



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

**Comparación de la composición, abundancia y
diversidad del fitoplancton en una columna de agua, al
este de la Isla Santiaguillo, Veracruz, México.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

P R E S E N T A:

DIEGO MAYORGA ROJAS

Director de tesis: Biól. Angélica Elaine González Schaff



Ciudad de México, Marzo 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

A mis hermanos

Karla y Adrian

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por brindarme los recursos académicos y culturales para formarme como biólogo.

A la FES Zaragoza por ser mi segunda casa, porque en sus espacios se me brindó la oportunidad de recibir, día con día, una formación académica de gran valor y calidad.

A mi directora y profesora la Biól. Angélica Elaine González Schaff por aceptarme en su laboratorio y brindarme la confianza para realizar este proyecto, por todas las enseñanzas, apoyo y paciencia. Indudablemente tiene mi completa admiración, respeto y cariño.

A mis compañeros del laboratorio de Ecología Marina, Viviana, Kelly, Stephanie. Gracias por acompañarme en este largo proceso.

A mis amigos de la Facultad Beatriz, Brian, Carlos, Frida, Federico, Jael, Isaí y Mildred por estar conmigo a lo largo de toda la carrera, por todos los buenos momentos que pasamos tanto en la Facultad como en campo y su amistad tan sincera.

Alex por apoyarme, aconsejarme y acompañarme. Por todo lo que hemos pasado juntos, lo que hemos aprendido y compartido, pero sobre todo por tu inigualable amistad.

A Frida, tu sola existencia me hizo darme cuenta de lo verdaderamente importante en la vida. Tu sonrisa siempre fue el mejor remedio para cualquier complicación.

A Diego por su apoyo, comprensión y gran amistad.

A Brian por el apoyo para cumplir con este objetivo de vida, su amistad y confianza.

A mis padres Leticia y Juan Carlos, siempre les estaré agradecido por impulsarme a cumplir mis metas y confiar en mí, pero sobre todo a disfrutar de todos los matices de la vida. Lo que hoy soy es debido a ustedes.

A mi comité revisor, por su apoyo con sus comentarios, sugerencias y enseñanzas.

Contenido

Resumen.....	8
Introducción	9
Antecedentes.....	11
Área de estudios	12
Hidrología.....	14
Oceanografía	15
Justificación	18
Objetivo general.....	19
Objetivos particulares.....	19
Método.....	20
Trabajo en campo	20
Trabajo de laboratorio	21
Trabajo de gabinete	22
Resultados.....	24
Factores ambientales.....	24
Grupos taxonómicos presentes	31
Discusión de resultados	46
Conclusiones.....	53
Literatura citada.....	55
Anexo I. Fotografías de los organismos.....	62

Figuras

Figura 1. Plano de ubicación del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (DOF,2012).....	12
Figura 2. Polígono del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano que incluye la ubicación del sitio de muestreo. Tomado de Aguilera-Arias 2012.....	20
Figura 3. Valores de temperatura ambiental registrados en cada una de las fechas de muestreo.....	24
Figura 4. Valores de temperatura del agua registrados en cada una de las fechas y profundidades de muestreo.....	25
Figura 5. Valores de temperatura del agua registrados en las diferentes profundidades de muestreo.....	26
Figura 6. Valores de salinidad registrados en cada una de las fechas y profundidades de muestreo.....	27
Figura 7. Valores de salinidad registrados en las diferentes profundidades de muestreo.....	28
Figura 8. Valores de pH registrados en cada una de las fechas y profundidades de muestreo.....	29
Figura 9. Valores de pH registrados en las diferentes profundidades de muestreo.....	29
Figura 10. Valores de oxígeno disuelto registrados en cada una de las fechas y profundidades de muestreo.....	30

Figura 11. Valores de oxígeno disuelto registrados en las diferentes profundidades de muestreo.....	31
Figura 12. Abundancia relativa de géneros durante todos los muestreos.....	36
Figura 13. Abundancia relativa de especies en el mes de junio del 2017.....	37
Figura 14. Abundancia relativa de especies en el mes de septiembre del 2017...38	
Figura 15. Abundancia relativa de especies en el mes de octubre del 2017.....	39
Figura 16. Abundancia relativa de especies en el mes de febrero del 2018.	40
Figura 17. Densidades totales (org/m ³) a través del tiempo.....	41
Figura 18. Densidad total entre los meses de muestreo.	42
Figura 19. Densidad total entre las profundidades de muestreo.	43
Figura 20. Diferencias estadísticamente significativas entre las densidades registradas en cada fecha de muestreo.	44
Figura 21. Valores de la diversidad (alfa) de cada una de las fechas de muestreo.	44
Figura 22. Valores de la diversidad (alfa) de cada una de las profundidades de muestreo.....	45

Tablas

Tabla 1. Pruebas estadísticas para la comparación de la temperatura ambiental en las diferentes fechas de muestreo con un nivel de confianza del 95%.	24
Tabla 2. Pruebas estadísticas para la comparación de la temperatura del agua en las diferentes profundidades con un nivel de confianza del 95%.	25
Tabla 3. Pruebas estadísticas para la comparación de la salinidad en las diferentes profundidades con un nivel de confianza del 95%.	26
Tabla 4. Pruebas estadísticas para la comparación del pH en las diferentes profundidades con un nivel de confianza del 95%.	28
Tabla 5. Pruebas estadísticas para la comparación del oxígeno disuelto en las diferentes profundidades con un nivel de confianza del 95%.	30
Tabla 6. Lista taxonómica de las especies encontradas utilizando la clasificación de De Boyd (1977), Tomas (1997) y Alonso-Rodríguez, et al., (2008).	35
Tabla 7. Pruebas estadísticas para la comparación de las densidades totales de organismos encontrados con un nivel de confianza del 95%.	43

Resumen

En este trabajo se realizó una comparación de la composición, abundancia y diversidad del fitoplancton encontrados en una columna de agua de 20 m de profundidad al este de la isla Santiaguillo, en la zona de influencia oceánica dentro del Sistema Arrecifal Veracruzano. Este estudio se llevó a cabo de junio 2017 a febrero 2018. Las muestras se obtuvieron con una botella Van Dorn horizontal de 3 L de capacidad a una profundidad de 0.3, 1, 5, 10, 15 y 20 metros. Se realizaron análisis exploratorios y pruebas estadísticas. Se identificaron 4 *phylum*, 6 clases, 19 ordenes, 22 familias, 26 géneros y 47 especies. Las densidades totales más altas se obtuvieron durante junio, la cual fue de 2,762,200 org/m³ y septiembre de 2,046,500 org/m³, mientras que las menores se registraron en febrero de 1,453,334 org/m³. El análisis de Kruskal-Wallis demostró que había diferencias entre las densidades totales y las fechas de muestreo, lo cual es un reflejo de las condiciones ambientales de la zona de estudio. Los valores de densidad registrados por profundidad muestran que las densidades a 15 y 20 m fueron menores que los que se registraron más cerca de la superficie. Los géneros más representativos fueron *Chaetoceros* que es el más abundante con el 22.1%, *Trichodesmium* con 12.5% y con el 10% *Prorocentrum*, los otros géneros representativos por su porcentaje de especies fueron *Pleurosigma*, *Navicula*, *Coscinodiscus* y *Pseudo-Nitzschia*.

Introducción

En el ecosistema marino, el plancton se define como cualquier biota pequeña (micrómetros a centímetros) que habitan en la columna de agua y se encuentran a merced de las corrientes (Suthers *et al.*, 2009). El plancton se divide principalmente en fitoplancton y zooplancton (Badillo *et al.*, 2010).

El fitoplancton es un conjunto de microorganismos, compuesto en su mayoría por especies foto autotróficas, pertenecientes a varios linajes evolutivos y adaptadas a la suspensión en el agua. (Harris, 1986; Graham *et al.*, 2009; Reynolds, 2006; Esteves & Suzuki, 2011), es el principal sintetizador de la materia orgánica, por lo que constituye el primer nivel trófico de la red alimentaría (Rao, D. S. 1976). Generalmente presenta un ciclo anual previsible, aunque algunas especies, como las cianobacterias, pueden proliferar excesivamente (Vaulot, 2006).

El fitoplancton es afectado por las corrientes, es un buen indicador de la alta o baja productividad en el mar; viven asociados a las capas superficiales iluminadas por la acción solar y sus procesos bioquímicos, por lo cual complican su interpretación ecológica, sobre todo cuando ocurren cambios en el ecosistema. (Mann & Lazier, 1991). Los fenómenos de productividad varían con respecto a la distancia de la costa, aumentando con su cercanía por la influencia de descargas continentales (Müller-Karger & Walsh, 1991).

Su distribución en la columna de agua está regulada principalmente por la incidencia de la luz, la temperatura, la disponibilidad de nutrientes, la competencia, la herbivoría

y la dinámica hidráulica (Reynolds, 1980; Rhee, 1982; Margalef, 1983; Reynolds, 2006).

Para enfrentar las diferentes expresiones del hábitat en un ambiente, los organismos del fitoplancton poseen una serie de adaptaciones de forma o rasgos que se asocian a la denominada morfología funcional (Margalef, 1978; Brasil & Huszar, 2011).

La estratificación estacional de las columnas de agua determina la disponibilidad general de los recursos como la luz y los nutrientes necesarios para el crecimiento del fitoplancton (Diehl, 2002). La profundidad de las capas de mezcla afecta la producción primaria mediante su exposición a la luz y sedimentación, lo que modifica la mortalidad (Diehl 2007; Jäger *et al.*, 2008).

La estratificación estacional puede ser afectada por eventos atemporales como lluvias o vientos fuertes, lo que produce disturbios en las dinámicas del fitoplancton ya que causa alteraciones en el suministro de agua y nutrientes (Flöder & Sommer 1999).

La mayoría de la información con que se cuenta actualmente se encuentra a una escala espacial inadecuada para estudiar los procesos hidrográficos que ayudarían a brindar información sobre el comportamiento y distribución de la biomasa y densidad planctónica (Jiménez-Hernández *et al.*, 2007; Monreal-Gómez *et al.*, 2004).

Antecedentes

En el PNSAV se han realizado numerosas investigaciones en diversos temas, incluso antes de su decreto en el año de 1994 ya que es una región que genera gran interés por su belleza, riqueza biológica y servicios ambientales; sin embargo, a la fecha no se ha realizado ningún estudio del fitoplancton en la columna de agua.

(Fehling et al., 2012), realizaron un estudio en el mar del norte en Europa, en donde encontraron una relación entre el aumento de la salinidad y la diversidad del fitoplancton en una columna de agua de 300m, además de una predominancia de diatomeas a mayores profundidades.

(Striebel et al., 2010), realizaron un estudio en una columna de agua analizando la relación entre la disturbancia de la estratificación y la diversidad fitoplanctonica, diversidad que depende de la estabilidad de los nutrientes, además de la dinámica del fitoplancton y el crecimiento del zooplancton.

(Jones et al., 1984), realizaron una investigación sobre la estratificación de la columna de agua, fitoplancton y nutrientes en el estrecho de Jura, Escocia, durante Julio 1982 a junio-Julio de 1983, encontraron que los grupos dominantes en las zonas más cercanas a la superficie eran las diatomeas mientras que dinoflagelados y microflagelados fueron importantes en las zonas de mayor profundidad, también mencionan que la estratificación transicional podría aumentar la productividad.

Área de estudios

El Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) es un área natural protegida, cuyo sistema es considerado único en el Golfo de México por su extensión, las especies que alberga y por su capacidad de resistencia y resiliencia de las colonias coralinas ante las variaciones de los diferentes factores, físicos, químicos y biológicos que han afectado esta zona durante años (Tunnell 1992; Ortíz-Lozano *et al.*, 2005). El 25 de noviembre de 1994 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el decreto por el que se declaró área natural protegida con el carácter de Parque Marino Nacional (DOF, 2012) (**Figura 1**).

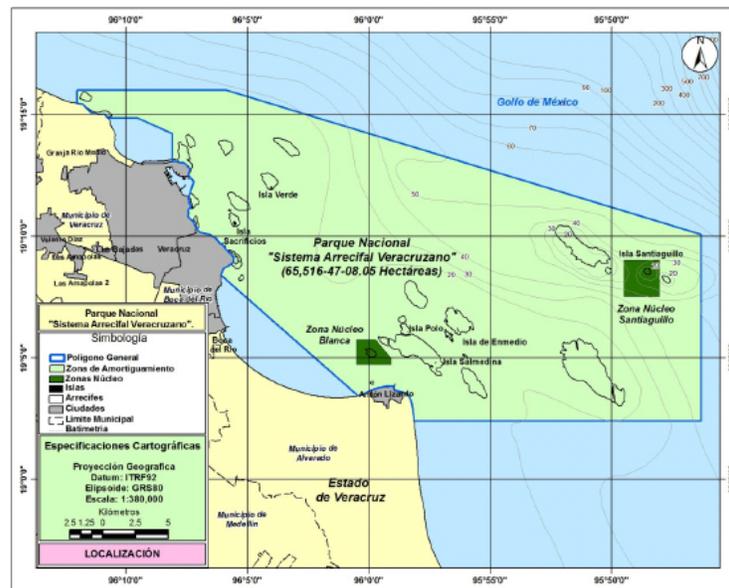


Figura 1. Plano de ubicación del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (DOF,2012)

El PNSAV, se ubica frente a las costas de los municipios de Veracruz, Boca del Río (zona norte) y el poblado de Antón Lizardo perteneciente al municipio de Alvarado (zona sur). Está formado por 28 arrecifes y 6 islas, de los cuales 11 se localizan frente a Antón Lizardo y el resto enfrente del Puerto de Veracruz.

Enlaza al noroeste con el Sistema Arrecifal Lobos-Tuxpan, situado frente a la Laguna de Tamiahua y la costa de Tuxpan y al este con el Sistema Arrecifal de Campeche y Yucatán (Lara et al., 1992).

El PNSAV incluye las veintiocho formaciones arrecifales conocidas como: Anegada de Afuera, Topatillo, Santiaguillo, Anegadilla, Cabezo, De Enmedio, Rizo, Periférico, Chopas, Sargazo, Punta Coyol, La Palma, Polo, Blanca, Giotte, Ingeniero, Sacrificios, Mersey, Pájaros, Verde, Bajo Paducah, Anegada de Adentro, Blanquilla, Galleguilla, Gallega, Punta Gorda, Punta Brava y Hornos; así como los cayos conocidos comúnmente como: Isla Sacrificios, Isla Salmedina, Isla Santiaguillo, Isla Verde, Isla De Enmedio e Isla Polo, o los que en un futuro se formen o emerjan dentro del polígono descrito (DOF, 2012).

Santiaguillo comprende una superficie de 712.644616 hectáreas ubicado en la porción noreste del parque nacional. Este polígono comprende a un arrecife de plataforma cuya base se encuentra en profundidades aproximadas de 45 metros y que presenta parches de coral con especies cuerno de ciervo (*Acropora cerviconis*), y cuerno de alce (*Acropora palmata*), ambos en protección especial en conformidad con la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. Asimismo, este polígono presenta las tallas más grandes del parque nacional de las colonias masivas de corales montaña (*Montastrea cavernosa* y *Orbicella faveolata*). (DOF, 2017).

Este polígono contiene un cayo emergente, conocido como Isla Santiaguillo, conformado principalmente por pedacería de coral cuerno de ciervo (*Acropora*

cervicornis), el cual contiene un faro automatizado que funge como uno de los principales medios de señalamiento marítimo en la zona, incluyendo un activador de radar, que además sirve de refugio en caso de emergencia. (DOF, 2017). Este arrecife ha sido propuesto como una de las dos zonas núcleo del PNSAV (DOF, 2012).

Hidrología

El área viene a ser un regulador del clima, y funciona como barrera contra olas y tormentas (Okolodkov *et al.*, 2011). El PNSAV se ha desarrollado en un ecosistema terrígeno influenciado por la desembocadura de tres ríos, los cuales ejercen una importante variación en la salinidad (Krutak, 1997). El río Jamapa desemboca en medio del complejo arrecifal, con descargas de hasta 180 m³/s en el periodo de lluvias (julio-octubre) (CONAGUA, 2006), la disminución de salinidad, así como la materia orgánica acarreada por dicho río, limita el desarrollo de las colonias de coral al centro del sistema (Krutak, 1997; Salas-Pérez y Granados-Barba, 2008).

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

El río La Antigua limita el desarrollo del sistema hacia la parte norte y el río Papaloapan limita el desarrollo del sistema hacia el sur (Tamayo, 1999). Llegándose

a registrar en el PNSAV valores de salinidad entre los 29 a 34 UPS, así como cambios en la temperatura del agua de 20 a 33.5 °C (Hernández-Téllez y Salgado-Rivero 1996; Salas-Monreal *et al.*, 2009).

