



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA**

**“Análisis de correlación entre la densidad del
zooplancton y parámetros hidrológicos en tres
áreas de la zona sur del Sistema Arrecifal
Veracruzano”**

TESIS

**Que para obtener el título de
BIÓLOGO**

PRESENTA

Vania Anaid Mendoza Solis

DIRECTORA

Biol. Angélica Elaine González Schaff

Ciudad de México, 2019





Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

“...Miró el mar y supo cuán solo se hallaba para entonces. Pero podía ver los prismas en la honda agua oscura, el sedal estirándose allá delante y la extraña ondulación de la serenidad. Las nubes se formaban ahora por los vientos alisios y él miró adelante y vio una parvada de patos silvestres, dibujados contra el cielo, sobre el agua, desvaneciéndose después, redibujándose de nuevo, y el viejo supo que ningún hombre llega a estar verdaderamente solo en el mar.”

(Hemingway, 1952)

AGRADECIMIENTOS

A mis papás, por creer en mí, por darme fuerza para levantarme en uno de los momentos más difíciles de mi vida, por darme su apoyo incondicional en cada etapa, por enseñarme que la pasión y amor por su profesión es la clave del éxito. A mi papá por enseñarme a pensar, analizar y ser una mujer crítica, por demostrarme que los sueños se cumplen, porque la honestidad y humildad es algo que te caracteriza y te hace un ser único, por ser mi mejor amigo en toda la vida, por darme paz y tranquilidad en mis momentos de estrés, por ser un gran ejemplo de profesionalista pero más allá de ello, por enseñarme cómo ser un ser humano. A mi mamá por darme su amor incondicional, por enseñarme a defender en lo que creía, por impulsarme a crecer, por apoyar todas las decisiones que he tomado, por alentarme a ser mejor cada día, por demostrarme que con respeto, carácter y amor, todo se puede, por abrazarme y darme paz, por ser ejemplo de una gran mujer, por cuidarnos, consentirnos, protegernos, defendernos y dejarnos crecer a lo largo de nuestra vida.

A mis hermanas que sin duda son un gran motor en mi vida, gracias por crecer conmigo, por estar siempre, por hacerme reír, por hacerme llorar, por creer en mis sueños, por hacerme una mejor persona, por darme todo de ustedes, por vivir la vida juntas. A Metz que su alegría, protección, amor, y calidez como persona la hacen única; a Yet que su sarcasmo, diversión, despreocupación y altanería, le da un sabor diferente y más relajado a mi persona; a Aziuht que su vigor, alegría, carisma y nobleza, sólo le permiten irradiar esa luz que la caracteriza.

A mis tíos, primos, y abuelos, gracias por los recuerdos, el apoyo incondicional, estar en todos los momentos importantes, por sus consejos, sus asesorías, sus críticas, y anécdotas, por todos los momentos compartidos y por todas las experiencias.

A Alan por ser mi mejor amigo, mi compañero de aventuras, por apoyarme en todo momento, por impulsarme a crecer, por retarme a ser una mejor versión de mí, por escuchar todos mis debrayes, por aterrizar mis ideas cuando eran demasiado

dispersas, por ser un desafío mental, por enseñarme a ser curiosa, por obligarme a salir de mi zona de confort, por los viajes, los libros, las experiencias y los recuerdos, *“Carpe Diem”*.

A André por estar en mis momentos de mayor estrés, por su nobleza y honestidad, por ser un gran amigo y una buena compañía en el salón de clases y prácticas de campo, por nuestra amistad. A mis amigas, que quizás es poco el tiempo que llevo de conocerlas pero el tiempo que hemos compartido en laboratorio, prácticas de campo, fiestas y reuniones, las hacen muy especiales en mi vida. A Vivi por su alegría y carisma, por siempre tener esa sonrisa y ocurrencias que me han hecho reír hasta llorar; a Danny por su seriedad al inventar disparates, por siempre atraer un colibrí a mi vida; a Annie por su calidez, por su honestidad, por su fortaleza, por ser un ejemplo a seguir; a Said por su ingeniosidad, por sus tonterías, por su alegría y timidez. Su amistad es de los regalos más bonitos que me ha dado la Facultad.

A la profesora Elvia, que desde el primer día que tomé clases con ella me impuso y motivó a ser una gran profesionalista, por enseñarme que la biología no es una ciencia cuadrada, por su pasión al impartir clases, por permitirme vivir una de las mejores experiencias como estudiante, por guiarnos e inspirarnos a dar lo mejor de nosotros.

A mi directora de tesis, la profesora Schaff, que por azares de la vida coincidimos y logré entrar en su laboratorio, porque desde el primer día su calidez como ser humano me hizo sentir parte del proyecto, por todo el conocimiento que me transmitió, por el amor que le tiene al mundo microscópico, por su pasión al dar clases, por su serenidad, apoyo y enseñanzas, por las aprendizajes dentro y fuera del laboratorio, por creer en mí y por dirigir mi tesis. Por ser una gran profesora, y sin duda una gran persona.

A todos los profesores, y personas que conocí en algún momento de la carrera, porque sé que parte de lo que son, forma parte de mi esencia, y contribuyeron no sólo a mi formación como bióloga, sino también como persona.

A mis sinodales el profesor Armando, el profesor Guzmán, la profesora Selene y la profesora Isaura, gracias por dedicar tiempo a leer mi tesis, por sus consejos y contribuciones que permitieron enriquecer mi investigación.

A la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza por formarme profesionalmente, por todas las experiencias que viví en sus instalaciones, por hacerme más fuerte, por hacerme más humana, por sus enseñanzas, por las prácticas de campo, por sus aulas, sus laboratorios, su personal, por todo lo que la conforma y la hace nuestra, mía, mi Facultad.

A la UNAM, por ser de las mejores universidades a nivel mundial, por abrirme las puertas y darme una oportunidad desde el bachillerato, por contribuir a mi desarrollo como persona, por sus clases, sus actividades, sus bibliotecas, su patrimonio. Por hacerme parte de la comunidad estudiantil, por hacerme vibrar con un goya, por sentir sus colores y el orgullo de pertenecer a la Universidad.

¡México, Pumas, Universidad!

Índice

1. Resumen	7
2. Introducción	8
3. Antecedentes	13
4. Área de estudio	16
5. Justificación	19
6. Objetivo General	19
7. Objetivos Particulares	19
8. Metodología	20
9. Descripción y análisis de resultados	25
9.1. Listado de especies	25
9.2. Gráficos de densidad zooplanctónica	32
9.3. Parámetros hidrológicos	43
9.4. Análisis de Correlación	63
10. Conclusiones	70
11. Referencias	71
12. Referencias web	74

RESUMEN

México está compuesto por un sinnúmero de especies florísticas y faunísticas cuya gran diversidad se alberga en sus ecosistemas. Éstos son un gran tesoro que no sólo lo posicionan como uno de los territorios con mayor diversidad biológica, sino que lo distinguen y lo caracterizan como un país único ante el resto del mundo. Sus macro y microcomponentes pertenecientes a todas las especies de todos los reinos le otorgan complejidad biológica, sin embargo la mayoría de las investigaciones y específicamente en los ecosistemas acuáticos, se enfocan a las grandes formas de vida que lo habitan, dejando de lado a los microorganismos que sostienen a toda la comunidad, como lo es, el plancton. Por su complejidad, el estudio del zooplancton puede abordarse desde distintos ángulos, y fundamentalmente a partir de su composición, abundancia y distribución; estos aspectos descriptivos esenciales para el entendimiento de la comunidad han formado la mayor parte de las contribuciones del zooplancton en México (Suárez y Ordóñez, 2013). La presente investigación tuvo como finalidad realizar un análisis de correlación entre parámetros hidrológicos y la densidad del zooplancton en tres zonas del Sistema Arrecifal Veracruzano (playa, mar y arrecife) con la finalidad de identificar cuáles tienen mayor efecto en la presencia de estos organismos. Desde mayo 2017 hasta abril de 2018, se realizaron muestreos bimestrales, donde se registraron los parámetros hidrológicos y ambientales, así como arrastres superficiales con una red cónica de 150 μm de apertura; se determinaron las especies zooplanctónicas recolectadas y se obtuvo su densidad poblacional. Con los resultados obtenidos se llevó a cabo la realización de gráficos en Excel, pruebas estadísticas (normalidad, prueba de Levene, ANDEVA o Kruskal Wallis y Análisis de Correlación) con el programa Statgraphics Centurion XV.II (versión prueba). Durante el ciclo anual, en el Sistema Arrecifal Veracruzano se reportaron temperaturas ambientales entre los 19°C y los 31°C; la temperatura del agua fue de 20° a 31°; el pH osciló entre el 7.2 y el 8.5; el rango del oxígeno disuelto fue entre 3 y 18 mg/L. La salinidad se registró entre 25 y 45 UPS. Se encontraron en total 36 distintos grupos de zooplancton, los copépodos fueron el grupo más abundante con un total de $1200 \frac{\text{org}}{\text{m}^3}$, seguido de los tintínidos y bilvavos. Los grupos restantes tuvieron una densidad menor a $50 \frac{\text{org}}{\text{m}^3}$. El Análisis de Correlación Simple demostró que la temperatura de agua y la temperatura ambiente se encuentran estrechamente relacionadas, mientras que el resto de las variables no mostraron asociaciones significativas. El Análisis de Correlación Canónica demostró que no existe una relación significativa entre el total de organismos, grupos más abundantes, y los parámetros hidrológicos.

INTRODUCCIÓN

México es un país privilegiado, ya que dentro de todos los ecosistemas que posee, existen un sinnúmero de vidas que lo enriquecen biológicamente y lo hacen único ante el mundo entero. Se han realizado diversas investigaciones que se dedican al estudio de los grandes componentes florísticos y faunísticos tanto en tierra como en agua; sin embargo con respecto a la vida marina se ha dejado de lado al eslabón principal de las cadenas tróficas: el plancton.

El término "plancton" fue utilizado por primera vez por Víctor Hensen en el año de 1887, y significa "errante" o "vagabundo". Por lo tanto los seres que forman el plancton son aquellos que se caracterizan por su independencia biológica con respecto al fondo y que están siendo arrastrados por las aguas o nadando débilmente (Lemus *et al.*, 1997).

Se define como plancton al conjunto de organismos, tanto autótrofos como heterótrofos, adultos y larvarios, que viven en las aguas dulces o marinas, flotando o dotados de escasos elementos de locomoción que generalmente presentan tamaño microscópico y para medirlos se utiliza la micra (Lemus *et al.*, 1997).

Bajo esta definición operativa, la composición de organismos de esta comunidad resulta ser ampliamente diversa, aunque las bacterias y los virus se consideran parte de este grupo, a grandes rasgos se distinguen principalmente dos componentes: fitoplancton y zooplancton (SOMPAC, 2018).

- **Fitoplancton.** Las microalgas son las productoras primarias del plancton, con diferentes formas de organización celular: células solitarias, en cadena, formando filamentos, en agregados celulares formando nieve marina. Los principales grupos de microalgas que conforman el fitoplancton son las diatomeas, los dinoflagelados, las clorofitas, las cianofitas (o cianobacterias), los euglenoideos, las rafdofitas, los

cocolitofóridos, los silicoflagelados entre otros. Dependiendo del ambiente dulceacuícola o marino, tendrán representantes o no de estos grupos y variará su abundancia y diversidad. Puesto que es el componente fotosintético, constituyen el primer eslabón de la trama alimenticia en los sistemas acuáticos junto con los productores primarios que habitan los fondos de los cuerpos de agua (SOMPAC, 2018).

- **Zooplancton.** Constituido por todos los consumidores de productores secundarios y terciarios. Este grupo se conforma 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 (meroplancton). Algunos de los grupos de organismos más abundantes y característicos del zooplancton son los radiolarios, foraminíferos, tintínidos, cnidarios, poliquetos, cladóceros, copépodos, eufáusidos, decápodos, quetognatos, apendicularias y las larvas de los peces (ictioplancton). Al igual que el fitoplancton, dependiendo del ambiente en que se encuentren, ya sea dulceacuícola o marino, cada uno de los grupos o especies del zooplancton variará su diversidad y abundancia (SOMPAC, 2018).

El plancton cumple con un papel fundamental al conformar la base de la pirámide alimenticia del ecosistema marino: el fitoplancton realiza la producción primaria, a través de la fotosíntesis, utilizando la energía radiante del sol, el dióxido de carbono y nutrientes, que se encuentran disueltos en el agua de mar; mientras que el zooplancton herbívoro, se encarga de canalizar y transferir el carbono fijado por el fitoplancton hacia los niveles tróficos superiores (Escribano y Castro,2010).

La productividad biológica de un ecosistema marino, depende inicialmente de la capacidad del plancton marino para captar, retener y transferir el carbono derivado del dióxido de carbono atmosférico. Asimismo posee un papel fundamental en la regulación de los ciclos biogeoquímicos del planeta: el fitoplancton fija, desde la atmósfera grandes cantidades del dióxido de carbono (CO_2) y algunas especies también utilizan el nitrógeno en su forma gaseosa (N_2). El carbono proveniente de él, es traspasado por las cadenas tróficas pelágicas hacia distintos organismos. Al excretar, defecar y morir en la columna de agua provocan una sedimentación de la materia orgánica hacia la profundidad del océano. Este carbono puede también ser utilizado por organismos del bentos o bien transportado a grandes profundidades del mar (Escribano y Castro, 2010).

La presente investigación se enfoca en el zooplancton, cuya importancia ecológica en el océano está relacionada con numerosos procesos esenciales, como el reciclado de nutrientes, la canalización de energía desde fitoplancton hacia niveles tróficos superiores o la transferencia de carbono orgánico hacia el fondo oceánico. Es por ello que resulta fundamental, en cualquier estudio oceanográfico un buen conocimiento cuantitativo del zooplancton (Pérez y Romero, 2001).

La presencia de estos organismos en los cuerpos acuáticos dependerá en gran medida de su ubicación en la columna de agua, así como de las estaciones del año, ya que éstas determinarán la cantidad de luz, la disponibilidad de nutrimentos y las condiciones hidrológicas a las cuales se tendrá que enfrentar el plancton.

Se define como “parámetros hidrológicos”, como aquellos factores que otorgan las características a los sistemas acuáticos, así mismo, intervienen tanto en el movimiento del agua como en los cambios que sufre en sus características físicas, químicas y biológicas al desplazarse por diferentes medios. Los parámetros hidrológicos con una mayor relevancia en los sistemas oceánicos, son la salinidad, el oxígeno disuelto, la temperatura y el pH. De

acuerdo con investigaciones anteriores, éstos también ejercen una mayor influencia en la densidad zooplanctónica (Escribano y Castro,2010; Breña y Jacobo, 2006).

Respecto a los análisis estadísticos que permiten identificar las relaciones entre dos o más variables -y específicamente en esta investigación qué parámetros hidrológicos están más relacionados con la densidad del zooplancton-, se encuentran los de regresión, correlación y el análisis de correspondencia canónica.

- **Regresión.** Involucra el estudio de la relación entre dos variables cuantitativas. En general interesa: a) investigar si existe una asociación entre las dos variables probando la hipótesis de relación estadística; b) estudiar la fuerza de la asociación, a través de una medida de asociación denominada coeficiente de determinación, y c) estudiar la forma de la relación, que con base en los datos se propone un modelo para la relación y a partir de ésta se predecirá el valor de una variable a partir de la otra (Orellana, 2008).
- **Correlación simple estadística.** Se refiere al grado de relación que existe entre dos o más variables, de tal manera que cuando cambia una, cambia la otra, así mismo permite identificar el grado de asociación entre ellas (Marques, 2001). Pese a que este término puede utilizarse en distintos sentidos, en esta ocasión se considerará como 1) correlación simple, que se refiere a la relación entre miembros de una serie de muestras ordenadas en el tiempo y el espacio; y 2) Coeficiente de correlación (r), que se refiere a la medida de asociación entre dos variables (Lanza *et al.*, 1999).
- **Análisis de correlación canónica.** Detecta patrones de variación de los datos y que estén explicados de mejor modo por las variables ambientales registradas, de tal manera que no sólo representan patrones de variación de la composición de especies, sino que también representan las relaciones más importantes entre

las especies y cada una de las variables ambientales registradas (Rocha *et al.*, 2009). Su objetivo es 1) Determinar si dos conjuntos de variables (medidas realizadas sobre los mismos objetivos) son independientes uno de otro ó, inversamente, determinar la magnitud de las relaciones que pueden existir entre los dos conjuntos. 2) Obtener un conjunto de ponderaciones para cada conjunto de variables criterio y variables predictoras, para que las combinaciones lineales de cada conjunto estén correlacionadas de forma máxima. Las funciones lineales adicionales que maximizan la restante correlación son independientes de los conjuntos anteriores de combinaciones lineales. 3) Explicar la naturaleza de cualquiera de las relaciones existentes entre los conjuntos de variables criterio y variables predictoras, generalmente mide la contribución relativa de cada variable a las funciones canónica (Badii *et al.*, 2007).

Como anteriormente se mencionó, la importancia biológica y ecológica del zooplancton en los ecosistemas oceánicos, es invaluable. Pese a que el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV), es una zona con un profundo valor educativo y de investigación científica, los estudios que se han realizado en torno a él son de índole descriptiva y en algunos casos, oceanográficos, pero también se encuentran enfocados a la macrofauna, y con respecto al plancton, se basan en su composición y taxonomía. Es por ello que el objetivo de esta investigación es contribuir con un estudio ecológico que relacione factores bióticos (densidad zooplanctónica) y abióticos (parámetros hidrológicos) para determinar cuál de éstos tiene una mayor influencia en ellos.

ANTECEDENTES

Se han realizado algunas investigaciones que relacionan factores abióticos con la presencia del zooplancton en diferentes partes del país; uno de ellos fue realizado en el 2006 por Álvarez y colaboradores, quienes realizaron un estudio titulado “Zooplancton de los sistemas estuarinos de Chantuto y Panzacola, Chiapas, en épocas de secas y lluvias”, obteniendo como resultado que las diferencias entre los parámetros obtenidos (pH, salinidad, temperatura, y oxígeno disuelto) de acuerdo a las épocas del año, se encontraban dentro de los rangos. Respecto a los resultados de la diversidad de organismos, se encontraron 20 especies zooplanctónicas, siendo los copépodos los más abundantes. En épocas de seca predominaron las especies *Canthocalanus pauper* y *Pseudodiaptomus culebrensis* y en épocas de lluvias dominó *Oithona nana*, todas pertenecientes al mismo grupo.

El mismo autor, realizó al año siguiente el “Estudio anual del zooplancton: composición, abundancia, biomasa e hidrología del norte de Quintana Roo, Mar Caribe de México”, en el cual se identificaron 41 grupos de zooplancton donde los copépodos fueron los más abundantes, seguidos de las larvas de equinodermos y decápodos.

Algunos estudios han tenido el mismo foco de interés, y de igual forma se han adentrado en el conocimiento del PNSAV. En 2011 Okolodkov y colaboradores, publicaron el artículo “Ciclo anual de la biomasa de plancton en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, suroeste del Golfo de México”, en el cual se demostró que la riqueza de zooplancton era más alta en abril durante el 2007, obteniéndose 36 taxa diferentes. En cuanto a los resultados obtenidos de la biomasa, se identificó un pico de producción en septiembre y octubre, es decir, al final de la época de lluvias; a pesar de ello, los valores anuales de la biomasa demostraron una distribución homogénea.

El trabajo “Visión del plancton en el Arrecife Santiaguillo, Veracruz” realizada por Góngora en 2014, estudia tanto al fitoplancton como al zooplancton. Con respecto a éste último, se reporta una mayor densidad de organismos en marzo, siendo los grupos más representativos los foraminíferos, tintínidos, poliquetos, moluscos, copépodos, cladóceros, equinodermos y quetognatos. Finalmente, no se presentaron diferencias en las muestras de ambas profundidades ni en las cuatro estaciones.

En 2016, Contreras caracterizó la variación espacio-temporal de la estructura comunitaria del zooplancton en la desembocadura del río Jamapa, Veracruz, durante nortes y lluvias, y su relación con la hidrografía. Los resultados mostraron que en nortes se registraron las menores temperaturas (23-24°C), el Índice de turbidez (IT) fue homogéneo, la Concentración de Clorofila (Cl-a) tuvo un incremento gradual hacia las estaciones más alejadas con bajos valores de Biomasa zooplanctónica en peso húmedo (BZ). La temporada de lluvias fue más cálida (26.5-29.4°C), la Cl-a siguió un patrón acorde a la trayectoria de la pluma del río, y mayor BZ. La abundancia zooplanctónica estuvo correlacionada inversamente con la Temperatura superficial del mar y el IT, y directamente con la Cl-a. Se identificaron 11 familias de copépodos y 2 familias de cladóceros agrupados en 3 géneros, con dominancia en temporadas de nortes y lluvias respectivamente. La comunidad zooplanctónica en ambas temporadas, se caracterizó por una baja diversidad y alta abundancia, debido a que existen menos grupos adaptados a vivir bajo el estrés fisiológico derivado de los cambios en las condiciones hidrográficas de estos sistemas

Otro estudio realizado en la misma zona, es la que elaboró Gaona en 2016, titulado “Comparación del zooplancton marino entre una zona de playa y una arrecifal en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano”. En esta investigación, no se registraron diferencias significativas entre los parámetros de ambas estaciones de estudio. En total se encontraron 32 diferentes taxa siendo el arrecife el lugar con mayor diversidad; con base

en el índice de Jaccard, las localidades comparten el 26% y 12% de su composición a nivel familia y especie, respectivamente.

