurotoxina que provoca Intoxicación Amnésica por Moluscos (AIM) en el humano, así como efectos perjudiciales en el ambiente marino. El presente trabajo se efectuó en un periodo anual (mayo 2017 a febrero 2018), realizando muestreos de bimensuales en tres estaciones del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) con el fin de evaluar y comparar la abundancia *Pseudo-nitzschia*, ya que la zona de estudio se encuentra ante un riesgo de presentar un FAN debido a las descargas de agua de los ríos que se encuentran alrededor de la zona, así como de las diferentes actividades humanas que se realizan, como el turismo, dentro del PNSAV. Los hechos mencionados anteriormente tienen un impacto importante debido a que contribuyen a que el cuerpo de agua se enriquezca con nutrientes, como el nitrógeno, lo que genera que la abundancia celular del género *Pseudo-nitzschia* tenga un incremento. Los muestreos se realizaron con una red de fitoplancton de cono reducido con una abertura de malla de 80 μ m mediante arrastres superficiales, 0.3 m de profundidad, en una lancha a una velocidad de 1m/seg. Durante los muestreos se tomaron parámetros hidrológicos como temperatura, salinidad, oxígeno disuelto y pH.

Se reconocieron cinco especies, de las cuales dos fueron identificadas taxonómicamente: *Pseudo-nitzschia subcurvata* y *P. pseudodelicatissima*. La mayor densidad del género se presentó en la zona de playa, en el mes de septiembre del 2017, con 263 org/L. A pesar de que la zona de playa mostró valores de densidad altos en comparación con las estaciones restantes las pruebas estadísticas indicaron que no existen diferencias significativas respecto a las densidades del género entre las zonas. Las densidades entre meses tampoco mostraron diferencias significativas.

Introducción

Actualmente muchos cuerpos de agua están en riesgo de experimentar eutrofización antrópica debido a que el crecimiento demográfico, dentro de los 100km de la zona costera, ha incrementado en los últimos años (Poot, 2016). La eutrofización es un proceso natural que se da cuando un ecosistema ha evolucionado, este proceso ocurre en periodos de tiempo muy elevados (escala geológica). Sin embargo, puede acelerarse en cuestión de años ocasionando un impacto negativo. El aceleramiento de este proceso, es ocasionado principalmente por los efluentes urbanos nada o parcialmente tratados, que contienen una carga significativa de nutrientes y materia orgánica. Otras actividades que contribuyen a la eutrofización antrópica u originada por el hombre son actividades como la minería y el turismo (Rosas *et al.*, 2004) Estas actividades, como ya se mencionó, tienden a enriquecer el sistema acuático con nutrientes (fósforo y nitrógeno) y micronutrientes (metales traza) ocasionando la eutrofización, así como cambios en la abundancia celular, efectos antiestéticos, como turbidez y color, cambio de las especies presentes así como un descenso de la diversidad del ecosistema (Poot, 2016; Villaseñor, 1998).

El aumento de los nutrientes en el medio, especialmente del nitrógeno favorece la proliferación de una serie de algas microscópicas (Duarte, 2012) algunas de las cuales pueden ser tóxicas y que pueden causar un fenómeno conocido como florecimientos algales nocivos (FAN), que producen repuestas como hipoxia y anoxia (Glibert *et al.*, 2005) provocando la intoxicación y/o muerte de diversos

organismos, cambios en la columna de agua y pérdida de recursos (Poot *et al.*, 2015).

Un FAN, es un fenómeno natural que es producido por un aumento de organismos planctónicos, fotosintéticos o heterótrofos capaces de afectar a otros organismos (Poot, 2016). La manifestación de los florecimientos algales nocivos ocurre por cambios en los factores ambientales, naturales o artificiales, como el aumento de la temperatura, vientos, luz solar, aumento de nutrientes y el ingreso de algas alóctonas. Es importante mencionar que no todos los organismos asociados a florecimientos algales nocivos confieren un cambio de color al agua. Los FAN pueden presentar tonos rojizos o marrones, verdes e incluso no presentar coloración alguna, es por lo anterior que el término “marea roja” está siendo reemplazado por el de “florecimiento de algas” (Álvarez, 2009). Aunque el cuerpo de agua no presente cambios en su coloración, las microalgas potencialmente tóxicas pueden desarrollarse y a pesar de presentar concentraciones bajas, son dañinas debido a que las toxinas producidas por algunos microorganismos pueden ser bioacumuladas y biomagnificadas a lo largo de la cadena trófica (Poot, 2016).

Los microorganismos que pueblan todas las aguas del planeta y que son el inicio de la cadena alimentaria se conocen como plancton. El plancton se define como el conjunto de organismos, ya sea animal (zooplancton) o vegetal (fitoplancton), que habitan en una columna de agua y que su capacidad de desplazamiento es limitada, por lo cual su movimiento depende de las corrientes marinas (Rosas *et al.*, 2004 & Escribano, 2004). Las diatomeas son uno de los grupos principales del fitoplancton, poseen una variedad bastante amplia de especies con diversas formas y tamaño,

son organismos eucariontes, unicelulares cuyo tamaño puede variar entre más o menos 10 y 200 μm . La característica principal de las diatomeas radica en que sus células poseen una cubierta de sílicea, la cual es resistente a la degradación (Escribano, 2004). Se estima que su actividad fotosintética contribuye al 45% de la producción primaria del océano y es un pilar fundamental en la cadena trófica, así como en la producción de oxígeno atmosférico (Rosas *et al.*, 2004). Sin embargo, no todas las especies de diatomeas tienen efectos benéficos en el ecosistema en el que se desarrollan, tal es el caso de los géneros *Thalassiosira*, *Chaetoceros* y *Pseudo-nitzschia* (López- Cortés *et al.*, 2015) que en conjunto con algunas especies de dinoflagelados son los causantes de la mayoría de los florecimientos algales nocivos en el Golfo de México (Gárate- Lizárraga *et al.*, 2013). La frecuencia de aparición de FAN en el Golfo de México ha incrementado de manera notoria en los últimos años. Los primeros registros de florecimientos algales en costas mexicanas corresponden al estado de Veracruz (Barón- Campis *et al.*, 2005).

El género *Pseudo- nitzschia* pertenece a la división *Bacillariophyta*, se caracteriza por estar limitado a ambientes marinos y tener una distribución bastante amplia a nivel mundial. Las especies de este género, forman colonias en cadena las cuales presentan una superposición en las células, la frústula suele ser lineal o lanceolada. Las células individuales o coloniales pueden moverse, deslizándose en dirección longitudinal (López- Cortés *et al.*, 2015; Parsons *et al.*, 2012). Se ha reportado que especies de *Pseudo- nitzschia* son causantes de intoxicación amnésica por moluscos (IAM), debido a que son productoras de ácido domoico (AD), el cual es una neurotoxina que actúa sobre el sistema nervioso central del ser humano,

produciendo la destrucción de la célula neuronal, una intoxicación severa por el consumo de AD puede llegar a provocar la muerte tanto en humanos como en la fauna marina, mientras que en casos menos severos se presentan síntomas como: vómito, dificultad para respirar, pérdida permanente de la memoria y pérdida del equilibrio (Ahuja, 2015; Delaney, 2010). Cabe mencionar que la mayoría de las especies de *Pseudo-nitzschia* presentan clones tóxicos y no tóxicos y que la producción de AD varía entre clones conoespecíficos de diferentes regiones geográficas y aún dentro de la misma área geográfica (Sar, 2006).

Existen diversos estudios relacionadas con el potencial tóxico del género *Pseudo-nitzschia*. En el año de 1987 se registró el primer caso de envenenamiento por ácido domoico en la Isla Príncipe Eduardo, Canadá. En los últimos años se han reportado afectaciones por la presencia del género a lo largo del Pacífico Mexicano y el Golfo de México, hasta ahora han sido reconocidos 14 taxones a nivel mundial del género *Pseudo-nitzschia* como productoras de AD: *P. brasiliiana*, *P. komadea*, *P. australis*, *P. cuspidata*, *P. callantha*, *P. delicatissima*, *P. fraudulenta*, *P. galaxiae*, *P. multiseriata*, *P. multistriata*, *P. pseudodelicatissima*, *P. pungens*, *P. seriata* y *P. turgidula* (Ahuja, 2015; Sar, 2006).

Para la identificación del género, los rasgos útiles son: valvas fusiformes y alargadas, cadenas de células traslapadas, valvas con estrías e hileras de poroides. Las características que definen a las especies son: longitud y amplitud de la valva, longitud del traslape de las células, forma de las puntas valvares y presencia del interespacio central. Algunos de los rasgos anteriormente mencionados se pueden apreciar con mayor detalle mediante microscopía electrónica de transmisión (MET).

Ver Fig.1. (Ahuja, 2015). La identificación de las especies es difícil debido a que se necesita analizar la estructura del himen de los poroides, en específico el número de sectores y su patrón de distribución. De manera reciente, se han utilizado técnicas moleculares para identificar especies difíciles de diferenciar mediante sus características morfológicas.

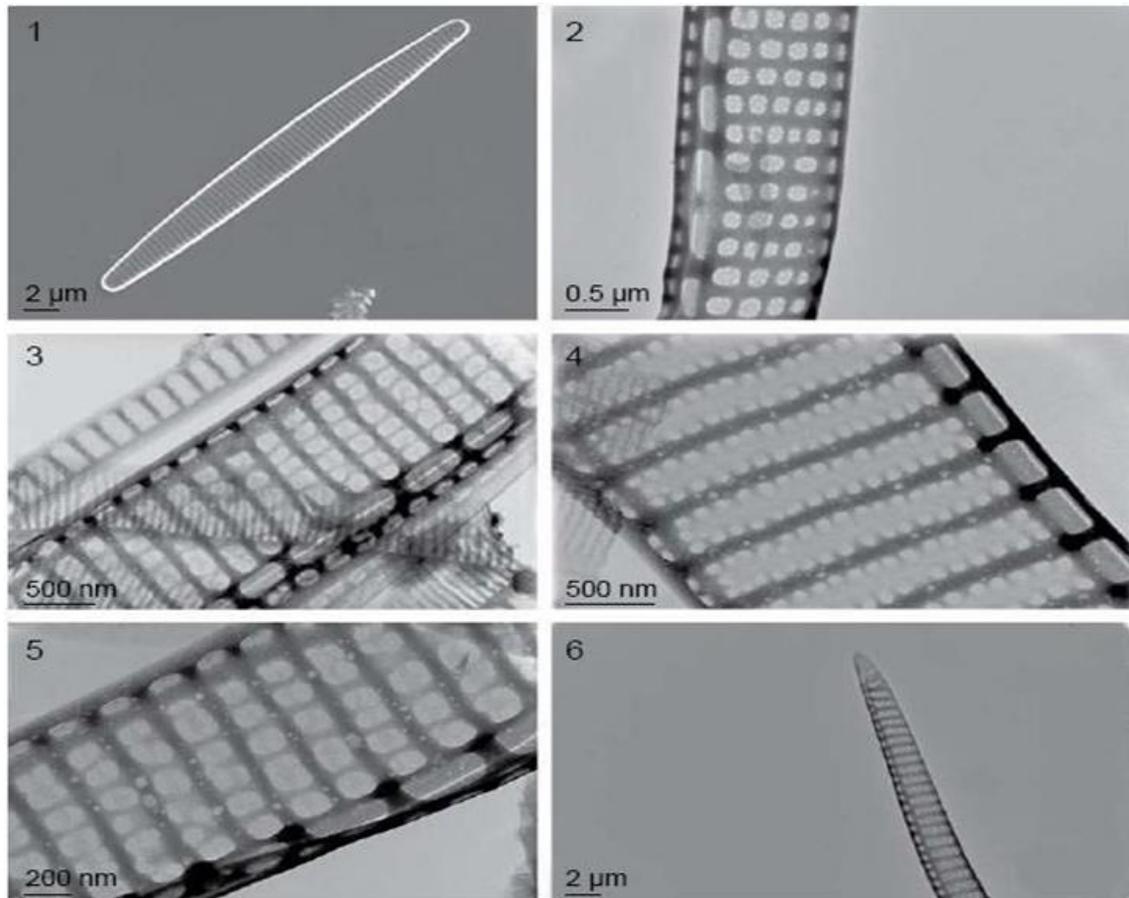


Fig. 1. Morfología de especies del género *Pseudo-nitzschia* presentes en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano con microscopía electrónica: 1- *P. brasiliiana*, 2- *P. calliantha*, 3- *P. cuspidata*, 4- *P. delicatissima*, 5- *P. pseudodelicatissima*, 6- *P. pungens*. Tomado de Parsons et al. (2012).

