



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores Zaragoza
Carrera de Biología

Análisis de la biomasa planctónica de
la Laguna de Términos (sur del Golfo de
México) en dos épocas contrastantes

TESIS
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
LICENCIADA EN BIOLOGÍA

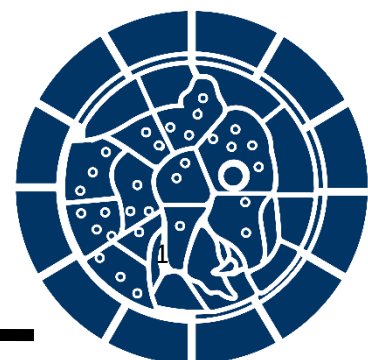
PRESENTA:

HERNÁNDEZ MORENO YESENIA

JURADO DE EXAMEN:

DIRECTOR: DR. CORIA MONTER ERIK
ASESOR: DR. BLANCAS ARROYO GUILLERMO ARTEMIO
ASESOR: M. EN C. CERVANTES SANDOVAL ARMANDO
SINODAL: DRA. GUERRA HERNANDEZ ELOISA
SINODAL: MTRA. ORTIZ BURGOS GABRIELA S.

CIUDAD DE MEXICO, 2024





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.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi agradecimiento a mi familia a quienes amo y han creído en mí, que han sido el principal apoyo en momentos de flaqueza y debilidad, con sus consejos, enseñanzas, cariño, así como su respaldo incondicional para culminar esta etapa de mi vida.

Quisiera expresar mi agradecimiento a mi director de tesis, el Dr. Erik Coria, por su guía constante, apoyo, experiencia, paciencia y conocimiento que contribuyeron a mi experiencia en el complejo y gratificante camino de la investigación, así como a la Dr. Elizabeth Durán por el apoyo brindado durante la investigación.

Son muchos los docentes que han sido parte de mi camino estudiantil, y a todos ellos les quiero agradecer por transmitirme los conocimientos necesarios para hoy poder estar aquí. Principalmente al Dr. Guillermo Blancas y M. en C. Armando Cervantes quienes me han brindado su apoyo en todo momento y que contribuyeron a mi carrera, con sus consejos y múltiples palabras de aliento.

Asimismo, quisiera expresar mi gratitud a la Dr. Eloísa Guerra y a la Maestra Selene Ortiz que contribuyeron con el desarrollo de mi investigación.

Me gustaría agradecer al Instituto de Ciencias del Mar y Limnología por abrirme las puertas y brindarme la oportunidad de avanzar en mi carrera profesional.

Agradecemos el apoyo técnico brindado por Mario Alejandro Gómez Ponce, Hernán Alvarez Guillén, Andrés Reda Deara y Sergio Castillo Sandoval. Gilberto Cardoso Mohedano brindó apoyo logístico durante los muestreos.

Por último, agradecer a la UNAM, que me ha exigido tanto, pero al mismo tiempo me ha permitido obtener mi tan ansiado título, por formarme, así como por el conocimiento adquirido durante mi vida estudiantil." Por mi raza hablara mi espíritu".

El presente trabajo fue financiado por el proyecto DGAPA-PAPIIT- UNAM #IA200123 "Evaluación de la ingesta de microplásticos por microcrustáceos (Copepoda) en la Laguna de Términos, sur del Golfo de México"

ÍNDICE

Resumen	1
Introducción	2
Marco teórico.....	4
Justificación.....	9
Antecedentes.....	10
Objetivos	12
Hipótesis	12
Área de estudio.....	12
Materiales y método.....	16
Resultados	19
Discusión	46
Conclusiones	51
Referencias	52

RESUMEN

Los estudios planctónicos resultan importantes, ya que estos organismos son la base de las cadenas tróficas. La importancia del plancton consiste en que compone la unidad básica de producción de material orgánico en los cuerpos de agua. Se relaciona con otros organismos heterótrofos y con los peces, que lo utilizan como fuente de alimentación. La siguiente investigación tuvo como objetivo analizar la biomasa planctónica en la Laguna de Términos en dos épocas contrastantes, la época de secas (abril) y la de lluvias (octubre).

En cada expedición, se muestrearon 11 estaciones distribuidas, en tres transectos localizados perpendiculares a los ríos que desembocan al interior de la laguna (Chumpán, Candelaria y Palizada), así como una estación en cada una de las bocas que conectan a la laguna con el Golfo de México. En cada estación se registraron las coordenadas geográficas y se adquirieron datos físico/químicos de la columna de agua con una sonda multiparamétrica. Posteriormente, con ayuda de una botella Van Dorn, se colectó agua a diferentes profundidades para la cuantificación de la biomasa fitoplanctónica expresada como concentración de clorofila-a (Chl-a), mediante espectrofotometría. Para la captura de organismos del zooplancton se ocupó una red cónica provista de un flujómetro, los arrastres para la colecta de organismos fueron en el estrato superficial por 10 minutos a una velocidad de 1m/s. Los organismos colectados fueron fijados con una solución de formaldehído al 4% con borato de Sodio. Una vez en el laboratorio, se procedió a la determinación de la biomasa zooplanctónica por peso húmedo.

Los resultados mostraron que los datos físico/químicos obtenidos obtuvieron un promedio mayor en la época de secas. Esta época fue la más salina con un promedio de 37.65 ups, la Chl-a tuvo un decremento en la época de lluvias con un promedio de 10.94 mg/m³, mientras que la biomasa zooplanctónica fue mayor en la época de secas con lo que se concluye que esta época es la más productiva.

Con base en los resultados obtenidos, se concluyó que en el mes de abril se encontró mayor biomasa planctónica en comparación con el del mes de octubre. Se concluyó que el mes de abril resultó más productivo debido a que es el fin de temporada de "Nortes", por lo que hay un mayor esfuerzo del viento que genera una mayor resuspensión de nutrientes lo cual beneficia a las comunidades planctónicas.

Palabras clave: hidrografía, fitoplancton, zooplancton, biomasa, Laguna de Términos.

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas costeros, como áreas de continua interacción entre el mar y la tierra, han sido estudiados durante años debido a su importancia científica y socioeconómica. Los parámetros químicos e hidrográficos explican lo que ahí sucede y rigen la vida de los organismos que ahí habitan. Además de los procesos bióticos y abióticos ambientales, los cuerpos de agua costeros también se ven afectados por diferentes orígenes antropogénicos, ya que son el reservorio final de la escorrentía continental, que de una forma u otra modifica el equilibrio ecológico (Márquez et al., 2008).

Las lagunas costeras pueden tener una o varias conexiones con ríos, suelen ser muy productivos y forman importantes reservorios de biodiversidad, incluidos reservorios de vertebrados e invertebrados como el zooplancton, suelen ser poco profundas, parcial o totalmente separadas del mar por la presencia de depósitos de arena que se forman por el oleaje y la influencia de las mareas (Álvarez y Torres, 2013).

Las poblaciones que constituyen al zooplancton varían dependiendo de la respuesta a cambios en factores abióticos y bióticos, por lo que su abundancia y composición también varían según a los cambios en la abundancia y diversidad del fitoplancton. El zooplancton es un elemento importante de transferencia de energía en los sistemas de aguas continentales (Gómez, 2013).

La Laguna de Términos, localizada en la región sur del Golfo de México, recibe parte de la descarga del sistema fluvial Grijalva-Usumacinta, que introduce nutrientes en el sistema, los cuales son en mayor medida responsables del incremento en la abundancia de fitoplancton y por ende del zooplancton. Sin embargo, ésta se puede ver afectada por la disminución de la transparencia y la asimilación de los nutrientes inorgánicos, por lo que el fitoplancton puede ser afectado por los procesos de reciclamiento del carbono, nitrógeno, fósforo y silicio (Vega, 2022).

Los estudios sobre biomasa y producción primaria por clases de tamaño, la mayoría han demostrado que el nanofitoplancton suele representar del 80 al 90% de la producción en aguas templadas y tropicales. De manera similar, se ha documentado que la productividad del nanofitoplancton es generalmente más que la del microfitoplancton en entornos oceánicos y que el microfitoplancton puede ser dominante en ambientes con eventos de mezcla y/o procesos de afloramiento. En cuanto a la biomasa por tamaño, generalmente se observa que la proporción de células chicas crece a medida que disminuye la clorofila. Esto muestra que, en general, el aumento del contenido de clorofila se debe a las células grandes (microfitoplancton) donde pueden dominar las diatomeas (Lara et al., 1993).

El fitoplancton constituye la etapa inicial del proceso de producción de materia orgánica en las zonas oceánicas y costeras, y constituye la base de la cadena alimentaria. Su importancia reside en que constituye la mayoría de los organismos productores primarios del ecosistema y es un alimento básico para los consumidores, lo que puede determinar la biodiversidad de los demás niveles tróficos. La investigación sobre los productores primarios explica en muchos casos los fenómenos que ocurren en niveles superiores de la cadena alimentaria (Ramírez et al., 2006).

La biomasa y composición fitoplanctónica en los ambientes acuáticos, y en este caso en los estuarinos, está altamente asociada con las variaciones en la transparencia, la temperatura, las concentraciones de nutrientes y los cambios en la salinidad. Estos cambios influyen, de manera significativa, en la distribución temporal y espacial, la abundancia y las características funcionales de las comunidades estuarinas, siendo la salinidad el factor que juega un papel decisivo y define estructuras y funciones de la biota acuática en los estuarios (Vega, 2022).

La circulación del agua en la Laguna de Términos es muy variable. Por ejemplo, durante la estación húmeda prevalece el agua dulce en toda la región, durante la estación seca, la cuña de sal se extiende hacia el este, y finalmente, durante la estación "norte", el agua salada llega a las zonas intermareales y en ocasiones al final del estuario. Este cuerpo de agua, tiene una gran biodiversidad biológica y productividad primaria, las cuales están amenazadas principalmente por la agricultura, la extracción y el transporte de petróleo, el crecimiento de la población, así como por el desecho de aguas residuales al sistema (Vega, 2022).

El plancton se divide principalmente en fitoplancton (organismos generalmente fotoautótrofos) y zooplancton (protozoarios y animales). El fitoplancton está integrado por una comunidad de organismos generalmente fotosintéticos que viven en suspensión en el océano abierto, aguas costeras y continentales. Los grupos que integran principalmente a las comunidades de aguas marinas son las diatomeas, dinoflagelados, cocolitofóridos y silicoflagelados, mientras que en aguas continentales los grupos representativos son las criptofitas, primnesiofitas, clorofitas y euglenofitas. Por otro lado, el zooplancton, incluye todos aquellos animales que al ingerir a otros animales obtienen su energía, principalmente al fitoplancton (Serrano, 2019).

Los principales grupos de zooplancton incluyen cladóceros, larvas de peces, rotíferos, copépodos, cnidarios, quetognatos y eufausidos. El zooplancton suele estar formado por organismos adultos microscópicos y sus estadios larvarios, así como por los estadios larvarios de otros organismos que, de adultos, viven en el fondo del agua o en la columna de agua, pero contrarrestando la circulación de las corrientes. (Serrano, 2019).

Las variaciones temporales en la biomasa del zooplancton están sujetas, a las estructuras tróficas (fitoplancton) e hidrodinámicas como la estructura térmica, la turbulencia, la salinidad, entre otras (Márquez et al., 2007). Al interrelacionar este conjunto de factores, podemos entender más, cómo funciona el entorno y determinar, a los que tienen más impacto en la estabilidad de la zona de investigación (Contreras, 2016).

MARCO TEÓRICO

Las regiones costeras se consideran zonas de transición entre las zonas epicontinentales y marinas, representan una secuencia de procedimientos que les otorga gran complejidad oceanográfica y ecológica, cuya variabilidad está relacionada con diversos factores como cambios en el ciclo del agua y corrientes continentales (ríos y lagunas), que cambian las variables físico-químicas del ambiente entre horas y estaciones climáticas. Por lo que tanto, el plancton, que forma parte del ecosistema acuático, está expuesto a estos cambios (Contreras, 2016).

La parte interior de una laguna costera puede presentar estuarios y canales de marea y patrones sedimentarios que están delimitados por corrientes internas. En promedio, la profundidad es pequeña, su eje longitudinal es generalmente paralelo a la costa y conectado al mar (por un estuario o canal) y limitado por alguna barrera hidrodinámica o física (Anónimo, 1983).