La investigación más reciente realizada por Pérez (2017), fue “Comparación del zooplancton en la Zona Occidental y Oriental de la Isla Santiagullo en el Sistema Arrecifal Veracruzano”, demostró que la densidad zooplanctónica más alta se encuentra en la estación arrecifal en la Zona occidental durante el mes de enero. Se encontró un total de 12 taxa, y con base en los análisis estadísticos se demostró que existe una diferencia significativa en cuanto a la densidad de los organismos en los sitios de muestreo, siendo mayor en el arrecife. Respecto a los parámetros hidrológicos, se demostró que la temperatura y la salinidad son los factores que tienen una mayor influencia en la densidad de los organismos.

Respecto a los estudios oceanográficos del PNSAV, Vera (2017) analizó la variación del mar en el Sistema Arrecifal Veracruzano y su relación con los efectos meteorológicos, con el propósito de entender cuáles son los elementos de forzamiento claves que la gobiernan y las escalas de fluctuación a las cuales está sometida. Los resultados mostraron que las variaciones del nivel del mar reflejan una notable variación estacional, con un nivel máximo de otoño a invierno, y un mínimo de primavera a verano. La presión atmosférica es el agente de forzamiento de mayor importancia en la variabilidad de frecuencia baja del nivel del mar. Localmente la componente zonal del viento es más importante para la variabilidad del nivel del mar de marzo a septiembre, mientras que la componente meridional lo es para los meses de octubre a febrero. La temperatura del agua fue el segundo agente de forzamiento más importante en la variación del mar.

ÁREA DE ESTUDIO

El Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) posee una importancia invaluable, debido a que es el área de arrecifes más grande del oeste del Golfo de México. Albergan una gran cantidad de especies, protegen a la ciudad del embate de olas y huracanes y proveen alimento y recreación para la población local, regional y nacional. Sin embargo, a pesar de su importancia ecológica y económica, existe escasa información acerca de la relación entre los parámetros hidrológicos y la densidad del zooplancton.

El PNSAV, se localiza en la porción centro-sur del Golfo de México, frente a las costas del estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, específicamente, en los municipios de Veracruz, Boca del Río y Alvarado. Tiene una superficie de 65 mil 516.47 hectáreas (SEMARNAT, 2017).



Figura 1. Mapa del área de estudio, Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (tomado de Pérez, 2017).

Está conformado por 23 estructuras arrecifales de diferente tamaño, forma y profundidad, dirigidas en sentido noroeste a sureste(Fig.1); dichas formaciones se consideran peculiares debido a que se desarrollan en un ambiente terrígeno como resultado de las descargas de los ríos la Antigua que limita al norte, Papaloapan quien limita al sur y Jamapa el cual divide al parque en dos complejos (Gaona, 2016).En sus aguas se desarrolla una gran diversidad biológica caracterizada por poblaciones de invertebrados, especialmente de corales, así como de peces, cetáceos, tortugas marinas y aves. Son los arrecifes cercanos a la costa más desarrollados del Golfo de México y se caracterizan por presentar una gran resiliencia al aporte de agua dulce y de sedimentos provenientes de los ríos (SEMARNAT, 2017).

Tanto en la superficie descrita en el Decreto de creación del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) como en las áreas que corresponden a las superficies basales de las formaciones coralinas que lo conforman, se ha registrado la existencia de, al menos, 1271 (mil doscientas setenta y una) especies de fauna. De éstas, 37 se encuentran dentro de alguna categoría de riesgo en la Norma Oficial Mexicana Nom-059-Semarnat-2010, tales como cuerno de alce (*Acropora palmata*), cuerno de ciervo (*Acropora cervicornis*), coral blando o abanico de mar (*Plexaura homomalla*), coral blando o abanico de mar (*Plexaurella dichotoma*), tortuga marina caguama (*Caretta caretta*), tortuga marina verde del Atlántico o tortuga blanca (*Chelonia mydas*), tortuga marina escamosa del Atlántico o tortuga lora (*Lepidochelys kempii*), tortuga marina de carey (*Eretmochelys imbricata*), tonina, bufeo, delfín nariz de botella o tursión (*Tursiops truncatus*), delfín de dientes rugosos (*Steno bredanensis*) y, ocasionalmente, el delfín manchado (*Stenella Attenuata*) (CONANP, 2017).

A continuación se presenta un recuadro con las características generales del Parque de acuerdo con CONABIO, 2013:

Tabla 1. Principales características del PNSAV (tomado de CONABIO, 2013).

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SITIO		
Ecorregión Nivel-I CCA: Golfo de México Sur Categoría del sitio: Zona costera		
Aspectos geológicos y fisiográficos: Placa Tectónica: Norteamericana (margen pasivo) Actividad tectónica: Tipo de rocas: sedimentarias Sedimento: arenas, limos, arcillas y lodos (con abundantes conchas rotas) ² Topografía: islas Plataforma continental: amplia Estructuras emergentes: islas, arrecifes de barrera	Aspectos oceanográficos: Presencia de corrientes: Corriente de Lazo predomina la contracorriente mexicana ⁴ . Masas de agua: Superficial tropical Tipo de marea: semidiurna Oleaje: energía media Vientos: norte Temperatura: 16 - 30°C Salinidad: 34.5‰ (media anual) ² (Variable de salobre a hipersalino) ⁴ Profundidad media: 5 - 20m Aportes de agua dulce: ríos y lagunas ⁴ Puede haber sequías estacionales ⁴ . Ocurre marea roja ⁴ Procesos naturales extraordinarios: nortes, frentes fríos y tormentas tropicales ⁴ .	Aspectos fisicoquímicos: Luz y transparencia: 1.5 – 15m (variación estacional) ² Concentración de nutrientes: Nitratos (baja) Nitritos (baja) Fosfatos (baja) Silicatos (baja) Fuentes de energía: viento Productividad primaria: alta Productividad secundaria: alta Eutrofización: baja

Las estaciones de muestreo consideradas en este estudio, poseen características particulares que las diferencian entre sí:

Tabla 2. Características principales de cada estación de muestreo.

	Estación 1 Playa	Estación 2 Mar	Estación 3 Arrecife
Coordenadas	19° 37' 39" 95° 59' 57"	19° 8.7' 37" 95° 48.10' 4"	19° 8' 45" 95° 48.4' 84"
Ubicación	Frente al poblado de Antón Lizardo	Al oriente de la Isla de Santiaguillo	Arrecife Santiaguillo, ubicado al sureste del PNSAV
Características	Tiene una profundidad de 1.20 m. Presenta grandes cantidades de materia orgánica. Oleaje moderado.	Presenta una profundidad de 25 m. Exposición a la acción del viento por tener influencia oceánica. La corriente marina se manifiesta con mayor fuerza, por lo que su oleaje es más elevado.	Cubre un área de 1 km ² . Está conformado por un cayo compuesto por restos de corales. La profundidad oscila entre los 5 y 10 metros. Oleaje mínimo.

JUSTIFICACIÓN

El Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, posee una gran importancia a nivel económico -proveen alimento y recreación para la población local, regional y nacional-, biológico -albergan una gran cantidad de especies- y ecológico -protegen a la ciudad del embate de olas y huracanes- (CONABIO, 2013); así mismo debido a sus características biológicas, esta Área Natural Protegida (ANP) tiene dos reconocimientos internacionales: designación como sitio RAMSAR el 2 de febrero de 2004, y como “Reserva de la Biosfera”, designado el 27 de octubre de 2006 (SEMARNAT, 2017), pese a ello son pocos los estudios que se han realizado en esta área respecto a su diversidad y específicamente, el zooplancton. Con la finalidad de enriquecer las anteriores investigaciones y contribuir a las futuras, se llevó a cabo el presente estudio ecológico, que consideró variables ambientales como factores determinantes en la densidad zooplanctónica.

OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis de correlación entre parámetros hidrológicos y la densidad del zooplancton en tres zonas del Sistema Arrecifal Veracruzano, con la finalidad de identificar cuáles tienen mayor efecto en la presencia de estos organismos.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Analizar los parámetros hidrológicos de cada zona de estudio (playa, mar y arrecife) con la finalidad de identificar las diferencias entre ellas.
- Identificar al mayor nivel taxonómico posible los ejemplares de zooplancton capturados, con el fin de conocer de manera general su composición.

- Elaborar un Análisis de Correlación Simple entre los parámetros hidrológicos y la densidad del zooplancton, cuyo propósito fue identificar el grado de relación entre ellos.
- Realizar un Análisis de Correlación Canónica entre los parámetros hidrológicos y la densidad del zooplancton, que reflejará las relaciones ecológicas entre ellos.

METODOLOGÍA

La metodología se dividió en tres secciones: campo, laboratorio y gabinete.

Campo

Se realizaron muestreos bimestrales en un ciclo anual, desde mayo de 2017 hasta abril de 2018 en tres estaciones: playa de Antón Lizardo (estación I), Arrecife Santiaguillo (II) y la parte oriente del Arrecife que será denominado como mar (III).



Figura 2. Ubicación de las estaciones de muestreo (Tomado de Rodríguez et al., 2015)

Las coordenadas de las zonas de muestreo fueron registrados con un GPS (Marca Garmin etrex), y se midió la visibilidad con un disco de Secchi, así mismo se reportaron las condiciones ambientales tales como viento (con la escala de Beaufort), nubosidad (porcentaje de cobertura) y estimación de la cantidad de la materia orgánica flotante.

Los parámetros hidrológicos se tomaron con una muestra obtenida de la botella Van Dorn a 30 centímetros de profundidad y con los siguientes equipos:

Tabla 3. Equipos y parámetros considerados en la toma de muestras.

PARÁMETRO	EQUIPO
pH	Potenciómetro, Thermo Scientis Orion
Oxígeno disuelto	Oxímetro, Hanna Instrument HI 9242
Salinidad	Salinómetro, TRACER pocket tester, La Motte
Conductividad	Salinómetro, TRACER pocket tester, La Motte
Sólidos disueltos	Salinómetro, TRACER pocket tester, La Motte

Se colectó una muestra de cada estación a través de arrastres superficiales, con una red para zooplancton con abertura de red de 150 μ y un diámetro de 30 centímetros a una velocidad de 1m/s durante un minuto. Posteriormente las muestras fueron colocadas en un frasco de 40 mL (cámaras de sedimentación) y finalmente se fijaron con formol al 4%. Las muestras reposaron durante 24 horas (método de Utermöhl) (Boltovskoy, 1981).

Laboratorio

La observación fue con ayuda de microscopio invertido y determinación de organismos se apoyó a través de claves taxonómicas tales como De Boyd (1996), y de Boltovskoy (1981).

El recuento de organismos fue a través de un microscopio invertido (*Olympus IX70*) en 20 campos elegidos al azar, y posteriormente los datos fueron extrapolados, con la finalidad de obtener la densidad de zooplancton por litro se consideraron los siguientes elementos:

1. Obtener el volumen filtrado durante un arrastre

$$VoL = (\pi)(radio\ de\ la\ red\ cónica)^2((velocidad\ de\ la\ lancha)(duración\ del\ arrastre))$$

2. Calcular el área de sedimentación de los frascos

$$A = (\pi)(radio\ de\ la\ cámara\ de\ sedimentación)^2$$

3. Calcular el número de campos en las cámaras de sedimentación, considerando que en 4mm² hay 1 campo a 10x

4. Extrapolar el número de organismos contados al total de campos

$$\frac{Número\ de\ organismos\ contados}{Abundancia\ de\ organismos} * \frac{20\ campos}{Total\ de\ campos}$$

5. Calcular el número total de organismos en m³

$$\frac{Abundancia\ de\ organismos}{Densidad\ de\ organismos} * \frac{Volumen\ filtrado\ en\ el\ arrastre}{1\ m^3}$$

(Okolodkov, 2011).

Gabinete

Los datos obtenidos se capturaron en hojas de cálculo y las tablas y gráficas fueron elaboradas con hojas de Excel 2013, donde se reportaron las densidades de los organismos por cada estación y mes de colecta, así como de los grupos más representativos en cada uno de ellas.

Se utilizó el programa Statgraphics Centurion XV.II (versión prueba) para la realización de los análisis estadísticos; se realizaron diagramas de cajas múltiples con los factores bióticos y abióticos en cada una de las estaciones de muestreo y los meses del año muestreado; con base en la prueba de **Kolgomorv-Smirnov** fue determinado el tipo de distribución que presenta. Posteriormente, se llevó a cabo la prueba de **Levene o Homocedasticidad** que determinó si los dos grupos de datos tienen la misma variación, y con base en ello, se realizaron las pruebas correspondientes:

➤ **DISTRIBUCIÓN NO NORMAL Y HETEROCEDASTICIDAD**

Si la distribución era no normal, se realizaba la prueba de **Kruskal Wallis** la cual está basada en los rangos, y permitió determinar las diferencias entre las densidades con respecto a los meses. Posteriormente, se llevó a cabo la prueba de **Correlación de Spearman**, que determinó el grado de correspondencia entre los rangos de las variables (Gaona, 2016).

Estas características las presentaron las parejas conformadas por la temperatura del agua, pH, y oxígeno disuelto contra mes; y la salinidad contra las estaciones.

➤ **DISTRIBUCIÓN NORMAL Y HOMOCEDASTICIDAD**

Si la distribución resultaba normal se procedía a realizar el **Análisis de Varianza (ANDEVA)**, con el objetivo de determinar las diferencias entre las densidades con

respecto a los meses; y el **Análisis de Correlación de Pearson** con el cual el grado de asociación entre las variables fue determinado (Gaona, 2016).

En este caso se encontraron el total de organismos vs mes y estación; la temperatura del agua, pH, y Oxígeno Disuelto contra las estaciones; y la salinidad contra los meses.

Para concluir los análisis estadísticos se llevó a cabo el **Análisis de Correlación Canónica** (también elaborado con Statgraphics Centurion XV.II (versión prueba)), cuyo objetivo fue determinar la magnitud de las relaciones que pueden existir entre los dos conjuntos (Badii, 2007); que durante esta investigación permitió reflejar las relaciones ecológicas entre la densidad del zooplancton y los parámetros hidrológicos.

RESULTADOS:

LISTADO DE ESPECIES

Se reconocieron 36 diferentes grupos de zooplancton (gráfico 1), sin embargo sólo 21 de ellos tuvieron mayor aparición en las tres estaciones durante los meses de muestreo. Dentro de los protistas los grupos encontrados fueron radiolarios, foraminíferos y tintínidos, siendo éste último de los más representativos. El reino animal fue representado por cnidarios, de la cual la única clase que se encontró fue la Hydrozoa; los Ctenophoros tuvieron un único representante perteneciente al género *Pleruobrachia*; de igual forma sólo se encontró un individuo de la especie *Euchlanis dilatata*, referente a los rotíferos; los briozoos sólo tuvieron presencia con larvas cifonautas; se encontraron dos especies diferentes de poliquetos del orden Phyllodocida, así como distintas fases larvales; los crustáceos fueron el grupo más representativo con individuos pertenecientes a diversos grupos, tales como larvas de cirrípedos, ostrácodos (*Conchoecia*), cladóceros (*Evadne*), copépodos (*Calanoides*, *Cyclopoides* y *Harpacticoides*), larvas mysis, tanaidáceos, anfípodos, y larvas de decápodos; *Sagitta* fue el único género reportado para los Quetognatos; los grupos de moluscos encontrados fueron bivalvos, gasterópodos y larvas veliger; en cuanto a los equinodermos hubo una gran presencia de larvas ophiopleutus; finalmente los cordados se distribuyeron entre apendicularias (*Oikopleura*), huevos, larvas, postlarvas y juveniles de peces.

REINO PROTISTA



Imagen 1.
Filo Radiozoa
Clase Actinopoda
Orden Spumellaria
Familia Actinommidae
Género *Actinomma*



Imagen 2.
Filo Foraminífera
Clase Globothalamea
Orden Globigerinida
Familia Guembellitriidae
Género *Gallitellia*
Especie *Gallitellia vivans*



Imagen 3.
Filo Foraminífero
Clase Globothalamea
Orden Rotallida
Familia Globigerinidae
Género *Globigerina*
Especie *Globigerina bulloides*



Imagen 4.
Filo Ciliophora
Clase Oligotrichea
Orden Choreotrichidia
Superorden Tíntinida
Familia Xystonellidae
Género *Parafavella*

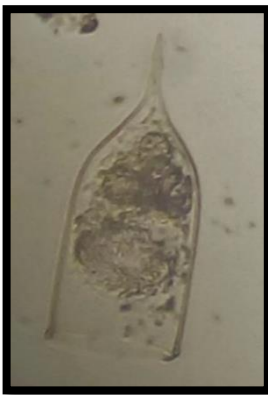


Imagen 5.
Filo Ciliophora
Clase Oligotrichea
Orden Choreotrichidia
Superorden Tíntinida
Familia Ptychocylidae
Género *Favella*
Especie *Favella mexicana sp.*

(Boltovskoy, 1981; De Boyd, 1996; MCZ BASE, 2018).

REINO ANIMALIA



Imagen 6.
Filo Cnidaria
Clase Hydrozoa
Orden Trachymedusae
Familia Geryoniidae
Género *Liriope*
Especie *Liriope tetraphylla*



Imagen 7.
Filo Cnidaria
Clase Hydrozoa
Orden Leptothecata
Familia Campanulariidae
Género *Obelia*



Imagen 8.
Filo Cnidaria
Clase Hydrozoa
Orden Leptomedusae



Imagen 9.
Filo Cnidaria
Larva plánula



Imagen 10.
Filo Ctenophora
Clase Tentaculata
Orden Cydippida
Familia Pleurobrachiidae
Género *Pleurobrachia*



Imagen 11.
Filo Rotifera
Clase Eurotatoria
Orden Ploima
Familia Euchlanidae
Género *Euchlanis*
Especie *Euchlanis dilatata*

(Boltovskoy, 1981; De Boyd, 1996; MCZ BASE, 2018).

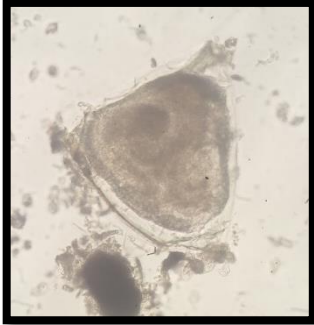


Imagen 12.
Filo Bryozoa
Larva ciftonauta



Imagen 13.
Filo Annélida
Clase Polychaeta
Orden Phyllodocida
Familia Typhloscolecidae
Género *Typhloscolex*



Imagen 14.
Filo Annélida
Clase Polychaeta
Orden Phyllodocida
Familia Opheliidae
Género *Pectinophelia*



Imagen 15.
Filo Annélida
Clase Polychaeta
Larva trocófora



Imagen 16.
Filo Arthropoda
Subfilo Crustacea
Clase Hexanauplia
Infraclase Cirripeda
Larva cirpris



Imagen 17.
Filo Arthropoda
Clase Ostracoda
Orden Halocyprida
Familia Halocyprididae
Género *Conchoecia*

(Boltovskoy, 1981; De Boyd, 1996; MCZ BASE, 2018).



Imagen 18.
Filo Arthropoda
Subfilo Crustacea
Clase Branchiopoda
Superorden Cladocero
Orden Onychopoda
Familia Podonidae
Género *Evadne*

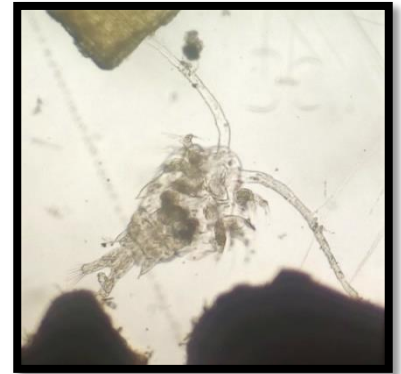


Imagen 19.
Filo Arthropoda
Subfilo Crustacea
Clase Hexanauplia
Subclase Copepoda
Orden Calanoida
Familia Calanidae
Género *Calanoides*

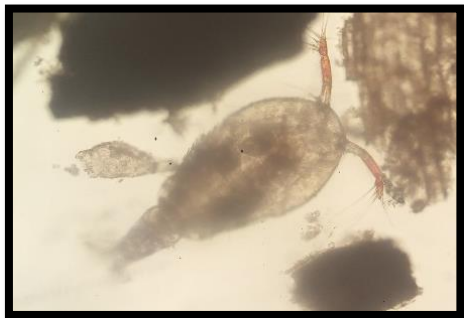


Imagen 20.
Filo Arthropoda
Subfilo Crustacea
Clase Hexanauplia
Subclase Copepoda
Orden Cyclopoida
Familia Oithonidae
Género *Oithona*



Imagen 21.
Filo Arthropoda
Subfilo Crustacea
Clase Hexanauplia
Subclase Copepoda
Orden Harpacticoida
Familia Ectinosomatiidae
Género *Microsetella*



Imagen 22.
Filo Arthropoda
Subfilo Crustacea
Clase Malacostraca
Orden Mysida
Familia Mysidae
Género *Neomysis*

(Boltovskoy, 1981; De Boyd, 1996; MCZ BASE, 2018).



