



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

---

---

**FALCULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA**

**“Estudio del Fitoplancton en las zonas oriental y  
occidental de la Isla Santiaguillo, Edo. de Veracruz”**

**Tesis que para obtener el título de Biólogo  
PRESENTA**

**ALMA LORENA RAMÍREZ DOMÍNGUEZ**

**Directora: Biol. Angélica Elaine González Schaff**



**Ecología Acuática**

**Ciudad De Mexico Septiembre 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.

## Agradecimientos

A la UNAM que desde la preparatoria me brindo los conocimientos para poder seguir adelante con mis estudios.

A la Fes Zaragoza por brindarme los conocimientos necesarios para poder desempeñar mi profesión de manera adecuada y enseñarme el mundo de la biología en cada una de sus áreas.

A mi directora y profesora Angélica Elaine González Schaff por su paciencia, enseñanzas, apoyo y ánimos para concluir este trabajo. Gracias por enseñarme el maravilloso mundo del plancton.

Al profesor Armando Cervantes por brindarme su apoyo para conocer más de la carrera cuando aún era estudiante de preparatoria, por su tiempo, enseñanzas y sobre todo por su gran cariño.

A los profesores Guillermo Artemio Blancas, Antonio Valencia y Bertha Peña por sus aportaciones a este trabajo, por las enseñanzas que me brindaron a lo largo de la carrera.

A todos los profesores de la carrera por sus enseñanzas durante todo este tiempo, ya que gracias a eso seré una gran profesionista y por qué me mostraron lo maravillosa que es la biología.

A mis padres Juan Manuel Ramírez Osorio y Carmen Domínguez Colorado, por su gran apoyo, por compartir mis alegrías, triunfos, tristezas y caídas durante mi carrera, por ayudarme a levantarme en los momentos difíciles para seguir adelante y por hacer que sea la persona que soy. A mi hermano Juan Manuel Ramírez Domínguez por estar ahí conmigo apoyándome.

A mis amigos de la Fes. Gracias por todos esos momentos maravillosos a su lado durante toda la carrera, por sus consejos, regaños, apoyo y más. Vivi, gracias por tu apoyo, por tus consejos y por brindarme todo este tiempo tu amistad, eres una gran amiga tqm. Katy, gracias por tu amistad, por tu apoyo y sobre todo por tu gran cariño. Jess, gracias por todos los momentos de risas y por apoyarme desde que te conocí tqm. Ivette amigas desde la prepa y hasta la facultad, gracias por tu apoyo,

consejos y momentos inolvidables a tu lado tqm. Martin, gracias por ayudarme en la toma de fotos de algunos de mis organismos. Gracias Luis, Dany, Angy, Alex y todos los amigos que hice durante la carrera por brindarme su amistad.

A mis amigas de la prepa Cris y Mary, gracias chicas por estos años de amistad, su apoyo y sus sabios consejos, por ayudarme a cambiar aspectos de mi vida que hoy en día me han hecho ser la persona que soy, gracias por aguantarme en los momentos difíciles.

A mi novio Manuel, por apoyarme en este tiempo juntos, por su amor, por su comprensión y por animarme a seguir adelante.

Y por último a mi chucho que por las tardes cuando estaba sola me acompañaba mientras escribía. Gracias mi bebe porque yo te prometí que por ti y todos mis bebes me convertiría en una gran bióloga. Te amo.

# Contenido

<b>RESUMEN</b> .....	<b>8</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>9</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>11</b>
<b>Importancia del fitoplancton</b> .....	<b>11</b>
Principales grupos del fitoplancton marino.....	12
Factores que afectan a la composición y distribución del plancton.....	14
<b>ANTECEDENTES</b> .....	<b>15</b>
<b>ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	<b>17</b>
<b>JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>21</b>
<b>HIPOTESIS</b> .....	<b>22</b>
<b>OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>23</b>
<b>OBJETIVOS PARTICULARES</b> .....	<b>23</b>
<b>MÉTODO</b> .....	<b>24</b>
Trabajo en campo.....	24
Trabajo de laboratorio.....	26
Trabajo de gabinete.....	26
<b>RESULTADOS</b> .....	<b>28</b>
Resultados de muestras de botella.....	34
Resultados de muestras de red.....	47
<b>DISCUSIÓN</b> .....	<b>57</b>
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>67</b>
<b>SUGERENCIAS</b> .....	<b>68</b>
<b>ANEXO I</b> .....	<b>69</b>
<b>ANEXO II</b> .....	<b>78</b>
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	<b>79</b>
<b>LITERATURA ELECTRÓNICA</b> .....	<b>85</b>

# Figuras

FIGURA 1. POLIGONO DEL ÁREA NATURAL PROTEGIDA PARQUE NACIONAL SISTEMA ARRECIFAL VERACRUZANO.....	17
FIGURA 2 AREEA NATURAL PROTEGIDA PARQUE NACIONAL SISTEMA ARRECIFAL VERACRUZANO. ESTACIÓN 1: ZONA OCCIDENTAL Y ESTACIÓN 2: ZONA ORIENTAL (ISLA SANTIAGUILLO).....	24
FIGURA 2.1. ARRASTRE CON LA RED PARA FITOPLANCTON DESDE LA LANCHA.....	25
FIGURA 2.2 ESQUEMA TEÓRICO DE LA PRUEBA DE OLMSTEAD-TUKEY MODIFICADA POR (GONZÁLEZ-ACOSTA ET AL., 2005).....	27
FIGURA3. DENSIDAD OBTENIDA EN MUESTRAS DE BOTELLA Y DE RED EN LA ZONA OCCIDENTAL DE LA ISLA SANTIAGUILLO.....	33
FIGURA 4. DENSIDAD OBTENIDA EN MUESTRAS DE BOTELLA Y DE RED EN LA ZONA ORIENTAL DE LA ISLA SANTIAGUILLO.....	34
FIGURA 5. DIAGRAMA DE CAJAS MÚLTIPLES PARA LAS PROFUNDIDADES 0.3 Y 5 M DE LA ZONA OCCIDENTAL.....	34
FIGURA 6. DIAGRAMA DE CAJAS MÚLTIPLES DE LOS MESES DE LA ZONA OCCIDENTAL.....	35
FIGURA 7. DIAGRAMA DE CAJAS MÚLTIPLES PARA LAS PROFUNDIDADES DE LA ZONA ORIENTAL.....	36
FIGURA 8. DIAGRAMA DE CAJAS MÚLTIPLES PARA LOS MESES DE LA ZONA ORIENTAL.....	37
FIGURA 9. DIAGRAMA DE CAJAS MÚLTIPLES DE LA ZONA OCCIDENTAL Y ORIENTAL DE LA ISLA SANTIAGUILLO.....	38
FIGURA 10. DIAGRAMA DE CAJAS MÚLTIPLES PARA LOS MESES DE LA ZONA OCCIDENTAL Y ORIENTAL DE LA ISLA SANTIAGUILLO.....	39
FIGURA 11. DENSIDAD TOTAL DE MUESTRAS DE BOTELLA A TRAVÉS DEL TIEMPO, EN LAS ZONAS OCCIDENTAL Y ORIENTAL DE SANTIAGUILLO.....	40
FIGURA 12. DENSIDAD TOTAL POR GRUPOS DE MUESTRAS DE BOTELLA A TRAVÉS DEL TIEMPO, EN LA ZONA OCCIDENTAL DE SANTIAGUILLO.....	41
FIGURA 13. DENSIDAD TOTAL POR GRUPOS DE MUESTRAS DE BOTELLA A TRAVÉS DEL TIEMPO, EN LA ZONA ORIENTAL DE SANTIAGUILLO.....	41
FIGURA 14. DENSIDAD TOTAL POR GÉNEROS Y ESPECIES DE MUESTRAS DE BOTELLA A TRAVÉS DEL TIEMPO, EN LA ZONA OCCIDENTAL DE SANTIAGUILLO.....	42

FIGURA 15.a. DENSIDAD TOTAL POR GÉNEROS Y ESPECIES DE MUESTRAS DE BOTELLA A TRAVÉS DEL TIEMPO, EN LA ZONA ORIENTAL DE SANTIAGUILLO.....	43
FIGURA 15.b. DENSIDAD TOTAL POR GÉNEROS Y ESPECIES DE MUESTRAS DE BOTELLA A TRAVÉS DEL TIEMPO, EN LA ZONA ORIENTAL DE SANTIAGUILLO.....	43
FIGURA 16. DIAGRAMA DE OLMSTEAD-TUKEY POR GÉNEROS Y ESPECIES DE MUESTRAS DE BOTELLA, EN LA ZONA OCCIDENTAL DE SANTIAGUILLO.....	44
FIGURA 17. DIAGRAMA DE OLMSTEAD-TUKEY POR GÉNEROS Y ESPECIES DE MUESTRAS DE BOTELLA, EN LA ZONA ORIENTAL DE SANTIAGUILLO.....	45
FIGURA 18. DENDOGRAMA MÉTODO DE WARD DE LAS DENSIDADES TOTALES Y PARÁMETROS EN MUESTRAS DE BOTELLA DE LA ZONA ORIENTAL.....	46
FIGURA 19. DENDOGRAMA MÉTODO DE WARD DE LAS DENSIDADES TOTALES Y PARÁMETROS EN MUESTRAS DE BOTELLA DE LA ZONA OCCIDENTAL.....	46
FIGURA 20. DIAGRAMA DE CAJAS MÚLTIPLES DE LA DENSIDAD TOTAL PARA LA ZONA OCCIDENTAL Y ORIENTAL.....	47
FIGURA 21. DIAGRAMA DE CAJAS MÚLTIPLES PARA LOS MESES DE LA ZONA OCCIDENTAL Y ORIENTAL.....	48
FIGURA 22. DENSIDAD TOTAL DE MUESTRAS DE RED A TRAVÉS DEL TIEMPO, DE LA ZONA OCCIDENTAL Y ORIENTAL.....	49
FIGURA 23. DENSIDAD TOTAL POR GRUPOS DE MUESTRAS DE RED A TRAVÉS DEL TIEMPO, EN LA ZONA OCCIDENTAL DE SANTIAGUILLO.....	49
FIGURA 24. DENSIDAD TOTAL POR GRUPOS DE MUESTRAS DE RED A TRAVÉS DEL TIEMPO, EN LA ZONA ORIENTAL DE SANTIAGUILLO.....	50
FIGURA 25. DENSIDAD TOTAL POR GÉNEROS Y ESPECIES DE MUESTRAS DE RED A TRAVÉS DEL TIEMPO, EN LA ZONA OCCIDENTAL DE SANTIAGUILLO.....	51
FIGURA 26. DENSIDAD TOTAL POR LOS GÉNEROS Y ESPECIES DE MUESTRAS DE RED A TRAVÉS DEL TIEMPO, EN LA ZONA ORIENTAL DE SANTIAGUILLO.....	51
FIGURA 27. DIAGRAMA DE OLMSTEAD-TUKEY POR GÉNEROS Y ESPECIES DE MUESTRAS DE RED, EN LA ZONA OCCIDENTAL DE SANTIAGUILLO.....	52
FIGURA 28. DIAGRAMA DE OLMSTEAD-TUKEY POR GÉNEROS Y ESPECIES DE MUESTRAS DE RED, EN LA ZONA ORIENTAL DE SANTIAGUILLO.....	53
FIGURA 29. DENDOGRAMA MÉTODO DE WARD DE LAS DENSIDADES TOTALES EN RED PARA LA ZONA ORIENTAL.....	54

FIGURA 30. DENDOGRAMA MÉTODO DE WARD PARA LAS DENSIDADES TOTALES EN RED DE LA ZONA OCCIDENTAL.....	54
----------------------------------------------------------------------------------------------------	----

## Tablas

TABLA 1a. LISTA TAXONÓMICA DE LAS ESPECIES ENCONTRADAS EN LOS ESTACIONES DE MUESTREO.....	28
TABLA 1b. REGISTRO DE GÉNEROS Y ESPECIES EN LAS ZONAS DE MUESTREO.....	32
TABLA 2. PRUEBAS ESTADÍSTICAS PARA LA COMPARACIÓN DE PROFUNDIDADES (0.3 Y 5 M) DE LA ZONA OCCIDENTAL, CON UN NIVEL DE CONFIANZA DEL 95.0%.....	35
TABLA 3. PRUEBAS ESTADÍSTICAS PARA LA COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD A TRAVÉS DEL TIEMPO DE LA ZONA OCCIDENTAL, CON UN NIVEL DE CONFIANZA DEL 95.0%.....	36
TABLA 4. PRUEBAS ESTADÍSTICAS PARA LA COMPARACIÓN DE PROFUNDIDADES (0.3 Y 5 M) DE LA ZONA ORIENTAL CON UN NIVEL DE CONFIANZA DEL 95.0%.....	37
TABLA 5. PRUEBAS ESTADÍSTICAS PARA LA COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD A TRAVÉS DEL TIEMPO DE LA ZONA ORIENTAL CON UN NIVEL DE CONFIANZA DEL 95.0%.....	38
TABLA 6. PRUEBAS ESTADÍSTICAS PARA LA COMPARACIÓN DE LA ZONA OCCIDENTAL Y ORIENTAL CON UN NIVEL DE CONFIANZA DEL 95.0%.....	39
TABLA 7. PRUEBAS ESTADÍSTICAS PARA LA COMPARACIÓN ENTRE LA ZONA OCCIDENTAL Y ORIENTAL CON UN NIVEL DE CONFIANZA DEL 95.0%.....	40
TABLA 8. CLASIFICACIÓN DE LA OCURRENCIA A TRAVÉS DEL TIEMPO DE OLMSTEAD-TUKEY DE MUESTRAS DE BOTELLA, EN LA ZONA OCCIDENTAL DE SANTIAGUILLO.....	44
TABLA 9. CLASIFICACIÓN DE LA OCURRENCIA A TRAVÉS DEL TIEMPO DE OLMSTEAD-TUKEY DE MUESTRAS DE BOTELLA, EN LA ZONA ORIENTAL DE SANTIAGUILLO.....	45
TABLA 10. PRUEBAS ESTADÍSTICAS PARA LA COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD ENTRE LA ZONA OCCIDENTAL Y ORIENTAL CON UN NIVEL DE CONFIANZA DEL 95.0%.....	47
TABLA 11. PRUEBAS ESTADÍSTICAS PARA LA COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD A TRAVÉS DEL TIEMPO ENTRE LA ZONA OCCIDENTAL Y ORIENTAL CON UN NIVEL DE CONFIANZA DEL 95.0%.....	48

TABLA 12. CLASIFICACIÓN DE LA OCURRENCIA A TRAVÉS DEL TIEMPO DE OLMSTEAD-TUKEY DE MUESTRAS DE RED, EN LA ZONA OCCIDENTAL DE SANTIAGUILLO.....	52
TABLA 13. CLASIFICACIÓN DE LA OCURRENCIA A TRAVÉS DEL TIEMPO DE OLMSTEAD-TUKEY DE MUESTRAS DE RED, EN LA ZONA ORIENTAL DE SANTIAGUILLO.....	53
TABLA 14. PARÁMETROS AMBIENTALES EN LA ZONA ORIENTAL.....	55
TABLA 15. PARÁMETROS AMBIENTALES LA ZONA OCCIDENTAL.....	56

## Resumen

En el presente trabajo se describe la densidad y composición del fitoplancton encontrado en la isla Santiaguillo durante un ciclo anual en el año 2014, con la finalidad de detectar posibles diferencias entre la zona oriental y occidental de la isla, la cual es considerada zona núcleo en el Sistema Arrecifal Veracruzano. Las muestras se obtuvieron mediante dos métodos, el primero utilizando una botella Van Dorn horizontal con una capacidad de 3 L a una profundidad de 0.3 y 5 metros y el segundo mediante arrastres con una red de fitoplancton con una abertura de malla de 80 $\mu$  y 12 cm de diámetro en una lancha a una velocidad de 1m/seg, a una profundidad de 0.3 y 5 metros. Las densidades más altas en muestras de botella fueron en el mes de agosto con 405,500 org/l en la zona occidental y 1, 033,987 org/l en la oriental, mientras que en muestras de red con 343 org/l en el mes de marzo en la zona occidental y en la oriental con 408 org/l en el mes de agosto. Se identificaron 3 divisiones, 5 clases, 20 órdenes, 21 familias, 30 géneros y 54 especies de los cuales 16 familias, 18 géneros, 25 especies pertenecen a la zona oriental y 17 familias, 23 géneros, 37 especies a la zona occidental. Las pruebas estadísticas indicaron que no existen diferencias significativas respecto a las densidades de los organismos por profundidad y zona pero si a través del tiempo esto para ambos métodos, siendo mayores en la zona oriental. La composición de especies fue diferente ya que algunos organismos se presentaron exclusivamente en una de las dos zonas. Los géneros más representativos fueron: *Pseudo-nitzschia*, *Chaetoceros*, *Trichodesmium*, *Rhizosolenia*, *Nitzschia* para ambas zonas, de los cuales destacan *Pseudo-nitzschia* y *Trichodesmium* debido a que son considerados formadores de florecimientos algales nocivos.

## Introducción

El plancton es el conjunto de organismos, tanto vegetales como animales, adultos y larvarios, que viven en las aguas dulces o marinas, flotando o dotados de escasos elementos de locomoción; generalmente presentan tamaño microscópico. Este término fue utilizado por primera vez por Víctor Hensen en el año de 1887, y significa “errante” o “vagabundo” (Cifuentes et al., 1997).

La cantidad de plancton que se encuentra en las aguas continentales de estanques, ríos y lagos es menor que la de los océanos, en los que alcanzan cifras del orden de los trillones de individuos. El plancton se encuentra en mayores cantidades en los mares de las regiones frías, conforme está más cerca a los polos, el agua del mar se vuelve más densa en plancton y se observa que a 40° de latitud norte o sur se localizan entre 20 mil y 200 mil individuos planctónicos en cada litro de agua de mar. Esto se debe a que en dichas zonas los ríos y los glaciares arrastran hacia el mar gran cantidad de sustancias minerales que sirven para que el plancton produzca alimento (Cifuentes *et al.*, 1997).

En aguas frías la competencia entre los organismos es menor, y a esto se suma que los seres del plancton pueden soportar cambios extremos de su ambiente y se reproducen de manera asombrosa, lo que ocasiona que las poblaciones de los integrantes del plancton alcancen cifras enormes (Cifuentes *et al.*, 1997).

El plancton se divide primordialmente en fitoplancton (plantas) y zooplancton (animales). Sin embargo existen también otras distinciones, tales como bacterioplancton (bacterias), y también se habla de ictioplancton para referirse a los huevos y larvas de peces, que previo a su desarrollo como juveniles o adultos, son parte del plancton (Escribano y Castro, 2004).

En los últimos años, en los que ha existido un creciente deterioro del medio ambiente en todo el mundo, principalmente por actividades humanas, el conocimiento de la biodiversidad de las comunidades marinas de microorganismos ha adquirido una gran importancia (Hernández-Becerril, 2014).

El fitoplancton plantea especial interés debido a su indudable importancia dentro de la red trófica al agrupar la mayor porción de productores primarios, por lo que los impactos que éste soporta, producto de variaciones físicas o biológicas del medio, repercuten sobre el resto de las comunidades que de él dependen. Por otro lado, la sensibilidad y rápida reacción ante los cambios ambientales y a la propiedad de poseer estrictos rangos en sus requerimientos abióticos y nutricionales que tienen algunos de sus representantes, lo han hecho candidato para considerarlo como

indicador biológico de regiones naturales como las definidas por la latitud y de eventos oceanográficos como corrientes, giros y surgencias, entre otros (Arteaga *et al.*, 2008).

Debido a la importancia que posee el fitoplancton en el ecosistema marino, existen pocos trabajos dentro del Sistema Arrecifal Veracruzano de dos o más grupos y muy pocos acerca del arrecife Santiaguillo el cual es uno de los arrecifes de plataforma más alejados de la costa y su cobertura coralina es elevada (Pérez-España *et al.*, 2015), además junto con el arrecife Blanca conforman las dos zonas núcleo del Parque (DOF, 2012), por lo que la finalidad de este trabajo es la de describir y comparar la densidad y composición obtenida durante un ciclo anual de enero 2014 a diciembre 2014, utilizando una red de cono reducido de 80  $\mu\text{m}$  en dos estaciones de la Isla Santiaguillo (occidental y oriental).

## Marco Teórico

El término fitoplancton proviene del griego φυτόν (phyton - planta) y πλαγκτός (plankton - errante). Es una comunidad de organismos microscópicos fotosintetizadores que viven suspendidos en la zona fótica de la columna de agua, algunas especies son heterotróficas por cortos periodos (Oliva *et al.*, 2014).

El tamaño de los organismos que componen el fitoplancton es: picoplancton (0.2-2  $\mu\text{m}$ ), nanoplancton (2-20  $\mu\text{m}$ ), microplancton (20-200  $\mu\text{m}$ ) y mesoplancton (200-2000  $\mu\text{m}$ ). El efecto del tamaño sobre la tasa de sedimentación es una adaptación de las células para permanecer en la zona fótica. Células esféricas o elipsoidales se hunden más lentamente, mientras las formas grandes, elongadas o complejas, reducen esta capacidad. Los dinoflagelados como el género *Ceratium* mantienen su posición en la columna de agua por su migración activa y por el cambio de la forma y tamaño de sus proyecciones. Las paredes silíceas de las diatomeas pueden resultar pesadas y ser susceptibles al hundimiento. Algunas cianobacterias y desmidias producen mucílagos extracelulares, lo que les ayuda a su flotabilidad, además de la presencia de vesículas de gas que las mantienen en la columna de agua como en *Anabaena flos-aquae* y *Microcystis aeruginosa* (Oliva *et al.*, 2014).

### Importancia del fitoplancton

La importancia del fitoplancton ha sido enfatizada en diversas obras en todo el mundo, ya que es responsable de más de 45% de la producción primaria neta del planeta (Hernández-Becerril, 2014).

El fitoplancton realiza la producción primaria, a través de la fotosíntesis, utilizando la energía radiante del sol, el dióxido de carbono y sales minerales conocidas como nutrientes, que se encuentran disueltos en el agua de mar. El zooplancton herbívoro, por otra parte, se encarga de canalizar y transferir el carbono fijado por el fitoplancton hacia los niveles tróficos superiores. Prácticamente todo el carbono orgánico que se recicla en el ecosistema marino ha sido captado inicialmente por el fitoplancton y transferido por el zooplancton herbívoro, a través de múltiples vías que incluyen virus, bacterias y microheterótrofos (Escribano y Castro, 2004).

Es utilizado como indicador biológico de la eutrofización, principalmente en estuarios y zonas costeras (Moreira *et al.*, 2007). Además se puede mencionar el papel de casi cada grupo de microalgas y protistas fitoplanctónicos en los grandes

temas de actualidad que preocupan a la sociedad humana y que tienen que ver con el agua (recursos acuáticos, contaminación, indicadores de la calidad), la biodiversidad (conocimiento, mantenimiento, uso, valor, amenaza) y el cambio climático (especies invasoras, incremento de especies productoras de toxinas, acidificación de los océanos) (Hernández-Becerril, 2014).