Oceanografía

El PNSAV, es un ecosistema en el cual se han registrado características ambientales particulares que se salen del contexto establecido para los arrecifes coralinos tropicales (Salas-Pérez & Granados-Barba, 2008). De las especies fitoplanctónicas hasta ahora registradas (326 taxones) destacan cuantitativamente las diatomeas (163) y dinoflagelados (158). Análisis de datos de clorofila-a y productividad primaria bruta mostraron que no existe una relación evidente. El PNSAV puede caracterizarse como un sistema eutrófico (1.6 a 5.6 mg/m³) y altamente productivo (hasta 231 mgC m⁻³ h⁻¹) si se le compara con otros ecosistemas arrecifales alrededor del mundo. (Rodríguez-Gómez, 2015).

Se caracteriza por tener un clima cálido subhúmedo, con lluvias en verano, el promedio anual de temperatura oscila entre los 37°C y con una precipitación anual promedio de 1400 mm. (SEMARNAT, 2010).

Presenta varias temporadas de eventos climáticos: de noviembre a abril se presenta la temporada de “secas”, caracterizada por registros de precipitación por debajo de la normal climatológica (valor en la región de Veracruz) con registros mínimos de 10 milímetros; De junio a octubre, se presenta la temporada de lluvias, caracterizada por una precipitación por arriba de la media climatológica, con registros máximos de 500 milímetros en el mes de septiembre; Otra temporada climática es la de frentes fríos (septiembre a mayo) que originan los eventos de “norte”, con un promedio entre

1991 y 2012 de 58 eventos ocurridos. Durante los eventos de norte, las ráfagas de viento en la línea de costa pueden superar los 100 kilómetros por hora y generar oleaje por arriba de los tres metros de altura (Conagua, 2015).

En el Golfo de México, del 1 de junio al 30 de noviembre, se presenta la temporada de ciclones tropicales, los cuales son sistemas de baja presión acompañados de fuertes vientos y precipitación con registros máximos de 300 milímetros en 24 horas. También se da la temporada canicular (veranillo), la cual se presenta de julio a agosto con una duración aproximada de siete semanas (Conagua, 2015).

Los factores que influyen en la dirección y velocidad de las corrientes son la línea de costa y los mismos arrecifes que conforman el Sistema Arrecifal Veracruzano, así como la dirección y velocidad del viento.

La temperatura superficial promedio durante septiembre de 2007 fue de 28.8 °C. Para junio de 2008, la temperatura superficial fue de 28.4 °C (CONANP, 2017).

La temperatura del agua es registrada con termistores en las estaciones de monitoreo del PNSAV, a una profundidad de 8 metros. En el intervalo de febrero de 2013 a enero de 2016, con datos cada 10 minutos, se presenta un valor promedio anual de 25.3 °C (Centro de Ciencias de la Atmósfera UNAM-PNSAV, 2016).

De acuerdo con la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, se presentó una variación anual de salinidad de 19 a 34 UPS, siendo los meses de agosto y

septiembre los que presentaron concentraciones más bajas. De acuerdo con datos obtenidos por la SEMAR en el área costera de la conurbación Veracruz–Boca del Río– Antón Lizardo, durante los años de 2011 a 2013, las concentraciones de oxígeno disuelto más elevadas se registraron en Playa Norte y en la desembocadura del río Jamapa frente a Boca del Río. Las más bajas se registraron en la dársena portuaria.

La Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas según el mismo estudio, registró un valor promedio anual de 7.2 pH, un valor mínimo mensual de 6.3 pH en agosto y máximo de 7.9 pH en junio y julio, así como un valor mínimo registrado de 5.5 pH en el mes de septiembre frente a la desembocadura del río Jamapa (CONANP, 2017).

Justificación

Los estudios sobre el Sistema Arrecifal Veracruzano se han enfocado únicamente en el estudio del fitoplancton a nivel superficial y arrecifal, por lo que el estudio de los organismos en la columna de agua aportaría información importante.

Objetivo general

Analizar, comparar y establecer una relación entre los parámetros ambientales, la composición, abundancia y diversidad del fitoplancton en una columna de agua de 20 m en la región este de la Isla Santiaguillo en el Sistema Arrecifal Veracruzano.

Objetivos particulares

- I. Comparar los datos obtenidos de temperatura, salinidad, pH y oxígeno disuelto de la columna de agua en la zona de estudio.

- II. Determinar taxonómicamente a los organismos que constituyen el fitoplancton en los distintos niveles de profundidad.

- III. Analizar y comparar la diversidad, abundancia y composición de los organismos encontrados en la columna de agua.

- IV. Establecer una relación entre la diversidad, abundancia, composición y los parámetros ambientales obtenidos en los distintos niveles de profundidad de la zona de estudio.

Método

Trabajo en campo

Se realizaron muestreos bimensuales en el periodo de junio del 2017 a febrero del 2018 a bordo de una lancha de pesca. Se eligió una sola estación muestreo en la zona de influencia oceánica al este de la Isla Santiaguillo con coordenadas $19^{\circ}08'34.2''$ N $95^{\circ}48'14.9''$ W (**Figura 2**).

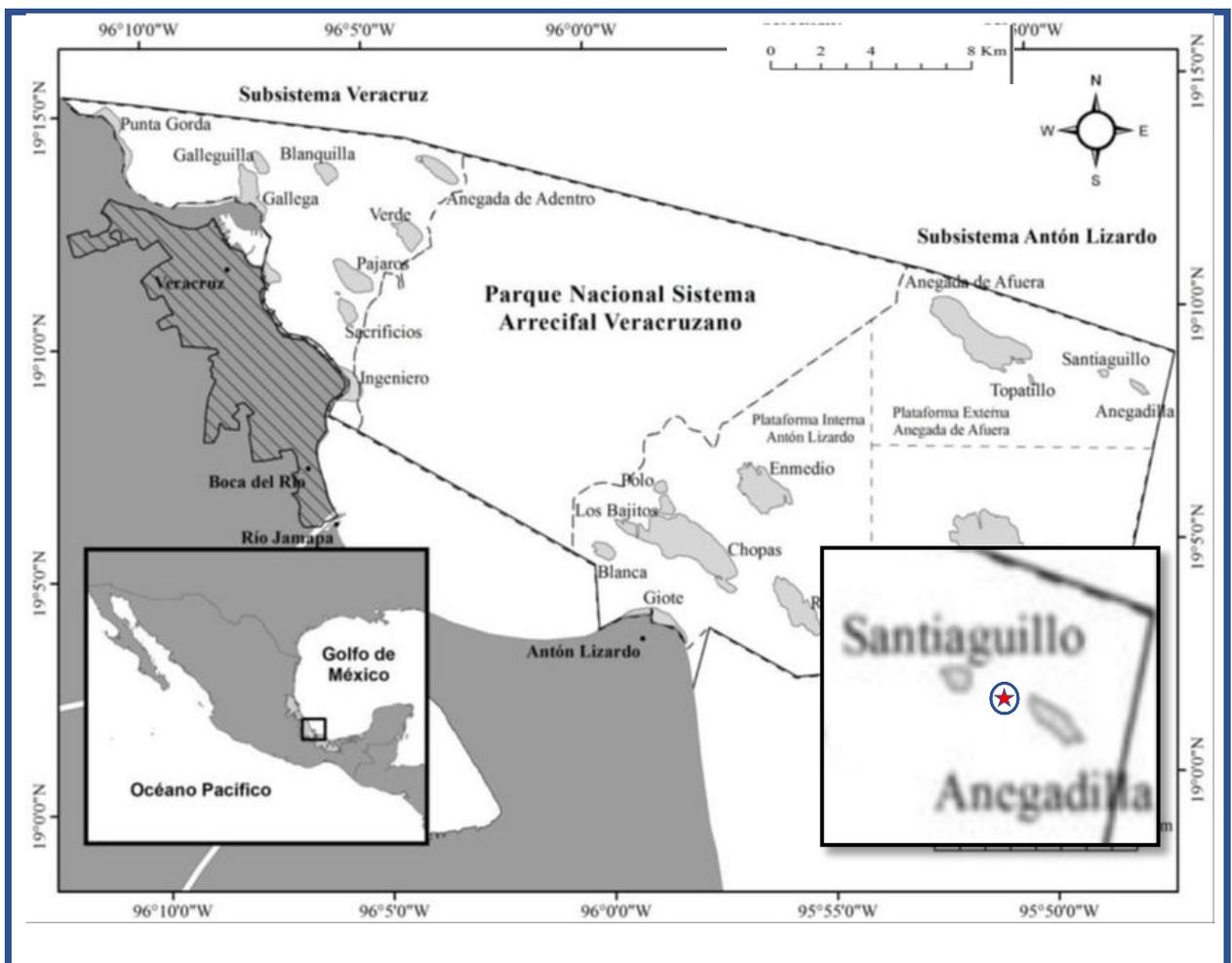


Figura 2. Polígono del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano que incluye la ubicación del sitio de muestreo. Tomado de Aguilera-Arias 2012.

Zona de muestreo: Presenta una profundidad de 25 m, por ser una zona de influencia oceánica, la amplitud de las olas es de 1 m en promedio, el viento tiene una mayor influencia y las corrientes son más fuertes que en la zona del arrecife.

En el punto de muestreo se obtuvieron los datos de pH (potenciómetro OAKTON), salinidad (salinómetro TRACER pocket tester, La Motte), oxígeno disuelto, la temperatura superficial del agua (oxímetro Hana Instruments, HI 9145) y la temperatura ambiental con un (termómetro Brannan, -20 a 150°C) también se obtuvieron las coordenadas geográficas con un GPS (Garmin).

Para la toma de muestras, se utilizó una botella Van Dorn horizontal de 3 L de capacidad, a una profundidad de 0.3 m, 1 m, 5 m, 10 m, 15 m y 20 m.

Para el almacenamiento de las muestras se utilizaron recipientes transparentes de 40mL de capacidad, previamente etiquetados con fecha, profundidad y nombre con un marcador indeleble; posteriormente se fijaron de inmediato con formol al 4%, esto para detener la actividad fotosintética al igual que impedir que el fitoplancton sea consumido por el zooplancton y provoque la alteración de los datos obtenidos.

Trabajo de laboratorio

Se observó cada una de las muestras de acuerdo con el método de Utermöhl (1958) con un microscopio invertido (OLYMPUS Ix70) objetivo 40x haciendo conteos eligiendo 20 campos al azar siguiendo un patrón de zig-zag para evitar la repetición del mismo campo. Los organismos fueron determinados con los trabajos de De Boyd (1977), Tomas (1997)

y Alonso-Rodríguez, et al., (2008). Se tomaron fotografías de las especies observadas (**Anexo I**).

Trabajo de gabinete

Se elaboraron gráficas de los factores ambientales, densidad total, densidad por género y densidad por especie, con la finalidad de observar la distribución de los datos, utilizando el programa Excel 2018.

Los datos de abundancias de células y parámetros fisicoquímicos fueron comparados con diagramas de caja y bigote (Salgado-Ugarte, 1992) utilizando el programa IBM SPSS Statics para detectar la variación espacio-temporal y la relación entre la abundancia celular y las variables ambientales.

Se realizaron análisis estadísticos exploratorios para saber el comportamiento visual de los datos (factores ambientales, densidades y abundancias) mediante diagramas de cajas múltiples, posteriormente se efectuaron pruebas de normalidad como el Test Saphiro-Wilk y el test de homocedasticidad de Levene, una vez determinado el comportamiento de los datos se realizó ANOVA y la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para conocer las diferencias entre los factores ambientales y densidades de organismos respecto a las profundidades (Marques, 2001).

Se calculó la diversidad utilizando el índice de diversidad de Shannon-Weaver (Shannon y Weaver, 1949), derivado de la teoría de información como una medida de la entropía; La entropía se define como el grado de incertidumbre en la identidad de la especie a la que pertenece un individuo seleccionado al azar de la comunidad.

Una comunidad donde todas las especies tienen la misma abundancia tendrá alta entropía, lo que se ha traducido como una alta diversidad (Moreno et al., 2011).

El índice refleja la heterogeneidad de una comunidad sobre la base de dos factores: el número de especies presentes y su abundancia relativa. (Estimación De La Diversidad Especifica, 2019).

Para su cálculo se utilizó la siguiente fórmula:

$$(H) = - \sum_{i=1}^s p_i \ln p_i$$

En donde **p** es la proporción (**n/N**) de individuo **s** de una especie encontrada (**n**) dividida entre el número total de individuos encontrados (**N**), **ln** es el logaritmo natural, **Σ** es la suma de los cálculos y **s** es el número de especies.

Resultados

Factores ambientales

La **Tabla 1** presenta las pruebas estadísticas realizadas para la comparación de temperatura ambiental en las diferentes fechas de muestreo.

Prueba estadística	Valor de P	Interpretación
Saphiro-Wilk	P=0.002	No presenta una distribución normal
Levene	P=1.00	Presenta igualdad de varianzas
Kruskal Wallis	P=1	No presenta diferencias significativas durante los meses de muestreo

Tabla 1. Pruebas estadísticas para la comparación de la temperatura ambiental en las diferentes fechas de muestreo con un nivel de confianza del 95%.

En la **Figura 3** se observa que la temperatura no tuvo grandes variaciones durante las fechas de muestreo.

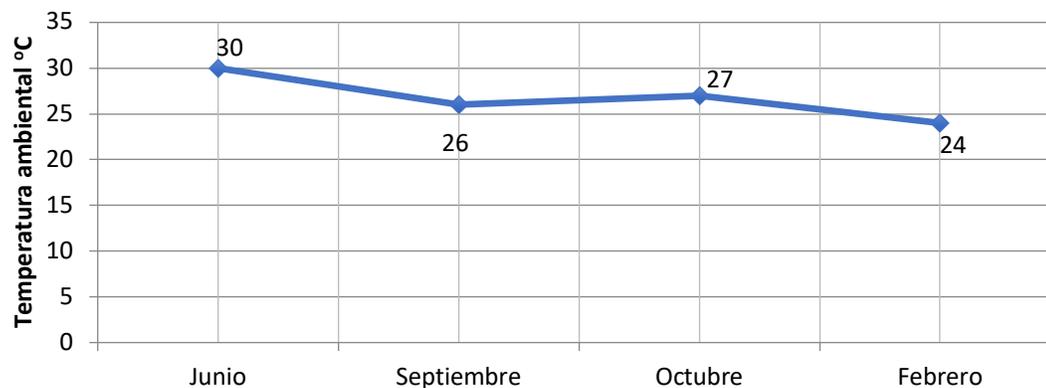


Figura 3. Valores de temperatura ambiental registrados en cada una de las fechas de muestreo.

La **Tabla 2** presenta las pruebas estadísticas realizadas para la comparación de la temperatura del agua en las diferentes profundidades.

Prueba estadística	Valor de P	Interpretación
Saphiro-Wilk	P= 0,106	Presenta una distribución normal
Levene	P= 0,751	Presenta igualdad de varianzas
ANOVA	P= 0,995	No presenta diferencias significativas entre las profundidades de muestreo

Tabla 2. Pruebas estadísticas para la comparación de la temperatura del agua en las diferentes profundidades con un nivel de confianza del 95%.

En la **Figura 4** se observa que los datos de la temperatura del agua se mantuvieron constantes durante todos los muestreos, el menor se registró en febrero a 1m de profundidad (24.9°C) y el mayor (30.8°C) en septiembre a 15m y 20m de profundidad.