Imagen 23.
Filo Arthropoda
Subfilo Crustacea
Clase Malacostraca
Orden Tanaidacea
Familia Tanaidae



Imagen 24.
Filo Arthropoda
Subfilo Crustacea
Clase Malacostraca
Orden Amphipoda
Familia Hyperiidae
Género *Hyeroche*



Imagen 25.
Filo Arthropoda
Subfilo Crustacea
Clase Malacostraca
Orden Decapoda



Imagen 26.
Filo Chaetognata
Clase Sagittoidea
Orden Apherogastera
Familia Sagittidae
Género *Sagitta*



Imagen 27.
Filo Molluca
Clase Bivalvia
Orden Mytilida
Familia Mytilidae
Género *Mytilus*

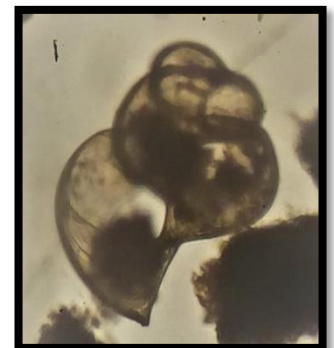


Imagen 28.
Filo Molluca
Clase Gastropoda
Orden Neogastropoda
Familia Buccinidae
Género *Strombella*

(Boltovskoy, 1981; De Boyd, 1996; MCZ BASE, 2018).

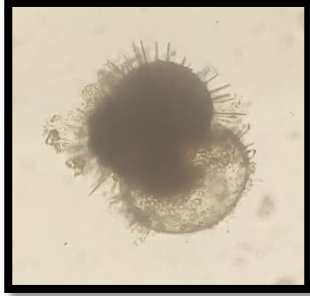


Imagen 29.
Filo Mollusca
Larva veliger



Imagen 30.
Filo Mollusca
Clase Cephalopoda

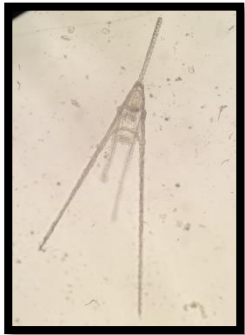


Imagen 31.
Filo Echinodermata
Larva ophiopluteus



Imagen 32.
Filo Chordata
Clase Appendicularia
Orden Copelata
Familia Oikopleuridae
Género Oikopleura

Filo Chordata; Subfilo Vertebrata; Superclase Gnathostomata; Clase Actinopterygii; Infraclasse Teleostii

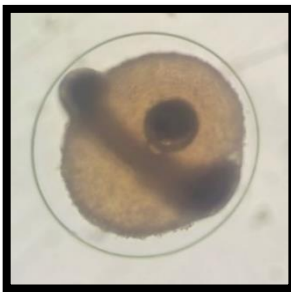


Imagen 33.
Huevo de pez

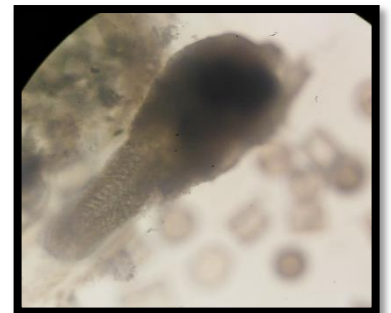
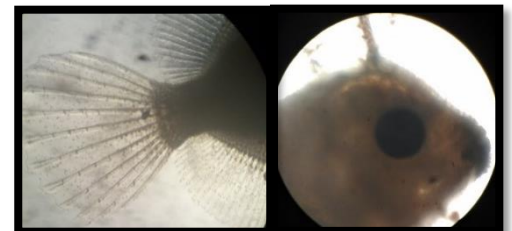


Imagen 34.
Larva de pez



Imagen 35.
Postlarvas



Imágenes 36 y 37.
Juvenil

(Boltovskoy, 1981; De Boyd, 1996; MCZ BASE, 2018).

DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS: GRÁFICOS DE DENSIDAD

La densidad total por estación de muestreo en cada uno de los meses (gráfico 1), demostró que la mayor densidad se presentó en el mes de mayo en la estación de arrecife ($230 \frac{org}{m^3}$), mientras que la densidad mínima se registró en la estación de mar durante el mes de febrero ($60 \frac{org}{m^3}$).

En la estación de playa se observó un descenso en la densidad zooplanctónica conforme el año transcurrió, sin embargo en el mes de octubre hubo un punto máximo en la población de estos organismos; en la estación de mar la densidad no tuvo una gran variación, presentándose en junio, septiembre y octubre una densidad similar, disminuyendo en febrero. Finalmente, en la estación de arrecife el comportamiento del zooplancton fue heterogénea, presentándose la densidad más alta en mayo de 2017, y la más baja en febrero de 2018. Con base en el estudio realizado por Okolodkov (2011), los meses donde se reportaron una mayor densidad zooplanctónica fueron durante las épocas de lluvia (junio-noviembre), y las más bajas durante la época de secas (febrero-mayo), coincidiendo con los resultados obtenidos.

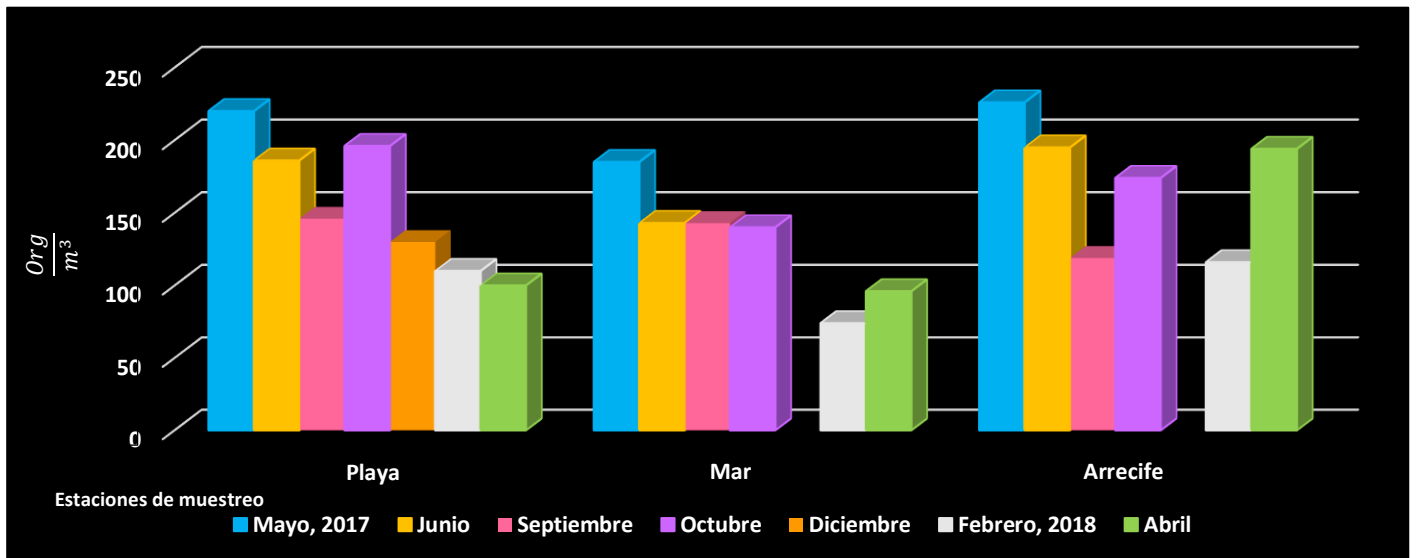


Gráfico 1. Densidad total de zooplancton por metro cúbico durante mayo de 2017 a abril 2018.

El gráfico 2 representa la **densidad relativa** de los grupos de zooplancton. Los bivalvos, nauplios, copépodos, gasterópodos, tintínidos, ostrácodos, cladóceros y quetognatos, tuvieron una misma o similar distribución en las tres estaciones de estudio. Por el contrario grupos como los urocordados, tenóforos y turbelarios, sólo se encontraron en una zona de estudio.

De acuerdo con un estudio realizado por Jiménez y Bonilla en 1980, se han encontrado relaciones entre diferentes grupos, ejemplo de ello es la presencia de larvas de peces con los copépodos puesto que funcionan como alimento básico de éstas; dicha correspondencia se podría ver reflejada en la presencia de alevines en la estación de mar y arrecife, puesto que también es donde hay una mayor densidad de copépodos. Se ha reportado que el mayor porcentaje de quetognatos se encuentran en las proximidades de la costa, sin embargo en este trabajo, la mayor densidad del grupo se registró en la estación de mar. Según el mismo estudio, el gran grupo de los crustáceos tiene una mayor presencia hacia las aguas oceánicas (mar adentro), con respecto con lo obtenido durante la investigación, debido a que este subfilo tuvo diversos representantes, se observó una homogeneidad en su distribución en las tres estaciones de muestreo.

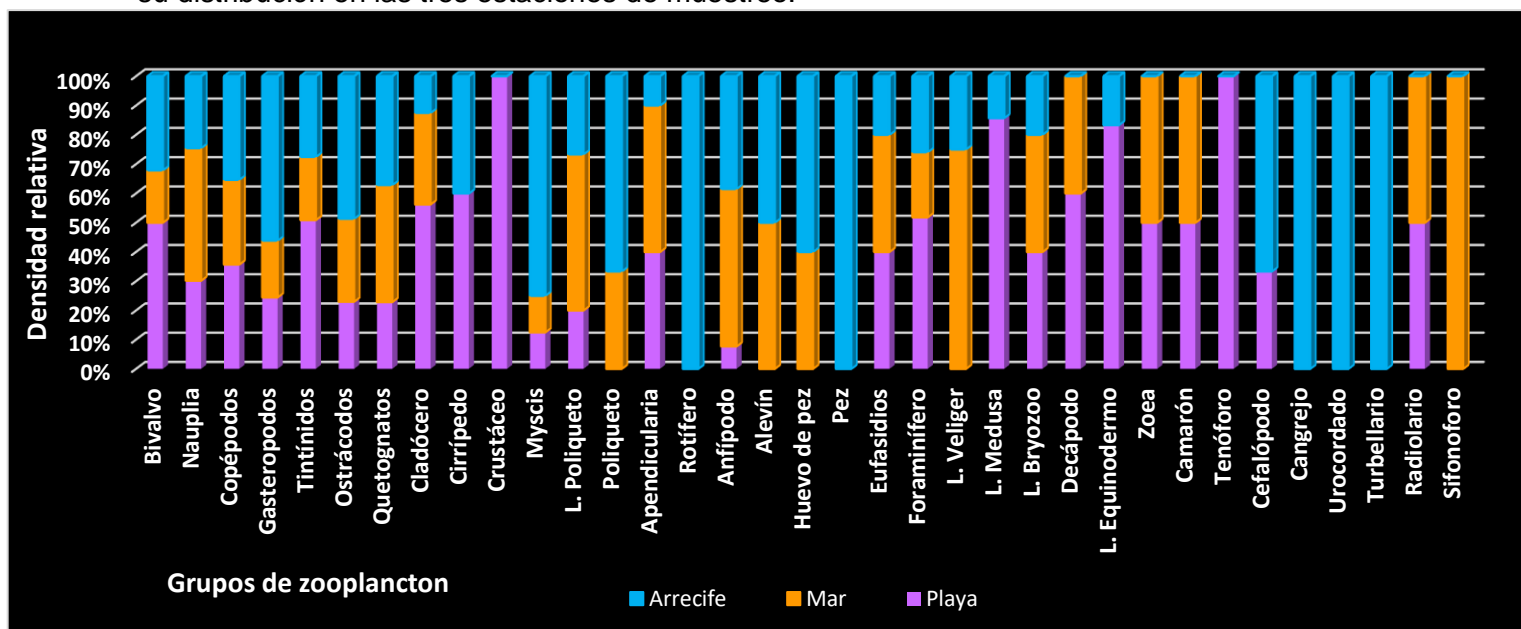


Gráfico 2. Densidad relativa de los grupos zooplanctónicos en las tres estaciones.

La **densidad de organismos por metro cúbico**, está representada en el gráfico 3. Se observa que los copépodos fueron el grupo más abundante con un total de $1200 \frac{org}{m^3}$, seguido de los tintínidos y bivalvos. Los grupos restantes tuvieron una densidad menor a $50 \frac{org}{m^3}$. Se encontraron en total 36 distintos grupos zooplanctónicos en las tres áreas de estudio, referente a la investigación realizada por Okolodkov en 2011, el número de taxa fue superior a los 36; sin embargo existe una coincidencia con las comunidades más representativas.

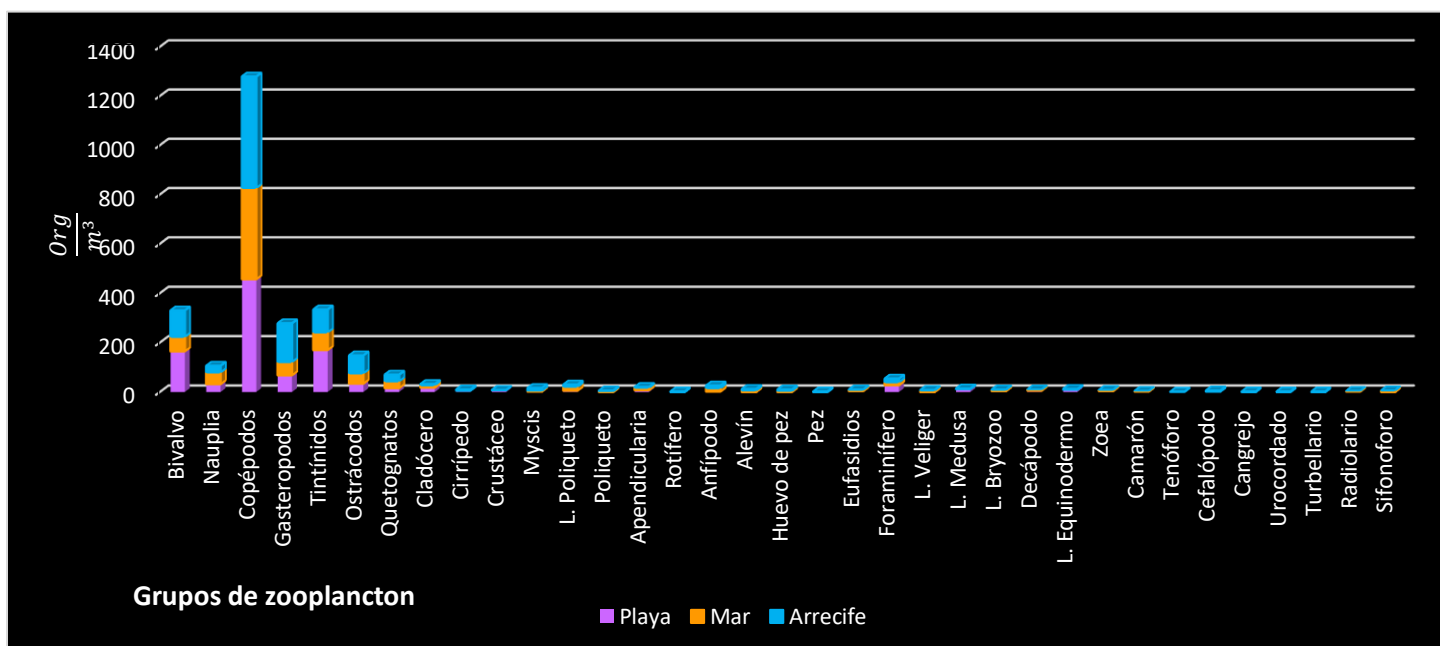


Gráfico 3. Densidad de organismos por metro cúbico en cada estación de muestreo.

Durante el mes de **mayo** (gráfico 4), los copépodos fueron el grupo más abundante en las tres estaciones con una densidad superior a los $140 \frac{org}{m^3}$, seguidos por los bivalvos ($70 \frac{org}{m^3}$) en la estación de playa y los quetognatos con una densidad inferior a los $15 \frac{org}{m^3}$; en **junio** (gráfico 5) los copépodos continuaron con la mayor representatividad; en **septiembre** (gráfico 6) los bivalvos fueron el grupo con mayor densidad ($60 \frac{org}{m^3}$) en la estación de playa, mientras que en las de mar y arrecife no superó los $25 \frac{org}{m^3}$; en **octubre** (gráfico 7) hubo un

incremento en la población de copépodos en todas las estaciones, superando los $110 \frac{org}{m^3}$ en el arrecife; con la llegada del norte en **diciembre** (gráfico 8), la presencia de tintínidos sobresalió con $50 \frac{org}{m^3}$, seguido de los copépodos y gasterópodos; el comportamiento fue similar en **febrero** (gráfico 9), sin embargo la densidad poblacional de copépodos y ostrácodos incrementó; finalmente en **abril** (gráfico 10) los gasterópodos fueron el grupo con mayor aparición con $120 \frac{org}{m^3}$ en la estación de arrecife.

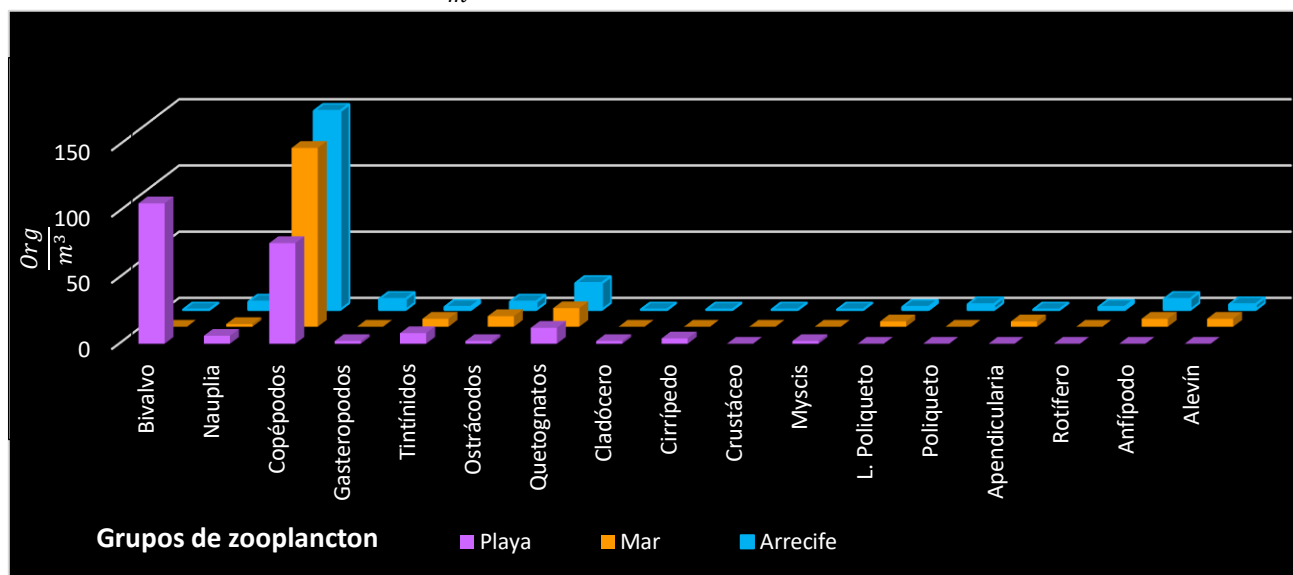


Gráfico 4. Densidad de organismos en Mayo 2017 ($\frac{org}{m^3}$) en las tres estaciones.

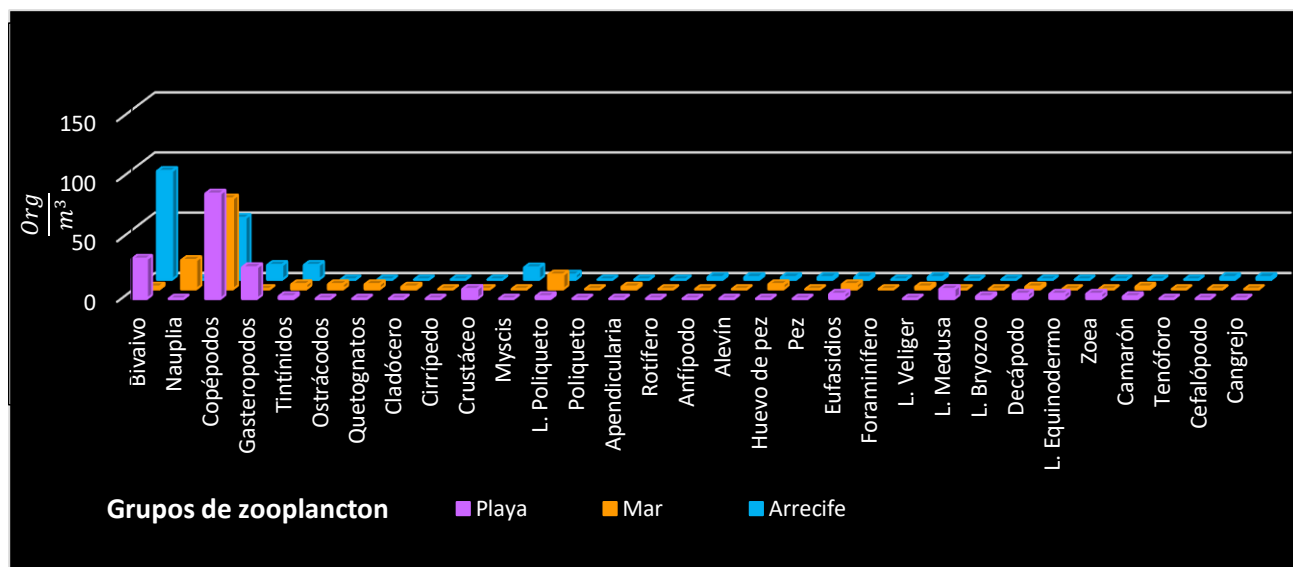


Gráfico 5. Densidad de organismos en Junio 2017 ($\frac{org}{m^3}$).