## **Principales grupos del fitoplancton marino**

Los grupos dominantes son diatomeas, dinoflagelados, cocolitofóridos, silicoflagelados y cianófitas.

### **Diatomeas**

Pertenece a la división *Heterokontophyta* clase *Bacillariophyceae* (Van Den Hoek *et al.*, 1995). Las diatomeas son un grupo taxonómico de eucariotas unicelulares cuya característica más importante es la presencia de una pared silíceas que puede tener multitud de variaciones morfológicas y ser muy ornamentada, y que representan el grupo de autótrofos más exitoso en el ambiente pelágico, tanto por su gran diversidad de formas y especies, como por su importante contribución a la productividad global (Hernández-Becerril, 2014).

### **Dinoflagelados**

Pertenece a la división *Dynophyta* clase *Dynophyceae* (Van Den Hoek *et al.*, 1995). Los dinoflagelados son protistas alveolados (*Alveolata*) unicelulares que pueden formar cadenas o filamentos, en general poseen 2 flagelos de forma y función diferente, y pueden ser formas fotosintéticas, mixótrofas, heterótrofas o parasitas. (Hernández-Becerril, 2014).

Los dinoflagelados son considerados el grupo más abundante y diverso de microalgas del fitoplancton después de las diatomeas. El tamaño de estos organismos va de 5  $\mu\text{m}$  hasta 2 mm y en ocasiones desarrollan estructuras anexas como aletas, cuernos o espinas. Algunos dinoflagelados se encuentran provistos de una cubierta rígida llamada teca y se conocen como dinoflagelados tecados o armados (Parra *et al.*, 2011).

## **Silicoflagelados**

Pertenece a la división *Heterokontophyta* clase *Dictyochophyceae* (Van Den Hoek *et al.*, 1995). Este grupo comprende especies Heterokontas unicelulares, incluyendo silicoflagelados y sus parientes, que son casi exclusivamente planctónicos y marinos, en sus formas fotosintéticas y heterótrofas. Los silicoflagelados se distinguen por tener un exoesqueleto silíceo que contiene al protoplasma y un solo flagelo (Hernández-Becerril, 2014).

## **Cocolitofóridos**

Pertenece a la división Haptophyta clase *Haptophyceae* (Van Den Hoek *et al.*, 1995). Es un grupo de microalgas flageladas con una estructura adicional parecida a un tercer flagelo, el haptonema, que presentan escamas orgánicas o mineralizadas (carbonato de calcio o sílice) y son muy comunes y diversas en el fitoplancton marino (Hernández-Becerril, 2014). Habitan ambientes marinos tropicales formando agregaciones denominadas cocolitofitas compuestas estructuralmente de Carbonato de Calcio ( $\text{Ca}_2\text{CO}_3$ ) (Andrade, 2010).

## **Cianófitas**

Pertenece a la división *Cyanophyta* clase *Cyanophyceae* (Van Den Hoek *et al.*, 1995). Las cianófitas son organismos procariontes y al igual que las bacterias tienen células poco complejas, carentes de orgánulos delimitados por membranas. Metabólicamente se caracterizan y se distinguen de otros procariontes, por ser fotoautótrofos oxigénicos. Como pigmentos fotosintéticos presentan clorofila a y pigmentos accesorios y protectores (ficobilinas y carotenoides) (Cubas, 2008).

Son importantes en muchos aspectos: fueron las formas dominantes de la Tierra durante más de 1500 millones de años, fueron los primeros fotosintetizadores contribuyendo en la oxigenación de la atmósfera primitiva del planeta, las primeras en producir clorofila a y b así como una gran variedad de pigmentos fotosintéticos accesorios y precursores de los cloroplastos de las algas y plantas terrestres (Cubas, 2008).

## **Clorofitas**

Pertencen a la división *Chlorophyta* clase *Chlorophyceae* (Van Den Hoek *et al.*, 1995). Este grupo está compuesto de microalgas verdes ancestrales, fotosintéticas, unicelulares, con una gran variedad de formas (desde cocoides, ovoides, hasta en forma de corazón), y tallas (pertenecientes al nano o picoplancton), con o sin flagelos y en general con escamas orgánicas externas muy ornamentadas. (Hernández-Becerril, 2014).

## **Euglenofitas**

Pertencen a la división *Euglenophyta* clase *Euglenophyceae* (Van Den Hoek *et al.*, 1995). Las formas planctónicas marinas de este grupo son flageladas, fusiformes, fotosintéticas o heterótrofas. Presentan una película externa que les confiere plasticidad y uno o 2 flagelos que se insertan en la faringe, en la porción anterior. Anqué no son muy comunes ni abundantes, suelen ser indicadoras de contaminación costera (Hernández-Becerril, 2014).

## **Factores que afectan a la composición y distribución del plancton**

La composición de las poblaciones del plancton y su distribución no son homogéneas porque varían en función de distintos factores, entre los cuales se cuenta con la profundidad, la distancia a la costa, la época del año, el momento del día, la disponibilidad de alimento y la temperatura de agua. Esta variación es, asimismo, significativa tanto en el espacio como en el tiempo. En el espacio, las variaciones en el eje vertical suelen encontrarse, sobre todo, entre los organismos que viven en zonas superficiales o más profundas; y en el eje horizontal, entre los que viven en aguas costeras (tanto en zonas rocosas como arenosas) o en aguas más alejadas de la costa (mar abierto). En el tiempo, las variaciones se observan a nivel diario (tanto desde primera hora del día hasta la tarde como entre horas del día y de la noche), estacional e interanual (Instituto de Ciencias del Mar, 2011).

## Antecedentes

Los estudios que se han realizado para el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) van desde aves, crustáceos, ictiofauna, ecología, macroalgas bentónicas, microalgas entre otros; sin embargo son pocos los estudios realizados sobre plancton y más en lo que corresponde al fitoplancton, los cuales se han realizado para el Golfo de México, algunas zonas de Veracruz, así como de un grupo en particular.

**Okolodkov y Blanco (2011a)** realizaron estudios de riqueza de especies para el Golfo de México y el Mar Caribe, los grupos que más se presentaron fueron: Cianofitas, Criptofitas, Diatomeas, Crisófitas, Silicoflagelados, Clorofitas, Euglenofitas y Dinoflagelados. **Alvarado et al. (2009)** determinaron la composición del fitoplancton presente en el Lago de Catemaco, identificaron 30 especies, 9 del grupo *Cyanophyta*, 9 *Chlorophyta*, 8 *Bacillariophyta*, 2 *Pyrrophyta*, 1 de *Xanthophyta* y 1 de *Euglenophyta*, siendo *Cyanophyta* el grupo más dominante y reportan 13 especies nuevas de las cuales 2 son nuevos géneros reportados para México (*Peridinium* y *Glenodiniopsis*).

**Orduña (2012)** realizó un estudio de la comunidad fitoplanctónica de la laguna de Tampamachoco y el mar frente a Playa azul y Barra Galindo, identificando 265 especies de las cuales las divisiones que más destacaron fueron: *Bacillariophyta*, *Dinophyta*, *Chlorophyta*, *Cyanophyta* y *Ochrophyta*, siendo las especies más abundantes *Rhizosolenia imbricata*, *Thalassionema nitzschoides* y *Karenia brevis*.

**Galicia y Morales (2007)** presentan un diagnóstico del conocimiento de las macroalgas bentónicas, derivado de diferentes trabajos realizados desde 1847 a 2007, en este trabajo presentan un listado de las especies que están reportadas bibliográficamente habiendo un total de 284 especies, 55.3% son algas rojas (*Rhodophyta*), 14.1% algas cafés (*Phaeophyta*) y 30.6% algas verdes (*Chlorophyta*). **Parra et al. (2011)** mencionan que los dinoflagelados son considerados como el grupo más abundante y diverso de microalgas del fitoplancton después de las diatomeas y en esta investigación dan a conocer la composición específica de dinoflagelados de los órdenes Prorocentrales y Dinophysiales recolectados en el período de Octubre 2006 a Enero 2007.

Las Isla Santiaguillo ha sido incluida en algunos estudios sobre circulación de mareas, corrientes, enfermedades de corales, etc., uno de los trabajos realizados sobre fitoplancton es de **Góngora (2014)** realizó un estudio bimensual durante un

año (2011-2012), en el cual hizo un análisis de clorofilas “a”, “b” y “c” utilizando el método espectrofotométrico a dos profundidades (0.30m y 3m), describió la variación de la biomasa y determinó taxonómicamente los grupos de fitoplancton y zooplancton, reportando 23 géneros para el fitoplancton, siendo los más abundantes *Asterionellopsis*, *Ceratium*, *Chaetoceros*, *Coscinodiscus*, *Rhizosolenia* y *Trichodesmium* con una densidad mayor en el mes de Julio con 374 583 333 org/l, mientras en el zooplancton los foraminíferos, tintinidos, poliquetos, moluscos, equinodermos, quetognatos y copépodos fueron los más abundantes.

**Ortiz (2016)** describió la densidad, abundancia y composición específica de los grupos de fitoplancton encontrados en el arrecife Santiaguillo y frente a las costas de Antón Lizardo durante un año, identificando 85 especies, de los cuales los géneros representativos fueron: *Rhizosolenia*, *Neoceratium*, *Thalassionema*, *Coscinodiscus*, *Navicula* y *Pseudo-nitzschia*. **Hernández (2016)** realizó un estudio bimensual del género *Chaetoceros* a lo largo de un ciclo anual, obteniendo el número de especies, clasificación e índices de diversidad  $\alpha$  y  $\beta$  en 3 zonas (playa, mar y arrecife) de la isla Santiaguillo.

## Área de estudio

El Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV), se ubica en la plataforma occidental del Golfo de México en la porción central del litoral veracruzano, sobre la plataforma continental y frente a las costas de los municipios de Veracruz, Boca del Río y Alvarado (Figura 1). 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 ([www.conanp.gob.mx](http://www.conanp.gob.mx)).



Figura 1. Polígono del Área Natural Protegida Parque Sistema Arrecifal Veracruzano mapa tomado de comparación en el uso de globos y drones como herramientas para el mapeo y monitoreo del PNSAV.

Los Parques Nacionales son áreas con uno o más ecosistemas que se signifiquen por su belleza escénica, su valor científico, educativo de recreo, su valor histórico, por la existencia de flora y fauna, por su aptitud para el desarrollo del turismo, o por otras razones análogas de interés general ([www.conanp.gob.mx](http://www.conanp.gob.mx)).

El SAV, fue decretado como Parque Marino Nacional el 24 de agosto de 1992 y como Parque Nacional el 7 de junio de 1994. El PNSAV está conformado por 23 estructuras arrecifales cuyo arreglo general parece seguir la línea de costa encontrando algunos arrecifes situados hasta 20 km de la costa, mientras que otros

ya han sido alcanzados por el crecimiento antropogénico como es el caso del arrecife Hornos (Jiménez *et al.*, 2007).

De manera general en el PNSAV se observan dos complejos arrecifales: uno compuesto por 11 arrecifes ubicados frente a Veracruz-Boca del Río (arrecifes Punta Gorda, La Gallega, Galleguilla, Anegada de Adentro, La Blanquilla, Isla Verde, Sacrificios, Pájaros, Hornos, Bajo Paducah e Ingenieros) y otro compuesto por 12 arrecifes, con grandes estructuras, ubicado frente a la población de Antón Lizardo (arrecifes Giotte, Polo, Blanca, Punta Coyol, Chopas, Enmedio, Cabezo, Rizo, Santiaguillo, Anegada de Afuera, Anegadilla y Topatillo). Ambos complejos están divididos de manera natural por el río Jamapa y delimitados, al norte por el río La Antigua, y al sur por el río Papaloapan (Jiménez *et al.*, 2007).

La región occidental del Golfo de México se caracteriza por la presencia de ríos que desembocan en la placa continental de Veracruz. Cerca del SAV están localizados el río La Antigua al norte, con una descarga anual de  $2.88 \times 10^6 \text{ m}^3$ , el río Jamapa en el centro de todo el sistema con una descarga anual de  $1.89 \times 10^6 \text{ m}^3$  y el río Papaloapan al sur del SAV, con una descarga anual de  $39.19 \times 10^6 \text{ m}^3$  (Salas y Granados, 2008). 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 (Salas *et al.*, 2009).

El clima en la región suroeste del Golfo de México es de tipo Am (cálido-húmedo) con abundantes lluvias en el verano y parte del otoño, y una corta estación seca (de abril a mayo) y una precipitación anual con un promedio de 1100-2000mm. La temperatura promedio anual es  $26^\circ\text{C}$ , con un mínimo de  $18^\circ\text{C}$  en enero-febrero (García, 1987). Debido a su localización, las características climatológicas sobre PNSAV son influenciadas por factores de temporalidad, que son nortes, lluvias y secas (Zavala-Hidalgo *et al.*, 2003).

El esquema climático del área de Veracruz puede sintetizarse en dos épocas del año: 1) La época de nortes que abarca desde Septiembre hasta Abril, con escasa precipitación, temperatura baja y frecuentes invasiones de masas de aire frío del Norte, cuya fuerza pueden ser, desde vientos frescos hasta violentos y huracanados. 2) La época de lluvias, de Mayo a Agosto, que es un periodo cálido, caracterizado por temperatura elevada, alta precipitación entre Junio y Agosto, y vientos débiles del Este que soplan más o menos permanentemente. Son tan drásticas las modificaciones producidas durante el invierno, que la recuperación de

la biota arrecifal que se inicia en Marzo, alcanza un máximo desarrollo hasta los meses de Junio y Julio (Vargas, 1993).

En la región de Veracruz los frentes fríos en invierno, llamados "nortes", son más importantes para los arrecifes que los huracanes, pues afectan la temperatura del agua ([www2.inecc.gob.mx](http://www2.inecc.gob.mx)). Los últimos 3 huracanes que han impactado al estado de Veracruz son: Huracán Dean en Agosto de 2007, Huracán Opal y Roxane en 1995 ([www2.inecc.gob.mx](http://www2.inecc.gob.mx)).

**Fauna:** una de las características más importantes de esta área es el desarrollo de varias especies de corales pétreos los cuales, a su vez, permiten el establecimiento de moluscos como las almejas, caracoles y babosas; gusanos poliquetos y anélidos, entre otros; equinodermos como estrellas de mar, erizos y galletas de mar. Además existe un sin número de peces y de crustáceos como camarones y langostas ([www2.inecc.gob.mx](http://www2.inecc.gob.mx)).

**Taxa amenazados:** *Acropora palmata* (Pr) (coral cuerno de alce), *A. cervicornis* (Pr) (coral cuerno de ciervo) y *Plexaura homomalla* (Pr) (coral blando) ([www2.inecc.gob.mx](http://www2.inecc.gob.mx)).

El presente trabajo se efectúa en dos estaciones alrededor de la isla Santiaguillo que pertenece al Sistema Arrecifal Veracruzano: el lado oriental de la isla y el lado occidental. El arrecife Santiaguillo se localiza en las coordenadas: 19° 08.5' LN, 095° 48.5' LW ([digaohm.semar.gob.mx](http://digaohm.semar.gob.mx)) cuya superficie es de 46.16 hectáreas ([dof.gob.mx](http://dof.gob.mx)), forma parte del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano localizado en el estado de Veracruz y ubicado frente a la localidad de Antón Lizardo. En su parte media emerge un pequeño cayo color blanco. Está conformado por gran cantidad de material coralífero y conchas, carece de vegetación y cuenta con señalamiento marítimo ([digaohm.semar.gob.mx](http://digaohm.semar.gob.mx))

En el lado occidental se encuentra el arrecife Santiaguillo, el cual presenta una profundidad que va de 3 a 15 metros. Esta zona se encuentra más protegida de la acción del viento por lo que las olas que se presentan son más pequeñas (alrededor de 30 centímetros) y existe un mayor contacto con el fondo del sistema.

Los arrecifes pueden estar formados por corales, algas, esponjas y otros organismos ([www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx)). Los arrecifes coralinos se encuentran entre los ecosistemas más ricos de nuestro planeta, tanto en número de especies como en producción biológica y son resultado de más de 100 millones de años de

evolución. Los arrecifes coralinos son los ecosistemas marinos de mayor riqueza biológica ([www.semarnat.gob.mx](http://www.semarnat.gob.mx)).

Los arrecifes coralinos son lugares con una gran importancia ecológica y se les conoce como hábitats críticos por su diversidad de funciones. Juegan un papel muy importante en la dinámica costera al prevenir la erosión y disminuir la fuerza del oleaje, además de constituir la estructura de protección más efectiva contra el fuerte afecto de las tormentas tropicales y huracanes. Todos estos organismos tienen una participación muy importante dentro del ecosistema, algunos como productores primarios, constructores del mismo arrecife, filtradores y depredadores. Los arrecifes son lugares de crianza, refugio, alimentación y reproducción de muchas especies de invertebrados y vertebrados principalmente de especies de carácter comercial dando alimento a una gran parte de la población mexicana ([www.biodiversidad.gob.mx](http://www.biodiversidad.gob.mx)).

El lado oriental presenta una mayor profundidad que la zona anterior, que va desde 10 hasta 20 metros. Presenta menor influencia al contacto con los sedimentos. En este lugar no se presenta el arrecife y como no existe una barrera contra los vientos que corren desde el Golfo de México se encuentra a merced de los mismos provocando un oleaje más intenso (entre 1 y 2 metros), bajo la influencia de un sistema de corrientes y contracorrientes derivado de la corriente del Lazo, que es la principal que se presenta en el Golfo de México y que corre de sur a norte (Schneider *et al.*, 2004; Salas *et al.*, 2009).

## **Justificación**

Los estudios científicos realizados sobre el Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV) han sido para aves, crustáceos, ictiofauna, equinodermos, ecología, macroalgas bentónicas entre otros. Son pocos los estudios realizados sobre plancton y más en lo que corresponde al fitoplancton. Los estudios realizados pertenecen a un género específico, por lo que este estudio contribuirá a tener más información sobre el fitoplancton existente en el SAV y en especial de la isla Santiaguillo. Además también aportará información sobre posibles diferencias entre el fitoplancton que se encuentra en la zona oriental y occidental.

## **Hipótesis**

El fitoplancton podría variar entre la zona occidental y oriental de la isla Santiaguillo debido a las diferentes condiciones que se presentan en cada una de estas zonas como: la temperatura, las corrientes, la profundidad y las condiciones atmosféricas entre otras, por lo que se espera mayor densidad y composición en el lado occidental de la isla debido a que se encuentra con mayor protección al viento, disponibilidad de nutrimentos y oxigenación constate debido a las corrientes y mareas.

## **Objetivo general**

- Conocer y analizar el fitoplancton presente alrededor de la isla Santiaguillo en sus zonas oriental y occidental.

## **Objetivos particulares**

- Determinar el fitoplancton presente en las zonas de estudio.
- Obtener la densidad y composición fitoplanctónica a lo largo de un ciclo anual
- Analizar y comparar los resultados en ambas zonas y métodos de muestreo.

# Método

## Trabajo de campo

Se realizaron muestreos bimensuales durante un ciclo anual que comprende de Enero de 2014 a Diciembre de 2014 en 2 zonas de muestreo que corresponden al lado oriental y occidental de la isla (Figura 2).

- Zona 1: se encuentra sobre el arrecife Santiaguillo en el lado occidental de la isla. Presenta entre 5 y 10 m de profundidad, es una zona más protegida de la acción del viento, por lo que la amplitud de las olas es de 10 cm en promedio y las corrientes marinas presentan menor intensidad.
- Zona 2: se encuentra en el lado oriental de la isla. Presenta una profundidad de 25 m, es una zona que por tener influencia oceánica se encuentra más expuesta a la acción del viento, por lo que la amplitud de las olas puede ser de 1 m en promedio y las corrientes marinas se manifiestan con mayor fuerza que en la zona1.



**Figura 2.** Área Natural Protegida Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Zona 1: occidental y zona 2: oriental (isla Santiaguillo), mapa tomado de comparación en el uso de globos y drones como herramientas para el mapeo y monitoreo del PNSAV

Las coordenadas se tomaron con un GPS (marca Garmin Etrex) en cada una de las zonas de muestreo. Se registró temperatura (con un termómetro de mercurio de -20 a 150 °C marca Brannan), visibilidad del agua con ayuda del disco de Secchi, pH (con un potenciómetro modelo Oakton), oxígeno disuelto (con un oxímetro marca Hanna Instruments HI 9145), salinidad (con un salinómetro marca Tracer Pocket Tester).

Para la toma de muestras se utilizaron dos métodos.

1. El primero utilizando una botella Van Dorn horizontal (marca Wildco) con una capacidad de 3 L a una profundidad de 0.3 y 5 metros (Jairo, 2000).
2. El segundo con la ayuda de una red de cono reducido de fitoplancton de 80 $\mu$  de abertura de malla y diámetro de boca de 12 cm. Las muestras se tomaron a una velocidad de lancha de 1m/seg durante un minuto (DeBoyd, 1977).



Figura 2.1. Arrastre con la red para fitoplancton desde la lancha

Para el almacenamiento de las muestras se utilizaron recipientes de plástico transparentes con una capacidad de 40 ml (previamente etiquetados con fecha, punto de muestreo, si es de red o botella, nombre, etc., con marcador indeleble). Posteriormente se fijaron las muestras con formol al 4% para la conservación de los organismos durante su transporte al laboratorio (Jairo, 2000).

## **Trabajo de laboratorio**

Se observó cada una de las muestras en un microscopio invertido (marca Olympus modelo IX70). Se identificaron cada una de las especies con la ayuda de claves taxonómicas (Alonso *et al.*, 2008; DeBoyd, 1977; Dimar-CIOH, 2011; Durán, 1998; Esqueda y Hernández, 2010; Ferrario *et al.*, 2008; Min *et al.*, 2011; Parra *et al.*, 2011; Pearson *et al.*, 2012; Okolodkov, 2008; Okolodkov, 2010; Okolodkov, 2014; y Tomas, 1997). Se elaboraron dibujos y se tomaron fotografías de cada una de las especies observadas.

Para el recuento de las especies se utilizó el método de Utermöhl, en el cual se homogenizó previamente la muestra, posteriormente se vertió en una cámara de Utermöhl (de 2 a 3 ml esto depende de la densidad de la muestra), se agregaron 2 gotas de acetato de lugol y se dejó sedimentar por 24 horas. Posteriormente se escogieron 20 campos al azar y se observaron a 40x (Jairo, 2000).

Se comparó la densidad del fitoplancton en muestras de arrastre y botella.

## **Trabajo de gabinete**

Se realizó el cálculo del volumen filtrado y posteriormente la extrapolación de datos (anexo 2).

Se elaboraron gráficas de densidad total, densidad por género y especies presentes a través del tiempo para cada uno de los métodos y estaciones de muestreo, con la finalidad de observar la distribución de los datos esto con la ayuda del programa Excel 2013. Los resultados obtenidos de las muestras recolectadas con botella y con red fueron comparados con diagramas de cajas (Salgado, 1992), con la ayuda del programa Statgraphics Centurión XV.II.