Las lagunas se ven afectadas por agua salada y dulce, se trata generalmente de ambientes rotos con un gradiente de salinidad decreciente desde la conexión con el mar hasta el estuario, y las corrientes internas crean una situación donde se acumula lo orgánico e inorgánico, por lo que existe un vínculo entre la exportación y la persistencia del material y las importaciones favorecen los dos últimos procesos, permitiendo que las lagunas costeras se conviertan en trampas de materiales y, por lo tanto, se contaminen rápidamente. El fondo de las lagunas es fangoso, y en el proceso de su descomposición se produce una gran cantidad de material orgánico, por lo que falta oxígeno a este nivel (Anónimo, 1983).

México cuenta con una superficie territorial de 1,964,375 km², en el que 430,000 km² pertenecen a la zona costera terrestre, cuya superficie está distribuida en 17 estados de la República, con 263 municipios costeros, 150 con frente de mar y 113 con influencia costera (González, 2021).

Las lagunas costeras brindan importantes servicios ambientales como la liberación de oxígeno y captura de dióxido de carbono. Además, las lagunas costeras filtran, limpian y suministran agua dulce, retienen sedimentos, controlan las inundaciones, brindan protección ante diferentes eventos meteorológicos, previenen la erosión, ofrecen suelos ricos en nutrientes, así como un hábitat para el desarrollo y almacenamiento de materia orgánica y la consecuente línea de consumidores primarios y secundarios (Sánchez et al., 2007).

Normalmente las lagunas costeras están rodeadas por manglares, pero cabe señalar que las regiones de Teacapán Agua Brava Marismas Nacionales y San Blas (sur de Sinaloa-Nayarit), Chantuto Teculapa-Panzacola (Chiapas) y Laguna de Términos (Campeche), comprenden 240,000 hectáreas de estuarios y mangles, lo que comprende 40-50% de la totalidad de los mangles en el territorio (Sánchez et al., 2007).

En el estado de Campeche se encuentra el área de protección de flora y fauna Laguna de Términos, el cual cuenta con una superficie de 7,061.47 km², de los cuales 1 662 km² pertenecen al sistema de agua de la laguna y el resto a pantanos asociados y la plataforma continental. Está área de protección está conformada por una de las lagunas costeras más grandes en el Golfo de México, y por el agregado de pantanos fluvio-deltáicos más importante después de los pantanos asociados al río Misisipi (Ayala et al., 2003).

Esta zona es de suma importancia en lo económico, social y científico, esto debido a su alta biodiversidad, así como a la gran cantidad de recursos renovables que otorgan un beneficio económico, a la producción de alimento por cultivo, a la alta actividad pesquera como el camarón, las actividades de explotación y exploración de petróleo, así como por la actividad de la acuicultura, entre otros (Ayala et al., 2003).

La zona de Laguna de Términos, recibe parte de la descarga del sistema fluvial Grijalva-Usumacinta, que introduce nutrientes en el sistema, los cuales son en mayor medida responsables del incremento en la abundancia de fitoplancton y como consecuencia de la productividad primaria fitoplanctónica. Sin embargo, ésta se puede ver afectada por la disminución de la transparencia y la asimilación de los nutrientes inorgánicos, por lo que el fitoplancton puede ser afectado por los procesos de reciclamiento del carbono, nitrógeno, fósforo y silicato (Vega, 2022).

Se le conoce al plancton, como un grupo de organismos de pequeño tamaño (típicamente menor a 3 cm) los cuales viven suspendidos en la columna de agua y tienen una facultad limitada al sobreponerse a las corrientes de agua. Esta sustenta a las poblaciones de varios depredadores como lo son peces, aves, mamíferos marinos, e invertebrados. Este grupo está conformado, principalmente, por organismos fotosintéticos que conforman el fitoplancton, los cuales conforman la base de la mayoría de las redes tróficas. De igual manera está conformado por organismos heterótrofos que integran al zooplancton, el cual está conformado por dos grupos: el meroplancton, que son organismos que sólo viven en sus etapas tempranas de su ciclo de vida en el plancton y el holoplancton que son los organismos que viven todo su ciclo de vida en él (Contreras, 2016).

Cabe mencionar que, varias de las especies que tienen fases transitorias en el plancton, se consideran como depredadores dentro de la comunidad zooplanctónica, debido a que, estos tienen mayor relevancia en la estructura y estabilidad de la red trófica, así como para el flujo de energía en el sistema (Contreras, 2016).

Los factores como la productividad, (regularmente están asociados con la calidad del agua), son importantes para explicar los patrones de abundancia de especies. Cuando un estado eutrófico es dominado por el fitoplancton regularmente tiene una mala calidad de agua y muy pocas especies, en cambio, cuando un sistema oligotrófico regularmente con un predominio de los macrófitos es usualmente más diverso en especies (Mora, 2015).

El fitoplancton (normalmente microorganismos autótrofos) son la base de la cadena trófica en los ambientes marinos. Su labor es primordial en el planeta, ya que radica en realizar fotosíntesis, el cual es un proceso en el que intervienen nutrientes, bióxido de carbono, agua y la radiación solar, y termina la producción de oxígeno y la formación de varios compuestos orgánicos como lo son los carbohidratos y proteínas. Durante este proceso, el material inorgánico se convierte en orgánico, misma que se transmite al zooplancton, microorganismos heterótrofos, el cual deriva en alimento de otras especies hasta llegar a las especies localizadas en los niveles tróficos superiores. Del oxígeno que hay en el planeta más del 50 % se origina en el mar, esto debido a la fotosíntesis, producida por el fitoplancton (López, 2019).

Puede ser estimada, la biomasa fitoplanctónica, por medio de la concentración de clorofila-a (Chl-a), a pesar de que, solo representa el 1% del peso seco en una célula. La biomasa suele considerarse, como el peso total del fitoplancton por unidad de área o de volumen (Dávila et al., 2014).

Regularmente para la biomasa del fitoplancton, es empleada como una medida, la concentración de Chl-a. Forman asociaciones, estas microalgas se relacionan con otros microorganismos formando una red microbiana, la cual regula el reciclado del carbono, así como de los nutrientes, la transferencia a los niveles tróficos más altos o su sedimentación en aguas profundas. En sistemas menos productivos, los organismos de menor tamaño (menores a 5 μm) son más habituales y abundantes; mientras que los organismos de gran tamaño (mayores a 20 μm) o micro fitoplancton predominan en aguas eutróficas, que corresponden a sistemas más productivos, ricos en fósforo y nitrógeno. Por lo que, la dinámica del fitoplancton con relación al ecosistema y a otros organismos, es de suma importancia para evaluar la productividad del ambiente (Montecino y Pizarro, 2006).

Hay diversos factores que determinan la abundancia y la composición del fitoplancton, como son los siguientes (Vega, 2022):

- a) Condiciones hidrográficas y físicas: como lo son la temperatura, la estratificación o la turbulencia de la columna de agua, la luz, la tasa de sedimentación del plancton, así como el tiempo de residencia del agua.
- b) Composición química del agua: como la mineralización, la materia orgánica, el pH y los nutrientes.

El plancton interactúa con varios factores abióticos y bióticos que están en el medio y su estructura requiere de estos. El zooplancton consiste en organismos que se encuentran en la columna de agua y son clave dentro de las redes alimenticias pelágicas, este traspassa la energía y/o producción primaria a los demás niveles tróficos. La mayoría de los organismos del zooplancton se consideran como indicadores biológicos, por su capacidad en adaptarse en ecosistemas con gradientes muy marcados de temperatura y salinidad, de igual manera se consideran fundamentales en las pesquerías, esto porque, las larvas de los peces presentes en el zooplancton y sus ciclos biológicos resultan ser indicadores del reclutamiento y producción pesquera, de igual manera como indicadores de tendencias de variación ambiental y afectaciones por contaminación (Mojica y Franco, 2019).

Para entender el papel ecológico de cada grupo de las poblaciones del zooplancton, la biomasa es una variable fundamental (Villabona et al., 2015).

Se define a la cantidad de materia viva que aporta el plancton al sistema, que establece una medida de la productividad secundaria en cualquier sistema acuático a la biomasa del zooplancton. La productividad o biomasa puede asociarse con varios factores, como lo son los gradientes de salinidad, la fotosíntesis, la temperatura etc. Por lo que, a partir de la cuantificación y análisis de la distribución de la biomasa del zooplancton, es posible obtener datos importantes sobre el

comportamiento del sistema y así poder realizar comparaciones con otros sistemas colindantes o semejantes (Gasca et al., 1994).

La distribución, composición y abundancia del zooplancton en zonas costeras y sistemas estuarinos dependerá de los parámetros químicos y físicos (pH, temperatura, oxígeno disuelto, salinidad), así como de factores biológicos como la depredación y la competencia, los cuales influirán en los rasgos faunísticos del sistema (Gasca et al., 1994).

El zooplancton tiene como finalidad transformar la energía que se produce por el fitoplancton y que es transferida a los demás niveles tróficos, por lo que la cantidad de fitoplancton y zooplancton presente en las lagunas, en gran medida dependerá la productividad de las mismas, de igual manera, debido a sus pequeños ciclos de vida, los organismos del zooplancton responden rápidamente a los cambios ambientales, por lo que, la composición de especies en la comunidad, es un indicador de las características del cuerpo de agua (Gómez, 2013).

La comunidad planctónica forma parte de la base de los niveles tróficos (Figura 1), por lo cual se define, como todo organismo que vive flotando casi pasivamente en la columna de agua y son incapaces de sobreponerse a las corrientes por sus propios medios, aunque algunos organismos planctónicos poseen estructuras natatorias, las cuales les permiten desplazarse algunos metros, ya sea de manera horizontal o vertical (Signoret et al., 2006).

La comunidad es compleja, ya que está conformada por los productores primarios, los consumidores primarios, secundarios y terciarios, así como los desintegradores (Figura 2). En las aguas superficiales los niveles de luz son los adecuados, para la captación de la energía solar de los organismos fitoplanctónicos a través de la fotosíntesis (Góngora, 2014).

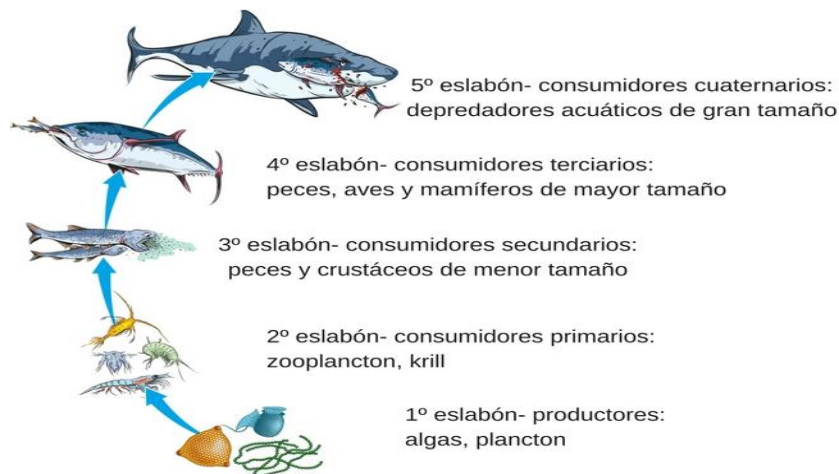


Figura 1. Cadena alimenticia acuática. Tomado de:
<https://www.significados.com/cadena-alimenticia-acuatica/>

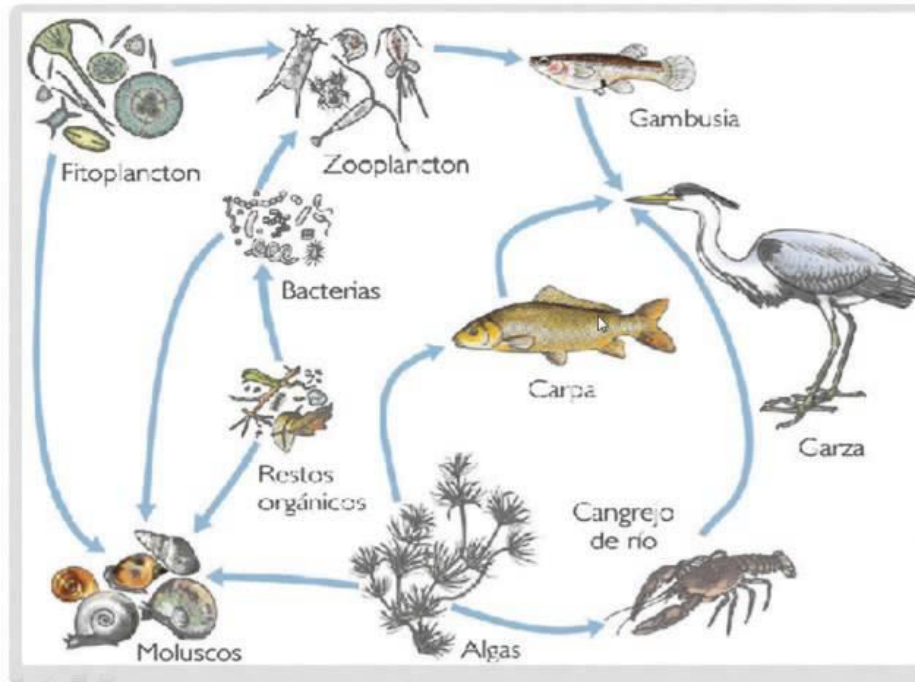


Figura 2. Cadena trófica. Tomado de: <https://www.youtube.com/watch?v=ZNzoIPletNc>.