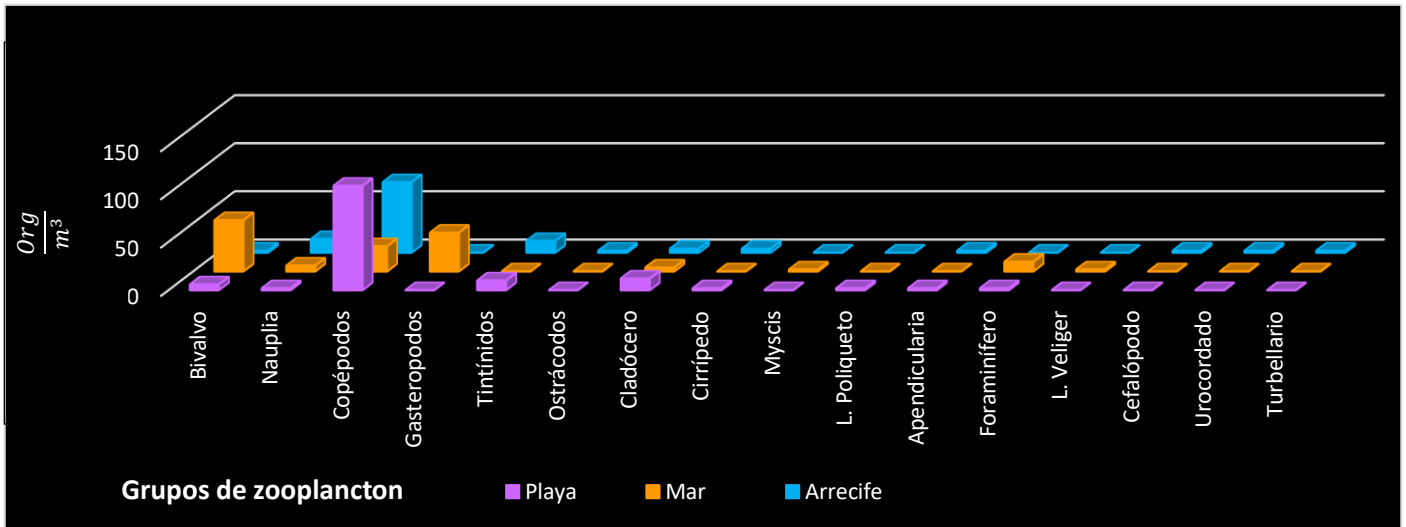


Gráfico 6. Densidad de zooplancton en septiembre 2017, ($\frac{org}{m^3}$).

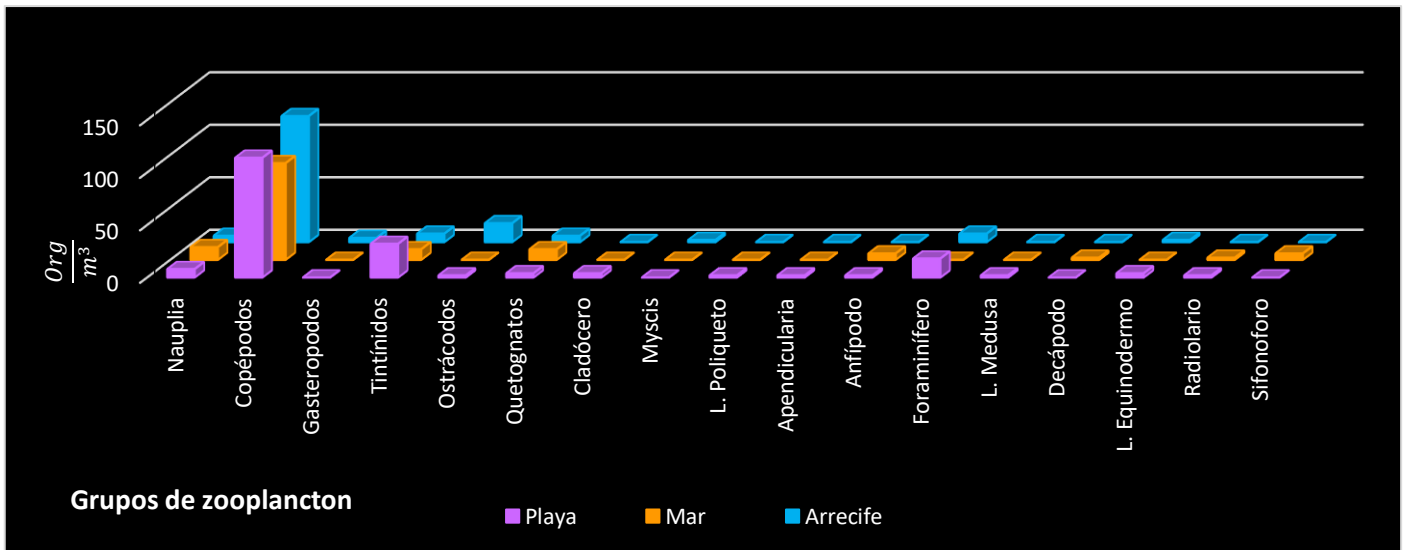


Gráfico 7. Densidad de organismos en Octubre 2017, ($\frac{org}{m^3}$).

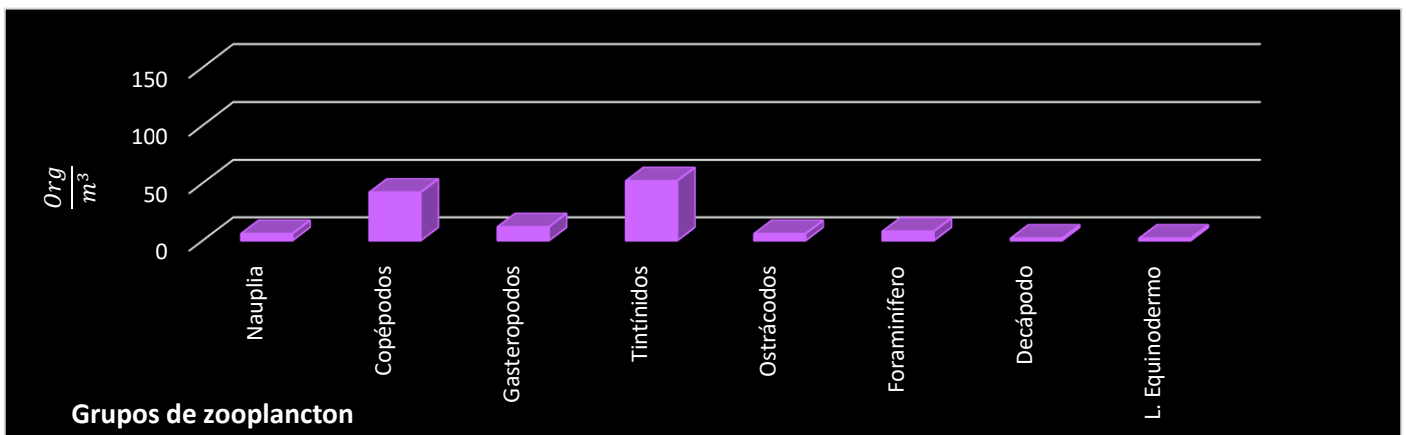


Gráfico 8. Densidad de organismos en playa durante diciembre 2017, ($\frac{org}{m^3}$).

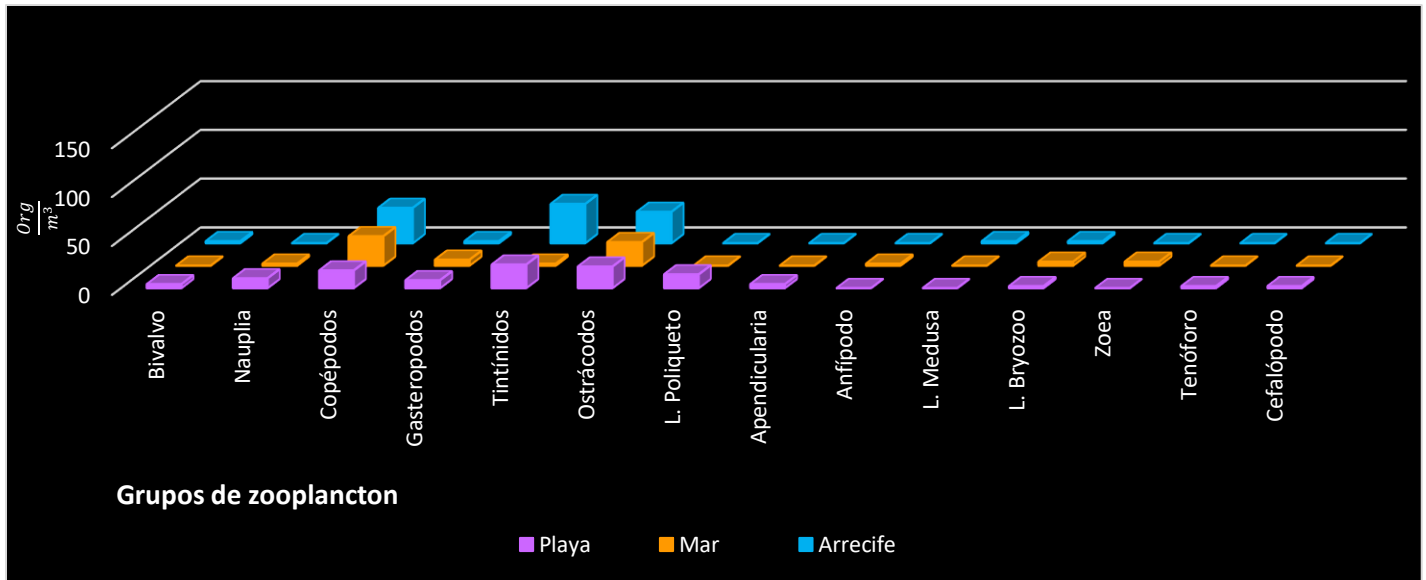


Gráfico 9. Densidad de organismos en febrero 2018, ($\frac{org}{m^3}$).

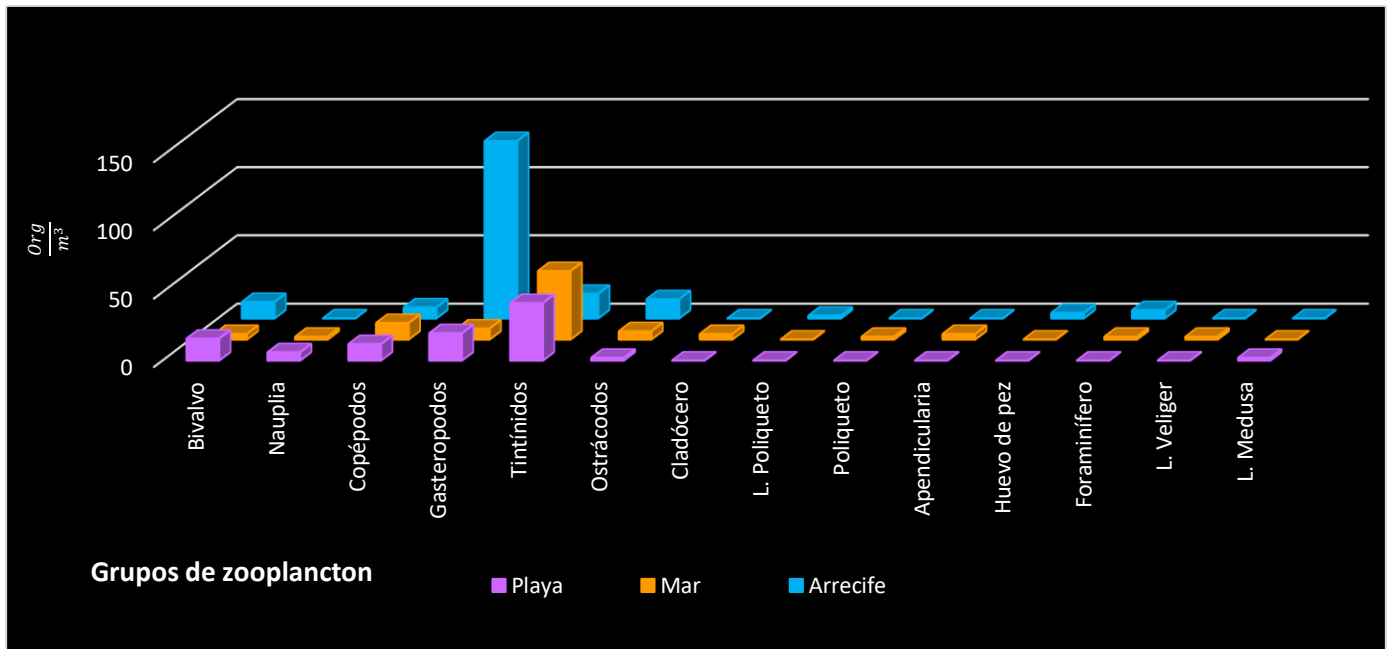


Gráfico 10. Densidad de organismos en abril 2018, ($\frac{org}{m^3}$).

De acuerdo con Contreras (2016), el cambio del número de grupos taxonómicos del zooplancton es importante en la estructura de la comunidad, ya que podría reflejar cambios ambientales y biológicos. Esta variabilidad ambiental de acuerdo a la escala espacial y temporal considerada, propiciará que los grupos taxonómicos de zooplancton cambien en número, abundancia y diversidad. Durante este estudio, pese a que los grupos más representativos se manifestaron constantemente durante todo el ciclo anual, la presencia o ausencia de algunos taxa fue determinada por la época del año en que se realizó el muestreo, ya que éstas determinaron las condiciones favorables o no, para el desarrollo de los organismos.

Por otra parte, Jiménez y Bonilla (1980), sugieren que los cambios globales en la secuencia del zooplancton a lo largo del año son más relevantes en la zona nerítica que en la oceánica, ya que no sólo la mayor importancia del plancton se encuentra suspendida en esta extensión, sino que estas áreas están sujetas a notables invasiones de especies alóctonas. Aunque los grupos más abundantes se mantuvieron constantes durante el año de estudio, en la estación de arrecife sí se reportó la presencia de un mayor número de especies, sin embargo la densidad de organismos zooplanctónicos era más alta en la estación de playa.

Así mismo, plantean que los copépodos son la causa principal de las fluctuaciones de las concentraciones del zooplancton (ya que son el grupo con mayor abundancia), y entre éstos, los incrementos de población se deben a unas pocas especies; con respecto a lo observado en esta investigación, en la mayoría de los casos la densidad se determinó por los copépodos, coincidiendo con lo reportado por otros autores.

En el diagrama 1 se observa los cambios en la densidad zooplanctónica (org/m³) a través de los meses de muestreo, cuya variación fue de 75 y 220 org/m³.

Se registró la densidad más alta en el mes de mayo (220 org/m³) con un descenso en los dos meses siguientes (junio y septiembre), hubo una elevación durante el mes de octubre (en un rango de 140 y 200 org/m³), pese a que en diciembre hubo un drástico descenso de densidad (135 org/m³) no fue el mes con menor presencia de organismos zooplanctónicos, sino que fue febrero con la densidad más baja (70 a 110 org/m³), finalmente fue abril el mes donde la densidad de organismos tuvo un mayor dispersión en las estaciones de muestreo.

Todas las medias (representadas por la línea que atraviesa los diagramas) y medianas (marcadas con cruces rojas, y su intervalo de confianza es representado por las muescas) fueron heterogéneas, aunque en algunos casos hubo un mínimo de variación; la tendencia de la densidad zooplanctónica en los meses de mayo, junio, septiembre, octubre y diciembre fue superior a los 120 org/m³, mientras que en los meses restantes (febrero y

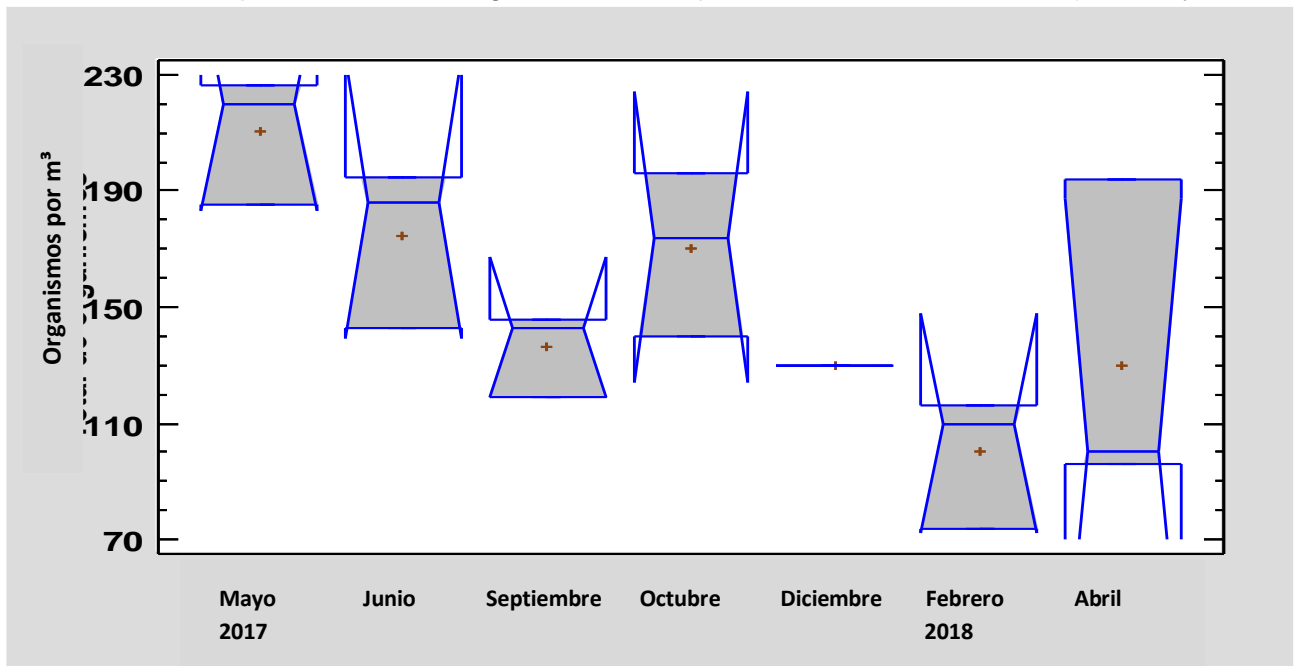


Diagrama 1. Densidad de organismos por metro³ durante los meses de muestreo.

abril) la densidad fue superior a los 80 org/m³.

Al observar los diagramas al menos 5 de los 7 conjuntos de datos se solapan (junio, septiembre, octubre, febrero y abril); así mismo, se infiere que la distribución es asimétrica en todos los casos, cuya tendencia es superior a los 110 org/m³, excepto en el caso de abril.

La prueba estadística de Kolmogorov Smirnov demostró que la distribución de los datos era normal (P=0.858638), con lo que respecta a la prueba de Levene determinó que la varianza de los datos era normal (P=0.0626), por lo que éstos son homocedásticos. A realizarse el Análisis de Varianza se comprobó que no existen diferencias estadísticamente significativas (P=0.0627) –con una significancia del 5%- en la densidad de organismos zooplanctónicos a través del tiempo, a diferencia de algunas investigaciones realizadas donde se ha demostrado que sí existen elevaciones en la densidad del plancton.

La investigación realizada por Okolodkov (2011), demostró que el crecimiento de la población de zooplancton varía según la temporalidad en la que se realicen los muestreos, y con base en los resultados, abril y junio son los meses con mayor abundancia.

Tabla 4. Resumen de las pruebas estadísticas para la comparación de densidad zooplanctónica durante los meses de muestreo.

Prueba estadística	Valor de P	Decisión
Kolgomorov-Smirnov	0.858638	Distribución Normal
Levene	0.0626	Homocedásticos
ANDEVA	0.0627	No existen diferencias entre la densidad de organismos durante los meses de muestreo

El diagrama 2 refleja la densidad de organismos por metro cúbico en las estaciones de muestreo (playa, mar y arrecife) a lo largo del año, donde el rango de densidad osciló entre los 70 y 220 org/ m³.

En la estación de playa hubo una mayor dispersión de los datos, sin embargo ésta fue heterogénea; la densidad de organismos varió entre 100 org/ m³ y 220 org/ m³, con una tendencia a superar los 140 org/ m³; en la estación de mar el rango de densidad fue amplio (70 y 190 org/ m³), sin embargo hubo un mayor registro de densidades por debajo de 140 org/ m³; finalmente en la estación de arrecife la densidad osciló entre 120 org/ m³ hasta 230 org/ m³ aunque la tendencia fue superior a 180 org/ m³.

La media entre los conjuntos de datos fue similar con una variación mínima, oscilando en un gradiente de 130 a 170 org/ m³; mientras que las medias en la estación de playa y mar fue igual con 140 org/ m³, la de la estación de arrecife fue de 180 org/ m³.

La mayor densidad de organismos zooplanctónicos se registró en la estación de arrecife mientras que en la estación de mar se registraron las densidades más bajas.