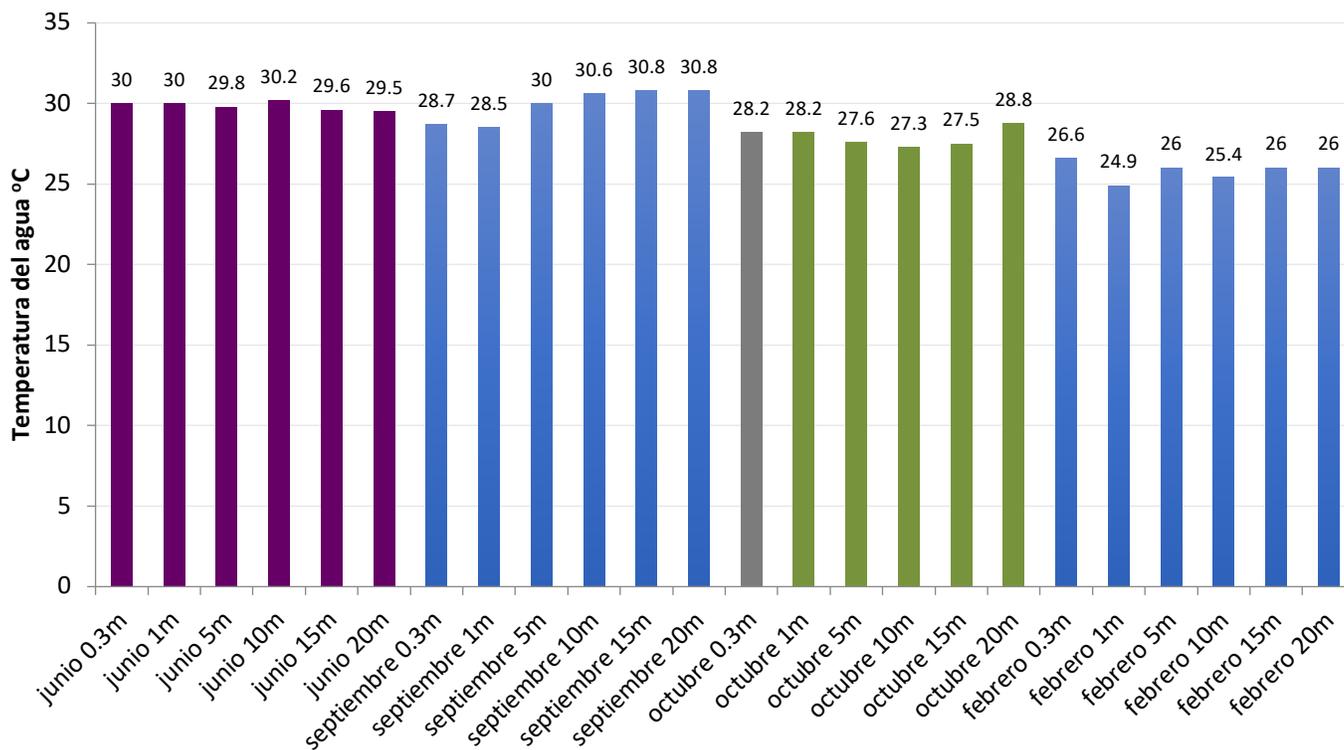


Figura 4. Valores de temperatura del agua registrados en cada una de las fechas y profundidades de muestreo.

En la **Figura 5** se observa que la temperatura del agua en las diferentes profundidades de muestreo mantiene un comportamiento simétrico, los datos tienden a ser menores a la mediana en todas las profundidades, a 1 m se registró el menor valor (24.9°C) y a los 15 m y 20 m se registró el mayor (30.8°C).

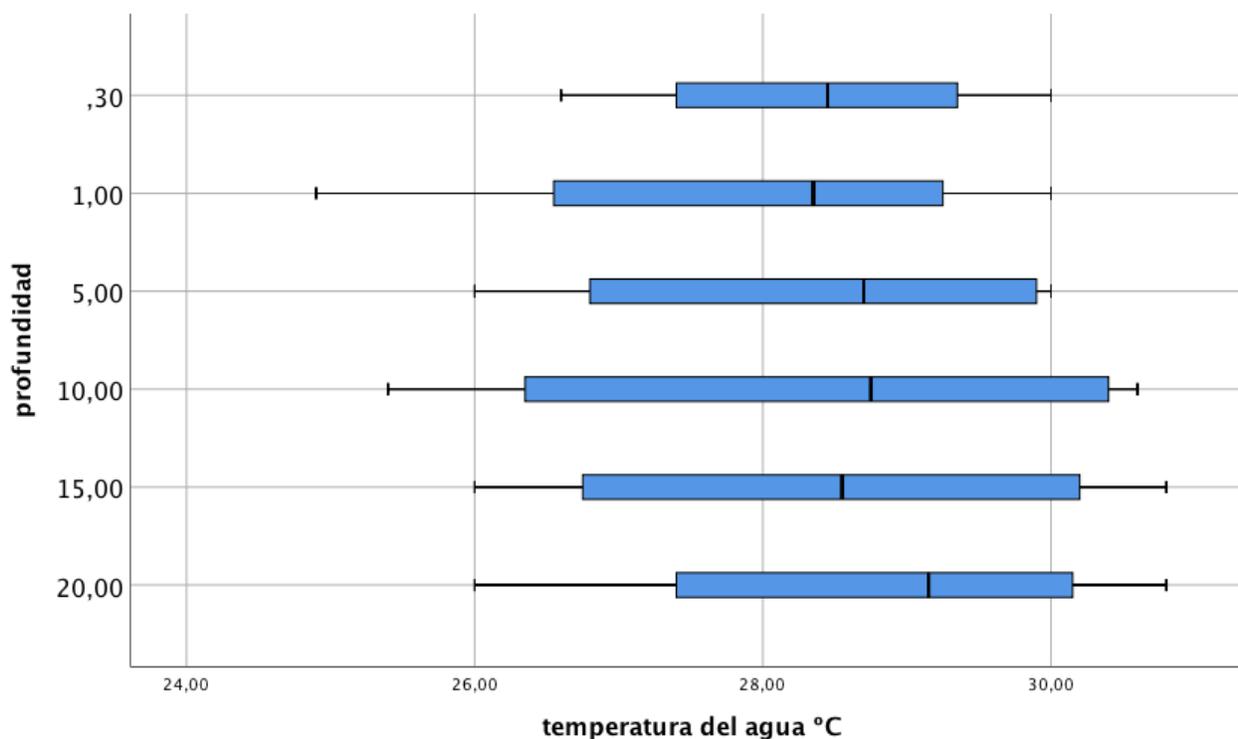


Figura 5. Valores de temperatura del agua registrados en las diferentes profundidades de muestreo.

La **Tabla 3** presenta las pruebas estadísticas realizadas para la comparación de salinidad en las diferentes profundidades.

Prueba estadística	Valor de P	Interpretación
Saphiro-Wilk	P= 0,459	Presenta una distribución normal
Levene	P= 0,372	Presenta igualdad de varianzas
ANOVA	P= 0,612	No presenta diferencias significativas entre las profundidades de muestreo

Tabla 3. Pruebas estadísticas para la comparación de la salinidad en las diferentes profundidades con un nivel de confianza del 95%.

En la **Figura 6** se observa que los datos se mantuvieron inexactamente constantes durante la mayoría de los muestreos, el menor se registró en febrero (32.95g/L) a 20m de profundidad y el mayor (47.85 g/L) en septiembre a 15m de profundidad.

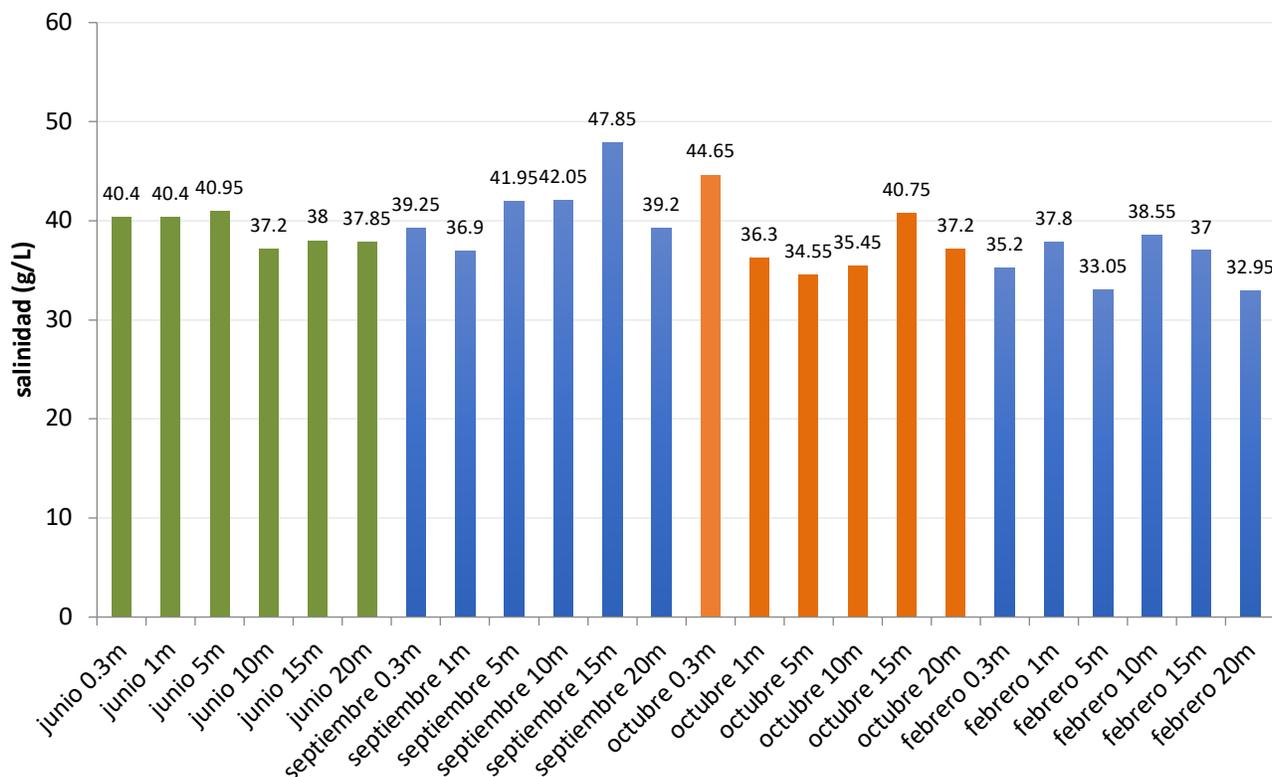


Figura 6. Valores de salinidad registrados en cada una de las fechas y profundidades de muestreo.

En la **Figura 7** se observa que los datos registrados a 0.3 m y 5 m de profundidad fueron los más simétricos; a 1 m, 10 m y 15 m los datos tienden a ser mayores que la mediana y a los 20 m tienden a ser menores que la mediana, la mayor amplitud y los mayores valores se registraron a los 15 m (47.85 g/L), mientras que los menores valores se registraron a los 20 m (32.95 g/L).

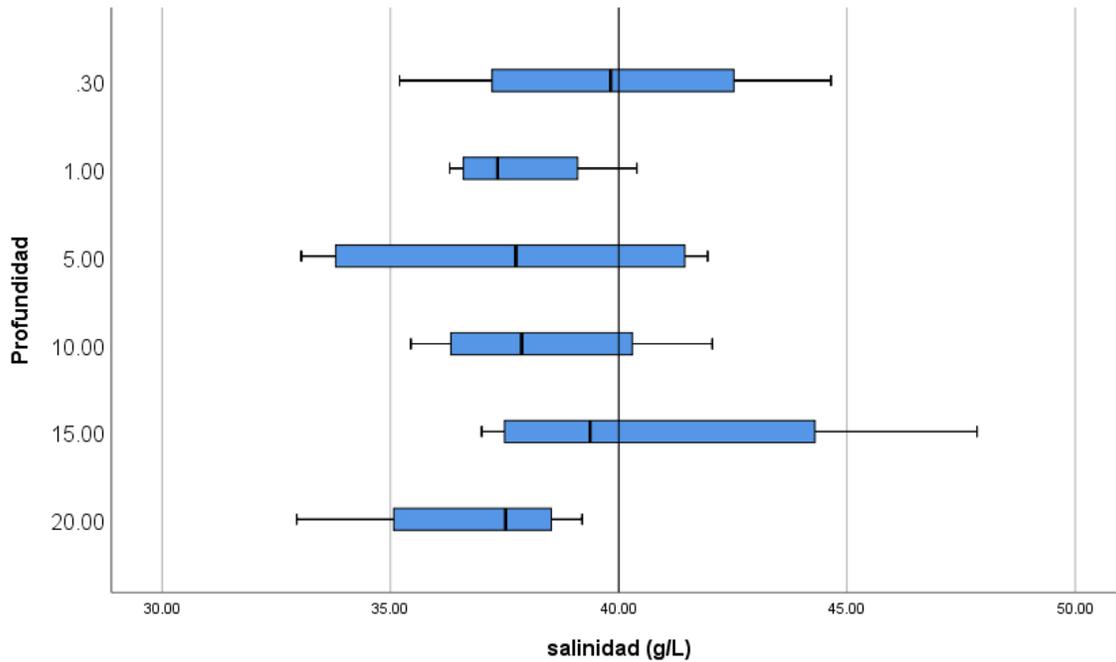


Figura 7. Valores de salinidad registrados en las diferentes profundidades de muestreo.

La **Tabla 4** presenta las pruebas estadísticas realizadas para la comparación de pH en las diferentes profundidades.

Prueba estadística	Valor de P	Interpretación
Saphiro-Wilk	P= 0,115	Presenta una distribución normal
Levene	P= 0,372	Presenta igualdad de varianzas
ANOVA	P= 0,612	No presenta diferencias significativas entre las profundidades de muestreo

Tabla 4. Pruebas estadísticas para la comparación del pH en las diferentes profundidades con un nivel de confianza del 95%.

En la **Figura 8** se observa que los datos se mantuvieron mas o menos constantes durante casi todos los muestreos, el menor se registró en febrero a 20 m de profundidad (7.6) y el mayor (8.51) en octubre a 15 m de profundidad, se registraron valores extraordinarios para el mes de septiembre (8.1) octubre (8.51) y febrero (7.6).

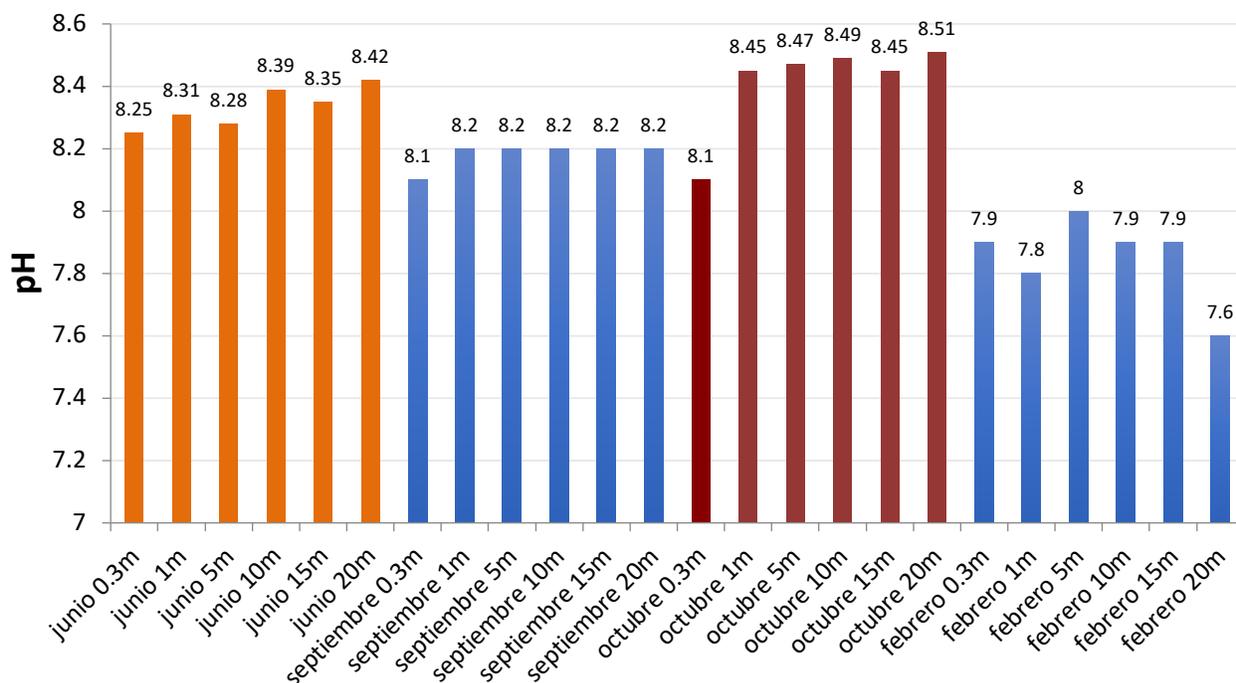


Figura 8. Valores de pH registrados en cada una de las fechas y profundidades de muestreo.

En la **Figura 9** se observa que los datos se comportan de forma simétrica a los 0.3 m y 5 m, para las otras profundidades los datos tienden a ser menores a la mediana, los datos obtenidos a 20 m de profundidad tienen la mayor amplitud, a esta profundidad se registraron los mayores (8.51) y menores valores (7.6).

