



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

**DISTRIBUCIÓN DE LA BIOMASA Y LA DENSIDAD
PLANCTÓNICA EN LA ZONA SUR DEL PARQUE NACIONAL
SISTEMA ARRECIFAL VERACRUZANO**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I O L O G O

P R E S E N T A:

BRIAN SERRANO TRIGUEROS

Director: Ból. Angélica Elaine Gonzalez Schaff



Ciudad de México, 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



Dedicatoria

A mi mamá María de la Luz Trigueros Gómez

Por la confianza que siempre me ha dado y que gracias a eso he hecho lo que me gusta. Por tu apoyo, que sin él, no hubiera podido salir adelante. Tú eres la principal razón de todo lo que hago y jamás tendré forma de agradecerte todo lo que has hecho por mí. Porque eres y seguirás siendo la persona más importante y especial en mí vida.

A mis hermanos; Scarlet, Europa y Clark

Sin ustedes mi vida no sería la misma, gracias por estar siempre a mi lado, por su paciencia, amor y por estar presentes en este momento tan importante.

A mi familia Trigueros Gómez

Porque desde que nací me han cuidado y me han ayudado en todo momento, gracias por el cariño que me han dado y por compartir momentos inolvidables.

A mi familia Santin Castillo

Gracias por recibirme desde pequeño y por los cuidados, el apoyo y el cariño que me han demostrado. Porque sin sus regaños, consejos y comprensión no sería la persona que soy.

A mis abuelos

Luisa Gómez Gómez †

Salvador Trigueros Zavala

María del Pilar Castillo Gómez

Carlos Castillo Ruiz

Me siento orgullo de ser su nieto.



Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México por permitirme formar parte de la máxima casa de estudios de México desde el bachillerato, lo cual me ha hecho respetarla y sentirme orgulloso de formar parte de esta gran comunidad. Además, de darme la oportunidad de tener una profesión y a la vez conocer a personas inigualables que formaran parte de mi futuro profesional y personal. Gracias a la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza por formarme profesionalmente, porque fue un orgullo haber recorrido sus instalaciones durante 4 años en donde me permitió vivir parte de los momentos más felices de toda mi vida.

A la Biól. Angélica Elaine González Schaff por ser mi último impulso para poder lograr uno de mis sueños. Gracias por abrirme las puertas del laboratorio y dedicarme su tiempo para la formación de mi futuro profesional, por sus consejos personales y profesionales, por la motivación y sobre todo por su confianza y comprensión. Fue un placer y siempre será un orgullo haber sido su alumno. Le deseo lo mejor siempre.

A la Dra. Alejandrina Graciela Ávila, a la Dra. Bertha Peña Mendoza, a la M en C. E. Roció Espitia Licea y al Dr. Gabriel Granados Gutiérrez por siempre tomarse el tiempo necesario para poder ayudar y escuchar las necesidades de sus alumnos, por todos los conocimientos transmitidos durante la elaboración de mi tesis, por las observaciones y correcciones las cuales me ayudan a crecer profesionalmente.

A la Biól. Beatrice Argüelles Marrón por estar ahí durante toda mi carrera, ya que gracias a tu presencia viví parte de los momentos más alegres de la carrera. Es difícil encontrar a personas como tú. Te deseo lo mejor para futuro profesional y personal. ¡Te quiero mucho!

A mis amigos de la secundaria: Diana Karen, Diana Reséndiz y Jesús Camacho porque ustedes son de esas amistades sinceras que quiero para toda mi vida. Gracias por escucharme en mis momentos de frustración, y por estar ahí en las buenas y en las malas. ¡Los quiero mucho!

A mis compañeros y amigos de toda la carrera: Beatrice, Diego, Guillermo, Feder, Vivi, Mili, Isai, Frida, Jael, Vanne Bla, Sandra, Diego Riveros, Valeria y Anita, porque cada uno de ustedes me sacaron más de una sonrisa y me hicieron pasar momentos únicos dentro



y fuera de la Facultad. Mucho éxito en su vida personal y profesional. Mis mejores deseos siempre. Los quiero.

A mi amigo Diego Mayorga, gracias por los buenos momentos que me hiciste pasar y la confianza que me has brindado, eres un amigo muy especial del cual siempre tendré un gran aprecio y cariño

A Sandra y Mili porque con ustedes viví una experiencia única, el cual me ayudo a crecer más como persona, gracias por su tolerancia, ayuda y comprensión, pero sobre todo por confiar en mí y compartir el mismo sueño que yo, ya que sin ustedes mi estancia en Mazatlán no hubiera sido la misma. Les deseo mucho éxito.

A la Biól. Yess Brau, por esas caminatas en el malecón y los atardeceres que disfrutamos juntos. Gracias por los consejos, los regaños, las enseñanzas, las experiencias vividas, la confianza, la tolerancia y sobre todo gracias por presentarte en mi camino. Eres una amistad muy valiosa. ¡Te quiero mucho!

A mis amigos del ICMYL-Mazatlán: Yess, Jorge, Yaneth, Martin, Ernesto, Eduardo, Cabra, Brenda, Coral. Les agradezco todos los momentos que compartí con ustedes en Mazatlán, por ayudarme a que mi estancia allá fuera más fácil, pero sobre todo por enseñarme que a donde quiera que vaya siempre encontrare a personas buenas como ustedes. Mis mejores deseos a donde quiera que los lleve la vida.

“Al Mar”

¡Gracias ¡



Necesito del mar porque me enseña

no sé si aprendo música o conciencia

no sé si es ola sola o ser profundo

o sólo ronca voz o deslumbrante

suposición de peces y navíos

-Pablo Neruda-





Índice

INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES.....	6
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
JUSTIFICACIÓN.....	8
OBJETIVO GENERAL	9
OBJETIVOS PARTICULARES	9
MATERIAL Y METODO	10
ÁREA DE ESTUDIOS.....	10
TRABAJO EN CAMPO	13
OBTENCIÓN DE LA BIOMASA	14
DENSIDAD	15
ELABORACIÓN DE MAPAS CON ARCGIS.....	15
ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	16
RESULTADOS.....	17
PUNTOS DE MUESTREO	17
.....	17
DURANTE LAS TRES ÉPOCAS SE REALIZARON 42 MUESTREOS (14 POR CADA ÉPOCA). SE TOMARON EN COMO REFERENCIA 3 CONDICIONES DIFERENTES PARA UBICAR LOS PUNTOS: PLAYA, INFLUENCIA OCEÁNICA Y ARRECIFE, LAS CUALES SE DISTINGUÍAN PRINCIPALMENTE POR LA PROFUNDIDAD Y LAS CORRIENTES DENTRO DEL SISTEMA. LA PROFUNDIDAD DE LA ZONA DE ARRECIFE ERA DE 0 A 5 METROS; INFLUENCIA OCEÁNICA 20 METROS; PLAYA, 1 METRO.....	17
TEMPERATURA	18
<i>Análisis estadísticos de temperatura</i>	21
SALINIDAD	23
<i>Análisis estadísticos de salinidad</i>	26
BIOMASA	28
<i>Análisis estadísticos de biomasa</i>	31
DISTRIBUCIÓN Y DENSIDAD DEL FITOPLANCTON	32
MAPAS DE DISTRIBUCIÓN.....	32
<i>Diatomeas centrales</i>	33
<i>Diatomeas pennales</i>	34
<i>Dinoflagelados</i>	35
<i>Trichodesmium</i>	36
DENSIDAD DEL FITOPLANCTON	37
ANÁLISIS DE LA DENSIDAD TOTAL DEL FITOPLANCTON	43
DISTRIBUCIÓN Y DENSIDAD DEL ZOOPLANCTON	45
<i>Copépodos</i>	45
<i>Huevos y larvas de peces</i>	45
<i>Larvas de crustaceos</i>	47
<i>Larvas de Moluscos</i>	48
DENSIDAD DEL ZOOPLANCTON	49
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA DENSIDAD TOTAL DEL ZOOPLANCTON	53
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	55
TEMPERATURA	55
SALINIDAD	56
BIOMASA	56
DISTRIBUCIÓN Y DENSIDAD DEL FITOPLANCTON	58



DENSIDAD TOTAL DEL FITOPLANCTON	61
DISTRIBUCIÓN DEL ZOOPLANCTON	61
CONCLUSIONES	65
RECOMENDACIONES	67
REFERENCIAS.....	68
ANEXO	79

FIGURAS

FIGURA 1. POLÍGONO DEL PARQUE NACIONAL SISTEMA ARRECIFAL VERACRUZANO QUE INCLUYE LA ZONA NORTE FRENTE AL PUERTO DE VERACRUZ Y LA ZONA SUR FRENTE AL MUNICIPIO DE ANTÓN LIZARDO, POR ORTIZ-LOZANO ET AL. (2009).....	12
FIGURA 2. ZONA SUR DEL PARQUE NACIONAL SISTEMA ARRECIFAL VERACRUZANO, ESTACIONES DE MUESTREO DURANTE LAS 3 ÉPOCAS. PUNTOS AMARILLOS ÉPOCA DE SECAS; PUNTOS ROJOS; ÉPOCA DE LLUVIAS Y PUNTOS AZULES ÉPOCA DE NORTES.	17
FIGURA 3. DISTRIBUCION DE LA TEMPERATURA DURANTE TODO EL AÑO: EN UNA ESCALA DONDE LOS PUNTOS NEGROS MUESTRAN LAS TEMPERATURAS REGISTRADAS MAS BAJAS Y LOS ROJOS LAS TEMPERATURAS MAS ALTAS.....	20
FIGURA 4. DIAGRAMA DE CAJAS Y BIGOTES CON RESPECTO A LA TEMPERATURA (°C) REGISTRADA EN ÉPOCA DE LLUVIAS, NORTES Y SECAS.....	21
FIGURA 5. DISTRIBUCION DE LA SALINIDAD DE LOS 6 MUESTREOS EN LA ZONA SUR DEL PNSAV.....	25
FIGURA 6. <i>DIAGRAMA DE CAJAS Y BIGOTES CON RESPECTO A LA SALINIDAD (UPS) REGISTRADA EN ÉPOCA DE LLUVIAS, NORTES Y SECAS.</i>	26
FIGURA 7. DISTRIBUCIÓN DE LA BIOMASA EN MG/M ³ DURANTE LA ÉPOCA DE SECAS EN LA ZONA SUR DEL PNSAV.	28
FIGURA 8. DISTRIBUCIÓN DE LA BIOMASA EN ÉPOCAS DE LLUVIAS EN LA ZONA SUR DEL PNSAV.	29
FIGURA 9. DISTRIBUCIÓN DE LA BIOMASA EN MG/M ³ EN LA ÉPOCA DE NORTES EN LA ZONA SUR DEL PNSAV.....	30
FIGURA 10. DIAGRAMA DE CAJAS Y BIGOTES CON RESPECTO A LA BIOMASA EN ÉPOCA DE LLUVIAS, NORTES Y SECAS.....	31
FIGURA 11. MAPA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA DENSIDAD (ORGANISMOS/M ³) DE LAS DIATOMEAS CENTRALES EN LA ZONA SUR DE PNSAV....	33
FIGURA 12. MAPA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA DENSIDAD (ORGANISMOS/M ³) DE LAS DIATOMEAS PENNALES EN LA ZONA SUR DE PNSAV. ...	34
FIGURA 13. MAPA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA DENSIDAD (ORGANISMOS/M ³) DE LOS DINOFLAGELADOS EN LA ZONA SUR DE PNSAV.....	35
FIGURA 14. MAPA DE LA DISTRIBUCIÓN DE LA DENSIDAD (ORGANISMOS/M ³) DE TRICHODESMIUM EN LA ZONA SUR DE PNSAV.....	36
FIGURA 15. COSCINODISCUS	41
FIGURA 16. CERATIUM	41
FIGURA 17. TRICHODESMIUM	41
FIGURA 18. NEOCALYPTRELLA.	41
FIGURA 19. PLEUROSIGMA.	42
FIGURA 20. MELOSIRA	42
FIGURA 21. <i>DIAGRAMA DE CAJAS Y BIGOTES CON RESPECTO A LA DENSIDAD TOTAL DEL FITOPLANCTON (ORG/M³) REGISTRADA EN ÉPOCA DE LLUVIAS, NORTES Y SECAS.</i>	43
FIGURA 22. DISTRIBUCIÓN DE LA DENSIDAD (ORG/M ³) DE COPÉPODOS EN LA EN LA ZONA SUR DE PNSAV.	45
FIGURA 23. DISTRIBUCIÓN DE LA DENSIDAD (ORG/M ³) DE HUEVOS Y LARVAS DE PECES EN LA EN LA ZONA SUR DE PNSAV.	46



FIGURA 24. DISTRIBUCIÓN DE LA DENSIDAD (ORG/M ³) DE LARVAS DE CRUTÁCEOS EN LA EN LA ZONA SUR DE PNSAV.	47
FIGURA 25. DISTRIBUCIÓN DE LA DENSIDAD (ORG/M ³) DE COPÉPODOS EN LA EN LA ZONA SUR DE PNSAV.	48
FIGURA 26. TINTINIDO A 20 X.	51
FIGURA 27. OSTRÁCODA A 20 X.	51
FIGURA 28. CIRRÍPEDO A 20X.	51
FIGURA 29. HUEVO DE PEZ.	52
FIGURA 30. LARVA ZOEAL.	52
FIGURA 31. GASTERÓPODO	52
FIGURA 32. LARVAS DE BIVALVOS.	52
FIGURA 33. LARVA DE EQUINODERMO.	52
FIGURA 34. CYCLOPIDE.	52
FIGURA 35. <i>DIAGRAMA DE CAJAS Y BIGOTES CON RESPECTO A LA DENSIDAD TOTAL DEL ZOOPLANCTON (ORG/M³) REGISTRADA EN ÉPOCA DE LLUVIAS, NORTES Y SECAS.</i>	53

GRAFICAS

GRÁFICA 1. COMPORTAMIENTO DE LA T° A LO LARGO DEL AÑO, EN EL EJE DE LAS X ESTÁN LOS 6 MUESTREOS QUE SE REALIZARON: ENERO Y FEBRERO CORRESPONDEN A LA ÉPOCA DE SECAS, EL MUESTREO ABRIL Y JUNIO A LA ÉPOCA DE LLUVIAS Y SEPTIEMBRE Y OCTUBRE A LA ÉPOCA DE NORTES.	18
GRÁFICA 2. PROMEDIO DE LA SALINIDAD A LO LARGO DEL AÑO, EN EL EJE DE LAS X ESTÁN LOS 6 MUESTREOS QUE SE REALIZARON: ENERO Y FEBRERO CORRESPONDEN A LA ÉPOCA DE SECAS, EL MUESTREO ABRIL Y JUNIO A LA ÉPOCA DE LLUVIAS Y SEPTIEMBRE Y OCTUBRE A LA ÉPOCA DE NORTES.	23

TABLAS

TABLA 1. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS ESTADÍSTICAS REALIZADAS PARA LA COMPARACIÓN DE LA TEMPERATURA ENTRE ÉPOCAS, CON UN VALOR DE CONFIANZA DEL 95.0%.	22
TABLA 2. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS ESTADÍSTICAS REALIZADAS PARA LA COMPARACIÓN DE LA SALINIDAD ENTRE ÉPOCAS, CON UN VALOR DE CONFIANZA DEL 95.0%.	27
TABLA 3. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS ESTADÍSTICAS REALIZADAS PARA LA COMPARACIÓN DE LA BIOMASA ENTRE ÉPOCAS, CON UN VALOR DE CONFIANZA DEL 95.0%.	32
TABLA 4. AGRUPACIÓN DE LOS ORGANISMOS DEL FITOPLANCTON PRESENTES DURANTE LOS MUESTREOS REALIZADOS EL PNSAV.	38



TABLA 5. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS ESTADÍSTICAS REALIZADAS PARA LA COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD TOTAL DEL FITOPLANCTON ENTRE ÉPOCAS, CON UN VALOR DE CONFIANZA DEL 95.0%.....	44
TABLA 6. AGRUPACION DE LOS MICROORGANISMOS DEL ZOOPLANCTON ENCONTRADOS EN LA ZONA SUR DEL PNSAV	50
TABLA 7. RESULTADOS DE LAS PRUEBAS ESTADÍSTICAS REALIZADAS PARA LA COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD TOTAL DEL FITOPLANCTON ENTRE ÉPOCAS, CON UN VALOR DE CONFIANZA DEL 95.0%.....	54
TABLA 8. TEMPERATURA REGISTRADA EN CADA UNO DE LOS PUNTOS MUESTREADOS A LO LARGO DE LAS 3 ÉPOCAS EN LA ZONA SUR DEL PNSAV.....	79
TABLA 9. SALINIDAD REGISTRADA EN CADA UNO DE LOS PUNTOS MUESTREADOS DURANTE LAS 3 ÉPOCAS EN LA ZONA SUR DE PNSAV.....	79
TABLA 10. VALORES DE LA BIOMASA OBTENIDOS EN MG/M ³ DURANTE LAS TRES ÉPOCAS DE MUESTREO EN LA ZONA SUR DEL PNSAV.....	80
TABLA 11. VARIACIÓN DE LA DENSIDAD DE LOS GRUPOS DEL ZOOPLANCTON PRESENTES EN LAS DOS ÉPOCAS REGISTRADAS EN LA ZONA SUR DEL PNSAV.....	80



Resumen

El presente estudio se basó principalmente en buscar patrones que ayudaran a determinar la distribución del plancton en la zona sur del Parque Nacional Sistemas Arrecifal Veracruzano (PNSAV). Se realizó en un periodo de 10 meses (enero 2017 – octubre 2017), durante este tiempo se presentan tres periodos climatológicos secas, lluvias y nortes, la cual está relacionada con la temporalidad atmosférica del Golfo de México. Se obtuvo la densidad y la biomasa planctónica al igual que parámetros hidrológicos como: temperatura y salinidad. Una vez que se obtuvieron los datos, se trabajó una base en excel con los grupos más abundantes de plancton junto con su densidad, coordenadas geográficas y época; con el principal objetivo de crear mapas que expliquen mejor gráficamente cómo se comporta esta comunidad tan importante en la zona sur del PNSAV. La biomasa cambió de acuerdo al periodo, encontrándose los valores en mg/L más altos en el periodo de lluvia, seguida por nortes y la biomasa más baja se registró en el periodo de secas, considerando la temperatura y la salinidad como los factores más importantes que influyen en la distribución de las comunidades planctónica.



INTRODUCCIÓN

El planeta tierra y en especial los océanos se han calentado significativamente durante las últimas décadas. Se han documentado temperaturas crecientes y cambios en los patrones de lluvia, lo que está provocando cambios en los procesos físicos, biológicos y químicos (Walther *et al.*, 2002; Treydte *et al.*, 2006). En los lagos y océanos, se ha demostrado un cambio en la temperatura de aproximadamente 0.1°C por año. Este calentamiento se ha registrado desde la superficie hasta una profundidad de alrededor de 700 metros, donde habita la fauna y flora acuáticos incluido el plancton (Álvarez-Borrego, 2007).

En el ecosistema marino, el plancton se define como el conjunto de organismos, ya sean animales, vegetales o protozoarios que habitan en la columna de agua y poseen una capacidad limitada para desplazarse, por lo cual su movimiento depende de la corriente marina (Escribano y Castro, 2004).

El plancton se divide principalmente en fitoplancton (organismos foto autótrofos) y zooplancton (animales y protozoarios). El fitoplancton es una comunidad integrada por organismos fotosintéticos que viven en suspensión en el océano abierto, aguas costeras y continentales (Badillo *et al.*, 2010). Los grupos que integran principalmente a las comunidades de aguas marinas son las diatomeas, dinoflagelados, cocolitoforidos y cianobacterias, en aguas continentales los grupos representativos son las criptofitas, primnesiofitas, silicoflagelados, clorofitas y euglofitas (Fryxell y Hasle, 2004).

Por otro lado, el zooplancton, incluye todos aquellos animales que obtienen su energía ingiriendo otros organismos, principalmente fitoplancton. Este grupo está



constituido por organismos generalmente microscópicos adultos y sus fases larvianas (holoplancton), y por las fases larvianas de otros organismos que en forma adulta habitan los fondos acuáticos o la columna de agua, pero contrarrestando el movimiento de las corrientes. Dentro de los principales grupos del zooplancton se encuentran a los copépodos, cladóceros, rotíferos, cnidarios, quetognatos, eufáusidos y las larvas de los peces. Estos grupos o especies del zooplancton variarán su diversidad y abundancia (González-Domínguez, 2009).

En general el plancton es un grupo de organismos de gran importancia ya que realiza la mayor movilización de biomasa del planeta diariamente en su migración vertical (Reynolds, 2006). Además, que el fitoplancton contribuye con cerca del 75% de la producción primaria del planeta. Esta producción primaria influye en el rendimiento potencial de los organismos en niveles tróficos mayores, el flujo de carbono entre el océano y la atmósfera y la sedimentación de materia orgánica al suelo marino (Wasmund *et al.*, 2010). Los fenómenos de productividad varían con respecto a la distancia de la costa, aumentando con su cercanía por la influencia de descargas continentales (Müller-Karger y Walsh, 1991).

Sobre la plataforma continental se genera el mayor número de procesos hidrográficos con relación a aquellos que ocurren en el océano (Gattuso *et al.*, 1998). Esto es debido a que la zona costera es un ecotono entre el hábitat marino y terrestre, el cual es influenciado por fenómenos de ambos ambientes (Ray y Hayden, 1992; Wollast,



1998). Esto ocasiona fenómenos como alta productividad o la dilución del agua costera debido a descargas de ríos, entre otros (Ray y Hayden, 1992).

El Sistema Arrecifal Veracruzano (SAV), es un ecosistema en el cual se han registrado características ambientales particulares que se salen del contexto establecido para los arrecifes coralinos tropicales (Salas-Pérez y Granados-Barba, 2008); sin embargo la variabilidad espaciotemporal a escala local de los parámetros hidrológicos no ha sido suficientemente documentada y las investigaciones dirigidas a comprender procesos biofísicos son casi nulas (Carrillo *et al.*, 2007; Salas-Pérez y Granados-Barba, 2008). La mayoría de la información con que se cuenta actualmente se encuentra en una escala espacial inadecuada para estudiar los procesos hidrográficos que ayudarían a brindar información sobre el comportamiento y distribución de la biomasa y densidad planctónica (Jiménez-Hernández *et al.*, 2007; Monreal-Gómez *et al.*, 2004).

La caracterización de ecosistemas marinos a través de la medición de sus variables hidrológicas ha sido de vital importancia (Sunyé y Servain, 1998), debido a que los rangos de oscilación de los parámetros ambientales, determinan la distribución y biodiversidad de especies (Spalding *et al.*, 2007). El área de distribución de las especies "es aquella fracción del espacio geográfico donde una especie está presente e interactúa en forma no efímera con el ecosistema" (Zunino y Palestrini, 1991). Aun cuando el área de distribución puede ser un concepto concreto, involucra procesos y patrones complejos,



por ejemplo, toda distribución experimenta cambios a lo largo del tiempo, por la interacción de factores biológicos, ecológicos y biogeográficos (Zunino y Zullin, 2003).