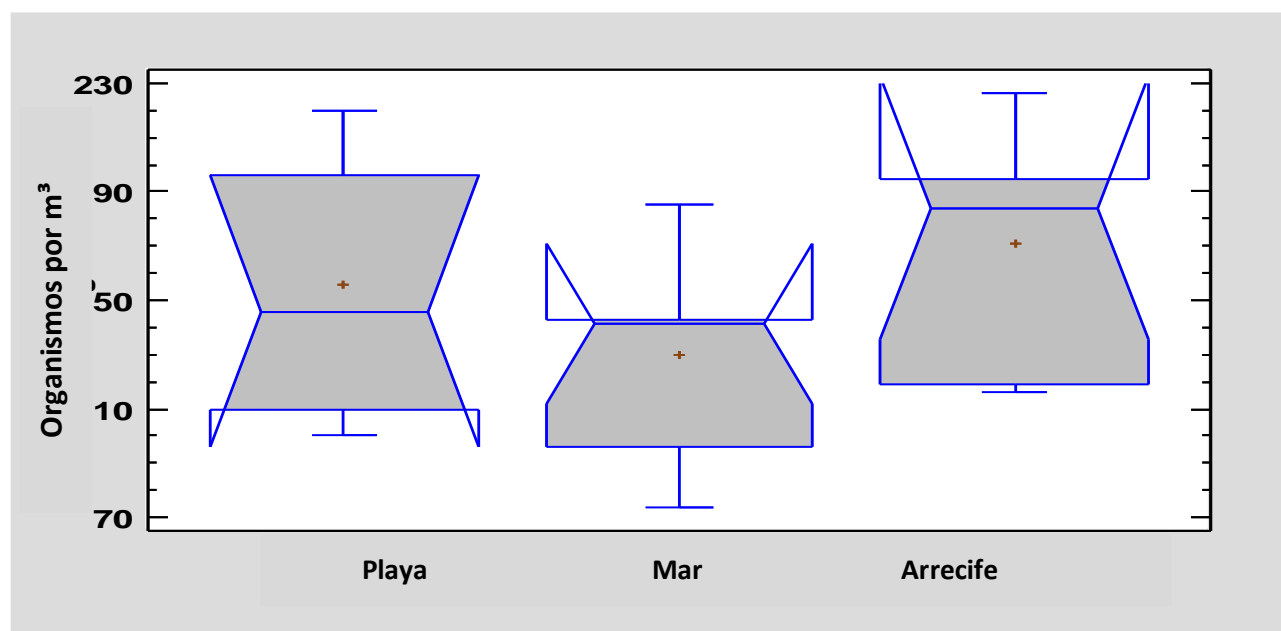


Diagrama 2. Densidad de organismos por metro³ en las estaciones de muestreo.

Debido a la heterogeneidad de las medias y medianas de los conjuntos de datos, y considerando la dispersión de los datos en éstas, podría inferirse que la distribución es normal. En este caso, existe un solapamiento de las tres cajas, que de acuerdo a Hazamarbeth (2013) las diferencias no serían significativas.

La prueba estadística Kolmogorov-Smirnov demostró que la distribución de los datos era normal con un valor de P de 0.858638; la prueba de Levene cuya P fue de 0.07521, evidenció que las varianzas de los conjuntos de datos era iguales, considerándolos homocedásticos. Finalmente con el Análisis de Varianza, donde el valor de P fue de 0.2919, se comprobó que no existían diferencias estadísticamente significativas (con una significancia del 5%), sobre la densidad del zooplancton en las estaciones de muestreo.

De acuerdo a Pérez (2017), la mayor densidad de organismos ocurre en áreas costeras y en plataforma media, y disminuye hacia la zona oceánica, por el contrario, la diversidad es mayor en áreas oceánicas; sin embargo también menciona que la densidad más alta se registra en la estación de playa, comparando con los resultados obtenidos durante esta investigación, se coincide con lo anteriormente reportado.

Tabla 5. Resumen de las pruebas estadísticas para la comparación de densidad zooplanctónica en las estaciones de muestreo.

Prueba estadística	Valor de P	Decisión
Kolmogorov-Smirnov	0.858638	Distribución Normal
Levene	0.07521	Homocedásticos
ANDEVA	0.2919	No existen diferencias entre la densidad de organismos y las estaciones de muestreo

PARÁMETROS HIDROLÓGICOS

La **temperatura ambiente** osciló entre los 19°C y 31°C (gráfico 1), siendo diciembre (2017) el mes en el que se registró los grados más bajos (invierno) y junio (2018) los más altos (verano). Hubo diferencias mínimas entre las temperaturas en cada estación. Con base en el Programa de Manejo (2017), esta temperatura se encuentra dentro del rango registrado en el Parque; asimismo coincide con los reportados en las investigaciones realizadas en los últimos cuatro años (Góngora, 2014; Gaona, 2016; Pérez, 2017).

Durante diciembre se registró la entrada de un norte, siendo un fenómeno característico durante este mes, ya que la corriente en chorro comienza a desplazarse hacia el sur de Norteamérica y las masas de aire polar comienzan a tener una mayor influencia sobre los patrones de temperatura y precipitación en el país (CONAGUA, 2017); por esta razón, los muestreos en las estaciones de mar y arrecife fueron imposibles de realizar.

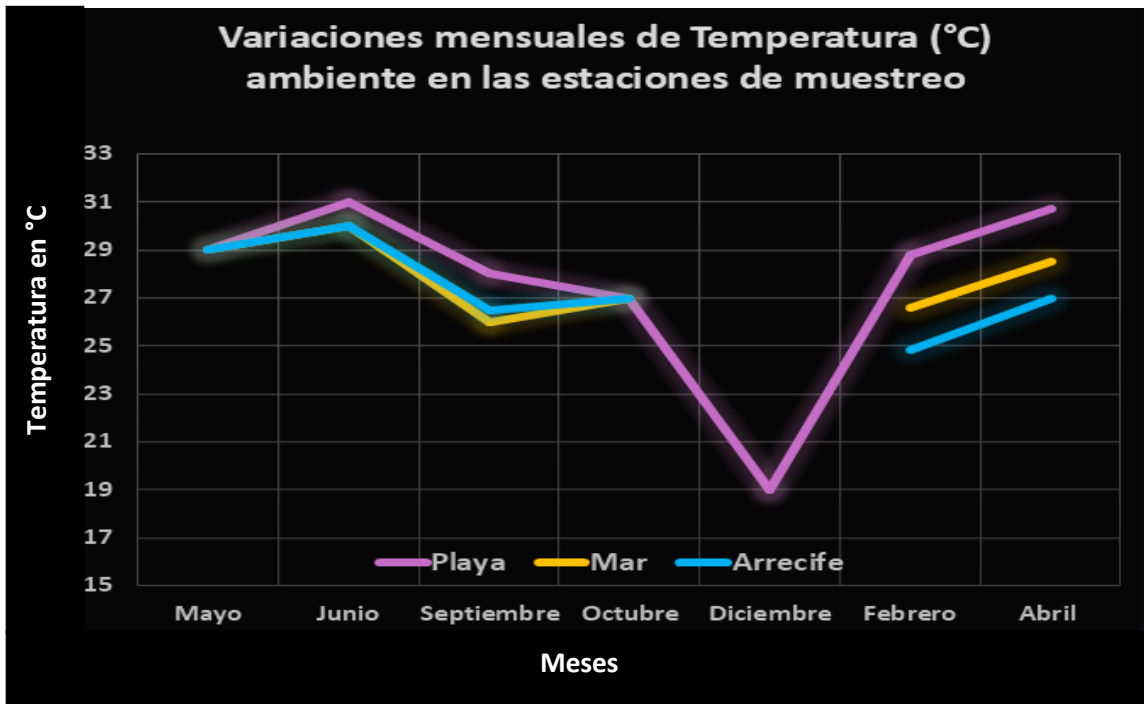


Gráfico 1. Variaciones mensuales de temperatura ambiente durante un ciclo anual, en las tres estaciones de muestreo.

La **temperatura del agua** (gráfico 2) mantuvo un patrón similar a la temperatura ambiente, la más baja fue de 20°C durante diciembre y la más alta fue en mayo alcanzándose los 31°C. Respecto a lo reportado por Tunnel, Chávez y Withers en 2010, estos valores sobrepasan los rangos que ellos obtuvieron (mín 22.9, máx 29.4); por el contrario, Góngora (2014), Gaona (2016) y Pérez (2017), coinciden con los datos de temperatura superficial del agua.

De acuerdo con Barba *et al.*, (2015), los ecosistemas costeros de Veracruz están influenciados por la presencia de giros ciclónicos y anticiclónicos que se generan cuando choca un remolino anticiclónico en la plataforma continental y por la circulación inducida por el viento, los cuales pueden afectar la temperatura superficial del mar. Ésta, presenta una variabilidad estacional, que es influida principalmente por la dinámica del océano asociada a la corriente de lazo, afloramientos costeros, al igual que la retención de la temperatura atmosférica en la capa superficial del océano y donde además la evaporación supera la precipitación; es importante recalcar que la zona costera del Golfo de México tiene aguas relativamente frías en la mayor parte del año, a excepción de verano que es donde la corriente de Lazo aporta flujos de aguas cálidas a través de los giros anticiclónicos que se desprenden de ella.

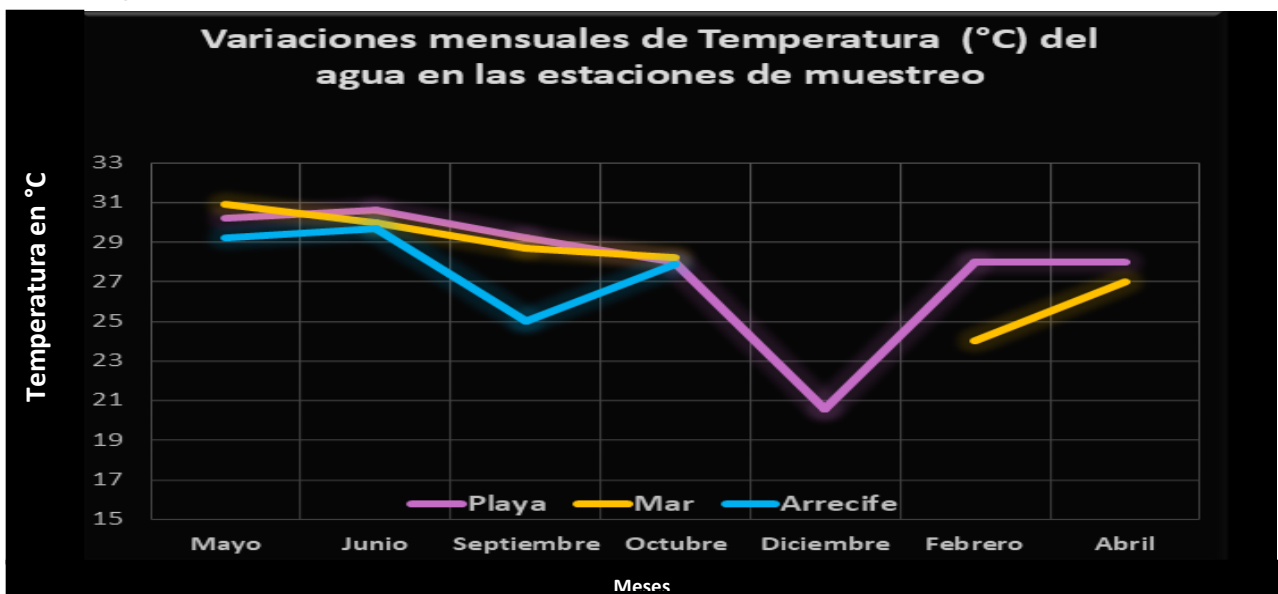


Gráfico 2. Variaciones de temperatura del agua en las estaciones durante un año.

El diagrama 3 representa la temperatura del agua durante el año de muestreo; con base en los fenómenos climatológicos (CONABIO, 2013) se puede dividir el año en tres periodos: secas (febrero a mayo), lluvias (junio-noviembre) y nortes (diciembre y enero). De acuerdo con esta clasificación el registro de las temperaturas más altas en el agua fue en la época de secas, en un rango de 26 a 32°C; durante este periodo la media de la temperatura del agua osciló entre los 27 y 30° C, diferenciándose mínimamente del periodo de secas. Contrastantemente durante el periodo de norte la temperatura descendió drásticamente, registrándose 20°C.

Durante el mes de septiembre se identificó una mayor dispersión en los registros de temperatura del agua en las tres estaciones de muestreo; mientras que en los demás meses tendían a la misma temperatura o su variación era mínima. Durante diciembre la presencia de un norte imposibilitó el muestreo en la estación de mar y arrecife, por lo que sólo se tiene registro de la temperatura en la estación de playa, y la falta de datos impidió que el diagrama correspondiente no se desplegara adecuadamente.

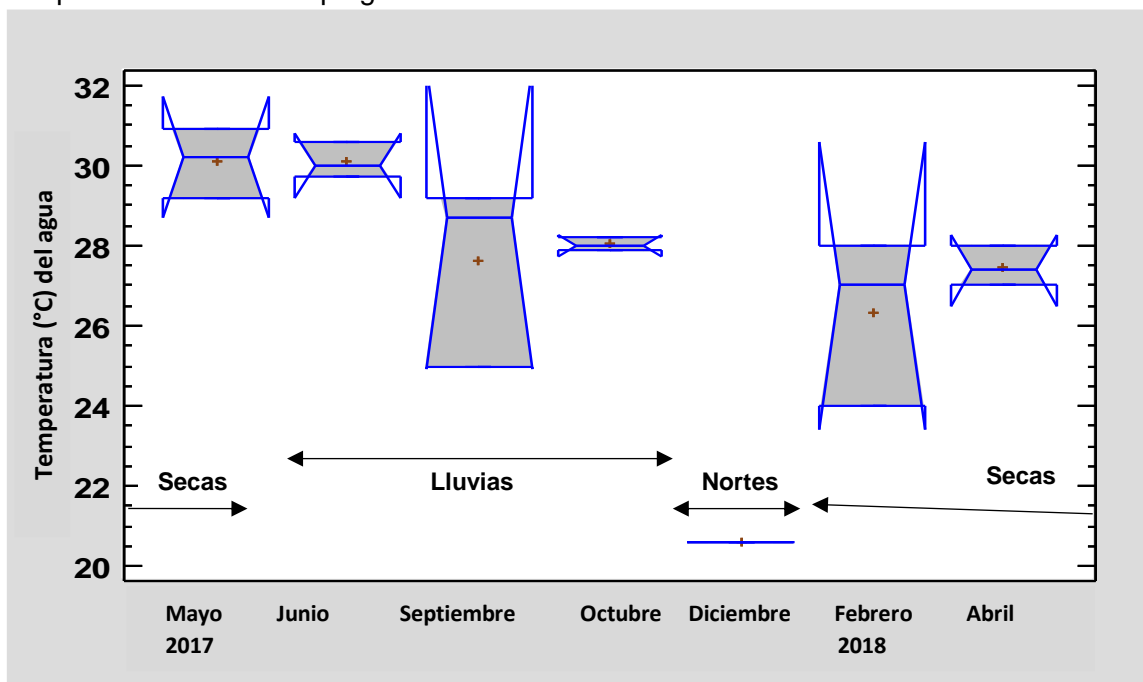


Diagrama 3. Temperatura en °C del agua durante los meses de muestreo.

Al observar las cajas (diagrama 3) se determina la asimetría que presentan algunos casos, tales como junio, septiembre y febrero; así mismo se evidencia que al menos cuatro de los siete meses de muestreo, se sobrelapan entre sí (septiembre, octubre, diciembre y abril) por lo que podría inferirse que el comportamiento de la temperatura del agua fue similar entre los meses, sin embargo, los análisis estadísticos difirieron y comprobaron que sí existían diferencias.

La prueba de Kolmogorov Smirnov determinó un valor de P de 0.405368, por lo que la distribución de los datos fue normal. La prueba de Levene, cuyo valor de P fue de 0.0105, demostró que no existía igualdad de varianzas entre los grupos de datos, por lo que son heterocedásticos. Al realizarse la prueba de Kruskal-Wallis, se demostró -con una significancia del 5%- que existen diferencias en la temperatura del agua a lo largo de los meses donde se realizó el muestro, al obtenerse un valor de P de 0.0304747.

Tabla 6. Resumen de las pruebas estadísticas para la comparación de la temperatura del agua en los meses de muestreo.

Prueba estadística	Valor de P	Decisión
Kolmogorov-Smirnov	0.405386	Distribución Normal
Levene	0.0105	Heterocedásticos
Kruskal-Wallis	0.0304747	Existen diferencias entre la temperatura del agua y los meses

En el diagrama 4, se representa la temperatura del agua en las tres estaciones de muestreo durante el ciclo anual. La fluctuación de la temperatura fue de 24°C hasta los 31°C. La temperatura en la estación de playa fue superior a los 28°C; en la estación de mar se observó que hubo una mayor dispersión en el registro de la temperatura del agua; mientras que en arrecife se mantuvo por debajo de los 30°C.

La media y mediana de los grupos de datos, aparentemente es igual entre playa y arrecife, sin embargo en mar, la variación fue mínima, estando ligeramente por arriba de la de las otras estaciones.

De acuerdo con el INECOL (2010), las temperaturas reportadas durante la investigación, corresponden a aguas cálidas, la cual proviene de una corriente del mar Caribe (la corriente de Yucatán), que penetra al Golfo de México a través de este canal y que al llegar al Golfo se le conoce con el nombre de Corriente del Golfo de México. Posteriormente se dirige hacia el estrecho de Florida para salir nuevamente al Atlántico y bañar las costas europeas con aguas cálidas.

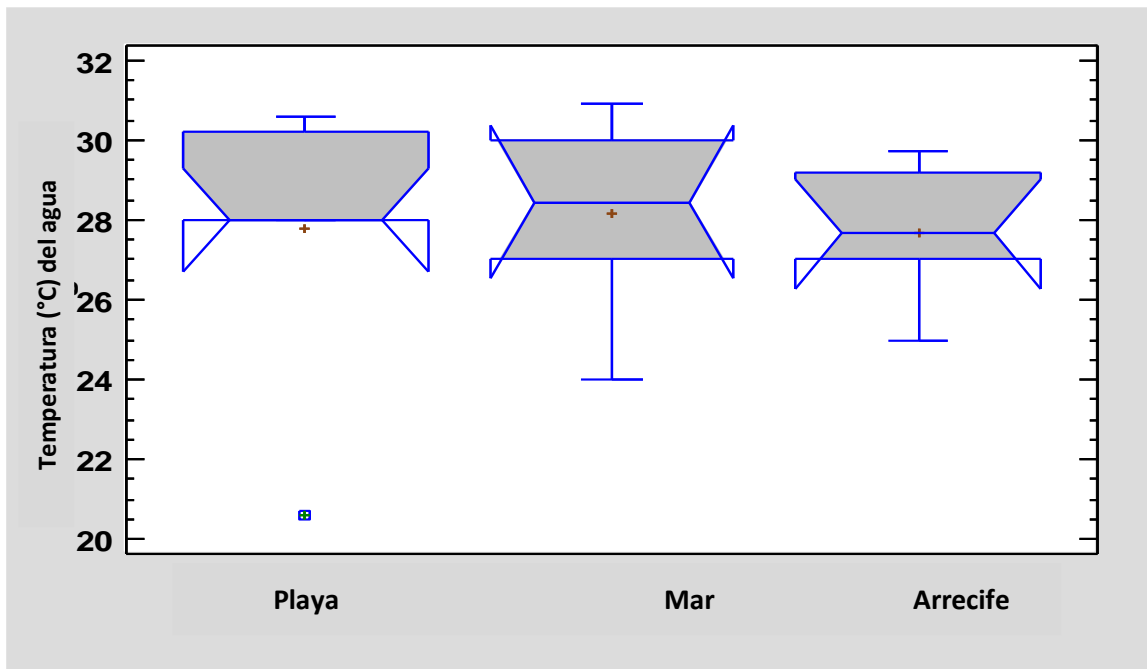


Diagrama 4. Temperatura del agua (°C), en las tres estaciones de muestreo.

Respecto a la simetría de las cajas (diagrama 4) se puede inferir que su distribución es normal, así mismo la semejanza entre las medias de los grupos de datos podrían corroborar dicha decisión. Se observa un dato extraordinario en la estación de playa, correspondiente a diciembre durante el periodo de nortes, en este mes la temperatura tuvo un declive, llegando a los 20°C (gráfico 2). Aunque las muescas se encuentran aparentemente en la misma escala, difieren mínimamente entre ellas.

Coincidiendo con los resultados de las pruebas realizadas para la temperatura del agua y los meses, la prueba de Kolgomorov-Smirnov ajustó una distribución normal, obteniéndose un valor de P de 0.405386. La prueba de Levene, cuyo valor de P fue de 0.7258, demostró que había una igualdad de varianzas entre los datos de cada estación. El Análisis de Varianza, cuyo valor de P fue de 0.9565, demostró que no existen diferencias significativamente estadísticas (con una significancia del 5%) entre la temperatura del agua en las estaciones de muestreo.

Tabla 7. Resumen de las pruebas estadísticas para la comparación de la temperatura del agua en cada una de las estaciones de muestreo.

Prueba estadística	Valor de P	Decisión
Kolgomorov-Smirnov	0.405386	Distribución Normal
Levene	0.7258	Homocedásticos
ANDEVA	0.9565	No existen diferencias entre la temperatura del agua y las estaciones de muestreo

Como se observa en el gráfico 3, el **pH** osciló entre 7.2 y 8.4, el valor más alto se registró en septiembre y el más bajo fue en mayo, ambos en la estación de playa. Respecto a lo reportado con CONANP (2017) los valores del pH oscilan entre el 5.5 y 8, por lo que el agua oceánica es ligeramente alcalina y algunos estudios han determinado que éste varía en función de la temperatura; si ésta aumenta, el pH disminuye y tiende a la acidez; también puede variar en función de la salinidad, de la presión o profundidad y de la actividad vital de los organismos marinos (Hernández *et al.*, 2013).