JUSTIFICACIÓN

Los estudios planctónicos resultan importantes ya que estos son organismos iniciadores de múltiples perturbaciones a las que están sometidos los cuerpos de agua y representan la base de las cadenas tróficas pelágicas. La importancia del plancton es que, es la unidad básica de producción de materia orgánica en los ambientes marinos. Se relaciona con organismos heterótrofos y con los peces que lo utilizan como fuente de alimentación. El hombre también depende de él indirectamente, al aprovechar a estos organismos. Además, es una parte importante de la productividad primaria, así como la interacción con su ambiente. Los organismos planctónicos tienen una gran importancia, debido a que contribuyen para el funcionamiento del ecosistema acuático, mediante la actividad fotosintética, la respiración, así como la fijación del nitrógeno, formando parte de los ciclos biogeoquímicos. Los organismos planctónicos, son considerados ecológicamente importantes ya que algunas poblaciones son indicadoras del grado de eutrofización que se presenta en un cuerpo de agua (Rodríguez, 1999).

Los ecosistemas costeros, principalmente las lagunas costeras, son consideradas como uno de los ecosistemas más productivos de la biosfera, cubren cerca del 13% de la zona costera mundial y los ciclos biogeoquímicos que se llevan a cabo en estos ambientes generan un gran impacto a la ecología del sistema y a la calidad del agua (Ponce, 2016).

La Laguna de Términos es el segundo sistema lagunar más grande y productivo de México (Ramos et al., 2005), pero la información disponible sobre la comunidad planctónica aún es limitada. Por lo anterior, con la siguiente investigación se tuvo como objetivo general evaluar y determinar la biomasa planctónica (tanto de fitoplancton como zooplancton) de la Laguna de Términos, en dos épocas contrastantes (secas y lluvias) y con ello contribuir con información sobre aspectos ecológicos del plancton que se encuentra en el sistema.

ANTECEDENTES

El estudio de la biomasa tanto del fitoplancton como del zooplancton ha sido abordada en diferentes regiones del país, tanto costeras como oceánicas, del Océano Pacífico Mexicano, el Golfo de California y el Golfo de México.

Entre los trabajos realizados en ambientes costeros del Océano Pacífico y regiones adyacentes como el Golfo de California destacan los siguientes. Yáñez (1978) estudió la variación estacional y los patrones ecológicos, de la estructura trófica de las comunidades del necton en lagunas costeras del Pacífico de Mexicano, donde observó que las lagunas costeras del estado de Guerrero (Pacífico central de México), presentan un ciclo de fisiología ambiental con 3 periodos ecológicos anuales: el primer periodo, que ocurre entre agosto y noviembre, donde las lagunas se encuentran en contacto con el mar a través de una boca, y ocurre un intercambio biológico, físico y químico, con salinidades de 15 a 34 ppm. Periodo 2, que se presenta entre noviembre y mayo, en donde las lagunas se encuentran aisladas del mar y la evaporación excede a los aportes de agua dulce y se presenta un volumen mínimo en el nivel de agua dentro de las lagunas, cuya salinidad es mayor a 35 ppm. Periodo 3, que se presenta de mayo a agosto, en donde las lagunas se encuentran aisladas del mar y la evaporación es mucho menor que los aportes de agua dulce y se presenta un máximo volumen de agua dentro de las lagunas; en este periodo la salinidad es menor a 15 ppm.

En el Golfo de California, en la Bahía de La Paz, Sánchez (2019) analizó la distribución de la biomasa fitoplanctónica durante la época de verano, donde se presentó una mayor concentración de Chl-a al norte de la bahía (1.7 mg/m^3), mientras que al sur de la bahía se registraron bajas concentraciones de Chl-a (0.7 mg/m^3) en comparación con la región norte.

En ambientes oceánicos del Golfo de México, Serrano (2019) realizó la comparación de biomasa planctónica en la zona sur del Parque Nacional Sistemas Arrecifal Veracruzano, durante tres épocas (lluvias, secas y nortes) donde se mostró que la biomasa cambió de acuerdo al periodo, encontrándose los valores más altos en la época de lluvia, seguida por la época de "Nortes" y la biomasa más baja se registró en el periodo de secas, considerando la temperatura y la salinidad como los factores más importantes que influyeron en la distribución de las poblaciones planctónicas.

En el sur del Golfo de México, Ramírez (2005) reportó la variación espacial del zooplancton en la región del Cañón de Campeche, donde la concentración de la biomasa zooplanctónica se vio afectada por el paso de los nortes, mostrando un descenso en la concentración de la biomasa zooplanctónica, mientras que al final de la temporada de nortes se observó una mayor concentración de zooplancton.

Fuentes (2022) analizó el efecto de estructuras hidrodinámicas en la distribución de la biomasa zooplanctónica del Cañón de Campeche, Golfo de México, durante la época de nortes, donde se mostró que la distribución horizontal de temperatura, salinidad y densidad estuvo condicionada por la presencia de un vórtice ciclónico, provocando un aumento en la biomasa fitoplanctónica y por ende un aumento en la biomasa zooplanctónica.

Al interior de las lagunas costeras del sur del Golfo de México, en particular en la Laguna de Términos, Gómez (1974) reportó que el oxígeno es más alto en invierno, la abundancia del fitoplancton es mayor en primavera mientras y que la abundancia de zooplancton es mayor en invierno. De la misma manera distinguió dos áreas de producción planctónica al interior de la laguna: la región nororiental con altos niveles de producción primaria, y la región suroccidental con elevados valores de producción secundaria.

Bravo y Yáñez (1979) analizaron la variación estacional y los patrones ecológicos de la conformación trófica de las comunidades de necton en lagunas costeras del Golfo de México. En Laguna de Términos, la fauna ictícola de la Boca de Puerto Real está compuesta por 24 familias, así mismo documentaron una sucesión de especies y concluyeron que la Boca de Puerto Real es un ecosistema dinámico, de fauna ictícola transicional y poco propicio para el establecimiento de poblaciones persistentes.

Muciño et al. (2014) analizaron la estructura fitoplanctónica en los sistemas fluvio-lagunares Pom-Atasta (PA) Y Palizada del Este (PE), colindantes a la laguna de Términos, donde los resultados mostraron que, PE presentó, más variedad de especies y los valores más altos de abundancia.

Poot (2016) se analizaron varios indicadores de la calidad del agua, acerca de la estructura de la población del fitoplancton en la laguna de Términos, donde las diferencias estacionales, entre temperatura y salinidad fueron claras. Los valores de pH y saturación de oxígeno mostraron una superioridad de la actividad fotosintética. Las altas concentraciones de nutrientes, están relacionadas con períodos de máxima carga de los ríos determinados por la circulación y los procesos biogeoquímicos. La comunidad de fitoplancton consto de 136 especies. La abundancia de fitoplancton y su variación estacional mostró valores mínimos en la época seca y valores altos en la época de lluvias.

OBJETIVOS

➤ General

Evaluar la biomasa planctónica (fitoplancton y zooplancton) en la Laguna de Términos, Campeche (sur del Golfo de México) en dos épocas contrastantes: secas y lluvias.

➤ Objetivos particulares

Analizar y comparar la distribución horizontal de la biomasa planctónica en ambas épocas.

Analizar y comparar la distribución horizontal de las variables hidrográficas en ambas épocas.

Determinar la relación de las variables hidrográficas en la concentración de la biomasa planctónica en ambas épocas.

HIPÓTESIS

La concentración de la biomasa planctónica (fitoplancton y zooplancton) dependerá de las características hidrográficas de la columna de agua. La época de secas se caracterizará por presentar valores de temperatura y salinidad altos con una disminución de la biomasa planctónica; por el contrario, durante la época de lluvias los valores de salinidad serán menores, con un aumento de la biomasa planctónica.

ÁREA DE ESTUDIO

La Laguna de Términos (Figura 3), se ubica en las coordenadas 18° 01' 54" y 19° 13' 30" de latitud N y 92°32'33" y 90°59'15" de longitud O, el 6 de Junio de 1994, se declaró un Área de Protección de Flora y Fauna, cuenta con 706,147.67 ha, esta se ubica en la región costera del estado de Campeche, entre el Río San Pedro y San Pablo al occidente y el área de drenaje del Estero de Sabancuy hacia el oriente. Geopolíticamente, la zona se localiza en las localidades de Palizada, Carmen y Champotón (SEMARNAT, 2021).



Figura 3. Localización de la laguna de Términos.

Tomado de: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Localizacion-de-los-sistemas-lagunares-en-la-Laguna-de-Terminos-22-Methodologia_fig1_310803347.

La Laguna de Términos es el mayor volumen de la parte mexicana del Golfo de México. Es poco profunda, cuenta con una profundidad promedio de 4 metros, y 2 esteros que se comunican con el mar, ambos con un canal profundo (entre 14 y 18 m) en el lado oriental. El área de la cuenca principal es de unos 1.662 km², pero si se abarcan los ríos y lagunas asociados a la zona, consta unos 2.007 km². La Boca de Puerto Real, cuenta con un ancho promedio de 3.2 kilómetros, cuenta con aguas cristalinas y una delta interna. La Boca del Carmen, cuenta con un ancho, aproximado de 3.8 kilómetros, está influenciada por las aguas del río Palizada, rica en suspensión de terrígeno fino que crea turbidez y forma el estuario externo, esta es la boca de conexión con mayor variación ambiental (SEMARNAT, 2021).

Está separada del Golfo de México por dos islas: Isla del Carmen, que se ubica al suroeste, tiene 38 km de largo y 2.5 km de ancho, y la segunda es Isla Aguada. El tercer punto es la ensenada de Sabancuy, que se ubica a 22.6 km de la laguna principal y está conectada a ella por un canal estrecho y poco profundo. En esta entrada, los flujos observados son significativamente menores que los observados en las otras dos entradas (Vega, 2022).

Edafología

Hay 6 tipos principales de suelo: Gleysol Eútrico y Mólico, Solonchak Gléyico, Histosol, y Feozem Calcárico, Regosoles Eútricos y Calcárico y Vertisol Pélico, por lo que tiene características que le otorgan fertilidad o no, para actividades de cultivo, así como para una gran diversidad de flora (SEMARNAT, 2021).

Hidrología

En el área se caracterizan 3 unidades geohidrológicas. La mayor parte de la unidad está formada por materiales lacustres y pantanosos no compactados dominados por arcillas poco permeables, lo que determina en mayor medida el potencial de almacenamiento de agua. Incluye áreas alrededor de los ríos Candelaria, Chumpán, Marentes y Piñas, Palizada y San Pedro y San Pablo, entre otros. La calidad del agua de los pozos cambia entre potable, tolerable y salina, y su primordial destino es el uso doméstico (SEMARNAT, 2021).

Mareas

Las mareas en el cuerpo de agua es diurno mixto (diurna y semidiurna) el promedio de marea alta de la isla del Carmen es de 0.43 metros, y el rango de la marea más alta es de 0.40 y 0.70 metros. Históricamente, las mareas altas y bajas, fueron de 0.93 y 0.80 metros, respectivamente (SEMARNAT, 2021).

Corrientes

Los caudales en el Canal de Boca del Carmen, cambian desde menos de 20 hasta más de 65 cm/s durante la marea baja y hasta 86 cm/s durante la marea alta, los cuales incluyen el caudal del río (SEMARNAT, 2021).

Los principales procesos que se dan en la zona cercana al cuerpo de agua son: el transporte y arrastre de las corrientes costeras; afluencia de corrientes al interior del cuerpo de agua; aporte de cuencas fluviales; esteros lagunares y procesos deltaicos (SEMARNAT, 2021).

Vegetación

Tiene una amplia variedad de combinaciones de flora acuática y terrestre, como lo son la vegetación de mangle, duna costera, la flora de pantano como el carrizal, el tular y el popal, de igual manera la selva baja inundable, el palmar inundable, vegetación riparia, selva alta-mediana, matorral espinoso inundable, y flora secundaria, así como la flora de las fanerógamas permanentes inundadas como lo son los pastos marinos, la especie dominante es el *Rhizophora mangle* (SEMARNAT, 2021).