Se realizó la prueba de normalidad (Kolmogorov-Smirnov) y pruebas de comparación de varianzas (Levene y test de Bartlett), para determinar si los datos seguían una distribución normal y presentaban homocedasticidad, una vez que se determinó que los datos cumplían estos supuestos, se realizaron pruebas paramétricas. Se realizó una prueba t de Student para determinar si existen diferencias estadísticas entre las profundidades y las zonas con respecto a la densidad y para los meses un análisis de varianza (ANOVA), además se hizo una prueba de rangos múltiples para saber que pares de meses presentaban diferencias, todos en el programa Statgraphics Centurión XV.II

Se elaboraron diagramas de Olmstead-Tukey para jerarquizar la dominancia de las especies fitoplanctónicas para cada estación y tipo de muestreo, siendo las especies categorizadas como dominantes, constantes, ocasionales y raras (Sokal y Rohlf, 1981). Se obtiene a partir de la relación entre la abundancia de los organismos y sus frecuencias de aparición. El criterio de discriminación se basa en la mediana de la frecuencia de aparición relativa para el eje de las “X” y de la mediana respectiva del logaritmo de la sumatoria de la abundancia absoluta para el eje de las “Y”. Al trazar ambas sobre el plano cartesiano se perfilan cuatro cuadrantes. *Las especies dominantes*, son aquellas que presentan la densidad y la frecuencia mayor a la mediana. *Las constantes* presentan densidades menores a la mediana y la frecuencia mayor a la mediana. *Las ocasionales* son las que presentan densidad mayor a la mediana y frecuencia menor a la mediana. Por último, las especies *raras* presentan densidades y frecuencias menores a ambas medianas (Varona-Cordero & Gutiérrez, 2003).



Figura 2.2 Esquema teórico de la prueba de Olmstead-Tukey Modificada por (González-Acosta et al., 2005).

Para observar la similitud entre los meses se realizaron dendrogramas con las densidades totales y los parámetros obtenidos en las estaciones de muestreo con ayuda del programa Statgraphics Centurión XV.II.

## Resultados

Las especies identificadas en los recuentos se enlistan en la Tabla 1a. Los organismos se determinaron taxonómicamente en 3 divisiones, 5 clases, 20 órdenes, 21 familias, 30 géneros y 54 especies de acuerdo a AlgaeBase (www.algaebase.org). De las 54 especies encontradas; 50 fueron determinadas hasta especie y 4 hasta clase, debido a que algunas características no pudieron ser observadas en el microscopio invertido. En la zona occidental se determinaron 16 familias, 18 géneros y 25 especies y en la zona oriental 17 familias, 23 géneros y 37 especies tabla 1b. Los géneros como *Pseudo-nitzschia*, *Chaetoceros*, *Trichodesmium*, *Rhizosolenia*, *Nitzschia* y un género de diatomea pennada son los más representativos por su frecuencia durante los muestreos mientras que los géneros como *Navicula*, *Odontella*, *Skeletonema*, *Thalassionema*, *Coscinodiscus*, *Biddulphia*, *Melosira*, *Bacteriastrium*, *Neocalyptrella*, *Stepanopyxis*, *Ceratium*, *Dinophysis*, *Gonyaulax*, *Histoneis*, *Ornithocercus*, *Protoperdinium*, *Aulacoseira*, *Anabaena*, *Spirulina* y un género de diatomea central fueron poco frecuentes. Los resultados obtenidos en los dos métodos de muestreo utilizados (botella y red) se dividieron para su mejor apreciación. No se cuenta con las muestras de los últimos dos bimestres debido a que no se pudo muestrear por razones meteorológicas.

**Tabla 1a. Lista taxonómica de las especies encontradas en los estaciones de muestreo.**

División	Clase	Orden	Familia	Genero	Especie
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Microcoleaceae	<i>Trichodesmium</i>	<i>Trichodesmium erythraeum Ehrenberg ex Gomont 1892</i>
		Nostocales	Aphanizomenonaceae	<i>Anabaena</i>	<i>Anabaena sp V.V.Miller, 1923</i>
					<i>Especie 1 (cianofita no determinada)</i>
Chlorophyta	Chlorophyceae				<i>Especie 2 (Clorofita no determinada)</i>
		Spirulinales	Spirulinaceae	<i>Spirulina</i>	<i>Spirulina sp Turpin ex Gomont, 1892</i>

Bacillariophyta	Coscinodiscophyceae	Aulacoseirales	Aulacoseiraceae	<i>Aulacoseira</i>	<i>Aulacoseira</i> sp
		Coscinodiscales	Coscinodiscaceae	<i>Coscinodiscus</i>	<i>Coscinodiscus</i> sp
					<i>Coscinodiscus granii</i> Gough 1905
					<i>Coscinodiscus wailesii</i> Gran et Angst 1931
		Melosirales	Melosiraceae	<i>Melosira</i>	<i>Melosira</i> sp Agardh 1824
		Rhizosoleniales	Rhizosoleniaceae	<i>Guinardia</i>	<i>Guinardia flaccida</i> (Castracane) Peragallo 1892
				<i>Neocalyptrella</i>	<i>Neocalyptrella robusta</i> (Norman) Hernández Becerril et Meave 1997
				<i>Rhizosolenia</i>	<i>Rhizosolenia imbricata</i> Brightwell 1858
		Stephanopyxales	Stephanopyxidaceae	<i>Stephanopyxis</i>	<i>Stephanopyxis</i> sp
					Especie 3 (diatomea central sin determinar)
	Mediophyceae	Biddulphiales	Biddulphiales	<i>Biddulphia</i>	<i>Biddulphia</i> sp
		Chaetocerotales	Chaetocerotaceae	<i>Bacteriastrum</i>	<i>Bacteriastrum delicatulum</i> Cleve 1854
					<i>Bacteriastrum furcatum</i> Shadbolt 1854
				<i>Chaetoceros</i>	<i>Chaetoceros affinis</i>
					<i>Chaetoceros coarctatus</i> Lauder 1864

					<i>Chaetoceros danicus</i> Cleve 1889
					<i>Chaetoceros decipiens</i> Cleve 1873
					<i>Chaetoceros diversus</i> Cleve 1873
		<b>Eupodiscales</b>	<b>Eupodisceaceae</b>	<i>Odontella</i>	<i>Odontella longicuris</i>
		<b>Skeletonemataceae</b>	<b>Skeletonema</b>	<i>Skeletonema</i>	<i>Skeletonema costatum</i> Cleve 1878
	<b>Bacillariophyceae</b>	<b>Bacillariales</b>	<b>Bacillariaceae</b>	<i>Nitzschia</i>	<i>Nitzschia closterium</i>
					<i>Nitzschia longissima</i> (Brébisson ex kützing) Grunow 1861
					<i>Nitzschia sigma</i>
				<i>Pseudo-nitzschia</i>	<i>Pseudo-nitzschia multiseris</i> (Hasle) 1974
					<i>Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima</i> (Hasle) Hasle 1993
		<b>Fragilariales</b>	<b>Fragilariaceae</b>	<i>Asterionellopsis</i>	<i>Asterionellopsis glacialis</i> (Castracane) Round in Round, Crawford 1886
				<i>Fragilaria</i>	<i>Fragilaria</i> sp Lyngbye 1819
		<b>Naviculales</b>	<b>Pleurosigmataceae</b>	<i>Gyrosigma</i>	<i>Gyrosigma</i> sp
		<b>Naviculales</b>	<b>Naviculaceae</b>	<i>Navicula</i>	<i>Navicula</i> sp Bory de Saint-Vicent 1882
		<b>Thalassionematales</b>	<b>Thalassionemataceae</b>	<i>Thalassionema</i>	<i>Thalassionema frauenfeldii</i> (Grunow)

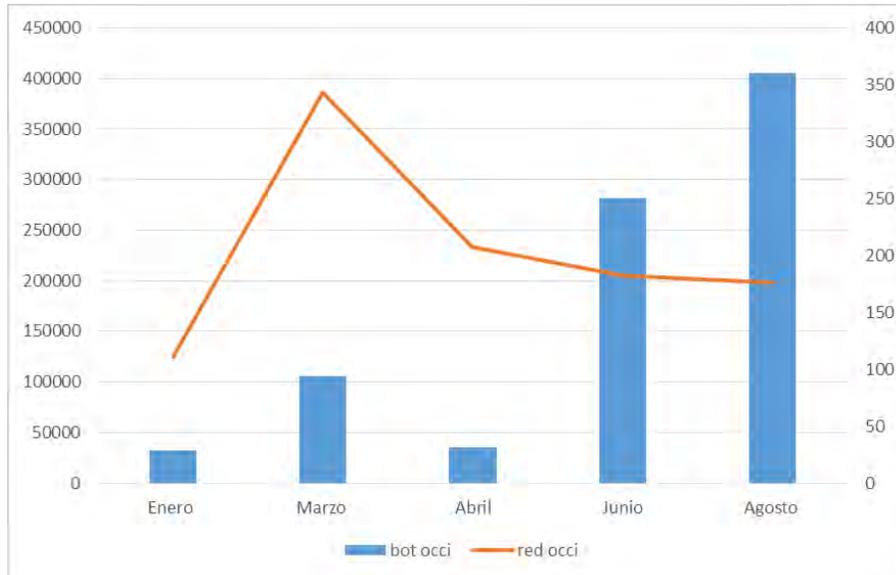
					<i>Tempère &amp; Peragallo 1910</i>
					<i>Thalassionema nitzschioides (Grunow) 1862</i>
					<i>Especie 4 (diatomea penada sin determinar)</i>
<b>Dinophyta</b>	<b>Dinophyceae</b>	<b>Dinophysiales</b>	<b>Dinophysaceae</b>	<b>Dinophysis</b>	<i>Dinophysis sp</i>
					<i>Dinophysis argus (Stein) Abé</i>
				<b>Histoneis</b>	<i>Histoneis para Murray &amp; Whitting 1899</i>
				<b>Ornithocercus</b>	<i>Ornithocercus quadratus Schütt 1900</i>
					<i>Ornithocercus orbiculatus Kofoid &amp; Michener 1911</i>
		<b>Gonyaulacales</b>	<b>Ceratiaceae</b>	<b>Ceratium</b>	<i>Ceratium contortum var contortum (Gourret) Cleve 1900</i>
					<i>Ceratium contortum var karstenii (Pavill.) Sournia 1966</i>
					<i>Ceratium contrarium (Gourret) Pavillard 1905</i>
					<i>Ceratium furca (Ehrenberg) Claparède &amp; Lachmann 1859</i>
					<i>Ceratium horridum var horridum (Cleve) Gran 1902</i>
					<i>Ceratium macroceros var. macroceros</i>

					(Ehrenberg) Vanhöffen 1897
					<i>Ceratium massiliense</i> (Gourret) Karsten 1906
					<i>Ceratium tripos</i> var. <i>breve</i> Ostenfeld & Schmidt 1901
			Gonyaulacaceae	<i>Gonyaulax</i>	<i>Gonyaulax sp</i>
		Peridinales	Peridiniaceae	<i>Peridinium</i>	<i>Peridinium sp</i>
				<i>Protoperidinium</i>	<i>Protoperidinium claudicans</i> (Paulsen) Balech 1974
				<i>Protoperidinium</i>	<i>Protoperidinium quarnerense</i> (B.Schröder) Balech 1974

Occidental	Oriental	Ambas
❖ <i>Spirulina sp</i>	❖ <i>Bacteriastrum delicatulum</i>	❖ <i>Aulacoseira sp</i>
❖ <i>Anabaena sp</i>	❖ <i>Bacteriastrum furcatum</i>	❖ <i>Chaetoceros sp</i>
❖ <i>Odontella longicuris</i>	❖ <i>Neocalyptrella robusta</i>	❖ <i>Chaetoceros dicipiens</i>
❖ <i>Skeletonema costatum</i>	❖ <i>Stephanopyxis sp</i>	❖ <i>Navicula sp</i>
❖ <i>Peridinium sp</i>	❖ <i>Fragilaria sp</i>	❖ <i>Nitzschia sp</i>
❖ <i>Dinophysis argus</i>	❖ <i>Gyrosigma sp</i>	❖ <i>Pseudo-nitzschia sp</i>
❖ <i>Ceratium contortum var. contortum</i>	❖ <i>Guinardia flaccida</i>	❖ <i>Rhizosolenia imbricata</i>
❖ <i>Ceratium horridum</i>	❖ <i>Gonyaulax sp</i>	❖ <i>Thalassionema sp</i>
❖ <i>Ceratium macroceros</i>	❖ <i>Nitzschia longissima</i>	❖ <i>Trichodesmium erythraeum</i>
❖ <i>Histoneis</i>	❖ <i>Nitzschia sigma</i>	❖ <i>Melosira sp</i>
❖ <i>Ornithocercus orbiculatus</i>	❖ <i>Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima</i>	❖ <i>Nitzschia closterium</i>
❖ especie de cianofita	❖ <i>Thalassionema nitzschoides</i>	❖ <i>Coscinodiscus sp</i>
	❖ <i>Protoperidinium claudicans</i>	❖ Especie de diatomea pennada.
	❖ <i>Protoperidinium quarnerense</i>	
	❖ <i>Peridinium sp</i>	
	❖ <i>Dinophysis sp</i>	
	❖ <i>Ceratium contrarium</i>	
	❖ <i>Ceratium contortum var karstenii</i>	
	❖ <i>Ceratium massiliense</i>	
	❖ <i>Ceratium tripos</i>	
	❖ <i>Ceratium furca</i>	
	❖ <i>Ornithocercus quadratus</i>	
	❖ Especie de diatomea central	
	❖ Especie de clorofita.	

Tabla 1 b. Registro de géneros y especies en las zonas de muestreo.

Se hizo una comparación entre las densidades totales de los métodos de muestreo (botella vs red) de la zona occidental (figura 3). La densidad total en botella llega hasta los 400,000 org/l en comparación con la de red que no sobrepasa los 400 org/l. A pesar de la diferencia entre las densidades que presenta cada método su comportamiento es similar, ya que hay un aumento en el mes de enero a marzo y posteriormente una disminución en abril, mientras que en junio y agosto las densidades en botella aumentan y las de red permanecen constantes.



**Figura 3. Densidad obtenida (org/l) en muestras de botella y de red en la zona occidental de la isla Santiaguillo.**

Para la zona oriental (figura 4). La densidad total para muestras de botella llega a 1, 200, 000 org/l, mientras que la correspondiente a red llega a 450 org/l, ambas aumentan de enero a marzo, en el mes de abril las densidades de botella disminuyen, en red aumentan un poco y para los meses de junio y agosto hay un aumento considerable.

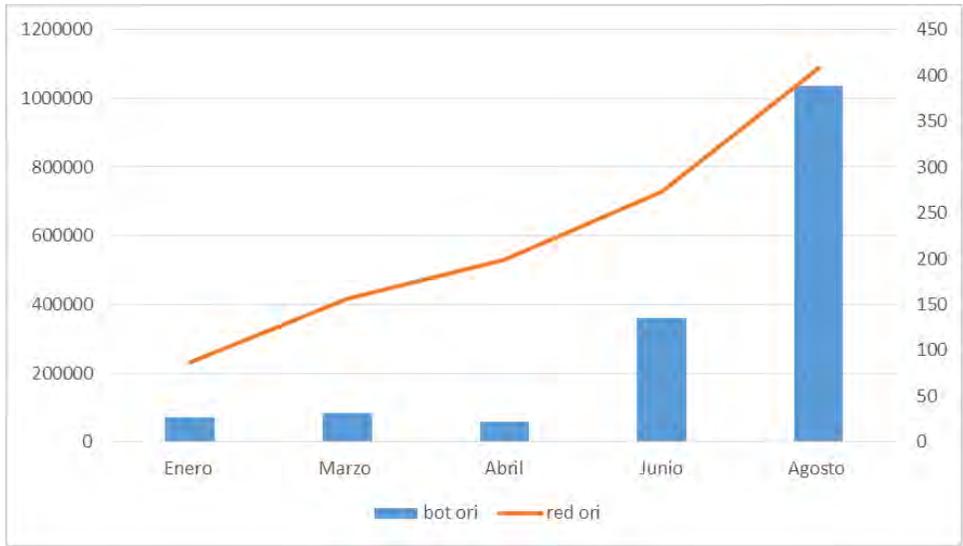


Figura 4. Densidad obtenida (org/l) en muestras de botella y de red en la zona oriental de la isla Santiaguillo.

## Resultados de muestras de botella

Para las profundidades analizadas (0.3 y 5 m) de la zona occidental se realizó un análisis exploratorio de cajas múltiples. En la figura 5, se puede observar una diferencia entre el tamaño de las cajas debido a la dispersión que presentan los datos de la densidad, se presenta un valor extraordinario que corresponde al mes de agosto para la profundidad de 5 m y se puede observar que existe un traslape entre las muescas lo que sugiere que no existen diferencias entre las dos profundidades.

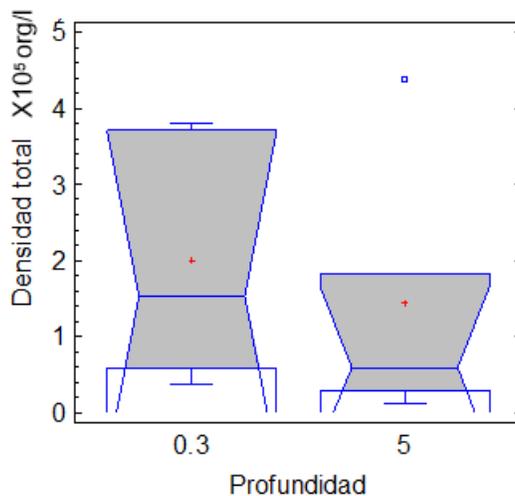


Figura 5. Diagrama de cajas múltiples para las profundidades 0.3 y 5 m de la zona occidental.

La tabla 2 presenta el resumen de las pruebas estadísticas realizadas para la comparación de densidades totales del fitoplancton en las dos profundidades estudiadas (0.3 y 5 m) en la zona occidental.

Prueba estadística	Valor de P	Decisión
Kolgomorov-Smirnov	P= 0.818621	Presenta distribución normal
Levene, verificación de varianzas	P= 0.89963	Presentan igualdad de varianzas
t de Student	P = 0.626301	No existen diferencias entre las profundidades

Tabla 2. Pruebas estadísticas para la comparación de profundidades (0.3 y 5 m) de la zona occidental, con un nivel de confianza del 95.0%.

En la figura 6, en el diagrama de cajas múltiples de los meses de la zona occidental, hay un traslape de muescas entre enero, marzo y abril lo que sugiere que no existen diferencias entre estos meses, el mes de junio presenta un traslape de muescas con el mes de agosto y a su vez un pequeño traslape con los meses de marzo y abril, pero debido a su dispersión puede formar un grupo aparte con el mes de agosto.

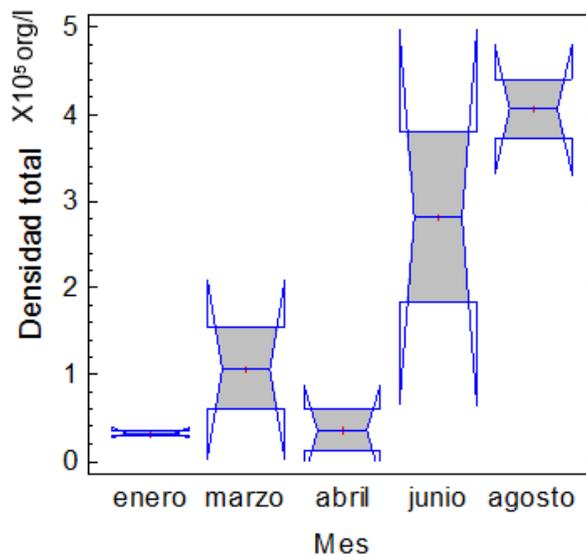


Figura 6. Diagrama de cajas múltiples de los meses de la zona occidental.

La tabla 3 muestra los análisis estadísticos realizados para la comparación de las densidades totales de fitoplancton obtenidas a través del tiempo.

Prueba estadística	Valor de P	Decisión
Kolgomorov-Smirnov	P= 0.95463	Presenta distribución normal
Test de Bartlett verificación de varianzas	P= 0.277349	Presentan igualdad de varianzas
ANOVA	P= 0.0134	Presentan diferencias los meses
Prueba de rangos múltiples		Las parejas de meses que presentaron diferencias fueron: enero-junio, enero-agosto, marzo-agosto, abril-junio y abril-agosto

Tabla 3. Pruebas estadísticas para la comparación de la densidad a través del tiempo de la zona occidental, con un nivel de confianza del 95.0%.

En el diagrama de cajas múltiples para las profundidades 0.3 y 5 metros de la zona oriental (figura 7), se observa una diferencia mínima en el tamaño de las cajas, con una mayor dispersión en la profundidad de 5 m, se presenta un valor extraordinario en el mes de agosto para la profundidad de 0.3 m y hay un traslape de muestras lo que nos sugiere que no existen diferencias entre las dos profundidades.

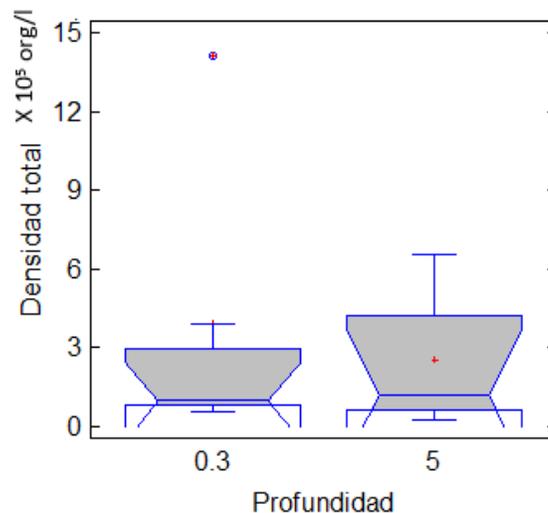


Figura 7. Diagrama de cajas múltiples para las profundidades de la zona oriental.

A continuación se muestra un resumen de las pruebas estadísticas realizadas para la comparación de las profundidades de la densidad total de fitoplancton encontrada en la zona oriental (tabla 4).

Prueba estadística	Valor de P	Decisión
Kolgomorov-Smirnov	P= 0.999965	Presenta una distribución normal
Leven, verificación de varianzas	P= 0.172939	Presentan igualdad de varianzas
t de Student	P = 0.65511	No existen diferencias entre las profundidades

Tabla 4. Pruebas estadísticas para la comparación de profundidades (0.3 y 5 m) de la zona oriental con un nivel de confianza del 95.0%.

En la figura 8, en el diagrama de cajas múltiples para los meses de la zona oriental, se observa un traslape de muescas en los meses de enero, marzo y abril, el mes de junio y agosto también presentan un traslape de muescas formando un grupo más definido.