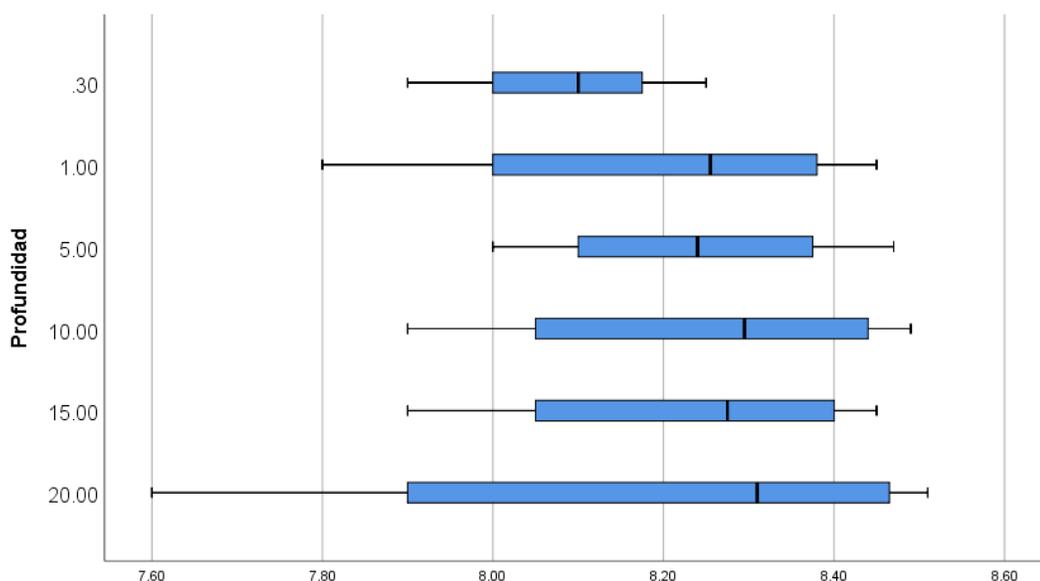


Figura 9. Valores de pH registrados en las diferentes profundidades de muestreo.

La **Tabla 5** presenta las pruebas estadísticas realizadas para la comparación de oxígeno disuelto en las diferentes profundidades.

Prueba estadística	Valor de P	Interpretación
Saphiro-Wilk	P= 0,001	No presenta una distribución normal
Levene	P= 0,521	Presenta igualdad de varianzas
Kruskal Wallis	P= 0,985	No presenta diferencias significativas entre las profundidades de muestreo

Tabla 5. Pruebas estadísticas para la comparación del oxígeno disuelto en las diferentes profundidades con un nivel de confianza del 95%.

En la **Figura 10** se observa que los datos se mantuvieron mas o menos constantes durante casi todos los muestreos, en el mes de octubre se presentó un promedio mayor en los datos registrados, el menor se registró en febrero a 20 m de profundidad(6.15mg/L) y el mayor (21.97 mg/L) en octubre a 0.3 m de profundidad.

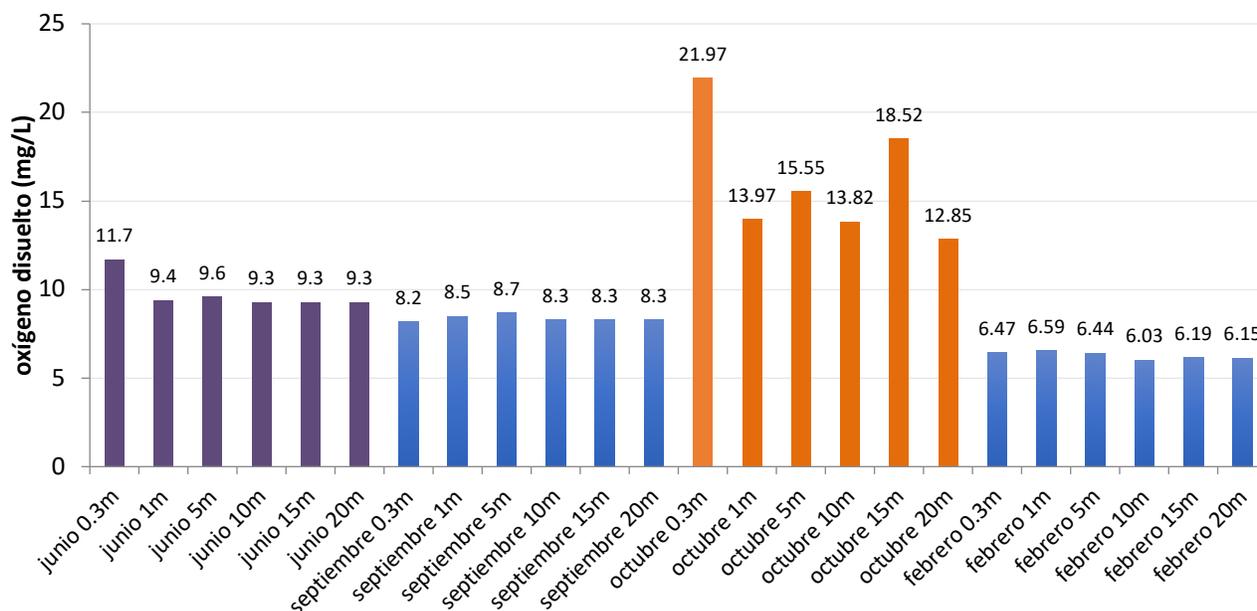


Figura 10. Valores de oxígeno disuelto registrados en cada una de las fechas y profundidades de muestreo.

En la **Figura 11** se puede observar que los datos registrados en todas las profundidades tienden a ser mayores que la mediana, la mayor amplitud, así como el mayor valor registrado (21.97 mg/L) se encontró a 0.3 m de profundidad, y el menor (6.03 mg/L) se encontró a los 10 m de profundidad.

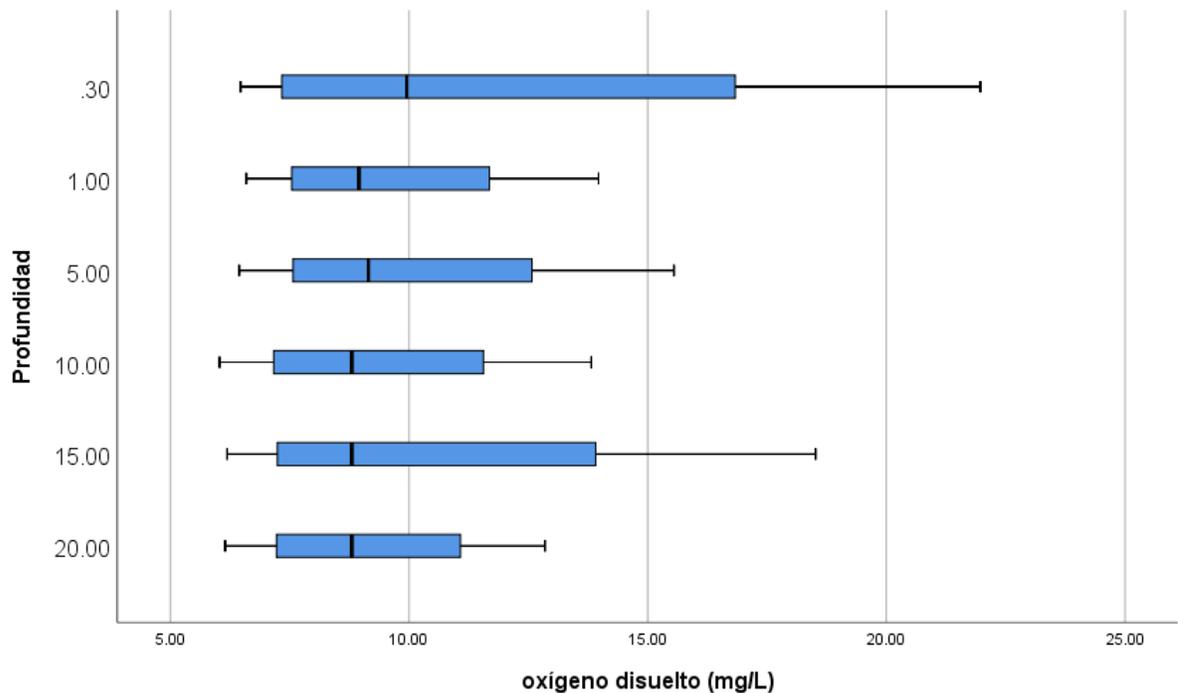


Figura 11. Valores de oxígeno disuelto registrados en las diferentes profundidades de muestreo.

Grupos taxonómicos presentes

Las especies identificadas se encuentran enlistadas en la Tabla 5. Los organismos se determinaron taxonómicamente en 4 Phylum, 6 clases, 19 ordenes, 22 familias, 26 géneros y 47 especies de acuerdo con Algaebase (www.algaebase.org). De las 47 especies encontradas 36 fueron determinadas hasta especie y 11 hasta género, debido a que algunas características no pudieron ser observadas (**Anexo I**).

Phylum	Clase	Orden	Familia	Genero	Especie
Cyanobacteria	Cyanophyceae	Oscillatoriales	Microcoleaceae	<i>Trichodesmium</i>	<i>Trichodesmium erythraeum</i> Ehrenberg ex Gomont 1892
					<i>Trichodesmium thiebautii</i> Gomont ex Gomont 1890
Chlorophyta	Chlorophyceae	Spharopleales	Scenedesmaceae	<i>Scenedesmus</i>	<i>Scenedesmus quadricauda</i> (Turpin) Brébisson in Brébisson & Godey 1835
Bacillariophyta	Bacillariophyceae	Bacillariales	Bacillariaceae	<i>Hantzschia</i>	<i>Hantzschia sp.</i>
				<i>Nitzschia</i>	<i>Nitzschia longissima</i> (Brébisson) Ralfs in Pritchard 1861
					<i>Nitzschia sp.</i>
		<i>Pseudo-nitzschia</i>	<i>Pseudo-nitzschia sp.</i>		
		Naviculales	Naviculaceae	<i>Caloneis</i>	<i>Caloneis amphisbaena</i> (Bory) Cleve 1894
				<i>Gyrosigma</i>	<i>Gyrosigma sp.</i>
				<i>Navicula</i>	<i>Navicula directa</i> (W.Smith) Ralfs in Pritchard 1861
<i>Navicula distans</i> (W.Smith) Ralfs in Prichard 1861					

					<i>Navicula sp.</i>
			Pleurosigmata	<i>Pleurosigma</i>	<i>Pleurosigma sp.</i>
			Pinnulariaceae	<i>Pinnularia</i>	<i>Pinnularia sp.</i>
		Rhabdonematales	Grammatophoraceae	<i>Grammatophora</i>	<i>Grammatophora marina</i> (Lyngbye) Kützing 1844
		Surirellales	Entomoneidaceae	<i>Entomoneis</i>	<i>Entomoneis sp.</i>
		Thalassionematales	Thalassionemataceae	<i>Thalassionema</i>	<i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grunow) Mereschkowsky 1902
	Coscinodiscophyceae	Asterolamprales	Asterolampraceae	<i>Asteromphalus</i>	<i>Asteromphalus flabellatus</i> (Brébisson) Greville 1859
		Coscinodiscales	Coscinodiscaceae	<i>Coscinodiscus</i>	<i>Coscinodiscus sp.</i>
					<i>Coscinodiscus wailiesii</i> Gran & Angst 1931
			Heliopeltaceae	<i>Actinoptychus</i>	<i>Actinoptychus senarius</i> (Ehrenberg) Ehrenberg 1843
		Rhizosoleniales	Rhizosoleniaceae	<i>Rhizosolenia</i>	<i>Rhizosolenia alata</i> Brightwell 1858
	Mediophyceae	Chaetocerotales	Chaetocerotaceae	<i>Chaetoceros</i>	<i>Bacteriastrum elongatum</i> Cleve 1897
					<i>Chaetoceros affinis</i> Lauder 1864

					<i>Chaetoceros danicus</i> Cleve 1889
					<i>Chaetoceros decipiens</i> Cleve 1873
					<i>Chaetoceros didymus</i> Ehrenberg 1845
					<i>Chaetoceros diversus</i> Cleve 1873
					<i>Chaetoceros lacinosus</i> F.Schütt 1895
					<i>Chaetoceros lorenzianus</i> Grunow 1863
					<i>Chaetoceros pelagicus</i> Cleve 1873
					<i>Chaetoceros peruvianus</i> Brightwell 1856
		Eupodiscales	Odontellaceae	<i>Odontella</i>	<i>Odontella aurita</i> (Lyngbye) C.Agardh 1832
		Lithodesmiales	Lithodesmiaceae	<i>Ditylum</i>	<i>Ditylum brightwellii</i> (T.West) Grunow in Van Heurck 1885
		Thalassiosirales	Skeletonemataceae	<i>Skeletonema</i>	<i>Skeletonema costatum</i> (Greville) Cleve 1873
	Thalassiosiraceae		<i>Thalassiosira</i>	<i>Thalassiosira eccentrica</i> (Ehrenberg) Cleve 1904	
				<i>Thalassiosira sp</i>	

Miozoa	Dinophyceae	Gonyaulacales	Ceratiaceae	<i>Neoceratium</i>	<i>Neoceratium furca</i> (Ehrenberg) F.Gómez, D.Moreira & P.López-García 2010
					<i>Neoceratium lunula</i> (Schimper ex Karsten) F.Gómez, D.Moreira & P.López-García 2010
					<i>Neoceratium tripos</i> (O.F.Müller) F.Gómez, D.Moreira & P.López-García 2010
		Peridiniales	Podolampadaceae	<i>Podolampas</i>	<i>Podolampas bipes</i> F.Stein 1883
			Protopteridiniaceae	<i>Protopteridinium</i>	<i>Protopteridinium ovum</i> (J.Schiller) Balech 1974
		Prorocentrales	Prorocentraceae	<i>Prorocentrum</i>	<i>Protopteridinium pellucidum</i> Bergh 1881
					<i>Prorocentrum balticum</i> (Lohmann) Loeblich III 1970
					<i>Prorocentrum gracile</i> F.Schütt 1895
					<i>Prorocentrum robustum</i> Osorio-Tafall 1942
		<i>Prorocentrum sp.</i>			

Tabla 6. Lista taxonómica de las especies encontradas utilizando la clasificación de De Boyd (1977), Tomas (1997) y Alonso-Rodríguez, et al., (2008).

De los géneros encontrados durante los muestreos (**Figura 12**) presentaron las mayores abundancias *Chaetoceros* con 22.11%, seguido de *Trichodesmium* con 12.47%, *Prorocentrum* con 10.11% y *Pleurosigma* con 9.88% mientras que las demás especies no superaron el 8%.

Otros géneros con una presencia importante fueron *Navicula* 7.76%, *Pseudo-nitzschia* 6.82% y *Coscinodiscus* 6.11%.

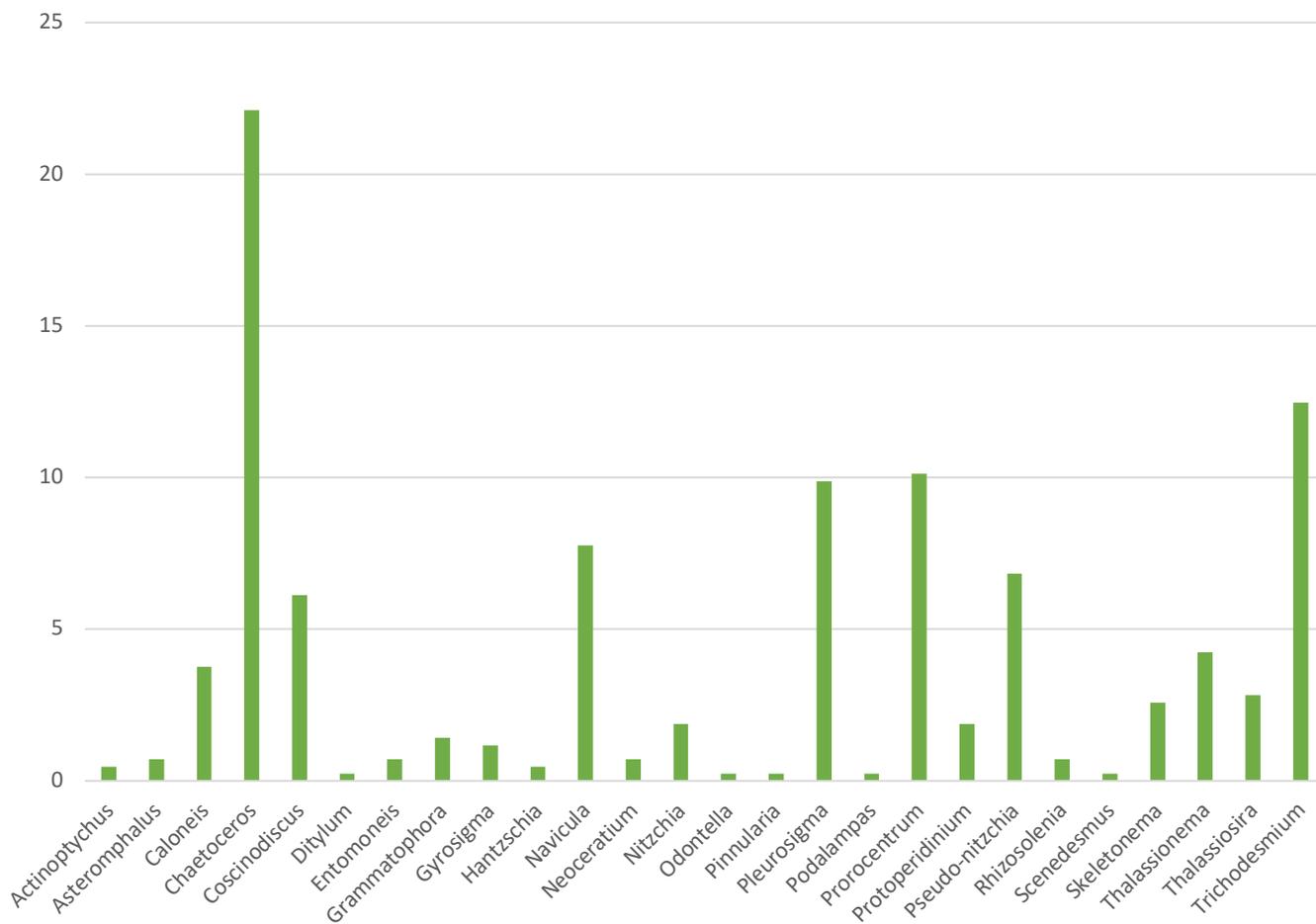


Figura 12. Abundancia relativa de géneros durante todos los muestreos.