Los parámetros ambientales con mayor relevancia en la distribución y densidad del plancton son la temperatura y salinidad, ya que estos controlan las tasas en las que se realizan procesos biológicos y reacciones químicas como: respiración, crecimiento, motilidad, fotosíntesis, fijación de carbono, nutrientes, osmosis, entre otros (Raven y Geider 1988; Litchman y Klausmeier, 2008). Los factores varían a lo largo de la distribución, sometiendo a las especies a diferentes condiciones bióticas y abióticas. Una especie se presentará en los sitios donde las condiciones bióticas y abióticas le permitan mantener o incrementar su abundancia, por lo que, la presencia de una especie depende también de las limitantes históricas o de dispersión, por lo que una especie no siempre se presenta en todas las áreas potenciales (Pulliam, 2000).

Para representar la distribución de las especies es importante integrar herramientas que permitan crear modelos que expliquen mejor los patrones que influyan en la distribución de las especies. Actualmente los Sistemas de Información Geográfica son, una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y de gestión (INEGI, 2014). De la cualidad del SIG de manejar información geográfica surge su potencial para apoyar los estudios de conservación de la diversidad biológica. Esto debido a que, para la conservación de las especies, comunidades y



ecosistemas, es imprescindible el conocimiento de su localización y distribución en el espacio (Moreira, 1996).

Actualmente el planeta está enfrentando un cambio climático, lo que está provocando variaciones en los patrones hidrológicos por lo que el implemento de los SIG, puede ser una herramienta básica para explicar el comportamiento de la distribución de la comunidad planctónica y tener un conocimiento mayor sobre la diversidad, abundancia, ecología, fisiología y evolución del plancton.



ANTECEDENTES

Mancebo *et al.* (2008). Elaboraron un libro con un trabajo de más de 10 años y ofrecen un conocimiento teórico práctico, para realizar adecuadamente la cartográfica enfocándose más en la utilización del Programa ArcGIS.

Orduño *et al.* (2012). Realizaron la comparación del fitoplancton nocivo en 6 puntos de muestreo presentes en los Tuxtlas Veracruz y relacionaron la abundancia del fitoplancton y los parámetros físico y químicos del agua en un periodo anual, registrando como la temperatura y la salinidad los factores más importantes para explicar la distribución del fitoplancton.

Mora (2015). Elaboro un inventario biológico de las especies del fitoplancton de cinco sistemas lacustres en los Tuxtlas Veracruz e hizo una comparación de los diferentes grupos presentes con base en algunos parámetros del agua.

Ruíz-Pineda *et al.*, (2016). Evaluaron la composición, distribución y abundancia mensual y estacional de los copépodos en la Bahía de Chetumal, para determinar la influencia de algunas variables ambientales sobre esta comunidad. Mostraron que la temperatura y la salinidad explicaron el 82% de la variabilidad observada y que la salinidad explica mejor los patrones de distribución de las especies.

Contreras-Espiniza (2016) Estudiaron la densidad y distribución del zooplancton en Xalapa Veracruz con el propósito de conocer la influencia que tienen algunos parámetros ambientales y fisicoquímicos sobre la densidad del zooplancton. Registraron que para los copépodos las salinidades bajas representan mejor su distribución.



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿La distribución de los diferentes grupos de plancton que se encuentran presentes en el Sistema Arrecifal Veracruzano, varía de acuerdo con las diferentes condiciones climáticas anuales y condiciones fisiográficas dentro de esta zona?



JUSTIFICACIÓN

Actualmente los sistemas de información geográfica (SIG) son herramientas que ayudan a conocer más sobre la distribución de los organismos, buscando parámetros que ayudan a determinar los patrones de distribución más importantes para los organismos. Sin embargo existen muy pocos estudios que se enfoquen en la implementación de los SIG enfocados en la distribución del plancton por lo que es importante implementar esta herramienta para conocer más sobre el comportamiento de la comunidad planctónica ante diferentes condiciones climatológicas.



OBJETIVO GENERAL

Determinar los patrones de distribución tanto del fitoplancton como del zooplancton, así como de sus grupos más representativos que se presentan en la zona sur del Sistema Arrecifal Veracruzano.

Objetivos particulares

- 1.- Conocer la densidad del fito y zooplancton a lo largo del año.
- 2.- Determinar los grupos de fitoplancton y zooplancton más representativos y abundantes para elaborar mapas de distribución.
- 3.- Obtener la biomasa planctónica para elaborar mapas de su distribución espacial.
- 4.- Describir las condiciones hidrológicas generales de la zona de estudio.



MATERIAL Y METODO

Área de Estudios

El Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) es un área natural protegida, cuyo sistema es considerado único en el Golfo de México por su extensión, las especies que alberga y por su capacidad de resistencia y resiliencia de las colonias coralinas ante las variaciones de los diferentes factores, físicos, químicos y biológicos que han afectado esta zona durante años (Tunnell 1992; Ortíz-Lozano et al. 2005). El PNSAV, se ubica frente a las costas de los municipios de Veracruz, Boca del Río (zona norte) y el poblado de Antón Lizardo perteneciente al municipio de Alvarado (zona sur). Está formado por 23 arrecifes y 5 islas, de los cuales 11 se localizan frente a Antón Lizardo y el resto enfrente del Puerto de Veracruz (Figura 1). Enlaza al noroeste con el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, situado enfrente de la Laguna de Tamiahua y de la costa de Tuxpan y al este con el Sistema Arrecifal de Campeche y Yucatán (Lara et al., 1992).

Está conformado por bajos, islas y arrecifes situados en la porción interna de la plataforma continental que se elevan desde profundidades cercanas a los 40 m. El área viene a ser un regulador del clima, y funciona como barrera contra olas y tormentas (Okolodkov et al., 2011). El SAV se ha desarrollado en un ecosistema terrígeno influenciado por la desembocadura de tres ríos, los cuales ejercen una importante variación en la salinidad (Krutak, 1997). El Río Jamapa desemboca en medio del complejo arrecifal, con descargas de hasta 180 m³/s en el periodo de lluvias (CONAGUA, 2006), la disminución de salinidad, así como la materia orgánica acarreada por dicho río,



limita el desarrollo de las colonias de coral al centro del sistema (Krutak, 1997; Salas-Pérez y Granados-Barba, 2008).

El Río Jamapa tiene influencia durante todo el año sobre el SAV con mayor efecto en la zona centro durante el periodo de lluvias (Krutak, 1997; Okolodkov et al., 2011); sin embargo, durante el invierno cuando las corrientes van hacia el sur, el río puede incidir sobre el sistema frente a Antón Lizardo (zona sur) y durante el verano cuando las corrientes van hacia el norte, su influencia se observa frente a Boca del Río (zona norte).

El Río La Antigua limita el desarrollo del sistema hacia la parte norte y el Río Papaloapan limita el desarrollo del sistema hacia el sur (Tamayo, 1999). Llegándose a registrar en el SAV valores de salinidad entre los 29 a 34 ups, así como cambios en la temperatura del agua de 20 a 33.5 °C (Hernández-Téllez y Salgado-Rivero 1996; Salas-Monreal et al., 2009).

Se caracteriza por tener un clima cálido subhúmedo, con lluvias en verano, el promedio anual de temperatura oscila entre los 37°C y con una precipitación anual promedio de 1400 mm. Debido a su localización, las características climatológicas sobre el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano son influencias por factores de temporalidad que son nortes, lluvias y secas (Zavala-Hidalgo et al., 2003).

El clima del Parque Nacional se caracteriza por presentar varias temporadas de vientos climáticos. De noviembre a abril se presenta la temporada de “secas”, caracterizada por registros de precipitación por debajo de las normas climatológicas



(valor en la región de Veracruz) con registros mínimos de 10 milímetros (SEMARNAT, 2017). La época de lluvias, de mayo a agosto, que es un periodo cálido, caracterizado por temperaturas elevadas, alta precipitación entre junio y agosto y vientos débiles del este que son más o menos permanentes (Vargas, 1993) (. Otra temporada climática es la de frentes fríos (septiembre a mayo), que origina los eventos de nortes, con un promedio de 1991 y 2012 de 58 eventos transcurridos. Durante los eventos de nortes, las ráfagas de viento en la línea de costa pueden superar los 100 kilómetros por hora y generar oleaje por arriba de los tres metros de altura (CONAGUA, 2015).

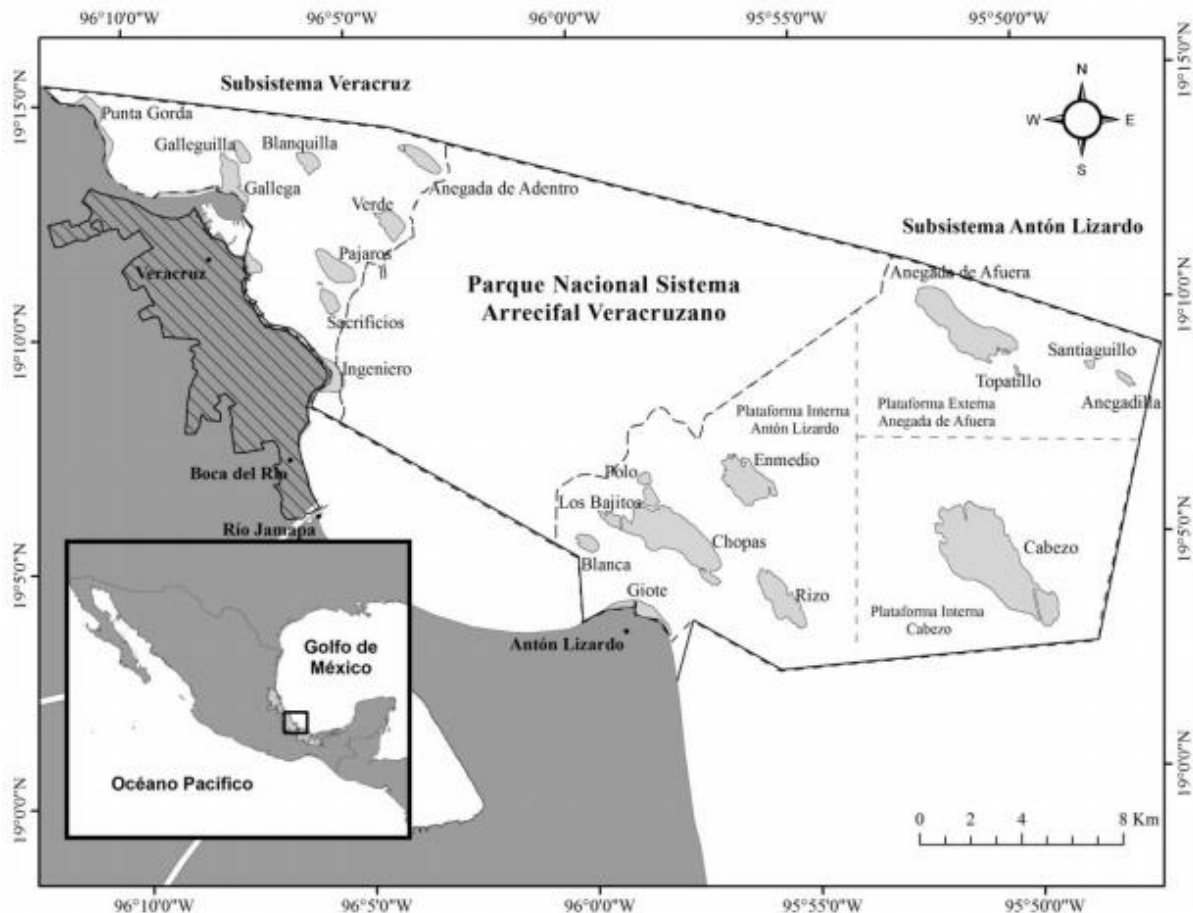


Figura 1. Polígono del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano que incluye la Zona Norte frente al puerto de Veracruz y la zona sur frente al municipio de Antón Lizardo, por Ortiz-Lozano et al. (2009).



Trabajo en campo

Se realizaron seis muestreos en el periodo de febrero del 2017 a octubre del 2017 a bordo de una lancha de pesca. En cada salida se trabajaron siete puntos de muestreo que fueron elegidos considerando tres condiciones diferentes (arrecife, playa e influencia oceánica), dando por resultado 42 puntos al final del estudio.

En cada uno de los puntos se registraron sus coordenadas geográficas con un GPS (marca Garmin Etrex), se realizaron tres recolectas de plancton en envases transparentes de 50 ml, dos de las muestras se recolectaron por medio de arrastres utilizando una red de zooplancton con un diámetro de 30 cm y una abertura de malla de 150 micras (muestras destinadas a la obtención de biomasa e identificación de grupos de zooplancton) los arrastres tuvieron una duración de 60 seg. (1min) a la velocidad mínima de la lancha (aproximadamente 1m/seg) y sobre la superficie de la columna de agua.

Para obtener la densidad de los grupos de fitoplancton se hizo una recolección en cada uno de los puntos utilizando una botella Van Dorn de 3 litros, a una profundidad de 30 cm. Todas las muestras de fitoplancton, zooplancton y biomasa fueron fijadas de inmediato con formol al 4% para detener la actividad fotosintética al igual que impedir que el fitoplancton fuese consumido por el zooplancton y provoque la alteración de los datos obtenidos. Los frascos fueron almacenados en hieleras (Andersen y Throndsen, 2004).

La obtención de los parámetros físicos y químicos se hizo *in situ*, para el pH: se obtuvo mediante un potenciómetro (Thermo Scienttis Orion A III BenchTop and star A 121,



precisión 0.01); Salinidad, Salinometro (TRACER, pocket tester, La Motte, precisión 0.01); Temperatura, un termómetro de mercurio, y por último en cada uno de los puntos de muestreo se obtuvieron las coordenadas geográficas con un GPS (marca Garmin Etrex), necesarias para la elaboración de los mapas.

Obtención de la biomasa

Para la obtención de la biomasa primero se calculó la cantidad de agua filtrada a través de la red de zooplancton (la cual también contenía la biomasa del fitoplancton), se calculó el volumen filtrado a través de la red:

$$V = (\pi) (r^2) \text{ long}$$

siendo $\pi = 3,14$ y r : el radio (cm) de la apertura de la boca de la red (Reguera, 1998). El resultado fue multiplicado por la longitud del arrastre ($\text{long} = \text{distancia de arrastre en metros}$), con la ayuda de la siguiente formula:

$$d = vt$$

$$\text{long} = \text{velocidad del arrastre (tiempo de arrastre)}$$

Se hicieron filtrados de cada una de las muestras utilizando papel Whatman de 40 micras conservando el máximo número de organismos posibles. Antes de los filtrados fueron pesados los papeles filtro y posteriormente, para obtener el peso de la biomasa en peso seco se dejaron secar a temperatura ambiente restándole el peso inicial del papel filtro. Los resultados de la biomasa fueron expresados como mg de biomasa/m^3 , para su mejor interpretación (Sánchez-Rueda y Ponce-Márquez, 1996).



Densidad

Para medir la densidad del fito y zooplancton se dejaron reposar las muestras en las cámaras de sedimentación, fueron observados los microorganismos de acuerdo al método de Uthermöhl (1958) con un microscopio invertido (OLYMPUS IX) a 20X eligiendo 20 campos al azar, se contaron todos los microorganismos dentro de un campo, y con la ayuda de claves taxonómicas y artículos especializados: Barrios, 2012; Conde, 2004; Rodríguez-Alonso et al., 2004, y tesis realizadas en el laboratorio de Plancton de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, UNAM: Góngora I. I., 2014; Pérez O. V., 2017; Ramírez D., 2017, Ortiz C., 2016, se hicieron las determinaciones de todos los microorganismos encontrados en los campos rastreados.

Elaboración de mapas con ArcGis

Una vez que fueron obtenidos todos los datos: biomasa, densidad de organismos, salinidad, temperatura, y época de muestreo se elaboró una base de datos en Excel, cada dato con las coordenadas (UTM) correspondientes de acuerdo al punto de muestreo de dónde se extrajeron los datos.

Para la elaboración de los mapas se utilizó el programa ArcGis 10.1. Una vez instalado el programa; del Geoportal del Sistema Nacional de Información Geográfica sobre la Biodiversidad de la CONABIO, se descargó la información de los metadatos de la zona de estudio en formato SHP. Para la elaboración de los mapas se cargó al programa ArcGis los metadatos SHP y la base de datos de Excel, posteriormente se clasificó la información de acuerdo al tipo de mapa: biomasa, densidad de fitoplancton,



densidad del zooplancton, temperatura y la salinidad registrada a lo largo de un año en la zona sur del PNSAV, para la elaboración individual de cada mapa, los cuales fueron guardados en imagen para la interpretación correspondiente (Mancebo et al., 2008).

Análisis estadísticos

Se realizaron análisis estadísticos para saber el comportamiento visual de los datos (densidad y abundancia) mediante graficas de cajas múltiples, posteriormente se realizaron pruebas de normalidad y homocedasticidad, esto para determinar si los datos seguían una distribución normal, una vez determinado que el comportamiento de los datos no seguía una distribución normal, se realizaron pruebas no paramétricas para determinar estadísticamente si existían diferencias entre las zonas y con Kruskal-Wallis para las diferencias entre los meses respecto a la densidad. Por ultimo para ayudar a distinguir dichas diferencias también se realizó una prueba de rangos múltiples, con la ayuda del programa Statgraphics (versión prueba) (Guerra-Davila *et al.*, 2009).



RESULTADOS

Puntos de muestreo

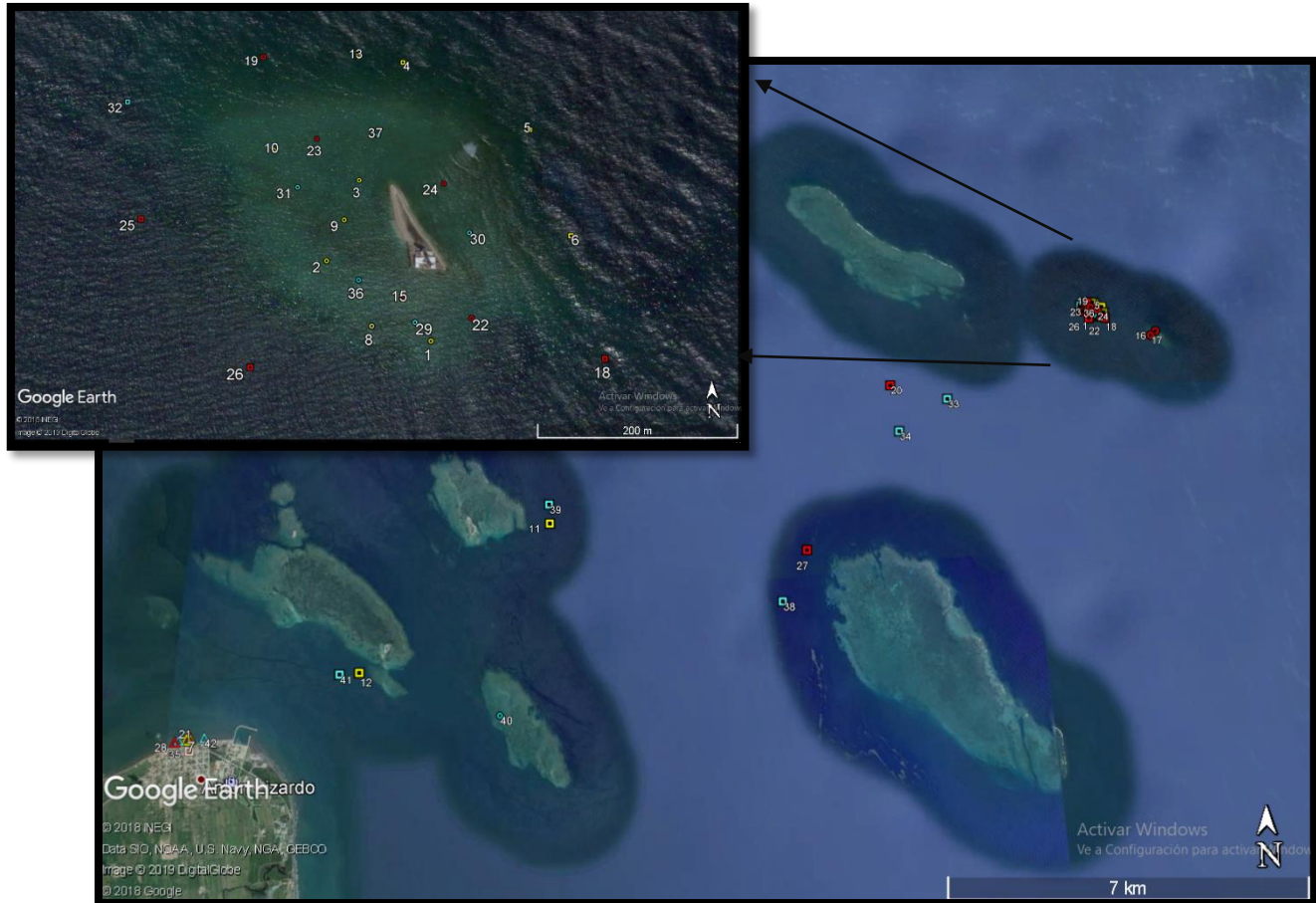


Figura 2. Zona sur del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, Estaciones de muestreo durante las 3 épocas. Puntos amarillos época de secas; puntos rojos; época de lluvias y puntos azules época de nortes.

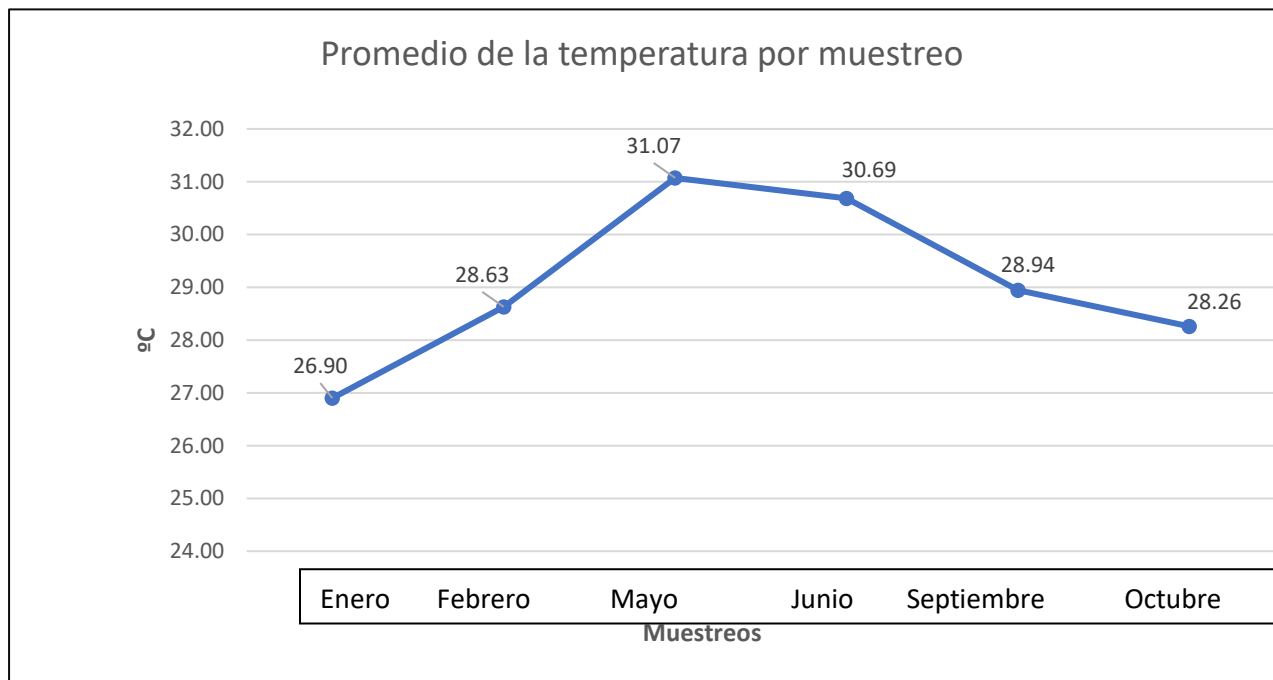
Durante las tres épocas se realizaron 42 muestreos (14 por cada época). Se tomaron como referencia 3 condiciones diferentes para ubicar los puntos: playa, influencia oceánica y arrecife, las cuales se distinguían principalmente por la profundidad y las corrientes dentro del sistema. La profundidad de la zona de arrecife era de 0 a 5 metros; influencia oceánica 20 metros; playa, 1 metro.