Fauna

Regularmente el 33 por ciento de las poblaciones de aves migratorias, migran a los mangles de alrededor de la laguna, estos mangles son buenos fijadores de suelo. Como resultado de la alta productividad y biodiversidad de comunidades de flora y ambientes, la diversidad de fauna es alta. Se han reportado al menos 1.468 especies tanto en tierra como en agua. De ellas, 30 especies de aves, anfibios, reptiles y mamíferos se consideran endémicas del país. De igual manera, 89 especies han sido reportadas como amenazadas o en peligro de extinción, como lo son el jabirú, la cigüeña, el manatí, cocodrilo, barú, jaguar, mapache, ocelote y tortugas marinas, mientras que 132 especies están catalogadas por su importancia comercial (SEMARNAT, 2021).

Clima

Conforme lo clasifico Köpen y la modificación por García (1988), la zona del cuerpo de agua registra 3 climas; en la parte correspondiente a la Isla Aguada, llueve en verano, es cálida y semihúmeda (Aw1(w)); en la región alrededor de la laguna incluida la isla del Carmen llueve en verano, tiene un clima cálido semihúmedo (Aw2(w)), la región de Pom-Astata hasta el río San Pedro es cálida y húmeda con abundantes precipitaciones en verano (Am(f)) (SEMARNAT, 2021).

Amenazas

Hay poco turismo principalmente por la actividad petrolera, que al aumentar su explotación ha generado grandes daños ecológicos al sistema, las amenazas que afectan de manera importante a la laguna son desastres naturales, el crecimiento poblacional, introducción de especies exóticas, deforestación, mal uso del suelo, contaminación del cuerpo del agua, dragar el cuerpo de agua, entre otros (SEMARNAT, 2021).

MATERIALES Y MÉTODOS

Para probar la hipótesis y cubrir los objetivos de la presente investigación, se realizaron dos muestreos, el primero corresponde a la época de secas (abril de 2022), y el segundo corresponde a la época de lluvias (octubre de 2022).

En cada expedición, se muestrearon 11 estaciones localizadas al interior de la Laguna de Términos. La estrategia de muestreo consistió en tres transectos localizados perpendicularmente a los ríos que desembocan al interior de la laguna, así como una estación en cada una de las bocas que conectan a la laguna con el Golfo de México. En la figura 4, se muestran las estaciones de muestreo que se realizaron en la Laguna de Términos, P1, P2 y P3 corresponden al río Palizada, CH1, CH2 y CH3 corresponde al río Chumpán, C1, C2 y C3 corresponden al río Candelaria, DC corresponde a la boca del Carmen y PR a la boca de Puerto Real.

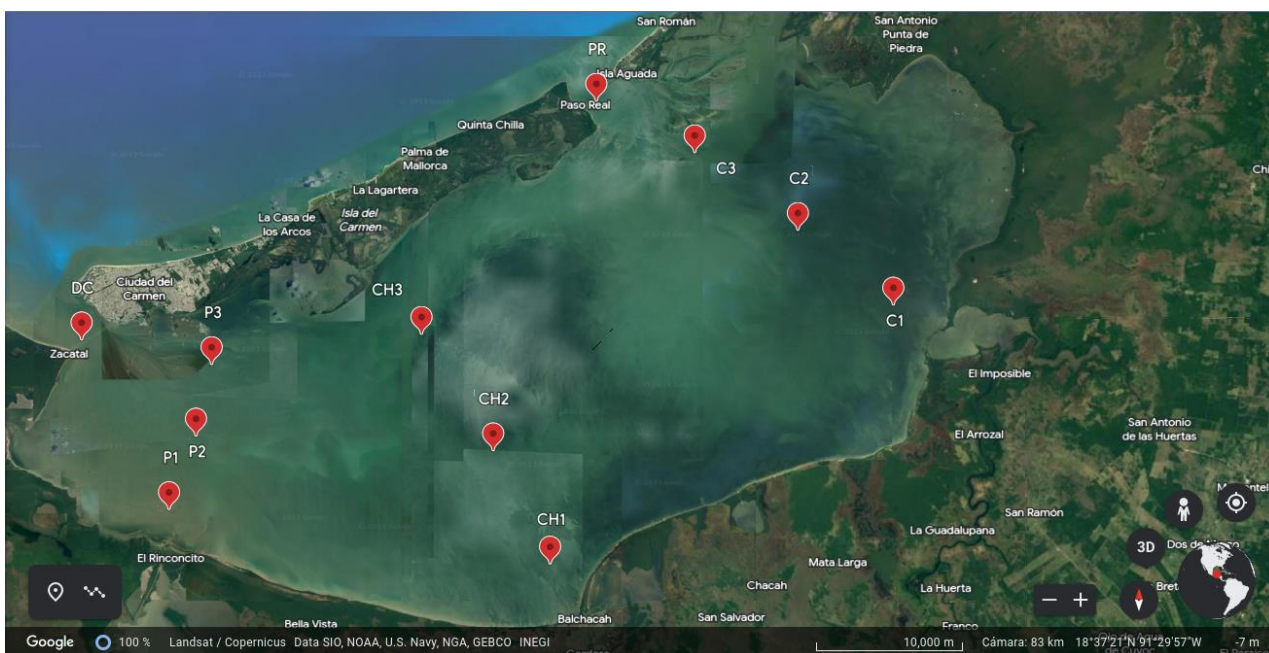


Figura 4. Estaciones de muestreo en la Laguna de Términos durante dos épocas contrastantes de 2022, secas (abril) y lluvias (octubre)

En cada estación se registraron las coordenadas geográficas con ayuda de un GPS (Garmin GPSMAP 65 calibrado a 84 Datum) y se adquirieron datos físicos/químicos de la columna de agua (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, sólidos disueltos y concentración de Chl-a) con una sonda multiparamétrica (YSI EXO2) previamente calibrada, debido a una falla en la sonda no se pudo adquirir los datos de sólidos disueltos en la época de secas.

Inmediatamente después de la adquisición de los datos hidrográficos, se procedió a la captura de organismos del fitoplancton. En cada estación se colectó agua a 3

diferentes profundidades (superficie, medio y fondo) con ayuda de una botella tipo Van Dorn de 5 L de capacidad. Se obtuvieron alícuotas de 500 ml, las cuales fueron filtradas a través de membranas de nitrocelulosa (Merck Millipore, 0.45 µm de apertura de poro, 45 mm de diámetro) con ayuda de un sistema de filtración Millipore y una bomba de vacío. Las membranas fueron colocadas en tubos para centrífuga envueltos en papel aluminio para evitar el efecto negativo de la luz y fueron transportados en congelación al laboratorio hasta su análisis.

Para la captura de organismos del zooplancton se utilizó una red cónica (45 cm de diámetro, 200 µm de apertura de malla) provista de un flujómetro (General Oceanics). Los arrastres para la colecta de organismos fueron en el estrato superficial por 10 minutos a una velocidad de 1m/s. Los organismos colectados fueron fijados inmediatamente a bordo de la embarcación con una solución de formaldehído al 4% con borato de Sodio. Tiempo después (24 h) los organismos fueron trasvasados a una solución de etanol al 70% para su preservación final.

Una vez en el laboratorio, se procedió a la determinación de la biomasa fitoplanctónica, así como la zooplanctónica.

Cálculo de la biomasa fitoplanctónica

La determinación de la biomasa fitoplanctónica, expresada a partir de la concentración de Chl-a, se realizó mediante espectrofotometría. La extracción se realizó con acetona al 90% (5 ml), previamente la muestra estuvo en congelación durante 24 h.

Después de este tiempo, las muestras fueron centrifugadas durante 30 min a 4500 rpm. El sobrenadante se colocó en celdas de cuarzo para ser analizadas. Se realizaron medidas de la absorbancia de cada muestra (por triplicado) a 750 (longitud de onda para correcciones por errores de turbidez), 664, 647 y 630 nm (que son las máximas absorbancias de los pigmentos fotosintéticos) con un espectrofotómetro Genesys 10S UV-VIS (Thermo Scientific) (Strickland y Parsons, 1972).

Los cálculos finales de la concentración de Chl-a se realizó con base en la fórmula propuesta por Strickland y Parsons (1972):

$$\text{Clorofila-a} = \frac{(11.85 * (E_{664} - E_{750}) - 1.54 * (E_{647} - E_{750}) - 0.08 * (E_{630} * E_{750})) * V_e}{L * V_f}$$

Donde E es la absorbancia a la longitud de onda indicada (750, 664, 647 y 630 nm), Ve es el volumen de extracción, expresado en ml; L es el grosor de la celda de

cuarzo en centímetros y V_f es el volumen filtrado expresado en litros. El valor resultante de Chl-a se expresó en mg/m^3 (Strickland y Parsons, 1972).

Cálculo de la biomasa zooplanctónica

La biomasa del zooplancton en cada estación de muestreo se calculó a partir del peso húmedo de la muestra siguiendo los protocolos descritos por Durán-Campos et al. (2015; 2019).

Esta técnica consiste básicamente en pesar toda la muestra dentro de un tamiz para después de eliminar el exceso de etanol con papel secante durante una hora, aplicando la ecuación:

$$ZB = \frac{NW}{FW} \times 1000$$

Donde ZB es la biomasa de zooplancton expresada en $\text{mg } 1000 \text{ m}^{-3}$ de agua filtrada, NW es el peso neto de la muestra (después de eliminar todo el exceso de etanol) expresado en g, y FW es el volumen de agua filtrada durante la colecta de organismos (obtenido del flujómetro colocado en la red) expresado en m^3 .

Para evitar sesgos en los cálculos de la biomasa y siguiendo las especificaciones estándar, los organismos de más de 3 mm se eliminaron de las muestras (enjuagadas previamente), incluido el zooplancton gelatinoso grande (p. ej., medusas) y peces juveniles.

Análisis estadísticos

Para probar las significancias estadísticas a los datos hidrográficos obtenidos en cada muestreo y profundidad, primeramente, se realizaron pruebas de T el cual es un procedimiento que determina si existen diferencias significativas entre dos grupos o muestras (Macchi, 2020).

También, se realizó un estudio estadístico multivariado, el cual consistió en un análisis de componentes principales (PCA), para establecer las relaciones entre las variables ambientales (temperatura, oxígeno, salinidad, sólidos, Ch-a) y la biomasa planctónica en cada estación y época. El PCA se realizó con ayuda del programa PRIMER 7 mediante rutinas estándar.

La idea central del PCA es la reducción de dimensionalidad de una población de datos que consta de una gran cantidad de variables interrelacionadas. Se trata de preservar la variabilidad de los datos de la mejor manera posible. Esto se logra transformando el conjunto original en un nuevo conjunto de datos cuyos componentes principales no están correlacionados y están ordenados de modo que los primeros retengan la mayoría de las variables originales (Argibay, 2011).

Mapas de distribución horizontal

Los mapas de distribución se realizaron con el programa Surfer 13, el cual consiste en la construcción de una malla (Grid) regularmente equidistante que nos permitió elaborar mapas de isolíneas.

RESULTADOS

Durante los muestreos, se observó en la época de secas una menor profundidad comparada con la época de lluvias. La estación que presentó mayor profundidad en la época de secas fue DC con 4.50 m y la de menor profundidad fue P1 con 1.10 m, en cambio para la época de lluvias la estación con mayor profundidad fue DC con 4.60 m y la de menor fue P1 con 1.50 m.

Las significancias estadísticas de cada variable entre cada profundidad de cada época de muestreo se resumen en la Tabla 1.

Variable	p -value obtenido entre los valores de superficie y fondo (Secas)	p -value obtenido entre los valores de superficie y fondo (Lluvias)
Temperatura	$p = 0.04$	$p = 0.03$
Salinidad	$p = 0.17$	$p = 0.003$
Oxígeno	$p = 0.17$	$p = 0.001$
Clorofila	$p = 0.04$	$p = 0.07$

Tabla 1. p -value obtenido para cada variable entre profundidades y épocas de muestreo.

Temperatura

Las temperaturas registradas durante las dos épocas no mostraron diferencias muy marcadas entre ellas, durante ambas épocas las temperaturas fueron relativamente similares y constantes.

En la época de secas (abril), el promedio general de temperatura fue de 28.7° C. La temperatura más alta se registró en la estación CH3 con un valor de 30.27° C y la de menor temperatura fue de 28.3° C en la estación PR, ambas temperaturas fueron registradas en la superficie (Figura 5).