En junio se observó (**Figura 13**) que la mayor abundancia a 0.3 m la presentó *Chaetoceros decipiens* con el 5.21%, a 1 m *Skeletonema costatum* con el 8.69%, a 5m *Navicula sp* con 7.82%, a 10 m *Trichodesmium erythraeum* con 4.43%, a 15 m *Coscinodiscus sp* con 4.34% y a 20 m *Chaetoceros didymis* con el 5.11%. En cuanto a profundidad la mayor abundancia se encontró a los 5 m con el 18.26% mientras que la menor se registró a los 15 m con 13.91%.

En toda la columna los mayores valores de abundancia los presentaron las especies *Navicula sp.* con 13% seguida de *Coscinodiscus sp* con 11.27%, *Skeletonema constantum* con 9.56%, *Trichodesmium erythraeum* con 9.54% y *Chaetoceros decipiens* con 9.53% mientras que las demás especies no superaron el 9%.

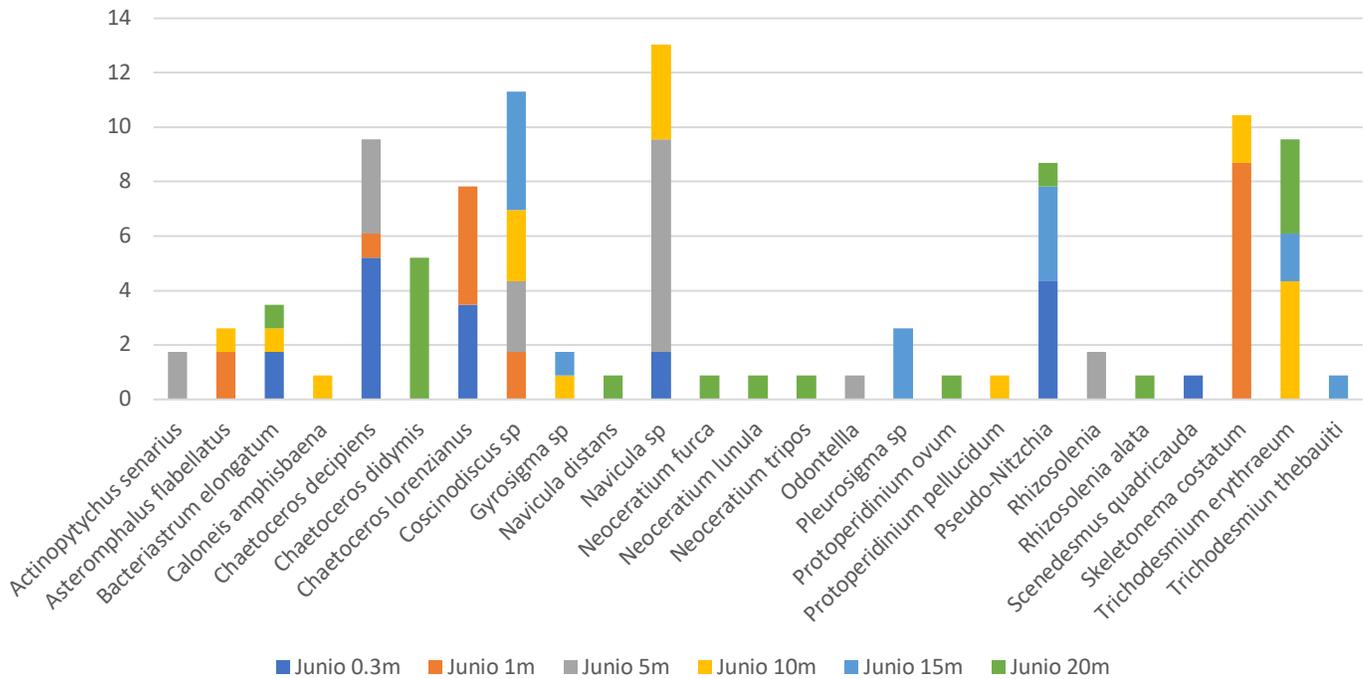


Figura 13. Abundancia relativa de especies en el mes de junio del 2017.

En septiembre se observó (**Figura 14**) que la mayor abundancia a 0.3 m la presentó *Bacteriastrum elongatum* con el 5.98%, a 1 m *Trichodesmium erythraeum* con el 3.41%, a 5 m *Chaetoceros affinis* con 6.83%, a 10 m *Trichodesmium erythraeum* con 5.12%, a 15 m *Bacteriastrum elongatum* con 5.87% y a 20 m *Caloneis amphisbaena* con el 6.88%. En cuanto a profundidad la mayor abundancia se encontró a los 20 m con el 17.17% mientras que la menor se registró a los 10 m con 16.23%.

En toda la columna los mayores valores de abundancia los presentaron las especies *Trichodesmium erythraeum* con 21.33% seguida de *Chaetoceros affinis* con 17.06% y *Bacteriastrum elongatum* con 12.8% mientras que las demás especies no superaron el 10%.

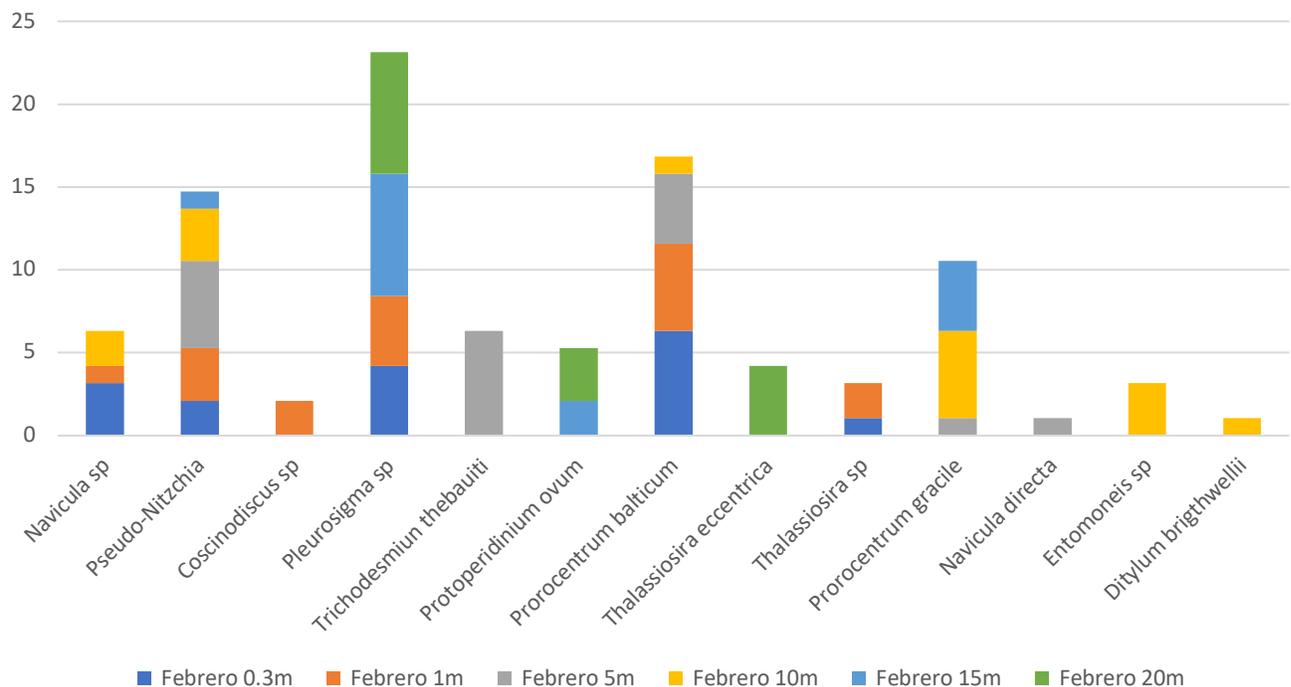


Figura 14. Abundancia relativa de especies en septiembre del 2017.

En octubre se observó (**Figura 15**) que la mayor abundancia a 0.3m la presentó *Trichodesmium thebauiti* con el 7.96%, a 1m *Pleurosigma sp* con el 5.30%, a 5m *Navicula sp* con 3.64%, a 10m *Gramatophora marina* con 3.53%, a 15m *Nitzschia sp* con 1.76% y a 20m *Coscinodiscus sp* con el 5.23%. En cuanto a profundidad la mayor abundancia se encontró a los 5m con el 17.7% mientras que la menor se registró a los 15m y 20m con 14.15%.

En toda la columna los mayores valores de abundancia los presentaron las especies *Pleurosigma sp* con 15% seguida de *Navicula sp* con 10.58% y *Trichodesmium thebauiti* con 8.84% mientras que las demás especies no superaron el 8%.

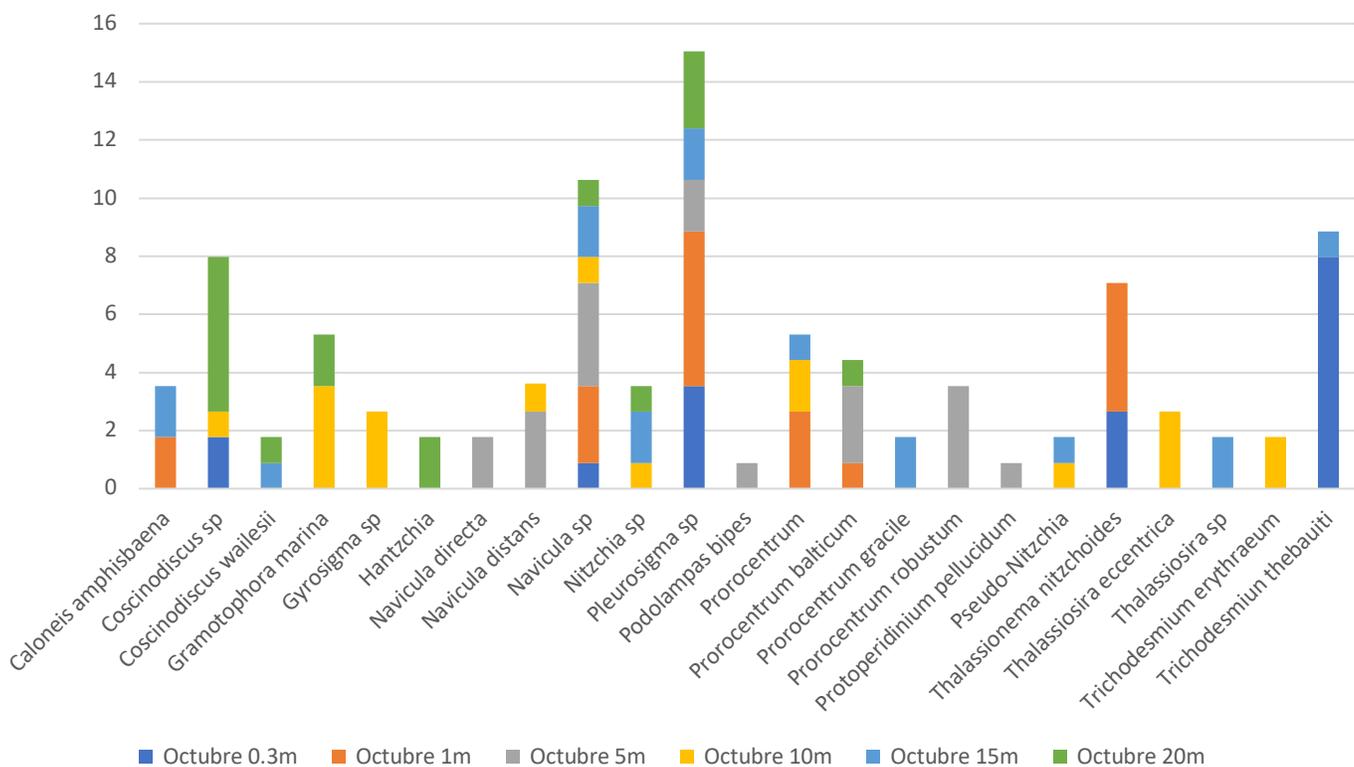


Figura 15. Abundancia relativa de especies en octubre del 2017.

En febrero se observó (**Figura 16**) que la mayor abundancia a 0.3 m la presentó *Prorocentrum balticum* con el 5.97%, a 1 m *Prorocentrum balticum* con el 5.26%, a 5 m *Trichodesmium thebaوتي* con 6.64%, a 10 m *Prorocentrum gracile* con 5.37%, a 15 m *Prorocentrum balticum* con 6.31% y a 20 m *Thalassiosira eccentrica* con el 4.21%. En cuanto a profundidad la mayor abundancia se encontró a 1 m y 5 m con el 16.83% mientras que la menor se registró a los 15m y 20m con 14%.

En toda la columna los mayores valores de abundancia los presentaron las especies *Pleurosigma sp* con 23.14% seguida de *Prorocentrum balticum* con 16.83% y *Pseudo-Nitzschia sp* con 14.71% mientras que las demás especies no superaron el 11%.

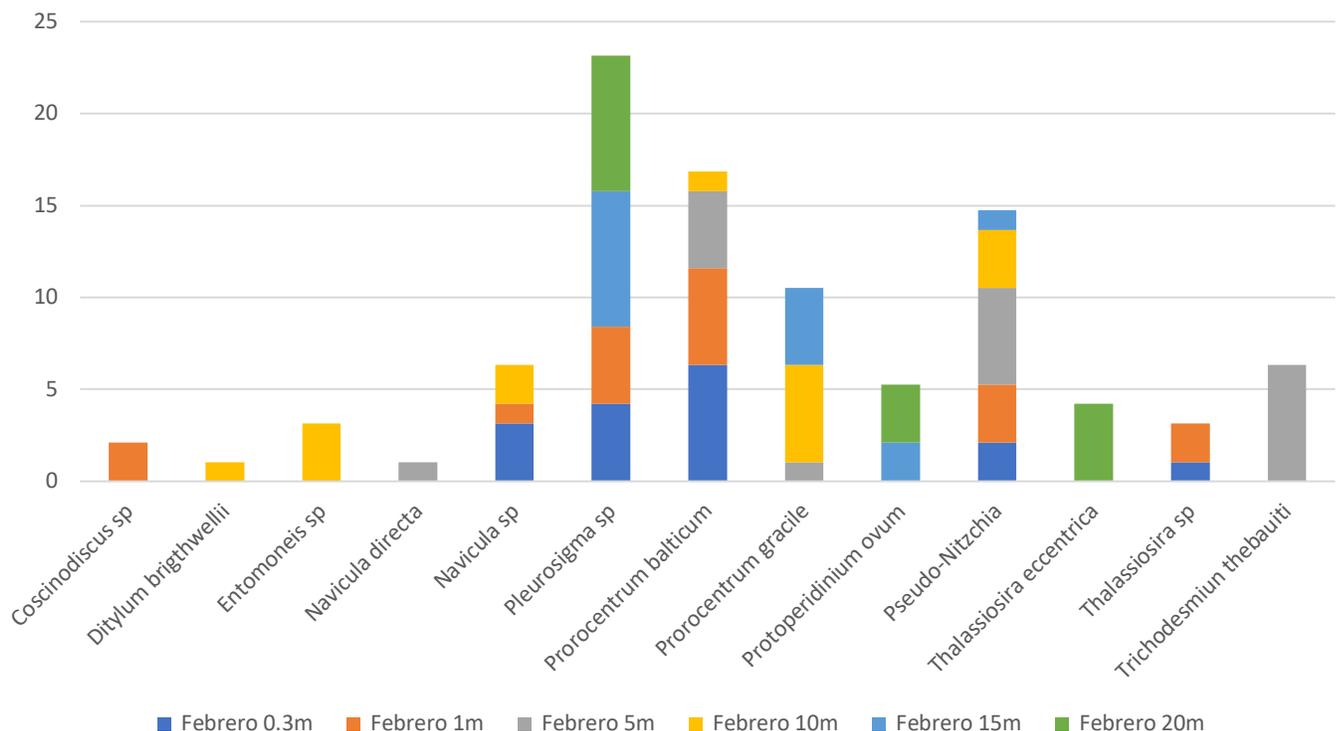


Figura 16. Abundancia relativa de especies en febrero del 2018.