Temperatura

Las temperaturas registradas durante las tres épocas mostraron una diferencia muy marcada entre ellas; época de secas: la temperatura más baja fue de 26°C en la zona de arrecife y la más alta fue de 30.3°C en el punto de influencia oceánica. En general el promedio de la temperatura en esta época esta entre los 27°C (Tabla 8 del anexo 1).

En la época de lluvias se registraron las temperaturas más altas del año, comparadas con la época de secas y de nortes (Grafica 1), la temperatura más alta registrada fue de 36.6°C en la zona de playa, y la más baja de 28.9°C en la zona de influencia oceánica (Tabla 8 del anexo 1).



Gráfica 1. Comportamiento de la T° a lo largo del año, en el eje de las X están los 6 muestreos que se realizaron: enero y febrero corresponden a la época de secas, el muestreo mayo y junio a la época de secas y septiembre y octubre a la época de lluvia.



De las tres épocas, la de nortes es en la que se registraron las variaciones más marcadas, con más de 10°C de diferencia entre la temperatura más baja y la más alta, siendo la más baja de 25°C en la zona de arrecife y la más alta de 35.1°C en la zona de influencia oceánica. En general la temperatura a lo largo del año oscilo entre los 27 y los 30°C en la Figura 3 se observan con mayor frecuencia los puntos verdes y amarillos que representan estos valores de temperatura.

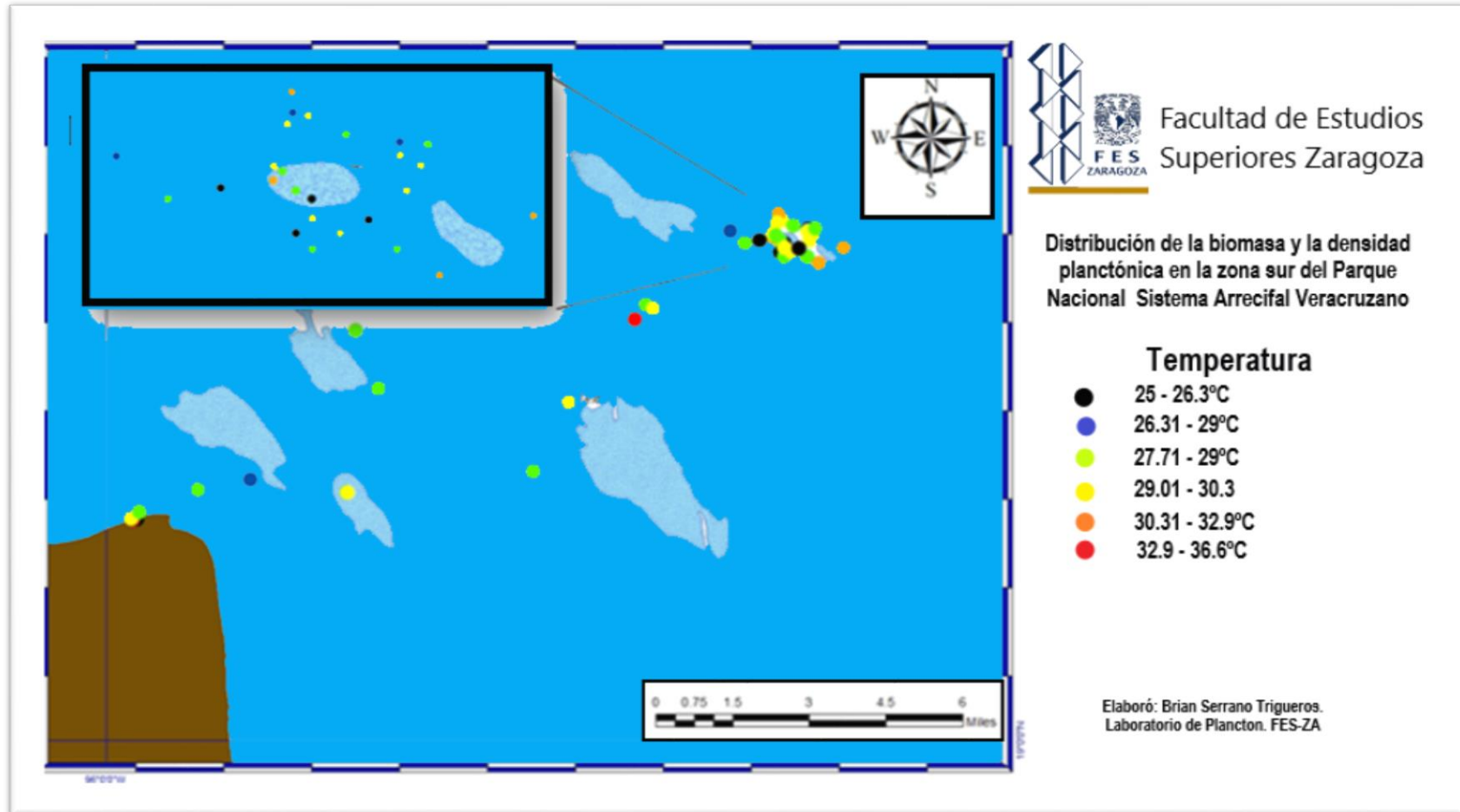


Figura 3. Distribución de la temperatura durante todo el año: en una escala donde los puntos negros muestran las temperaturas registradas más bajas y los rojos las temperaturas más altas.



Análisis estadísticos de temperatura

Para hacer una comparación entre los valores de temperatura registrados entre las tres épocas (secas, lluvias y nortes), se realizó un análisis exploratorio de cajas múltiples. En la figura 4 se observan las tres cajas representantes de cada época, el tamaño entre ellas es muy similar lo cual representa que los valores registrados de temperatura no presentan una dispersión tan amplia. Sin embargo se observan datos extraordinarios los cuales son representados por los puntos arriba de las cajas, el valor más alto de temperatura registrado se presentó en la época de lluvias con más de 36°C. También se observa que las muescas correspondientes a la época de secas y nortes se traslapan lo que indica que no existen diferencias entre estas dos épocas a comparación de la muesca de la caja de lluvias, que no se traslapa con ninguna caja, lo cual indica que los valores registrados en esta época son diferentes con respecto a la de secas y nortes.

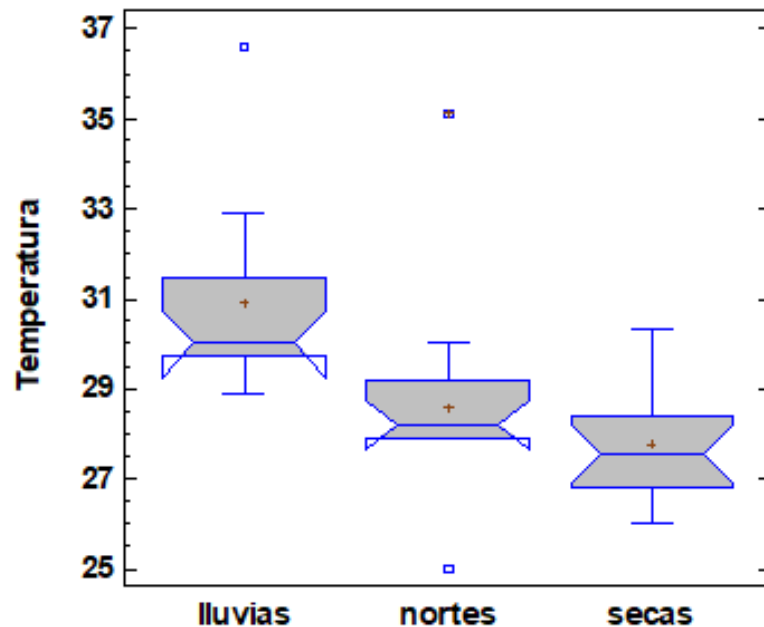


Figura 4. Diagrama de cajas y bigotes con respecto a la temperatura (°C) registrada en época de lluvias, nortes y secas.



Se realizaron diferentes pruebas estadísticas para conocer la distribución de los datos y la varianza de la temperatura obtenida en las tres épocas de muestreo, en la tabla 1 se presentan las pruebas realizadas, indicando el valor de P (si es el caso) y la interpretación de cada una de las pruebas.

Tabla 1. Resultados de las pruebas estadísticas realizadas para la comparación de la temperatura entre épocas, con un valor de confianza del 95.0%.

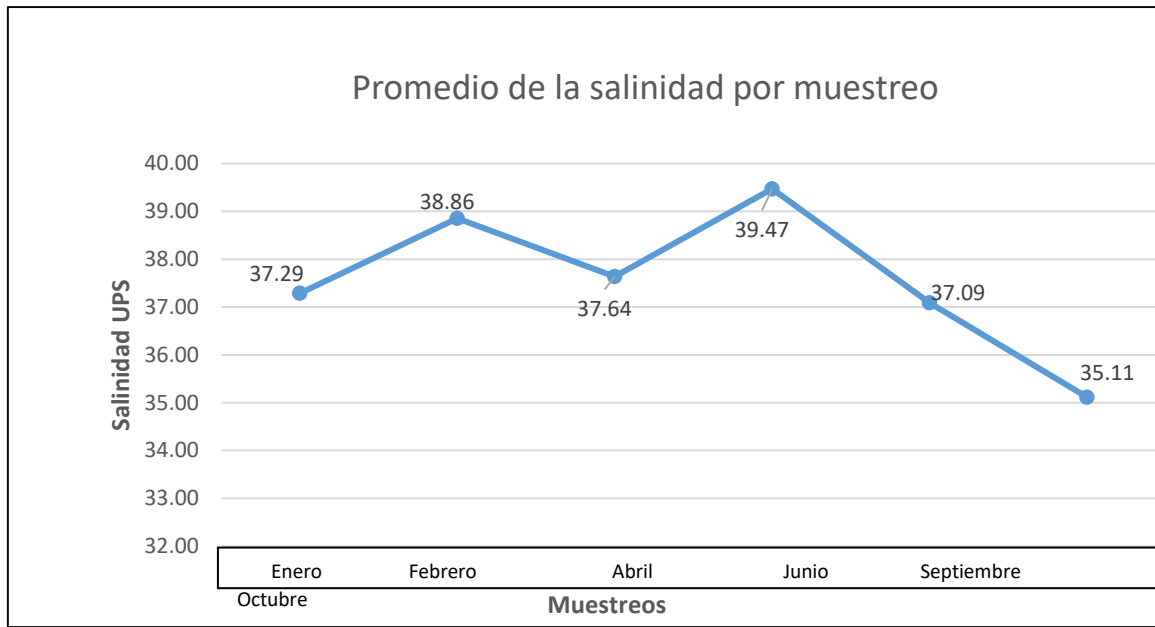
Prueba estadística	Valor de P	Decisión
Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov	P= 0.455806	Presenta distribución normal
Prueba de varianza	P=0.816954	No hay una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar
Análisis de varianza ANOVA	P=0.0004	existe una diferencia estadísticamente de la temperatura entre temporadas
Prueba de rangos múltiples		Las parejas de épocas que presentan diferencias son: Lluvia-Nortes Lluvias-secas



Salinidad

Época de secas: Durante este periodo la salinidad más baja registrada fue de 34.2 ups en la zona de influencia oceánica, mientras que la más alta se presentó en la zona de playa con una salinidad de 40.6 ups (Tabla 9 del anexo 1) La diferencia con respecto a otras zonas no fue muy marcada ya que en algunos puntos de la zona de arrecife también se presentaron valores muy altos de salinidad de 40.35 y 40.45 ups la zona de influencias oceánica.

Lluvias: Los valores registrados de salinidad en esta época fueron muy similares con respecto a la época de secas, en la Gráfica 2 se muestra como la salinidad presentó promedios bajos en el primer muestreo (correspondiente al mes de enero época de secas), al igual que el muestreo tres (correspondiente al mes de mayo de la época de lluvias). Mientras que en el muestreo dos (febrero, época de secas) muestra promedios altos de salinidad de igual forma que el muestreo cuatro (junio, época de lluvias). En este periodo la salinidad más alta se registró en la zona de arrecife con un valor de 40.85 ups y la más baja en la zona de Influencia oceánica con una salinidad de 33.45 ups.



Gráfica 1. Comportamiento de la salinidad (ups) registrada durante las épocas de muestreo, en la zona sur del PNSAV. En el eje de las X están los 6 muestreos que se realizaron: 1 y 2 corresponde a la época de secas, el muestreo 3 y 4 a la época de lluvias y el 5 y 6 a la época de nortes.

Nortes: Al igual que los valores de temperatura en el periodo de nortes se mostraron diferencias notorias ya que aquí se registraron los valores de salinidad más altos en la zona de influencias oceánica de 44.65 ups, sin embargo, también se presentó el valor de salinidad más bajo registrado durante todo el año con un valor de 31.65 en la zona de playa. En la figura 2 se observa que los valores de salinidad más abundantes durante todo el año oscilan entre los 35 y 39 ups, también se observan los valores más altos de salinidad (41.51 – 47.2 ups) sin embargo son muy escasos, en comparación con los puntos más claros que representan una salinidad más baja teniendo una distribución mayor en toda la zona sur del PNSAV.

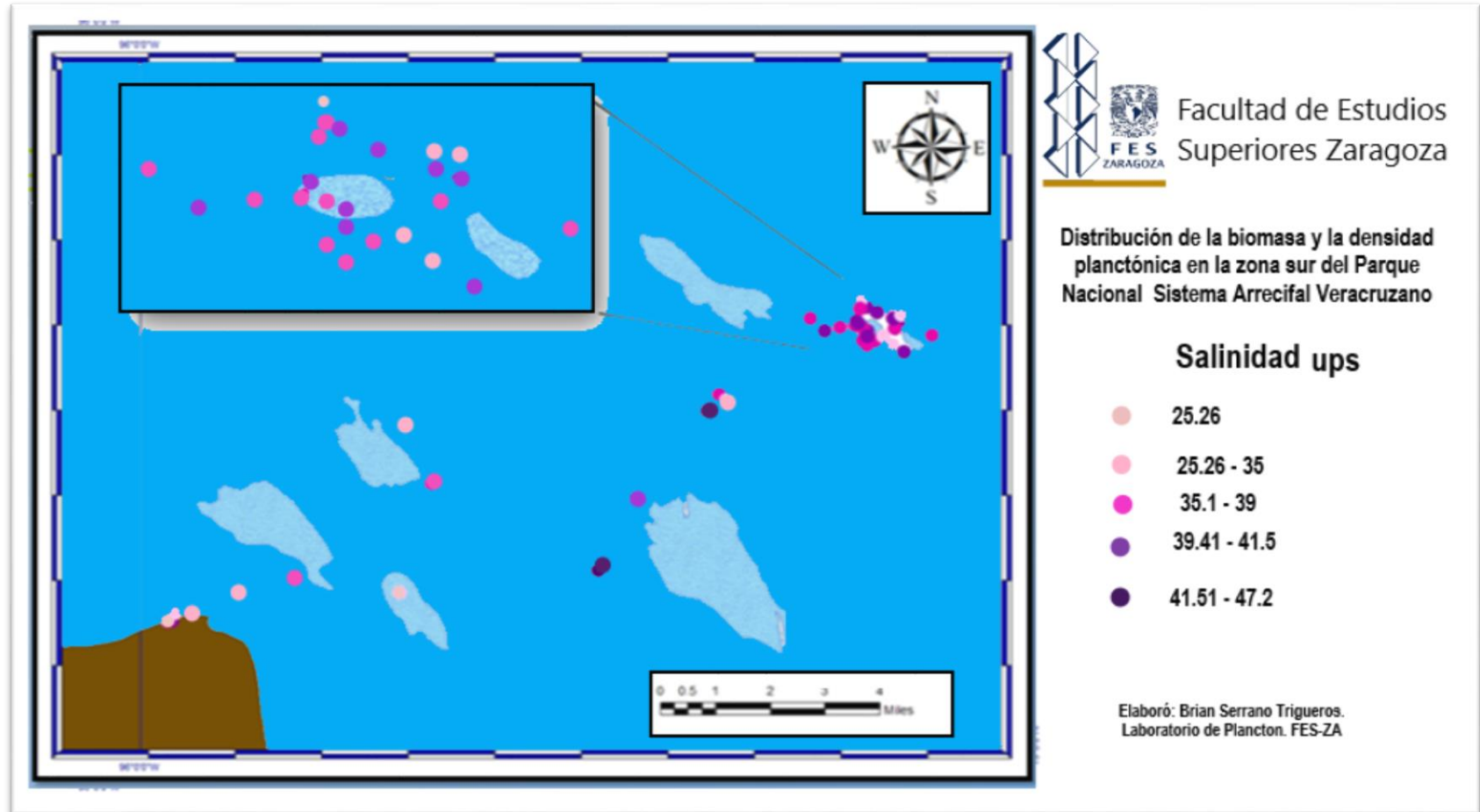


Figura 5. Distribución de la salinidad de los 6 muestreos en la zona sur del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano..



Análisis estadísticos de salinidad

En cuanto a la comparación de la salinidad entre las diferentes épocas, el análisis exploratorio de cajas múltiples mostro que la época con más variación entre los valores registrados fue en la de nortes presentando el valor más bajo de salinidad con 25 ups y también el valor más alto, arriban de los 45 ups Las cajas que representan a la época de lluvias y secas, presentaron valores muy similares en sus datos. Sin embargo no se puede asegurar que existen diferencias significativas entre las tres épocas, ya que las muescas se interponen entre ellas (Figura 6).

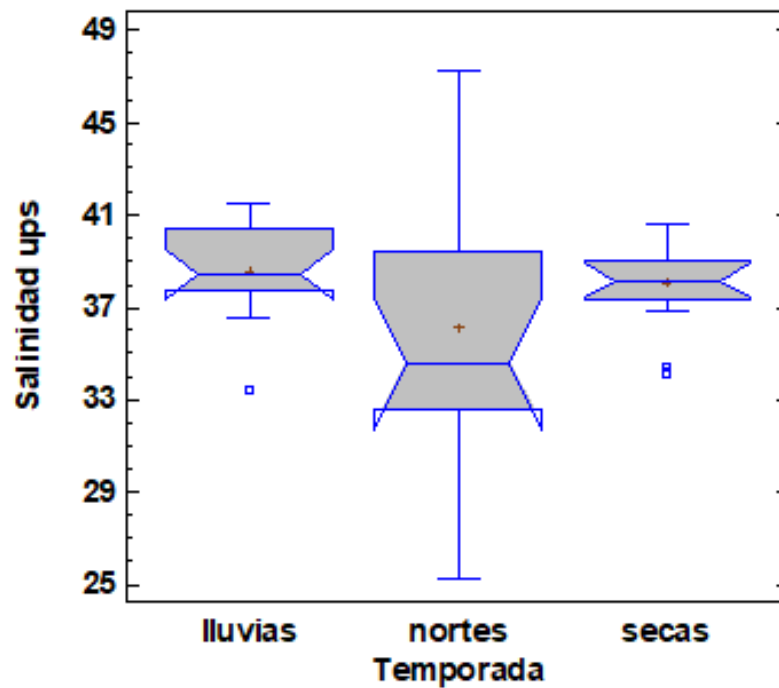


Figura 6. Diagrama de cajas y bigotes con respecto a la salinidad (ups) registrada en época de lluvias, nortes y secas.



Se realizaron diferentes pruebas estadísticas para conocer la distribución de los datos y la varianza de la salinidad obtenida en las tres épocas de muestreo, en la Tabla 2 se presentan las pruebas realizadas, indicando el valor de P (si es el caso) y la interpretación de cada una de las pruebas.

Tabla 2. Resultados de las pruebas estadísticas realizadas para la comparación de la salinidad entre épocas, con un valor de confianza del 95.0%.

Prueba estadística	Valor de P	Decisión
Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov	P=0.167218	Presenta distribución normal
Prueba de varianza	P=0.00527496	Si hay una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar
Kruskal-Wallis	P=0.197126	no hay una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas en el nivel de confianza del 95.0%



Biomasa

Época de secas (enero y febrero): En cuanto a la biomasa en la época de secas se encontraron los valores más bajos con respecto a las épocas de lluvias y nortes. El valor más bajo de biomasa en este periodo se registró en una de las zonas de influencia oceánica con tan solo 0.27 mg/m^3 y el más alto se registró en la zona de playa con $6,14 \text{ mg/m}^3$ (Figura 7). Los valores bajos de biomasa mostraron una distribución amplia y únicamente en tres puntos la biomasa alcanzó un valor de entre 3 y 6 mg/m^3 en la zona de playa y en dos puntos de arrecife.