En cambio, en la época de lluvias (octubre) se registró la temperatura más alta de 30.04° C en la estación CH1 y la de menor temperatura fue de 27.8° C, en la estación P1, ambas temperaturas fueron registradas en la superficie. En esta época el promedio general de temperatura fue de 29° C (Figura 6).

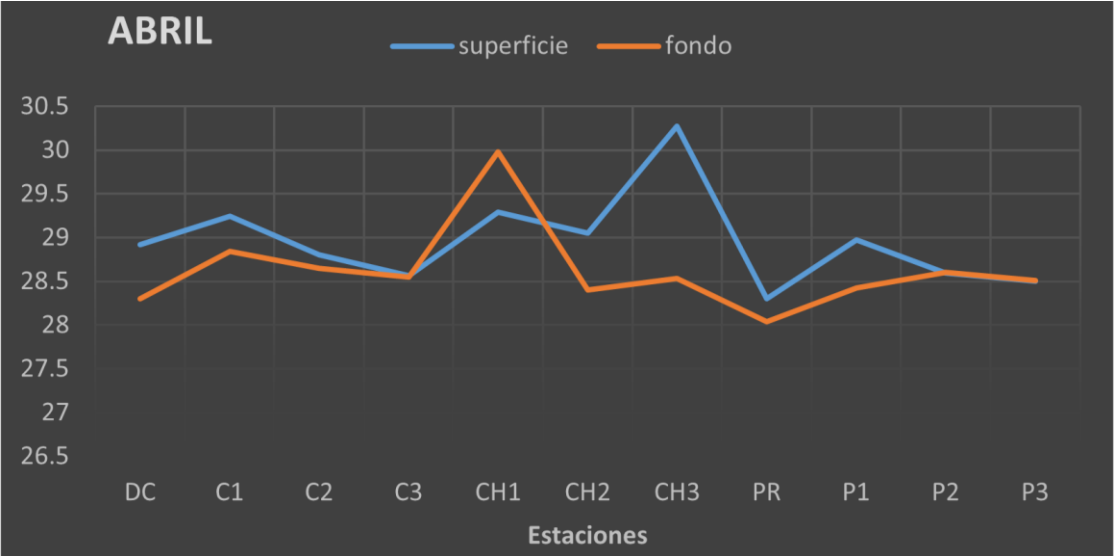


Figura 5. Valores de temperatura (°C) en el mes de abril (época de secas) en las diferentes estaciones y profundidades de muestreo.

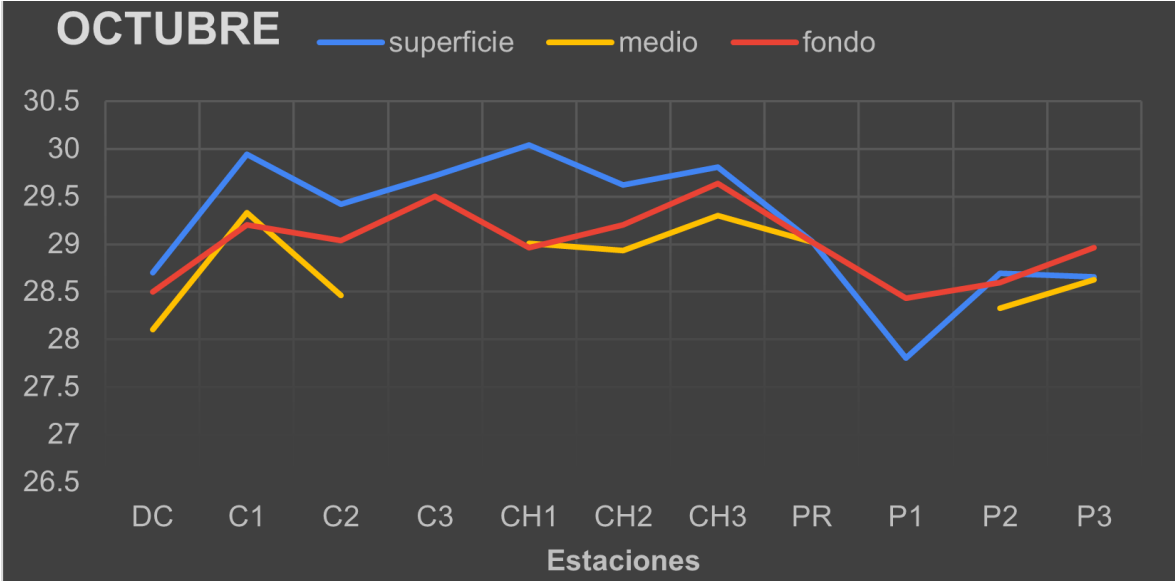


Figura 6. Valores de temperatura (°C) en el mes de octubre (época de lluvias) en las diferentes estaciones y profundidades de muestreo.

Salinidad

En la época de secas (abril) el promedio general de salinidad fue de 37.65 ups, se registró la salinidad más alta que fue de 46.33 ups en la estación PR y la de menor salinidad fue de 7.16 ups en la estación P1, ambas salinidades fueron registradas en el fondo (Figura 7).

Como era de esperarse, en la época de lluvias (octubre) el promedio general de la salinidad fue más bajo respecto a la época de secas, con 19.67 ups. El valor de salinidad más alta se registró en la estación CH3 donde fue de 27.05 ups en el fondo y la de menor temperatura fue de 7.87 ups en la estación P1 en la de superficie (Figura 8).

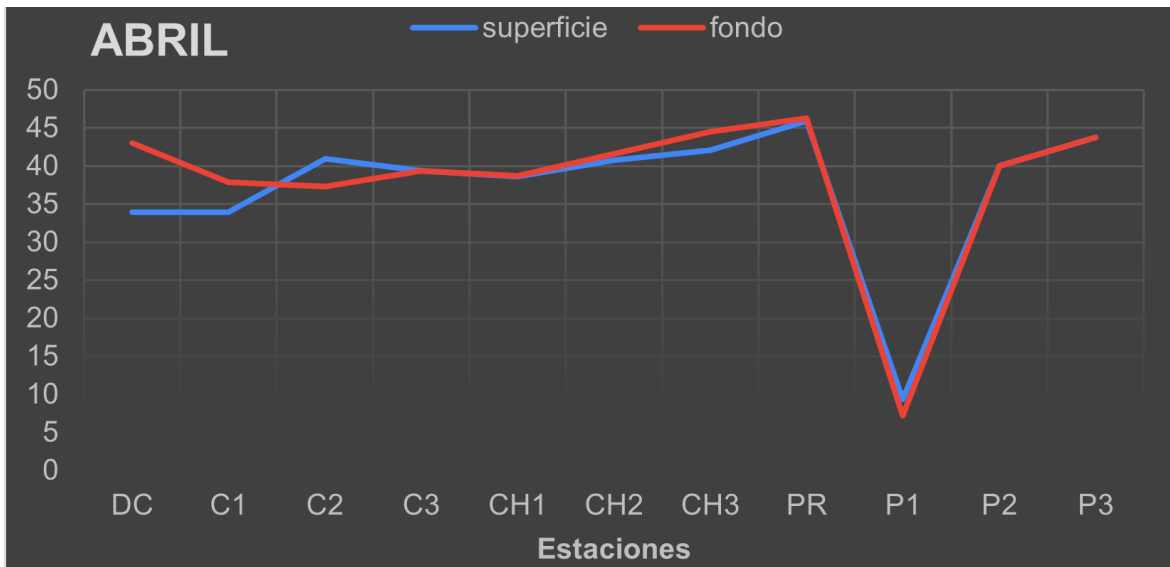


Figura 7. Valores de salinidad (ups) en el mes de abril (época de secas) en las diferentes estaciones y profundidades de muestreo.

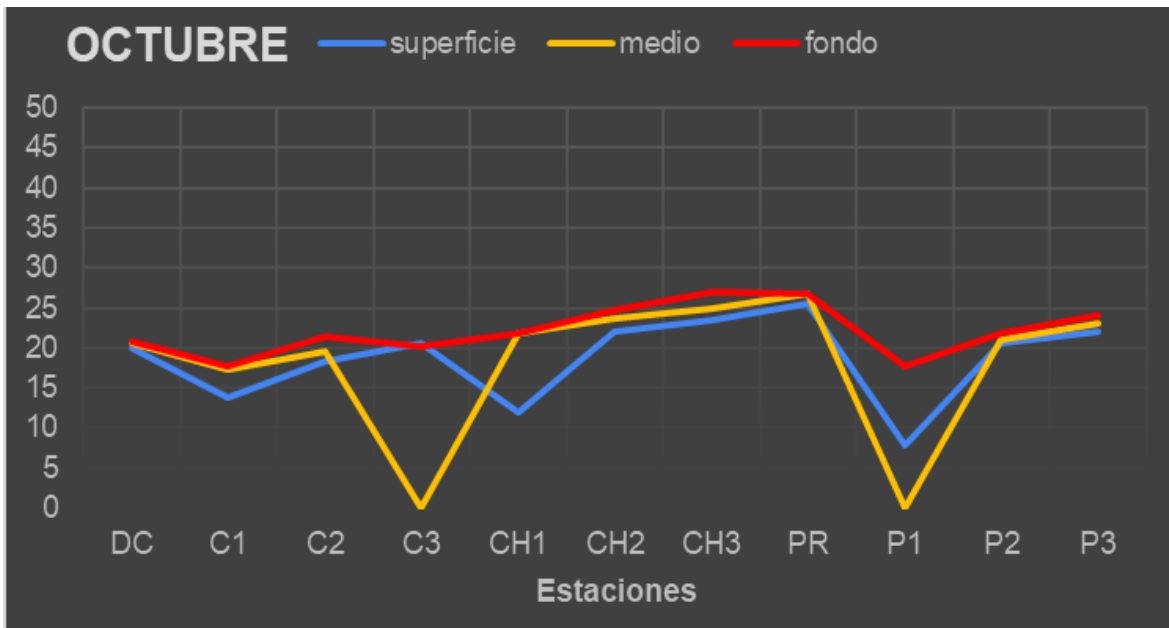


Figura 8. Valores de salinidad (ups) en el mes de octubre (época de lluvias) en las diferentes estaciones y profundidades de muestreo.

Oxígeno disuelto

En la época de secas (abril) el promedio general de oxígeno disuelto fue de 6.15 mg/L, con valores máximos de 7.5 mg/L en la estación P1 en la superficie y la de menor concentración de oxígeno fue de 3.97 mg/L en la estación P1 en la profundidad de fondo (Figura 9).

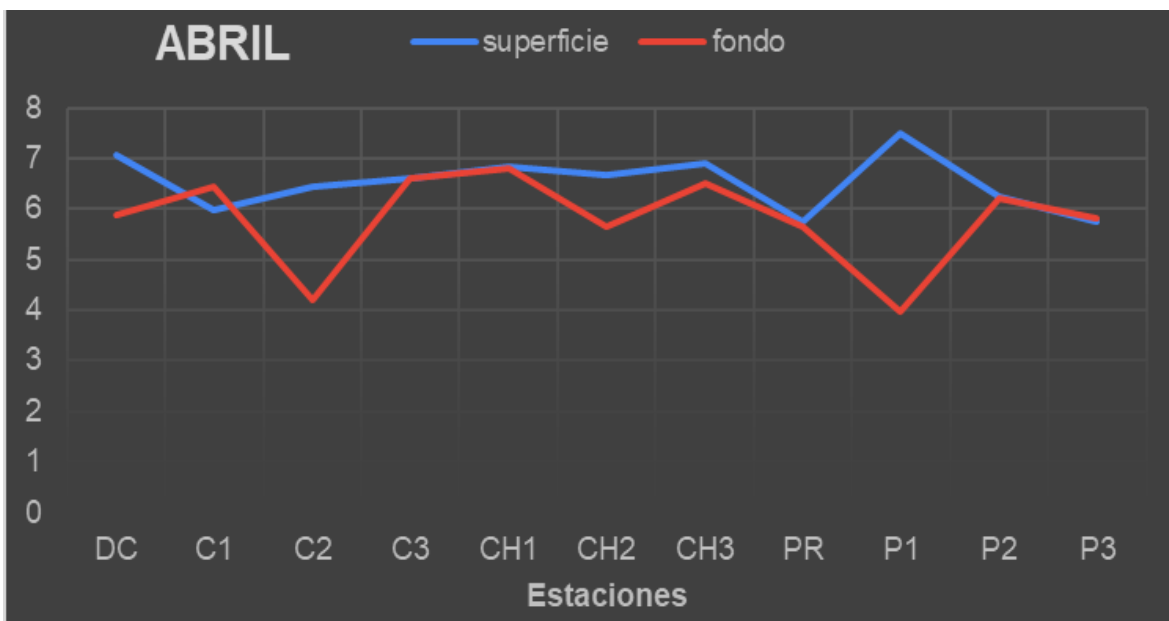


Figura 9. Valores de oxígeno disuelto (mg/L) en el mes de abril (época de secas) en las diferentes estaciones y profundidades de muestreo.