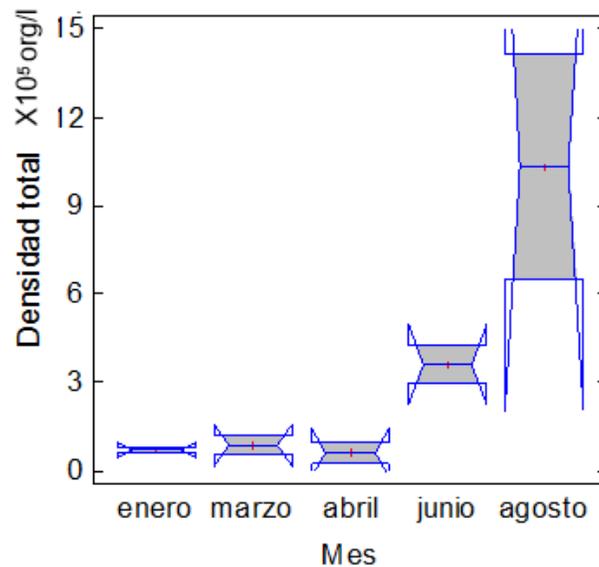


Figura 8. Diagrama de cajas múltiples para los meses de la zona oriental.

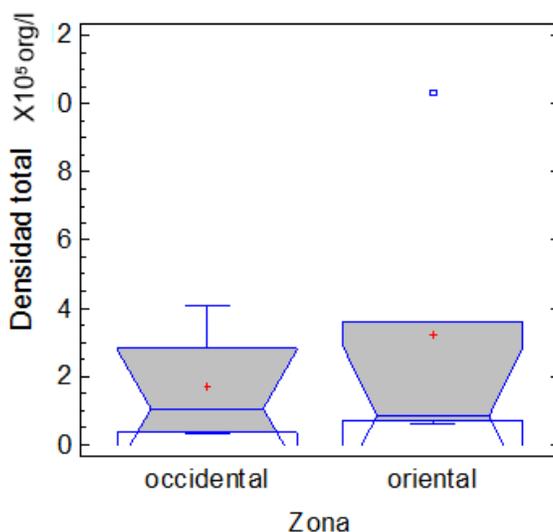
En la tabla 5 se muestra un resumen de las pruebas estadísticas realizadas para la comparación de la densidad total del fitoplancton presente en la zona oriental a través del tiempo.

Prueba estadística	Valor de P	Decisión
Kolgomorov-Smirnov	P= 0.95463	Presenta distribución normal

<b>Test de Bartlett verificación de varianzas</b>	P= 0.0668778	Presentan igualdad de varianzas
<b>ANOVA</b>	P= 0.0410	Presentan diferencias los meses
<b>Prueba de rangos múltiples</b>		Las parejas de meses que presentaron diferencias fueron: enero-agosto, marzo-agosto, abril-agosto y junio-agosto

**Tabla 5. Pruebas estadísticas para la comparación de la densidad a través del tiempo de la zona oriental con un nivel de confianza del 95.0%.**

En la figura 9, en el diagrama de cajas múltiples de la zona oriental contra la occidental, se presenta un valor extraordinario que corresponde al mes de agosto y hay un traslape de las muestras entre las dos zonas lo que nos indica que no existen diferencias significativas entre las dos zonas.



**Figura 9. Diagrama de cajas múltiples de la zona occidental y oriental de la isla Santiaguillo.**

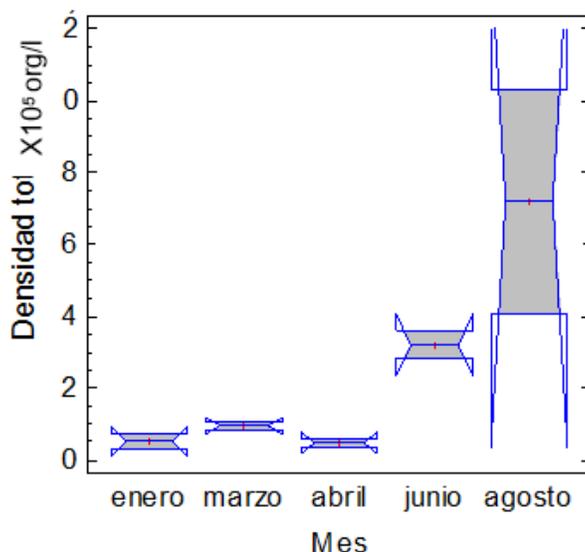
En la tabla 6 se muestran los análisis estadísticos realizados para la comparación de la densidad total de fitoplancton entre la zona occidental y oriental.

<b>Prueba estadística</b>	<b>Valor de P</b>	<b>Decisión</b>
<b>Kolgomorov-Smirnov</b>	P= 0.818621	Presenta una distribución normal

<b>Levene, comparación de varianzas</b>	P= 0.100071	Presentan igualdad de varianzas
<b>t de Student</b>	P = 0.475532	No existen diferencias entre las zonas

**Tabla 6. Pruebas estadísticas para la comparación de la zona occidental y oriental con un nivel de confianza del 95.0%.**

En la figura 10, en el diagrama de cajas múltiples para los meses de la zona occidental contra la zona oriental, hay un traslape de muescas entre enero, marzo, abril y agosto, mientras el mes de junio solo presenta traslape con el mes de agosto.



**Figura 10. Diagrama de cajas múltiples para los meses de la zona occidental y oriental de la isla Santiaguillo.**

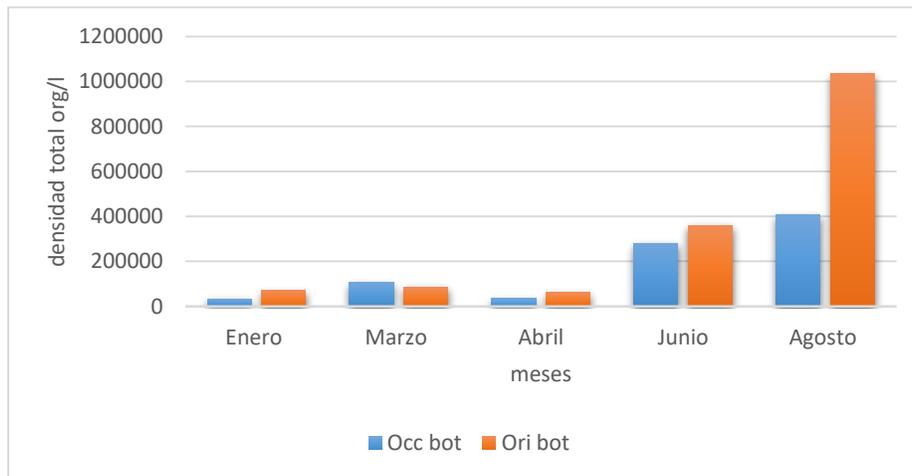
Las pruebas estadísticas realizadas para la comparación de la densidad total de fitoplancton a través del tiempo entre las zonas estudiadas se muestran en la tabla 7.

<b>Prueba estadística</b>	<b>Valor de P</b>	<b>Decisión</b>
<b>Kolgomorov-Smirnov</b>	P= 0.95463	Presenta distribución normal
<b>Test de Bartlett verificación de varianzas</b>	P= 0.0294162	No presentan igualdad de varianzas
<b>ANOVA</b>	P= 0.0775	Presentan diferencias los meses

<b>Prueba de rangos múltiples</b>		Las parejas de meses que presentaron diferencias fueron: enero-agosto, marzo-agosto y abril-agosto
-----------------------------------	--	----------------------------------------------------------------------------------------------------

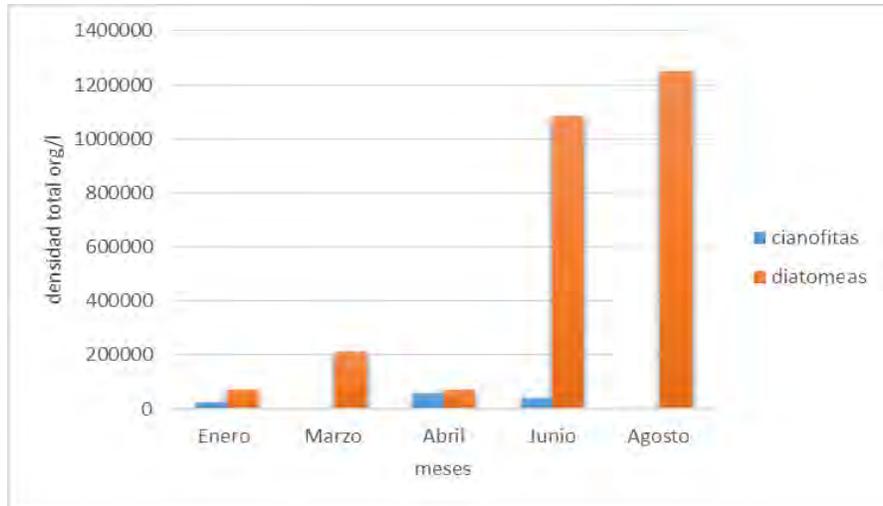
**Tabla 7. Pruebas estadísticas para la comparación entre la zona occidental y oriental con un nivel de confianza del 95.0%.**

Las densidades máximas se presentaron en los meses de junio (360,866 org/l) y agosto (1, 033,987 org/l) para la zona oriental, mientras que para la occidental fueron el mes de junio con 281,327 org/l y agosto con 405,500 org/l (figura 11).



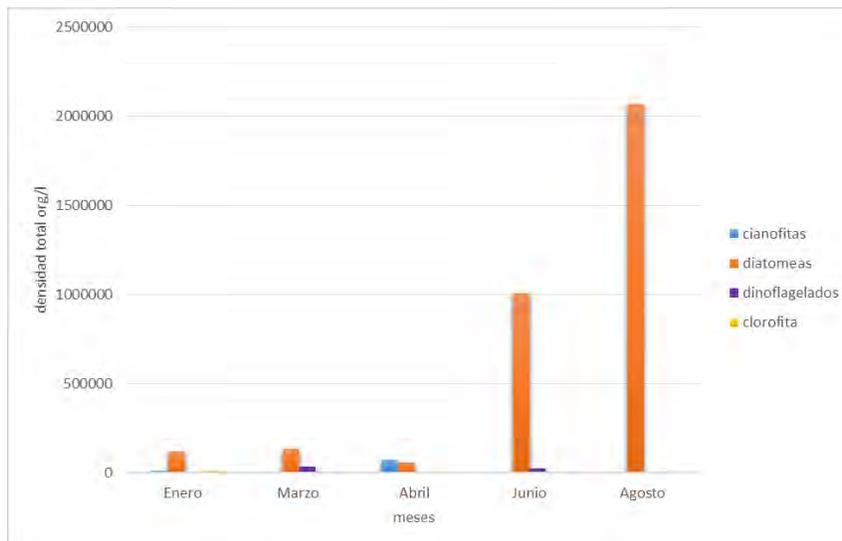
**Figura 11. Densidad total de muestras de botella a través del tiempo, en las zonas occidental y oriental de Santiaguillo.**

En la zona occidental (figura 12) las densidades máximas fueron presentadas por el grupo de las diatomeas en el mes de junio con 1,084,067 org/l seguido por el mes de agosto con 1,251,325 org/l. El grupo de las cianofitas fue el que presentó una menor densidad durante los meses de enero, abril y junio mientras que en los meses de marzo y agosto no hubo presencia de este grupo.



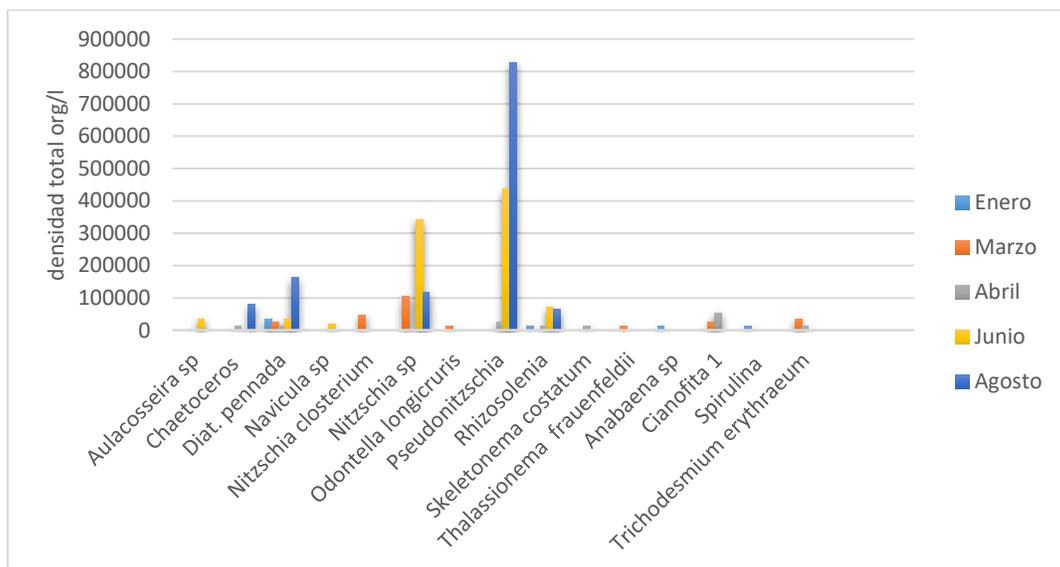
**Figura 12. Densidad total por grupos de muestras de botella a través del tiempo, en la zona occidental de Santiaguillo.**

Para la zona oriental las densidades máximas fueron del grupo de las diatomeas (figura 13), estas ocurrieron en el mes de junio con 1, 007,483 org/l seguido por agosto con 2, 067,975 org/l. El grupo de las cianofitas se presentó solo en los meses de enero (11,783 org/l) y abril (70,700 org/l). Los dinoflagelados en los meses de marzo (35,350 org/l) y junio (23,567 org/l). Mientras las clorofitas se registraron únicamente en el mes de enero (11,783 org/l).



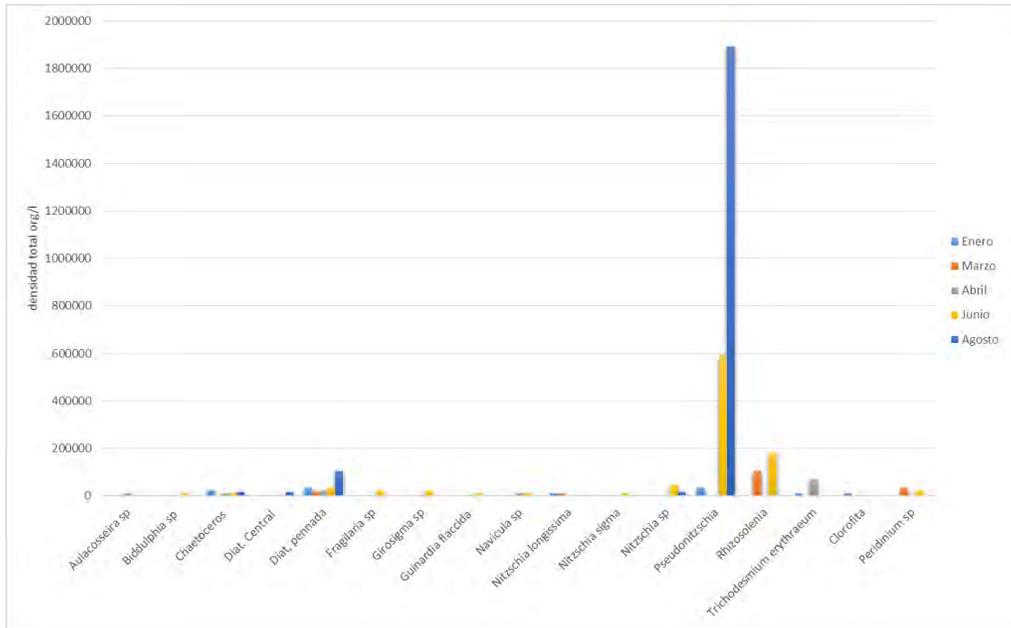
**Figura 13. Densidad total por grupos de muestras de botella a través del tiempo, en la zona oriental de Santiaguillo.**

Los géneros y/o especies más abundantes a través del estudio (figura 14) fueron: *Pseudo-nitzschia* en el mes de agosto con 827,883 org/l, *Nitzschia* sp en el mes de junio con 17,675 org/l, especie de diatomea pennada en el mes de agosto con 162,117 org/l, *Chaetoceros* en el mes de agosto con 79,633 org/l y una cianofita sin determinar con 53,025 org/l en el mes de abril.



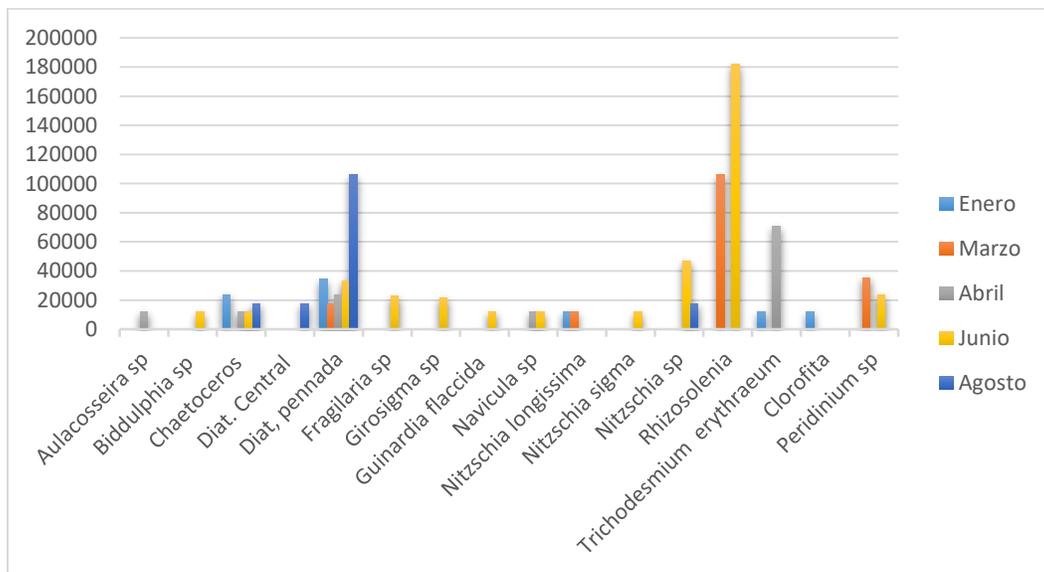
**Figura 14. Densidad total por géneros y especies de muestras de botella a través del tiempo, en la zona occidental de Santiago.**

Los géneros y/o especies más abundantes para la zona oriental (figura 15) fueron: *Pseudo-nitzschia* en el mes de agosto (1, 891, 225 org/l), *Rhizosolenia* (181,883 org/l) en el mes de junio, especie de diatomea pennada (106,050 org/l) en agosto, *Trichodesmium erythraeum* (70,700 org/l) en el mes de abril y *Peridinium* sp (35,350 org/l) en el mes de marzo.



**Figura 15 a. Densidad total por géneros y especies de muestras de botella a través del tiempo, en la zona oriental de Santiaguillo.**

Para la mejor apreciación de la abundancia de los géneros y/o *Rhizosolenia*, *Trichodesmium erythraeum*, *Peridinium sp* y especie de diatomea pennada se realizó una gráfica en la cual se eliminó al género *Pseudo-nitzschia* ya que sus densidades eran muy altas por lo que no se apreciaban los géneros ya mencionados (figura 15.1).



**Figura 15.b. Densidad total por géneros y especies de muestras de botella a través del tiempo (sin el género *Pseudo-nitzschia*), en la zona oriental de Santiaguillo.**

Con la ayuda del diagrama de Olmstead-Tukey se pudo establecer una clasificación de la ocurrencia a través del tiempo de las especies encontradas, estas se categorizaron en constantes, raras, dominantes y ocasionales (Sokal y Rohlf, 1981). Para la zona occidental (figura 16) se registró 1 género denominado constante, 6 géneros en el cuadrante de raras, 6 en el de dominantes y 2 géneros como ocasionales.

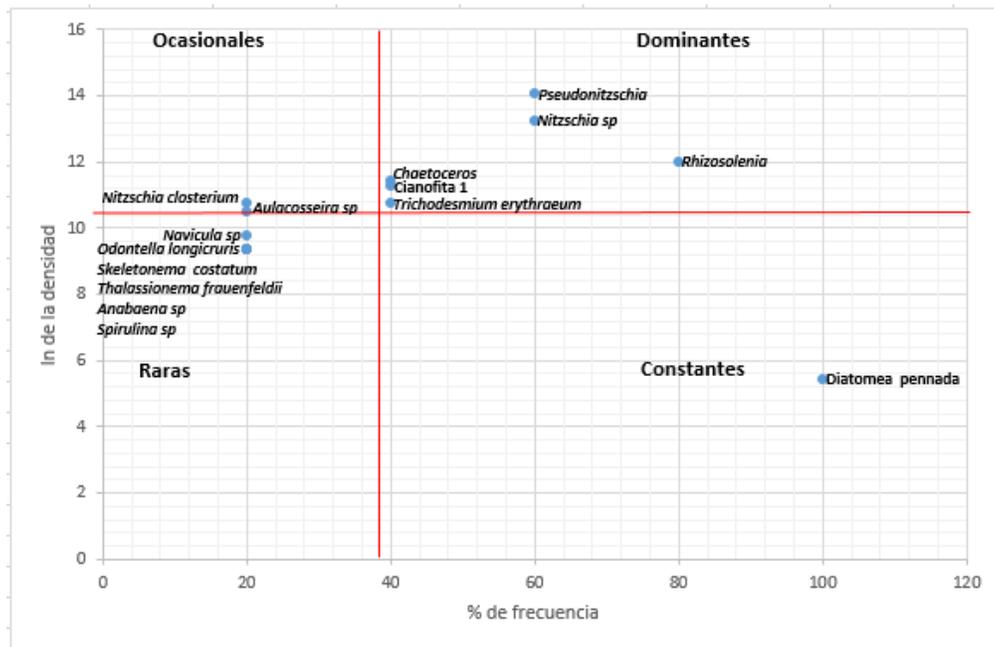


Figura 16. Diagrama de Olmstead-Tukey por géneros y especies de muestras de botella, en la zona occidental de Santiago.

Dominantes	Constantes	Raras	Ocasionales
❖ Cianofita 1	❖ Diatomea pennada	❖ <i>Anabaena sp</i>	❖ <i>Aulacoseira sp</i>
❖ <i>Chaetoceros</i>		❖ <i>Navicula sp</i>	❖ <i>Nitzschia closterium</i>
❖ <i>Nitzschia sp</i>		❖ <i>Odontella longicurris</i>	
❖ <i>Pseudo-nitzschia</i>		❖ <i>Skeletonema costatum</i>	
❖ <i>Rhizosolenia</i>		❖ <i>Spirulina sp</i>	
❖ <i>Trichodesmium erythraeum</i>		❖ <i>Thalassionema frauenfeldii</i>	

Tabla 8. Clasificación de la ocurrencia a través del tiempo de Olmstead-Tukey de muestras de botella, en la zona occidental de Santiago.

Para la zona oriental (figura 17), se registraron 2 géneros denominados constantes, 8 géneros en el cuadrante de raras, 6 géneros dominantes y 1 género ocasional.