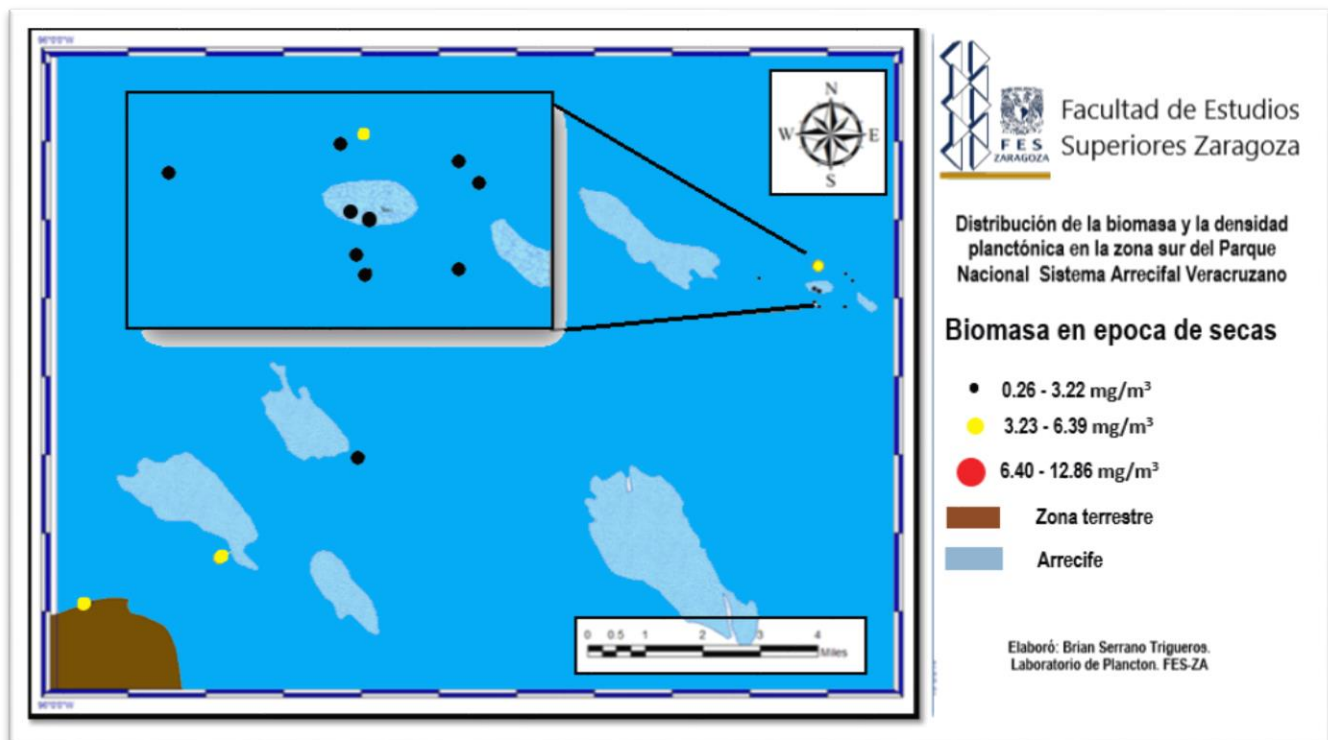


Figura 7. Distribución de la biomasa en mg/m^3 durante la época de secas en la zona sur del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano.



Época de lluvias (mayo y junio): Esta época fue la que presentó en promedio los valores más altos de biomasa, aunque en esta época no se registró el valor más alto, todos los puntos mostraron un valor similar arriba de 3 mg/m^3 (Figura 8). El valor más alto registrado en esta época se presentó en el mes de junio y fue de 7.36 en la zona de arrecife y el valor más bajo con una biomasa de 3.03 mg/m^3 se registró en el mes de mayo en la zona de influencia oceánica.

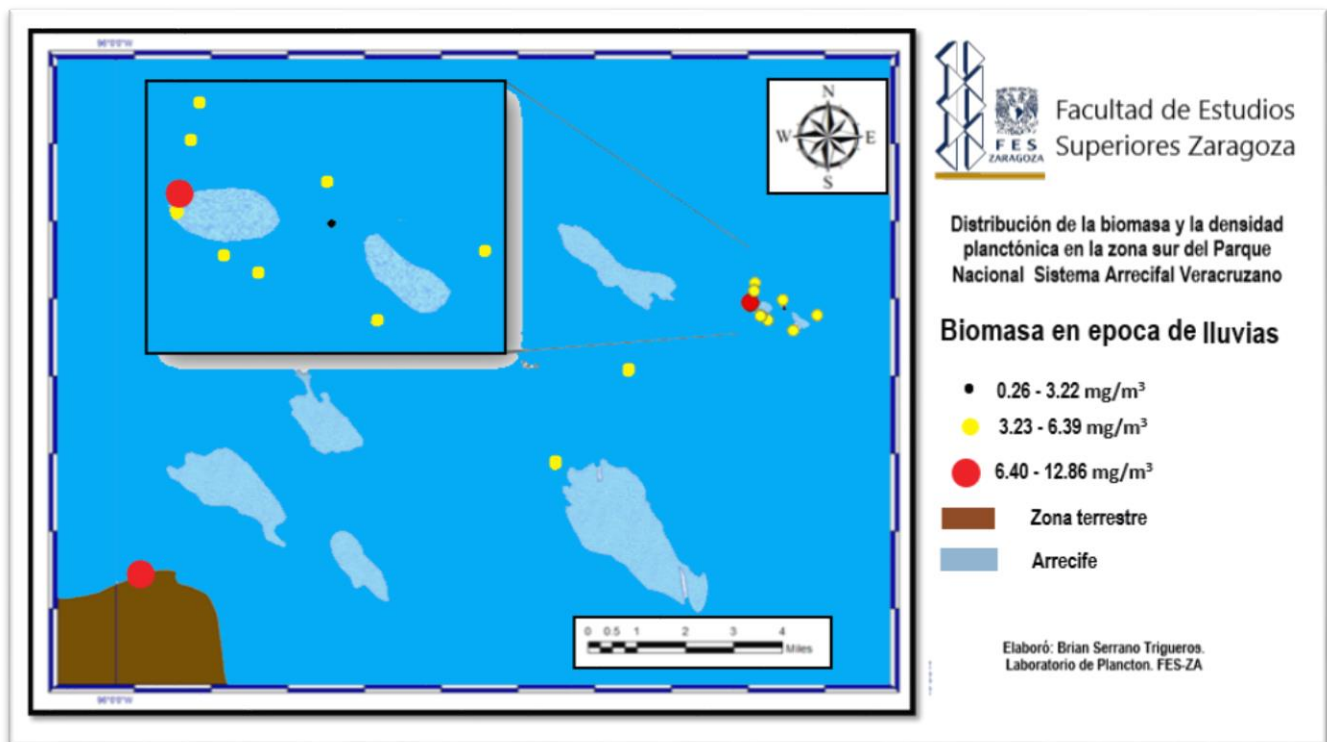


Figura 8. Distribución de la biomasa en épocas de lluvias en la Zona sur del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano.



Época de norte (septiembre y octubre): La época de nortes mostro un comportamiento muy variado; el valor más alto que se presentó en esta época en el mes de octubre fue de 12.86 mg/m^3 en la zona de influencia oceánica (Figura 9) representado con un punto rojo que también muestra el valor más alto de biomasa durante todo el año. El valor más pequeño de biomasa registrado en esta época fue en el mes de septiembre de 1.21 mg/m^3 también en uno de los puntos de influencia oceánica. En esta época la biomasa con mayor distribución y abundancia fue de 0.26 a los 3.22 mg/m^3 presentándose en casi toda la zona sur del PNSAV, a comparación de los puntos amarillos ($3.221 - 6.39$) con una distribución amplia pero poca abundancia.

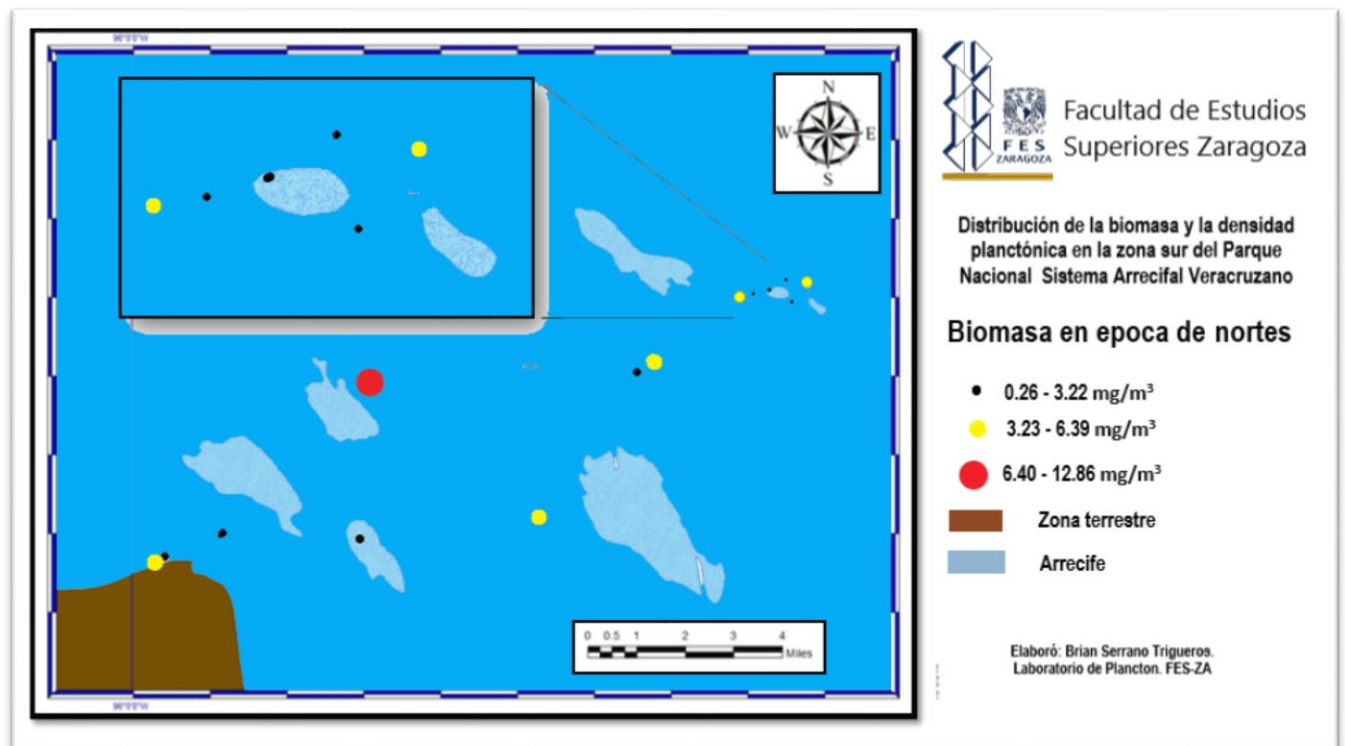


Figura 9. Distribución de la biomasa en mg/m^3 en la época de nortes en la zona sur del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano.



Análisis estadísticos de biomasa

Para hacer una comparación entre los valores de biomasa registrados entre las tres épocas (secas, lluvias y nortes), se realizó una análisis exploratorio de cajas múltiples. En la Figura 10 se observan las tres cajas representantes de cada época, el tamaño entre ellas es muy similar lo cual representa que los valores registrados de biomasa no presentan una dispersión tan amplia. Sin embargo se observan datos extraordinarios los cuales son representados por los puntos arriba de las cajas. El valor más alto de biomasa registrado se presentó en la época de nortes con más de 12 mg/m³. También se observa que las muescas correspondientes a la época de secas y nortes se traslapan lo que nos indica que no existen diferencias entre estas dos épocas a comparación de la muesca de la caja de lluvias, que no se traslapa con ninguna caja, lo cual indica que los valores registrados en esta época son diferentes con respecto a la de secas y nortes.

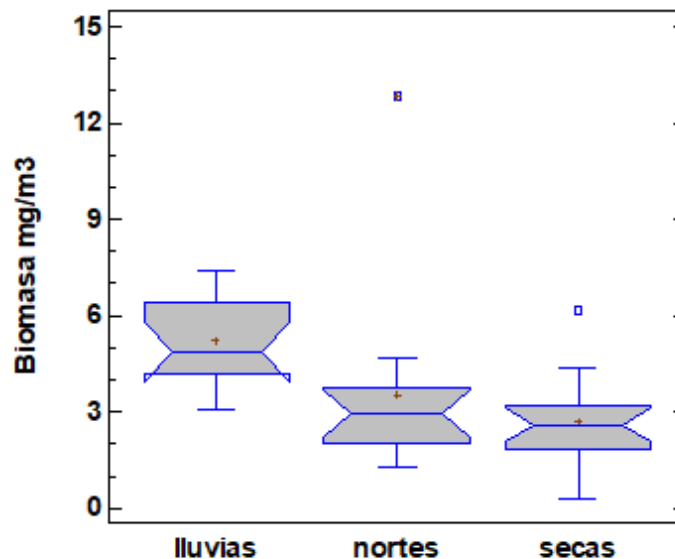


Figura 10. Diagrama de cajas y bigotes con respecto a la biomasa en época de lluvias, nortes y secas.



Se realizaron diferentes pruebas estadísticas para conocer la distribución de los datos y la varianza de la biomasa obtenida en las tres épocas de muestreo, en la tabla 3 se presentan las pruebas realizadas, indicando el valor de P (si es el caso) y la interpretación de cada una de las pruebas.

Tabla 3. Resultados de las pruebas estadísticas realizadas para la comparación de la biomasa entre épocas, con un valor de confianza del 95.0%.

Prueba estadística	Valor de P	Interpretación
Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov	P= 0.62899	Presenta distribución normal
Prueba de varianza	P= 0.613947	No hay una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar
Análisis de varianza ANOVA	P= 0.0073	existe una diferencia estadísticamente de la Biomasa entre temporadas
Prueba de rangos múltiples		Las parejas de épocas que presentan diferencias son: Lluvia-Nortes Lluvias-secas

Durante las tres épocas, los valores más bajos registrados de biomasa fueron durante la época de secas (enero y febrero) y donde se presentó la biomasa más alta fue en la época de lluvia (mayo y junio) (Tabla 3 del anexo 1).

DISTRIBUCIÓN Y DENSIDAD DEL FITOPLANCTON

Mapas de distribución

A continuación, se presentan los mapas donde se muestra la distribución de la densidad de los grupos del fitoplancton más abundante dentro de la zona sur del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano durante los tres periodos de muestreo.



Diatomeas centrales

Presentaron la mayor densidad por parte de los géneros *Coscinodiscus spp* y *Cheatoceros spp*. Su distribución fue amplia y se encontró en todos los puntos muestreados durante los seis muestreos de las tres épocas. La mayor densidad fue aportada por al género *Cheatoceros sp*. el cual se registró en épocas de secas con un total 3 904 organismos/m³ en la zona de playa junto con una temperatura de 26.3°C y salinidad de 40.6 ups. La menor densidad fue para *Cosinodiscus spp*. en épocas de secas con 5 organismos/m³ en zona de arrecife con una temperatura de 26.8°C y salinidad de 36.75 ups. Es importante resaltar que no todos los grupos de diatomeas centrales tuvieron una distribución amplia. En general la densidad de algunos géneros es muy baja (Figura 11).

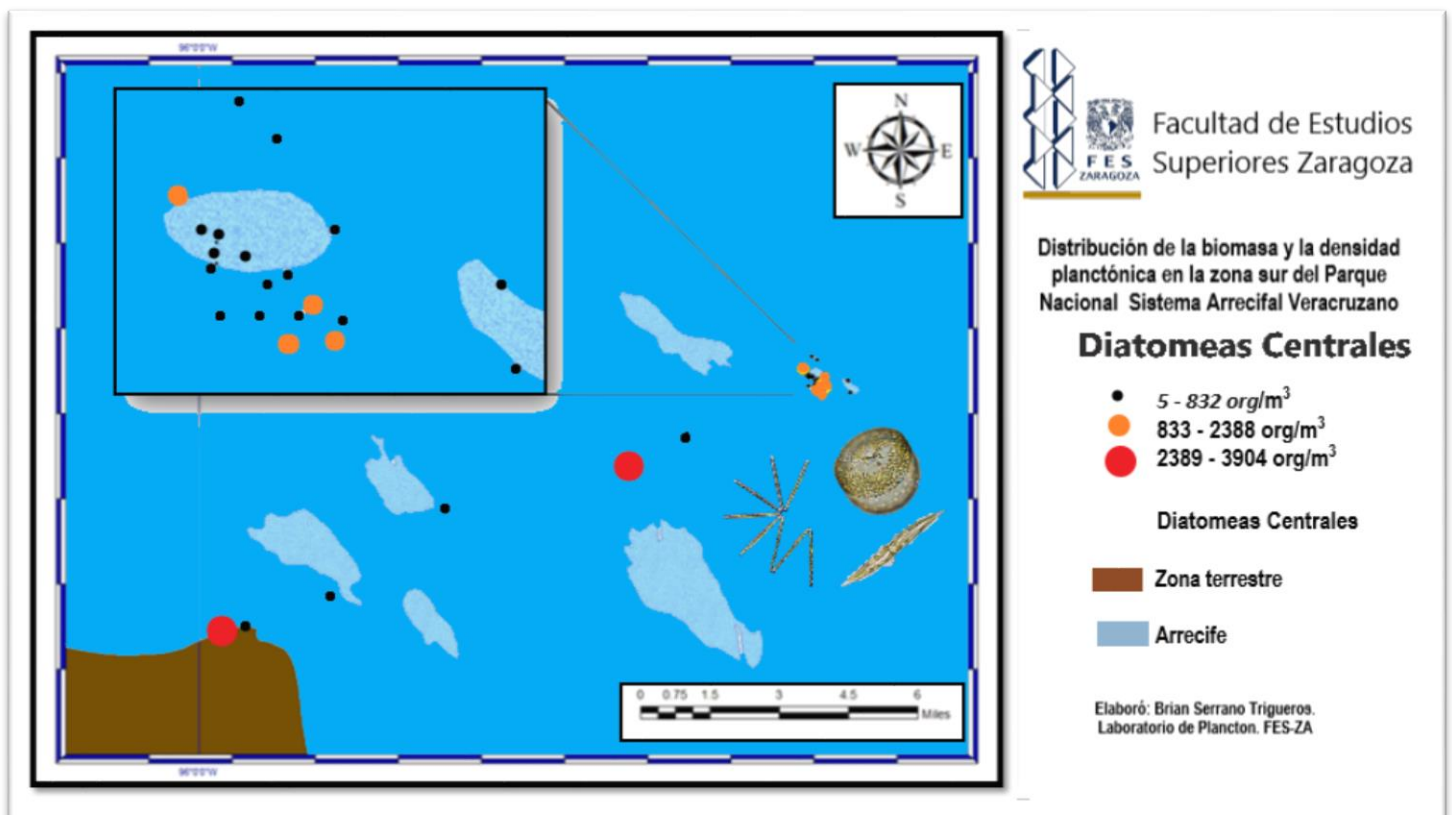


Figura 11. Mapa de la distribución de la densidad (organismos/m³) de las diatomeas centrales en la zona sur de Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano.



Diatomeas pennaes

La distribución de las diatomeas pennaes fue amplia, pero con baja densidad. En la época de secas se registró la densidad más alta con 4 281 organismos /m³ en la zona de playa (Figura 12) y fue aportada por *Pseudo-nitzchia*. En donde se registró también una temperatura de 27.7°C, salinidad 37.8 ups. La segunda densidad más alta fue en épocas de lluvias con 675 organismos /m³ en la zona de playa también aportada por *Pseudo-nitzchia* junto con una temperatura de 27.3 °C y una salinidad de 37.65 ups. Las densidades más bajas se registraron en casi todo el sistema y no superaban más de 100 organismos /m³.

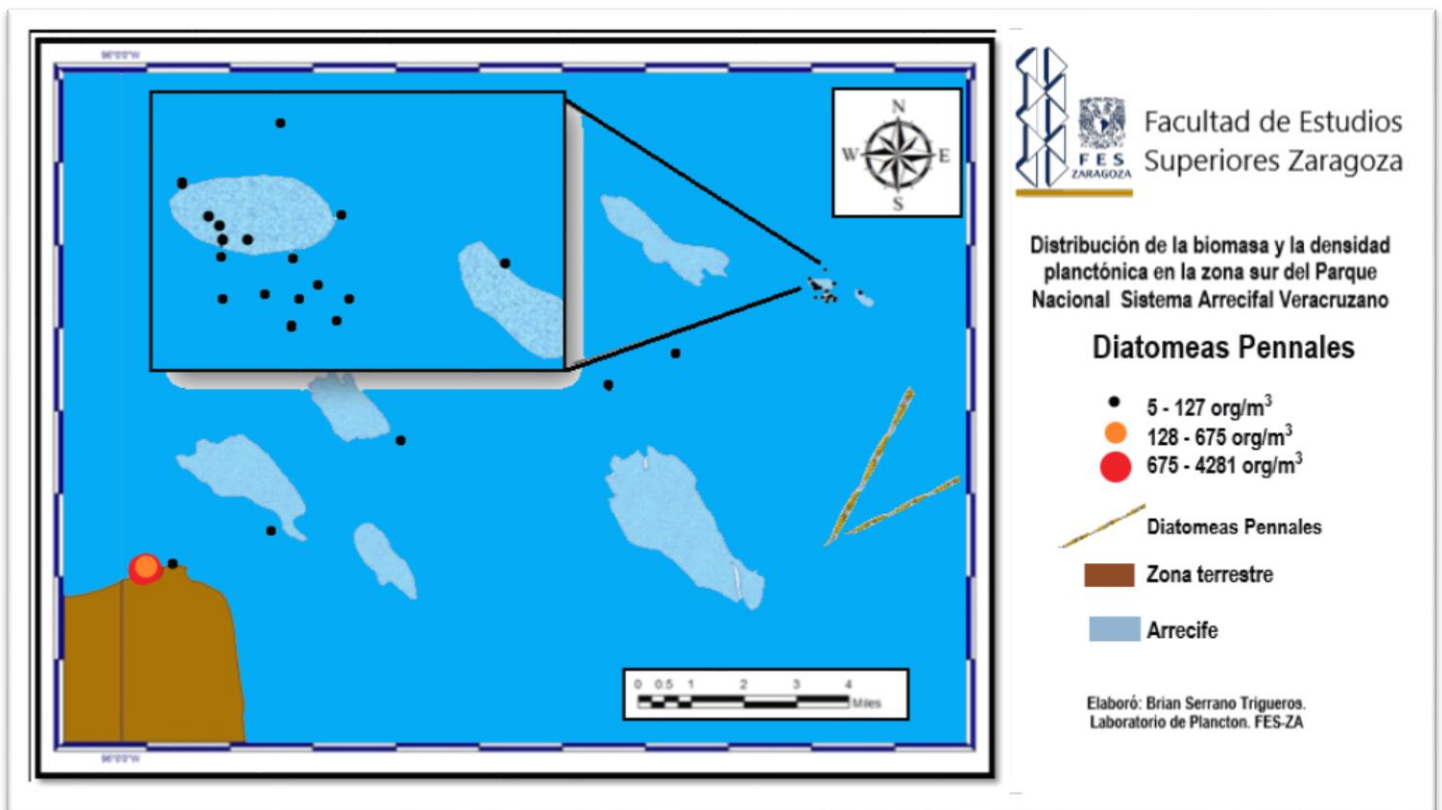


Figura 12. Mapa de la Distribución de la densidad (organismos/m³) de las diatomeas pennaes en la zona sur de Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano..



Dinoflagelados

Dentro de este grupo los géneros más abundantes fueron *Ceratium sp.* y *Pyrocystis sp.* que presentaron en general una distribución y densidad amplia. La Densidad mayor fue aportada por *ceratium sp.*, en época de lluvia en la zona de influencia oceánica (Figura 13), donde se encontraba una temperatura de 30°C y una salinidad de 39.6 ups. La densidad más baja se registro en épocas de lluvias en la zona de arrecife con 5 org /m³, temperatura de 32.9 °C y salinidad de 41.5 ups.