Por otra parte, en la época de lluvias (octubre) se registró la concentración de oxígeno más alta en la estación CH1 donde fue de 7.7 mg/L en la superficie y la de menor concentración de oxígeno fue de 2.84 mg/L en la estación CH2 en el fondo. En esta época, el promedio general de oxígeno disuelto fue de 5.49 mg/L (Figura 10).

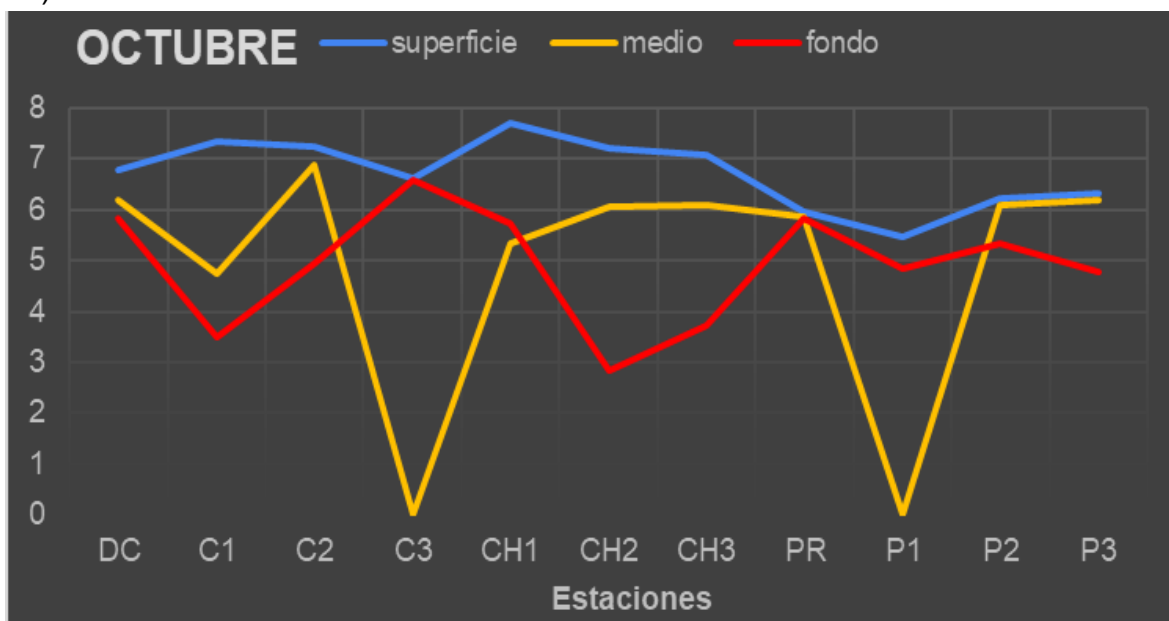


Figura 10. Valores de oxígeno disuelto (mg/L) en el mes de octubre (época de lluvias) en las diferentes estaciones y profundidades de muestreo.

Concentración de Chl-a registrada por la sonda multiparamétrica

En la época de secas (abril) el promedio general de la Chl-a fue de 16.90 mg/m³. El valor más elevado, fue de 111.47 mg/m³ en la estación P3 en la superficie. El valor con menor concentración fue de 0.99 mg/m³ en la estación PR en la superficie (Figura 11).

Por otra parte, en la época de lluvias (octubre) el promedio general de Chl-a fue de 10.94 mg/m³. El valor más elevado, fue de 138.3 mg/m³ en la estación C3 en el fondo, mientras que la de menor concentración fue de 1.65 mg/m³ en la estación PR en la profundidad de superficie (Figura 12).

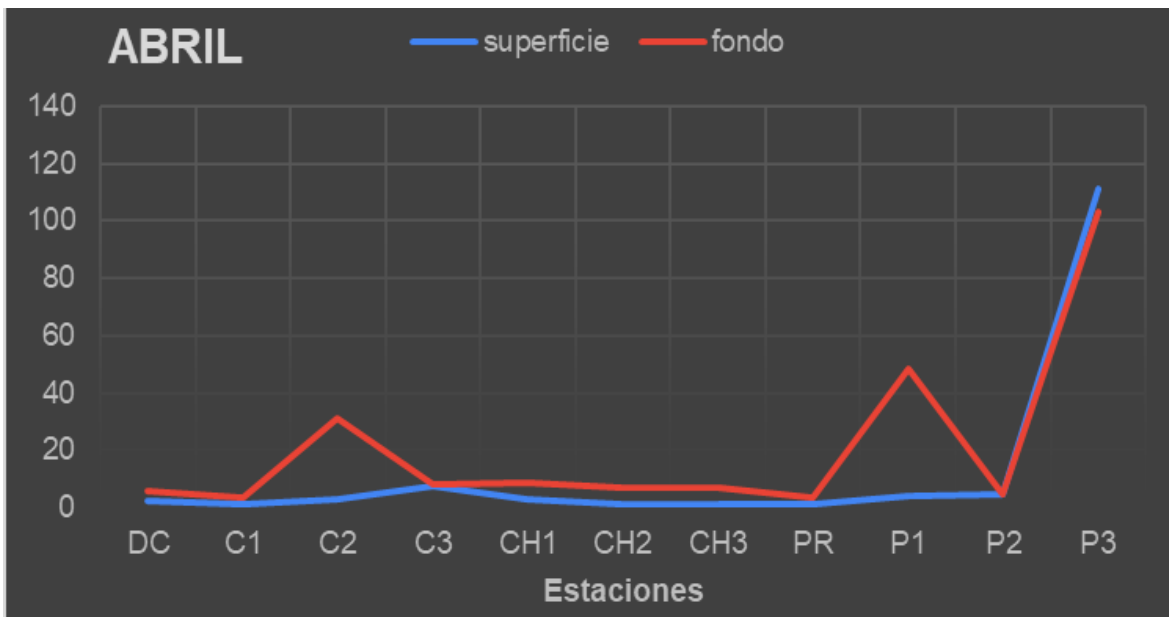


Figura 11. Valores de clorofila-a (mg/m^3) en el mes de abril (época de secas) en las diferentes estaciones y profundidades de muestreo.

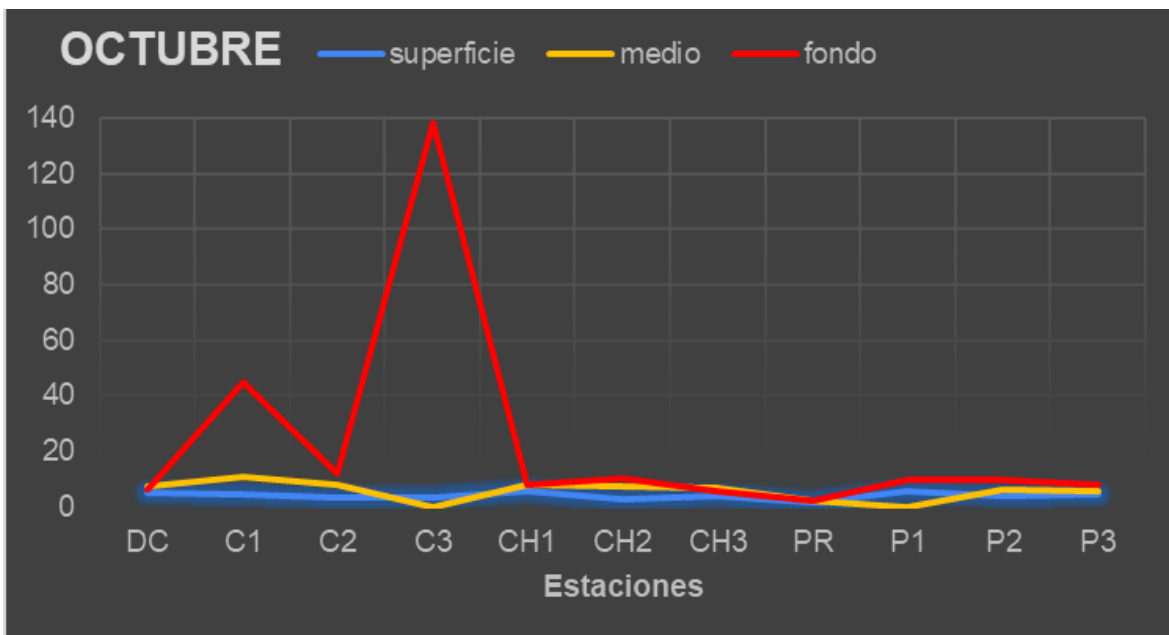


Figura 12. Valores de la clorofila-a (mg/m^3) en el mes de octubre (época de lluvias) en las diferentes estaciones y profundidades de muestreo.

Sólidos disueltos totales

Para la época de lluvias (octubre) se registraron varias fluctuaciones principalmente en la profundidad media, donde la máxima fue de 843.3 mg/L y la mínima de 1.76 mg/L. Durante la época de abril no se realizó la toma de sólidos disueltos totales debido a un fallo en la sonda multiparamétrica.

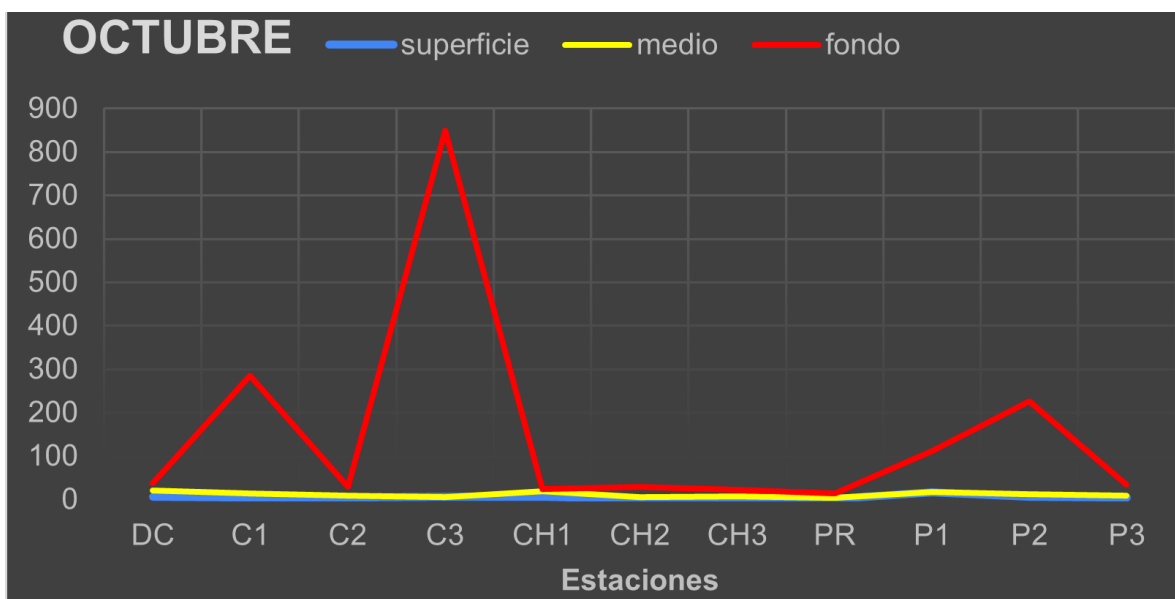


Figura 13. Valores de sólidos disueltos totales (mg/L) en el mes de octubre (época de lluvias) en las diferentes estaciones y profundidades de muestreo.

Biomasa zooplanctónica

En la época de secas (abril) el promedio general de biomasa zooplanctónica fue de $0.77 \text{ g } 1000/\text{m}^3$. El valor más alto de biomasa zooplanctónica fue de $2.33 \text{ g } 1000/\text{m}^3$ y se registró en la estación C1, mientras que la de menor concentración de biomasa zooplanctónica fue de $0.049 \text{ g } 1000/\text{m}^3$ en la estación P3 (Figura 14). En cambio, en la época de lluvias (octubre) el promedio general de la biomasa zooplanctónica fue de $0.56 \text{ g } 1000/\text{m}^3$, el valor más elevado fue de $1.53 \text{ g } 1000/\text{m}^3$ y se registró en la estación C3, mientras que la de menor concentración de biomasa zooplanctónica fue de $0.027 \text{ g } 1000/\text{m}^3$ en la estación CH1 (Figura 14).