En 2009 Harrould y Savitz, reportaron que el pH de la superficie del océano ya ha caído 0.1 unidades lo que representa un aumento del 30% en la acidez, lo que conduce a un grave problema de acuerdo a la historia geológica, ya que los calcificadores marinos y los ciclos biogeoquímicos del océano podrían verse negativamente afectados por pequeños cambios en la concentración del dióxido de carbono en las aguas superficiales.

En una situación normal la unión de los iones hidrógeno están en equilibrio con el carbonato, no favoreciendo los procesos de acidificación, sin embargo, dicho equilibrio se rompe debido a las grandes cantidades de CO₂ que se están absorbiendo, siendo por tanto el proceso de disolución de estructuras calcáreas la única manera de que el océano recupere sus niveles de acidez anteriores a la época preindustrial.

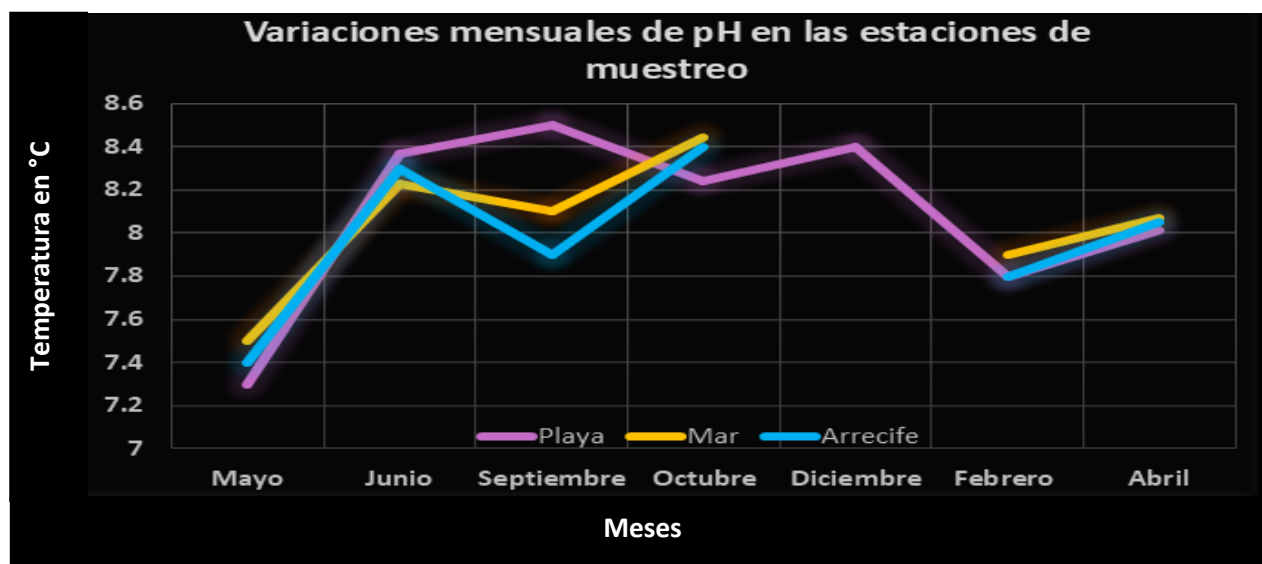


Gráfico 3. Variaciones de pH en un ciclo anual en las estaciones de muestreo.

El diagrama 5 representa el cambio del pH a lo largo del año, pese a que los valores fueron muy variantes (desde los 7.3 hasta los 8.5), corresponden a aguas básicas (Breña y Jacobo, 2006). Los valores más bajos se registraron durante la época de secas, en un rango de 7.3 a 8.1, siendo mayo el mes en el que hubo un mayor descenso de pH; con lo que respecta a las épocas de lluvias y nortes, el pH se mantuvo por encima de 7.9

La media de los grupos de datos correspondientes a los datos de la época de lluvias y nortes varían mínimamente entre sí, en un rango de 8.2 a 8.4. Específicamente, en el mes de septiembre se observó una mayor dispersión de los datos con un pH desde 7.9 a 8.5. Mientras que en los meses de secas, se observó una absoluta heterogeneidad en los grupos de datos correspondientes a cada mes.

Con base en lo reportado por CONANP (2017), el promedio anual de pH en el Sistema Arrecifal Veracruzano es de 7.2; un estudio realizado por Hernández en 2003, indicó que en aguas pertenecientes al océano Pacífico norte, el pH permanece relativamente constante con respecto a la latitud debido a que mayor temperatura se incrementa la disociación del bicarbonato, pero igualmente disminuye la solubilidad; esto se ve reflejado

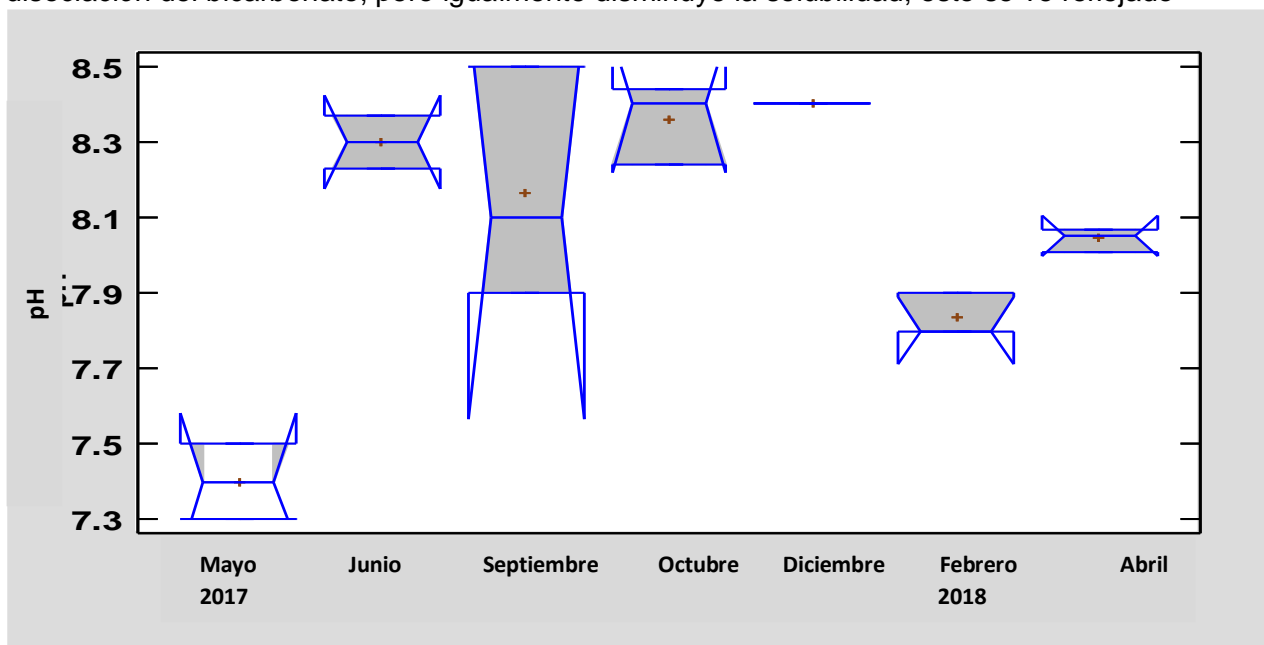


Diagrama 5. Fluctuaciones del pH durante el año de muestreo.

en los datos obtenidos, pese a que los valores del pH se encuentra dentro de lo reportado por la CONANP, sus fluctuaciones podrían verse afectadas por la estacionalidad.

Debido a la ausencia de simetría en las cajas (diagrama 5) se puede inferir que la distribución que presentan los conjuntos de datos es no normal, decisión que también se constata con la desigualdad entre las medias de los grupos; sin embargo las pruebas estadísticas demostraron lo contrario.

La prueba de Kolmogorov Smirnov, demostró que la distribución de los datos era normal ($P=0.921853$); sin embargo la prueba de Levene demostró que no había una igualdad de varianzas entre los grupos de datos (el valor de P fue de 0.0409), por lo que son heterocedásticos.

Al realizar la prueba de Kruskal-Wallis, (se demostró con una significancia del 5%), que existen diferencias estadísticamente significativas ($P=0.0228446$) en la escala del pH del agua a través de los meses de muestreo.

Tabla 8. Resumen de las pruebas estadísticas para la comparación de pH del agua en los meses de muestreo.

Prueba estadística	Valor de P	Decisión
Kolmogorov-Smirnov	0.921853	Distribución Normal
Levene	0.0409	Heterocedásticos
Kruskal-Wallis	0.0228446	Existen diferencias entre el pH del agua y los meses

En el diagrama 6 se representa las fluctuaciones del pH en las tres estaciones de muestreo: playa, mar y arrecife. En la estación de playa se observó una dispersión más amplia de los grupos de datos, encontrándose sus valores dentro de un intervalo de 7.3 a 8.5, cabe destacar que en dicha estación fue donde se registraron los valores más bajos y altos de pH. En la estación de mar, los valores oscilaron entre 7.5 y 8.4, donde la distribución de los datos fue homogénea, reflejándose en la simetría de la caja. En la estación de arrecife, el pH se mantuvo entre 7.4 y 8.4.

Las medias de los datos variaron mínimamente, observándose un descenso jerárquico de pH en las estaciones muestreadas, es decir, en playa (estación 1) se registró el valor de la media más alto, mientras que en arrecife (estación 3) el valor de la media fue el más bajo.

Los valores de pH registrados tienden a la basicidad, y con base a la CONANP (2017), coinciden con que el valor mínimo registrado se encuentre cerca de la costa, gracias a los desechos antropogénicos y las desembocaduras de ríos.

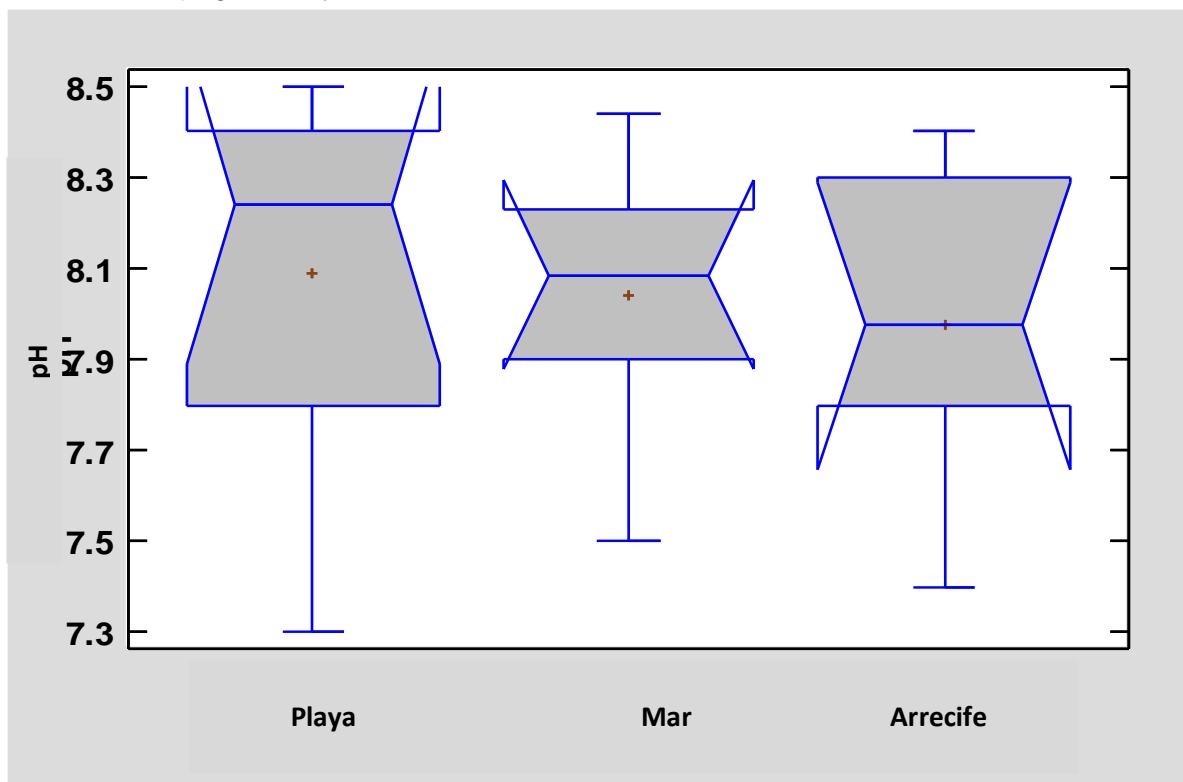


Diagrama 6. Comportamiento del pH en el agua en las estaciones de muestreo.

Debido a la simetría de las cajas de cada estación de muestreo, se infiere que el conjunto de los datos presenta distribución normal; por otro lado, el traslapamiento de éstas, podrían indicar que no existen diferencias entre ellas.

Al realizarse las pruebas estadísticas, Kolgomorv-Smirnov demostró que la distribución de los datos era normal ($P=0.921853$); así mismo la prueba de Levene, demostró que había una igual de varianza en los datos ($P=0.6868$), por lo que son homocedásticos. El Análisis de Varianza, comprobó que no existían diferencias estadísticamente significativas ($P=0.9101$) en el pH de las tres estaciones de muestreo, con una significancia del 5%.

Pese a que hubo algunas diferencias en los registros de pH en las estaciones de muestreo, el valor de pH no puede fluctuar en demasía, puesto que la mayor parte de la vida marina está adaptada a un gradiente (6.5 a 8.5), y por fuera de este rango, suele determinar la disminución en la diversidad, debido al estrés generado en los organismos no adaptados (Pérez, 2017).

Tabla 9. Resumen de las pruebas estadísticas para la comparación de pH del agua en las estaciones de muestreo.

Prueba estadística	Valor de P	Decisión
Kolgomorov-Smirnov	0.921853	Distribución Normal
Levene	0.6868	Homocedásticos
ANDEVA	0.9101	No existen diferencias entre el pH del agua y las estaciones de muestreo

El rango del **oxígeno disuelto** (gráfico 4) fue de 3mg/L (abril-mar) a 7mg/L (octubre-mar y arrecife). El comportamiento de éste fue muy similar tanto en la estación de mar y arrecife, siguiendo este mismo patrón en la estación de playa durante los primeros tres meses, con un declive en la concentración de este gas en los meses restantes.

Con las corrientes y el oleaje la cantidad de oxígeno en el agua aumenta, las algas y plantas acuáticas también contribuyen a incrementar su cantidad, que durante el proceso de fotosíntesis fijan el carbono y desprenden el oxígeno, como resultado de las reacciones químicas que efectúan, completándose el ciclo del oxígeno en el mar. Un factor determinante de la cantidad de oxígeno disuelto en el agua del mar es la profundidad, siendo inversamente proporcionales por lo que en los grandes fondos marinos se encuentra áreas carentes de este gas (Carrillo, 2013). La distribución del oxígeno disuelto en el agua superficial del mar está vinculado a importantes procesos de circulación y mezclas, siendo el resultado de una mezcla de dos masas de agua exactamente saturadas de oxígeno, pero a temperaturas diferentes (Pizarro, 1967).

Existe evidencia que el valor mínimo para que la vida marina pueda existir es de 3 mg/L, por lo que los niveles de oxigenación en el sistema se encuentran dentro del rango (Carrillo, 2013).

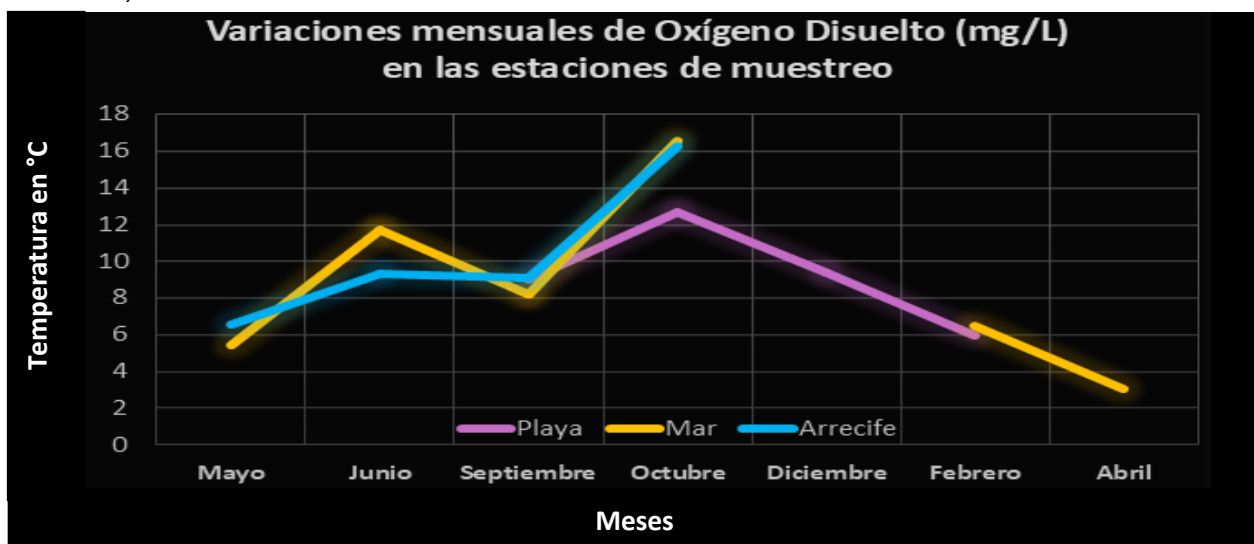


Gráfico 4. Variaciones de oxígeno disuelto en las tres estaciones durante un año.

Los cambios en el oxígeno disuelto a través del año se representan en el diagrama 7. La mayor parte del año, se mantuvo por debajo de los 12 g/mL y por encima de los 5 g/mL, sin embargo el rango en el que se registraron las concentraciones fue entre los 3 g/mL y los 17 g/mL.

Hubo una mayor dispersión en los registros de abril, puesto que sus valores oscilaron entre 3 g/mL y 13 g/mL. En el mes de octubre se reportaron las concentraciones de oxígeno disuelto más altas, siendo superiores a 13 g/mL. En el mes de junio, se puede observar una mayor homogeneidad en los registros, puesto que la caja es simétrica; en septiembre y mayo ocurre lo contrario, ya que se aprecia que la concentración del oxígeno es menor a 9 g/mL y 7 g/mL respectivamente.

Tanto las muescas y medias de los conjuntos de datos, no coinciden entre sí, sin embargo, la mediana coincide al menos en dos conjuntos de datos: 1) en junio, septiembre, diciembre y abril, y 2) mayo, octubre y febrero.

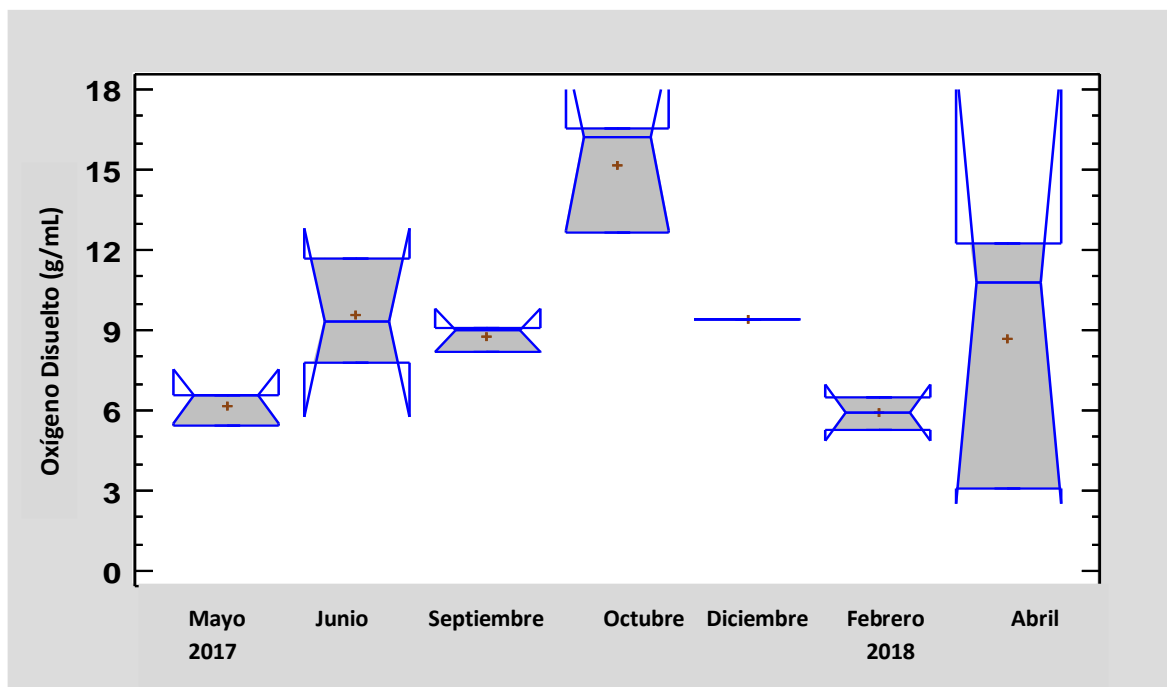


Diagrama 7. Oxígeno disuelto en el agua durante los meses de muestreo.

Al observar los las cajas en el diagrama 5, se evidencia que 4 de los 9 conjuntos de datos se solapan, pese a ello los datos restantes varían notoriamente por lo que podría decirse que su distribución es no normal. En todas las cajas se identifica un sesgo, excepto en la correspondiente al mes de febrero.