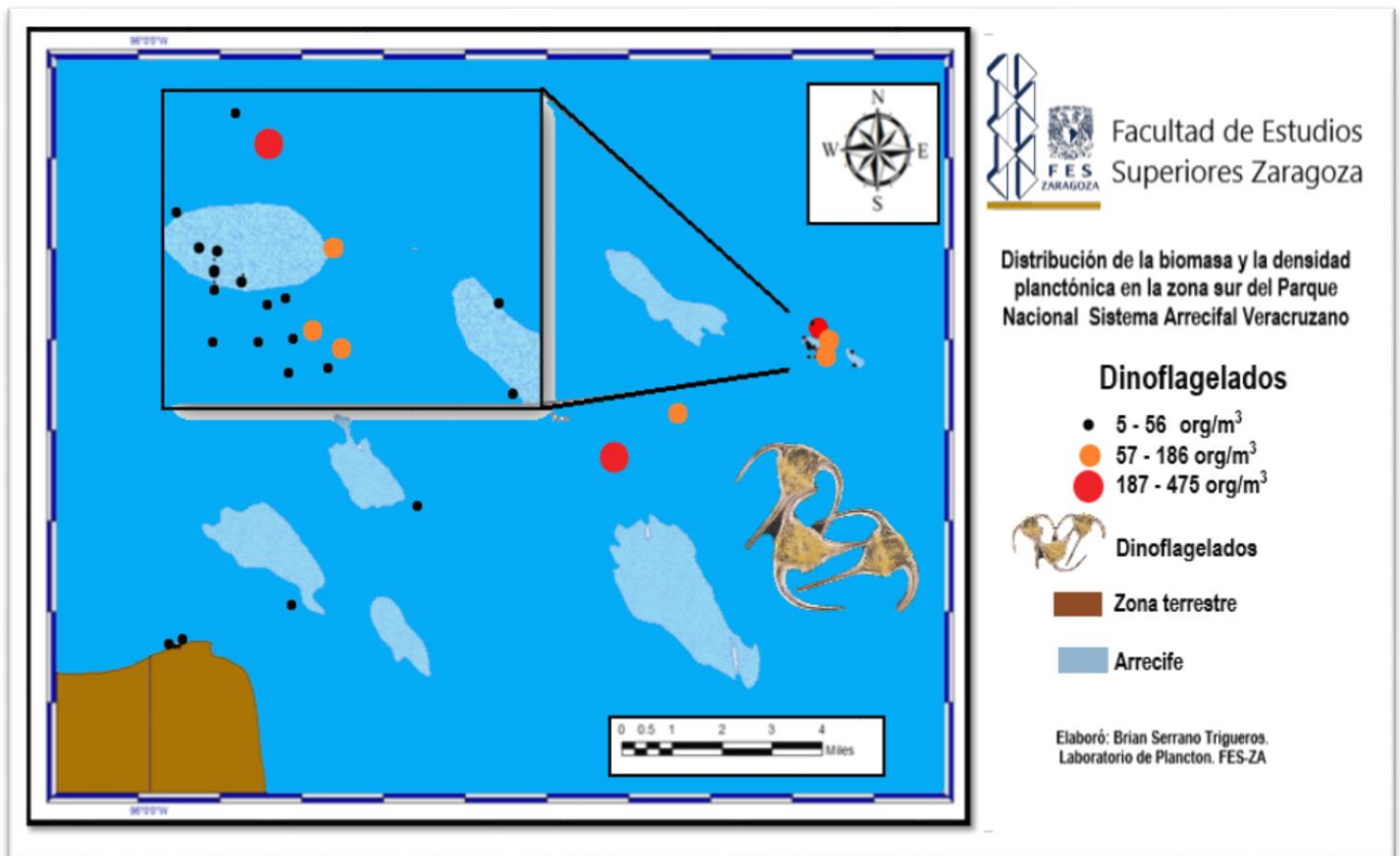


Figura 13. Mapa de la distribución de la densidad (organismos/m³) de los dinoflagelados en la zona sur de Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano.



Trichodesmium

El género *Trichodesmium* mostro una distribución amplia presentándose en casi toda la zona sur de Sistema Arrecifal Veracruzano. Su densidad fue constante en las tres épocas de muestreo (Figura 14). La mayor densidad se presentó en épocas de lluvia en la zona de arrecife con 2 936 org/m³, una temperatura de 31°C y una salinidad de 33.45 ups. La densidad más baja se presentó en épocas de secas en la zona de playa con tan solo 50/m³ junto con una temperatura 32.9°C y una salinidad de 41.5 ups.

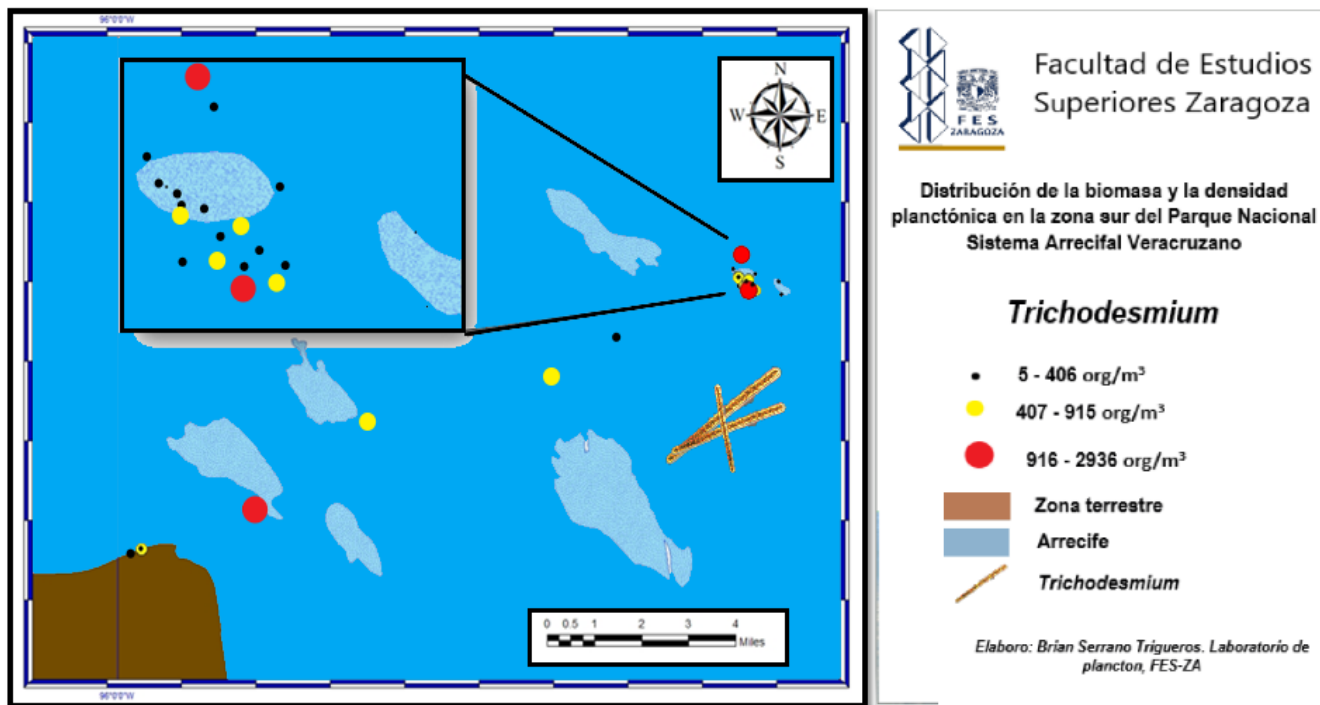


Figura 14. Mapa de la distribución de la densidad (organismos/m³) de *Trichodesmium* en la zona sur de Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano.



Densidad del fitoplancton

En el caso del fitoplancton, la agrupación fue más sencilla ya que los organismos encontrados se agruparon conforme a los grupos más representativos del fitoplancton en el que se incluyeron a las diatomeas centrales, diatomeas pennales, cianobacterias y dinoflagelados (Tabla 4). Dentro de las cianobacterias únicamente se registró a *Trichodesmium spp* por su amplia distribución y aporte alto en la biomasa presente. Las Diatomeas centrales fueron el grupo que presentaron más riqueza de géneros (12 géneros encontrados entre las 3 épocas) en comparación con los otros grupos (ver tabla 6). Seguida de las diatomeas pennales con 5 géneros diferentes y por último los dinoflagelados tecados con 4 géneros.



Tabla 4. Agrupación de los organismos del fitoplancton presentes durante los muestreos realizados el PNSAV.

Fitoplancton																		
Agrupaciones	Phylum	Clase	Orden	Familia	Género	Autor												
Cianobacterias	Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Microcoleaceae	<i>Trichodesmium</i>	Ehrenberg in 1830												
							Diatomeas	Bacillariophyta	Centrales	Coscinodiscophyceae	Rhizosoleniales	Rhizosoleniaceae	<i>Rhizosolenia</i>	Brightwell 1858				
															Melosirales	Melosiraceae	<i>Melosira</i>	Kützing 1844
Mediophyceae	Chaetocerotales	Chaetocerotaceae	<i>Chaetoceros</i>	Ehrenberg, 1844														
					Thalassiosirales	Thalassiosiraceae	<i>Thalassiosira</i>	Hasle y Heimdal, 1970										
									Eupodiscales	Eupodiscaceae	<i>Odontella sp.</i>	Agardh, 1832						



		Stephanopyxales		
			Stephanopyxidaceae	
				<i>Stephanopyxis sp.</i> Pritchard, 1861
		Biddulphiales		
			Biddulphiaceae	
				<i>Eucampia sp.</i> Ehrenberg, 1839
		Coscinodiscophytina		
			Coscinodiscophyceae	
			Triceratales	
				<i>Triceratiaceae sp.</i> Ehrenberg, 1839
Diatomeas	Bacillariophyta			
Pennales	Bacillariophycidae			
	Bacillariales			
			Bacillariaceae	
				<i>Pseudo-Nitzschia</i> Frenguelli, 1939
	Bacillariales			
			Bacillariaceae	
				<i>Nitzschia</i> Smith 1853
	Fragilariales			
			Fragilariaceae	
				<i>Fragilaria</i> Lyndgbye, 1819
	Lyrellales			
			Lyrellaceae	
				<i>Lyrella</i> Karajeva, 1978
	Licmophorales			
			Licmophoraceae	
				<i>Licmophora</i> Agardh, 1831
	Rhaphoneidales			
			Asterionellopsidaceae	



			<i>Asterionellopsis</i>	Round, 1990
		Naviculales		
			Naviculineae	
			<i>Pleurosigma</i>	Smith, 1852
Dinoflagelados	Miozoa			
Tecados		Dinophyceae		
		Gonyaulacales		
			Ceratiaceae	
			<i>Ceratium</i>	Cleve, 1900
		Pyrocystales		
			Pyrocystaceae	
			<i>Pyrocystis</i>	Schütt, 1896
		Prorocentrales		
			Prorocentraceae	
			<i>Prorocentrum</i>	Ehrenberg, 1834
		Gonyaulacales		
			Pyrophacaceae	
			<i>Pyrophacus</i>	Dale, 1971

En cuanto a la densidad, el grupo más abundante durante las tres épocas fue el de las diatomeas centrales, teniendo su máxima densidad en la época de lluvias con 5 666 org/m³ registrados en todos los puntos de muestreo, seguido de las cianobacterias en donde se agrupa únicamente al género *Trichodesmiums*. A diferencia de las diatomeas centrales, este género presento su máximo número de organismos en la época de secas con un total de 7 623 org/m³ y su número más pequeño registrado en la época de lluvias con 900 organismos en todos los puntos de muestreo. Por últimos el grupo que presento menor abundancia en cuanto número de organismos fueron los



dinoflagelados tecados, teniendo el mayor registro en la época de lluvias con 1 052 org/m³ y su densidad más baja se presentó en la época de nortes con tan solo 250 org/m³ registrados en todos los puntos de muestreo (Tabla 7 del anexo 1). A continuación, se presentan las imágenes tomadas de algunos géneros del fitoplancton más abundantes durante las tres épocas en las zonas sur del PNSAV (Figura 15 – 20).

Diatomeas centrales



Figura 17. *Chaetoceros* sp., zona de arrecife. Febrero, 2017.

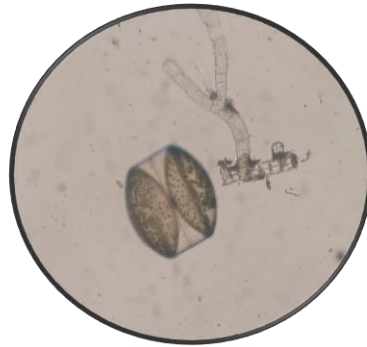


Figura 15. *Coscinodiscus* sp., zona de arrecife. Febrero, 2017.



Figura 16. *Pleurosigma* sp., zona de arrecife. Febrero 2017.



Figura 18. *Neocalyptrella* sp., zona de arrecife. Febrero 2017.



Diatomea penal

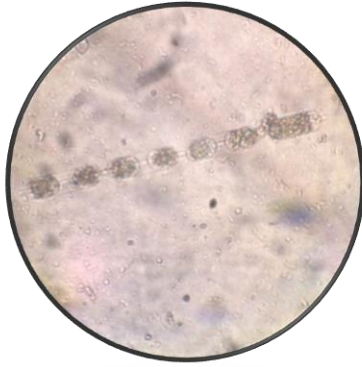


Figura 19. Melosira sp., zona de arrecife. Febrero 2017

Dinoflagelado



Figura 20. Ceratium sp., zona de arrecife. Febrero, 2017.



Análisis de la densidad total del fitoplancton

La figura 21 representa el análisis de cajas múltiples que se realizó para analizar las diferencias de la densidad general del fitoplancton durante las tres épocas de muestre. Sin embargo no existieron diferencias significativas, puesto que las tres muescas de interponen entre sí. Presentándose en la época de lluvias los valores más altos respecto a la época de secas y nortes, aunque el único valor extraordinario se presentó en la época de nortes con más de 8 000 organismos/m³.

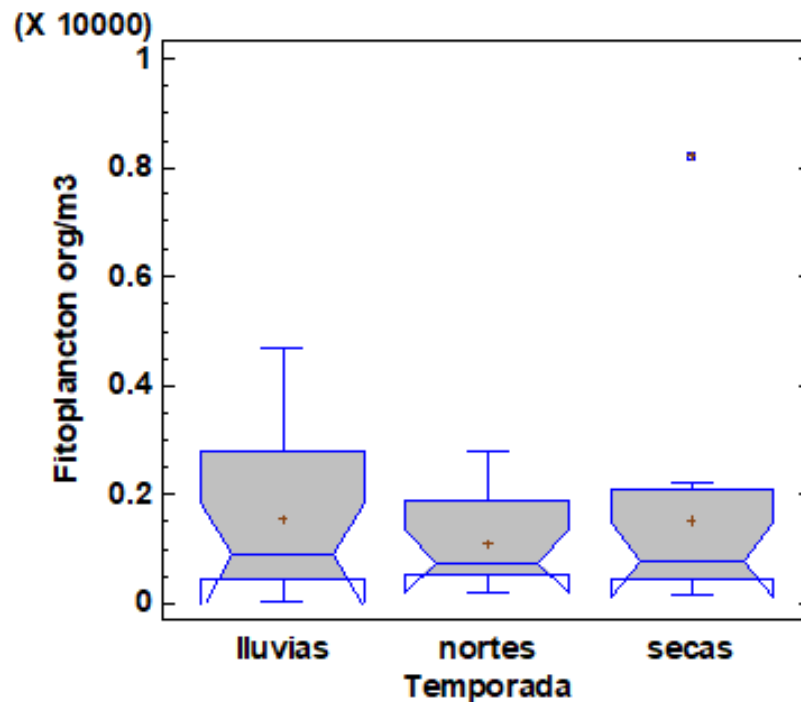


Figura 21. Diagrama de cajas y bigotes con respecto a la densidad total del fitoplancton (org/m³) registrada en época de lluvias, nortes y secas.



Se realizaron diferentes pruebas estadísticas para conocer la distribución de los datos y la varianza de la densidad total del fitoplancton obtenida en las tres épocas de muestreo, en la tabla 5 se presentan las pruebas realizadas, indicando el valor de P (si es el caso) y la interpretación de cada una de las pruebas.

Tabla 5. Resultados de las pruebas estadísticas realizadas para la comparación de la densidad total del fitoplancton entre épocas, con un valor de confianza del 95.0%.

Prueba estadística	Valor de P	Decisión
Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov	P=0.032838	No Presenta una distribución normal
Prueba de varianza	P=0.58645	No hay una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar
Kruskal-Wallis	P=0.927803	no hay una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas en el nivel de confianza del 95.0%



Distribución y densidad del zooplancton

Copépodos

La distribución de los copépodos es amplia ya que se registraron en todos los puntos muestreados, presentándose en la época de lluvia la densidad más alta con 656 org/m³ en la zona de arrecife, donde también se presentó una temperatura de 29.2°C con una salinidad 37.4 ups. En épocas de seca se registró la densidad más baja con 5 organismo/m³ en zona de influencia oceánica, con una temperatura de 28.2°C y una salinidad de 39 ups (Figura 22). Los grupos más abundantes fueron los cyclopides y calanoides.

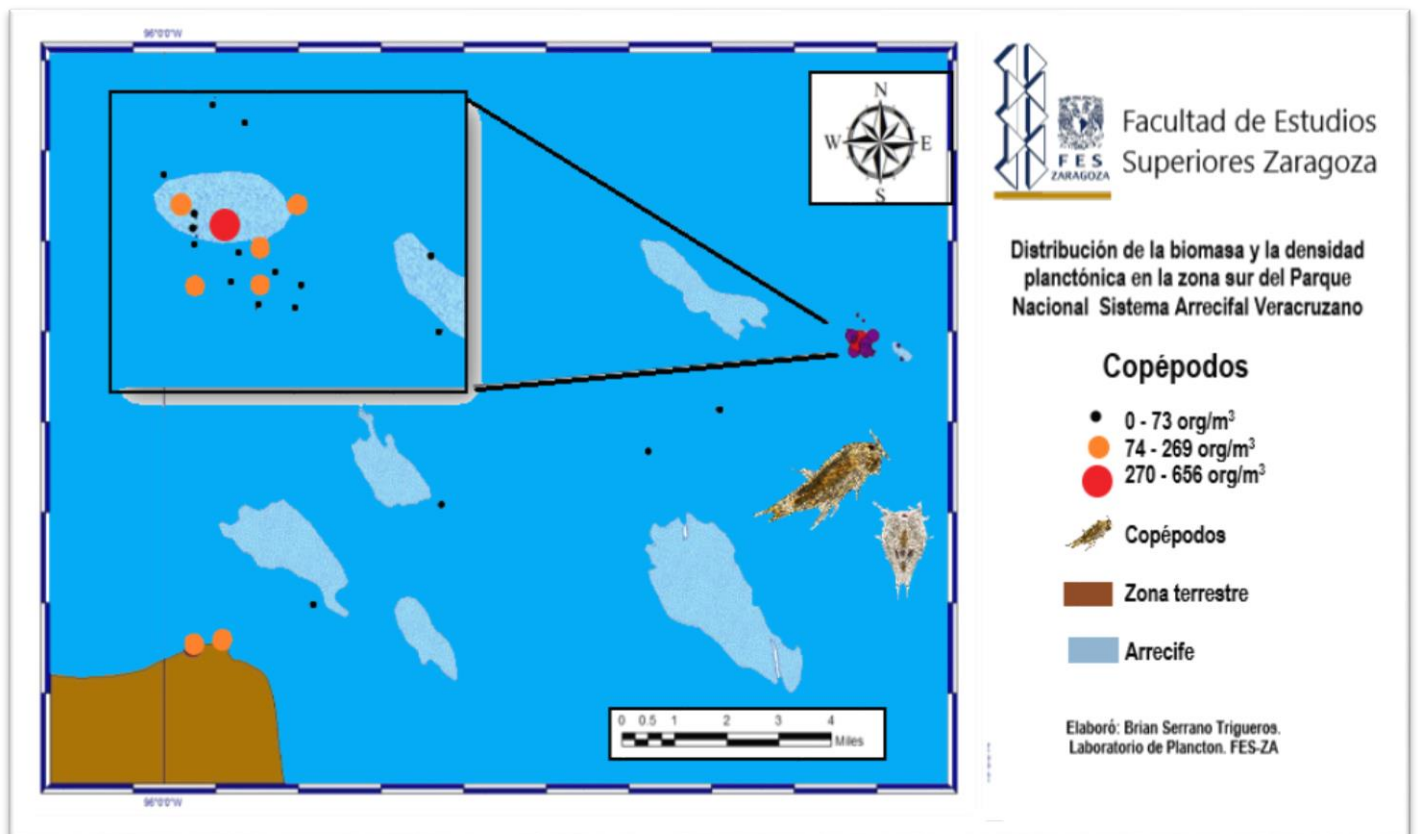


Figura 22. Distribución de la densidad (org/m³) de copépodos en la zona sur de Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano.



En cuanto a la distribución de los huevos y larvas de peces (meroplancton), se registró la mayor densidad en la época de lluvias en la zona de arrecife con 68 org/m^3 y una temperatura de 32°C , salinidad de 37.75 ups. La menor densidad registrada en la época de secas fue en la zona del arrecife con 5 org/m^3 y una temperatura de 27.7°C , salinidad de 37.8 ups. Su distribución no es tan amplia ya que no se registraron organismos en todos los puntos muestreados, y la densidad fue muy baja en comparación con la densidad de otros grupos del zooplancton (Figura 23).

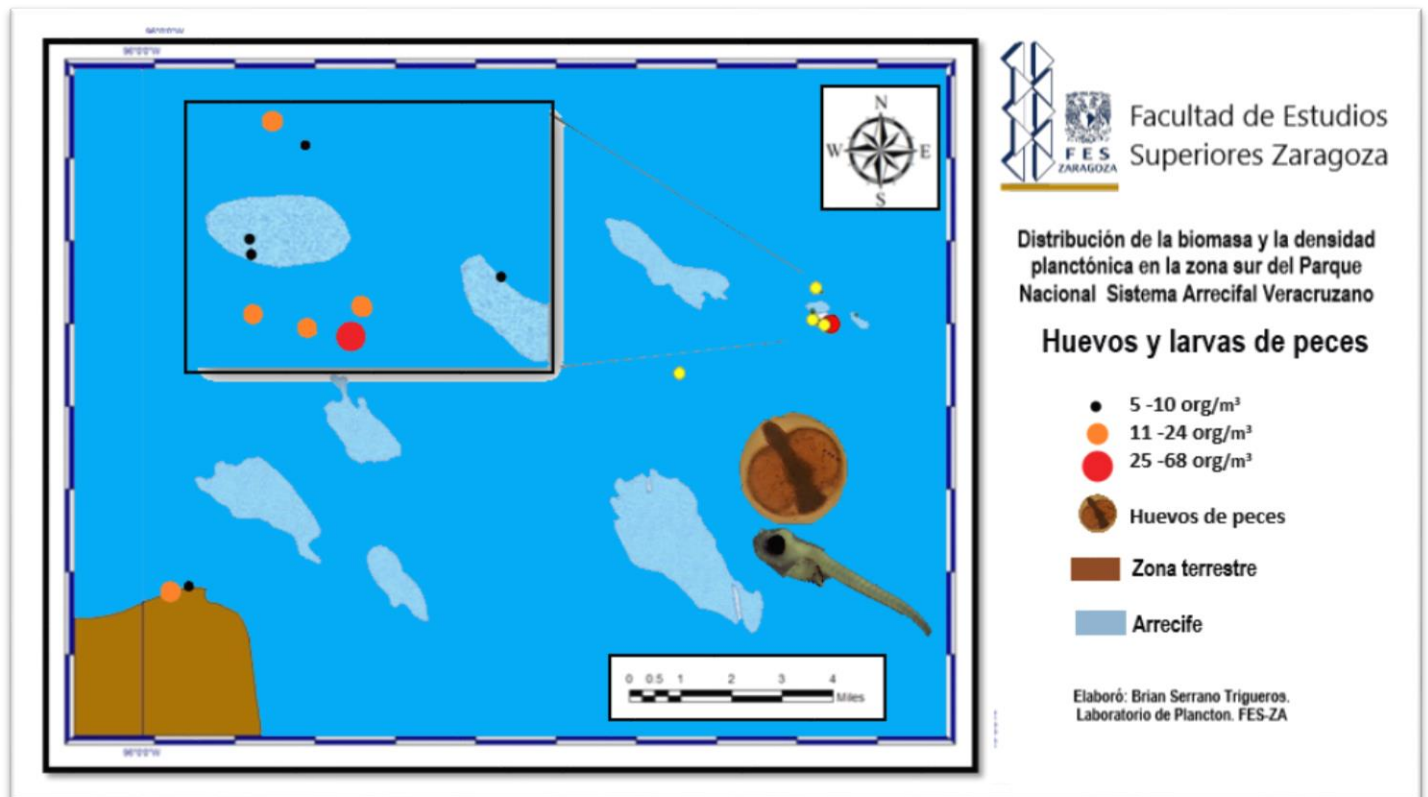


Figura 23. Distribución de la densidad (org/m^3) de huevos y larvas de peces en la zona sur de Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano.