Marco Teórico

Diatomeas

Las diatomeas son organismos eucariontes, unicelulares y es uno de los grupos más importantes dentro del fitoplancton, ya que constituyen gran parte de la productividad primaria. Poseen una amplia variedad de formas y tamaños. Algunas de ellas pueden presentarse de manera individual, o bien, pueden formar colonias, su tamaño va de los 10 μm - 200 μm . La principal característica de este grupo es su frústula poseen una cubierta silíceo, la cual es resistente a la degradación. La frústula está conformada por dos mitades llamadas thecas. La pieza principal de cada theca es denominada valva y al conjunto de las bandas que unen a las dos valvas que forman la frústula se le llama cíngulo. La frústula presenta diferencia de tamaño en sus thecas, por lo que se distingue entre epitheca (la más grande) e hypotheca (la más chica), en la figura 2 se puede apreciar una representación de la estructura de las diatomeas (Escribano, 2004; Battarbee *et al.*, 2001).

Las diferentes ornamentaciones que presentan las valvas permite distinguir a las diferentes especies, e inclusive variedades, dentro del grupo (Battarbee *et al.*, 2001).

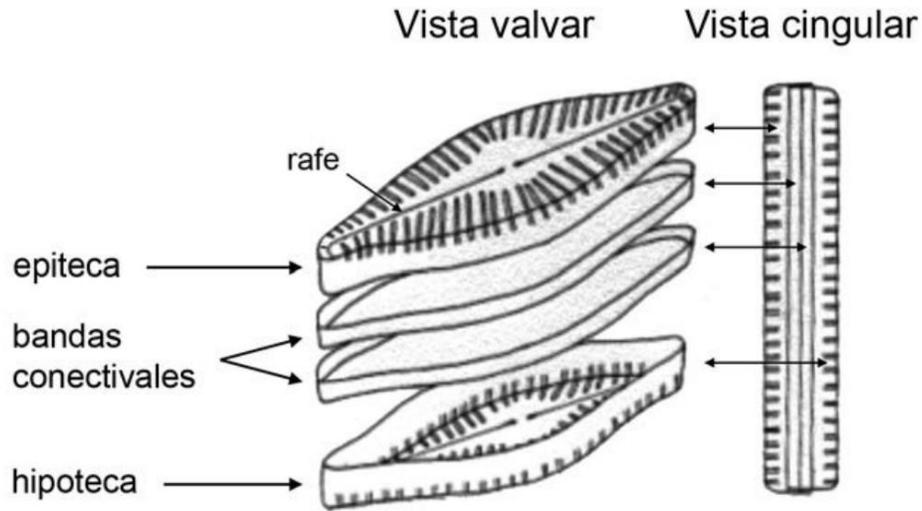


Fig. 2. Representación simplificada de la estructura de las diatomeas. Tomado de García *et al.* (2012).

Se dividen en dos grupos por su morfología: las formas céntricas con valvas simétricas de manera radial (Clase *Coscinodiscophyceae*) y las formas pennadas con valvas simétricas de manera bilateral (Clase *Fragilariophyceae* y clase *Bacillariophyceae*) (Lozano, 2010; Battarbee, 2001).

Las diatomeas se han empleado como bioindicadores de contaminación, pH, salinidad, silicatos, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, etc. debido a que responden de manera rápida a cambios físicos, químicos y biológicos (López & Siqueiros, 2011). Existen especies tóxicas que causan la mortalidad de peces y otros organismos (García *et al.*, 2012).

Pseudo-nitzschia

El género *Pseudo-nitzschia*, está representado por diatomeas pennadas, con una amplia distribución global, de hábitos planctónicos marinos, su distribución va de los trópicos hasta las regiones polares (Hasle, 2002). Las características morfológicas más representativas de este género son: células alargadas, fusiformes; formación de colonias con una superposición de los extremos de las células; localización del rafe en la superficie valvar (Ferrario *et al.*, 2002) algunas de estas características se pueden apreciar en la Figura 3. Las especies de este género se caracterizan por producir florecimientos algales nocivos y provocar intoxicaciones al ser humano, daño a la fauna marina, así como pérdidas económicas en la zona afectada por un FAN (Maciel, 2014).

El agente causante de las intoxicaciones es el ácido domoico (AD), toxina de tipo aminoácido no proteico ((3S, 4S)-3-carboximetil-4-[81Z, 3R, 5R9-85-carboxi-1-metilhexa-1,3-dien-1-il]-L-prolina), que presenta 8 isómeros, los cuales son análogos estructurales del ácido glutámico. El AD actúa en el sistema nervioso central por lo que los síntomas característicos de una intoxicación son: calambres abdominales, vómito, desorientación, pérdida de memoria, ataques e incluso la muerte. La afectación causada por en AD, recibe el nombre de Intoxicación Amnésica por Mariscos (AIM) (Álvarez, 2009).

Hasta el día de hoy sólo se han identificado tres géneros capaces de producir la ácido domoico: *Pseudo-nitzschia* (14 especies), *Amphora* (1 especie) y *Nitzschia* (1 especie). El género de mayor relevancia y peligrosidad, así como su distribución cosmopolita es *Pseudo-nitzschia* (González, 2014).

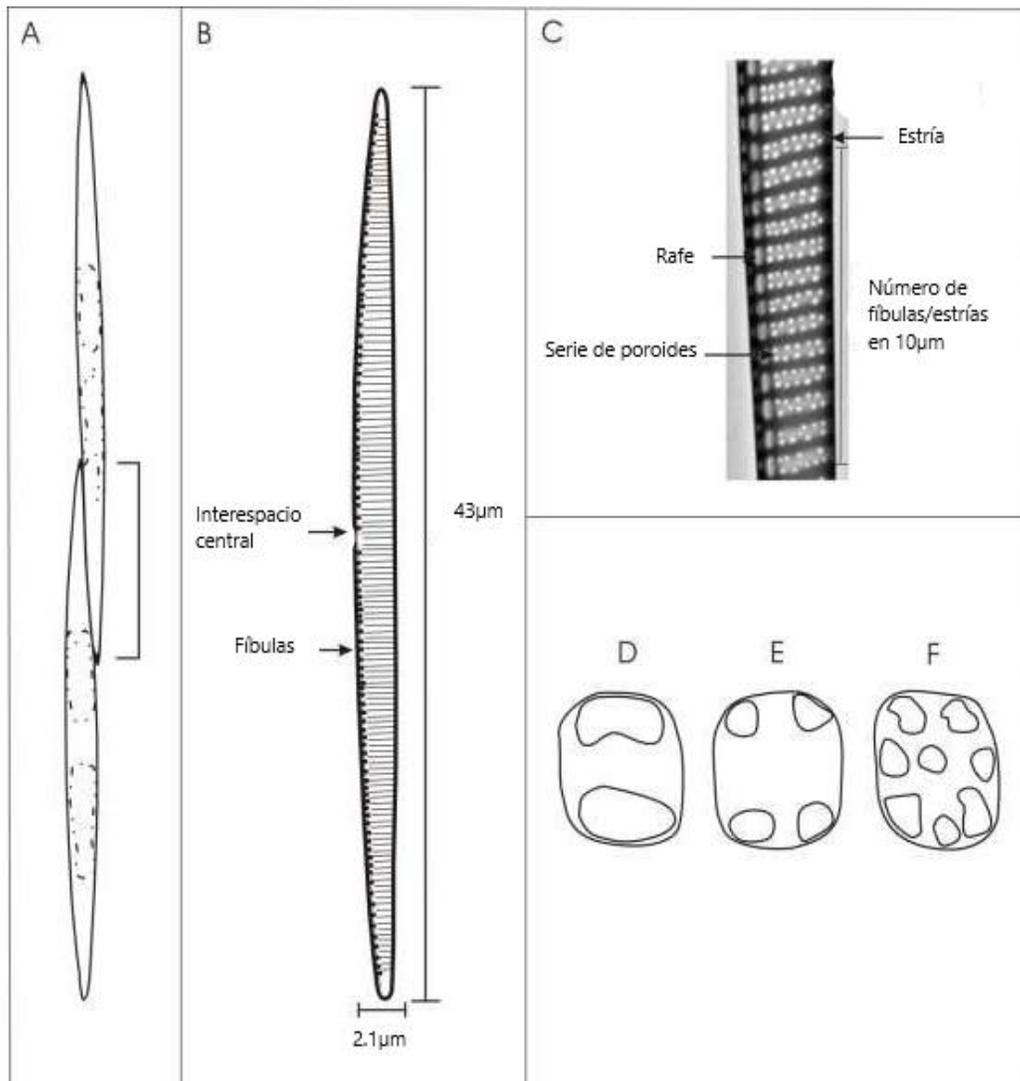


Fig. 3. Dibujo esquemático de los caracteres morfológicos del género *Pseudo-nitzschia*: (A) Colonia en vista cingular, se muestra la superposición de las células, (B) Vista valvar, (C) Fragmento de la vista valvar, (D - F) Estructura del himen poroide, [D: himen con dos sectores E: himen con cuatro sectores; F: himen con ocho sectores]. Tomado y modificado de Chang Lim (2011).

Abundancia

Abundancia: número (absoluto) de individuos de la población.

→ Cantidad de individuos de la misma especie en un lugar y un tiempo determinados.

Abundancia relativa: permite comparar dos o más situaciones.

→ Número de individuos de una especie en relación al número total de individuos de todas las especies.

Densidad: número de individuos / unidad de espacio (superficie o volumen)

(Morlans, 2004)

Antecedentes

Fernández y colaboradores reportaron en el 2002 que las toxinas producidas por el fitoplancton pueden ser biomagnificadas y bioacumuladas por diversos organismos acuáticos a lo largo de la cadena trófica.

Según Herrera *et al.* (2008) mencionan que las toxinas producidas por organismos formadores de florecimientos algales nocivos (FAN) son inodoras, incoloras, termoestables y estables bajo condiciones ácidas, generalmente se acumulan en los tejidos de peces y moluscos, haciendo que el consumo de organismos filtradores de plancton, como los moluscos sea peligroso.

Los primeros registros relacionados con florecimientos algales nocivos (FAN) en costas mexicanas corresponden al estado de Veracruz. En las costas de este estado desde 1853 hasta 1871 se registraron muertes masivas de peces, después de esta época no existen registros. A mediados del siglo XX volvieron a registrarse muertes de organismos relacionadas con la presencia de FAN, después se tuvo nuevamente un registro en el año de 1995, ya que comenzaron a presentarse con frecuencia los FAN en esta región litoral. Por los impactos de estos eventos sobre el ambiente marino, las pesquerías, la economía local y la salud humana, la institución estatal de Salud estableció un programa de monitoreo (Barón-Campis *et al.*, 2005).

En un estudio realizado en 2015 por Poot- Delgado en el muelle la Puntilla, laguna de Términos ubicada en el sureste del Golfo de México se observó que el género *Pseudo-nitzschia* presentó una abundancia máxima 6.3×10^5 cél L⁻¹ en temporada de nortes.

En el año 2006 dentro del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano se identificaron siete especies de *Pseudo-nitzschia*: las no tóxicas, *P. cf. subcurvata* y *P. brasiliensis*, y las potencialmente venenosas, causantes de la intoxicación amnésica por consumo de mariscos (ASP) debido al ácido domoico, el cual es una neurotoxina que afecta al sistema nervioso central: *P. calliantha*, *P. cuspidata*, *P. delicatissima*, *P. pseudodelicatissima* y *P. pungens*. (Parsons et al., 2012).

Otros autores como Ramírez (2017) y Ortiz (2016) han reportado que *Pseudo-nitzschia* es de los géneros más representativos durante los muestreos dentro del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, a pesar de ser un género dominante, su abundancia no fue tan alta para ser considerado un florecimiento alga nocivo . Ambos autores identificaron dos especies: *Pseudo-nitzschia multiseries* y *P. delicatissima*. Góngora (2014) en la misma área de estudio detectó la presencia de *P. delicatissima*, pero no reconoce al género como dominante.

Avendaño (2013) reporto un FAN dentro del PNSAV ocasionado por *Pseudo-nitzschia* en agosto del 2011. La densidad del género fue de 765 745 cél/L, equivalente al 91% de la comunidad fitoplanctónica.

Justificación

Debido a que el género *Pseudo-nitzschia* está ligado a florecimientos algales nocivos (FAN) es importante conocer su abundancia en las tres estaciones de muestreo: playa, mar y arrecife dentro del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, ya que organismos como moluscos, aves, mamíferos y el ser humano pueden verse afectados por la producción de toxinas como el ácido domoico (AD) y la calidad del agua se ve alterada, provocando una coloración diferente sobre la superficie del mar.

Hipótesis

Los florecimientos algales nocivos son producto de la abundancia celular elevada de algunos géneros de fitoplancton, entre ellos *Pseudo-nitzschia*, debido al enriquecimiento de nutrientes en el cuerpo de agua. El PNSAV se encuentra bajo la influencia de diversos factores que potencializan la formación de un FAN, por lo que se espera que la abundancia de este género en la zona de playa sea elevada en comparación con la zona de mar y arrecife debido a que el sitio de playa se encuentra en contacto con desembocadura de ríos y actividades antropogénicas ocasionando cambios en los factores ambientales.

Objetivos

Objetivo general.

Determinar la abundancia del género *Pseudo-nitzschia* en las estaciones de playa, mar y arrecife dentro del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV).