La prueba de Kolmogorov Smirnov demostró que la distribución de los datos era normal ya que el valor de P fue de 0.810017, sin embargo al llevar a cabo el estadístico de Levene, cuyo valor fue de 0.0060, se demostró que no había igualdad de varianzas, por lo que eran heterocedásticos. La prueba de Kruskal-Wallis determinó que no había diferencias estadísticamente significativas, ya que el valor de P fue de 0.05199, en la concentración de oxígeno disuelto durante los meses de muestreo.

Aunque los requerimientos de oxígeno disuelto para la vida de los animales marinos son variables y dependen principalmente de su adaptación biológica al medio (S/A, 2016), la mayoría de las especies marinas tienen umbrales mínimos de oxígeno que necesitan para sobrevivir (Sanz, 2017) por lo que los niveles pueden variar entre 0 y 18 g/mL, sin embargo el mínimo requerido para soportar la diversidad acuática sin necesidad de adaptaciones evolutivas más sofisticadas es de 2 g/mL (Peña, 2007).

Tabla 10. Resumen de las pruebas estadísticas para la comparación de oxígeno disuelto en el agua en los meses de muestreo.

Prueba estadística	Valor de P	Decisión
Kolmogorov-Smirnov	0.810017	Distribución Normal
Levene	0.0060	Heterocedásticos
Kruskal-Wallis	0.05199	No existen diferencias entre el oxígeno disuelto en el agua y los meses de muestreo

El diagrama 8 representa los cambios en la concentración de oxígeno disuelto en cada una de las estaciones de muestreo a lo largo de todo el año, aunque el rango fue de 3 a 17 g/mL, las concentraciones se mantuvieron la mayor parte del año fue menor a 9 g/mL.

En la estación de playa, los datos tuvieron una dispersión homogénea a través de los meses de muestreo; en cuanto al mar hubo una mayor dispersión de la concentración de oxígeno disuelto, habiendo una distribución entre 3 y 17 g/mL; finalmente en la estación de arrecife, se observó una tendencia a concentraciones de oxígeno superiores a los 10 g/mL.

En este caso las medias fueron muy similares entre sí oscilando entre 8 y 9 g/mL; se observó una gran similitud entre las medianas y medias de cada conjunto de datos, así como con las cajas que representan a las estaciones de muestreo.

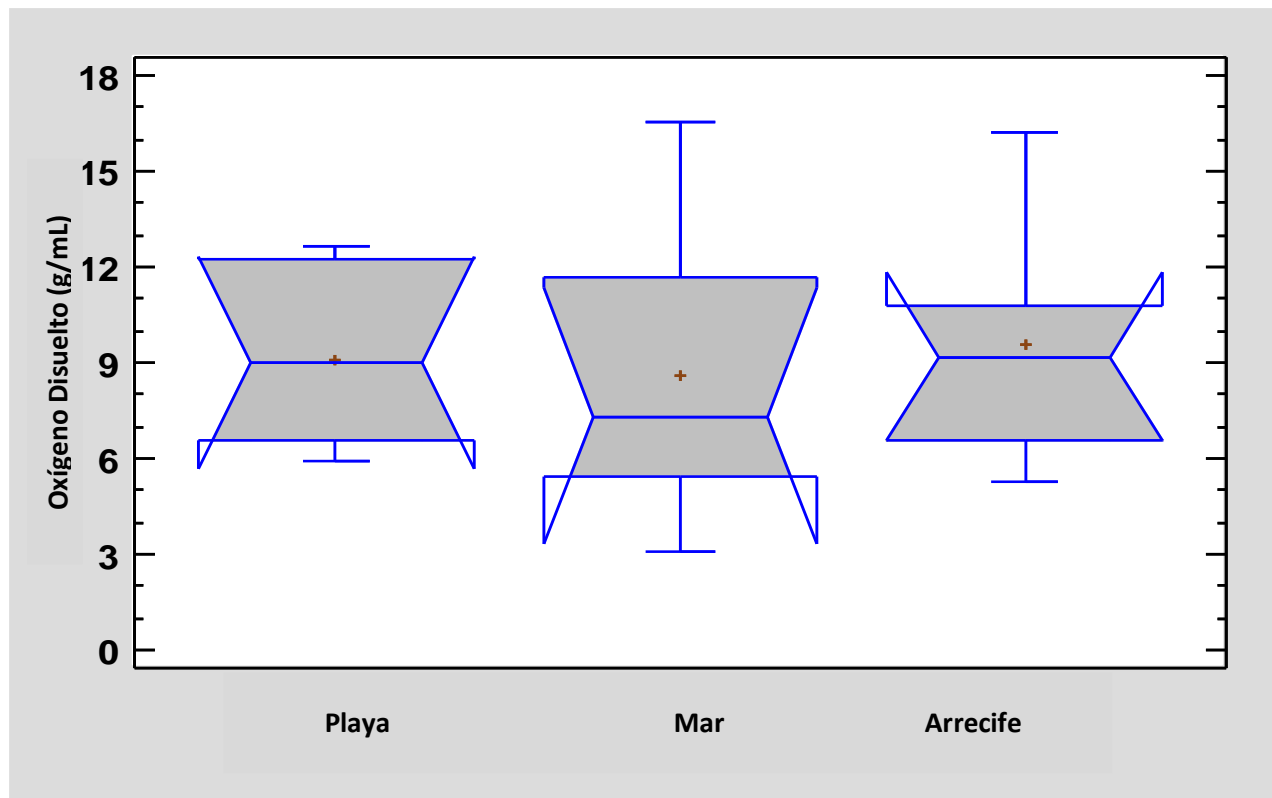


Diagrama 8. Concentración de Oxígeno Disuelto en el océano de las estaciones de muestreo.

La semejanza entre medias y medianas, así como la semejanza del nivel de las cajas permitieron inferir que la concentración de oxígeno disuelto en el océano tenía distribución normal, lo cual fue demostrado con la realización de pruebas estadísticas.

En este caso el estadísticos de Kolgomorv-Smirnov, demostró que la distribución de los datos era normal ($P=0.810017$). Al realizarse la prueba de Levene se probó que existía una igualdad de varianzas entre los datos registrados para la estación de playa, mar y arrecife, categorizándolos como homocedásticos ($P=0.4153$). Dado que se cumplieron los supuestos de normalidad, se procedió a realizar el Análisis de Varianza, que mostró que no existían diferencias estadísticamente significativas (con un significancia del 5%), entre la concentración de oxígeno disuelto en el agua de cada estación de muestreo: playa, mar y arrecife.

Aunque el oxígeno en los océanos tiene propiedades dinámicas y su concentración puede cambiar con la variabilidad natural del clima, diversas investigaciones han demostrado que la tasa de pérdida global de oxígeno parece estar excediendo el nivel de la variabilidad aleatoria de la naturaleza (Tech, 2017).

Tabla 11. Resumen de las pruebas estadísticas para la comparación de oxígeno disuelto en el agua en las estaciones de muestreo.

Prueba estadística	Valor de P	Decisión
Kolgomorov-Smirnov	0.810017	Distribución Normal
Levene	0.4153	Homocedásticos
ANDEVA	0.9083	No existen diferencias entre el oxígeno disuelto en el agua y las estaciones de muestreo

La **salinidad** (gráfico 5) en las estaciones de mar y arrecife tuvieron un comportamiento similar, sin embargo el valor más alto registrado fue de 40 UPS en la estación de arrecife durante junio, mientras que el más bajo fue en la playa de 25 UPS durante el mes de septiembre. Estos datos coinciden con la estación de verano, donde la temperatura tiende a subir y el régimen de precipitaciones es mayor. Cabe mencionar, que la estación de arrecife es una zona de alta evaporación, por lo que las sales quedan disueltas en la masa de agua; por el contrario, la playa es una zona de desembocadura de ríos y desagües, por lo que la sal es diluida en una mayor cantidad de agua (CONANP, 2017).

La salinidad posee gran importancia, desde una perspectiva biológica (por su influencia sobre los presión osmótica y los equilibrios iónicos) y consecuentemente con ello, sobre aspectos fisiológicos de los organismos vivos; como también, desde una perspectiva física al influir sobre la dinámica de los océanos en fenómenos tales como la circulación horizontal y vertical de las masas de agua en los mares (Salamanca y Schneider, 2013).

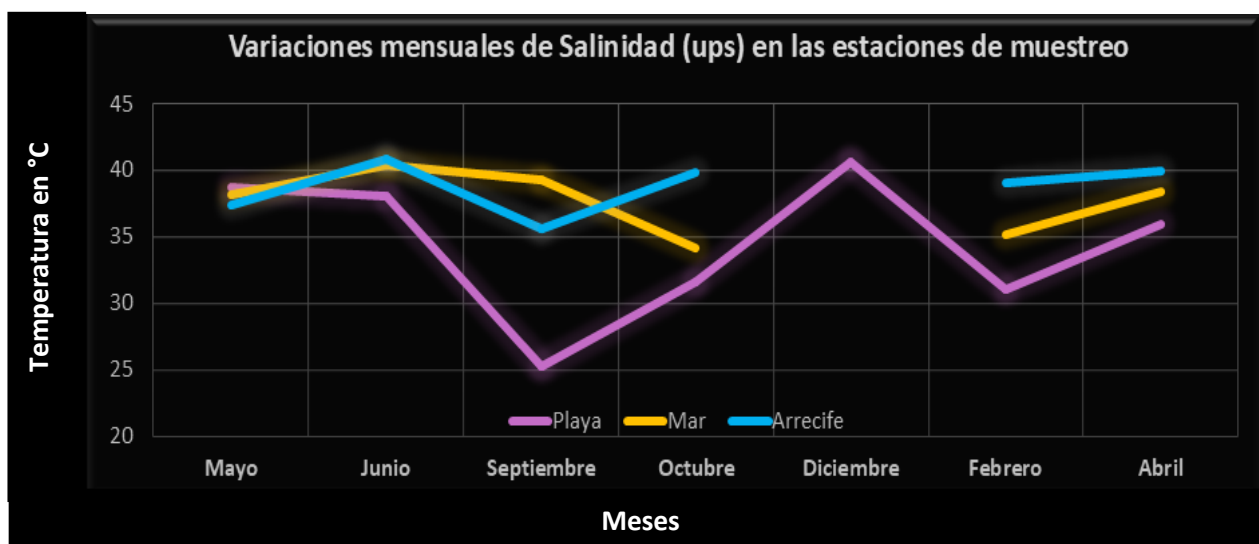


Gráfico 5. Registro de la salinidad en unidades prácticas de salinidad, durante un ciclo anual.

Las fluctuaciones de salinidad a lo largo del año de muestreo se representan en el diagrama 9, aunque se registraron valores de 25 UPS, la mayor parte del año la salinidad se mantuvo por arriba de 30 UPS.

En junio se registraron las concentraciones de sal más altas, en una brecha de 38 a 41 UPS; en el mes de septiembre la distribución de los registros de salinidad fue muy amplia, abarcando un rango de 25 a 39 UPS; pese a que en octubre también fue uno de los meses con mayor distribución de datos, la concentración de salinidad tendió a 35 UPS; en diciembre el registro de salinidad fue alto con 40 UPS. En febrero, se observó homogeneización de la concentración de sal, en un rango de 31 a 39 UPS, con una media de 35 UPS.

Las medias y medianas de los conjuntos de datos fueron heterogéneas, aunque en los meses de septiembre, octubre y diciembre fueron semejantes sin llegar a ser iguales, el mismo caso sucedió con las concentraciones de sal en junio, diciembre y abril.

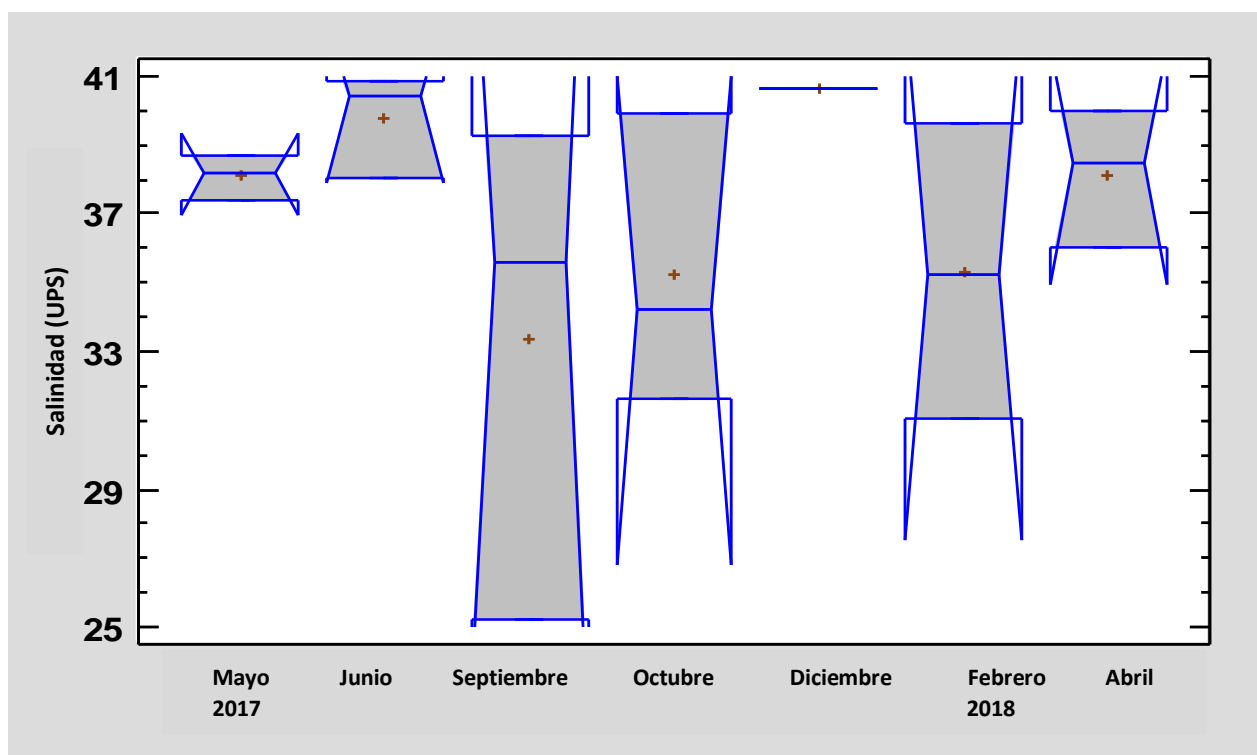


Diagrama 9. Concentración de Sal (UPS) durante los meses de muestreo.

Es evidente que las cajas se solapan lo que podría indicar que no existen diferencias entre ellas, al observar la simetría de éstas se infiere que la distribución de los datos es normal. El estadístico de Kolgomorov-Smirnov, demostró que las concentraciones de sal presentan distribución normal ($P=0.469915$); con la prueba de Levene se determinó que las varianzas eran iguales ($P=0.0633$), por lo que los datos eran homocedásticos. El Análisis de Varianza, indicó que no existen diferencias estadísticamente significativas ($P=0.4404$) -con una significancia del 5% de confianza- entre la salinidad del agua a través de los meses de muestreo.

Avendaño (2013) determinó que la salinidad típica del Golfo de México es de 36.5 UPS, ya que es un producto de la mezcla de del agua Subtropical Subperficial, sin embargo recalzó que el PNSAV ha desarrollado en un ecosistema terrígeno influenciado por la desembocadura de tres ríos, los cuales ejercen una importante variación en la salinidad, indicando que los valores altos de salinidad (>34 ups) son producidos por las áreas de alta evaporación generadas por los arrecifes de coral más cercanos a la zona conurbana de Veracruz-Boca del Río; es por ello que los valores de salinidad tienen grandes fluctuaciones puesto que las estaciones de muestreo se ven afectadas tanto por los ríos como por las zonas de evaporación.

Tabla 12. Resumen de las pruebas estadísticas para la comparación de la salinidad en los meses de muestreo.

Prueba estadística	Valor de P	Decisión
Kolgomorov-Smirnov	0.469915	Distribución Normal
Levene	0.0633	Homocedásticos
ANDEVA	0.4404	No existen diferencias entre la salinidad del agua y los meses de muestreo

En el diagrama 10, se puede identificar las oscilaciones de salinidad en las estaciones de muestreo a lo largo del año, el rango fue de los 25 UPS hasta los 41 UPS.

La estación de playa fue donde se registró la mayor dispersión de los datos en un gradiente de concentración de 25 a 41 UPS, tendiendo a valores superiores a los 36 UPS; en la estación de mar, la salinidad la mayor parte del año fue superior a los 37 UPS; mientras que las concentraciones más altas se registraron en la estación de mar dentro de un rango de 35 UPS a 41 UPS, con una media de 39 UPS, tendiendo a valores superiores a 40 UPS.

Las medias, medianas y muescas fueron diferentes entre sí con un mínimo de variación, observándose un ascenso jerárquico en las concentraciones de sal en cada una de las estaciones de muestreo, es decir, en playa (estación 1), se registró valor más bajo, seguido de mar (estación 2), mientras que en la estación de arrecife (estación 3), las concentraciones fueron más altas.

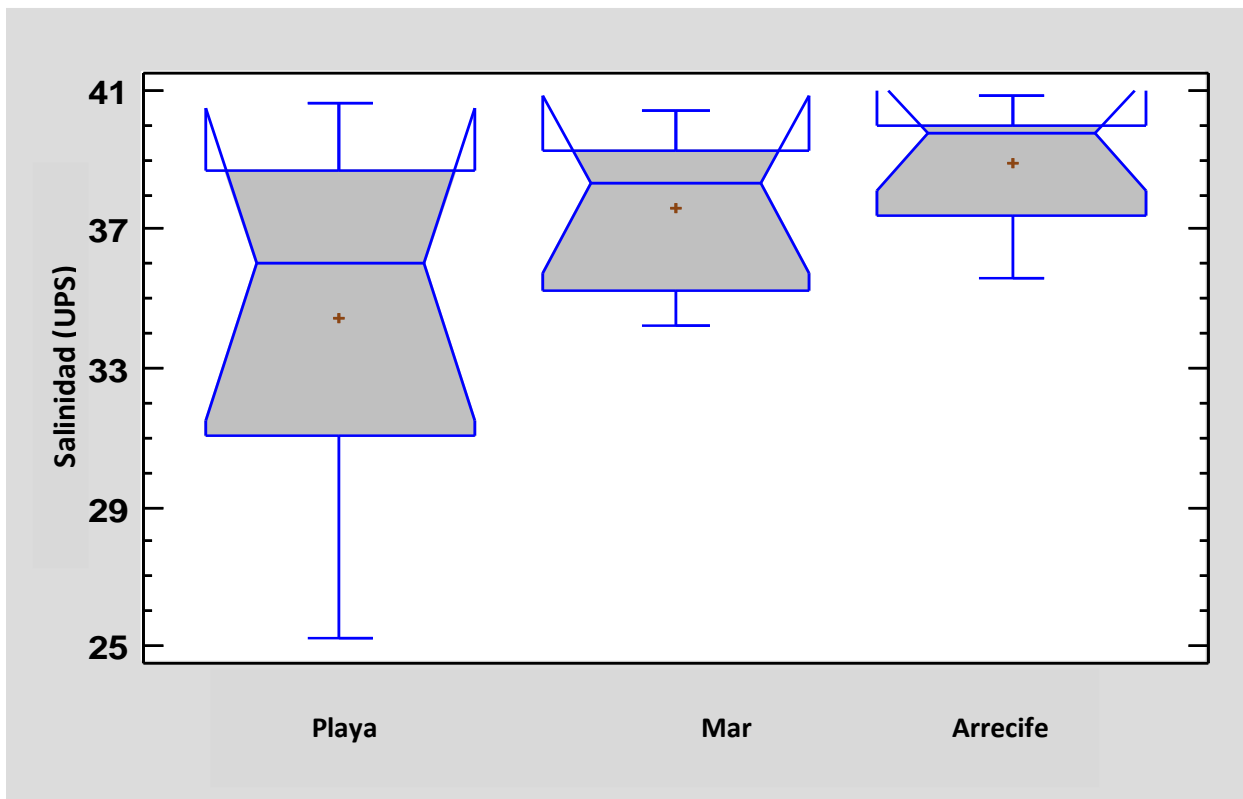


Diagrama 10. Fluctuaciones de Salinidad (UPS) en las estaciones de muestreo.

Debido a que las cajas presentan sesgos y son asimétricas, se puede indicar que la distribución de los datos es no normal. Respecto al solapamiento de las cajas, también se podría sugerir que no existen diferencias entre las concentraciones de sal en las estaciones, sin embargo es evidente que en cada una de ellas, existe una tendencia a cierto nivel de concentración.

La prueba de Kolmogorov-Smirnov, demostró que la distribución era normal cuyo valor de P fue de 0.469915. El estadístico de Levene, con un valor de P de 0.0193, demostró que no había una igualdad de varianzas entre las concentraciones de sal, por lo que los datos son heterocedásticos. La prueba de Kruskal-Wallis, cuya P fue de 0.205264 determinó que no existen diferencias estadísticamente significativas (con una significancia del 5%), en las concentraciones de sal en las estaciones de muestreo.

Con base en Avedaño (2013), la salinidad y densidad aumentan en las estaciones que presentan menor temperatura, debido a que éstas se encuentran alejadas de la influencia de los ríos. Así mismo los valores de salinidad, temperatura y densidad presentes en el PNSAV, corresponden a dos masas de agua: una es la masa de Agua Costera (AC) y la otra es la masa de Agua Diluida (AD).