BIOMASA ZOOPLANTONICA

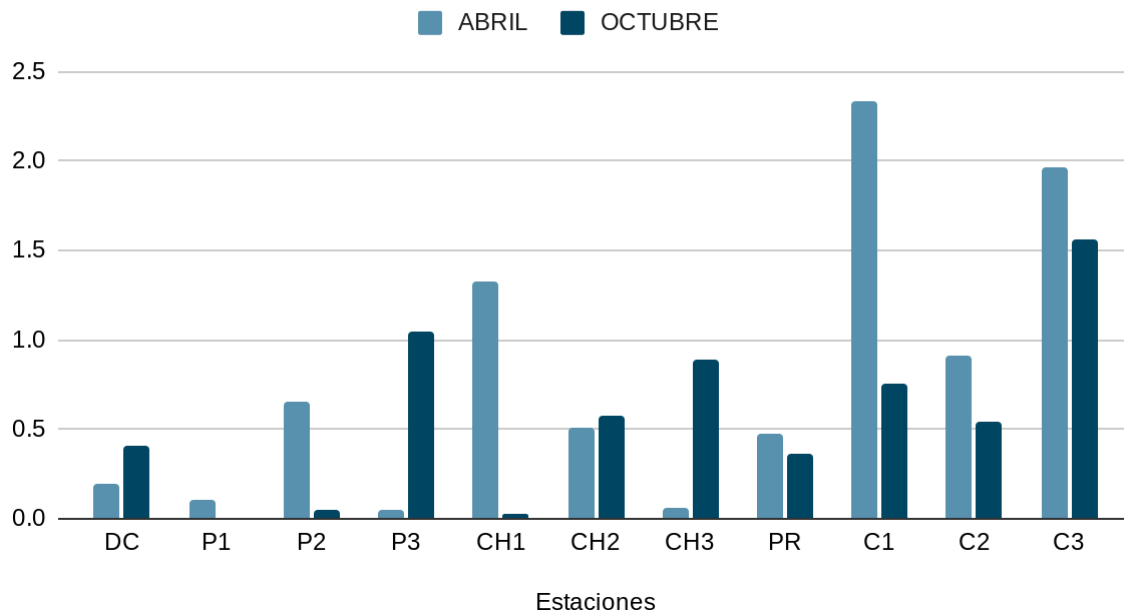


Figura 14. Valores de la biomasa zooplanctónica (g 1000/m³) en las dos épocas analizadas.

Concentración de clorofila-a cuantificada por espectrofotometría

En la época de secas (abril) el promedio general de biomasa fitoplanctónica fue de 3.41 mg/m³, el valor más elevado se registró en la estación CH3, en superficie, con un valor de 26.98 mg/m³, mientras que la de menor concentración de biomasa fitoplanctónica fue de 0.41 mg/m³ en la estación PR, en la superficie (Figura 15).

En cambio, en la época de lluvias (octubre) el promedio general de biomasa fitoplanctónica fue ligeramente menor con respecto a la época de secas, con un valor de 3.34 mg/m³, el valor más elevado fue de 16.68 mg/m³ en la estación CH2 en la profundidad de fondo y la menor concentración de biomasa fitoplanctónica fue de 0.62 mg/m³ en la estación P1 en la de superficie (Figura 16).

En la figura 17 se muestra que en la época de secas es donde se presenta mayor biomasa fitoplanctónica en la profundidad de superficie, de igual forma se muestra un pico de elevada concentración en la estación CH3.

En cambio, en la figura 18 se muestra que, en la época de lluvias, es donde se presenta mayor biomasa fitoplanctónica en la profundidad media, de igual forma se muestra un pico en la estación P3.

En la figura 19 se muestra que en la época de lluvias es donde se presenta mayor biomasa fitoplanctónica en el fondo, de igual forma se muestra un pico de elevada concentración en la estación CH2.

En la figura 20 se observa que en la superficie es donde se presentó mayor biomasa fitoplanctónica, a comparación de las otras profundidades.

En cuanto a las diferentes profundidades, las de mayor biomasa fitoplanctónica fue CH3 en la superficie en el mes de abril, en cambio, en el mes de octubre, en la profundidad de media agua, fue P3 y en el fondo CH2.

De igual manera se muestra que de las tres diferentes profundidades, la de superficie en la época de secas fue la que mostró mayor biomasa fitoplanctónica con un promedio general de 5.39 mg/m^3 , en cambio la de fondo en época de lluvias fue la segunda profundidad que mostró mayor biomasa fitoplanctónica con un promediogeneral de 5.089 mg/m^3 .

BIO FITO ABRIL

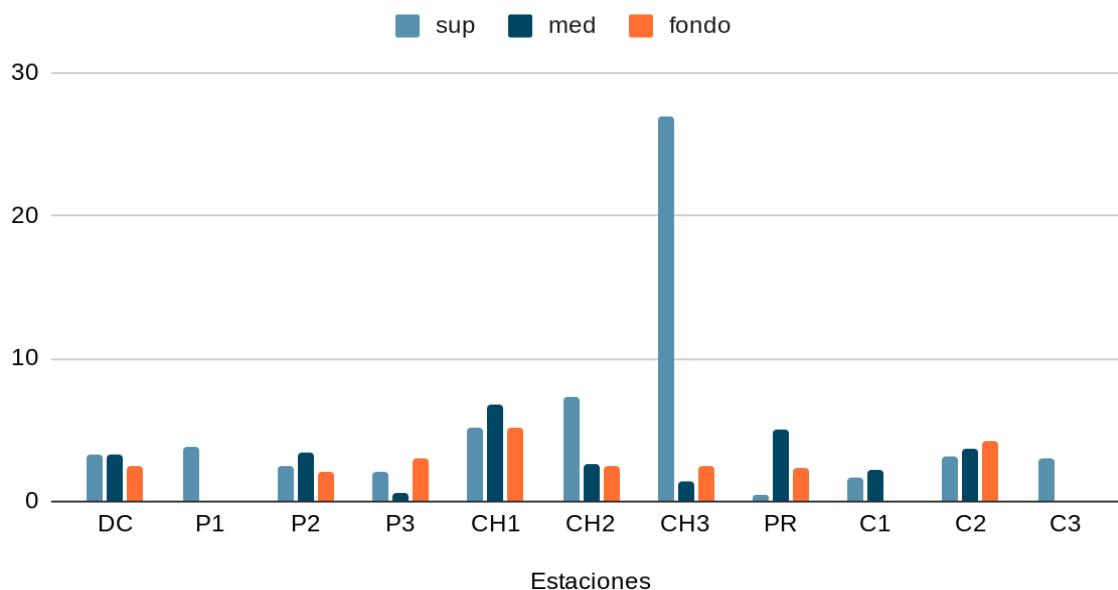


Figura 15. Valores de la biomasa fitoplanctónica (mg/m^3) cuantificada por espectrofotometría en el mes de abril (época de secas), en las diferentes profundidades y estaciones de muestreo.

Biomasa fito oct.

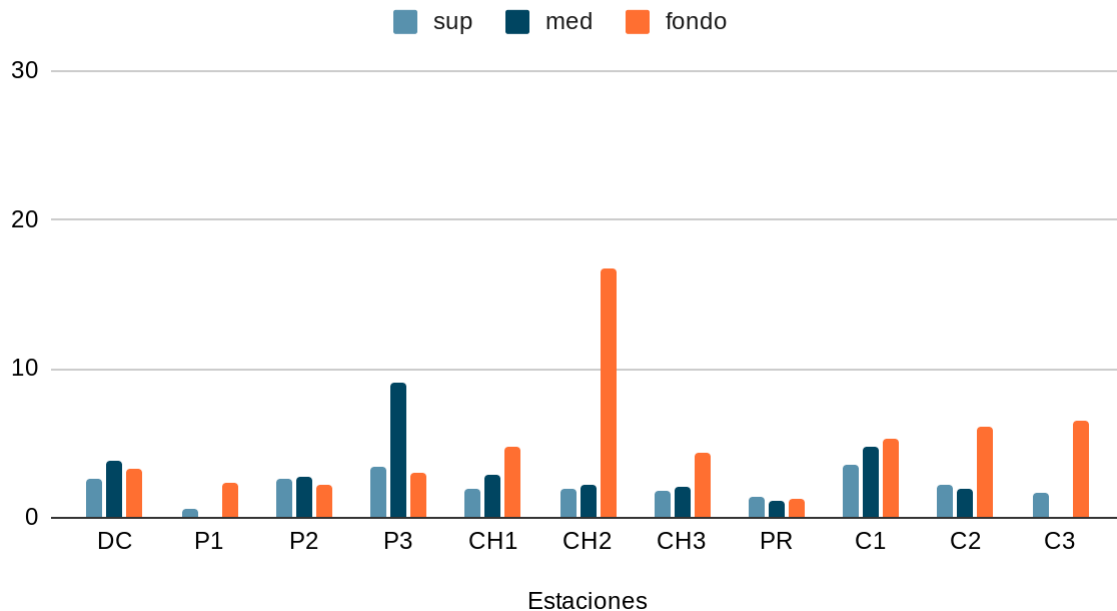


Figura 16. Valores de la biomasa fitoplanctónica (mg/m³) cuantificada por espectrofotometría en el mes de octubre (época de lluvias), en las diferentes profundidades y estaciones de muestreo.

SUPERFICIE

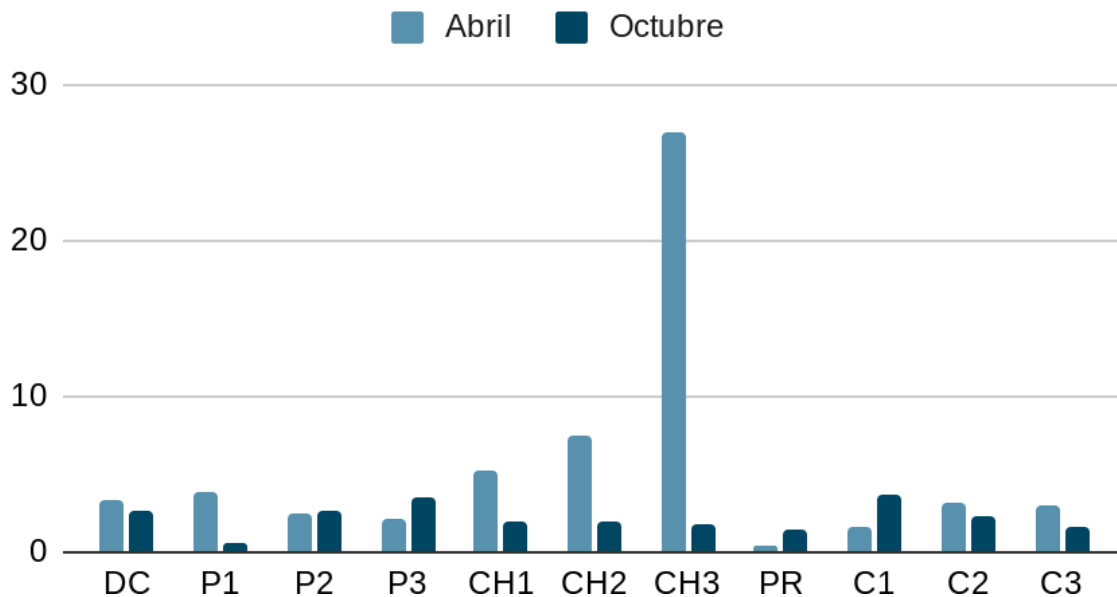


Figura 17. Comparación de la biomasa fitoplanctónica de ambas épocas de muestreo, en la superficie.