La gráfica de densidad total de organismos (**Figura 17**) por mes y profundidad de muestreo, mostró que las densidades máximas se obtuvieron en junio a 0.3 m y 1 m de profundidad con un total de 2,076,200 org/m³ y en septiembre a los 5 m de profundidad con 2,046,500 org/m³ también muestra que las menores densidades se registraron en febrero con valores entre 1,662,296 org/m³ y 1.453,334 org/m³ como menor valor registrado a los 20 m de profundidad.

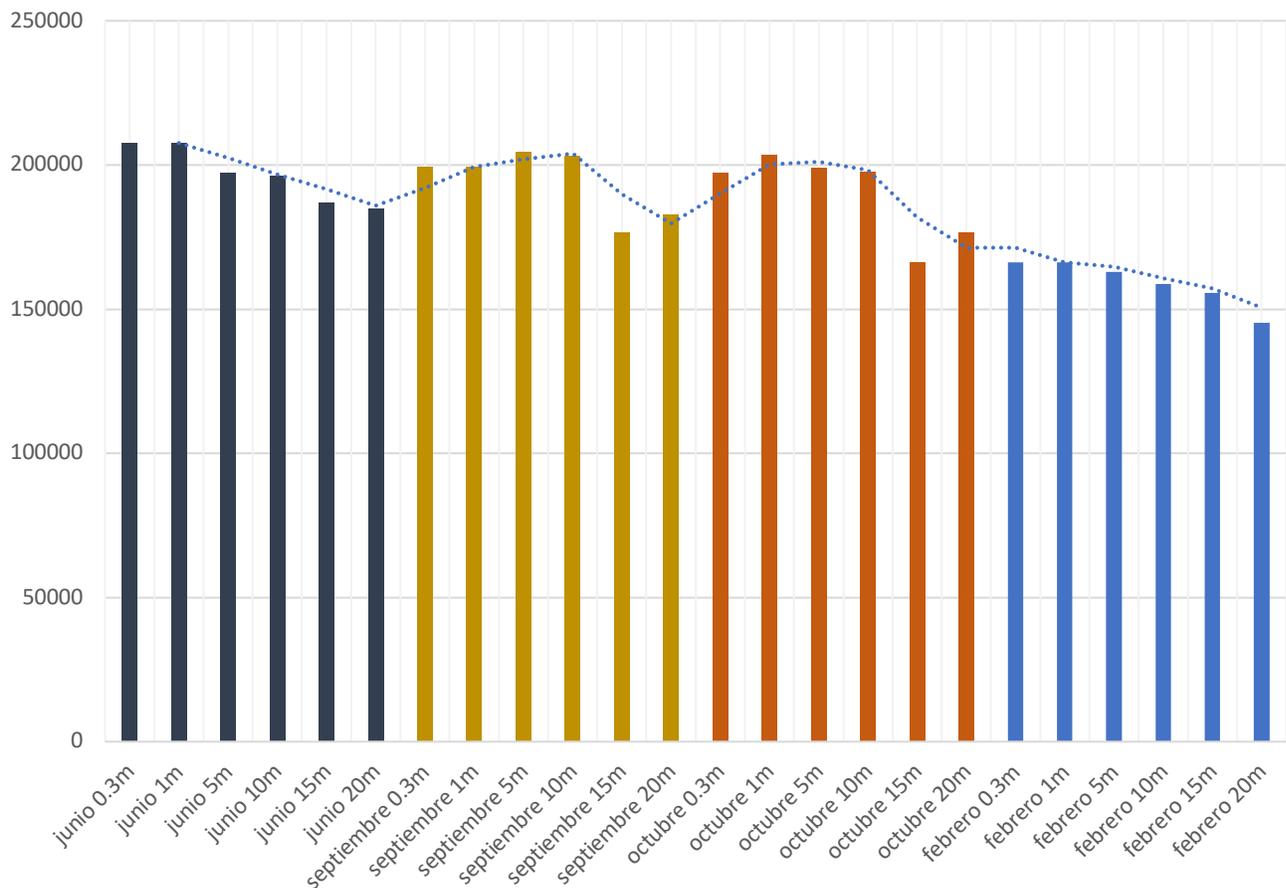


Figura 17. Densidades totales (org/m³) a través del tiempo.

En el análisis exploratorio de cajas múltiples (**Figura 18**) para la densidad por fechas de muestreo se observaron diferencias en el tamaño de las cajas debido a la dispersión que tienen los datos, en la posición de la mediana y la media en cada zona, no hay valores extraordinarios, la distribución de los datos de octubre y septiembre tiende a ser menor que la mediana, febrero es la fecha de muestreo con mayor simetría y menores valores en cuanto a las densidades registradas.

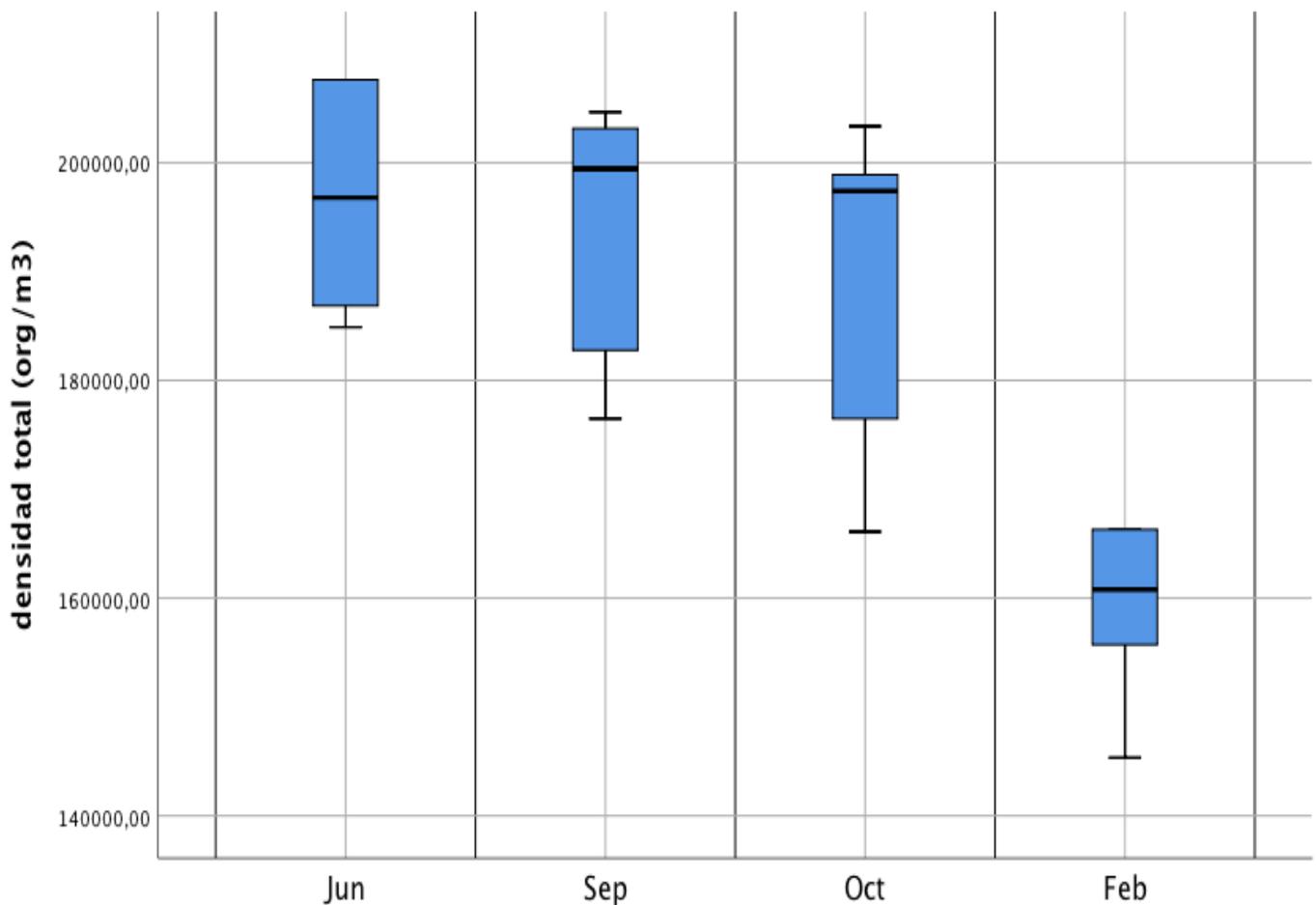


Figura 18. Densidad total entre los meses de muestreo.

En el análisis exploratorio de cajas múltiples (**Figura 19**) para la densidad por profundidad de muestreo se observaron diferencias en el tamaño de las cajas debido a la dispersión que tienen los datos, no hay valores extraordinarios, los valores obtenidos a 15 m son los más simétricos y los demás valores tienden a ser menores que la mediana. Los valores obtenidos a los 15 y 20 m son menores que los que se obtuvieron mas cerca de la superficie.

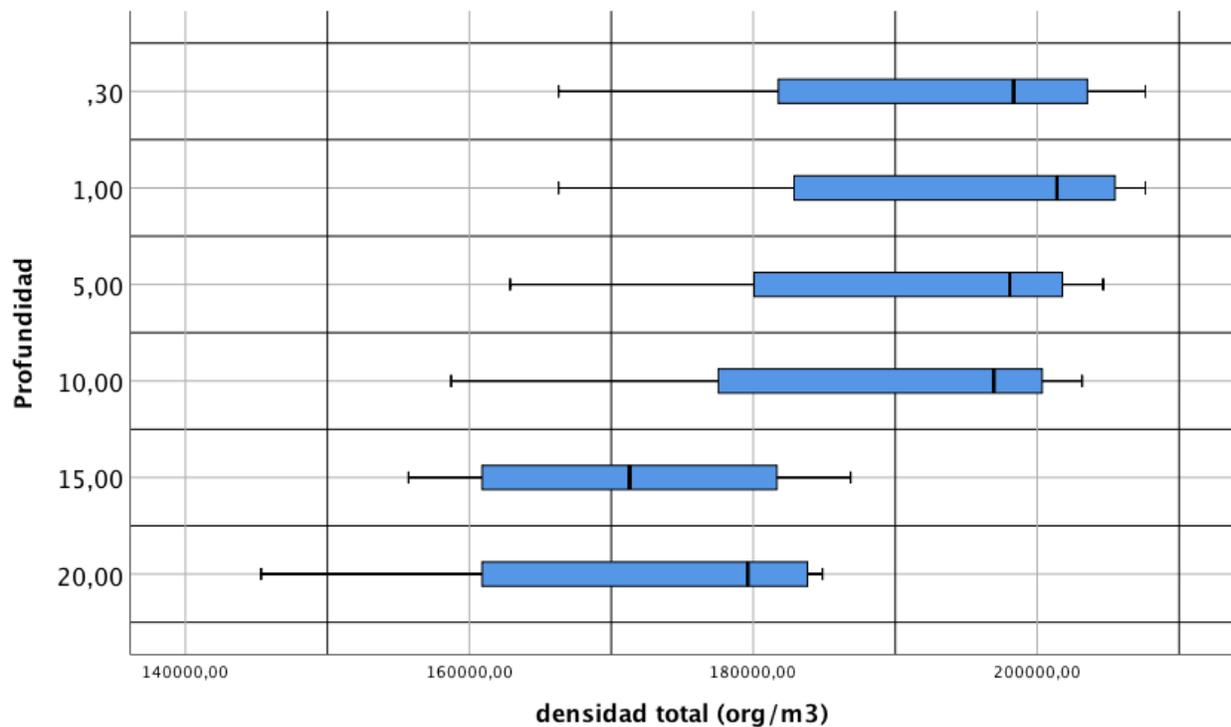


Figura 19. Densidad total entre las profundidades de muestreo.

Pruebas estadísticas	Valor de P	Interpretación
Saphiro-Wilk	P=0.24	No presenta una distribución normal
Levene	P=0.987	Presenta igualdad de varianzas
Kruskal-Wallis	P=0.006	Presenta diferencias entre los grupos

Tabla 7. Pruebas estadísticas para la comparación de las densidades totales de organismos encontrados con un nivel de confianza del 95%.

Se realizaron comparaciones en pares utilizando el procedimiento de Dunn (1964) con una corrección de Bonferroni para comparaciones múltiples. Valores ajustados de p son presentados. Este análisis reveló diferencias estadísticamente significativas entre febrero-junio y entre febrero-septiembre lo cual esta representado por líneas amarillas en el diagrama (**Figura 20**).

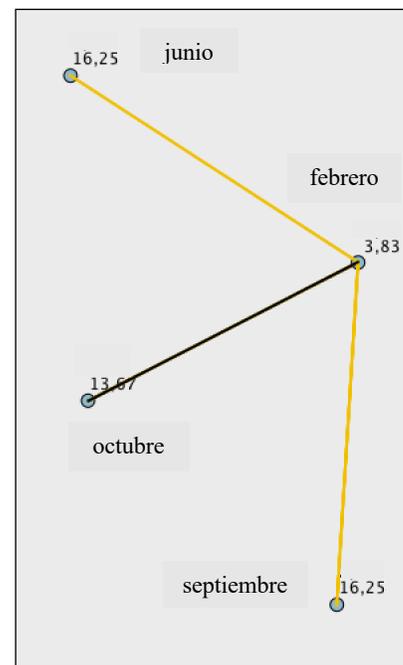


Figura 20. Diferencias estadísticamente significativas entre las densidades registradas en cada fecha de muestreo.

La diversidad Shannon-Weaver (alfa) para el mes de octubre resultó ser la más alta con un valor de 2.904 bits, mientras que las más baja se registró en febrero con 2.216 bits (**Figura 21**).

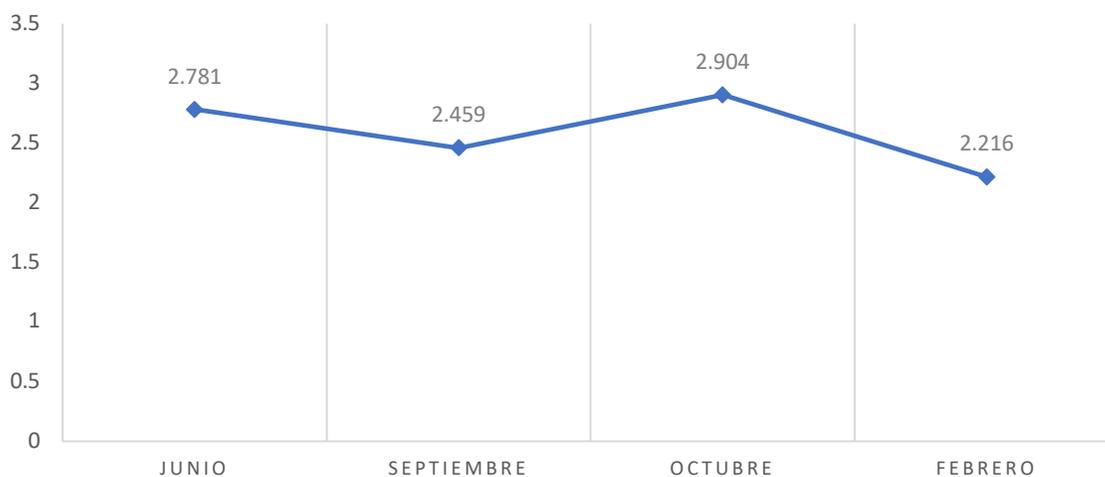


Figura 21. Valores de la diversidad (alfa) de cada una de las fechas de muestreo.