Objetivos particulares.

- Identificar las especies del género *Pseudo-nitzschia* presentes en las zonas de estudio
- Comparar y analizar la abundancia del género *Pseudo-nitzschia*
- Comparar y analizar los parámetros hidrológicos y ambientales de las tres estaciones de muestreo

Área de estudio

El Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV), se ubica frente a las costas de los municipios de Veracruz, Boca del Río y Alvarado. Geográficamente, está localizado entre los 19° 00' 00" y 19° 16' 00" latitud Norte y los 95° 45' 00" y 96° 12' 00" Latitud Oeste y posee una extensión de 52, 238 ha. Ver fig. 4. (Ramírez, 2017).

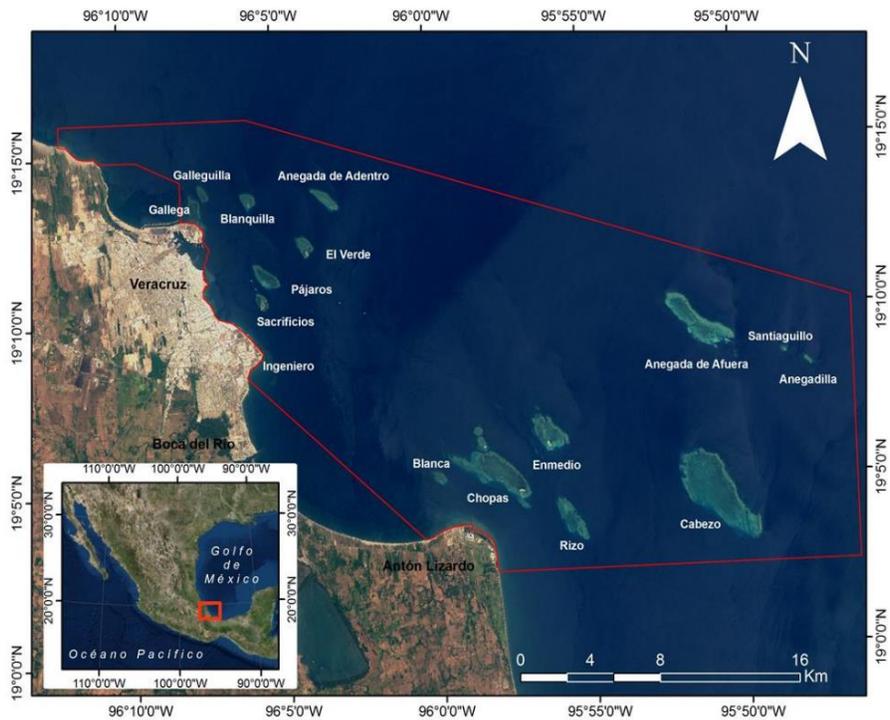


Fig. 4. Área de estudio: Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Tomado de Aguilera *et al.*, 2015)

Fue decretado como Parque Marino Nacional el 24 de agosto de 1992 y como Parque Nacional el 7 de junio de 1994 (Ramírez, 2017). Está conformado por 23 arrecifes y 5 islas, de los cuales 11 se localizan frente a Antón Lizardo y el resto enfrente del Puerto de Veracruz. Enlaza al noroeste con el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, situado enfrente de la Laguna de Tamiahua y de la costa de Tuxpan y al este con el Sistema Arrecifal de Campeche y Yucatán (CONANP, 2011).

Cerca del Sistema Arrecifal Veracruzano están localizados el río La Antigua al norte, el río Jamapa en el centro de todo el sistema y el río Papaloapan al sur. El río Jamapa es una fuente de sedimentos al sistema, que junto con un par de giros ciclónicos y anticiclónicos inhiben la formación de arrecifes coralinos en dicha zona (Ramírez, 2017).

El clima es Cálido subhúmedo, con lluvias en verano. El promedio anual de la temperatura es de 37°C, con un mínimo de 18°C en enero-febrero. El promedio anual de precipitación es de 1400 mm (CONANP, 2011).

Debido a su localización, las características climatológicas dentro del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano son influenciadas por factores de temporalidad, que son nortes, lluvias y secas (Zavala- Hidalgo *et al.*, 2003).

La estacionalidad de las temporadas es la siguiente: Nortes del mes de octubre a marzo, época de transición nortes- secas en el mes de marzo, secas en el mes de abril y mayo, la época de transición de secas- lluvias en junio, lluvias de junio a septiembre y época de transición lluvias- nortes en el mes de Octubre (Gaona, 2016).

El tipo de vegetación que se encuentra en las islas del PNSAV es la denominada Halófila o de Dunas Costeras, predominando vegetación rastrera, pastos, agavaceas, almendros y casuarinas.

En el arrecife coralino se encuentran más de 33 especies de corales de los grupos denominados blandos y duros, de los cuales destacan Cuerno de alce (*Acropora palmata*), Cuerno de ciervo (*Acropora cervicornis*), coral cerebro (*Diploria sp.*), coral montañoso (*Montastrea cavernosa*) etc; asociados al arrecife coralino existen más de 1400 especies de organismos como la Tortuga caguama (*Caretta caretta*), Tortuga verde (*Chelonia mydas*), Pelicano café (*Pelecanus occidentalis*), Fragata (*Fregata magnificens*), Charrán elegante (*Thalasseus elegans*), Águila pescadora (*Pandion haliaetus*), Delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*), Delfín moteado del atlántico (*Stenella attenuata*), entre otros (CONANP, 2011).

El presente trabajo se realizó en tres estaciones dentro del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano: Arrecife, Mar y Playa. (fig. 5).

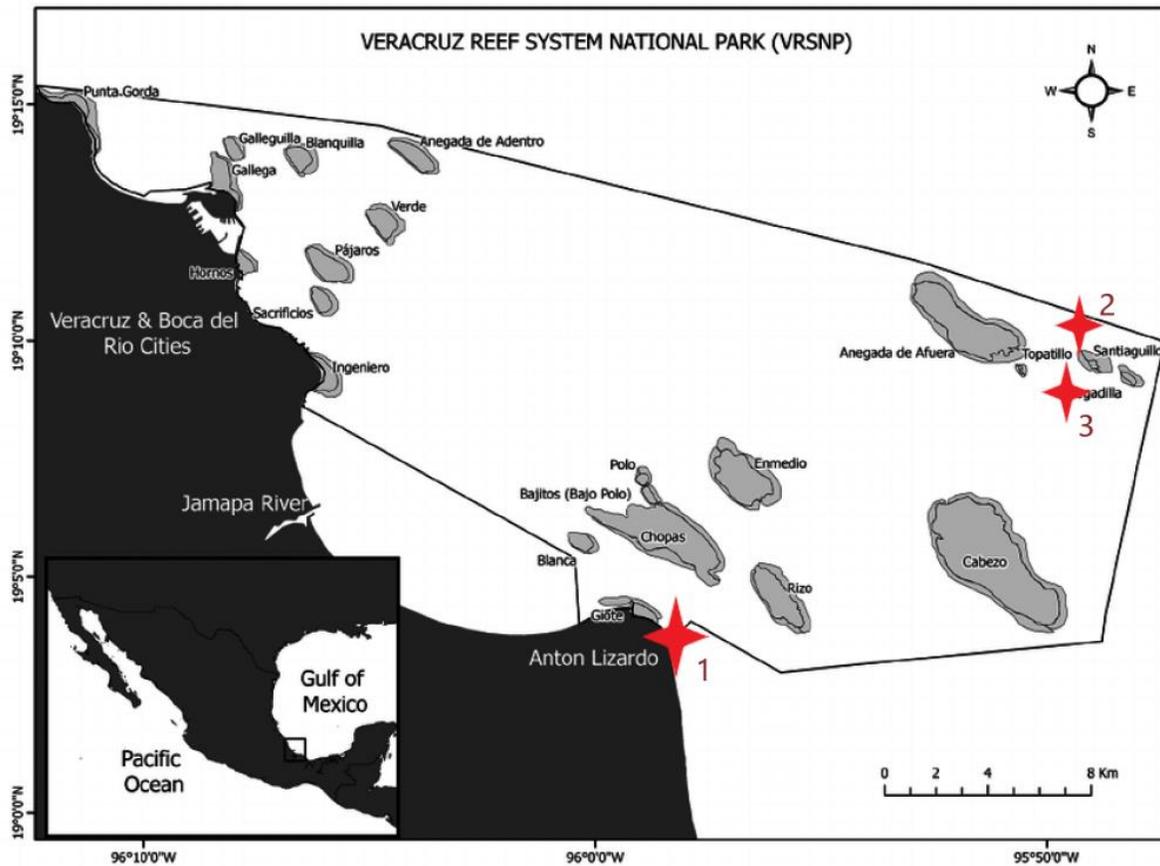


Fig. 5. Polígono del área Natural Protegida Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano con las estaciones de muestreo (Playa “1”, mar “2” y arrecife “3”). Tomado y modificado de Reyna-González *et al.* (2014).

Método

Trabajo de campo

Se realizaron muestreos bimensuales durante un ciclo anual que comprendió los meses de mayo 2017 a Febrero 2018 en tres estaciones dentro del PNSAV (Fig. 5):

- I. Playa de Antón Lizardo ubicado en las coordenadas: $19^{\circ} 37.39' N$ y $75^{\circ} 59.57' O$. Corresponde a una de las dos zonas núcleo que se encuentran dentro del PNSAV. “Santiaguillo” cuenta con una superficie de 712, 064 hectáreas, la profundidad promedio en esta zona núcleo va de 1 m a 10 m. Este arrecife se encuentra en el límite del PNSAV; conformado por una isla de fragmentos de arrecife muerto (Góngora, 2014).
- II. Zona con influencia de mar abierto, cercana al arrecife de Santiaguillo con coordenadas en: $19^{\circ} 8' 31.00'' N$ y $95^{\circ} 48' O 15.02'' O$.
- III. Arrecife Santiaguillo ubicado en las coordenadas: $19^{\circ} 8' 32.92'' N$ y $95^{\circ} 48' 33.78'' O$. La estación se encuentra frente a la población de Antón Lizardo cerca de la Heroica Escuela Naval Militar, es una importante zona turística y de pesca deportiva y comercial. La profundidad del agua alcanza aproximadamente 1.20 m a 20 m de donde rompen las olas; además la masa de agua presenta cantidades significativas de materia orgánica, la cual es producto del acarreamiento del oleaje hacia la costa y el escurrimiento natural del río Jamapa y la Antigua (Gaona, 2016).

Las estaciones de muestreo se georreferenciaron con un GPS Garmin y se registraron las condiciones ambientales tales como nubosidad, intensidad del oleaje, del viento, utilizando la escala de Beaufort (Pampín *et al.*, 2004) y presencia de materia orgánica u organismos presentes de forma inusual en cada uno de los sitios. También se midió la visibilidad al disco de Secchi para evaluar la penetración de la luz en la columna de agua.

Para la toma de muestras se emplearon dos métodos: el primero, utilizando una botella Van Dorn horizontal con una capacidad de 3L a una profundidad de 0.3m.

Con esta muestra se midieron los parámetros hidrológicos como:

- Oxígeno disuelto (Oxímetro, Hanna Instrument HI 9242)
- Salinidad (Salinómetro, TRACER Pocket Tester, La Motte)
- pH (Potenciómetro Thermo Scientist Orion)
- Temperatura ambiental e hídrica con un termómetro de inmersión 0-50°C.

El segundo se efectuó con una red de fitoplancton de cono reducido con una abertura de malla de 80 micras y boca de 12 cm de diámetro a través de un arrastre de duración de un minuto a velocidad mínima (1m/seg). Posterior al arrastre, el agua filtrada se vertió en frascos de plástico transparentes con una capacidad de 40ml. De manera posterior se hará la fijación de las muestras con formol al 4% (Jairo, 2000) para la conservación de los organismos durante su transporte al laboratorio.

Trabajo de laboratorio

Las muestras se dejaron sedimentar durante un periodo de 24 horas. Posteriormente se observó de cada una de las muestras en un microscopio invertido (Olympus IX70) con el objetivo 40x y se tomaron fotografías de los organismos presentes en las muestras.

Para el recuento de organismos se empleó el método de Utermöhl. Utilizando el objetivo de 40x, se eligieron 20 campos al azar y se contabilizaron todos los organismos completos dentro de un campo (Jairo, 2000)

Durante los recuentos se identificó de manera taxonómica y se obtuvieron fotografías de los organismos del género *Pseudo-nitzschia*.

Trabajo de Gabinete

Se procedió a hacer los cálculos para la extrapolación de organismos al total del área de la sedimentación de la cámara para obtener los organismos por 40 ml contenidos en la muestra, después se realizaron los cálculos del agua filtrada provenientes del arrastre de red.