Larvas de crustáceos

Con respecto a la densidad de las larvas de crustáceos, esta muestra una distribución amplia (Figura 24), en la zona de playa, arrecife e influencia oceánica. La densidad más alta se registró en épocas de secas con un total de 377 org/m³ en la zona de playa con una temperatura de 27.3°C y una salinidad de 37.65 ups. Las densidades más baja se registraron en la zona de arrecife donde los organismos no superaban los 34 org /m³ y las temperaturas oscilaba entre los 26 y 27°C con la salinidad de 34 ups. Dentro de las larvas de crustáceos están las larvas de cirripedo, larvas de Zoea y larvas Nauplius.

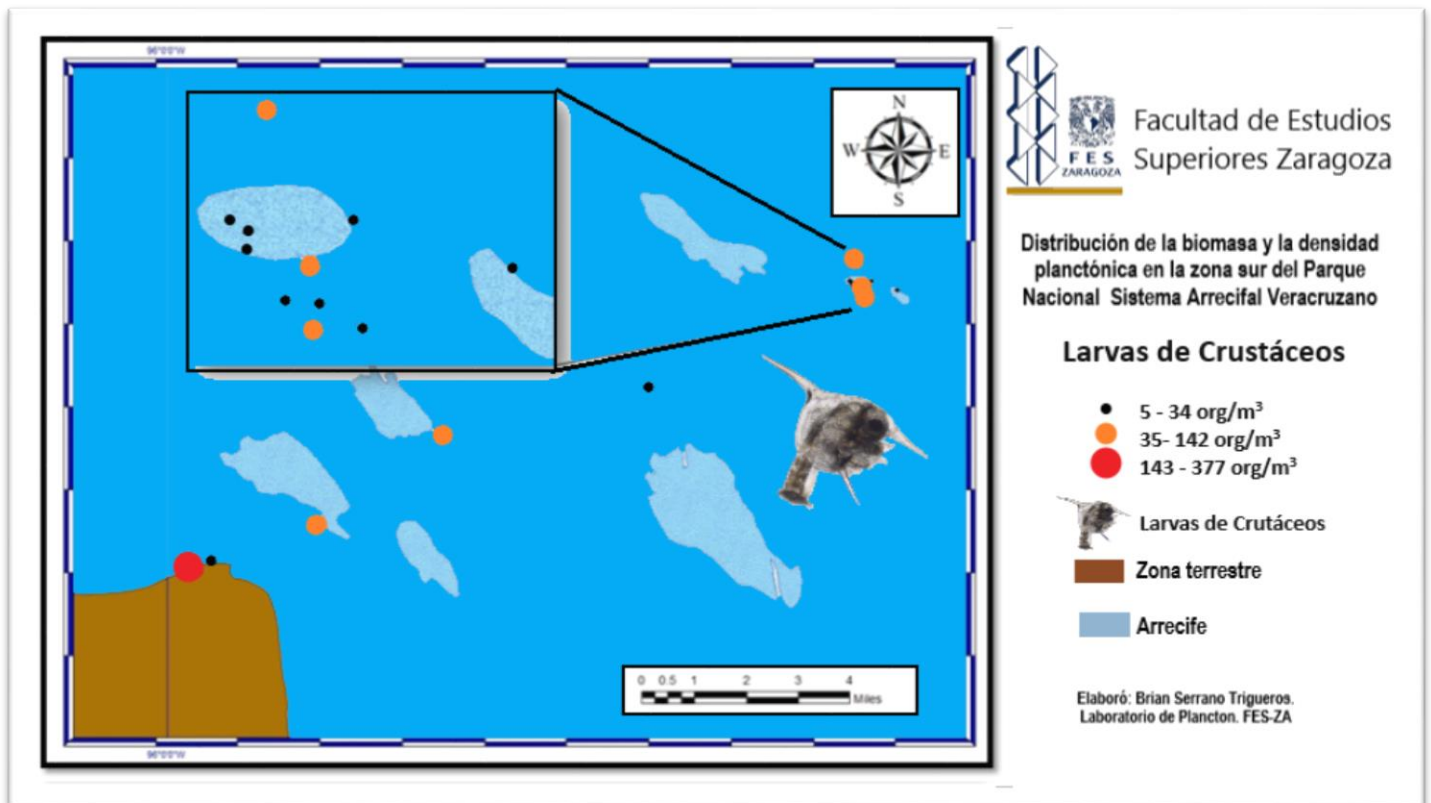


Figura 24. Distribución de la densidad (org/m³) de larvas de crustáceos en la zona sur de PNSAV.



Larvas de Moluscos

Dentro del grupo de los moluscos se registraron únicamente los gasterópodos y los bivalvos pertenecientes al meroplancton, sin embargo, su distribución no fue tan amplia dentro del sistema (Figura 25), puesto que los organismos estaban más concentrados a las zonas de arrecife y en la playa. En la época de secas se registró la densidad más alta con 656 organismos/m³ y fue en la zona de arrecife, con un valor de temperatura de 26.8°C y una salinidad de 36.75 ups. La densidad más baja de este grupo se registró en la zona de influencia oceánica con únicamente 5 organismos/m³, con un valor de temperatura alta de 29.5°C y salinidad de 35.50 ups.

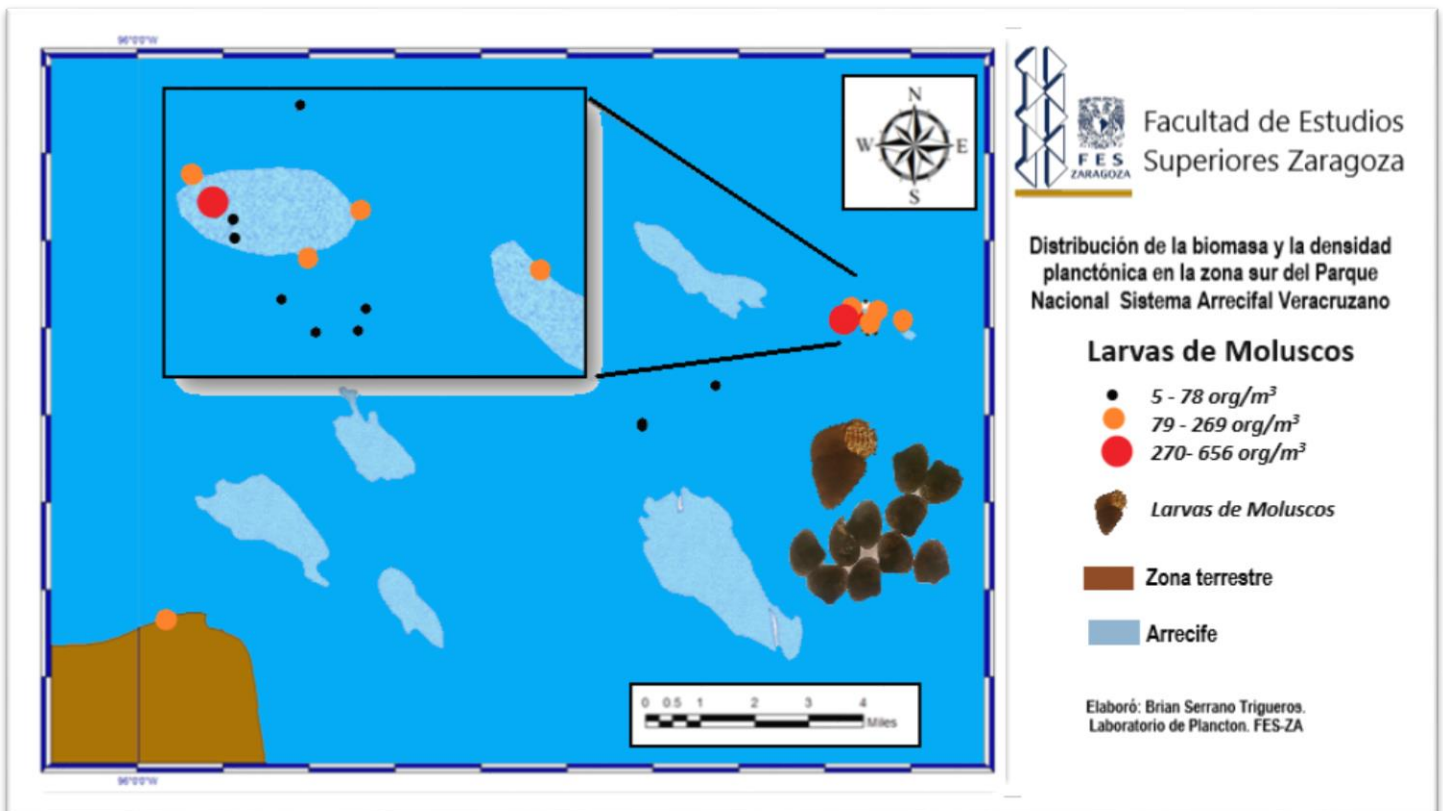


Figura 25. Distribución de la densidad (org/m³) de copépodos en la en la zona sur de Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano.



Densidad del zooplancton

La densidad de los organismos registrado se reporta en org/m^3 . Dentro del grupo del zooplancton se agruparon los organismos como se muestra en la tabla 6. Para la elaboración de los mapas los organismos fueron agrupados de acuerdo a sus características taxonómicas. Cabe mencionar que las larvas de peces, se agruparon dentro de los huevos de pez.



Tabla 6. Agrupación de los microorganismos del zooplancton encontrados en la zona sur del PNSAV

Zooplancton							
Agrupaciones	Phylum	Clase	Orden	Familia	Género	Otros	Autor
Protozoarios	Protozoa	Labyrinthulea	Radiolario	Acanthoniidae			
				Tintinnida			
Moluscos	Mollusca						
		Gasteropodo					Cuvier, 1797
	Mollusca						Linnaeus, 1758
		Bivalvia					
Huevo de pez	Chordata					Larvas	
Copépodos	Arthropoda	Subfilo-copépoda		Cyclopoida			Burmeister, 1834
					Calanidae		
Larva de	Arthropoda						Burmeister, 1834
Crustáceos		Cirripedia					
	Arthropoda						
		Subfilo-Crustacea					Larva Zoea
	Arthropoda						
		Subfilo-Crustacea					Larva Nauplio
	Euarthropoda						
		Ostracoda					Latreille, 1802
Otros Grupos	Bryozoa						Ehrenberg, 1831
	Echinodermata						Bruguière, 179
	Chordata						
		Urocordado		Copelata			
					Oikopleuridae		
						<i>Oiklopeura</i>	Lohmann, 1896
	Rotifera						
		Monogononta		Ploima			
				Brachionidae			
					<i>Karatella</i>		Gosse, 1851



No todos los grupos del zooplancton aportan la misma cantidad de biomasa presentes en el SAV, en la tabla 5 (anexo 1) se puede observar cuales son los grupos que presentan mayor densidad de acuerdo a la época. Siendo así, el grupo de los copépodos el que aporta la mayor densidad del zooplancton en las tres épocas, en la época de secas en el primer muestreo se encontraron un total de 1 257 organismos/m³ en todas las estaciones muestreadas. Seguida de los moluscos, que fueron otro de los grupos más abundantes con un total de 881 organismos /m³. Se puede observar notablemente que la densidad en general del zooplancton baja en la época de lluvias, con respecto a la época de secas (Tabla 5 del anexo 1). A continuación, se muestran las imágenes de los microorganismos más abundantes encontrados durante todos los muestreos en la zona sur del PNSAV (Figuras 26 – 34).

Protozoarios



Figura 28. Tintinido. Zona de playa. Febrero, 2017.

Moluscos



Figura 26. Gasterópodo. Zona de playa. Febrero, 2017.

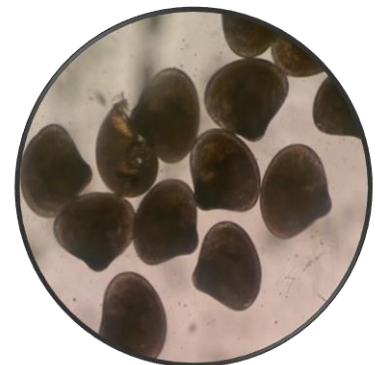


Figura 27. Larvas de bivalvos. Zona de playa. Febrero, 2017.



**Figura 30. Huevo de pez.
Zona de l. oceánica.
Febrero 2017.**

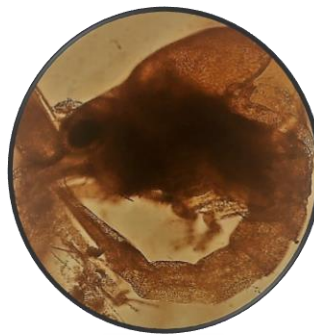


**Figura 29. Cyclopide.
Zona de Arrecife. Febrero,
2017.**

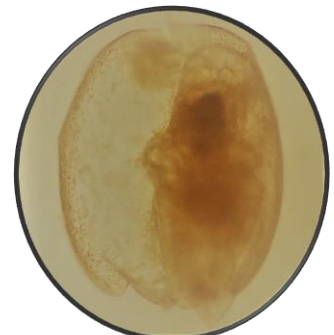
Larvas de crustáceos



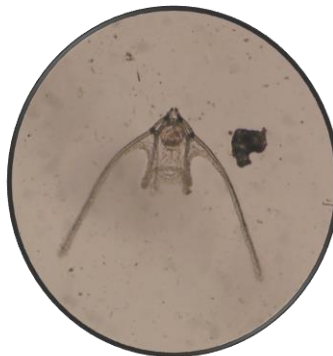
**Figura 33. Cirripedo,
zona de arrecife.
Febrero, 2017.**



**Figura 32. Larva zoea.
Zona de arrecife.
Febrero, 2017.**



**Figura 31. Ostrácodo. Zona de
arrecife. Febrero, 2017.**



**Figura 34. Larva de equinodermo,
zona de Arrecife. Febrero, 2017.**



Análisis estadístico de la densidad total del zooplancton

La figura 35 representa el análisis de cajas múltiples que se realizó para analizar las diferencias de la densidad general del zooplancton durante las tres épocas de muestre. Sin embargo no existieron diferencias significativas, puesto que las tres muescas se interponen entre sí. Presentándose en la época de secas los valores más altos respecto a la época de lluvias y nortes también el único valor extraordinario se presentó en la época de secas con más de 7 000 organismos/m³

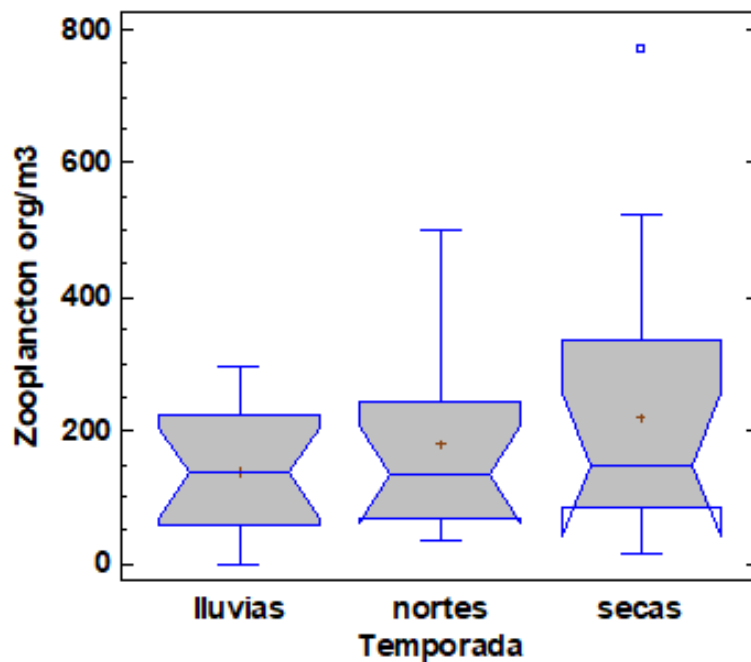


Figura 35. Diagrama de cajas y bigotes con respecto a la densidad total del zooplancton (org/m^3) registrada en época de lluvias, nortes y secas.



Se realizaron diferentes pruebas estadísticas para conocer la distribución de los datos y la varianza de la densidad total del zooplancton obtenida en las tres épocas de muestreo, en la tabla 7 se presentan las pruebas realizadas, indicando el valor de P (si es el caso) y la interpretación de cada una de las pruebas.

Tabla 7. Resultados de las pruebas estadísticas realizadas para la comparación de la densidad total del fitoplancton entre épocas, con un valor de confianza del 95.0%.

Prueba estadística	Valor de P	Decisión
Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov	P=0.151938	Presenta distribución normal
Prueba de varianza	P=0.249658	No hay una diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar
Análisis de varianza ANOVA	P=0.4126	no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medianas en el nivel de confianza del 95.0%



ANÁLISIS DE RESULTADOS

Temperatura

Los valores obtenidos de temperatura durante todo los meses muestreados (enero-octubre) registraron que las zonas que presentaron los niveles más altos, son las zonas de playa y la de arrecife esto se debe a la baja profundidad que se tiene en éstas zonas, lo que concuerda con lo mencionado por Salas-Monreal *et al.* (2009) quienes mencionan que a bajas profundidades y generan áreas de alta evaporación, lo que provoca el aumento de la temperatura. En promedio las temperaturas más altas obtenidas a lo largo del sistema se presentaron en las épocas de lluvia con 30.88 °C, y en el mes de junio se registró la mayor temperatura superficial del ciclo anual (35.1 °C), debido a que en la región tropical la incidencia solar se incrementa de marzo a septiembre, aumentando la temperatura de forma superficial (Trujillo y Thurman, 2008), los resultados obtenidos en los análisis estadísticos y en el análisis exploratorio de cajas múltiples en el cual se puede observar que la época de lluvias fue la que presentó una variación con respecto a la época de nortes y de secas. Los eventos de “nortes” ocasionan la disminución de los máximos de temperatura y homogenizan las demás variables hidrológicas. Los valores mínimos de temperatura, se registraron cercanos a la costa, frente a la descarga del Río Jamapa y hacia los arrecifes frente a Antón Lizardo, ya que las descargas del Jamapa son producto del deshielo y escorrentía en zonas altas del pico de Orizaba, así como las lluvias estacionales presentes de forma local (de la Lanza-Espino y Gómez-Rojas, 2004).



Salinidad

Los valores de salinidad en los análisis estadísticos y en el análisis exploratorio de cajas múltiples mostraron diferencias entre la época de nortes y lluvias y entre la de nortes y secas. Por lo que los valores de salinidad en la época de nortes presentaron valores muy diferentes presentándose en esta época la salinidad más baja de 25 ups y también la más alta con más de 45 ups, esto se debe a los vientos fuertes característicos de esta época, lo que provoca una mezcla entre el agua que se encuentra a profundidades más grandes y la superficial. También se forman masas de agua en la superficie, con salinidades y temperaturas diferentes.

Las diferencias más notables se pueden observar entre las diferentes zonas de muestreo, es decir: arrecife, influencia oceánica y playa., siendo así: la zona de arrecife la que presenta mayores índices de salinidad, esto va en función al aumento de la temperatura en zonas de baja profundidad ya que existe mayor evaporación por lo que la salinidad tienen un mayor índice de concentración. Aunque las zonas costeras también presentan baja profundidad aquí se presentan índices bajos de salinidad y esto debido a que las aguas costeras se asocian a descargas de los ríos con características hidrodinámicas, como un producto de la dilución entre las aguas marinas y las continentales (de La Lanza-Espino y Gómez-Rojas, 2004; Salas-Pérez et al., 2012).

Biomasa

En cuanto a la biomasa promedio, los valores más altos, se registraron en la época de lluvias, esto debido a que el aumento de la densidad del plancton va ligada al aumento de la biomasa marina, esto se debe a que los organismos planctónicos son los principales



aportadores de biomasa en todo el sistema marino ya que están compuestos por moléculas de carbono, nitrógeno y oxígeno. En cuanto a los análisis estadísticos y exploratorio de cajas múltiples, se observó una diferencia de los valores de salinidad en la época de lluvias con respecto a la de secas y nortes, esto se debe a que en la temporada de lluvias, la turbidez es un factor importante en la concentración de biomasa de fitoplancton y guardan una relación inversamente proporcional (Fisher et al., 2011). Es decir, debido al aumento de materia en re suspensión (relacionada con el aumento del caudal de los ríos) se incrementa la atenuación de la luz, de tal manera que la eficiencia fotosintética se ve limitada a la superficie de la columna de agua (García de Ballesteros y Larroque, 1976; Hernández y García, 2007 y Gadea-Pérez, 2009). Aunque el índice más alto registrado de biomasa se presentó en la época de nortes con un valor de 12.86 mg/m³, Okolodkov et al. (2011) explica que las concentraciones más variadas se presentan en la época de nortes, característica que está relacionada con el incremento en las velocidades del viento que generan mezclas en la columna de agua provocando que los nutrientes del fondo se pongan a disposición de los organismos. Los valores más bajos de biomasa fueron registrados en la época de secas con tan solo 0.27 mg/m³ en la zona de influencia oceánica, aunque todas las zonas muestreadas presentan un valor similar la zona de playa presento un valor de 6.14mg/m³, debido a la concentración de nutrientes por la alta tasa de evaporación, resultado de la temperatura más alta registrada en este muestre de 33.3°C en conjunto con la baja profundidad presente.

En general las diferentes zonas que se muestrearon no mostraron variaciones tan grandes entre ellas en cuanto a la cantidad de biomasa registrada, debido a que el aporte de los ríos afecta desde la zona de playa hasta el arrecife de Santiaguillo, creando así



condiciones muy similares. Los cambios pequeños que se registran entre zonas e incluso en puntos muy cercanos, se debe factores ambientales como las corrientes marinas, masas de agua y la presencia de organismos con gran capacidad de reproducción que pueden ser los principales aportadores de biomasa.