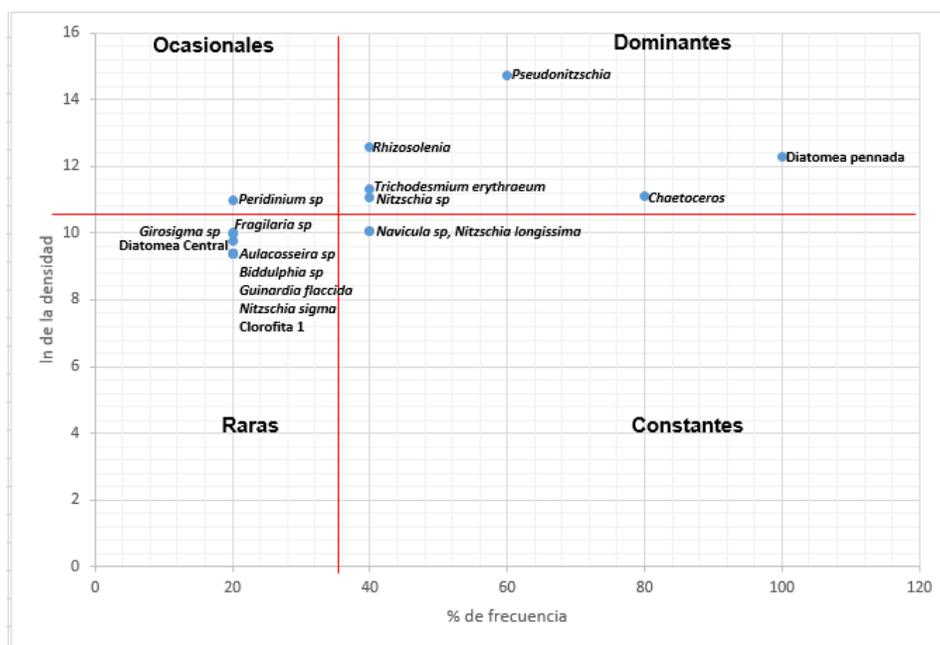
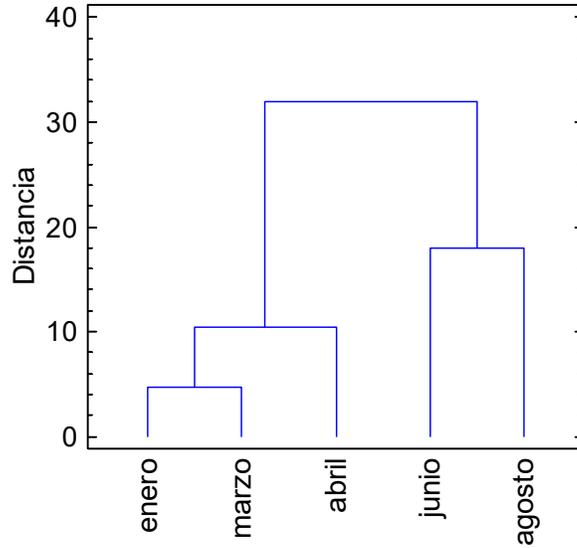


Figura 17. Diagrama de Olmstead-Tukey por géneros y especies de muestras de botella, en la zona oriental de Santiaguillo.

Dominantes	Constantes	Raras	Ocasionales
❖ <i>Diatomea pennada</i>	❖ <i>Navícula sp</i>	❖ <i>Aulacoseira sp</i>	❖ <i>Peridinium sp</i>
❖ <i>Chaetoceros</i>	❖ <i>Nitzschia longissima</i>	❖ <i>Biddulphia sp</i>	
❖ <i>Nitzschia sp</i>		❖ <i>Clorofita 1</i>	
❖ <i>Pseudo-nitzschia</i>		❖ <i>Diatomea central</i>	
❖ <i>Rhizosolenia</i>		❖ <i>Fragilaria sp</i>	
❖ <i>Trichodesmium erythraeum</i>		❖ <i>Girosigma sp</i>	
		❖ <i>Guinardia flaccida</i>	
		❖ <i>Nitzschia sigma</i>	

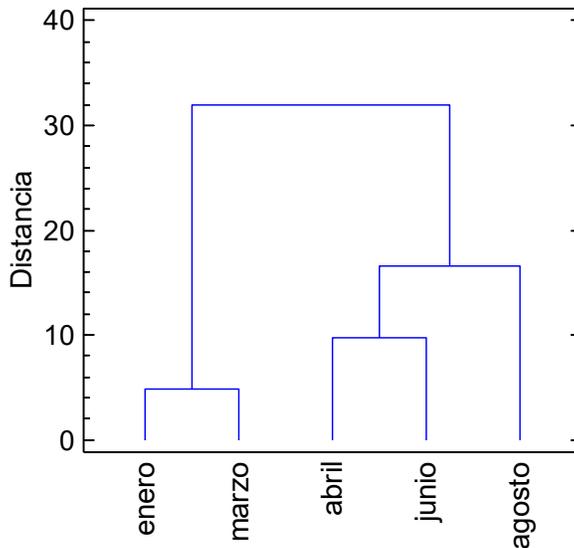
Tabla 9. Clasificación de la ocurrencia a través del tiempo de Olmstead-Tukey de muestras de botella, en la zona oriental de Santiaguillo.

Se realizó un análisis de conglomerados para relacionar los parámetros ambientales (temperatura ambiental y del agua, salinidad, pH, oxígeno, SDT y conductividad) y las densidades totales de los organismos con respecto a los meses de muestreo. En la figura 18, se muestra el dendrograma para la zona oriental, donde se observa que enero y marzo fueron los meses con mayor similitud los cuales a su vez comparten características con abril, seguidos por el mes de junio y agosto.



**Figura 18. Dendrograma método de Ward de las densidades totales y parámetros en muestras de botella de la zona oriental.**

En el caso de la zona occidental (figura 19), los meses de enero y marzo muestran similitud, mientras que los meses de abril y junio muestran mayor similitud pero comparten características con el mes de agosto.



**Figura 19. Dendrograma método de Ward de las densidades totales y parámetros en muestras de botella de la zona occidental.**

## Resultados de muestras de red

Se realizó un análisis exploratorio de cajas múltiples para las zonas occidental y oriental para conocer si existe o no diferencias entre ellas. En la figura 20, en el diagrama de cajas múltiples, se puede observar que el tamaño de las cajas es diferente, debido a la dispersión de los datos de la densidad siendo mayor para la zona oriental, también se presentan valores atípicos en ambas zonas y se observa que hay traslape entre las muescas lo que sugiere que no existen diferencias entre las 2 zonas.

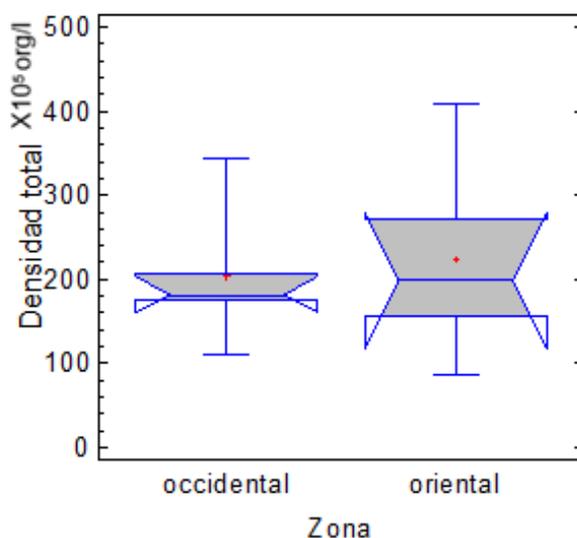


Figura 20. Diagrama de cajas múltiples de la densidad total para la zona occidental y oriental.

La tabla 10 muestra un resumen de las pruebas estadísticas realizadas para la comparación de la densidad total de fitoplancton entre las dos zonas estudiadas.

Prueba estadística	Valor de P	Decisión
Kolgomorov-Smirnov	P= 0.999965	Presenta distribución normal
Levene, comparación de varianzas	P= 0.500937	Presentan igualdad de varianzas
t de Student	P = 0.763824	No existen diferencias entre las zonas

Tabla 10. Pruebas estadísticas para la comparación de la densidad entre la zona occidental y oriental con un nivel de confianza del 95.0%.

En la figura 21, en el diagrama de cajas múltiples para los meses de la zona occidental y oriental, se observa que hay un traslape de muescas entre enero, marzo y agosto lo que sugiere que no existen diferencias entre estos meses, además se observa que marzo y agosto presentan a su vez traslape con el mes de junio y abril.

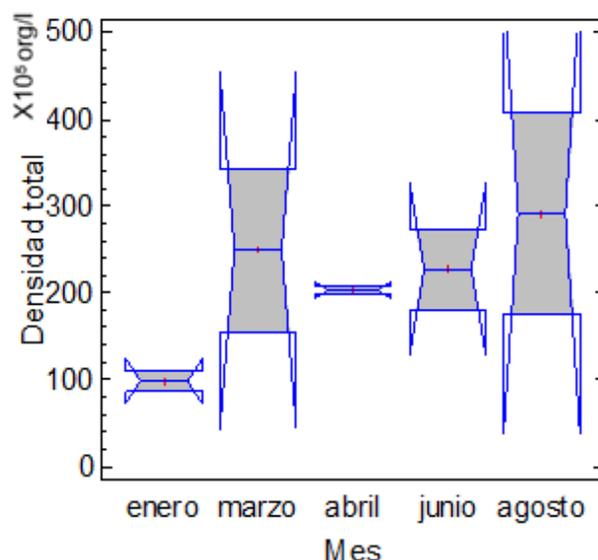


Figura 21. Diagrama de cajas múltiples para los meses de la zona occidental y oriental.

Las pruebas estadísticas realizadas para la comparación de la densidad total de fitoplancton a través del tiempo se muestran en la tabla 11.

Prueba estadística	Valor de P	Decisión
<b>Kolgomorov-Smirnov</b>	P= 0.95463	Presenta distribución normal
<b>Test de Bartlett, verificación de varianzas</b>	P= 0.193388	Presentan igualdad de varianzas
<b>ANOVA</b>	P= 0.4595	No presentan diferencias los meses

Tabla 11. Pruebas estadísticas para la comparación de la densidad a través del tiempo entre la zona occidental y oriental con un nivel de confianza del 95.0%

Las máximas densidades en la zona oriental se presentaron en los meses de junio (273 org/l) y agosto (408 org/l) y para la zona occidental en los meses de marzo con 343 org/l y abril con 207 org/l (figura 22).

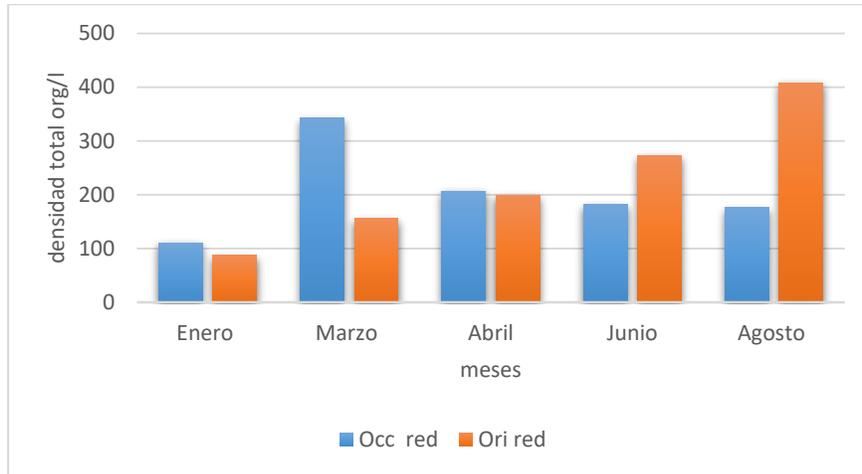


Figura 22. Densidad total de muestras de red a través del tiempo, de la zona occidental y oriental.

En la zona occidental (figura 23) las densidades maximas fueron presentadas por el grupo de las cianofitas, estas ocurrieron en el mes de marzo con 334 org/l seguido por el mes de abril con 159 org/l. El grupo de las diatomeas estuvo presente durante todos los meses, en enero (59 org/l), marzo (9 org/l), abril (130 org/l), junio (91 org/l) y agosto (137 org/l), mientras que el grupo de los dinoflagelados solo se presento en los meses de abril con 21 org/l y junio con 4 org/l.

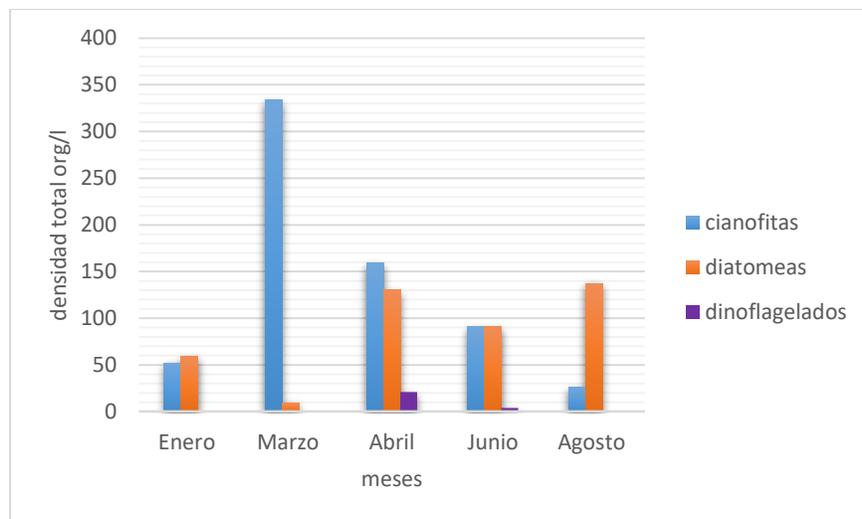
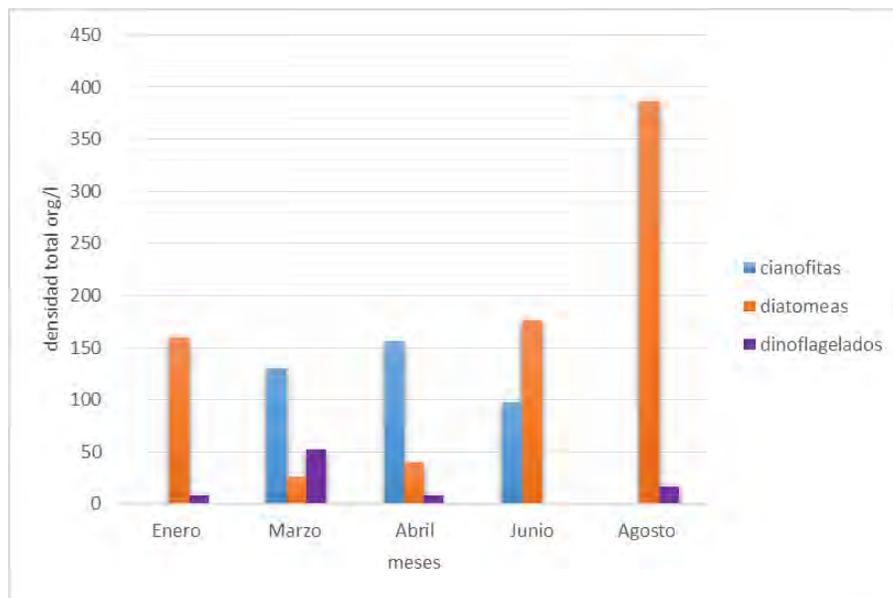


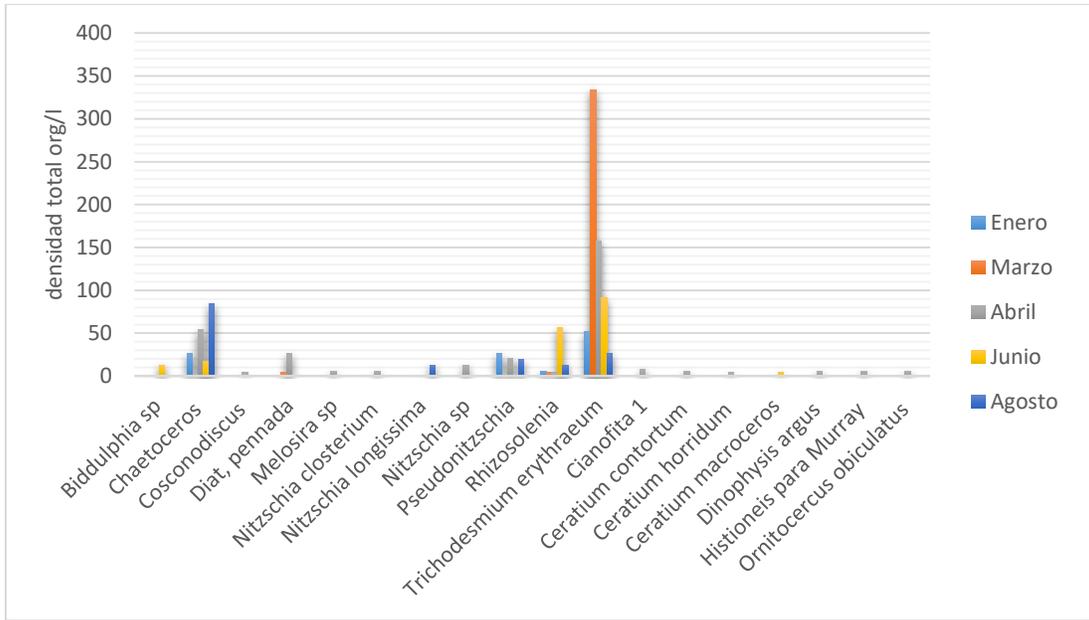
Figura 23. Densidad total por grupos de muestras de red a través del tiempo, en la zona occidental de Santiaguillo.

Para la zona oriental (figura 24) el grupo de las diatomeas fue el que presento las máximas densidades en los meses de enero con 159 org/l, junio con 176 org/l y agosto con 386 org/l. El grupo de las cianofitas estuvo presente en los meses de marzo (130 org/l), abril (156 org/l) y en junio (98 org/l). Por último el grupo de los dinoflagelados solo se registró en los meses de enero (8 org/l), marzo (52 org/l), abril (8 org/l) y agosto (17 org/l).



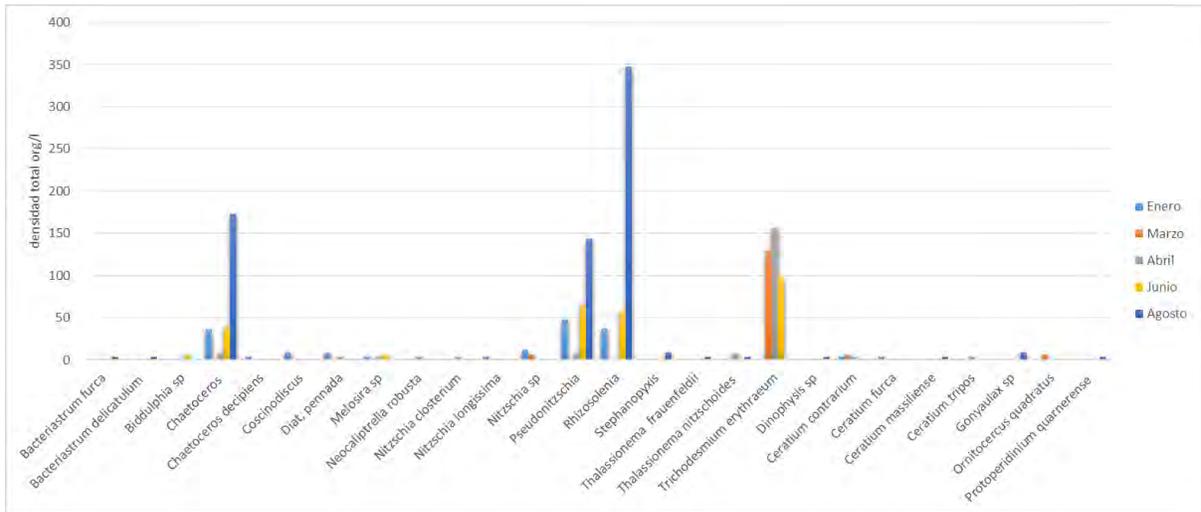
**Figura 24. Densidad total por grupos de muestras de red a través del tiempo, en la zona oriental de Santiaguillo.**

Los géneros más abundantes en la zona occidental fueron: *Trichodesmium erythraeum* con 334 org/l en el mes de marzo, *Chaetoceros* con 84 org/l el mes de agosto, *Rhizosolenia* con 56 org/l en el mes de junio y especie de diatomea pennada con 26 org/l en el mes abril (figura 25).



**Figura 25. Densidad total por géneros y especies de muestras de red a través del tiempo, en la zona occidental de Santiaguillo.**

Para la zona oriental (figura 26) los géneros más abundantes fueron: *Rhizosolenia* en el mes de agosto (347 org/l), *Chaetoceros* en agosto (173 org/l), *Trichodesmium erythraeum* en el mes de abril (156 org/l) y *Pseudo-nitzschia* en agosto (143 org/l).



**Figura 26. Densidad total por los géneros y especies de muestras de red a través del tiempo, en la zona oriental de Santiaguillo.**

Con la ayuda del diagrama de Olmstead-Tukey se estableció una clasificación de la ocurrencia a través del tiempo de las especies encontradas, estas se categorizaron

en constantes, raras, dominantes y ocasionales (Sokal y Rohlf, 1981). Para la zona occidental (figura 27) se registraron 5 géneros dominantes y 11 géneros en el cuadrante de raras y ninguno en el de constantes y ocasionales.

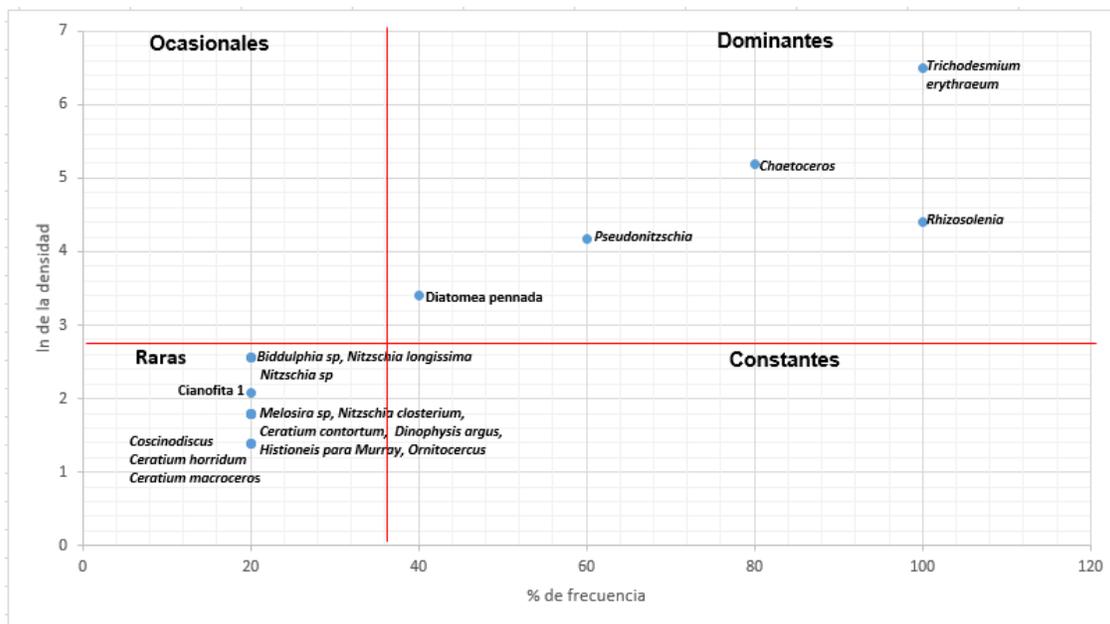


Figura 27. Diagrama de Olmstead-Tukey por géneros y especies de muestras de red, en la zona occidental de Santiaguillo.