Para calcular el volumen filtrado y extrapolación de los datos, se realizó lo siguiente (Ramírez, 2017):

- Se midió el diámetro de las cámaras de sedimentación (cámaras de Utermöhl) y posteriormente se calculó el área de sedimentación de las cámaras con la fórmula: $A = \pi r^2$
- Se procedió a calcular el número de campos de la cámara de sedimentación (en donde a 40X en 1mm² hay 6.25 campos).
- Se extrapoló el número de organismos contados con el total de campos de las cámaras de sedimentación.
- En las muestras de red se calculó el volumen filtrado durante el arrastre utilizando la fórmula del volumen de un cilindro: $V = \pi r^2 l$.
- Si no se tiene la longitud, pero sí el tiempo y la velocidad de arrastre, se puede utilizar la fórmula: $\text{dist} = \text{long} = \text{velocidad} (\text{tiempo}) = l = vt$
- Por último se calculó el número de organismos en determinado volumen de agua (org/L)

Se elaboraron gráficas de los parámetros hidrológicos y de densidad a través del tiempo, con el uso de Excel 2013.

Se realizó una prueba no paramétrica, la cual corresponde a la prueba de Kruskal-Wallis, esto debido a que los datos no cumplieron con el supuesto de normalidad o prueba de Kolmogorov- Smirnov, ni con el supuesto de homocedasticidad o prueba de Levene (Triola, 2004).

Resultados

Descripción de especies

Se identificaron un total de dos especies del género *Pseudo-nitzschia* de las cinco detectadas dentro del PNSAV, las cuales se describen a continuación, considerando su ubicación taxonómica (Round *et al.*, 1990; Hernández, 2003).

DIVISIÓN: BACILLARIOPHYTA

CLASE: BACILLARIOPHYCEAE

SUBCLASE: BACILLARIOPHYCIDAE

ORDEN: BACILLARIALES

FAMILIA: BACILLARIACEAE

GÉNERO: *Pseudo-nitzschia*

ESPECIE: *P. pseudodelicatissima* (Hasle) Hasle

ESPECIE: *P. subcurvata* (Hasle) G.A.Fryxell

ESPECIE: *Pseudo-nitzschia* sp 1

ESPECIE: *Pseudo-nitzschia* sp 2

ESPECIE: *Pseudo-nitzschia* sp 3

Las fotografías de las especies de género *Pseudo-nitzschia* expuestas a continuación se tomaron observando los organismos con el microscopio óptico invertido Olympus IX70 con el objetivo (40x).

I. *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima* (Hasle) Hasle.

Observaciones taxonómicas

Células muy estrechas, lineales, simétricas en relación con el eje apical, las extremidades más o menos agudas, superpuestas 1 / 5-1 / 6 de la longitud de la célula. Ver. Fig. 6.

P. pseudodelicatissima, tiene una distribución global bastante amplia.

Ciertas cepas de esta especie son tóxicas.

(Parsons *et al.*, 2012)



Fig. 6. *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima* (Hasle) Hasle

II. *Pseudo-nitzschia subcurvata* (Hasle) G.A.Fryxell.

Observaciones taxonómicas

Células lanceoladas, curvadas, superpuestas 1/7-1 / 8 de la longitud de la célula. Son solitarias o forman colonias de 3 a 6 células. Ver Fig. 7.

Pseudo-nitzschia subcurvata es abundante en la Antártida, también se ha encontrado en el Ártico, el Pacífico subártico y cerca del este de Australia.

No hay informes sobre su toxicidad

(Parsons *et al.*, 2012)



Fig. 7. *Pseudo-nitzschia subcurvata* (Hasle) G.A.Fryxell

III. *Pseudo-nitzschia* sp 1

Observaciones taxonómicas

Colonias en cadena caracterizadas por células superpuestas. Células individuales y las colonias pueden moverse, deslizándose en la dirección longitudinal. Frústulas lineales o lanceoladas. Ver Fig. 8.

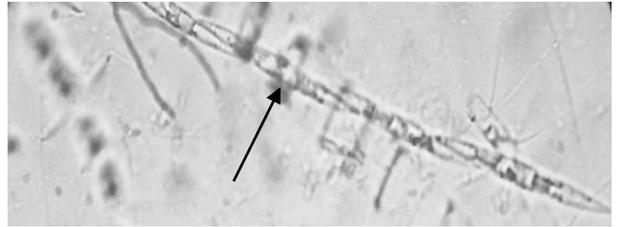


Fig. 8. *Pseudo-nitzschia* sp1

(Parsons *et al.*, 2012)

IV. *Pseudo-nitzschia* sp 2

Observaciones taxonómicas

Colonias en cadena caracterizadas por células superpuestas. Células individuales y las colonias pueden moverse, deslizándose en la dirección longitudinal. Frústulas lineales o lanceoladas. Ver Fig. 9.

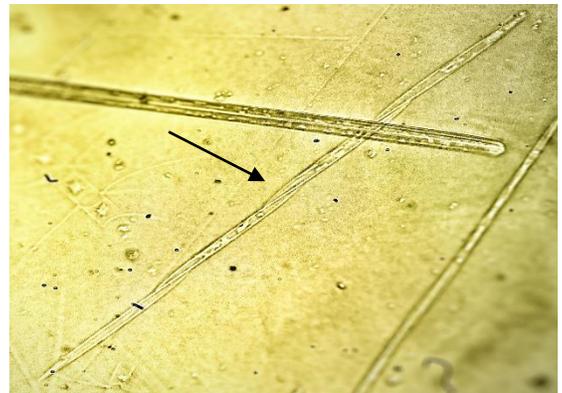


Fig. 9. *Pseudo-nitzschia* sp2

(Parsons *et al.*, 2012)

V. *Pseudo-nitzschia* sp 3

Observaciones taxonómicas

Colonias en cadena caracterizadas por células superpuestas. Células individuales y las colonias pueden moverse, deslizándose en la dirección longitudinal. Frústulas lineales o lanceoladas. Ver Fig. 10.

(Parsons *et al.*, 2012)

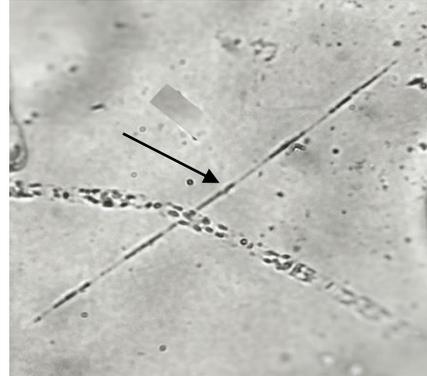
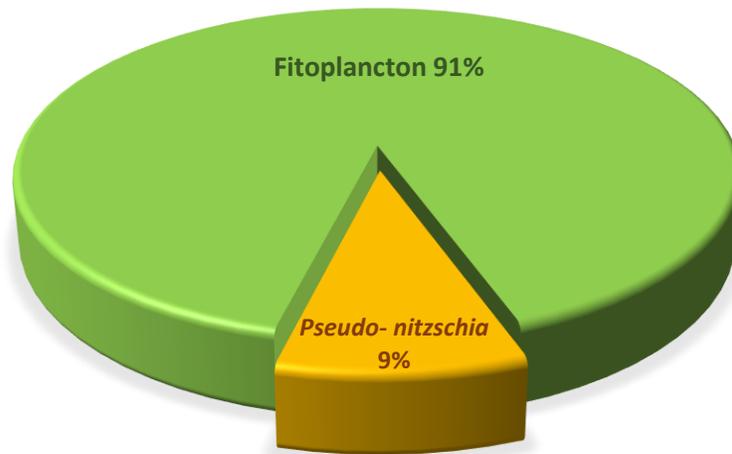


Fig. 10. *Pseudo-nitzschia* sp3

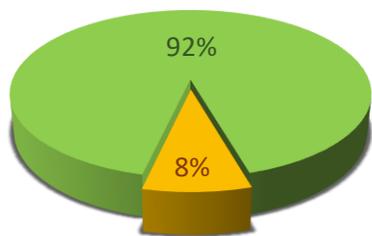
Proporción anual del género *Pseudo-nitzschia*

La proporción anual de *Pseudo-nitzschia* dentro del fitoplancton está representada en la gráfica 1 donde el 9% está representado por el género.



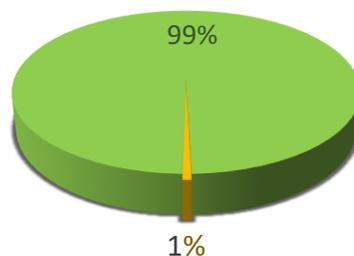
Gráfica. 1. Proporción anual de *Pseudo-nitzschia* dentro del fitoplancton

La proporción anual del género *Pseudo-nitzschia* de cada estación se expone a continuación en las gráficas 2, 3 y 4 en donde se observa la diferencia marcada de la proporción que ocupa el género en la estación de playa, que es mayor a la proporción de la estación de mar y arrecife.



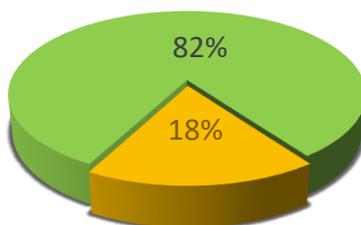
■ Fitoplancton ■ Pseudo-nitzschia

Gráfica. 2. Proporción anual en mar



■ Fitoplancton ■ Pseudo-nitzschia

Gráfica. 3. Proporción anual en arrecife



■ Fitoplancton ■ Pseudo-nitzschia

Gráfica. 4. Proporción anual en playa

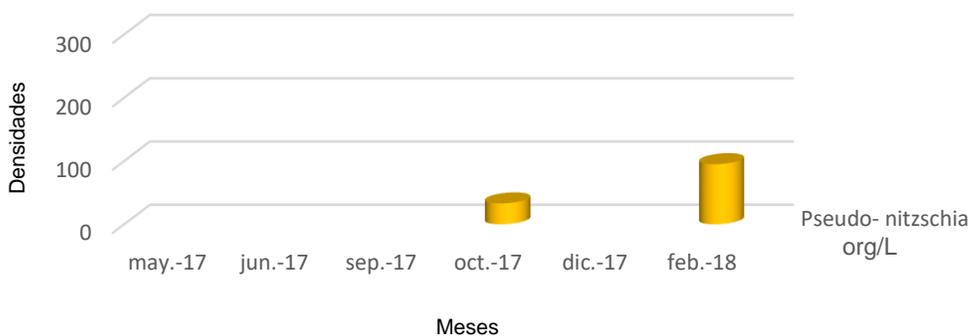
Otros géneros encontrados en el muestreo y que forman parte de la comunidad fitoplanctónica son: *Melosira*, *Guinardia*, *Coscinodiscus*, *Thalassionema*, *Dytilum*, *Rhizosolenia*, *Skeletonema*, *Chaetoceros*, *Bacteriastrum*, *Asterionellopsis*, *Navicula*, *Corethron*, *Eucampia*, *Neocalyptrella*, *Trichodesmium*, *Pinnularia*, *Odonthella* y *Pleurosigma*, algunas de las especies de los géneros mencionados pueden apreciarse en el anexo.

Densidades de *Pseudo-nitzschia*

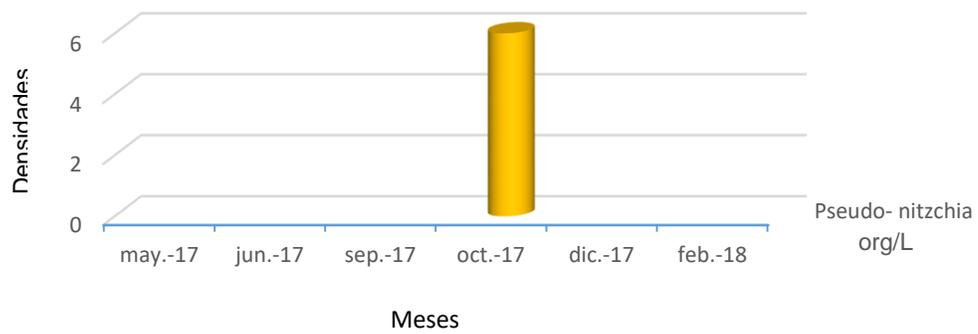
La densidad de cada estación está representada en las gráficas 5, 6 y 7, en ellas se muestran los registros de org/L en un ciclo anual para cada una de las estaciones de muestreo.



Gráfica 5. Densidad del género *Pseudo-nitzschia* durante un ciclo anual en la estación de playa dentro del PNSAV.



Gráfica 6. Densidad del género *Pseudo-nitzschia* durante un ciclo anual en la estación de mar dentro del PNSAV.