La diversidad Shannon-Weaver (alfa) para los 20 m de profundidad resultó ser la más alta con un valor de 2.889 bits, mientras que la más baja fue a los 0.3 m con un valor de 2.587 bits (**Figura 22**)

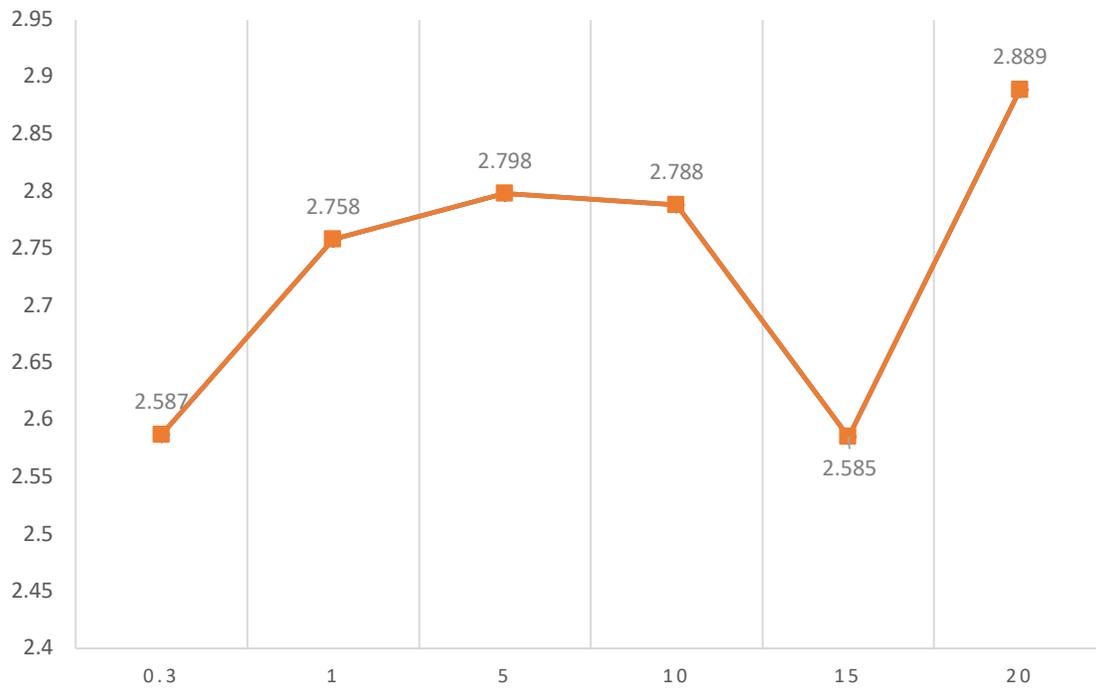


Figura 22. Valores de la diversidad (alfa) de cada una de las profundidades de muestreo.

Discusión de resultados

El Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano (PNSAV) es peculiar debido a que se ha desarrollado cerca de un ambiente terrígeno provocado por las descargas de los ríos cercanos (Krutak, 1997). Se han registrado características ambientales particulares que se salen del contexto establecido para los arrecifes coralinos (Salas-Perez & Granados-Barba, 2008).

La temperatura ambiental que se reportó en este trabajo se mantiene entre los 27 y los 30°C, la mayor registrada es en junio con 30°C (Figura 3) que concuerda con la temporada canicular, en la que aumenta la temperatura y disminuye la precipitación (Conagua, 2015); la menor registrada es en febrero con 24°C, se presenta durante la temporada de “nortes” (CONANP, 2017), que provocaron una disminución en la temperatura principalmente por el efecto de los vientos.

La temperatura del agua no presentó grandes variaciones (Figura 4) , se mantuvo constante en todas las profundidades, esto se debe a que la termoclina se encuentra entre los 20 y 30 metros de profundidad (CONANP, 2017), mantuvo un ciclo anual paralelo a las variaciones que existen en la temperatura del aire, las mayores temperaturas se registran a finales del verano y las mínimas en los meses de invierno como lo describen (Perales-Valdivia, et al., 2015).

La salinidad tuvo los menores valores registrados durante el invierno en el caso de todas las profundidades (Figura 6) (donde el escurrimiento de los ríos locales es mínimo), esto soporta los resultados numéricos reportados por (Zavala-Hidalgo et al. 2003), con relación a la advección de masas de agua con menor salinidad y temperatura provenientes de la plataforma de Louisiana-Texas.

Durante la primavera en concordancia con el aumento de insolación mensual promedio y de la temperatura del agua, el rango de salinidad también aumentó, el agua de la capa superficial fue ligeramente más salada y al fondo más dulce.

Durante el verano la presencia de agua con salinidades menores aumentó. Esto sugiere la influencia de la descarga de aguas continentales, principalmente del río Jamapa, cuya descarga es máxima durante el verano como lo mencionan (Perales-Valdivia, et al., 2015).

El pH se mantuvo entre los 7.6 y 8.5, los valores menores de pH se presentaron en febrero (Figura 8) cuando la temperatura era menor y había presencia de nortes, esto pudo ser por el aumento de la deposición atmosférica (lluvia ácida). Se ha documentado que el pH se correlaciona de manera directa con la temperatura en aguas tropicales superficiales; también se ha especulado que esto podría ocurrir en aguas donde la densidad es determinada por la temperatura (Zirino y Lieberman, 1985; Zirino et al., 1986; Zirino et al., 1997), durante los otros meses de muestreo se mantuvo constante registrando valores menores a una profundidad de 0.3m y manteniendo valores simétricos de 1 a 20 m de profundidad (Figura 9).

La mayor parte de los organismos acuáticos prefieren un rango entre 6.5 y 8.5. Fuera del mismo suele haber una disminución en la diversidad, debido al estrés generado en los organismos no adaptados (Goyenola, 2007).

La producción de oxígeno está relacionada con la fotosíntesis y la mezcla del aire con el agua, mientras que el consumo dependerá de la descomposición de sustancias orgánicas, respiración y otros procesos. Cuando los niveles de oxígeno disuelto en el agua están por debajo de 5.0 mg/L la vida de los organismos acuáticos está en peligro (DOF, 2012), tomando en cuenta lo anterior, los valores de oxígeno disuelto registrados se encuentran dentro de los rangos óptimos para el desarrollo de la vida, esto es entre los 6 y los 11 mg/L durante los meses de junio, septiembre y febrero, en el mes de octubre se presentan valores extraordinarios de 12.85 mg/L a 21.97 mg/L (Fig. 10), dicha condición podría deberse a la circulación de la zona local promovida por los patrones de las olas, las mareas y los vientos; así como por fenómenos meteorológicos como los huracanes, tormentas tropicales (nortes) y descargas de los ríos (Salas-Perez & Granados-Barba, 2008).

En este trabajo se identificaron y determinaron 26 géneros y 47 especies (Tabla 6), el número de especies es menor a los reportados por Ramírez, (2017) 54 especies y Ortiz (2016) 85 especies, en el presente se registraron las especies encontradas en la zona de influencia oceánica, mientras que Ramírez (2017) y Ortiz (2016) trabajan en playa y arrecife, lo que provoca una variación en las especies en comparación con los trabajos mencionados.

De los géneros encontrados, *Chaetoceros* fue el más abundante con el 22.1% del total de las especies, seguida de *Trichodesmium* con un 12.5% y con un 10% *Prorocentrum*, los otros géneros representativos por su porcentaje de especies fueron *Pleurosigma*, *Navicula*, *Coscinodiscus* y *Pseudo-Nitzchia*.

Con las gráficas de abundancia podemos observar que la composición y abundancia fue diferente en cada mes de muestreo y las mayores abundancias de un género no eran las mismas durante todos los muestreos.

Las especies más representativas *Trichodesmium erythraeum*, *Coscinodiscus sp.*, *Pseudo-nitzchia sp.*, *Navicula sp.*, *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros decipiens*, *Chaetoceros affinis*, *Bacteriastrum elongatum*, *Pleurosigma sp.*, *Prorocentrum balticum* y *Trichodesmium thebauiti* presentan altas abundancias debido a que las aguas son ricas en nutrientes por el aporte de las mareas; además de un oleaje alto, dichos factores en conjunto proveen las condiciones ideales para el desarrollo de estas especies. En el PNSAV se puede esperar una riqueza elevada de los géneros *Chaetoceros*, *Coscinodiscus* y *Navicula*, a causa de la extensión somera alrededor de los arrecifes. Con el oleaje las diatomeas bentónicas se despegan del sedimento del fondo marino y de las macrofitas y se mantienen suspendidas en la columna de agua (Okolodkov, et al., 2012) se encontraron especies bentónicas como *Navicula sp.*, *Grammatophora marina*, *Nitzchia sp.* y *Thalassiosira eccentrica*.

Las cianobacterias *Trichodesmium thebauiti* pueden ser abundantes en términos de diversidad y abundancia durante octubre debido a la formación de agregados de filamentos principalmente durante las épocas de los vientos del norte y lluvias (Ake-

Castillo, 2009; 2011). La especie *Scenedesmus quadricauda* se registró en el mes de junio, se han encontrado en el PNSAV al ser llevadas por las descargas provenientes del río Jamapa (Okoldokov, et al., 2012).

Las especies potencialmente nocivas *Trichodesmium erythraeum* y *Trichodesmium thebauti* (Ake-Castillo, 2009; 2011) se registraron de abril a noviembre durante la época con las temperaturas de agua elevadas (27-32°C) y la mayor precipitación.

Las densidades totales más altas corresponden a los meses de junio, septiembre y octubre que corresponden con la época de lluvias caracterizada por una precipitación con valores máximos de hasta 500 milímetros (CONANP, 2017).

El análisis de Kruskal-Wallis demostró que había diferencias entre las densidades totales y las fechas de muestreo, de acuerdo con el diagrama de comparaciones se presentó una diferencia entre los periodos de febrero-junio y febrero- septiembre (Figura 19), esto está relacionado con la menor presencia de oxígeno disuelto y valores de pH menores durante febrero.

Los valores máximos de densidad se obtuvieron durante junio con 2,762,200 org/m³ y septiembre con 2,46,500 org/m³, mientras que las menores se registraron en febrero con 1,453,334 org/m³ (Figura 16). Para el SAV (Okolodkov, et al., 2011; Salas-Perez, et al., 2012) quienes han descrito que durante los meses de secas se registran los valores mínimos en las densidades, incrementando durante las lluvias y las más elevadas se presentan durante los nortes debido a la mezcla en la columna de agua que generan los vientos.

Los valores de densidad registrados por profundidad muestran que las densidades a 15 y 20 m de profundidad fueron menores que los que se registraron más cerca de la superficie, esto puede tener como factor causante a las corrientes marinas que provocan que los organismos se mantengan más cerca de la superficie, según la (CONANP,2017). Existen dos corrientes importantes en la zona: la corriente principal, determinada por la dirección del viento que en promedio se desplaza hacia el noroeste con una velocidad de 19.03 centímetros por segundo (0.37 nudos), con vientos del sureste y con vientos del norte, su dirección cambia hacia el sureste; y la corriente llamada de la “Bocana del Puerto”, la cual no presenta relación directa con la dirección del viento, pero varía en proporción a su magnitud. Los factores que influyen en la dirección y velocidad de las corrientes son la línea de costa y los mismos arrecifes que conforman el Sistema Arrecifal Veracruzano, así como la dirección y velocidad del viento.

La diversidad de Shannon-Wiener, fue muy variable en el periodo de estudio. Con un valor máximo en octubre de 2.9 bits y un mínimo en febrero de 2.2 bits, con respecto a la profundidad se obtuvo un valor promedio de 2.7 bits. La diversidad del fitoplancton oscila generalmente entre 1,0 y 2,5 bits en aguas costeras, siendo especialmente baja en estuarios, aguas contaminadas o con procesos de surgencias. En aguas oceánicas son frecuentes valores entre 3,5 y 4,5 bits (Margalef, 1972). El análisis de varias comunidades fitoplanctónicas de diferentes áreas oceánicas del Mar Caribe, el Mediterráneo y el Atlántico noroeste de África ha proporcionado una extensa serie de valores de H' , los cuales fluctúan entre los 2,4 y los 2,6 bits (Margalef, 1980). Es importante señalar que el valor

promedio de diversidad fue de 2,6 bits, lo que indica que la comunidad estaba en una fase de crecimiento activo (Uribe, 1982).

Conclusiones

- La variación de los parámetros está determinada principalmente por las características que poseen las diferentes épocas del año bien marcadas en el PNSAV. La temperatura ambiental se mantuvo entre (27-30°C), la temperatura del agua debido a la termoclina se mantuvo entre (25-30°C), salinidad entre (33-47 g/L), pH (7.6-8.5) y oxígeno disuelto (6.16-21.97 mg/L).
- Los organismos fitoplanctónicos encontrados se determinaron taxonómicamente en 4 phylum, 6 clases, 19 ordenes, 22 familias, 26 géneros y 47 especies, el género *Chaetoceros* fue el más abundante con el 22.1%, *Trichodesmium* con 12.5% y con el 10% *Prorocentrum* los otros géneros representativos por su porcentaje de especies fueron *Pleurosigma*, *Navicula*, *Coscinodiscus* y *Pseudo-Nitzschia*.
- La abundancia y composición de los géneros varía a través del tiempo y entre muestreos, las especies más representativas *Trichodesmium erythraeum*, *coscinodiscus sp.* *Pseudo-nitzschia sp.*, *Navicula sp.*, *Skeletonema costatum*, *Chaetoceros decipiens*, *Chaetoceros affinis*, *Bacteriastrum elongatum*, *Pleurosigma sp.*, *Prorocentrum balticum* y *Trichodesmium thebauiti* tienen altas abundancias por la presencia de condiciones ideales para su desarrollo.
- Las densidades totales más altas se obtuvieron durante junio 2,762,200 org/m³ y septiembre 2,460,500 org/m³ mientras que las menores se registraron en febrero 1,453,334 org/m³. El análisis de Kruskal-Wallis demostró que había diferencias

entre las densidades totales y las fechas de muestreo durante febrero-junio y febrero-septiembre. Las densidades a 15 y 20 m de profundidad fueron menores que las registradas más cerca de la superficie, esto puede estar ligado a las corrientes marinas que provocan que los organismos se mantengan más cerca de la superficie.

- La diversidad alfa, fue muy variable en el periodo de estudio. Con un valor máximo en octubre de 2.9 bits y mínimo en febrero de 2.2 bits, respecto a la profundidad se obtuvo un valor promedio de 2.7 bits el valor promedio de diversidad fue de 2,6 bits, lo que indica que la comunidad estaba en una fase de crecimiento activo.

Literatura citada

- Aké-Castillo, J. A., & OKOLODKO V, Y. B. (2009). Pseudo-nitzschia subcurvata (Bacillariophyceae) in the Gulf of Mexico?. *Harmful Algae News*, (40), 6-7.
- Aké-Castillo, J. A. (2011). Temporal dynamics of *Trichodesmium erythraeum* (Cyanophyta) in the National Park "Sistema Arrecifal Veracruzano" in the Gulf of Mexico. *Journal of Environmental Biology*, 32: 395-399.
- Alonso-Rodríguez, R., Hernández-Becerril, D. U., & Lizárraga, I. G. (2008). *Catálogo de microalgas de las lagunas costeras de Sinaloa*. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Badillo, M., Galindo, M., Gallardo, A., Lizama, G., Palomino, G., Leticia, M., & Chappa, X. (2010). Manual de prácticas de ecología acuática. *Unidad Multidisciplinaria de Docencia e Investigación. Facultad de Ciencias. UNAM. México*.
- Brasil, J., & Huszar, V. L. (2011). O papel dos traços funcionais na ecologia do fitoplâncton continental. *Oecologia Australis*, 15(4), 799-834.
- Comisión Nacional del Agua. (2015). Estadísticas del agua en México. México.
- Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (2017) Programa de Manejo del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Publicado en diciembre 2017
- Diario Oficial de la Federación (2012) Decreto que modifica al diverso por el que se declara Area Natural Protegida, con el carácter de Parque Marino Nacional, la zona conocida como Sistema Arrecifal Veracruzano. Publicado el 29 de noviembre de 2012.
- Diario Oficial de la Federación (2017) Acuerdo por el que se da a conocer el resumen del Programa de Manejo del Area Natural Protegida con categoría

de Parque Nacional la zona conocida como Sistema Arrecifal Veracruzano. Publicado el 22 de mayo de 2017.