Dominantes	Constantes	Raras	Ocasionales
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ <i>Diatomea pennada</i></li> <li>❖ <i>Chaetoceros</i></li> <li>❖ <i>Pseudo-nitzschia</i></li> <li>❖ <i>Rhizosolenia</i></li> <li>❖ <i>Trichodesmium erythraeum</i></li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ <i>Biddulphia sp</i></li> <li>❖ Clorofita 1</li> <li>❖ <i>Melossira sp</i></li> <li>❖ <i>Nitzschia sp</i></li> <li>❖ <i>Nitzschia closterium</i></li> <li>❖ <i>Nitzschia longissima</i></li> <li>❖ <i>Coscinodiscus</i></li> <li>❖ <i>Ceratium contortum</i></li> <li>❖ <i>Ceratium horridum</i></li> <li>❖ <i>Ceratium macroceros</i></li> <li>❖ <i>Dinophysis argus</i></li> <li>❖ <i>Histoneis para Murray</i></li> <li>❖ <i>Ornitocercus orbiculatus</i></li> </ul>	

Tabla 12. Clasificación de la ocurrencia a través del tiempo de Olmstead-Tukey de muestras de red, en la zona occidental de Santiaguillo.

En la zona oriental (figura 28) se registraron 8 géneros dominantes y 13 géneros en el cuadrante de raras y no hubo presencia de géneros constantes y ocasionales.

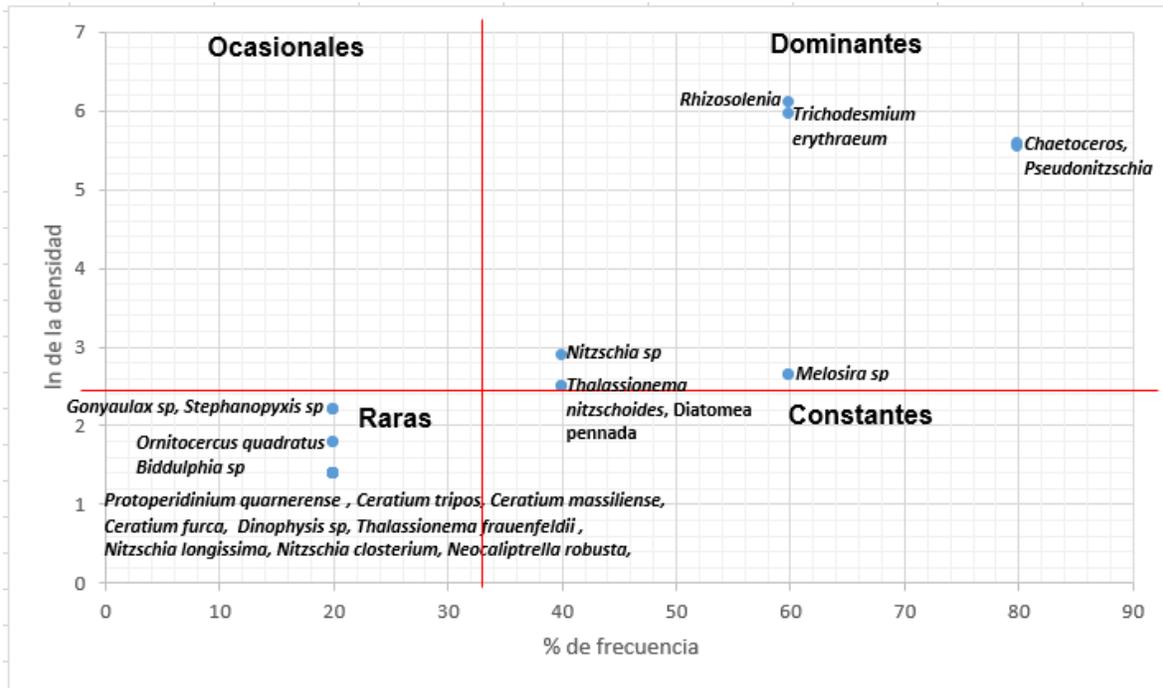
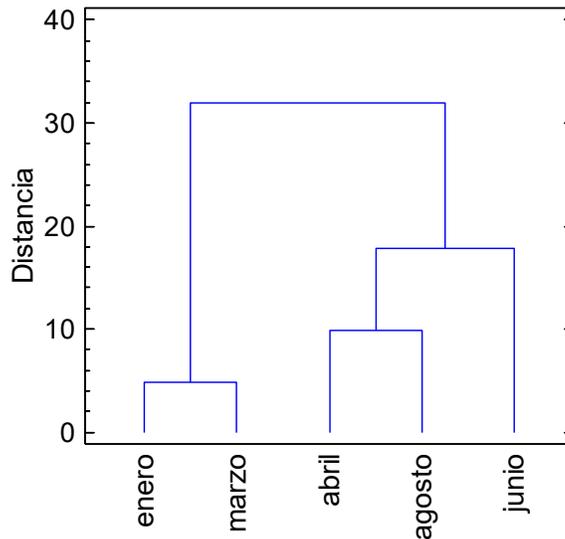


Figura 28. Diagrama de Olmstead-Tukey por géneros de muestras de red, en la zona oriental de Santiaguillo.

Dominantes	Constantes	Raras	Ocasionales
<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ <i>Diatomea pennada</i></li> <li>❖ <i>Chaetoceros</i></li> <li>❖ <i>Melosira sp</i></li> <li>❖ <i>Nitzschia sp</i></li> <li>❖ <i>Pseudo-nitzschia</i></li> <li>❖ <i>Rhizosolenia</i></li> <li>❖ <i>Trichodesmium erythraeum</i></li> <li>❖ <i>Thalassionema</i></li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ <i>Biddulphia sp</i></li> <li>❖ <i>Nitzschia closterium</i></li> <li>❖ <i>Nitzschia longissima</i></li> <li>❖ <i>Neocaliptrella robusta</i></li> <li>❖ <i>Stephanopyxis sp</i></li> <li>❖ <i>Thalassionema frauenfeldii</i></li> <li>❖ <i>Ceratium furca</i></li> <li>❖ <i>Ceratium massiliense</i></li> <li>❖ <i>Ceratium tripos</i></li> <li>❖ <i>Gonyaulax sp</i></li> <li>❖ <i>Dinophysis sp</i></li> <li>❖ <i>Ornitocercus quadratus</i></li> <li>❖ <i>Protoperidinium quarnerense</i></li> </ul>	

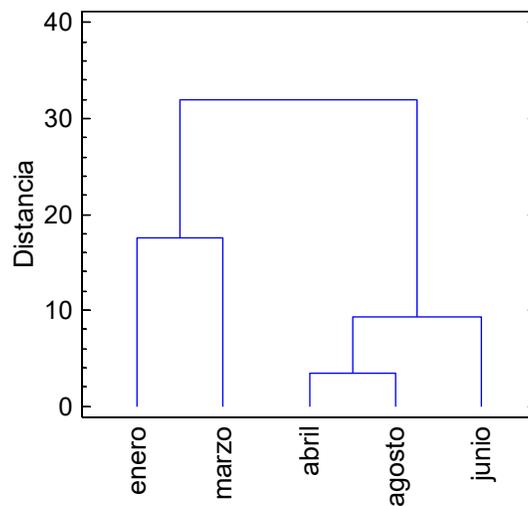
Tabla 13. Clasificación de la ocurrencia a través del tiempo de Olmstead-Tukey de muestras de red, en la zona oriental de Santiaguillo.

Se hizo un análisis de conglomerados donde se relacionaron los parámetros ambientales y las densidades totales de los organismos con respecto a los meses de muestreo. En la figura 29 para la zona oriental, el mes de enero y marzo presentan similitud, en el caso de abril y agosto estos tienen mayor similitud y también comparten características con el mes de junio.



**Figura 29. Dendrograma método de Ward de las densidades totales en red para la zona oriental.**

En el caso de la zona occidental (figura 30) los meses de enero y marzo son similares, abril y agosto presentan una mayor similitud, mientras que el mes de junio comparte características con abril y agosto.



**Figura 30. Dendrograma método de Ward para las densidades totales en red de la zona occidental.**

Los parámetros registrados en la zona oriental (figura 32) fueron los siguientes: el pH registró su valor más alto en el mes de junio con 8.65, el menor con 8.1 en agosto y los demás meses oscilaban entre 8.8-8.5; la temperatura del agua presentó un valor bajo en enero y marzo con 23 °C y un aumento en el mes agosto con 31 °C; el oxígeno disuelto el valor más alto fue 19.9 mg/L en enero, y el más bajo 9.6 mg/L en junio y agosto; el valor máximo para la salinidad fue en junio con 45.3 ups, el más bajo en marzo con 36.75 ups, mientras los demás meses se mantuvieron entre 36.9-41.9 ups; la conductividad tuvo un valor bajo en junio con 52.65 mS/ cm<sup>2</sup> y un notable aumento en enero con 72 mS/ cm<sup>2</sup> y la temperatura ambiente con un valor máximo de 30°C en abril y agosto y un valor mínimo en enero con 22 °C.

parámetros	Enero	Marzo	Abril	Junio	Agosto
pH	8.5	8.5	8.3	8.65	8.1
Temp. Agua	23	23	26	29.4	31
Oxígeno (mg/L)	19.9	15	12.3	9.6	9.6
Salinidad (UPS)	38.95	36.75	41.9	45.3	36.9
Conductividad (mS/ cm <sup>2</sup> )	72	61.9	69.6	52.65	61.1
Temp amb. (C°)	22	26	30	29	30

**Tabla 14. Parámetros ambientales en la zona oriental.**

Con respecto a los parámetros medidos en la zona occidental el pH varió, el mes de agosto fue el más bajo con 7.8, el mes de abril fue el más alto con 8.18, mientras que los demás meses se mantuvieron entre 8.5 y 8.6; la temperatura del agua presentó los niveles más bajos en el mes de enero con 23°C y marzo 25°C, mientras que la mayor se presentó en agosto con 29°C; en cuanto al oxígeno disuelto el valor más alto se presentó en el mes de enero con 19.9 mg/L y el menor en agosto con 8.6 mg/L; la salinidad en el mes de junio fue la más alta con 42.4 ups y la más baja en agosto con 39.2 ups, mientras que los demás meses se encuentran entre 39.85-41.4 ups; la conductividad registra un valor bajo con 67.5 mS/ cm<sup>2</sup> en el mes de enero y la temperatura ambiente presentó su máximo valor en agosto con 30 °C y el menor con 22.5° C en enero (figura 32).

Parámetros	Enero	Marzo	Abril	Junio	Agosto
pH	8.5	8.6	8.18	8.6	7.8
Temp. Agua (°C)	23	25	27.2	28.2	29
Oxígeno (mg/L)	19.9	11.6	11	9.65	8.6
Salinidad (UPS)	39.85	40	41.4	42.4	39.2
Conductividad (mS/cm <sup>2</sup> )	67.5	68.5	68	70	69
Temp. Amb. (°C)	22.5	24	27.5	29	30

**Tabla 15. Parámetros ambientales la zona occidental.**

## Discusión

Se identificaron y determinaron 54 especies en este trabajo, Góngora (2014) reporta 58 y Ortiz (2016) 85, por lo que el número de especies en este trabajo es menor al de ambos valores, en este trabajo una de las zonas de estudio se sitúa en la zona occidental donde se encuentra el arrecife y la oriental del otro lado de la isla Santiaguillo, la zona oriental es diferente con una de las zonas mencionadas por Ortiz (2016) ya que trabaja con la zona de arrecife y playa, mientras que en el caso de Góngora (2014) solo trabaja la zona arrecifal, además de que cada estudio se realizó en diferente año, lo que hace que el número de especies varíe en comparación con los trabajos mencionados.

En este estudio el grupo de las diatomeas predominó ampliamente, seguido por el de los dinoflagelados, cianofitas y por último el de las clorofitas. Algunos de los géneros como *Pseudo-nitzschia*, *Chaetoceros*, *Trichodesmium* y *Rhizosolenia* coinciden con los reportados por Góngora (2014) y Ortiz (2016) como los mejor representados y para los géneros *Dinophysis* y *Ornithocercus* de acuerdo con lo mencionado por Ortiz (2016) como los menos representados.

La zona oriental presentó mayor número de especies (37 especies) en comparación con la zona occidental (25 especies), lo que indicaría que la zona oriental es la más diversa durante el tiempo de estudio, esto podría deberse a las corrientes generadas por la circulación en el Golfo de México, ya que presenta dos características semipermanentes: la Corriente del Lazo en la parte oriental y una celda de circulación anticiclónica en la frontera occidental (Nowlin y McLellan, 1967 citados por Martínez y Pares, 1998). Se ha visto que la Corriente del Lazo migra hacia el norte (intrusión) del Golfo de México. Inicialmente se pensó que el desplazamiento cíclico de esta corriente era estacional; caracterizado por una intrusión mínima durante el invierno, incrementándose durante la primavera hasta alcanzar una intrusión máxima, con la separación de un remolino anticiclónico, en el verano y otoño. (Leipper, 1970; Nowlin y Hubertz, 1972; Maul, 1977 citados por Martínez y Pares, 1998).

Las causas de la intrusión de la Corriente del Lazo se han atribuido a las características dinámicas de la Corriente de Yucatán (Martínez y Pares, 1998). Reid (1972) citado por Martínez y Pares (1998) utilizó un modelo empírico y encontró que la penetración hacia el norte depende de la estructura de la verticidad relativa de la Corriente de Yucatán.

Estas corrientes llegan a la Bahía de Campeche debido a que la circulación a macro-escala dentro de la bahía es representada por una circulación ciclónica que es originada en la parte occidental de la Península de Yucatán, cuando el flujo de agua entra al canal de Yucatán interactúa con el contorno topográfico de la península, sin embargo Vázquez de la Cerda et al. (2005) citados por Salas y Granados (2008), relaciona la circulación ciclónica a la curva de tensión del viento.

La influencia de la circulación de la Bahía de Campeche en el Sistema Arrecifal Veracruzano podría originarse desde los límites exteriores de los giros ubicados en la región, originando una corriente que transporta aguas desde el centro del Golfo de México hacia el arrecife y la zona costera de Veracruz. Estas interacciones entre giros constituyen una fuente de intercambio entre las aguas de la parte central del Golfo y aguas de la costa, tal como ha sido observado en la parte norte del Golfo de México (Toner *et al.*, 2003 citado por Salas y Granados 2008), por lo que estas corrientes generadas por el intercambio de aguas podrían arrastrar a los organismos del fitoplancton hasta la isla Santiaguillo, provocando que se establezcan en el lado oriental debido a que esta zona se encuentra más en contacto con mar abierto.

Para la comparación entre las zonas, con las pruebas estadísticas realizadas se demostró que no existen diferencias entre las densidades y en cuanto a los meses, se encontraron diferencias entre ambas zonas para las muestras de botella. Las parejas de meses que presentan diferencias fueron: enero-agosto, marzo-agosto y abril-agosto, esto puede deberse a las altas densidades presentadas en el mes de agosto en comparación con la de los otros meses, el cual corresponde a inicios de época de lluvias lo que concuerda con lo mencionado por Okolodkov et al. (2011c), Okolodkov et al. (2015) Aké-Castillo (2011), Góngora (2014) y Ortiz (2016) que en la época de lluvias se presentan las densidades más altas de organismos.

Las mayores densidades registradas fueron en muestras de botella y las menores en muestras de red esto para ambas zonas, esto se debe a que en el método de botella se incluyen todos los organismos, mientras que en el de arrastre o red se descartan a los organismos de menor tamaño quedando atrapados solo los de mayores dimensiones (Jairo, 2000).

La mayor densidad de organismos se presentó en el mes de agosto para la zona occidental y oriental en muestras de botella, mientras que en las de red la mayor densidad se presentó en el mes de marzo para la zona occidental y en el mes de agosto para la zona oriental, esto concuerda con lo reportado por Okolodkov *et al.* (2011c), donde menciona que el pico de la biomasa del plancton se produjo al final de la estación lluviosa.

Las densidades más altas se presentaron en el mes de agosto, este mes corresponde a la época de lluvias de acuerdo a lo mencionado por García (1987) que el clima en la región suroeste del Golfo de México es cálido-húmedo con abundantes lluvias en el verano y parte del otoño, y una corta estación de estío (de abril a mayo). Gutiérrez de Velasco y Winant (1996) citados por Salas y Granados (2008), mencionan que las fluctuaciones estacionales de los sistemas atmosféricos de presión introducen cierta variabilidad del otoño al invierno (de octubre a abril), dominado por incursiones frontales conocidas localmente como “nortes” (vientos del norte). De primavera a verano, la variabilidad atmosférica está dominada por tormentas tropicales que pueden evolucionar a huracanes.

Una de las mayores densidades se presentó en el mes de marzo para la zona occidental, esto se debe a que el grupo que presentó las densidades más altas es el de las cianofitas especialmente hablando de la especie *Trichodesmium erythraeum* la cual es una especie que fija el nitrógeno (Aké-Castillo, 2011).

Esta especie predominó en el mes de marzo, un mes antes a lo mencionado por Ortiz (2016) donde reporta a esta especie como predominante en el mes de abril, mientras que Aké-Castillo (2011) reporta altas densidades al principio de la época de nortes en diciembre, esto podría deberse a las masas de agua que desembocan en el mar. Estas masas de agua llegan a la isla durante la temporada de “nortes”. En esta temporada, hay una variación importante en los flujos de calor que se intercambian entre la atmósfera y el océano, porque las bajas temperaturas del aire causadas por masas de aire frío provenientes del norte de Estados Unidos y Canadá penetran en el Golfo de México. Los “nortes” además de inducir los procesos de mezcla, pueden inducir también suspensión del sedimento que se acumula sobre los arrecifes durante el verano; esto sucede justo en la temporada cuando los ríos tienen sus descargas más altas (Salas y Granados, 2008).

La interacción de los ríos con el océano genera un sistema de circulación local, que podría ser un mecanismo eficiente para el intercambio de propiedades entre la zona de costa y el mar abierto y viceversa. La circulación de la zona local promovida por los patrones de las olas, las mareas y los vientos, así como por los fenómenos meteorológicos como los huracanes, las tormentas tropicales “nortes” y las brisas marinas podrían alterar la forma y las dimensiones de las plumas en escalas temporales de horas o días y por lo tanto su intrusión a los arrecifes (Salas y Granados, 2008).

Krutak *et al.*, (1980) menciona que los ríos influyen de manera diferente en el SAV, según su ubicación geográfica. El río Jamapa podría tener una influencia (agua dulce y sedimentos) durante todo el año con un efecto importante en los arrecifes

costeros y un efecto suave hacia el interior del arrecife, sin embargo durante el invierno, cuando la corriente va hacia el sur, influirá en el grupo de arrecifes más cercano a las costas de Antón Lizardo. Durante el verano, cuando la corriente va hacia el norte, la influencia del río será en el grupo de arrecifes costeros frente al Puerto de Veracruz. El río Papaloapan, a su vez, tiene una influencia sobre el SAV solo durante el verano cuando la corriente va hacia el norte. Finalmente, el río La Antigua está influyendo en el SAV en invierno cuando la corriente va hacia el sur y tiene un efecto local en los arrecifes costeros más cercanos al Puerto de Veracruz, por lo que las masas de agua provenientes de las descargas de los ríos durante la época de nortes proporcionan nutrimentos a la zona siendo aprovechados por la especie, lo cual concuerda con lo mencionado por Ortiz (2016).

En el diagrama de Olmstead-Tukey para las muestras de botella de la zona occidental y oriental los géneros y especies dominantes fueron: *Chaetoceros*, *Nitzschia sp.*, *Pseudo-nitzschia*, *Rhizosolenia*, *Trichodesmium erythraeum*, una especie de cianofita para la occidental y una especie de diatomea pennada para la oriental.

El género *Rhizosolenia* concuerda con lo reportado por Ortiz (2016), como abundante para la zona de arrecife, esto se debe a que este género es uno de los géneros de diatomeas marinas más importantes y ocasionalmente domina la biomasa del fitoplancton en las regiones oceánicas altamente productivas (Min et al., 2011). Este género se encuentra en condiciones oceánicas, en verano presenta una concha larga y ancha con extremos puntiagudos y en invierno la tiene corta y obtusa (Cifuentes, 1997).

El caso del género *Chaetoceros*, Ortiz (2016) lo reporta como constante en playa y arrecife, Hernández (2016) menciona al género como diverso en arrecife, mientras que en este estudio se presenta como dominante para ambas zonas, esto se debe a que este género es uno de los géneros más ricos en especies entre las diatomeas planctónicas, incluyendo aproximadamente 170 especies. Ha sido objeto de numerosas investigaciones taxonómicas por su relevancia ecológica, su extraordinaria diversidad morfológica y su complejidad. Aunque las especies son primariamente marinas, algunos taxones se producen a salinidades muy bajas en estuarios y lagos de agua dulce (Bosak et al., 2015).

Este género es de gran importancia debido a que algunas especies, principalmente *Chaetoceros convolutus* y *Chaetoceros concavicornis* cuya pared sílicea posee marcadas prolongaciones espinosas, han sido mencionadas como nocivas debido a esta morfología altamente punzante, la que por un efecto mecánico lesiona los tejidos y membranas branquiales en peces hasta producir su muerte. Esto se debe

a la alta producción de mucus que aparece en la herida, lo que induce a una hipoxia o deficiencia de oxígeno en el tejido y a la acumulación de una excesiva cantidad de dióxido de carbono en el sistema sanguíneo (Ferrario, 2003).

El género *Navicula* difiere con lo mencionado por Ortiz (2016), el cual aparece como constante para la zona de arrecife, mientras que en este trabajo es reportado como raro, sin embargo a su vez coincide como constante pero para la zona oriental.

La especie *Guinardia flaccida* es reportada por Ortiz (2016), como constante en zona de arrecife, mientras que en este estudio es reportada como rara para la zona oriental.

La especie *Skeletonema costatum* es reportada como rara para la zona occidental que concuerda con lo reportado por Ortiz (2016) en zona de arrecife. Esto se debe a que esta especie presenta aumentos masivos sobre todo en aguas cercanas a las costas (Cifuentes, 1997).

*Nitzschia sp* es reportada como rara en la zona occidental, mientras que en la zona oriental como dominante. Esto podría deberse a que esta especie se desarrolla perfectamente en aguas oceánicas (Cifuentes, 1997), por lo que la zona oriental al encontrarse del otro lado de la isla se ve más influenciada por estas condiciones, sin embargo otras especies como *Nitzschia closterium* y *Nitzschia longissima* aparecen como raras para la zona, esto podría explicarse debido a las bajas densidades y la frecuencia en que se presentaron en comparación con *Nitzschia sp* lo que pudo influenciar para que fueran catalogadas como raras.