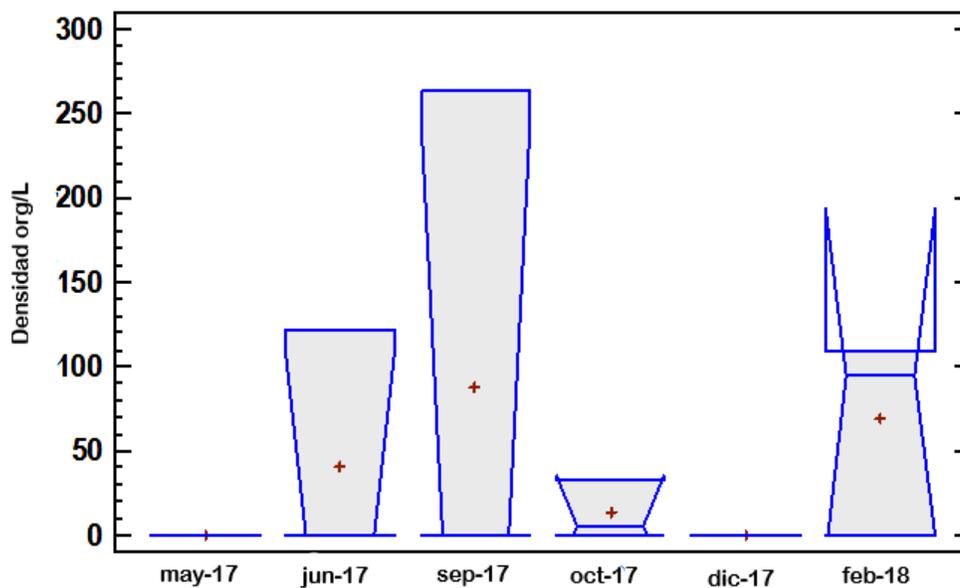


Gráfica 7. Densidad del género *Pseudo-nitzschia* durante un ciclo anual en la estación de arrecife dentro del PNSAV.

Análisis estadístico

Densidad de *Pseudo-nitzschia* por mes

En el análisis exploratorio de cajas múltiples de densidad por mes (Gráfico 8), se observó que las cajas correspondientes al mes de junio, septiembre y febrero el género presentó densidades altas en comparación con otros meses, mientras que para el mes de mayo y diciembre no se formaron las cajas, debido a la ausencia del género en los meses mencionados anteriormente. La caja más pequeña, que es la correspondiente al mes de octubre, tiene ese tamaño debido a que fue el mes con el registro más bajo.



Gráfica 8. Gráfico múltiple de caja y bigotes para densidad por mes

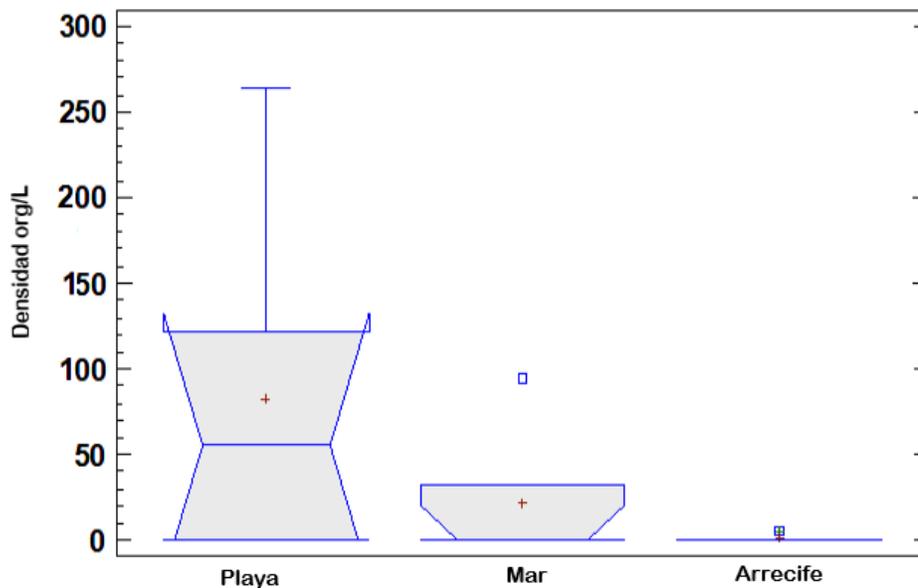
Normalidad "Kolmogorov- Smirnov" valor-P= 0.564495
Homocedasticidad "Levene" valor-P= 0.0006

La prueba de Kolmogorov- Smirnov arrojó un valor-P= 0.564495, por lo que se infiere que hay una distribución normal, pero el valor-P= 0.0006 obtenido de la prueba de Levene, u homocedasticidad es menor que 0.05 entonces se rechaza este supuesto. Considerando que uno de los supuestos no se cumplió, se realizó una prueba no paramétrica.

La prueba empleada fue la de “Kruskal- Wallis” la cual arrojó un valor-P= 0.468184; puesto que el valor-P es mayor que 0.05, no existe una diferencia significativa entre las medianas con un nivel de 95% de confianza.

Densidad de *Pseudo-nitzschia* por sitios

La diferencia entre las tres estaciones de muestreo se aprecia en el gráfico 9, que corresponde al análisis exploratorio de caja y bigotes. En la gráfica se puede apreciar que los datos en cada una de las estaciones de muestreo tienen distinto tamaño y concentración de datos; la caja más pequeña y cuyos datos tienen menor dispersión corresponde a la estación de arrecife. La estación de playa muestra una mayor dispersión de los datos de la densidad siendo mayor para este sitio. La caja correspondiente a la estación de mar también tiene una menor dispersión de datos y presenta un valor extraordinario que corresponde a una alta densidad en el mes de febrero.



Gráfica 9. Gráfico múltiple de caja y bigotes para densidad por zona

Normalidad "Kolmogorov-Smirnov" valor-P= 0.239267
Homocedasticidad "Levene" valor-P= 0.0027

El supuesto de homocedasticidad no se cumplió, ya que el valor-P= 0.0027 arrojado fue menor que 0.05, se realizó una prueba no paramétrica mediante la prueba de Kruskal- Wallis, la cual dio como resultado un valor-P= 0.2668, lo que indica que debido a que el valor-P es mayor que 0.05, no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un nivel de 95% de confianza entre las estaciones de muestreo: playa, mar y arrecife.

Variables ambientales

Los parámetros hidrológicos, registrados durante el estudio, se mantuvieron casi en los mismos rangos en las estaciones de mar y arrecife, mientras que en la estación de playa los parámetros fueron más dinámicos, ya que, esta zona se encuentra en contacto con la desembocadura de ríos.

Algunos de los parámetros de las estaciones de mar y arrecife no están disponibles debido al evento de norte que se presentó en el mes de diciembre 2017 y cuyo efecto en las condiciones ambientales imposibilitó la salida a las zonas mencionadas.

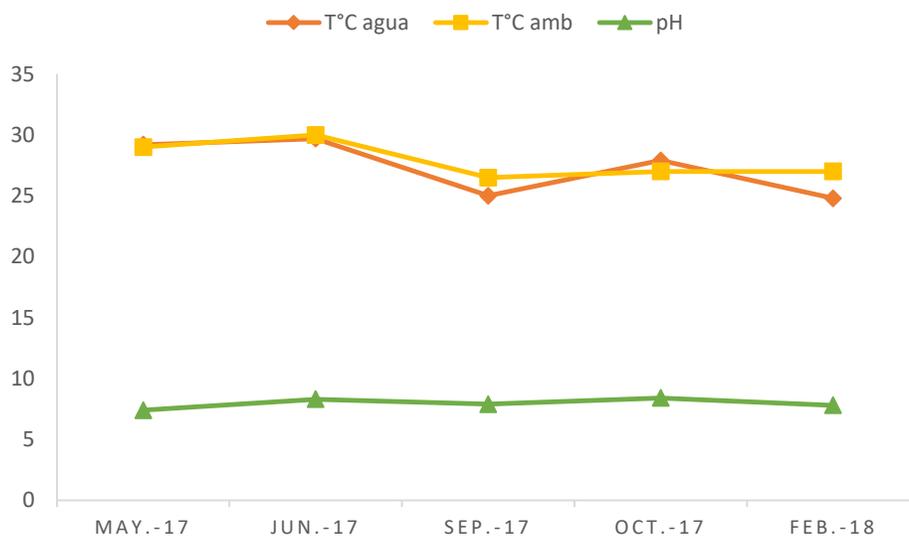
El pH de la zona de playa tuvo un intervalo de 7.3 a 8.5, mientras que en mar fue de 7.5 a 8.4, y en arrecife de 7.4 a 8. Las tres zonas mantuvieron valores estables durante el ciclo anual.

La temperatura del agua en la zona de playa osciló de los 20.6°C a los 30.6°C, en mar fue de 26.6°C a 30.9°C, y en arrecife de los 25°C a los 29.2°C. Este parámetro se mantuvo casi en los mismos rangos en mar y arrecife, mientras que en playa se registró una baja en el mes de diciembre 2017 debido a la entrada de un norte, cabe mencionar que durante este muestreo fue imposible tomar los parámetros en las otras dos estaciones debido a las condiciones climáticas.

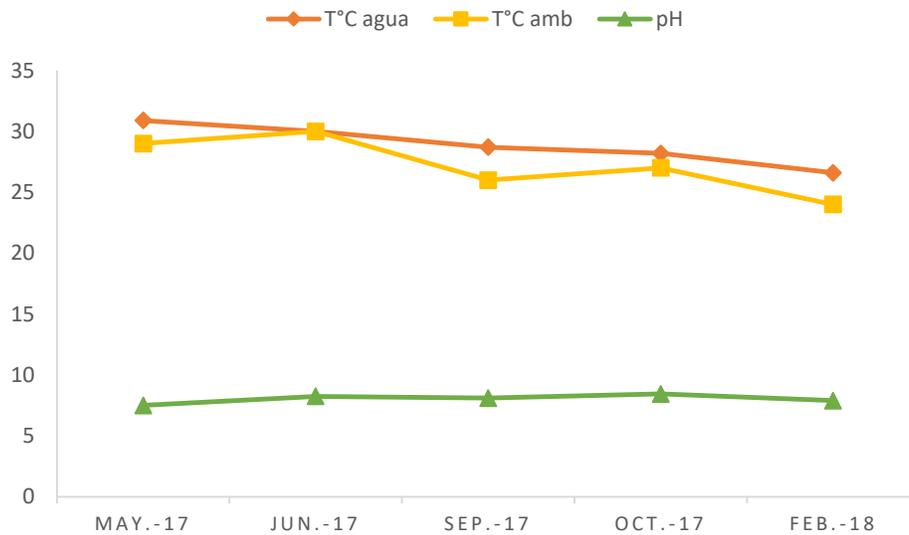
El oxígeno en playa fluctuó de 5.93mg/L a 12.66mg/L, en mar fue de 5.4mg/L a 16.55mg/L, y en arrecife de 5.26mg/L a 16.23mg/L. Todas con un máximo en octubre 2017.

La salinidad de playa se registró en un rango de 25.25ups a 40.6ups, en mar fue de 34.2ups a 40.4ups, y en arrecife de 35ups a 40.85ups.

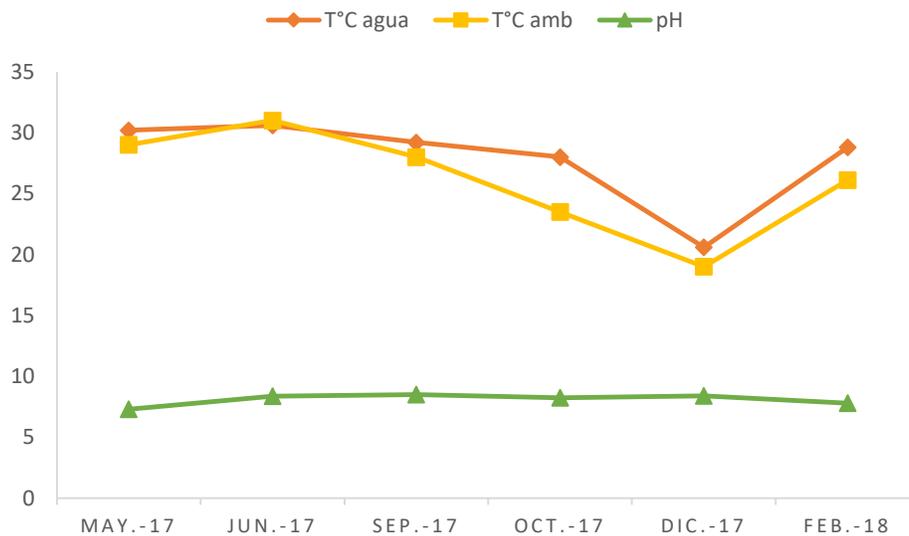
Los parámetros hidrológicos están representados en las gráficas 10-15 para cada una de las estaciones, a lo largo de un ciclo anual.