Distribución y densidad del fitoplancton

La distribución de *Trichodesmium* dentro del SAV durante todos los muestreos fue amplia y con una densidad muy alta, incluso su densidad más alta registrada, fue en épocas de lluvias en la zona de arrecife con 2 936 org/m³, por lo que concuerda con lo reportado por Ortiz (2016) como dominante en arrecife ya que es fijadora de nitrógeno y la fijación de nitrógeno requiere grandes cantidades de compuestos ligados al hierro por lo que la cantidad de hierro es importante en las aguas oligotróficas (Aké-Castillo, 2011). La temperatura registrada en épocas de lluvias fue de 31°C y con una salinidad de 33.45 ups. Lo anterior no concuerda con Rodríguez-Alonso et al., (2008) ya que menciona que *Trichodesmium spp.* es un género estenohalino por lo que es poco frecuente en épocas de lluvia, y que su crecimiento es limitado ante cambios en la salinidad. Sin embargo, dentro del SAV a diferentes concentraciones de salinidad presentó una abundancia y distribución mayor a comparación de otros grupos de fitoplancton.

Los dinoflagelados fueron otro de los grupos que presentaron una amplia distribución, aunque sus densidades mayores fueron registradas en la zona de arrecife, son de gran importancia ya que poseen forma de alimentación variable, pueden ser autótrofos y heterótrofos por ello su importancia se sustenta en varios papeles ecológicos



como productores y consumidores primarios y sus vínculos en la trama trófica (Taylor et al. 2003). Los géneros más abundantes fueron *Ceratium* y *Pyrocystis*, se presentaron en salinidad altas de 39.6 por lo que su distribución está más ligada a zonas de baja profundidad donde la evaporación es alta y la salinidad mayor. De las más de 2000 especies estimadas de dinoflagelados, alrededor de 75 especies tienen la capacidad de producir potentes toxinas y causar intoxicaciones en humanos y unas cuantas son potencialmente letales (Ortíz-Lozano et al., 2005).

Las diatomeas pennales presentaron una distribución amplia en todo el SAV, pero con densidades generalmente muy bajas, dentro de este grupo las que aportaron mayor densidad fueron *Pseudo-nitzschia*, presentándose en épocas de secas en la zona de playa con mayor abundancia, este género tiene una amplia distribución en todo los sistemas marinos del mundo, encontrándose desde zonas muy frías como Alaska hasta las zonas más cálidas de la región tropical, por lo que la temperatura no influye mucho en sus florecimientos, sin embargo algunos géneros de las diatomeas que alcanzan elevadas densidades se pueden considerar como potencialmente nocivas debido a la producción de ácido domoico con efectos sobre la fauna marina y la salud humana (Fryxell and Hasle, 2004; Lefebvre et al., 2012). Aun que no se tomaron valores de oxígeno es importante resaltar que los florecimientos de diatomeas se asocia con déficit oxígeno disuelto. En épocas de secas se registró la densidad más alta con 4 281 organismos /m³ en la zona de playa y fue aportada por *Pseudo-nitzschia*. Con una temperatura de 27.7°C y salinidad= de 37.8 ups. La segunda densidad más alta fue en épocas de lluvias con 675 org/m³ en la zona de playa aportada por *Pseudo-nitzschia*. Con una temperatura de 27.3 °C y Salinidad de 37.65. aunque aparentemente la abundancia



es baja podría superar los límites máximos permisibles para considerar la zona con riesgo de FANs. En algunas ocasiones no es necesaria una proliferación masiva de las especies para que estas representen un peligro real para la salud humana. (Hernández-Orozco et al., 2006).

La alta densidad celular de *Pseudo-nitzschia* no fue suficiente para causar una decoloración del agua en la zona, lo que sugiere la existencia de eventos de FANs (Florecimientos Algales nocivos) sin que estos hayan sido registrados, ya que no hay efectos a simple vista. Bajo este enfoque y teniendo en cuenta que el área de estudio está bajo una constante presión hacia la eutroficación, es muy probable que los FANs de *Pseudo-nitzschia* spp. en el PNSAV se incrementen de acuerdo con lo expuesto por Parsons et al. (2002). Estos autores encontraron en núcleos de sedimento del norte del Golfo de México un aumento de *Pseudonitzschia* spp. Relacionado con una elevación de los niveles de nitratos en las últimas décadas. Aunque sus resultados se refieren a una de las zonas muertas más grandes del mundo, las aguas del PNSAV también reciben la descarga de compuestos nitrogenados debido a una intensa actividad antropogénica (Ortíz-Lozano et al., 2005).

Por ultimo tenemos a las diatomeas centrales, este grupo fue el que presento mayor distribución y densidad que el resto de los grupos registrados. También el grupo de las diatomeas centrales fueron la que presentaron mayor diversidad de género en comparación con las diatomeas pennales. Dentro del grupo de las diatomeas la mayor densidad se presentó por parte de *Coscinodiscus* y *Cheatoceros*, Ortiz (2016) reporta que a *Cheatoceros* es más constante en playa y arrecife donde las concentraciones de salinidad son altas. El Genero *Coscinodiscus* spp. se presentó en casi todos los puntos,



su distribución no es afectada por las bajas temperaturas y salinidades si no por la falta de oxígeno disuelto en el agua.

Densidad total del fitoplancton

En los análisis estadísticos y exploratorio de cajas múltiples que se realizaron no arrojaron diferencias significativas en cuanto a la densidad total del fitoplancton reportado entre épocas, sin embargo la mayor densidad de organismos se registró en la época de lluvia esto concuerda con lo mencionado por Okolodkov et al. (2011) donde menciona que los valores mínimos de los volúmenes planctónicos se presentan durante el periodo de primavera, incrementando durante lluvias (verano) debido al aporte de nutrientes por los ríos Papaloapan y Jamapa. (Okolodkov et al., 2011; Salas-Pérez et al., 2012). Así mismo en las zonas más cercanas la costa la sobreproducción de nutrientes es ocasionada por el aporte de materia acarreada por ríos y viento, los cuales pueden ser aprovechados por el fitoplancton (Díaz y Rosenberg, 1995; Nixon, 1995; Gupta et al., 2009; Korotenko, 2012).

Distribución del zooplancton

A escala local, la distribución de los organismos planctónicos es discontinua debido a la influencia de variables ambientales como la temperatura y la salinidad, así como por las estructuras hidrográficas, el alimento disponible, entre otros factores, de tal modo que el zooplancton no se distribuye de manera homogénea, sino que presenta una distribución en parches, con zonas contiguas de alta y baja abundancia (Witman y Roy, 2009; Molinero et al., 2008). Raven y Gaiden (1988) Mencionan que los parámetros ambientales con mayor relevancia ecológica son la temperatura y la salinidad ya que



estos contraloran las tasas en las que se realizan procesos biológicos y reacciones químicas como: respiración, crecimiento, motilidad fotosíntesis fijación de carbono, nutrientes y osmosis.

En cuanto a la diversidad de los diferentes grupos de zooplancton, los copépodos representaron más del 50% de la abundancia zooplanctónica; en este sentido se ha reportado que el grupo de los copépodos representan hasta el 95% de la abundancia total del zooplancton (Suarez-Morales, 1994; Bernal y Zea, 2000; MárquezRojas et al., 2009). La mayor abundancia de copépodos, concuerda con lo reportado por Okolodkov et al. (2011) quienes consideran a este grupo como dominante para esta área de estudio. El predominio de este grupo puede deberse a su versatilidad para ubicarse en diferentes niveles tróficos, ya sea como herbívoro, carnívoro u omnívoro (Clark et al., 2001). La densidad más alta de copépodos se registró en la época de lluvias con 225 org/m³ en la zona de arrecife, donde se presentó una salinidad de 37.4 ups, su abundancia es relativamente baja en las zonas donde las concentraciones de salinidad son más altas, donde está dominada por formas que se han adaptado a los cambios de salinidad que caracterizan a estos ambientes (Suárez-Morales 1994, Vásquez-Yeomans *et al.* 2012) por lo que son muy pocos resistentes a salinidades altas, siendo así la época de secas la que presentó la menor densidad de este grupo con tan solo 5 organismos/m³. En esta zona se encontraron valores altos de salinidad con 39 ups. Esto concuerda con lo mencionado anteriormente por Suárez-Mora et al (1994).

En cuanto a la distribución de las larvas de los moluscos, ésta es más restringida de acuerdo a Gasca y Suárez-Morales (1994) las larvas se desarrollan a bajas profanidades cerca de la superficie y de acuerdo al registro obtenido las densidades más



altas de larvas de moluscos se encontraron en las zonas de arrecife donde las profundidades son muy bajas en comparación con los otros sitios muestreados. Otro de los factores que ayuda a su distribución es la salinidad, en concentraciones más altas su densidad aumenta, por lo que en la época de secas la concentración de salinidad es mayor por la tasa de evaporación y falta de lluvias presentando la densidad más alta de larvas de moluscos esto concuerda con Chávez Villegas (2014), donde señala que la salinidad influye en la distribución y densidad de larvas de gasterópodos.

Los huevos de peces son considerados partes del meroplancton ya que dura solo una parte de su desarrollo formando parte del plancton. Su abundancia y distribución está más ligada a factores reproductivos de los peces (de acuerdo a la especie), y no tanto a factores ambientales como la temperatura y la salinidad. Los huevos y las larvas son dispersados por las corrientes marinas sin embargo de acuerdo a los valores obtenidos, se puede ver su distribución más concentrada en la zona de arrecife y con mayor presencia en la época de lluvias, por lo que se puede explicar por la presencia de la gran diversidad de peces que son resguardados por los arrecifes de esta zona. Las larvas de pece se mantuvieron como un grupo constante en los muestreos (con densidades y distribución baja), pero la mayor abundancia se presentó en la temporada de lluvias. Pérez-Hernández y Torres- Orozco (2000); Flores-Coto (2010) mencionan que, en temporada de lluvias, algunas especies desovan y cuyos huevos y larvas pueden formar parte del meroplancton.

Por ultimo uno de los grupos más importantes son las larvas de crustáceos los cuales presentaron una distribución amplia y constante durante todos los meses de



muestreo. La densidad más alta se registró en épocas de sacas con 377 org/m^3 en la zona de playa. Las densidades más pequeñas se registraron en la zona de arrecife donde los organismos no superaban los 34 org /m^3 . Estas larvas también forman parte del meroplancton y su distribución también es poco influenciada por los factores de salinidad y temperatura. Su amplia distribución dentro del sistema y mayor abundancia en la zona de la playa posiblemente se debe a las corrientes marinas a las que fueron sometida en la época de nortes.

Densidad total del zooplancton

De acuerdo a los resultado obtenidos en los análisis estadísticos y exploratorio de cajas múltiples se observó que entre épocas no hubo una diferencias estadísticamente significativa entre las densidad de los organismos del zooplancton. Por lo que las variaciones estacionales no influyen en este grupo, sin embargo en la época de secas se presentaron los valores más altos y el promedio más alto comparado con la época de nortes y de lluvia. Una de las posibles explicaciones es en cuanto al movimiento vertical que realizan estos organismos en búsqueda de alimento, el que las corrientes sean tranquilas comparada con las otras épocas les da una ventaja para poder contrarréstalas y poder subir a la superficie en búsqueda de alimento, lo que incrementaría el número de organismos sobre la superficie en esta época.



CONCLUSIONES

Las zonas de baja profundidad son las que presentaran los valores más altos de temperatura durante las diferentes épocas climatológicas, esto gracias a la bajas profundidades, además que las temperaturas más altas se presentaran durante las épocas de lluvias, por la incidencia solar que se presenta de marzo a octubre, abarcando así el periodo de lluvias.

Los valores de salinidad altos son más frecuentes en las zonas de bajas profundidad, esto gracias a la alta evaporación que se presenta en estas zonas.

Los vientos y las lluvias son de los factores más importantes para determinar los valores altos o bajos de la salinidad, ya que crean mezclas entre las diferentes salinidades que se pueden presentar dentro de un mismo sitio al homogenizar el agua de mar.

La época de secas presentara los valores más bajos de temperatura, esto se debe a las bajas precipitaciones, provocando así una escases en los nutrientes al no existir un sistema tan dinámico en comparación con la época de nortes y lluvias.

Trichodesmium spp. fue el organismos de fitoplancton que presento mayor abundancia y distribución a diferentes condiciones de temperatura y salinidad por lo que su presencia dentro del SAV no está ligado a estos factores.

Dentro del grupo de las diatomeas reportadas *Pseudo-nitzschia* spp., es la que presenta una mayor importancia ya que es considerada potencialmente toxica, sin embargo la temperatura no es un factor que determine su distribución ni mucho menos su abundancia dentro de este sistema.



Los dinoflagelados representan un papel muy importante dentro de la comunidad ya que muchas especies además de ser fotosintéticos también se alimentan de otros organismos más pequeños, sin embargo su distribución y abundancia se va a ver afectada por la temperatura y la salinidad de acuerdo a los géneros y especies.

La distribución del zooplancton presenta una distribución en parches esto se debe principalmente por las estructuras hidrográficas y el alimento disponible.

Los copépodos son un grupo dominante dentro del SAV por su alta distribución y abundancia ante diferentes temperaturas, sin embargo su abundancia baja a salinidades altas, presentando su mayor abundancia en temporada de lluvias, a salinidades bajas por la mezcla de la descarga de los ríos y las lluvias dentro del SAV.

La abundancia de las larvas de los moluscos es mayor en épocas de secas y en zonas de baja profundidad por la alta evaporación provocando así salinidades altas.

Los huevos y larva de peces presentan una mayor abundancia en época de lluvias ya que en esta época muchas especies de peces desovan cerca de los arrecifes.



RECOMENDACIONES

Dar continuidad a este tipo de estudios, en los que se aborden aspectos taxonómicos, ecológicos y oceanográficos, además de la implementación de Sistemas de Información Geográfica.

Sería importante enfocarse a especies que sean consideradas como Formadoras de Florecimientos Algales Nocivos, con el principal objetivo de poder encontrar un patrón y poder prevenir pérdidas de producción hacia las industrias que se dedican a la pesca, y también prevenir intoxicaciones hacia los consumidores.

Se recomienda llevar a cabo estudios comparativos en las mismas estaciones de muestreo, con el fin de verificar cualquier modificación de los organismos a través del tiempo, para tener una relación certera entre el zooplancton y fitoplancton de la región, profundizando a nivel de especie.

Sería importante considerar una distancia mayor entre las estaciones de muestro, con dirección hacia mar abierto para poder ver el cambio de taxones en un gradiente perpendicular a la línea de costa y de esta manera poder establecer escenarios ambientales de acuerdo a la presencia de especies indicadoras. Sería importante también ubicar más puntos para que la información sea mayor, así como la interpretación de los mismos. Se podrían considerar puntos.



Referencias

- Agardh, C.A. (1831). *Conspectus criticus diatomacearum. Part 3.* pp. 33-48. Lundae [Lund]: Literis Berlingianus.
- Agardh, C.A. (1832). *Conspectus criticus diatomacearum. Part 4.* pp. 49-66. Lundae [Lund]: Literis Berlingianus.
- Álvarez-Borrego S. 2007. Principios generales del ciclo del carbono en el océano. En: Hernández de la Torre B y Gaxiola Castro G (eds.). Carbono en ecosistemas acuáticos de México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, Centro de Investigación y Educación Superior de Ensenada. Pp. 11-28
- Aké-Castillo J. A. 2011. Temporal dynamics of *Trichodesmium erythraeum* (Cyanophyta) in the National Park "Sistema Arrecifal Veracruzano" in the Gulf of Mexico. *Journal of Environmental Biology*, 32: 395-399.
- Andersen, P., y J. Throndsen. 2004. Estimating Cell Numbers. En: Hallegraeff, G.M., Anderson D.M., y Cembella, A.D. (eds), *Manual on Harmful Marine Microalgae. Monographs on oceanographic methodology 11*, Unesco, Paris. Pp.99-130.
- Badillo A., M., Galindo S., M., Gallardo T., A., Lizama G., Palomino A., G., Arena O., M., Chiappa G., X. 2010. *Manual de Practicas de Ecología Acuática*. México: Universidad Nacional Autónoma de México
- Barrios B.E, Puig, I.A. 2012. ID-TAX. Catálogo y claves de identificación de organismos utilizados como elementos de calidad en las redes de control del estado ecológico. Dirección General del Agua, Secretaria de Estado de Medio Ambiente del Ministerio de Agricultura y Alimentación y Medio Ambiente, Madrid. Pp. 564.
- Bernal, A. & S. Zea. 2000. Estructura de la comunidad de zooplancton en condiciones de descarga continental y afloramiento costero en Santa Marta, Caribe Colombiano. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*.29:3-26.
- Brightwell, T. (1858). Remarks on the genus *Rhizosolenia* of Ehrenberg. *Quarterly Journal of Microscopical Science, London* 6: 93-95.
- Burmeister, 1834. World of Copepods database. *Chalimus* Accessed through: World Register of Marine Species at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=346949> on 2019-01-02
- Carrillo L, G Horta-Puga y JP Carricart-Ganivet. 2007. Climate and Oceanography Pp. 48-60. In: Tunnell JW Jr., EA Chavez, and K Withers. *Coral reefs of the southern Gulf of Mexico*. Harte Research Institute, Texas A&M University. Corpus Christi.



- Chávez Villegas, J. F. (2011). Abundancia espacio-temporal de larvas de *Strombus gigas* (Linnaeus, 1758) en el Sistema Arrecifal Mesoamericano. Tesis de maestría, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.
- Clark D., K.V. Aazem & G.C. Hays. 2001. Zooplankton abundance and community structure over a 4000 km transect in the north-east Atlantic. *Journal of Plankton Research*. 23 (4): 365-372.
- Cleve, P.T. (1900). Notes on some Atlantic plankton-organisms. *Kongl. Svenska Vetenskaps Academiens Handlingar* 34(1): 1-22.
- Conde-Porcuna, J.M., E. Ramos-Rodríguez y R. Morales-Baquero. 2004. El zooplancton como integrante en la estructura trófica de los sistemas acuáticos lénticos. *Ecosistemas* 2. Disponible en: <http://www.revistaecosistemas.net/pdfs/8.pdf>
- CONABIO. 2013. Promedio mensual de la Temperatura Superficial del Mar Nocturno 2013. Portal de Geoinformación. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- CONABIO. 2015. *Datos vectoriales de Geomorfología Marina*. Portal de Geo información. Sistema Nacional de Información sobre Biodiversidad. Catálogo de metadatos geográficos. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- CONAGUA, 2006. Información climatológica del estado de Veracruz. Servicio Meteorológico Nacional, Estado de Veracruz de la Llave. Disponible en: <http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=ver>.
- CONAGUA (2015), Servicio Meteorológico Nacional, Informe Anual 2015. 30 pp.
- Contreras- Espinoza M. L. 2016. Variación espacio-temporal de la estructura comunitaria del zooplancton y su relación con las variables hidrográficas en la desembocadura del río Jamapa, Veracruz, en dos temporadas climáticas (nortes y lluvias). Tesis de Maestría en ecología pesquera y marina. Universidad Veracruzana. Pp 1-102
- Mollusca Base (2019). Accessed through: World Register of Marine Species at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=140605> on 2019-01-02.
- de la Lanza-Espino G y JC Gómez-Rojas. 2004. Características Físicas y Químicas del Golfo de México. In: Caso M, I Pisanty y E Ezcurra (Eds.). Diagnóstico ambiental del golfo de México vol. 2. INE-SEMARNAT. Distrito Federal. México. 103-132 pp. ISBN: 968-817-705-9
- Díaz RJ y R Rosenberg. 1995. Marine benthic hypoxia: A review of its ecological effects and the behavioural responses of benthic macrofauna. *Oceanography and Marine Biology. an Annual Review* 33: 245-303 pp. ISSN: 0078-3218



- Escribano R. y Castro L. 2004. *Biología Marina y Oceanografía: procesos y conceptos*. Chile: Consejo Nacional del libro y la lectura. Vol 2. 289-312.
- Ehrenberg, E.O. (1830). "Neue Beobachtungen u"ber blauartige. Erscheinungen in Aegypten und Siberien nebst einer Ubersicht und Kritik der fru"her bekannten". *Ann Phys Chem*. **18**: 477–514.
- Ehrenberg C.G. 1831. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway (taxonomic information republished from *AlgaeBase* with permission of M.D. Guiry). *Cryptomonas*. Accessed through: World Register of Marine Species at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=106282> on 2019-01-02
- Ehrenberg, C.G. (1834). Beitr"age zur physiologischen Kenntniss der Corallenthiere im allgemeinen, und besonders des rothen Meeres, nebst einem Versuche zur physiologischen Systematik derselben. 1. *Abhandlungen der K"oniglichen Akademie Wissenschaften zu Berlin, Physikalische Klasse* 1832(1): 225-380.
- Ehrenberg, C.G. (1839). U"ber jetzt wirklich noch zahlreich lebende Thier-Arten der Kreideformation der Erde. *Bericht u"ber die zur Bekanntmachung geeigneten Verhandlungen der K"onigl. Preu"ß. Akademie der Wissenschaften zu Berlin* 1839: 152-159.
- Ehrenberg, C.G. (1844). Einige vorl"aufige Resultate seiner Untersuchungen der ihm von der S"udpolreise des Captain Ross, so wie von den Herren Schayer und Darwin zugekommenen Materialien u"ber das Verhalten des kleinsten Lebens in den Oceanen und den gr"ossten bisher zug"anglichen Tiefen des Weltmeeres. *Bericht u"ber die zur Bekanntmachung Geeigneten Verhandlungen Der K"onigl. Preuss. Akademie Der Wissenschaften zu Berlin* 1844: 182-207.
- Fisher, J. S. 2011. Crustaceous Zooplankton Transfer between a Flood plain Wetland and the Missouri River. *The Prairie Naturalist*. 43(1/2):14-22.
- Flores-Coto, C., L. Sanvicente-A"norve & M. S"anchez-Ram"irez. 2010. Appendicularian distribution and diversity in the southern Gulf of Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 81:123-131.
- Frenguelli J. (1939). Diatomeas del Golfo de San Mat"ias. *Revista del Museo de La Plata. Nueva serie. Secci"on bot"anica* 10: 201-226.
- Fryxell, G.A., Hasle, G.R. (2004) Taxonomy of harmful diatoms. En: G.M. Hallegraeff, D.M. Anderson and A.D. Cembella, (Eds.), *Manual on Harmful Marine Microalgae* (pp. 465-510), Paris: UNESCO
- Gadea-P"erez, I. 2009. Variaci"on espacial del fitoplancton en la zona costera de Gand"ia y su relaci"on con la entrada de nutrientes. Tesis de Doctorado. Universidad



Politécnica de Valencia, Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. 145 pp.

García de Ballesteros, G. & M. Larroque. 1976. Elementos sobre la distribución de turbidez en el Alto Golfo de California. CalCOFIREp. XVIII: 81-108 pp.

Gasca Castellanos R. I. & Suárez-Morales E. 1994. Análisis preliminar y perspectivas de una comunidad ecológica fronteriza: El zooplancton de la Bahía de Chetumal. En: Suárez-Morales E (ed). Estudio integral de la frontera México-Belice. Tomo IV: Recursos Naturales, pp. 119-142. Centro de Investigaciones de Quintana Roo (CIQRO), México. González JG &

Gattuso JP, M Frankignoulle y R Wollast. 1998. Carbon and carbonate metabolism in coastal aquatic ecosystems. Annual Reviews of Ecology and Systematics. Pp 405-434.