En la zona oriental (muestras de red), se registró mayor número de especies de dinoflagelados, esto se debe a que esta zona se ve más influenciada por condiciones oceánicas y los dinoflagelados son más diversos en la zona oceánica (Okolodkov y Blanco, 2011a). Es el grupo taxonómico más diverso y que contribuye más a la biomasa y productividad planctónica, después de las diatomeas. Algunas especies planctónicas marinas producen altas proliferaciones poblacionales y/o toxinas que causan padecimientos a la fauna marina y los humanos (Hernández-Becerril, 2014).

Un florecimiento algal nocivo (FAN), es un incremento masivo en el número de células fitoplanctónicas que puede consumir el oxígeno o los nutrientes del agua, indispensables para otros organismos, y así afectar a la biota acuática (Band *et al.*, 2011).

Los primeros reportes de fenómenos relacionados con la marea roja en el Golfo se atribuyen generalmente a Alvar Núñez Cabeza de Vaca. Cabeza de Vaca era el

cronista, y uno de los pocos sobrevivientes de la desafortunada expedición de Panfilo de Narváez en 1528 que intento colonizar el territorio entre Florida y el Rio Grande. Cabeza de Vaca dio este relato de un periodo en la zona ahora conocida como Texas: todas aquellas personas no tenían cuenta del sol ni de la luna, ni cuentan por meses y años; juzgan las estaciones por la maduración de los frutos, por el momento en que mueren los peces y por la apariencia de las estrellas, en las cuales son muy inteligentes y expertos (Magaña *et al.*, 2003).

Ciertas circunstancias tales como eutrofización, surgencias, cambios en los patrones de las condiciones climáticas, así como la duración de la termoclina estacional y la estabilidad de la columna de agua, pueden influenciar la formación espacial y temporal de eventos de FANs (Paerl 1997; Anderson *et al.*, 2002, 2008; Glibert y Burkholder 2011 citados por Pérez *et al.*, 2015). Aunado a lo anterior, se ha reportado que el enriquecimiento de nutrientes de origen antropogénico ha causado cambios en la estructura de los ecosistemas costeros, favoreciendo el incremento de la biomasa del fitoplancton y de la producción primaria (Martínez-López *et al.*, 2007; Kudela *et al.*, 2010 citados por Pérez *et al.*, 2015).

Los primeros registros sobre FANs en el área que actualmente ocupa el PNSAV (Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano) datan del año 1792, en donde el organismo formador de los FANs fue presumiblemente el dinoflagelado tóxico *Karenia brevis* (C.C.Davis) Gert Hansen y Ø. Moestrup. Esta misma especie fue la causante de todos los FANs reportados en el PNSAV hasta octubre de 2002, fecha en que el dinoflagelado no tóxico *Peridinium quinquecorne* Abé apareció formando FANs sin efectos dañinos aparentes sobre los organismos y el medio (Barón-Campis *et al.* 2005 citados por Rodríguez *et al.*, 2015).

Además de estas especies, existen otras que han formado FANs en el PNSAV, como es el caso de las diatomeas *Pseudo-nitzschia spp.* (Okolodkov *et al.*, 2009 citado por Pérez *et al.*, 2015), las cianofitas *Trichodesmium erythraeum* Ehrenberg ex Gomont y *T. thiebautii* Gomont ex Gomont (Aké-Castillo, 2011 y Aké-Castillo *et al.*, 2014), el dinoflagelado *Karenia sp.* "Mexican hat" y la diatomea *Asterionellopsis glacialis* (Castracane) Round (Aké-Castillo *et al.*, 2010 citado por Pérez *et al.*, 2015).

En este trabajo se encontraron algunas de gran importancia debido a que son consideradas en trabajos anteriores como potencialmente formadoras de florecimientos algales nocivos, estas especies fueron: *Pseudo-nitzschia* y *Trichodesmium erythraeum*.

El género *Pseudo-nitzschia* es reportado por Ortiz (2016) como dominante en zona de playa, por Okolodkov *et al.* (2015) como abundante, mientras que en este

trabajo es reportado también como dominante para la zona occidental y oriental, esto se debe a que el género *Pseudo-nitzschia* se halla representado por diatomeas pennadas cosmopolitas de hábitos planctónicos marinos que se encuentra distribuidas desde los trópicos hasta las regiones polares, así como en ambientes oceánicos y costeros (Galeano y Arteaga, 2010).

Es de gran importancia debido a que en los últimos años, este género ha adquirido gran interés desde que se ha observado que varios de sus representantes pueden ser causantes de floraciones nocivas o mareas rojas siendo tóxicos al producir ácido domoico. Esta neurotoxina de tipo aminoácido origina el Síndrome Amnésico por Marisco en organismos superiores como vertebrados y el hombre, debido al consumo de organismos filtradores como bivalvos y ciertos peces que tienden a acumular la toxina cuando se alimentan de estas algas (Galeano y Arteaga, 2010). Las siguientes especies de *Pseudo-nitzschia* han sido documentadas en el norte del Golfo de México *P. brasiliensis*, *P. decipiens*, *P. delicatissima*, *P. prolongatoides*, *P. pseudodelicatissima*, *P. pungens*, *P. multiseriata*, *P. subfraudulenta*, *P. subpacifica* y *P. galaxiae* (Pearson et al., 2012).

La especie *Trichodesmium erythraeum* concuerda con lo reportada por Ortiz (2016) como dominante en arrecife. Esto se debe a que esta especie es una microalga ampliamente distribuida en mares tropicales y subtropicales. Es fijadora de nitrógeno y la fijación de nitrógeno requiere grandes cantidades de compuestos ligados al hierro por lo que la disponibilidad de hierro es importante en las aguas oligotróficas (Aké-Castillo, 2011). La disponibilidad de hierro se ha caracterizado como un importante factor de control en la producción primaria y en los ciclos de nutrientes de los ecosistemas oceánicos (Martin y Fitzwater, 1988; Barber y Chávez, 1991 citados por Lenos et al., 2001). Estudios de laboratorio indican que el hierro juega un papel crítico en la fijación de nitrógeno por la cianobacteria *Trichodesmium* spp.

La presencia de *Trichodesmium erythraeum* es conocida en el Golfo de México y las floraciones de esta especie se han registrado en las costas de Florida (Aké-Castillo, 2011). Se ha sugerido que las floraciones en esta parte del mundo son inducidas por las entradas de hierro en el polvo del desierto del Sahara (Lenos et al., 2001).

Aké-Castillo (2011), menciona que puede florecer en grandes agregados (mechones) tal vez favorecido por condiciones especiales. La alta biomasa de *Trichodesmium* representa un alto aporte de C y N, debido a su potencial de toxicidad, esta especie es importante debido a que se ha asociado a eventos tóxicos durante sus floraciones y recientemente Sudek et al., (2006) citado por Aké-Castillo

(2011), encontró que *Trichodesmium erythraeum* sintetiza un péptido, la tricamida, que sugieren tiene una función de defensa antipredación. Este compuesto en extractos crudos ha mostrado efectos neurotóxicos en ensayos con ratones. Esto resulta en la alerta de la aparición de floraciones de *Trichodesmium* a lo largo de las zonas costeras con importancia económica, cultural y ecológica. En las costas de México no se han registrado floraciones de esta especie, sino sólo su aparición (Aké-Castillo, 2011).

En el dendrograma para muestras de botella y red de la zona oriental y occidental, se observa que los meses de enero y marzo son más semejantes entre sí. En el caso de la zona oriental enero y marzo presentan los valores más bajos en la temperatura del agua con un valor de 23°C, mientras que en la zona occidental el valor más bajo en la temperatura del agua solo se registró en enero con 23°C, esto se debe a que estos meses coinciden con la época de nortes que va de octubre-abril de acuerdo a lo mencionado por Gutiérrez de Velasco y Winant (1996) citados por Salas y Granados (2008) que describen a esta época con escasa precipitación, temperatura baja y frecuentes invasiones de masas de aire frío del Norte, por cuya fuerza pueden ser, desde vientos frescos hasta violentos y huracanados (Vargas, 1993). Arenas-Fuentes y Salas-Pérez (2005) citados por Salas y Granados (2008), sugieren que los “nortes” podría producir una reducción en la temperatura del agua en el SAV en cuestión de horas.

Para la zona oriental, el mes de abril forma un grupo diferente pero a su vez comparte características con enero y marzo, esto puede deberse a que es la transición de nortes (octubre-abril) a época de estío (abril a mayo) (Gutiérrez de Velasco y Winant, 1996 citados por Salas y Granados, 2008 y García, 1987), sin embargo en la zona occidental, el mes de abril forma un grupo más semejante con junio y a su vez compartiendo características con agosto, esto puede deberse a que es la transición de época de estío (abril a mayo) (García, 1987) a época de lluvias (mayo-agosto) (Rodríguez *et al.*, 2013). Esto concuerda con lo mencionado por Rodríguez *et al.*, (2013) que desde febrero se observan características que marcan una transición hacia una época seca que permanece hasta mayo y que los efectos de la época de lluvias pueden ser registrados desde el mes de junio, que actúa como una etapa de transición.

En la zona oriental, los meses de junio y agosto forman otro grupo siendo los siguientes meses con mayor similitud los cuales coinciden con la época de lluvias y presencia de alta precipitación (Vargas, 1993), siendo en este caso el mes de agosto donde se registró la mayor densidad de organismos. Estas altas densidades se deben a que las variaciones en la productividad primaria están en función de los

pulsos de nutrientes, principalmente nitratos y fosfatos, provenientes de la descarga de ríos (Lohrenz et al., 1997 citados por Rodríguez *et al.*, 2013) y es conocido que el incremento de la descarga de nutrientes se da en épocas de intensa precipitación (Gregg et al., 2003 citados por Rodríguez *et al.*, 2013).

Con respecto al valor del oxígeno disuelto, para la zona oriental el más alto se registró en el mes de enero con un valor de 19.9 mg/L y el más bajo de 9.6 mg/L en junio y agosto, mientras que en la occidental el valor más bajo se presentó en agosto con 8.6 mg/L y el más alto en el mes de enero con 19.9 mg/L, esto podría deberse a la circulación de la zona local promovida por los patrones de las olas, las mareas y los vientos, así como por los fenómenos meteorológicos como los huracanes, las tormentas tropicales “nortes”, las brisas marinas y las descargas de los ríos que provocan cambios en las características hidrográficas (Salas y Granados, 2008).

La salinidad para la zona oriental, presento un valor alto en junio con 45.3 ups y un mínimo en marzo con 36.75 ups, mientras que en la occidental presento un valor alto en junio con 42.4 ups y un mínimo en agosto con 39.2 ups, esto concuerda con lo mencionado por Salas y Granados (2008), de que los “nortes” además de inducir los procesos de mezcla, pueden inducir también suspensión del sedimento; esto sucede justo en la temporada cuando los ríos tienen sus descargas más altas. El efecto de las descargas sobre la generación de plumas o frentes térmicos en el área del Sistema Arrecifal Veracruzano reduce las salinidades y temperaturas en las aguas marinas.

Para las muestras de red en la zona oriental y occidental, los meses de enero y marzo son los que presentan mayor similitud, debido a que estos meses coinciden con la época de nortes (Gutiérrez de Velasco y Winant, 1996 citados por Salas y Granados, 2008). Para la zona oriental el mes de abril y agosto presentan similitud debido a que es época de estío y transición de lluvias (García, 1987 y Vargas, 1993). En la zona oriental, el mes de junio forma un grupo con mayor diferencia, esto se puede deber a que junio presenta una mayor salinidad y pH en comparación con abril y agosto, mientras que para la occidental el mes de junio forma un grupo diferente pero comparte características con abril y agosto, ya que podría deberse a que el mes de junio presenta una mayor densidad al igual que abril, mientras que agosto presentan menor densidad.

Como hemos visto en este estudio el fitoplancton es de gran importancia ya sea en aspectos ecológicos como indicadores de eutrofización así como en su interacción con el hombre. Hay que resaltar que algunas especies reportadas en este trabajo deben de ser estudiadas más afondo, ya que la información con la que se cuenta no es aún suficiente para saber cuál podría ser su impacto a nivel ecológico como

para la salud huma, debido a que algunas especies llegan a ser nocivas para algunos peces de importancia pesquera y consumo humano.

## Conclusiones

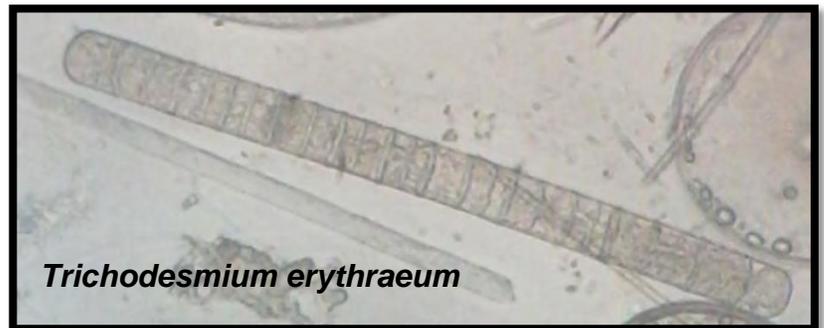
- Los organismos del fitoplancton encontrados se determinaron en 3 divisiones, 5 clases, 20 órdenes, 21 familias, 30 géneros y 54 especies, siendo el grupo de las diatomeas el que predominó, seguido por el grupo de los dinoflagelados, cianofitas y clorofitas.
- En la zona occidental se determinaron 16 familias, 18 géneros y 25 especies y en la zona oriental 17 familias, 23 géneros y 37 especies, siendo la zona oriental la más diversa durante el tiempo de estudio.
- Las máximas densidades registradas en muestras de botella fueron en mes de agosto con 405,500 org/l para la zona occidental y 1, 033,987 org/l para el lado oriental; mientras que en muestras de red con 343 org/l en marzo para la zona occidental y para la oriental en agosto con 408 org/l.
- Los géneros más representativos fueron: *Pseudo-nitzschia*, *Chaetoceros*, *Trichodesmium*, *Rhizosolenia*, *Nitzschia* para ambas zonas, de los cuales *Pseudo-nitzschia* y *Trichodesmium* son considerados formadores de florecimientos algales nocivos.

## Sugerencias

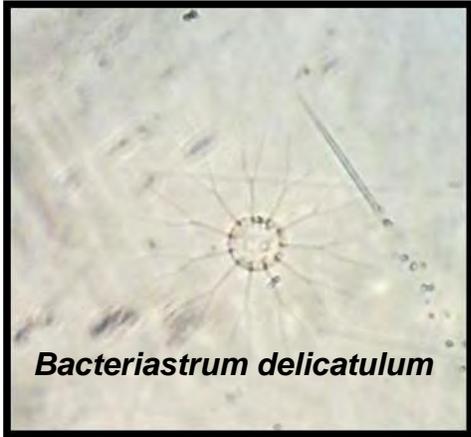
- ❖ Trabajar más estaciones de muestreo para la zona oriental con la finalidad de obtener más información sobre la diversidad de especies que se encuentran ahí, debido a que hay poca información de esta zona en comparación con la zona de playa y la occidental que es donde se encuentra el arrecife.
- ❖ Se debe estudiar más a fondo las especies potencialmente formadoras de florecimientos algales nocivos (*Pseudo-nitzschia* y *Trichodesmium*) ya que estas pueden ser peligrosas para los peces de importancia económica y consumo humano, afectando la salud de los habitantes de la zona.
- ❖ Se recomienda el uso de una red de fitoplancton con una abertura de malla menor a la utilizada para los géneros más pequeños como algunas diatomeas y dinoflagelados.

# Anexo I. Fotografía de los organismos (tomados a 40x)

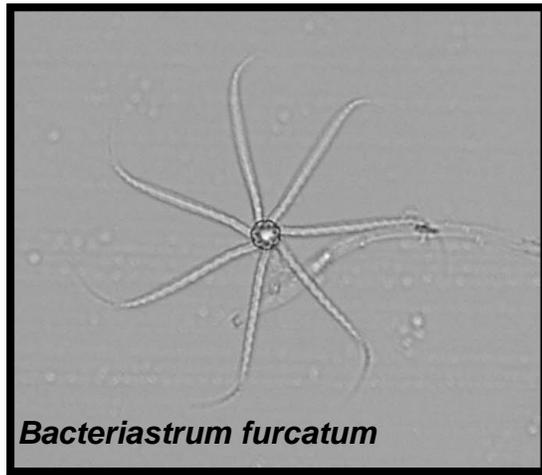
## Cianofitas y clorofitas



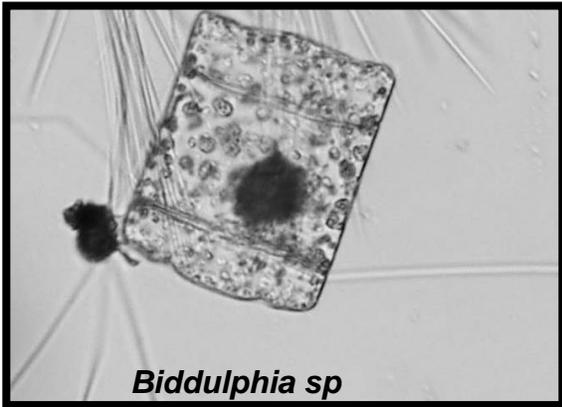
## Diatomeas centrales



*Bacteriastrum delicatulum*



*Bacteriastrum furcatum*



*Biddulphia sp*



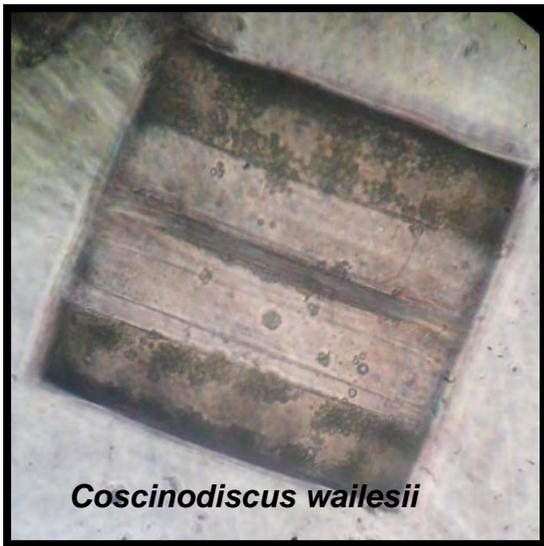
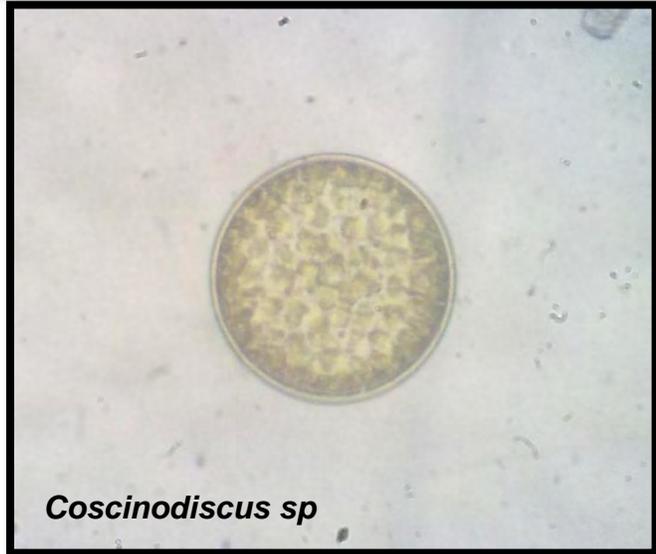
*Chaetoceros danicus*

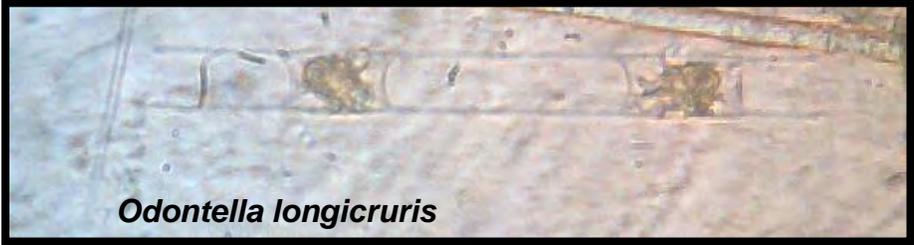
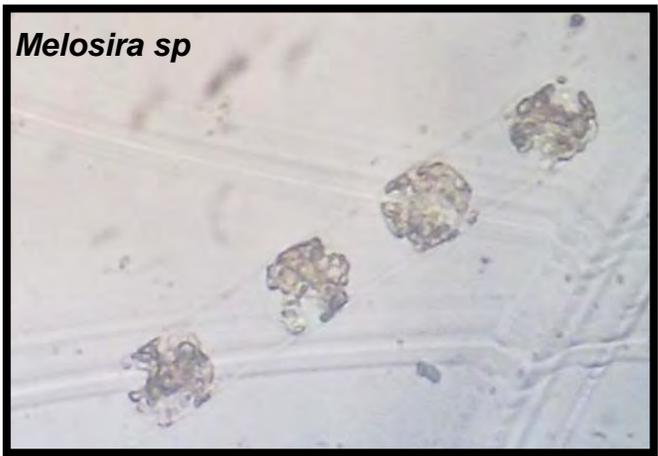