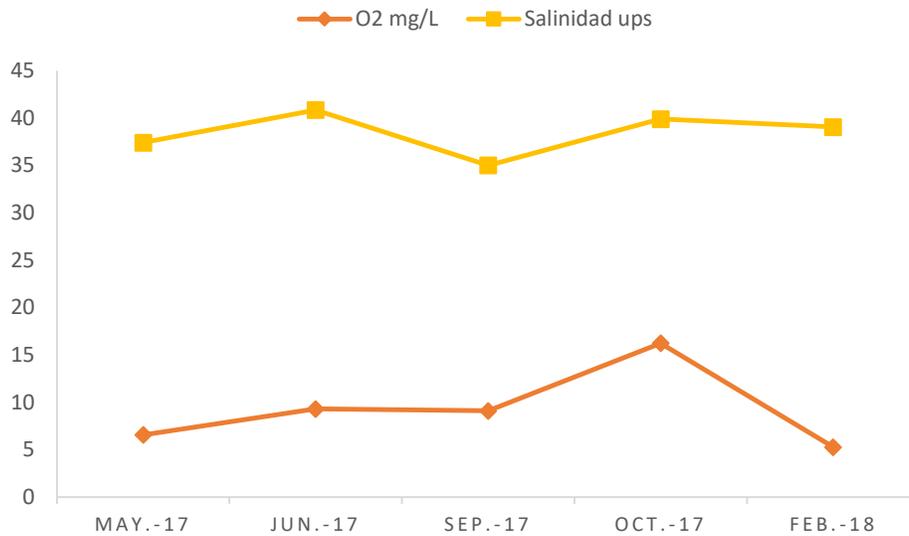
Gráfica 10. Parámetros hidrológicos en un periodo anual en la estación de arrecife dentro del PNSAV. *El mes de diciembre se omite debido a la entrada de un norte en ese mes, lo que imposibilitó la toma de muestras.



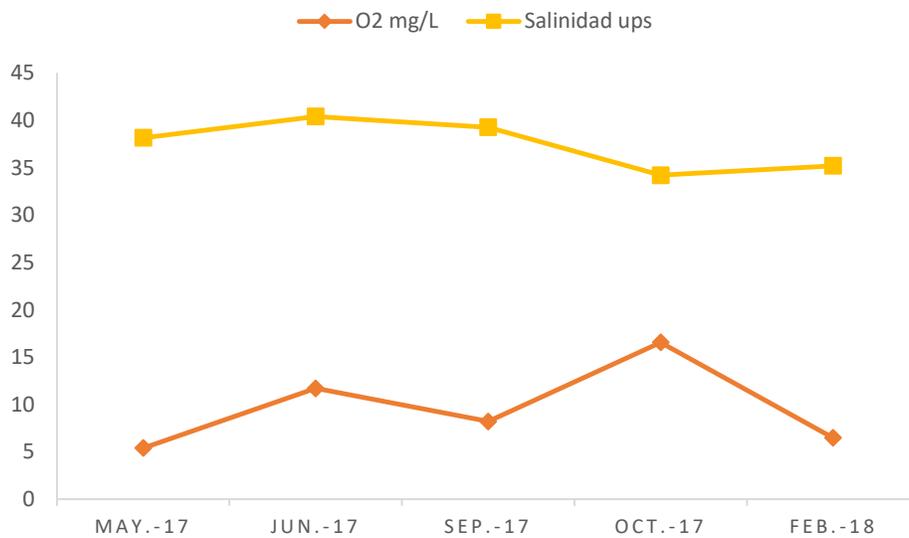
Gráfica 11. Parámetros hidrológicos en un periodo anual en la estación de mar dentro del PNSAV. *El mes de diciembre se omite debido a la entrada de un norte en ese mes, lo que imposibilitó la toma de muestras.



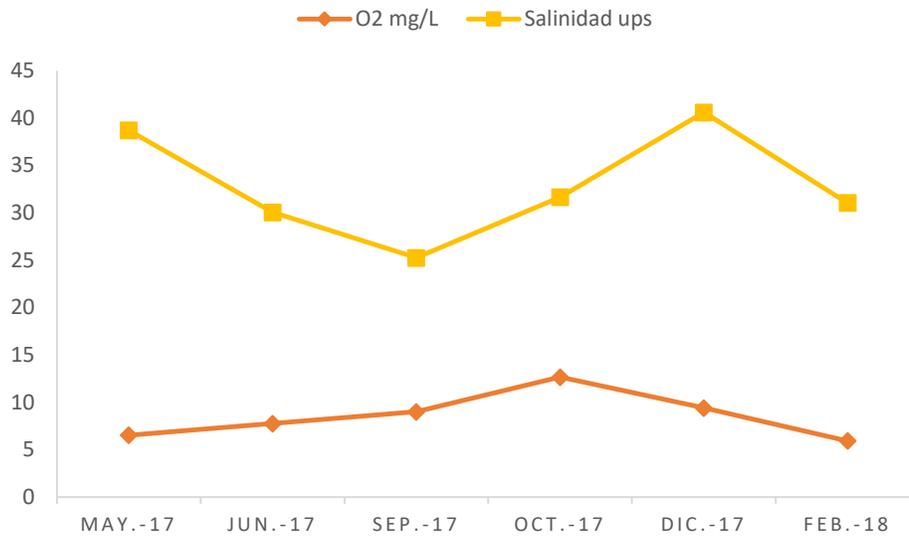
Gráfica 12. Parámetros hidrológicos en un periodo anual en la estación de playa dentro del PNSAV.



Gráfica 13. Parámetros hidrológicos en un periodo anual en la estación de arrecife dentro del PNSAV. *El mes de diciembre se omite debido a la entrada de un norte en ese mes, lo que imposibilitó la toma de muestras.



Gráfica 14. Parámetros hidrológicos en un periodo anual en la estación de mar dentro del PNSAV. *El mes de diciembre se omite debido a la entrada de un norte en ese mes, lo que imposibilitó la toma de muestras.



Gráfica 15. Parámetros hidrológicos en un periodo anual en la estación de playa dentro del PNSAV.

Discusión

Densidades

La densidad del género *Pseudo-nitzschia* dentro del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano varió de manera mensual dentro de las tres estaciones de muestreo. El género mostró una densidad alta en el mes de septiembre 2017 con un total de 263 org/L presentes y en junio 2017 con un total de 122 org/L en la estación de playa, sin embargo no puede considerarse como un florecimiento algal nocivo (FAN) ya que Parsons y colaboradores (2012) indican que un FAN formado por especies del género *Pseudo-nitzschia*, tendría que presentar valores de densidad iguales o mayores a 1.5×10^6 cél/L⁻¹.

Los porcentajes más altos del género *Pseudo-nitzschia* que han sido registrados anteriormente en un estudio realizado por Ortiz (2016) dentro del PNSAV se reportaron en los meses de junio 2014 con una presencia del 46% en playa y en el mes de agosto 2014 con un porcentaje del 40%. También el género fue considerado como abundante dentro del PNSAV por Okolodkov *et al.* (2015). Lo anterior coincide con lo registrado en este trabajo, lo que podría indicar que el género alcanza densidades altas en la época de lluvias, debido a remolinos ciclónicos que llevan agua profunda rica en nutrientes a la superficie, lo que provoca el aumento de especies que se ven beneficiadas por estos (Salas *et al.*, 2009).

Los primeros registros sobre florecimientos algales nocivos (FAN) dentro del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano se registraron en 1972, siendo el dinoflagelado tóxico *Karenia brevis* el organismo causante de este fenómeno. Esta misma especie fue la causante de todos los FAN reportados en el PNSAV hasta octubre 2002 (Ramírez, 2017). Por lo anterior es importante monitorear las densidades de *Pseudo-nitzschia*, ya que el género ha sido considerado como formador de FAN (Okolodkov, 2008) y reportado como uno de los géneros más representativos en la zona de playa dentro del PNSAV (Ramírez, 2017; Ortiz, 2016) esto se debe a que *Pseudo-nitzschia* se halla representado por diatomeas pennadas cosmopolitas de hábitos planctónicos marinos, que se encuentra distribuida desde los trópicos hasta las regiones polares, así como en ambientes oceánicos y costeros (Galeano *et al.*, 2010). Las siguientes especies de *Pseudo-nitzschia* han sido documentadas en el norte del Golfo de México: *P. brasiliana*, *P. multiseriata*, *P. decipiens*, *P. delicatissima*, *P. prolongatoides*, *P. pseudodelicatissima*, *P. pungens*, *P. subfraudulenta*, *P. subcurvata* y *P. galaxie* (Parsons *et al.*, 2012) de las cuales 6 de 10 mencionadas han sido reconocidas como productoras de ácido domoico (AD) (Ahuja, 2015).

Las dos especies identificadas taxonómicamente de las cinco encontradas en los muestreos fueron *Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima* y *P. subcurvata* las cuales ya han sido registradas en estudios anteriores dentro del PNSAV. Las dos han sido reconocidas como productoras de AD (Parsons *et al.*, 2012) sin embargo sólo *P. pseudodelicatissima* es potencialmente tóxica, pudiendo causar intoxicación amnésica por mariscos (ASP) debido a la neurotoxina que produce. Durante

2007 y 2008 Aké-Castillo & Okolodkov (2009) registraron la presencia de *P. subcurvata* en el PNSAV, una especie típica de mares fríos.

La densidad celular de *Pseudo-nitzschia* registrada durante los muestreos no fue lo suficientemente elevada para provocar un FAN, sin embargo teniendo en cuenta que la zona de estudio está bajo una constante presión hacia la eutrofización, **especialmente la zona de playa**, es muy probable que en un futuro pueda darse un FAN ocasionado por especies del género. Ortiz *et al.* (2005) menciona que las aguas del PNSAV reciben la descarga de compuestos nitrogenados debido a una intensa actividad antropogénica efectuada en la zona de estudio. La importancia de los florecimientos algales nocivos se centra en su posible toxicidad, ya que algunas de las especies del género *Pseudo-nitzschia* producen una neurotoxina (AD) con efectos dañinos en peces, mamíferos marinos y en la salud humana (Rodríguez, 2013).

Variables ambientales

Los parámetros ambientales con mayor relevancia ecológica son la temperatura y la salinidad, ya que estos controlan las tasas en las que se realizan procesos biológicos como: respiración, crecimiento, motilidad, fotosíntesis, fijación de carbono, nutrientes, etc. (Raven & Geider, 1988) Además de determinar de manera parcial la concentración de dióxido de carbono y oxígeno (Mann, 2000). La variable temperatura, muestra un rango de fluctuación anual que va de los 20.6°C a 30.6°C lo cual coincide con lo reportado por (Hernández & Salgado, 1996; Avendaño, 2013). En este estudio los valores de salinidad fueron altos en comparación de la mayoría de los estudios realizados dentro del Parque Nacional Sistema Arrecifal

Veracruzano, con un promedio de 32.96 ups en la zona de playa, 37.44 ups para la zona de mar y 40.4ups en arrecife, estos valores sugieren que los organismos que se encuentran dentro del PNSAV están bien adaptados a las condiciones de alta salinidad. Los valores registrados para salinidad por otros autores como Avendaño (2013) van de los 29 ups a los 34 ups, mientras que Salas *et al.*, (2009) reportan salinidades con un valor de 29 ups y mencionan que los altos valores de salinidad son producidos por las áreas de alta evaporación generadas por los arrecifes de coral que están cercanos a Boca del Río. Cabe mencionar que el PNSAV se ha desarrollado en un ecosistema terrígeno influenciado por la desembocadura de tres ríos, los cuales ejercen una importante variación en la salinidad (Krutak, 1997).

El pH del agua de mar es de suma importancia, ya que sus fluctuaciones rápidas e inesperadas pueden tener consecuencias desagradables para los organismos que se encuentran en la columna de agua. El pH del agua de marina está cercano a 8.2 (Teton, 2003). El pH puede definirse como una medida que expresa el grado de acidez o basicidad de una solución en una escala que varía entre 0 y 14. Una solución ácida es aquella con un valor menor a 7, mientras que una solución básica es aquella que obtiene valores mayores a 7. Una solución con pH 7 será neutra (Pérez, 2017). El rango del pH en la zona de playa fue de 7.3 a 8.5, para mar de 7.5 a 8.04 y para la zona de arrecife de 7.4 a 8.4. Este parámetro no tuvo cambios significativos a lo largo de los meses, mantuvo valores ligeramente alcalinos y propicios para el correcto desarrollo de los organismos.

El oxígeno disuelto (OD) es la cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua y que es esencial para la vida en los cuerpos de agua y gran parte de él proviene del oxígeno en el aire que se ha disuelto en el agua, otra parte proviene de la fotosíntesis de las microalgas y de las plantas acuáticas. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de contaminación del agua y está relacionado con la capacidad del cuerpo de agua de ser soporte para la biota. Generalmente, un nivel más alto de oxígeno disuelto indica una óptima calidad del agua, a pesar de que niveles altos de oxígeno están asociados a fenómenos de eutrofización donde la presencia de algas genera niveles de oxígeno por encima de los valores de saturación. Si los niveles de oxígeno disuelto son demasiado bajos la vida de numerosos organismos acuáticos se ve comprometida (Corporación Minera de Bolivia, 1968). El oxígeno disuelto disminuye al aumentar la salinidad, la temperatura (50% entre 0° y 35°C) y la altitud con respecto al nivel de mar (7% cada 60m). A nivel del mar se tiene como concentración de saturación 9mg/L O₂ (Jiménez, 2001); de acuerdo a lo anterior los valores de oxígeno disuelto que se registraron en este estudio se encuentran dentro de los rangos óptimos para el desarrollo de la vida. Los valores oscilaron entre los 5.9mg/L a 12.6mg/L en la zona de playa, para la zona de mar de 5.4mg/L a 16.5mg/L y para la zona de arrecife fue de 5.2mg/L a 16.23mg/L, todas con un máximo en octubre, lo cual coincide con lo reportado por Avendaño (2013), ya que menciona que en la época de lluvias hay un incremento en las concentraciones de oxígeno, e indica que en el mes de octubre se registran los valores más altos.