- De Boyd, S., & Kevin, B. J. (1977). A Guide to Marine Coastal Plankton and Marine Invertebrate Larvae. *Department of Biology West Valley Community College, California*.
- Diehl, S., Berger, S., Ptacnik, R., & Wild, A. (2002). Phytoplankton, light, and nutrients in a gradient of mixing depths: field experiments. *Ecology*, 83(2), 399-411.
- Diehl, S. (2007). Paradoxes of enrichment: effects of increased light versus nutrient supply on pelagic producer-grazer systems. *The American Naturalist*, 169(6), E173-E191.
- Escribano, R., & Castro, L. (2004). *Biología Marina y Oceanografía: Conceptos y Procesos Tomo 1, Capítulo 14. Plancton y Productividad. Chile pp. 287-312. Werlinger, C.(Editor), 700.*
- Esteves, F. A., & Suzuki, M. S. (2011). *Comunidade Fitoplanctonica*. In F. A. Esteves (Ed.), *Fundamentos de Limnología 3° edición* (pp. 375-445). Rio de Janeiro: Editora Interciencia
- *Estimación De La Diversidad Especifica. (2019). Buenos Aires, Argentina. Recuperado de from <http://www.fcnym.unlp.edu.ar/catedras/ecocomunidades/TPN3Diversidad.pdf>*
- Fehling, J., Davidson, K., Bolch, C. J., Brand, T. D., & Narayanaswamy, B. E. (2012). The relationship between phytoplankton distribution and water column characteristics in North West European shelf sea waters. *PLoS One*, 7(3), e34098.
- Flöder, S., & Sommer, U. (1999). Diversity in planktonic communities: an experimental test of the intermediate disturbance hypothesis. *Limnology and Oceanography*, 44(4), 1114-1119.
- Goyenola, G. (2007). Oxígeno disuelto. *Guía para la utilización de las Valijas Viajeras. Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos RED MAPSA.*

- Graham, L., Graham, J., & Wilcox, L. (2009). *Algae* (2nd edition). San Francisco: Pearson Benjamin Cummings.
- Harris, G. (1986). *Phytoplankton Ecology: Structure, Function and Fluctuation*. New York: Chapman & Hall.
- Hernández-Téllez, J., & Salgado-Rivero, J. (1996). Masas de agua en la costa de la Ciudad de Veracruz, Ver.(MACCV), enero 1995 a febrero 1996. *Reporte Técnico, DGOM Secretaría de la Marina, México*.
- Jäger, C. G., Diehl, S., & Schmidt, G. M. (2008). Influence of water-column depth and mixing on phytoplankton biomass, community composition, and nutrients. *Limnology and Oceanography*, 53(6), 2361-2373.
- Hernández, M. J., Barba, A. G., & Lozano, L. O. Análisis de la Información Científica en el Sistema Arrecifal Veracruzano. *A la memoria de Mario Lara Pérez Soto (1960-2003)*, 1.
- Jones, K. J., Gowen, R. J., & Tett, P. (1984). Water column structure and summer phytoplankton distribution in the Sound of Jura, Scotland. *Journal of experimental marine biology and ecology*, 78(3), 269-289.
- KRUTAK, P. R. (1997). Petrography and provenance of siliciclastic sediments, Veracruz-Anton Lizardo reefs, Mexico. *Ocean and Polar Research*, 19(3), 231-243.
- Lara, M., Padilla, C., García, C., & Espejel, J. J. (1992, June). Coral reef of Veracruz Mexico I. Zonation and community. In *Proceedings of the 7th International Coral Reef Symposium* (Vol. 1, pp. 535-544).
- Mann, K. H., & Lazier, J. R. N. (1991). *Dynamics of marine ecosystems: Biological-physical interactions in the oceans* (1st ed.). Boston [etc.: Blackwell Scientific Publications.
- Margalef, R. (1972). Regularidades en la distribución de la diversidad del fitoplancton en un área del mar Caribe.
- Margalef, R. (1978). Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanica Acta*, 1(4), 493-509.

- Margalef, R. (1980). *La biosfera entre la termodinámica y el juego* (No. 574.5 M32).
- Margalef, R. (1983). *Limnología* (Vol. 1009). Barcelona: Omega.
- Marques, M. (2001). *Estadística Básica: un enfoque no paramétrico*. México: Universidad Nacional Autónoma de México-Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.
- Monreal-Gómez, M. A., Salas-de-León, D. A., Velasco-Mendoza, H., Caso, M., Pisanty, I., & Ezcurra, E. (2004). La hidrodinámica del Golfo de México. *Diagnóstico ambiental del Golfo de México*, 1, 47-68.
- Moreno, C. E., Barragán, F., Pineda, E., & Pavón, N. P. (2011). Reanálisis de la diversidad alfa: alternativas para interpretar y comparar información sobre comunidades ecológicas. *Revista mexicana de biodiversidad*, 82(4), 1249-1261.
- Müller-Karger, F. E., Walsh, J. J., Evans, R. H., & Meyers, M. B. (1991). On the seasonal phytoplankton concentration and sea surface temperature cycles of the Gulf of Mexico as determined by satellites. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 96(C7), 12645-12665.
- De la Federación, D. O. (2010). Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010. *Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo*, 30, 1-78.
- Okolodkov, Y. B., Aké-Castillo, J. A., Gutiérrez-Quevedo, M. G., Pérez-España, H., & Salas-Monreal, D. (2011). Annual cycle of the plankton biomass in the National Park Sistema Arrecifal Veracruzano, southwestern Gulf of Mexico. *Zooplankton and phytoplankton: Types, characteristics and ecology*, 63-88.
- Okolodkov YB, JA Aké-Castillo & C Galicia-García. (2012). Productores primarios acuáticos del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano, golfo de México: estado del conocimiento. En: Sánchez AJ, X Chiappa-Carrara & R Brito-Pérez (eds). *Recursos costeros del sureste*, pp. 137-158.

- Ortiz-Lozano, L., Granados-Barba, A., Solís-Weiss, V., & García-Salgado, M. A. (2005). Environmental evaluation and development problems of the Mexican Coastal Zone. *Ocean & Coastal Management*, 48(2), 161-176.
- Ortiz C. A. K. (2016). Estudio comparativo del fitoplancton presente en la zona litoral de Antón Lizardo y una zona arrecifal, en Santiaguillo, Veracruz. Tesis de licenciatura. Fes Zaragoza. UNAM
- Perales-Valdivia, H., Sanay-González, R. & Marín-Hernández, M. (2015). Variación temporal de la estructura termohalina en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. *E-Bios*, 2(8), 124-137.
- Ramirez A. L. (2017) Estudio del fitoplancton en las zonas oriental y occidental de la Isla Santiaguillo, Edo. De Veracruz. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM.
- Rao, D. S. (1976). Marine plankton diatoms as indicators of ocean circulation in the Bay of Bengal. *Botanica Marina*, 19(3), 181-184.
- Rhee, G. Y. (1982). Effects of environmental factors and their interactions on phytoplankton growth. In *Advances in microbial ecology* (pp. 33-74). Springer, Boston, MA.
- Reynolds, C. S. (1980). Phytoplankton assemblages and their periodicity in stratifying lake systems. *Ecography*, 3(3), 141-159.
- Reynolds, C. S. (2006). *The ecology of phytoplankton*. Cambridge University Press.
- Rodríguez-Centeno, M., Díaz-Ramos, J., Charzeddine-Charzeddine, L., Subero-Pino, S., & Troccoli-Ghinaglia, L. (2010). Biomasa y abundancia del fitoplancton en la isla La Tortuga, Dependencia Federal, Venezuela. *Bol. Inst. Oceanogr. Ven*, 49, 77-86.
- Rodríguez-Gómez, C. F., Aké-Castillo, J. A., Campos-Bautista, G., & Okolodkov, Y. B. (2015). Revisión del estudio del fitoplancton en el Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. *E-BIOS (Universidad Autónoma Metropolitana, México)*, 2(8), 178-191.

- Salas-Pérez, J. D. J., & Granados-Barba, A. (2008). Oceanographic characterization of the Veracruz reefs system. *Atmósfera*, 21(3), 281-301.
- Salas-Monreal, D., Salas-de-León, D. A., Monreal-Gómez, M. A., & Riverón-Enzástiga, M. L. (2009). Current rectification in a tropical coral reef system. *Coral Reefs*, 28(4), 871.
- Salgado-Ugarte, I. H. (1992). El análisis exploratorio de datos biológicos: fundamentos y aplicaciones. *Marc Ediciones. ENEP-Zaragoza. Universidad Nacional Autónoma de México.*
- SEMARNAT. (2010). Mapa Climático. Centro Estatal de Estudios del Clima, Sub Coordinación en Investigación sobre Cambio Climático, Secretaría de Protección Civil, Gobierno del Estado de Veracruz
- Suthers, I. M., & Rissik, D. (Eds.). (2009). *Plankton : A guide to their ecology and monitoring for water quality.* Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com>
- Striebel, M., Ptacnik, R., Stibor, H., Behl, S., Berninger, U., Haupt, F., ... & Stockenreiter, M. (2010, February). Water column stratification, phytoplankton diversity and consequences for resource use and productivity. In *Proceedings of the HYDRALAB III Joint User Meeting.*
- Tamayo, J. L. (1999). *Geografía moderna de México* (No. 917.2 T3 1999).
- Tomas, C. R., & Hasle, G. R. (1997). Identifying marine phytoplankton. San Diego: Academic Press.
- Tunnell Jr, J. W. (1992, June). Natural versus human impacts to southern Gulf of Mexico coral reef resources. In *Proceedings of the 7th International Coral Reef Symposium* (Vol. 1, pp. 300-306).
- Uribe, E. (1982). Influencia del fitoplancton y producción primaria de las aguas antárticas en relación con la distribución y comportamiento del krill. *INACH, Serie Científica*, 28, 163-180.
- Vaultot, D. (2006). Phytoplankton. eLS. *Encyclopedia of life sciences*, 1-7.
- Zavala-Hidalgo, J., Morey, S. L., & O'Brien, J. J. (2003). Seasonal circulation on the western shelf of the Gulf of Mexico using a high-resolution numerical model. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 108(C12).

- Zirino, A., & Lieberman, S. H. (1985). *Mapping strategies in chemical oceanography*. The Society.
- Zirino, A., Fuhrmann, R. A., Oksanen-Gooden, D., Lieberman, S. H., Clavell, C., Seligman, P. F., ... & Barber, R. T. (1986). pH-temperature-nutrient relationships in the eastern tropical Pacific Ocean. *Science of the Total Environment*, 58(1-2), 117-137.
- Zirino, A., Hernández Ayón, J. M., Fuhrmann, R. A., Bernstein, R. L., Lara Lara, J. R., Gaxiola Castro, G., & Álvarez Borrego, S. (1997). Estimaciones superficiales de PCO, en el Golfo de California a partir de mediciones continuas de pH e imágenes de satélite. *Ciencias Marinas*, 23(1).

Anexo I. Fotografías de los organismos

Cyanobacteria



Trichodesmium erythraeum, Ehrenberg Ex Gomont 1892

Bacillariophyta



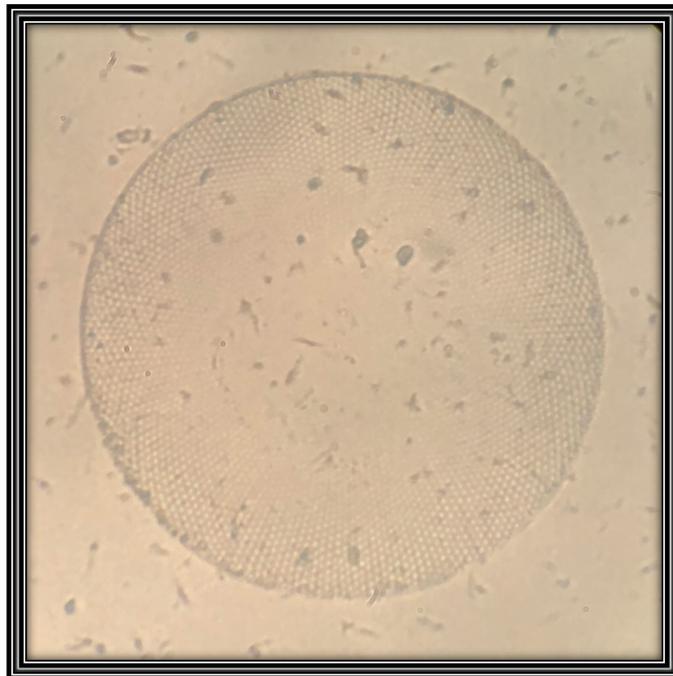
Bacteriastrum elongatum, Cleve 1897



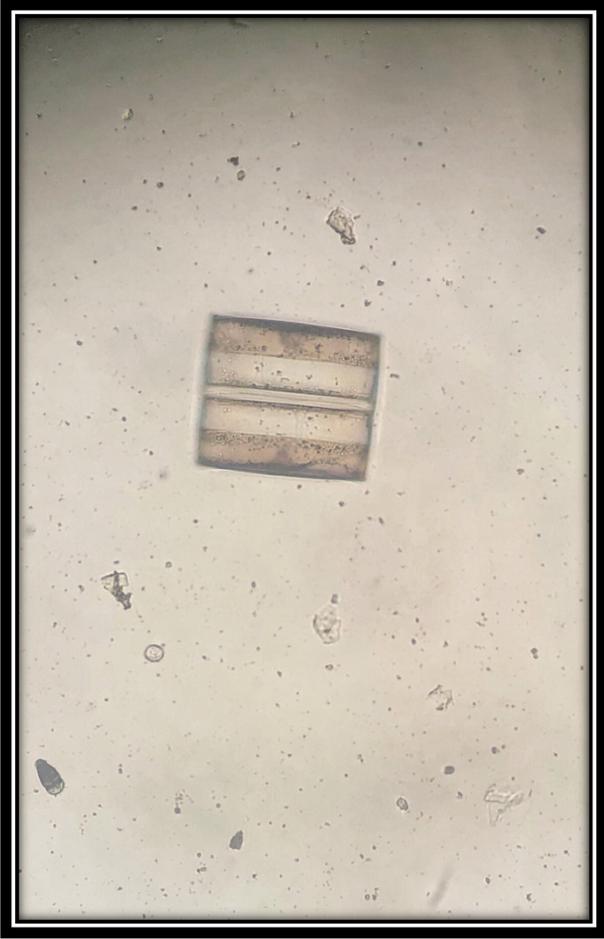
Chaetoceros affinis, Lauder 1864



Chaetoceros diversus, Cleve 1873



Coscinodiscus sp.



Coscinodiscus wailesii, Gran & Angst 1931



Navicula sp.



Ditylum brightwellii, (T. west) Grunow In Van Heurck 1885



Nitzschia sp.



Pleurosigma sp.

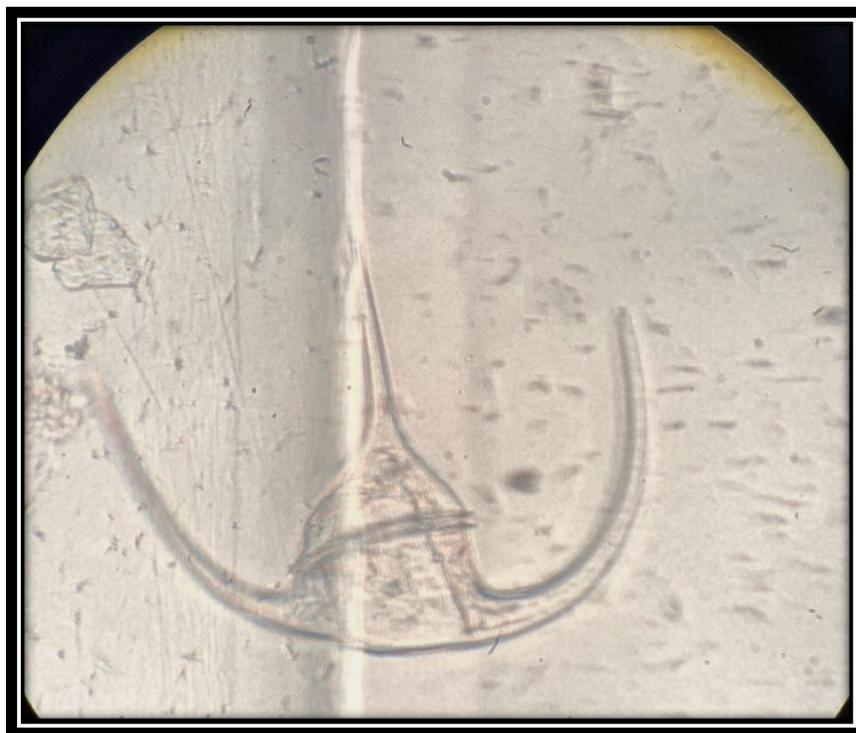


Rhizosolenia alata, Brightwell 1858

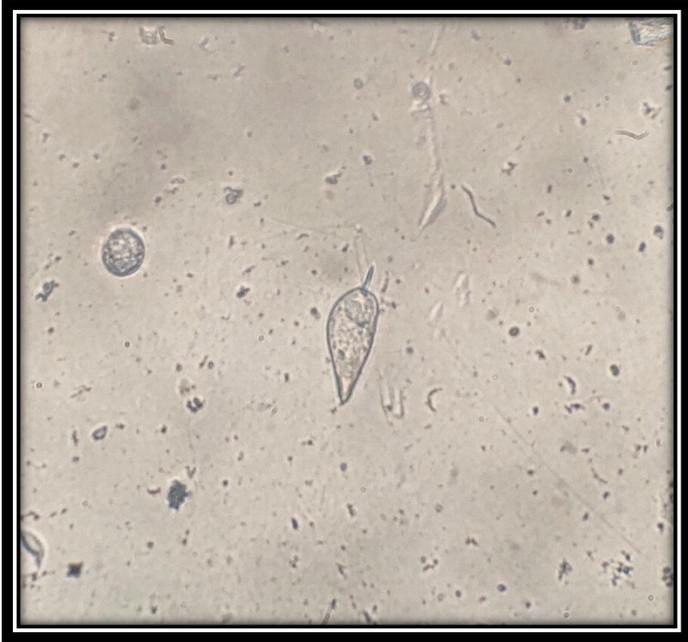


Thalassionema nitzschioides, (Grunow) Mereschkowsky 1902

Miozoa



Neoceratium tripos, (O.F.Müller) F.Gómez, D.Moreira & P.López-garcía
2010



Prorocentrum gracile, F.Schütt 1895



Protoperdinium pellucidum, Bergh 1881