Giesbrecht, 1902. World of Copepods database. *Calanoides acutus*. Accessed at: <http://www.marinespecies.org/copepoda/aphia.php?p=taxdetails&id=342434> on 2019-01-02.

Góngora Servín I. I. 2014. Visión del plancton en el Arrecife Santiaguillo, Veracruz. Tesis de Licenciatura, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. Pp 1- 98.

González-Domínguez, L. L. 2009. Descripción de la distribución de grupos zooplanctónicos en el sur de Azuero, República de Panamá. Tesis de Maestría en Ecología de Zonas Costeras con Orientación al Manejo de Recursos Marinos Costeros. Universidad de Panamá. Pp 98.

Goss (1851). *Keratella cochlearis* World Rotifera database (FADA). Accessed through: World Register of Marine Species at: <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=134990> on 2019-01-02.

Guerra-Dávila T., Marques Dos Santos M. J. Y López Reynoso J. M. 2009. Cuadernos de problemas resueltos y propuestos de probabilidad y estadística. Universidad Nacional Autónoma de México. FES Zaragoza 2 edición. México.

Guiry, M. D. and Guiry, G. M. 2011. *Coscinodiscus granii* Gough. http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=37690. Accessed 8 Oct 2011.

Gupta GVM, SD Thottathil, KK Balachandran, NV Madhu, P Madeswaran, S Nair. 2009. CO₂ supersaturation and net heterotrophy in a tropical estuary (Cochin, India): influence of anthropogenic effect. Ecosystems. 12(7): 1145–1157 pp.

Hasle, G.R. & Heimdal, B.R. (1970). Some species of the centric diatom genus *Thalassiosira* studied in the light and electron microscopes. In: Gerloff, J. & Cholnoky, J.B. Diatomaceae II. *Beihefte zur Nova Hedwigia* 31: 559-589.



- Hernández, A. J. S & J. L. C. García. 2007. Diferencias limnológicas entre lagos y presas. In: Arredondo, F. J. L. Díaz y J. T. P. Ponce. Limnología de presas mexicanas. Aspectos teóricos y prácticos. AGT Editor, S. A. y Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México. 63-74 pp.
- Hernández-Téllez J y J Salgado-Rivero. 1996. Masas de agua en la costa de la Ciudad de Veracruz, Ver. (MACCV), enero 1995 a febrero 1996. Secretaría de Marina. D.G.O.M. México. 39 pp.
- Hernández-Trujillo, S., R. Palomares-García, G. Esqueda-Escárcega & R. Pacheco-Chávez. 2004. Riqueza específica de copépodos en Bahía Magdalena, Baja California Sur, México. Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Zoología. 75(2): 253-270.
- INEGI, 2014. Sistemas de Información Geográfica. 2014, de Instituto Nacional de Estadística y Geografía, México. Pp 3-4. Disponible en:
<http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/internet/sistemainformaciongeografica.pdf>
- Jiménez-Hernández MA, Granados-Barba A. y L Ortiz-Lozano. 2007. Análisis de la información científica en el sistema arrecifal veracruzano. Pp 1-16. In: A Granados-Barba, LG Abarca-Arenas y JM Vargas-Hernández, (Eds). Investigaciones científicas en el sistema arrecifal veracruzano. Universidad Autónoma de Campeche. México.
- Karajeva, N.I. [Karaeva, Karayeva] (1978). New genus of the family Naviculaceae West. *Botanicheskii Zhurnal (St. Petersburg)* 63(11): 1593-1596.
- Krutak P R. 1997. Petrography and provenance of siliclastic sediments, Veracruz-Antón Lizardo Reefs, México. In: Paleoceanography and paleoclimatology in the northwest Pacific region. San-Joon, J. y Y. hi-ll. (eds.). Special Issue 3, Ocean Resources, 19: 231-243 from:
https://www.researchgate.net/publication/291830416_aquilera_et_al_2015 [accessed Oct 22 2018].
- Korotenko KA, PO Zavialov, K Ruey-Chy, D Chung-Feng. 2012. Model for predicting the transport and dispersal of contaminants incoming with submarine groundwater: case study for the southwestern Taiwan coastal zone. *Open Journal of Marine Science*. 2(2): 70-83 pp.
- Kofoed & Campbell. (1929). A conspectus of the marine and freshwater ciliata belonging to the suborder Tintinnoinea, with descriptions of new species principally from the Agassiz Expedition to the Eastern Tropical Pacific 1904-1905. , *available online at* <http://aquaparadox.obs-vlfr.fr/html/PFD/Taxonomic%20Monographs/k&c1929.pdf>
- Kützing, F.T. (1844). *Die Kieselschaligen Bacillarien oder Diatomeen*. pp. [i-vii], [1]-152, pls 1-30. Nordhausen: zu finden bei W. Köhne.
- Lara M., Padilla C.,García C. y Espejel J.J. 1992. Coral reef of Veracruz Mexico I. Zonation and community. *Proceedings of the 7th International Coral Reef*



- Symposium. University of Guam Press, UOG Station, Guam, June 22-27, 1992. Pp. 535-544, from:
https://www.researchgate.net/publication/291830416_aguilera_et_al_2015
[accessed Oct 22 2018].
- Linnaeus (1758). FishBase. *Pollachius virens* . Accessed through: World Register of Marine Species at:
<http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=126441> on 2019-01-02.
- Lefebvre, K.A., E.R. Frame & P.S. Kendrick. 2012. Domoic acid and fish behavior: A review. *Harmful Algae* 13: 126-130
- Litchman E y CA Klausmeier. 2008. Trait-based community ecology of phytoplankton. *Annual Reviews of Ecology, Evolution, and Systematics*. 39(1): 615-639. doi: 10.1146/annurev.ecolsys.39.110707.173549.
- Lyngbye, H.C. (1819). *Tentamen hydrophytologiae danicae* continens omnia hydrophyta cryptogama Daniae, Holsatiae, Faeroae, Islandiae, Groenlandiae hucusque cognita, systematice disposita, descripta et iconibus illustrata, adjectis simul speciebus norvegicis. pp.248, 70.
- Lohmann. 1896. World List of Appendicularia. *Fritillaria borealis* . Accessed through: World Register of Marine Species at:
<http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=103375> on 2019-01-02.
- Latreille, 1802. Boyko, C.B; Bruce, N.L.; Hadfield, K.A.; Merrin, K.L.; Ota, Y.; Poore, G.C.B.; Taiti, S.; Schotte, M. & Wilson, G.D.F. (Eds) (2008 onwards). World Marine, Freshwater and Terrestrial Isopod Crustaceans database. *Bopyrus* . Accessed through: World Register of Marine Species at:
<http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=118168> on 2019-01-02
- Mancebo Quintana, S.; Ortega Perez, E.; Valentin Criado, A. C; Martin Fernandez, L. (2008). Libro SIG: Aprendiendo a manejar los SIG en la gestión ambiental. Madrid.
- Márquez-Rojas, B., B. Marín, J.R. Días-Romero & L. Troccoli. 2008. Biomasa, densidad y composición zooplanctónica de la Bahía de Mochima, Venezuela. *Guayana* 72(1):52-67.
- Molinero, J., F. Ibanez, S. Souissi, E. Bosc & P. Nival. 2008. Surface patterns of zooplankton spatial variability detected by high frequency sampling in the NW Mediterranean. Role of density fronts. *Journal of Marine Systems*, 69(3-4), 271-282.



- Monreal-Gómez MA, DA Salas-de-León y H Velasco-Mendoza. 2004. La hidrodinámica del Golfo de México 47-68 pp. In: M Caso, I Pisanty y E Ezcurra (Eds.). Diagnóstico ambiental del Golfo de México Vol. 1. INE-SEMARNAT. México.
- Mora E. (2015). Composición del fitoplancton y relaciones especies-área de cinco sistemas lacustres en los Tuxtlas, Veracruz, México. Xalapa. Universidad Veracruzana. Pp 1-77.
- Moreira M. A., (1996). Los sistemas de información geográfica y su aplicación en la conservación de la biodiversidad. Ambiente y desarrollo, 7: 80-86.
- Müller-Karger FE y JJ Walsh. 1991. On the seasonal phytoplankton concentration and sea surface as determined by satellites. Journal of Geophysical Research. American Geophysical Union, Washington D. C. USA. 96(C7): 645-665.
- Nixon SW. 1995. Coastal marine eutrophication: A definition, social causes, and future concerns. Ophelia. 41(1): 199-219 pp.
- Okolodkov B. Y. Ake-Castillo A. J., Guerrero Quevedo G. M., Pérez-España H. y Salkas Monreal D. (2011). Annual Cycle of the Plankton biomass in the National Park Sistem Arrecifal Veracruzano. Southwetrn Gulf of Mexico. En: Kattel G (ed). Zooplankton and phytopkaktion: types characteristics and ecology. New York: Nova Science Publishers inc.
- Orduño E.; Hernandez I., 2012. Patrones de distribución y abundancia del fitoplancton nocivo en la zona costera de Tuxpan, Veracruz, México. México. Universidad Veracruzana. Pp 1-69.
- Ortiz C. A. K. 2016. Estudio comparativo del fitoplancton presente en la zona litoral de Antón Lizardo y una zona Arrecifal, en Santiaguillo, Veracruz. Tesis de Licenciatura. FES Zaragoza. UNAM. p 1-170
- Ortiz-Lozano L, A Granados-Barba, V Solís-Weiss y M A García-Salgado. 2005. Environmental evaluation and development problems of the Mexican Coastal Zone. Ocean and Coastal Management. 48: 161-176. from: https://www.researchgate.net/publication/291830416_aquitera_et_al_2015 [accessed Oct 22 2018].
- Ortiz-Lozano, L.D., A. Granados-Barba y I. Espejel. 2009. Ecosystemic zonification as a management tool for marine protected areas in the coastal zone: applications for the Sistema Arrecifal Veracruzano National Park, Mexico. Ocean. Coast. Manage. 52: 317- 323.
- Pérez-Hernández, M. A. y R. E. Torres-Orezco. 2000. Evaluación de la riqueza de especies de peces en las lagunas costeras mexicanas: Estudio de un caso en el Golfo de México. Revista de Biología Tropical. 48(2-3).
- Pérez O. V., 2017. Comparación del zooplancton en la zona occidental y oriental de la Isla Santiaguillo en el sistema arrecifal veracruzano. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. Pp 1-62
- Pritchard, A. (1861). *A history of infusoria*, including the Desmidiaceae and Diatomaceae, British and foreign. Fourth edition enlarged and revised by J. T.



- Arlidge, M.B., B.A. Lond.; W. Archer, Esq.; J. Ralfs, M.R.C.S.L. ; W. C. Williamson, Esq., F.R.S., and the author. pp. i-xii, 1- 968, 40 pls. London: Whittaker and Co., Ave Maria Lane.
- Pulliam, H. R. (2000). On the relationship between niche and distribution. *Ecology Letters*, 3(4): 349-361.
- Ramírez D. A. I. 2017 Estudio del fitoplancton en las zonas oriental y occidental de la Isla Santiaguillo, Edo. de Veracruz. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. Pp 1-87.
- Raven J.A., y Geider R.J. 1988. Temperature and algal growth. *New Phytologist*. 110(4): 441-461.
- Ray G.C. y Hayden B. P. 1992. Coastal zones ecotones. In: Hansen Aj y F di-Castri (Eds.). *Landscape Boundaries, consequences for biotic diversity and ecological flows*. Springer-Verlag. N. York. Pp 403-420.
- Reguera, B., J. Blanco, M. Fernández y T. Wyatt (Eds.). 1998. *Harmful algae*. Xunta de Galicia and Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Vigo, España. 635 p.
- Reynolds C.S. 2006. *The ecology of phytoplankton*. Cambridge University Press, New York. Pp 535.
- Rodríguez-Alonso, R.; Hernández Becerril, D. & Gárate Lizárraga, I. (2008). *Catálogo de microalgas de las lagunas costeras de Sinaloa*. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Instituto de Ciencias del Mar y Limnología (ICMyL), El Colegio de Sinaloa; Comité Estatal de Sanidad Acuícola de Sinaloa, A. C. (CESASIN); Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT); Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).
- Rodríguez-Alonso R., Páez-Osuna F., Garate-Lizárraga I. 2004. El fitoplankton en la camaronicultura y larvicultura. Instituto de Ciencias del Mar y limnología, UNAM. Mexico. Pp. 112.
- Round, F.E., Crawford, R.M. & Mann, D.G. (1990). *The diatoms Biology and morphology of the genera*. pp. [i-ix], 1-747.
- Ruíz-Pineda C., Suárez-Morales E., y Gasca R. (2016). Copépodos planctónicos de la Bahía de Chetumal, Caribe Mexicano: variaciones estacionales durante un ciclo anual. *México: Revista de Biología Marina y Oceanografía*. 51 (2): 301-316.
- Salas-Pérez J.J. y Granados-Barba A. 2008. Oceanographic characterization of the Veracruz reefs system. *Atmósfera*. 21(3): 281-301.
- Salas-Pérez JJ y V Arenas-Fuentes. 2011. Winter water mass of the Veracruz Reef System. *Atmósfera*. 24(2): 221-231 pp.



- Salas-Pérez JJ, D Salas-Monreal, MA Monreal-Gómez, ML Riverón-Enzástiga y C Llasat. 2012. Seasonal absolute acoustic intensity, atmospheric forcing and currents in a tropical coral reef system. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 100(1). 102-112 pp. doi: 10.1016/j.ecss.2012.01.002
- Salas-Monreal D, MA Monreal-Gómez, ML Riverón-Enzástiga. 2009. Current rectification in a tropical coral reef system. *Coral Reefs*, Springer. 28(4) 871-870. doi: 10.1007/s00338-009-0521-9.
- Sánchez-Rueda M. P. Y Ponce-Márquez M. E. 1996. Métodos hidrobiológicos LL. Estudio y colecta de organismos marinos, estuarino-lagunar y de agua dulce. Universidad Autónoma Metropolitana. 208 p.
- Schütt, F. (1896). Peridinales (Peridineae, Dinoflagellata, Cilioflagellata, arthrodele Flagellaten). Bacillariales (Diatomeae). In: *Die natürlichen Pflanzenfamilien...I. Teil. Abt. 1b.* (Engler, A. & Prantl, K. Eds), pp. 1-153.
- SEMARNAT, 2010. Mapa Climático. Centro Estatal de Estudios del Clima, Sub Coordinación en Investigación sobre Cambio Climático, Secretaría de Protección Civil, Gobierno del Estado de Veracruz.
- SEMARNAT, 2017. Programa de manejo Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. 1 edición. Ciudad de Mexico. Pp. 21-25.
- Smith, W. (1853). *A synopsis of the British Diatomaceae; with remarks on their structure, function and distribution; and instructions for collecting and preserving specimens.* The plates by Tuffen West. In two volumes. Pp.1-89.
- Smith, W. (1852). Notes on the Diatomaceae with descriptions of British species included in the genus *Pleurosigma*. *Annals and Magazine of Natural History, series 2* 9: 1-12.
- Smith, W. (1853). *A synopsis of the British Diatomaceae; with remarks on their structure, function and distribution; and instructions for collecting and preserving specimens.* The plates by Tuffen West. In two volumes. Pp.1-89.
- Spalding MD, HE Fox, GR Allen, NDavison, ZA Ferdaña, M Finlayson, BS Halpern, MA Jorge, A Lombana, SA Lourie, KD Martin, E McManus, J Molnar, CA Recchia and J Robertson. 2007. Marine ecoregions of the world: A bioregionalisation of coastal and shelf areas. *BioScience*. 57(7): 573-583.
- Suárez-Morales E. 1994. Copépodos pláncnicos de la Bahía de Chetumal, México (1990-1991). *Caribbean Journal of Science* 30: 181-188.
- Suárez-Morales, E. 1994. Comunidades zooplanctónicas de las lagunas costeras. In: De la Lanza-Espino, G. y C. Cáceres-Martínez (Eds.) *Lagunas costeras y el Litoral Mexicano*. Universidad Autónoma de Baja California Sur. 247-268.



- Sunyé PS y J Servain. 1998. Effects of seasonal variation in meteorology and oceanography on the Brazilian sardine fishery. *Fisheries Oceanography*. 7(2): 89-100.
- Tamayo JL. 1999. Geografía Moderna de México. 11ª Ed. Trillas. Cd. de México. 512 pp.
- Taylor, J.S., Braasch, I., Frickey, T., Meyer, A., and van de Peer, Yves (2003) Genome duplication, a trait shared by 22,000 species of ray-finned fish. *Genome research*. 13(3):382-390
- Treydte K.S., Schleser G.H., Helle G., Frank D. C., Winiger M., Haug G. H., Esper J., 2006. *El siglo XX fue el periodo más húmedo en el norte de Pakistán durante el último milenio*. *Naturaleza* 440: 1179-1182.
- Trujillo AP y HV Thurman. 2008. *Essentials of Oceanography*. Ninth Edition. Pearson, Prentice Hall. USA. 534 pp. ISBN-10: 0-13-240122-3
- Tunnell J W. 1992. Natural versus human impacts to southern Gulf of Mexico coral reef resources. *Proceedings of the 7th International Coral Reef Symposium*. University of Guam Press, UOG Station, Guam, June 22-27, 1992. Pp. 535-544. from:
https://www.researchgate.net/publication/291830416_aguilera_et_al_2015
[accessed Oct 22 2018].
- Utermöhl, H., 1958, Zur Vervollkommnung ver quantitativen Phytoplankton-Methodic. *Mitt. Int. Verein. Limnol.*, 9: 1-38.
- Vargas-Hernández J.M.,. Hernández Gutiérrez A. y Carrera-Parra I.f. (1993). Sistema Arrecifal Veracruzano. P 559-575. In. S.I. Salazar Vallejo y NE.E González. (Eds.). *Biodiversidad Marina y Costera de México*. CONABIO y CIQRO, México D.F. p865.
- Vásquez-Yeomans L, I Castellanos, E Suárez-Morales & R Gasca. 2012. Variación espacio-temporal de la biomasa de zooplancton en un sistema estuarino del Caribe Occidental durante dos ciclos anuales. *Revista de Biología Marina Oceanografía* 47: 213-225.
- Wall, D. & Dale, B. (1971). A reconsideration of living and fossil *Pyrophacus* Stein, 1883 (Dinophyceae). *Journal of Phycology* 7(3): 221-235.
- Walther G.R, Post E, Convey P., Menzel A, Parmesano C., Bibi T.J.C., Fromentin J.M, Hoegh-Guldberg O, Bairlein F., 2002. *Las respuestas ecológicas al cambio climático reciente*. *Naturaleza* 416: 389-395.
- Wasmund N. H.U., Lass y Nausch G. 2010. Distribution of nutrients, chlorophyll and phytoplankton primary production in relation to hydrographic structures bordering the Benguela Angolan frontal region. *African Journal of Marine Science*. 27(1): 177-190 pp.
- Witman J. & K Roy.(2009). *Marine macroecology*. E.U.A.: The University of Chicago Press.



Wollast R. 1998. Evaluation and comparison of the global carbon cycle in the coastal zone and in the open ocean. In: Brink KH y AR Robinson, (Eds.). *The Sea*. Willey and Sons. New York. Pp 213-252.

Zunino, M. & Palestrini, C. 1991. El concepto de especie y la biogeografía. *Anales de Biología*, (Biología animal), Cd. México. 17 (6): 85-88.

Zunino, M. & Zullini, A. 2003. *Biogeografía: la dimensión espacial de la evolución*. México: Fondo de Cultura Económica. Cd. México. Pp 179.



Anexo I

Tabla 8. Temperatura registrada en cada uno de los puntos muestreados a lo largo de las 3 épocas en la zona sur del PNSAV.

Época de muestreo	Secas		Lluvias		Nortes	
Ubicación	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 1	Muestreo 2
Arrecife 1	26.3°C	28.6 °C	30.9 °C	29.9 °C	25 °C	27.9 °C
Arrecife 2	26 °C	28.2 °C	29.2 °C	29.7 °C	25 °C	27.9 °C
Arrecife 3	26.8 °C	30.2 °C	30 °C	30 °C	28.7 °C	28.2 °C
I. Oceánica 1	28.1 °C	30.3 °C	31 °C	29.7 °C	35.1 °C	29.2 °C
I. Oceánica 2	27.1 °C	28.4 °C	32 °C	28.9 °C	29 °C	28.2 °C
I. Oceánica 3	27.7 °C	27.4 °C	32.9 °C	30 °C	30 °C	28.2 °C
Playa	26.3 °C	27.3 °C	31.5 °C	36.6 °C	29.8 °C	28.2 °C

Tabla 9. Salinidad registrada en cada uno de los puntos muestreados durante las 3 épocas en la zona sur de PNSAV.

Época de muestreo	Secas		Lluvias		Nortes	
Ubicación	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 1	Muestreo 2
Arrecife 1	38.1 ups	38.25 ups	36.5 ups	40.6 ups	37.45 ups	39.4 ups
Arrecife 2	39.1 ups	39 ups	37.4 ups	40.85 ups	35 ups	39.9 ups
Arrecife 3	36.75 ups	40.35 ups	38.15 ups	40.4 ups	39.25 ups	34.2 ups
I. Oceánica 1	34.2 ups	40.45 ups	33.45 ups	38.8 ups	44.65 ups	34.15 ups
I. Oceánica 2	34.45 ups	38.9 ups	37.75 ups	38 ups	47.2 ups	33.95 ups
I. Oceánica 3	37.8 ups	37.4 ups	41.5 ups	39.6 ups	30.8 ups	32.55 ups
Playa	40.6 ups	37.65 ups	38.7 ups	38.05 ups	25.25 ups	31.65 ups



Tabla 10. Valores de la biomasa obtenidos en mg/m^3 durante las tres épocas de muestreo en la zona sur del PNSAV.

Época de muestreo	Secas		Lluvias		Nortes	
Ubicación	Febrero	Marzo	Mayo	Junio	Septiembre	Octubre
Arrecife 1	2.42	2.68	3.90	7.36	2.92	2.02
Arrecife 2	2.66	2.64	3.55	4.77	2.52	3.60
Arrecife 3	1.83	4.39	3.03	5.29	1.31	4.68
I. Oceánica 1	2.57	0.95	4.80	4.82	1.72	3.76
I. Oceánica 2	3.22	0.27	4.94	4.21	3.69	12.86
I. Oceánica 3	1.45	4.05	5.62	6.40	3.01	1.27
Playa	2.31	6.14	6.84	7.31	3.88	2.00

Tabla 11. Variación de la densidad de los grupos del zooplancton presentes en las dos épocas registradas en la zona sur del PNSAV.

Época de muestreo	Secas		Lluvias		Nortes	
	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 1	Muestreo 2	Muestreo 1	Muestreo 2
Protozoarios	117	284	39	54	45	68
Moluscos	881	59	416	455	510	602
H. de pez	78	29	98	29	62	51
Copépodos	1257	113	709	235	901	302
L. de crustáceo	20	709	171	10	203	50
Ots. crustáceos	396	788	68	5	10	50
Ots. grupos	132	34	181	29	153	42
Total	2911	2016	1683	817	1884	1165