Conclusiones

► Se reconoció la presencia de cinco especies del género *Pseudo-nitzschia* dentro del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, de las cuales sólo dos pudieron ser identificadas de manera taxonómica: *Pseudo-nitzschia subcurvata* y *P. pseudodelicatissima*. Las tres especies restantes, no pudieron ser identificadas debido a que sus características morfológicas se pueden ser apreciar sólo con microscopia electrónica.

► *Pseudo-nitzschia* estuvo presente en las tres estaciones de muestreo establecidas. En la zona de playa en los meses de junio 2017, septiembre 2017 y octubre 2017; en mar sólo tuvo presencia en los meses de octubre 2017 y febrero 2018; para la estación de arrecife el género se registró en el mes de octubre 2017.

► Las máximas densidades para *Pseudo-nitzschia* se registraron en la estación de playa en el mes de septiembre del 2017 con 263 org/L mientras que para la estación de arrecife la densidad más alta se presentó en el mes de febrero del 2018 con 95 org/L.

► El análisis de Kruskal- Wallis no detectó diferencias significativas entre los meses de estudio, ni diferencias entre los sitios de muestreo, por lo que puede decirse que las densidades de *Pseudo-nitzschia* fueron homogéneas durante este estudio.

► Los parámetros en las estaciones de mar y arrecife se mantuvieron homogéneos, mientras que para la estación de playa las variaciones en los parámetros son un poco más dinámicas, esto debido a la entrada de un norte en el mes de diciembre y a los aportes de agua dulce de los ríos que se encuentran cercanos. A pesar de

las variaciones registradas para los rangos, las condiciones hidrológicas son óptimas para el desarrollo de la vida.

- El pH en las tres zonas oscilo en un intervalo de 7.3 a 8.5.
 - La temperatura de agua se registró de los 20.6°C a 30.6°C.
 - La salinidad en playa fue de 25.2 ups a 40.6 ups, en mar de 34.2 ups a 40.4 ups y en arrecife de 35 ups a 40.8 ups.
 - El Oxígeno tuvo valores de 5.2 a 16.2 mg/L, todas con un máximo en octubre.
- El valor máximo de porcentaje del género *Pseudo-nitzschia* dentro de la comunidad fitoplanctónica fue del 51.86% en la estación de playa, por lo que se sugiere mantener un monitoreo dentro de la zona para evitar daños a la salud, así como a la actividad pesquera a causa de un florecimiento algal nocivo.

Referencias

1. Ahuja, J.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). UNAM, México.
2. Aké-Castillo, J.A. & Y.B. Okolodkov. 2009. *Pseudo-nitzschia subcurvata* (Bacillariophyceae) in the Gulf of México? Harmful Algae News, An IOC Newsletter on toxic algae and algal blooms, The Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO 40: 6-7.
3. Álvarez, P. P. (2009). Ácido domoico e intoxicación amnésica por moluscos en salud pública. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública, 26(4), 505-516.
4. Avendaño, A.M. (2013). Variación hidrológica intermensual del Sistema Arrecifal Veracruzano. (Tesis de Maestría). Universidad Veracruzana. Veracruz.
5. Barón- Campis, S.A.; Hernández- Becerril, D.U.; Juárez- Ruíz, N.O. & Ramírez- Camarena, C. (2005). Marea roja producida por el dinoflagelado *Peridinium quinquecorne* en Veracruz, México (oct- nov, 2002): morfología del agente causal. Hidrobiológica, 15(1), 73-78.
6. Battarbee, R.W.; Jones, V.J.; Flower, R.J.; Cameron, N.G.; Bennion, H.; Carvalho, L.; Juggins, S. (2001) Diatoms. In: Tracking environmental change using lake sediments Vol 3: Terrestrial, algal and siliceous indicators. (eds Smol JP, Birks HJB, Last W) pp 155-202. Dordrecht, Kluwer.
7. Chang Lim, H. (2011). Morphological and molecular characterization of potential amnesic shellfish poisoning toxin-producing diatom *Pseudo-nitzschia* (BACILLARIOPHYCEAE) from Malaysia. (Tesis de Maestría). Tunku Abdul Rahman University College, Malaysia.
8. CONANP. (2011). Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. 29/04/2018, de Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas Sitio web:<http://regiongolfodemexico.conanp.gob.mx/sistamarrecifal.php#.WuZ0MIbiZ0z>
9. Corporación Minera de Bolivia. (1968). Manual de evaluación. Bolivia: IICA.
10. Delaney, J. (2010). Molecular Detection of the Toxic Marine Diatom *Pseudo-nitzschia Multiseriis*. Florida: University of South Florida.

11. Duarte, C.M. (2012). Océano: el secreto del planeta Tierra. España: CISC.
12. Escribano, R. (2004). Plancton y productividad. En: Biología marina y oceanografía: Conceptos y procesos. Chile: Trama impresores.
13. Ferrario, M.E.; Sar, E.A.; Sala, S.E. (2002). Diatomeas potencialmente tóxicas del cono Sur Americano. Madrid: Instituto Español de Oceanografía. 311p.
14. Fernández, M.L., A. Míguez, E. Cacho, A. Martínez, J. Diogéne & T. Yasumoto. (2002). Bioensayos con mamíferos y ensayos bioquímicos y celulares para la identificación de ficotoxinas. Madrid: Instituto Español de Oceanografía.
15. Galeano, C.A. & Arteaga, S.E. (2010). Distribución y abundancia del género *Pseudo-nitzschia* en condición de el niño 2007 sobre la cuenca pacífica colombiana. Santa Marta, Colombia. Bol. Invest. Mar. Cost. 39(1):25-39.
16. Gaona, H.A. (2016). Comparación del zooplancton marino entre una zona de playa y una arrecifal en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano". UNAM. México.
17. Gárate- Lizárraga, I.; Poot-Delgado, C.; Ramírez-Castillo, E. & Páez-Hernández, M. (2013). Proliferation of *Pseudo-nitzschia brasiliensis* and *P. cf. pseudodelicatissima* (Bacillariophyceae) in the Estero Santa Cruz, northern Gulf of California, México. Revista de Biología Marina y Oceanografía. 48(2), 393-399.
18. García, R.F.; Ditmar, M. (2012). Las diatomeas uruguayas. Montevideo: DIRAC. 8p.
19. Glibert, P. M.; Anderson, M.D; Gentien, P.; Granéli, E. & Sellner, K. (2005). The global, complex phenomena of harmful algal blooms. Oceanography, 18 (2), 136-147.
20. Góngora, I.I. (2014). Visión del plancton en el Arrecife Santiaguillo, Veracruz. (Tesis de licenciatura). UNAM. México.
21. González, D.A. (2014). Estudio de diatomeas planctónicas de la clase Bacillariophyceae de la Bahía de Acapulco. (Tesis de maestría). UNAM. México.
22. Hasle, G.R. (2002). Are most of the domoic acid-producing species of the diatom genus *Pseudo-nitzschia* cosmopolites? Harmful Algae, 1, 137-146.

23. Hernández, D.U. (2003). Diversidad del fitoplancton marino de México: Un acercamiento actual. *Planctología Mexicana*. Sociedad Mexicana de Planctología, A.C. México.
24. Hernández, T, J. & Salgado, R.J. (1996). Masas de agua en la costa de la Ciudad de Veracruz, Ver. (MACCV), enero 1995 a febrero 1996. *Secretaria de marina*. D.G.O.M. México. 39.
25. Herrera, S.A., Sierra- Beltrán, A. & Hernández- Saavedra, N. (2008). Floraciones Algales Nocivas: Perspectivas y estrategias biotecnológicas para su detección. *BioTecnología*. 12(1), 23-40.
26. Jairo, R, J. (2000). *Fitoplancton de agua dulce: aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios*. Colombia: Editorial Universidad de Antioquia.
27. Jiménez, B.E. (2001). *La contaminación ambiental en México*. México: Limusa.
28. Krutak, P.R: (1997). Petrography and provenance of siliciclastic sediments, Veracruz- Antón Lizardo Reefs, México. *Paleoceanography and paleoclimatology in the northwest Pacific región*. *Ocean Research*. 19(3): 231-243.
29. López-Cortés, D. J.; Hernández-Sandoval, F.; BandSchmidt, C. J.; Bustillos-Guzmán, J.; Núñez-Vázquez, E. (2015). Condiciones ambientales asociadas a florecimientos algales nocivos en el Golfo de California. *RedFAN: México*.146-161.
30. López, F.O & Siqueiros, D.A. (2011). Diatomeas como indicadores de la calidad ecológica de los oasis de Baja California Sur, México. *CONABIO. Biodiversitas*.99:8-11.
31. Lozano, D.Y; Vidal, L.A; Navas, G.R. (2010). Listado de diatomeas (Bacillariophyta) registradas para el Mar Caribe Colombiano. *INVEMAR*. 39(1), 83-116.
32. Maciel, B.E. (2014). Nuevos registro de diatomeas del género *Pseudonitzschia* H. Peragallo (Bacillariophyceae) en la costa de Chiapas, México. *Lacandonia*, 8(2), 15-20.
33. Mann, K.H. (2000). *Ecology of costal waters: With implications for management*, Blackwell Science. Oxford. Inglaterra. 390.

34. Morlans, M.C. (2004). Introducción a la ecología de poblaciones. Argentina: Ed. Científica Universitaria- Universidad Nacional de Catamarca.
35. Ortiz, L., A. Granados-Barba, V. Solís-Weiss & M.A. García-Salgado. (2005). Environmental evaluation and development problems of the Mexican Coastal Zone. *Ocean Coast. Manage.* 48: 161-176.
36. Ortiz, A.K. (2016). Estudio comparativo del fitoplancton presente en la zona litoral de Antón Lizardo y una zona arrecifal, en Santiaguillo, Veracruz. (Tesis de licenciatura). UNAM, México.
37. Okolodkov, B.Y. (2008). *Protoperidinium Bergh* (Dinophyceae) of the National Park Sistema Arrecifal Veracruzano, Gulf of México, with a key for Identification. *Acta Botánica Mexicana* 84: 93-149.
38. Okolodkov, B.Y.; Aké- Castillo, A.; Campos- Bautista, G.; Lara- Martínez, R. & Jiménez- García, L.F. (2015). Dinámica anual del género *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyceae) en el Sistema Arrecifal Veracruzano. Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. 249-266.
39. Pampín, L.A. & Liaño, G.I. (2004). *Inglés marítimo*. España: NETBIBLO.
40. Parsons, I.M., Okolodkov, B.Y. & Aké-Castillo, A. (2012). Diversity and morphology of the species of *Pseudo-nitzschia* (Bacillariophyta) of the National Park Sistema Arrecifal Veracruzano, SW Gulf of Mexico. *Acta Botánica Mexicana*. 98. 51-72.
41. Pérez, O.V. (2017). Comparación del zooplancton en la zona occidental y oriental de la isla Santiaguillo en el Sistema Arrecifal Veracruzano. (Tesis de Licenciatura) UNAM. México.
42. Poot- Delgado, C.; Okolodkov, Y.; Aké- Castillo, J. & Rendon Von Osten, J. (2015). Fitoplancton potencialmente nocivo en el muelle la Puntilla, Laguna de Términos, Sureste del Golfo de México. *BIOCYT Biología, Ciencia y Tecnología*, 8(32), 570-582.
43. Poot- Delgado, C. A. (2016). Florecimientos algales nocivos en las costas de Campeche, Golfo de México. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, 68, 91-96.