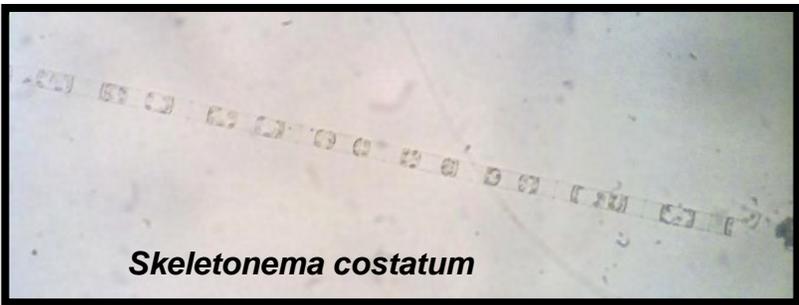
*Chaetoceros affinis*



*Chaetoceros decipiens*







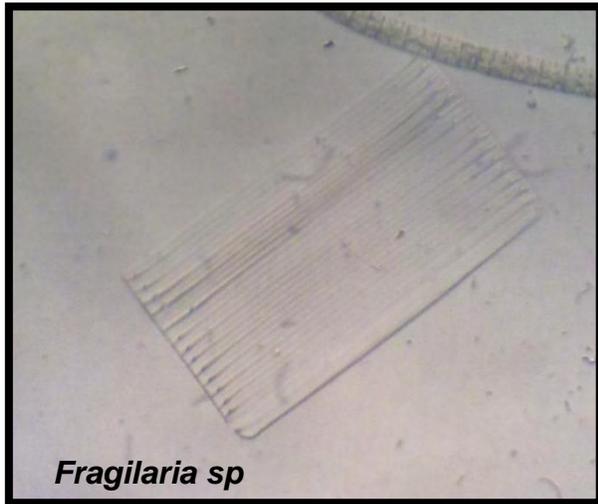
## Diatomeas pennadas



*Aulacoseira sp*



*Asterionellopsis glacialis*



*Fragilaria sp*



*Gyrosigma*



*Navicula sp*



*Nitzschia longissima*



*Nitzschia sigma*

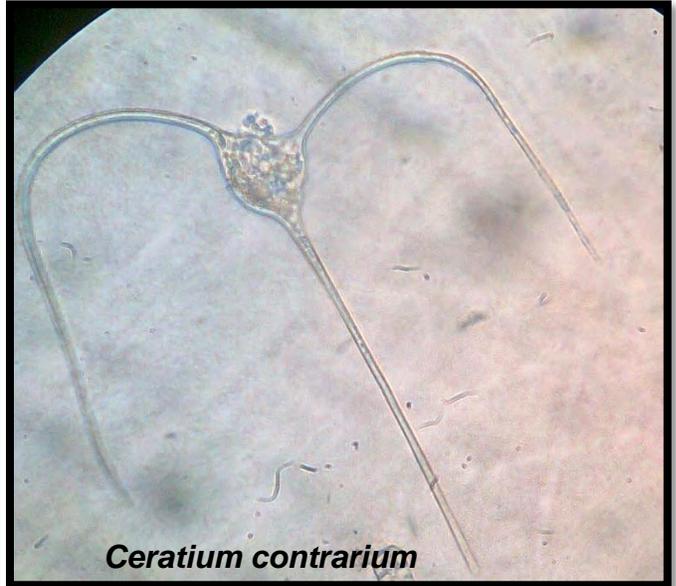


*Pseudo-nitzschia multiseriata*

# Dinoflagelados



*Ceratium contortum* var *contortum*



*Ceratium contrarium*

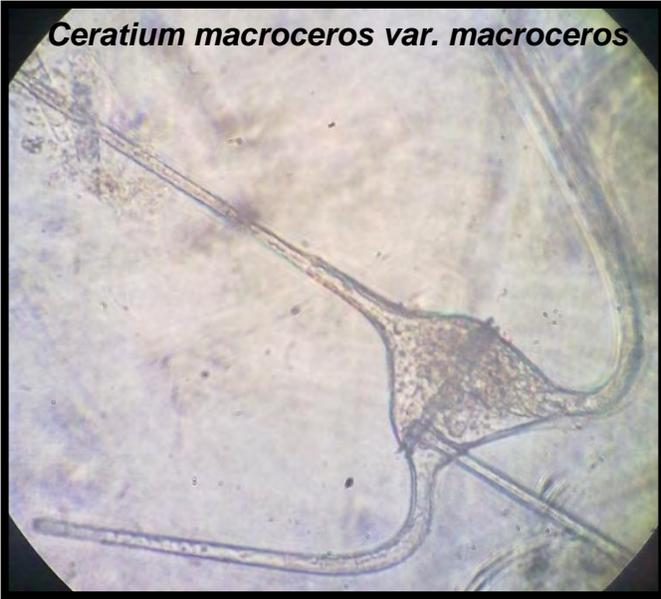


*Ceratium horridum* var *horridum*



*Ceratium furca*

*Ceratium macroceros var. macroceros*



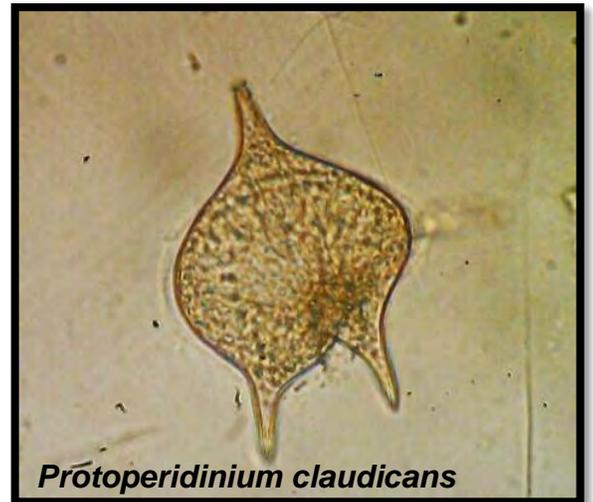
*Ceratium tripos var. breve*



*Ornithocercus orbiculatus*



*Protoperdinium claudicans*



## Anexo II. Calculo del volumen filtrado y extrapolación de los datos

1. Medir el diámetro de las cámaras de sedimentación (cámaras de Utermöhl) y posteriormente se calculó el área de sedimentación de las cámaras con la fórmula:  **$A = \pi r^2$**
2. Después se calculó el número de campos de la cámara de sedimentación (en donde a 40 X en 1 mm<sup>2</sup> hay 6.25 campos).
3. Posteriormente se extrapolo el número de organismos contados con el total de campos de las cámaras de sedimentación.
4. En la muestras de botella se calculó el número de organismos en un litro, y en las de red se calculó el volumen filtrado durante el arrastre utilizando la fórmula del volumen de un cilindro:  **$V = \pi r^2 l$** .
5. Si no se tiene la longitud pero sí el tiempo y la velocidad de arrastre se puede utilizar la fórmula:

$$\text{dist} = \text{long} = \text{velocidad (tiempo)} = l = vt$$

6. Por último se calculó el número de organismos en un litro (org/L)

## Literatura citada

- Aké-Castillo J. A. (2011). Temporal dynamics of *Trichodesmium erythraeum* (Cyanophyta) in the National Park “Sistema Arrecifal Veracruzano” in the Gulf of Mexico. *J. Environ. Biol.* 32: 395-399.
- Aké-Castillo J. A., Okolodkov Y. B., Rodríguez G. C. F. y Campos B. G. (2014). Florecimientos algales nocivos en Veracruz: especies y posibles causas (2002-2012), p. 133-146. En: AV Botello, J Rendón von Osten, JA Benítez y G Gold-Bouchot (eds.). Golfo de México. Contaminación e impacto ambiental: diagnóstico y tendencias. UAC, UNAM-ICMyL, CINVESTAV- Unidad Mérida. p 1174.
- Alonso R. R., Hernández B. D. U. y Gárate L. I. (2008). Catálogo de microalgas de las lagunas costeras de Sinaloa. Instituto de ciencias de Mar y Limnología. UNAM. Serie lagunas costeras de Sinaloa. 1º edición. México. p 198.
- Alvarado Z. G., Amateco R. F. S., Borja M. S., Valdez, S. Z., Valero G. M. E. (2009). Composición del fitoplancton del Lago de Catemaco. Veracruz, México. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Metodología Científica IV. México D.F.
- Andrade H. S. F. (2010). Composición, abundancia y distribución de los Cocolitofóridos (Haptophyceae) de la Costa Occidental de la península de Baja California (Marzo-Abril 2001). Tesis de Licenciatura. Universidad de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán. p 91.
- Arteaga S. E., Rodríguez-Rubio. E., y Galeano A. M. (2008). Distribución, abundancia y composición del fitoplancton y condiciones ambientales en la cuenca pacífica colombiana, durante enero - febrero de 2007. *Boletín Científico CCCP*, (15): 105-122.
- Band-Schmidt C. J., Bustillos-Guzmán. J. J., López-Cortés. D. J., Núñez-Vázquez. E., y Hernández-Sandoval. F. E. (2011). El estado actual del estudio de florecimientos algales nocivos en Mexico. *Hidrobiológica* 21(3): 381-413.
- Bosak S., Gligora U. M., y Sarno D. (2015). Morphological study of *Chaetoceros wighamii* Brightwell (Chaetocerotaceae, Bacillariophyta) from Lake Vrana, Croatia. *Acta Bot. Croat.* 74 (2): 233-244.
- Castellanos O. I. A. y Suárez-Morales E. (1997). Observaciones sobre el zooplancton de la zona arrecifal de Mahahual, Quintana Roo (Mar Cribre Mexicano). *Anales Inst. Biol. Univ. Nac. Autón. Mexico, Ser. Zool.* 68(2): 237-252.

- Cifuentes L. J. L., García T. P. y Frías M. M. (1997). El Océano y sus Recursos: V. Plancton. Fondo de Cultura Económica. México D.F. p 100.
- Cubas P. (2008). Cyanophyta. (Cyanobacteria). Botánica. p 4.
- Darley M. W. (1991). Biología de las algas. Enfoque fisiológico. Ed. Limusa. México. p 236.
- DeBoyd L. S. (1977). A Guide to Marine Coastal Plankton and Marine Invertebrate Larvae. Kendall/Hunt Publishing Company. United States of America. p 161.
- Diario Oficial de la Federación. (2012). DECRETO que modifica al diverso por el que se declara Área Natural Protegida, con el carácter de Parque Marino Nacional, la zona conocida como Sistema Arrecifal Veracruzana. Publicado el 29 de noviembre de 2012.
- Dimar-CIOH. (2011). Catálogo de Fitoplancton de la Bahía de Cartagena, Bahía Portete y Agua de Lastre. Dirección General Marítima-Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Caribe. Ed Dimar, Serie de Publicaciones Especiales CIOH. Vol. 5. Cartagena de Indias, Colombia. p 135.
- Durán L. S. (1998). Diatomeas (Bacillariophyceae) más abundantes y frecuentes de la plataforma y talud continental del sur del Golfo de México. UNAM. Informe final SNIB-CONABIO proyecto No. H315. México D.F.
- Escribano R. y Castro L. (2004) Plancton y Productividad. (Eds.). Biología Marina y Oceanografía: Conceptos y Procesos. Tomo I. Editorial Trama. Chile. p 289-302.
- Esqueda-Lara K. y Hernández-Becerril D. U. (2010). Dinoflagelados microplañctónicos marinos del Pacífico Central de México (Isla Isabel, Nayarit y costas de Jalisco y Colima). Instituto de ciencias de Mar y Limnología. UNAM. 1ª edición. México. p 206.
- Ferrario M.E. (2003). Algas tóxicas y su relación con el hombre. Memorias Curso Internacional Algas. p 119-126.
- Ferrario M.E., Almadóz G., Licea S. y Garibotti I. (2008). Species of *Coscinodiscus* (Bacillariophyta) from the Gulf of Mexico, Argentina and Antarctic waters: morphology and distribution. *Nova Hedwigia*, Beiheft 133. p 187-216.
- Galicia García C., y Morales García A. (2007). Investigaciones sobre macroalgas realizadas en el sistema arrecifal veracruzano, In: Granados B. A., Abarca A. L. G. y Vargas H. J.M. (Eds.). Investigaciones Científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano. Universidad Autónoma de Campeche. p 141-160.

- Galeano Chavarría A. M. y Arteaga Sogamoso E. (2010). Distribución y abundancia de diatomeas del genero *Pseudo-nitzschia* en condición de el niño 2007 sobre la cuenca pacifica colombiana. Santa Marta, Colombia. Bol. Invest. Mar. Cost. 39 (1): 25-39.
- García E. (1987). Apuntes de climatología. Larios e hijos impresores. 3ª edición. México D.F. p 153.
- Góngora S. I. I. (2014). Visión del plancton en el Arrecife Santiaguillo Veracruz. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. p 98.
- González-Acosta, De la Cruz-Agüero A. F., G., De la Cruz Agüero J. and Ruiz-Campos G. (2005). Seasonal pattern of the fish assemblage of El Conchalito mangrove swamp, La Paz Bay, Baja California Sur, Mexico. Hidrobiológica 15 (2 Especial): 205-214.
- Hernández-Becerril H. D. U. (2014). Biodiversidad de algas planctónicas marinas *Cyanobacteria*, *Prasinophyceae*, *Euglenophyta*, *Chrysophyceae*, *Dictyochophyceae*, *Eustigmatophyceae*, *Parmophyceae*, *Raphidophyceae*, *Bacillariophyta*, *Cryptophyta*, *Haptophyta*, *Dinoflagellata* en México. Revista Mexicana de Biodiversidad, Supl. 85: 44-53.
- Hernández G. J. A. A. (2016). El género *Chaetoceros* en zona de playa, mar y arrecife dentro del Sistema Arrecifal Veracruzano. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza. UNAM. Mexico D.F. p 58.
- Instituto de Ciencias del Mar (ICM-CSIC) - Fundación "La Caixa". (2011). El plancton. Guía didáctica. El Mar a Fondo. p 1-18.
- Jairo R. J. (2000). Fitoplancton de agua dulce: aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios. Editorial Ciencia y Tecnología Universidad de Antioquia. Medellín Colombia. p 207.
- Jiménez Hernández M.A., Granados Barba A. y Ortíz Lozano L. (2007). Análisis de la información científica en el Sistema Arrecifal Veracruzano, In: Granados B. A., Abarca A. L.G., y Vargas H. J.M. (Eds.). Investigaciones Científicas en el Sistema Arrecifal Veracruzano. Universidad Autónoma de Campeche. p 1-16.
- Krutak P. R., Rickles S. and Gío-Argáez R. (1980). Modern ostracod species diversity, dominance, and biofacies patterns Veracruz-Antón Lizardo reefs, México. Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, 7. p 181-198.
- Lenes, J.M., Darrow B.P., Cattrall C., Heil C.A., Callahan M., Vargo G.A. and Byrne R.H. (2001). Iron fertilization and the *Trichodesmium* response on the West Florida shelf. Limnol. Oceanogr., 46(6), 1261-1277.

- Magaña H. A., Contreras C. y Villareal T. A. (2003). A historical assessment of *Karenia brevis* in the western Gulf of Mexico. *Harmful Algae* 2. p 163-171.
- Márques D. S. Ma. J. (2004). Probabilidad y Estadística para Ciencias Químico Biológicas. Facultad de Estudios Superiores, UNAM. México D.F. p 626.
- Martínez L. B. y Pares S. A. (1998). Circulación del golfo de México inducida por mareas, viento y la corriente de Yucatán Universidad Autónoma de Baja California Ensenada, México. *Ciencias Marinas*, 24(1): 65-93.
- Milton S. J. (2001). Estadística para biología y ciencias de la salud. 3º edición. Editorial Mc Graw – Hill. p 592.
- Min Yun S., Deuk Lee S., y Hwan Lee J. (2011). Morphology and distributions of some marine diatoms, family Rhizosoleniaceae, genus *Rhizosolenia*, in Korea coastal waters. *Algae* 26(2): 141-152.
- Monreal-Gómez. M. A., Salas de León D., y Velazco-Mendoza. H. (2004). La hidrodinámica del Golfo de México. In: Diagnóstico ambiental del Golfo de México (M. Caso, I. Pisanty y Ezcurra, Eds.) Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAT. México. p 47-68.
- Moreira A., Seisdedo M., Leal S., Comas A., Delgado G., Regadera R., Alonso C., Muñoz A. y Abatte M. (2007). Composición y abundancia del fitoplancton de la bahía de Cienfuegos Cuba. *Rev. Invest. Mar.* 28(2): 97-109.
- Okolodkov B. Y. (2008). *Protoperidinium Bergh* (Dinophyceae) of the National Park Sistema Arrecifal Veracruzano, Gulf of Mexico, with a key for Identification. *Acta Botánica Mexicana* 84: 93-149.
- Okolodkov B. Y. (2010). *Ceratium Schrank* (Dinophyceae) of the National Park Sistema Arrecifal Veracruzano, Gulf of Mexico, with a key for identification. *Acta Botanica Mexicana* 93: 41-101.
- Okolodkov B. Y. y Blanco P. R., (2011a). Diversidad de microalgas marinas y de aguas salobres. (Eds.). CONABIO. La Biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado. Universidad Veracruzana. Instituto de Ecología. Vol. 1: 59-69.
- Okolodkov B. Y. y Blanco P. R., (2011b). Ecología y productividad primaria de microalgas marinas y mixohalinas (Eds.). CONABIO. La Biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado. Universidad Veracruzana. Instituto de Ecología. Vol. 1: 319-325.
- Okolodkov B. Y., Aké-Castillo J. A., Gutiérrez-Quevedo M. G., Pérez- España H. and Salas-Monreal D. (2011c). Annual cycle of the plankton biomass in the National Park Sistema Arrecifal Veracruzano, southwestern Gulf of Mexico. In: Zooplankton and Phytoplankton. Editor: Giri Kattel. p 1-26.

- Okolodkov B. Y. (2014). Dinophysiales (Dinophyceae) of the National Park Sistema Arrecifal Veracruzano, Gulf of Mexico, with a key for identification. *Acta Botanica Mexicana* 106: 9-7.
- Okolodkov B. Y., Aké-Castillo J. A., Campos-Bautista G., Lara-Martínez R., y Jiménez-García L. F. (2015). Dinámica anual del género *Pseudonitzschia* (Bacillariophyceae) en el Sistema Arrecifal Veracruzano. p 249- 266. En: A. Granados-Barba, L. Ortiz-Lozano, D. Salas-Monreal y C. González-Gándara (eds.). Aportes al conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México. Universidad Autónoma de Campeche. p 366.
- Oliva-Martínez M. G., Godínez-Ortega J. L. y Zúñiga-Ramos C. A. (2014). Biodiversidad del fitoplancton de aguas continentales en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, Supl. 85: 54-61.
- Orduña M. R. E. (2012). Patrones de distribución y abundancia del fitoplancton nocivo en la zona costera de Tuxpan Veracruz, México. Tesis de Maestría en manejo de ecosistemas marinos y costeros. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Campus Tuxpan. p 139.
- Ortiz C. A. K. (2016). Estudio comparativo del fitoplancton presente en la zona litoral de Antón Lizardo y una zona arrecifal, en Santiagoillo, Veracruz. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza. UNAM. p 1-170.
- Parra-Toriz D., Ramírez-Rodríguez M. L. A., y Hernández-Becerril D. U. (2011). Dinoflagelados (Dinophyta) de los órdenes Prorocentrales y Dinophysiales del Sistema Arrecifal Veracruzano, México. *Rev. Biol. Trop.* Vol. 59 (1): 501-514.
- Pearson L. M., Okolodkov B. Y. y Aké-Castillo. A. J. (2012). Diversity and Morphology of the species of *pseudo-nitzschia* (Bacillariophyta) of the National Park Sistema Arrecifal Veracruzano, SW Gulf of Mexico. *Acta Botanica Mexicana* 98: 51-72.
- Pérez-España, H., Bello-Pineda, J., Ávila-Santiago, P. Berumen-Solorzano, P., Melo-Merino, S., Flores-Arévalo, R. R., Santander-Monsalvo, J., GómezVillada, R. S., Román-Vives, M. A., Ruiz-Lozano, C., Alvarado-Tejeda, M., Roldán-Ubando, A. A. y A. Cabrera-Valenzuela. (2015). Monitoreo del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano: Segunda Etapa. Universidad Veracruzana, Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías. Informe final SNIB-CONABIO, proyecto GM004, México D.F.
- Pérez-Morales. A., Aké-Castillo J. A., Okolodkov Y. B. y Campos-Bautista. G. (2015). Florecimientos algales nocivos y eutrofización frente a la costa del

- Puerto de Veracruz, suroeste del Golfo de Mexico. Comité Editorial Participante Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, Universidad Veracruzana. Revista Digital E-BIOS. Número Especial Vol.2, No.8. p 1-196.
- Presta M. L., Priotto S. E., Riccialdelli L., Villatarco A. P., y Hoffmeyer M. (2012). Fitoplancton y zooplancton de la plataforma Patagónica. Campaña “Patagonia Austral”. Argentina. p 5-13.
  - Rodríguez-Gómez C. F., Aké-Castillo J. A. y Campos-Bautista G. (2013). Productividad primaria bruta y respiración planctónica en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. *Hidrobiología* 23(2): 143-153.
  - Rodríguez-Gómez C. F., Aké-Castillo J. A., Campos-Bautista G. y Okolodkov B. Y. (2015). Revisión del estudio del fitoplancton en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Comité Editorial Participante Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, Universidad Veracruzana. Revista Digital E-BIOS. Número Especial Vol.2, No.8. p 1-196.
  - Rojas A. J. (2008). Respuesta de la circulación oceánica ante el forzamiento de eventos de norte en la zona del Sistema Arrecifal Veracruzano. Tesis de maestría en ciencias (física de la atmosfera). Posgrado en Ciencias de la Tierra. Centro de Ciencias de la Atmosfera. UNAM. p 55.
  - Salas-Pérez J.J y Granados-Barba A. (2008). Oceanographic characterization of the Veracruz reefs system. *Atmosfera* 21(3): 281-301.
  - Salas-Monreal. D., Salas-de-León D. A., Monreal-Gómez M.A. y Riverón Enzástiga M. L. (2009). Current rectification in tropical coral reef system. Springer-Verlag. P 1-9.
  - Salgado U. I. H. (1992). Análisis exploratorio de datos biológicos. Ed. Marc ediciones. México. p 242.
  - Sokal R. y Rohlf F. J. (1981). *Biometry*. Freeman. 2° Ed. San Francisco, California. p 259.
  - Tomas R. C. (1997). *Identifying Marine Phytoplankton*. Academic Press. San Diego, California. p 835.
  - Vargas-Hernández J.M., Hernández-Gutiérrez A. y Carrera-Parra L. F. (1993). Sistema Arrecifal Veracruzano. p 559-575. In S.I. Salazar-Vallejo y N.E. González (Eds.). *Biodiversidad Marina y Costera de México*. CONABIO y CIQRO, México D.F. México. p 865.
  - Van Den Hoek. C., Mann G. D. y Jahns M. H. (1995). *Algae. An introduction to phycology*. Cambridge University Press. p 614.
  - Varona-Cordero, F., Gutiérrez, M. F. (2003). Estudio multivariado de la fluctuación espacio-temporal de la comunidad fitoplanctónica en dos lagunas costeras del estado de Chiapas. *Hidrobiológica* 13(3): 177-194.

- Schneider W., Fuenzalida R., y Garcés J. (2004) Corrientes marinas y masas de agua. (Eds.). Biología Marina y Oceanografía: Conceptos y Procesos. Tomo I. Editorial Trama. Chile. p 289-302.
- Zavala-Hidalgo J., Monrey S. L. and O' Brien J. (2003). Seasonal circulation on the western shelf the Gulf of Mexico using a high-resolution numerical model. Journal of Geophysical Research, Vol. 108 (19): 1-19.

## Literatura electrónica

- <http://www.biodiversidad.gob.mx/ecosistemas/arrecifes.htm> [consultado el 7/06/17]
- [http://www.conanp.gob.mx/que\\_hacemos/parques\\_nacionales.php](http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/parques_nacionales.php) [consultado el 13/04/15]
- <http://digaohm.semarnat.gob.mx/derrotero/derrotero/veracruz.pdf> [consultado el 13/04/15]
- [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5280548&fecha=29/11/2012](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5280548&fecha=29/11/2012) [consultado 15/03/15].
- [http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/temas/ordenamientoecologico/cimares/Documents/enabmc\\_consultapublica.pdf](http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/temas/ordenamientoecologico/cimares/Documents/enabmc_consultapublica.pdf) [consultado 6/08/14].
- <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/2/sav.html> [consultado 15/05/14].