Tabla 15. Resumen de las pruebas estadísticas para la comparación de la salinidad en las estaciones de muestreo

Prueba estadística	Valor de P	Decisión
Kolmogorov-Smirnov	0.469915	Distribución Normal
Levene	0.0193	Heterocedásticos
Kruskal-Wallis	0.205264	No existen diferencias entre la salinidad del agua y las estaciones de muestreo

ANÁLISIS DE CORRELACIÓN SIMPLE

En la tabla 15, se reportan la correlación que existen entre los dos grupos con mayores densidades (bivalvos y copépodos), densidad total de organismos y parámetros hidrológicos (Temperatura ambiente, temperatura del agua, pH, Oxígeno Disuelto –O.D.-, salinidad).

En color verde se señalan los números con significancia estadística (<0.05), y en el cuadro negro destaca la pareja con una relación más estrecha: la temperatura ambiente con la temperatura del agua. Esta relación se explica debido a que la temperatura superficial del océano varía principalmente por la latitud y la temperatura del aire (Helmke, 2003), el agua que se transporta en la atmósfera está muy ligada a la circulación atmosférica y a los patrones de temperatura y su distribución no es uniforme a nivel vertical ni horizontal. Las fluctuaciones más rápidas son debidas a la turbulencia cerca de la superficie, relacionada con los vientos y la evaporación, las nubes trasladadas por vientos son otra forma de redistribución de vapor. Hay patrones estacionales, así como brisas de mar a tierra y de tierra a mar que ocurren a lo largo del día en zonas costeras. Hay eventos que, con una periodicidad mayor en los que el movimiento de masas de agua de alta temperatura altera el acoplamiento océano-atmósfera en términos de zonas de evaporación y precipitación, y modifica temporalmente los patrones de humedad y lluvias en diversas zonas del planeta (Martínez, 2007).

Las fluctuaciones en la temperatura superficial del mar pueden tener muchas implicaciones para las especies y ecosistemas marinos. Cuando la región es el hábitat del segundo mayor sistemas de arrecifes de barrera y en donde esos arrecifes coralinos se han blanqueado en la última década, se debe reconocer que los cambios en la temperatura de la superficie de los océanos podrían tener cambios adversos en los arrecifes y la pesca de arrecife de la cual dependen los habitantes de la región (Cherrington *et al.*, 2011).

Tabla 15. Análisis de correlación simple entre factores bióticos y abióticos.

	Bivalvos	Copépodos	Total org.	T° ambiente	T° agua	pH	O.D.	Salinidad
Bivalvos		-0.1475	0.4258	0.2784	0.3828	-0.1917	-0.1468	0.2919
Copépodos	-0.1475		0.6189	0.1309	0.3988	-0.1096	0.2189	-0.1909
Total de org.	0.4258	0.6189		0.2834	0.5537	-0.2094	0.1397	0.1949
T° ambiente	0.2784	0.1309	0.2834		0.8164	-0.1999	-0.0383	-0.1041
T° agua	0.3828	0.3988	0.5537	0.8164		-0.1957	-0.0018	-0.0616
pH	-0.1917	-0.1096	-0.2094	-0.1999	-0.1957		0.5886	-0.1514
O.D.	-0.1468	0.2189	0.1397	-0.0383	-0.0018	0.5886		-0.0533
Salinidad	0.2919	-0.1909	0.1949	-0.1041	-0.0616	-0.1514	-0.0533	

La segunda pareja cuya relación es más estrecha con respecto a las demás parejas, es el total de organismos y los copépodos. En el gráfico 1, se representan las densidades totales de cada uno de los taxones encontrados, siendo los copépodos el grupo con mayor representatividad al contar con 1300 organismos por metro cúbico. De acuerdo con Rosales (2016) dentro de los microcrustáceos, la Subclase Copépoda, llega a representar entre el 70% y el 90% de la biomasa zooplanctónica, su importancia radica en que conforman un elevado porcentaje del eslabón de los consumidores primarios y en menor porcentaje el eslabón de los consumidores secundarios, por lo que su gran abundancia adquiere un importante papel ecológico; así mismo, en el aspecto productivo pueden formar agregaciones con elevados valores de biomasa; y en cuanto a lo económico forman parte de la alimentación de varios peces.

La relación entre el oxígeno disuelto y el pH se ve afectada por un elemento más, el CO₂: con el consumo de CO₂ por fotosíntesis o por fuga hacia la atmósfera la concentración de iones hidrógeno (H⁺) disminuye, por lo que el pH aumenta; mientras que cuando se

aumenta el CO_2 , por respiración o por aporte externo, la concentración de H^+ aumenta y el pH disminuye. El agua de mar en equilibrio con el CO_2 , atmosférico es ligeramente alcalina, con un pH de 8.1 a 8.3, sin embargo, el pH puede aumentar en las aguas superficiales mediante el consumo de CO_2 a través del proceso de fotosíntesis, aunque normalmente no excede 8.4. Por debajo de la zona eufótica o zona iluminada, el CO_2 aumenta por respiración; por debajo de algunos cientos de metros de profundidad también aumenta por disolución de exoesqueletos de carbonato de calcio (Álvarez, 2007).

Se observó estrecha correlación entre la temperatura del agua y la densidad zooplanctónica, de acuerdo con un artículo publicado por National Geographic en 2010, los ecosistemas marinos tienen mayor sensibilidad al mínimo cambio de temperatura, esto conlleva a perjudicar a la diversidad que ahí habita, siendo el coral el organismo más vulnerable a las fluctuaciones de temperatura. Sin embargo, otro grupo de organismos afectado por estos cambios, es el zooplancton (que como se ha mencionado es un eslabón extremadamente importante en la base de la cadena alimenticia), ya que diversas investigaciones han demostrado que la tasa de reproducción es significativamente inferior cuando aumenta la temperatura en los océanos. Las consecuencias serían una reacción en cadena al alterar el ciclo vital de los organismos que se alimentan de ellos, lo que a su vez provoca una escasez de alimentos en los depredadores superiores.

Con lo que respecta a las correlaciones entre los factores restantes, es importante mencionar que pese a que no existieron evidencias estadísticas con los resultados obtenidos durante esta investigación, hay diversos estudios que prueban lo contrario (ejemplo de ello es la relación que existe entre la temperatura del agua y el oxígeno disuelto, la temperatura del agua y salinidad, o pH y temperatura del agua), que serán descritos brevemente en los párrafos siguientes. Cabe mencionar que son trabajos realizados por más de un año, y la medición de sus parámetros considerados se realiza con equipos más

sofisticados, aunado a que esto les permite anexar variables no consideradas, tales como corrientes, mareas, vientos, etc., los cuales ejercen una gran influencia en la dinámica oceánica. Desde otra perspectiva, el **Análisis de Correlación Canónica**, demostró que ninguno de los conjuntos (densidad total de organismos, grupos más abundantes y parámetros hidrológicos) tienen una correlación estadísticamente significativa con un nivel de confianza del 95%

De acuerdo con Tech (2017), existe una cercana relación entre la temperatura del agua y el oxígeno disuelto, ya que la mayor parte del oxígeno en el océano es absorbido por la atmósfera en la superficie o creado por la fotosíntesis del fitoplancton; posteriormente las corrientes oceánicas mezclan el agua que posee concentraciones más altas de oxígeno con agua subterránea. Sin embargo el aumento de las temperaturas del agua del océano cerca de la superficie lo han hecho más insumergible y en el caso de las aguas superficiales cálidas, más difícil de mezclarse con las aguas frías subterráneas, que considerando la fusión del hielo polar ha añadido más agua dulce a la superficie del océano, factor que dificulta la mezcla natural y conduce a una mayor estratificación.

Marroquín en 2014, simplificó la relación entre salinidad y temperatura de la siguiente manera: en los mares tropicales en los que el calentamiento es máximo debido a la elevada irradiación solar, la fuerte evaporación (se evapora el agua pero no la sal) genera masas de agua muy saladas, que se hunden al ser más densas; al igual que ocurre en las zonas polares, especialmente en el entorno de la Antártida, pues al congelarse el agua se desprende de toda su sal (se congela el agua pero no la sal) y se precipita hacia el fondo en forma de una corriente densa, salada y fría. Por el contrario, en el Pacífico, las aguas pierden salinidad, se “dulcifican” y se vuelven más ligeras, ascendiendo lentamente a la superficie.

Todo esto genera la gran corriente termohalina, causada por cambios en la temperatura (efectos térmicos) y en la salinidad (efectos halinos), circulación que recorre todos los

océanos y que es una pieza clave del clima terrestre; cabe mencionar que la temperatura y la salinidad determinan la densidad del agua de mar, y es esa diferencia de densidad la que impone la estratificación (distribución en capas) del agua y la que fundamentalmente causa los grandes desplazamientos.

La correlación del pH y la temperatura del agua se explica porque en ausencia de procesos biológicos, el valor del pH del océano llega a ser de 8.10 ± 0.02 , independientemente de la temperatura. Este es el pH obtenido cuando el dióxido de carbono, en forma de gas como ácido carbónico, y los iones carbonato o bicarbonato alcanzan el equilibrio con el CO_2 atmosférico. El pH permanece relativamente constante con respecto a la latitud porque a mayor temperatura se incrementa la disociación del bicarbonato, pero igualmente disminuye la solubilidad. En general, el pH se parece a la temperatura porque, en la zona eufótica, la radiación solar calienta el agua y la fotosíntesis utiliza el CO_2 simultáneamente para aumentar el pH (Hernández, *et al.*, 2003).

Como anteriormente se mencionó, la insuficiencia de datos no permitió establecer ni determinar la correlación que existe entre factores abióticos (algunos de ellos no considerados en la investigación) y la densidad zooplanctónica; a pesar de que los estudios realizados sobre esta índole son escasos, existen algunos de ellos que no sólo permiten identificar el grado de relación entre éstos, sino que también permiten reconocer específicamente qué parámetros o factores afectan a los taxones que componen al zooplancton, tal como el realizado por Jiménez y Bonilla en 1980.

Con base en estos autores, los copépodos presentan sus máximos de abundancia en las áreas de mayor concentración de fitoplancton y su densidad disminuye hacia las proximidades de las aguas costeras. Pero de manera global, los cambios en la densidad del zooplancton son más relevantes en la zona nerítica que en la oceánica, ya que estas áreas están sujetas a notables invasiones de especies alóctonas. El grupo de los eufasidios, presentan sus máximos de densidad en las áreas de mayor concentración de fitoplancton, sin embargo, su presencia o ausencia es influenciada por el gradiente térmico, ya que prefieren aguas frías. Los quetognatos, presentan mayor porcentaje en las áreas cercanas a la costa, en aguas con temperaturas mayores a los 22°C . Las larvas de

crustáceos, también están ligadas a aguas más frías, por lo que en las aguas de transición así como en las proximidades de la costa, disminuye su densidad. En cuanto a los huevos y larvas de peces, son afectados por la temperatura del agua ya que modifica la actividad metabólica, la disponibilidad de alimento planctónico, y su ubicación en la distribución horizontal oceánica, siendo más abundantes en aguas oceánicas.

En 2016, Gaona demostró que la salinidad, el pH y la temperatura eran los factores abióticos que tenían mayor incidencia en la densidad del zooplancton en la estación de playa: la salinidad, afectó en la presencia y abundancia de huevos de invertebrados, larvas de equinodermos y calanoides; el pH influyó en la densidad de copépodos, foraminíferos y ctenóforos; mientras que el oxígeno disuelto afectó en menor medida a la comunidad zooplanctónica, repercutió en organismos tales como sifonóforos, ostrácodos, y poliquetos. Esta misma autora determinó que en la estación de arrecife, los factores predominantes fueron la temperatura y la cantidad de oxígeno disuelto, siendo éste último el factor decisivo para la densidad de copépodos, varios tipos de larvas, bivalvos, decápodos, y huevos de invertebrados; mientras que la temperatura sólo afectó la densidad de algunas larvas de crustáceos. La salinidad influyó en anfípodos, y el pH determinó la abundancia de larvas de moluscos y sifonóforos.

CONCLUSIONES

- ✓ Durante el ciclo anual, en el Sistema Arrecifal Veracruzano se reportaron temperaturas ambientes entre los 19°C y los 31°C; para la temperatura del agua fue de 20° a 31°; el pH osciló entre el 7.2 y el 8.5; el rango del oxígeno disuelto fue entre 3 y 18 mg/L. La salinidad se registró entre 25 y 45 ups.
- ✓ La densidad del zooplancton osciló entre los 70 y 225 org/m³. La estación de arrecife presentó una mayor densidad, siendo mayo el mes con mayor presencia zooplanctónica. Los grupos más abundantes en las tres zonas de estudio durante los meses de muestreo fueron los copépodos, tintínidos, bivalvos y gasterópodos.
- ✓ El Análisis de Correlación Simple demostró que la temperatura de agua y la temperatura ambiente se encuentran directamente relacionadas, ya que al aumentar la primera, también aumentará la segunda.
- ✓ El Análisis de Correlación Canónica demostró que no existe una relación significativa entre el total de organismos, grupos más abundantes, y los parámetros hidrológicos.

REFERENCIAS

- Álvarez, C., (2006). "Zooplankton de los sistemas estuarinos de Chantuto y Panzacola, Chiapas, en épocas de secas y lluvias" en Hidrobiología. Vol 16, p.p 172-175
- Álvarez, S., (2007). "Carbono en los ecosistemas acuáticos de México". SEMARNAT: México. P.p. 11-28
- Álvarez, C., Ordoñez, U., Valdés, D., Almaral, A., y Uicab, A., (2007). "Estudio anual del zooplankton: composición, abundancia, biomasa e hidrología del norte de Quintana Roo, mar Caribe de México". En Revista Mexicana de Biodiversidad. Vol 78, p.p 421-430
- Avendaño, J., "Variación hidrológica intermensual del Sistema Arrecifal Veracruzano". (Tesis de posgrado). Universidad Veracruzana: México
- Badii, M. H., Castillo, J., Cortez, K., Wong, A., y Villalpando, P., (2007). "Análisis de correlación canónica (ACC) e investigación científica" en Innovaciones de negocio. Vol 4, p.p 405-422
- Barba, A., Ortiz, L., Salas, D., y González, C., (2015). "Aportes hacia el conocimiento del Sistema Arrecifal Veracruzano: hacia el Corredor Arrecifal del Suroeste del Golfo de México". Universidad Autónoma de Campeche: México. p.p 318
- Boltovskoy, D., (1981). "Atlas del zooplankton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplankton marino". INIDEP: Argentina
- Breña y Jacobo, (2006). "Principios y fundamentos de la hidrología superficial". Ed. 1. UAM: México
- Carrillo, P., (2013). "Comportamiento del oxígeno disuelto en la columna de agua de las estaciones fijas ecuatorianas 1988-2013". En Acta Oceanográfica del Pacífico. Vol 18. P.p 41-48

- Cherrington, E., (2011). "Tendencias de la temperatura superficial del océano en el mar Caribe y el océano Pacífico eeste". SERVIR: México. p.p. 10
- CONAGUA, (2017). "Reporte del clima en México". N° 12. Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional: México
- CONANP, (2017). "Programa de Manejo Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano". 1ra Ed. SEMARNAT: México
- Contreras, 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 grado). Universidad Veracruzana: México
- De Boyd, L., (1996). "A Guide to Marine Coastal Plankton and Marine Invertebrate Larvae". 2da Ed. Kendall / Hunt Publishing Company: USA
- Escribano, R. y Castro, L., (2013). "Plancton y Productividad" Capítulo 14 en Biología Marina y Oceanografía : Conceptos y Procesos. CONA: Chile
- Gaona, A., (2016), "Comparación del zooplancton marino entre una zona de playa y una arrecifal en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano". (Tesis de grado). UNAM: México
- Góngora, I., (2014). "Visión del plancton en el arrecife Santiaguillo, Veracruz". (Tesis de grado). UNAM: México
- Harrould, E., y Savitz, J., (2009). ""Acidificación: ¿cómo afecta a los océanos?". OCEANA: Estados Unidos de América. P.p: 6-9
- Hazarmabeth, I., (2013). "Métodos estadísticos exploratorios y confirmatorios para análisis de datos, un enfoque biométrico". UNAM: México
- Helmke, P., (2003). "Remote sensing of the Northwest African upwelling and its production dynamics". (Tesis de posgrado). Universit Breemen: Alemania. P.p. 165

- Hernández, J., Zirino, A., Marinone, S., Canino, R., y Galindo, S., (2003). “Relación pH-densidad en el agua de mar”. En Rev. Ciencias del Mar. Vol 29. N°4
- INECOL, (2010). “Veracruz, mar de arena”. Secretaría de Gobierno del Estado de Veracruz: México. p.p 14-31
- Jiménez, R., y Bonilla, D., (1980). “Composición y biomasa del Plancton en el Frente Ecuatorial”. Acta Oceanográfica del Pacífico. Ecuador. P.p 18
- Lanza, G., y Cáceres, C., (1999). “Diccionario de hidrología y ciencias fines”. 1ra Ed. UNAM: México. p.p. 77
- Lemus, J., Torres, M., y Frías, M., (1997). “El océano y sus recursos”. 2da Ed. Fondo de Cultura Económica: México.
- Marques, M.J., (2001). “Estadística Básica un enfoque no paramétrico”. FES Zaragoza: México: 105
- Martínez, A., (2007). “El agua en la atmósfera”. En Revista Ciencia. Vol. 58. P.p 117
- Okolodkov, Y., *et al.*, (2011). “Ciclo anual de la biomasa de planctón en el parque nacional sistema arrecifal veracruzano, suroeste del golfo de méxico” en Zooplancton & Fitoplancton, Capítulo 3-. P.p 1-26
- Peña, E., (2007). “Calidad de agua, trabajo de investigación: oxígeno disuelto”. ESPL: Ecuador. P.p. 1-6
- Pérez, V.,(2017). “Comparación del zooplancton en la zona occidental y oriental de la Isla Santiagullo en el Sistema Arrecifal Veracruzano”. (Tesis de grado) UNAM: México
- Pérez, M., y Romero, J., (2001). “Prácticas de Ecología Oceánica”. 1ra Ed. Text Guía: Barcelona, p.p 43

- Pizarro, M., (1967). “Distribución del oxígeno disuelto en la zona oeste de la convergencia subtropical del Atlántico Sud”. En Revista del Instituto de oceanográfico de Sau Paulo. Vol. 16. P.p.67-85
- Rocha, A., Chávez, R., Ramírez, A., y Cházaro S., (2010). “Comunidades: métodos de estudio”. FES Iztacala: México: 201-203
- Rosales, S., (2016). “Diversidad, distribución y abundancia de la subclase copeoda, H. Milne-Edwards, 1840, en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano”: (Tesis de posgrado). FES Iztacala: UNAM. P.p 1
- Salamanca, M., y Schneider, W., (2013). “Biología marina y oceanografía: conceptos y procesos”. Consejo Nacional del libro y lectura: Chile. P.p. 149-157
- Suárez, E., y Ordoñez, U., (2013). “Las investigaciones del zooplancton marino en el sureste de México (1985-2010): logros y perspectivas institucionales”. En Revista Sociedad y Ambiente. N° 1: 96-112
- Tunnel, E., Chávez, K., y Withers, S., (2010). “Arrecifes Coralinos del sur del Golfo de México”. Centro interdisciplinario de Ciencias Marinas: México
- Vera, R., (2017). “Variación del nivel del mar en el Sistema Arrecifal Veracruzano (y su relación con parámetros hidrológicos y meteorológicos)” (Tesis de grado). UNAM: México

REFERENCIAS WEB

- CONABIO, (2013). “Ficha técnica para la evaluación de los sitios prioritarios para la conservación de los ambientes costeros y oceánicos de México” el 03-03-18. CONABIO. Sitio web: http://www.conabio.gob.mx/gap/images/8/85/59_Sistema_Arrecifal_Veracruzano.pdf

- Marroquín, J., (2014). “El calor y la sal mueven los océanos”. 25-02-19. Diario Web Hoy. Sitio web: <http://blogs.hoy.es/ciencia-facil/2014/03/21/el-calor-y-la-sal-mueven-los-oceanos/>
- MCZBase, (2018). “MCZBASE: the database of the zoological collections”. 2018. Harvard University. Sitio Web: <https://mczbase.mcz.harvard.edu/>
- National Geographic, (2010). “El aumento de la temperatura del mar”. 25-02-2019. National Geographic. Sitio web: <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/el-aumento-de-la-temperatura-del-mar>
- Orellana, L., (2008). “Análisis e interpretación de datos”. 05-02-19. UAEM. Sitio web: http://www.dm.uba.ar/materias/estadistica_Q/2011/1/clase%20regresion%20simple.pdf
- S/A, (2016). “Oxígeno disuelto y la vida en el mar”. 21-02-19. Muy interesante. Sitio web: <http://www.cienciasdelmar.pucv.cl/nota/el-oxigeno-disuelto-y-la-vida-en-el-mar/>
- Sanz, E., (2016). “Los océanos pierden oxígeno”. 21-02-19. Muy interesante. Sitio web: <https://www.muyinteresante.es/ciencia/articulo/los-oceanos-pierden-oxigeno>
- SEMARNAT, (2017). “Parques Nacionales de México”. 09-04-18. SEMARNAT. Sitio web: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/parques-nacionales-de-mexico?idiom=es>
- SOMPAC, (2018). “Plancton”. 09-04-18. Sociedad Mexicana de Plancton A.C. Sitio web: <http://sompac.org/>
- Tech, G., (2017). “El oxígeno disuelto en los océanos, en declive los últimos 20 años”. 09-01-18. Smart Water Magazine. Sitio Web: <https://www.iagua.es/noticias/ep/17/05/05/oxigeno-disuelto-oceanos-declive-ultimos-20-anos>