44. Ramírez, A.L. (2017). Estudio de fitoplancton en las zonas oriental y occidental de la Isla de Santiaguillo, Edo. de Veracruz. (Tesis de licenciatura). UNAM, México.
45. Raven, J.A. & Geider, R.J. (1988). Temperature and algal growth. *New Phytologist*. 110(4): 441-461.
46. Reyna- González, P.C.; Bello- Pineda, J.; Ortiz- Lozano, L. & Brenner, J. (2014). Incorporating expert knowledge for development spatial modeling in assessing ecosystem services provided by coral reefs: A tool for decision-making. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 49(2):279-292.
47. Rodríguez, C.F. (2013). Contribución de especies planctónicas formadoras de florecimientos algales nocivos a la biomasa del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. (Tesis de Maestría) Universidad Veracruzana. Veracruz.
48. Rosas, I., Cravioto, A., Ezcurra, E. (2004). *Microbiología ambiental*. México: INE-SEMARNAT.
49. Round, F.E.; Crawford, D.G. & Mann, D.G. (1990). *The diatoms. Biology and morphology of the genera*. United Kingdom: Cambridge University Press.
50. Salas, M.D.; Monreal, M.A. & Riverón, M.L. (2009). Current rectification in a tropical coral reef system. *Coral Reefs*. 28:871.
51. Sar, E.A., Andrinolo, D., Sunesen, I. (2006). Análisis morfológico y toxicológico de cultivos de *Pseudo-nitzschia pungens var. pungens* (Bacillariophyceae). *Bol. Soc. Argent. Bot.*, 41(3-4), 193-201.
52. Teton, J. (2003). *Guía técnica de la acuariofilia*. España: H. BLUME.
53. Triola, M.F. (2004). *Estadística*. México: Pearson Educación.
54. Villaseñor, C.J. (1998). *Eliminación Biológica de fósforo en aguas residuales urbanas*. (Tesis doctoral). Universidad de Castilla- La Mancha, España.
55. Zavala- Hidalgo J.; Monrey S.L. & O' Brien J. (2003). Seasonal circulation on the western shelf the Gulf of Mexico using a high-resolution numerical model. *Geophysical Research*. 108 (19), 1-19.

Anexo

A continuación se muestran algunas fotografías de las especies pertenecientes al fitoplancton encontradas durante los muestreos dentro del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano.

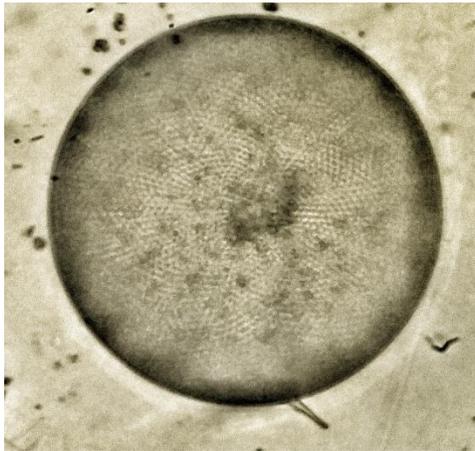


Fig. 1. *Coscinodiscus grani*

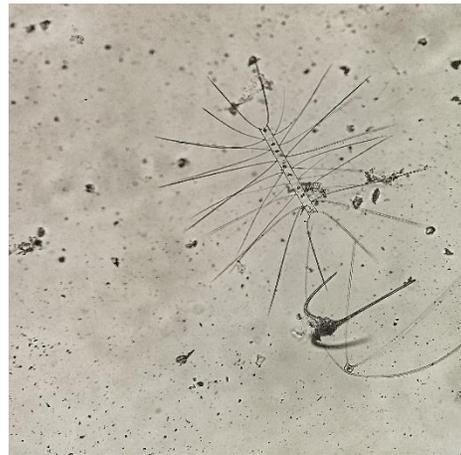


Fig. 2. *Chaetoceros decipiens*

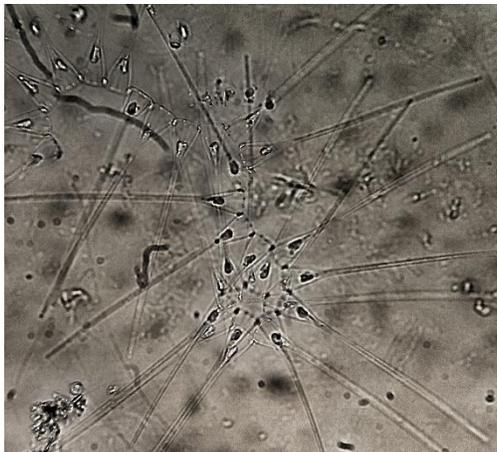


Fig. 3. *Asterionellopsis glacilis*



Fig.4. *Navicula* sp



Fig.5. *Skeletonema costatum*



Fig.6. *Corethron sp*



Fig.7. *Chaetoceros sp*

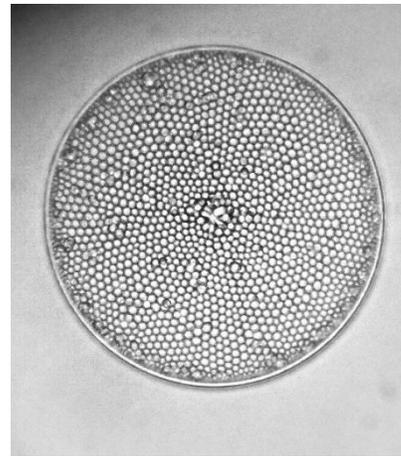


Fig.8. *Coscinodiscus sp*

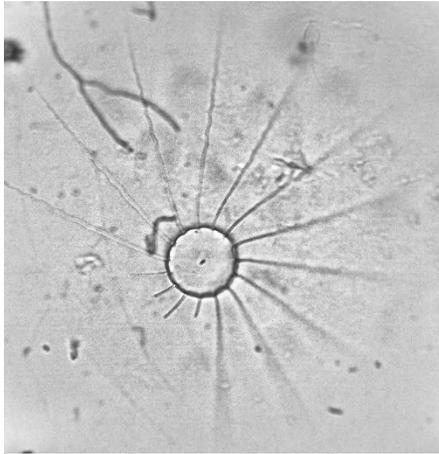


Fig.9. *Bacteriastrum* sp



Fig.10. *Protoperidinium divergens*

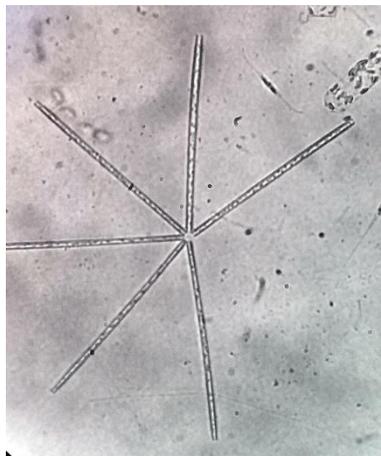


Fig.11. *Thalassionema frauenfeldii*

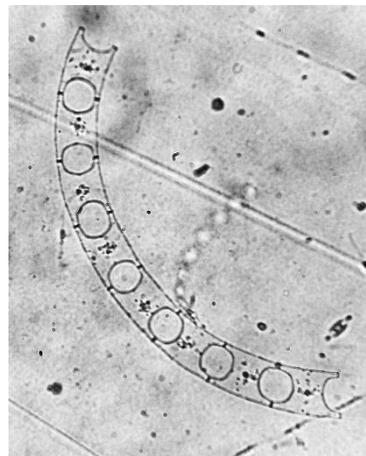


Fig.12. *Eucampia zodiacus*

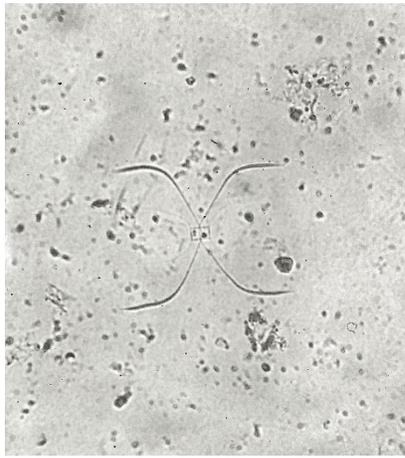


Fig.13. *Chaetoceros diversus*

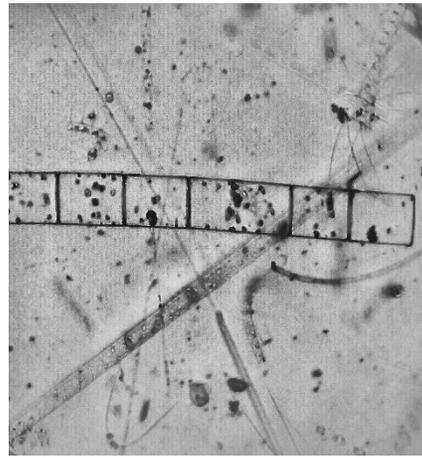


Fig.14. *Guinardia flaccida*



Fig.15. *Thalassionema nitzschoioides*



Fig.16. *Neocalyptrella robusta*

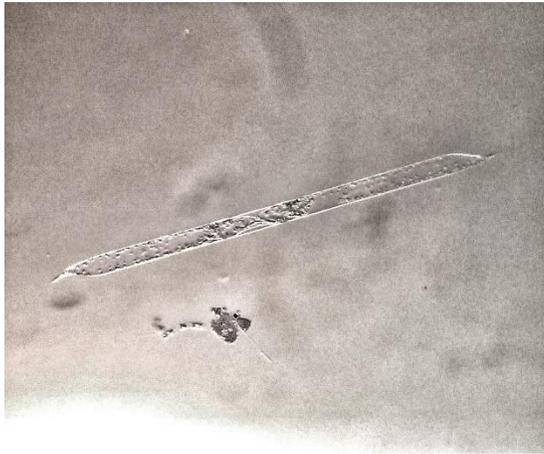


Fig. 17. *Rhizosolenia alata*



Fig. 18. *Odonthella sp*



Fig.19. *Trichodesmium thiebautii*



Fig.20. *Pinnularia sp*



Fig.21. *Odonthella* sp

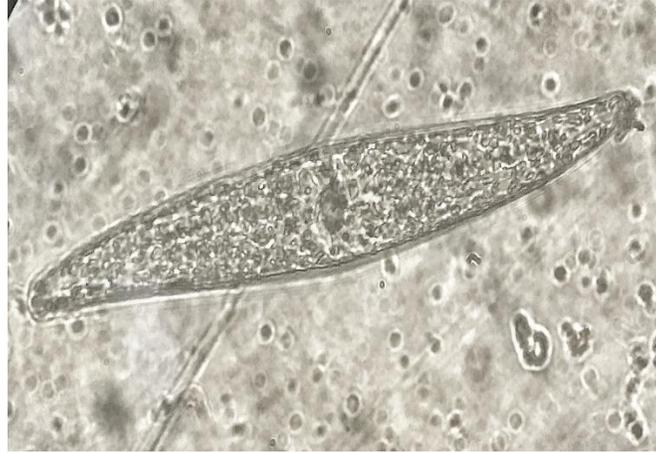


Fig.22. *Pleurosigma* sp



Fig.23. *Bacteriastrum furcatum*



Fig.24. *Ditylum brightwellii*



Fig.25. *Chaetoceros coarctatus*

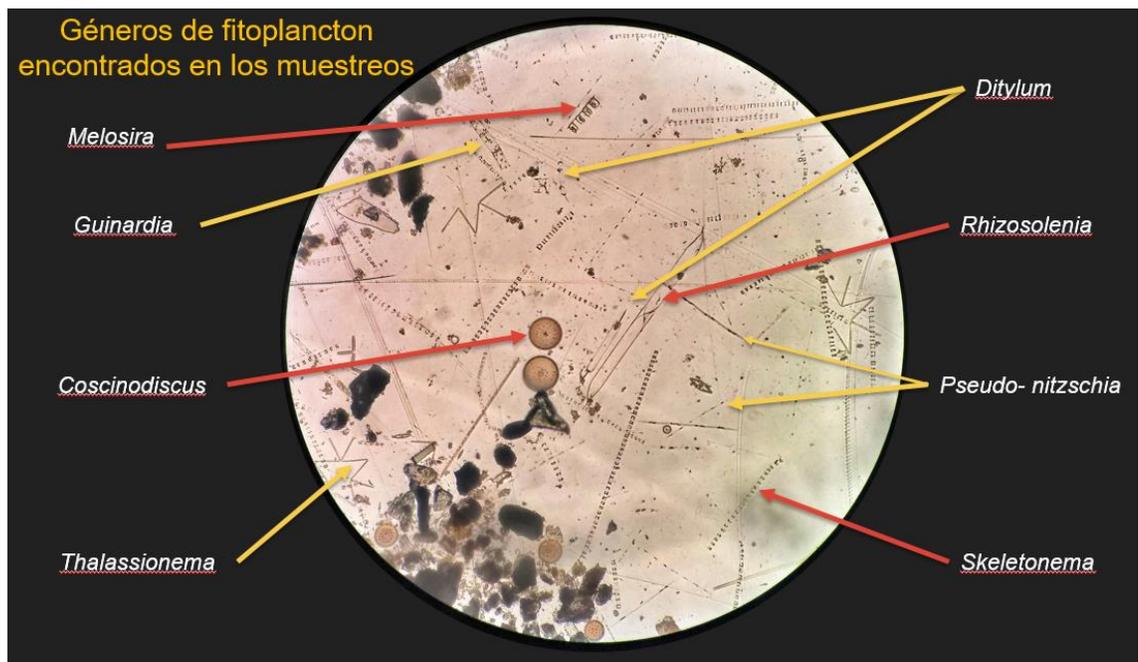


Fig.26. Géneros de fitoplancton encontrados en los muestreos realizados dentro del PNSAV: *Melosira*, *Guinardia*, *Coscinodiscus*, *Thalassionema*, *Ditylum*, *Rhizosolenia*, *Pseudo-nitzschia* y *Skeletonema*.