MEDIO

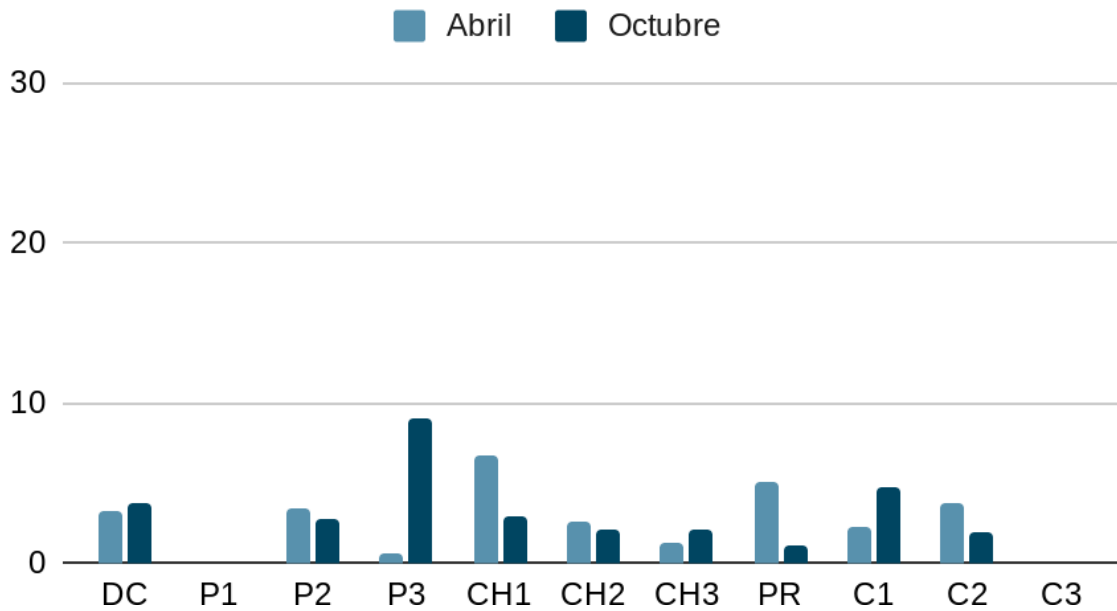


Figura 18. Comparación de la biomasa fitoplanctónica de ambas épocas, a media agua.

FONDO

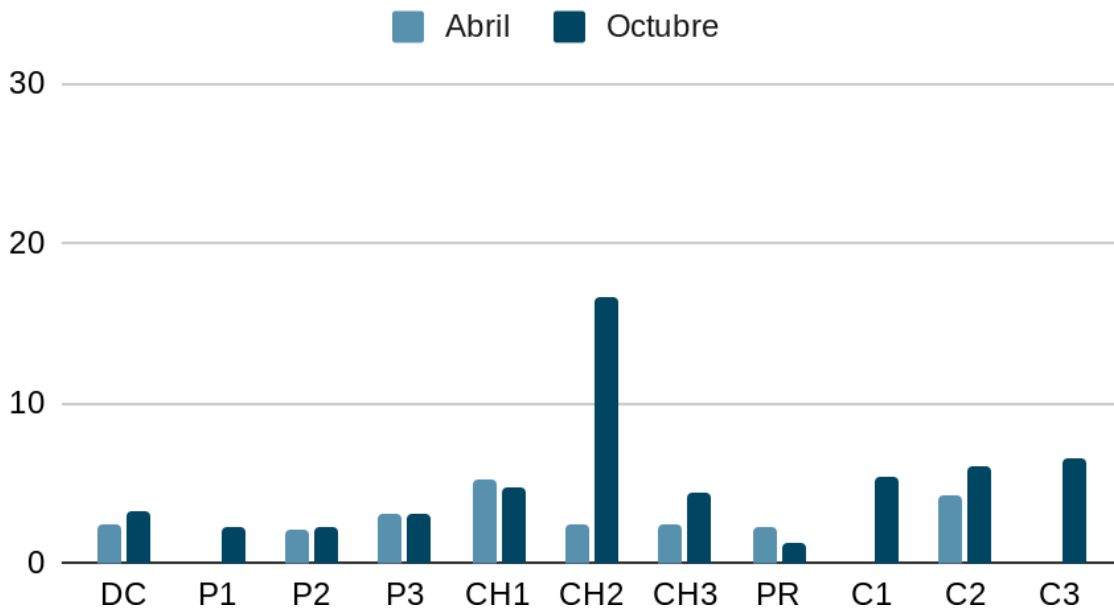


Figura 19. Comparación de la biomasa fitoplanctónica de ambas épocas de muestreo, en el fondo.

biomasa fitoplanctonica

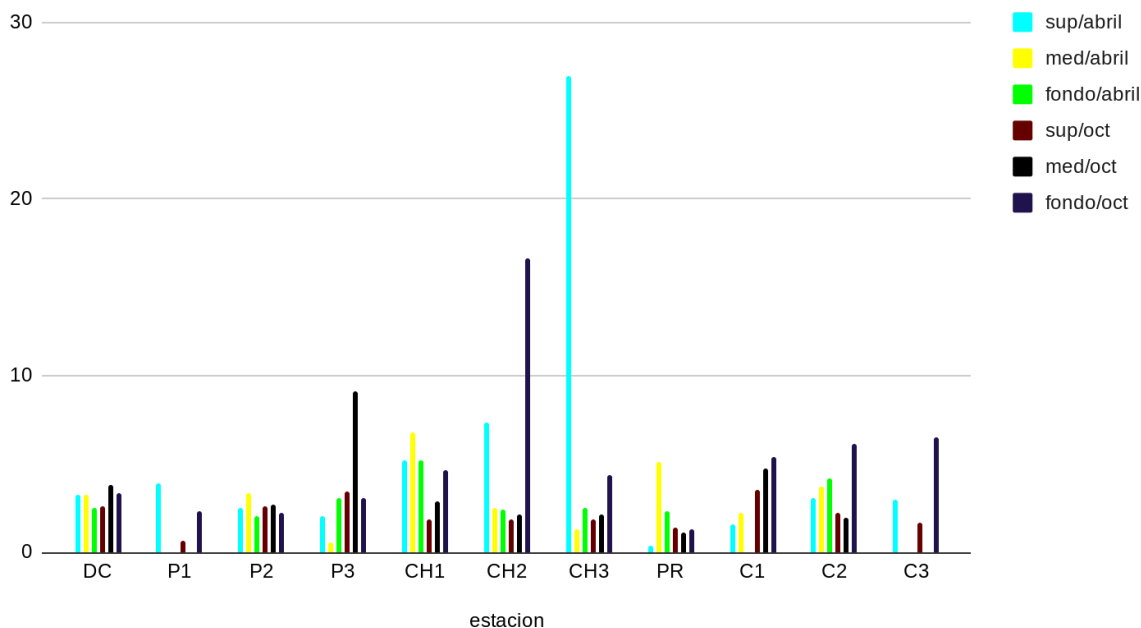


Figura 20. Comparación de la biomasa fitoplanctónica de ambas épocas de muestreo, en las diferentes profundidades y estaciones de muestreo.

Distribución horizontal de los parámetros hidrográficos

Durante la época de lluvias se observó un incremento de la profundidad comparado con la época de secas, debido a que en la estación más profunda (DC) tuvo un incremento de profundidad de 10 cm y la de menor profundidad (P1) tuvo un incremento de profundidad de 40 cm.

Temperatura

En la superficie se registró la temperatura más alta en la estación CH3, esto debido a su lejanía con el mar y ríos, en cambio en las temperaturas más bajas son las que están en contacto con estos cuerpos de agua, por ejemplo, la boca de Puerto Real presentó la menor temperatura registrada, esto debido a su cercanía con el mar (Figura 21).

De igual manera para el fondo, se observó un comportamiento similar al de la superficie, en donde las temperaturas más altas se registran en las estaciones que se encuentran en el medio de la laguna y las de menor temperatura son las que están en contacto con el mar y los ríos (Figura 22).

En el caso de la época de lluvias se mostró que en las tres profundidades las temperaturas más altas se registran en las estaciones del río Chumpán y Candelaria, y las bajas en las estaciones del río Palizada y en la boca del Carmen (Figuras 23, 24 y 25).

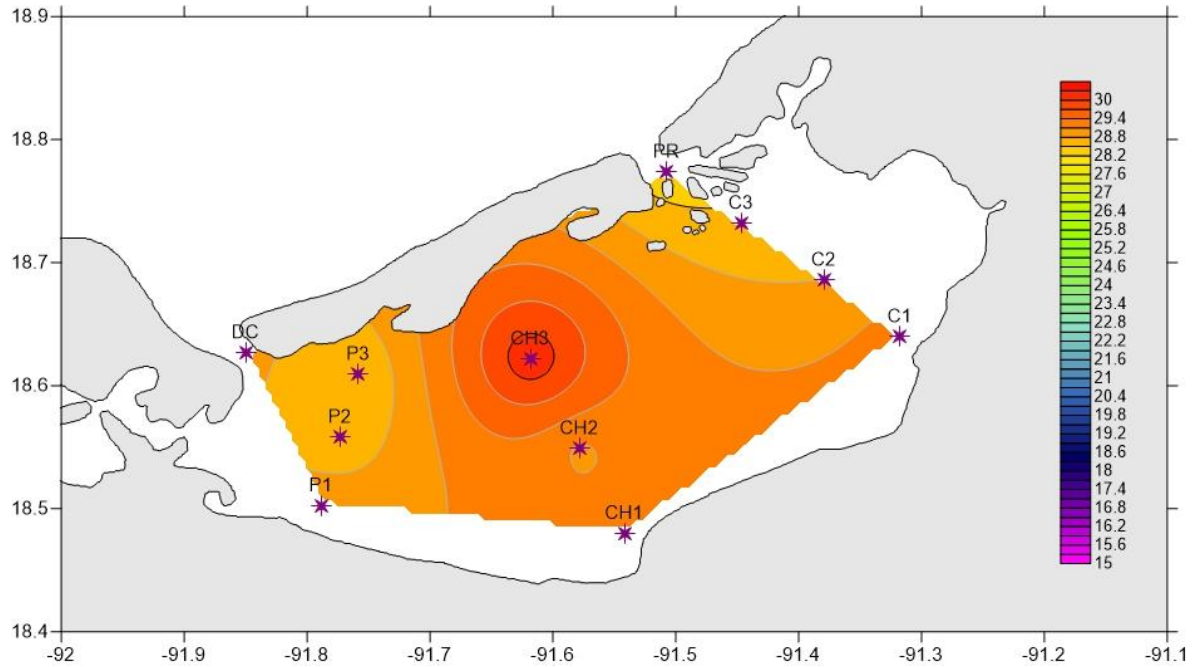


Figura 21. Distribución horizontal de la temperatura superficial (°C) en la época de secas (abril).

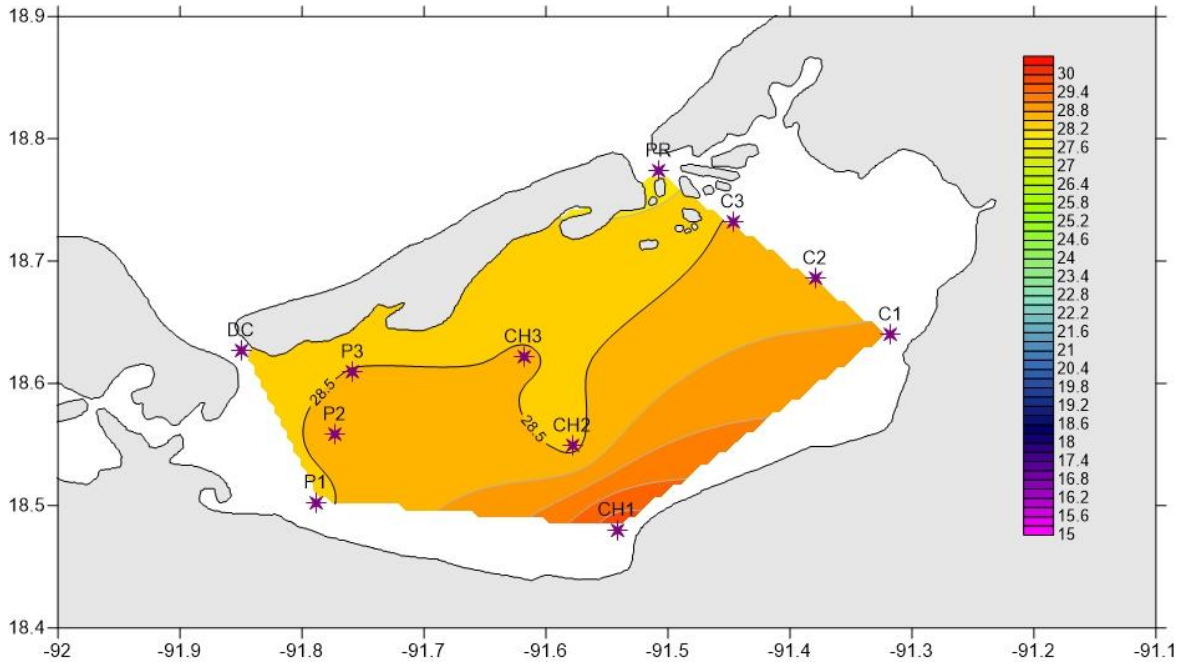


Figura 22. Distribución horizontal de la temperatura (°C) en el fondo durante la época de secas (abril).

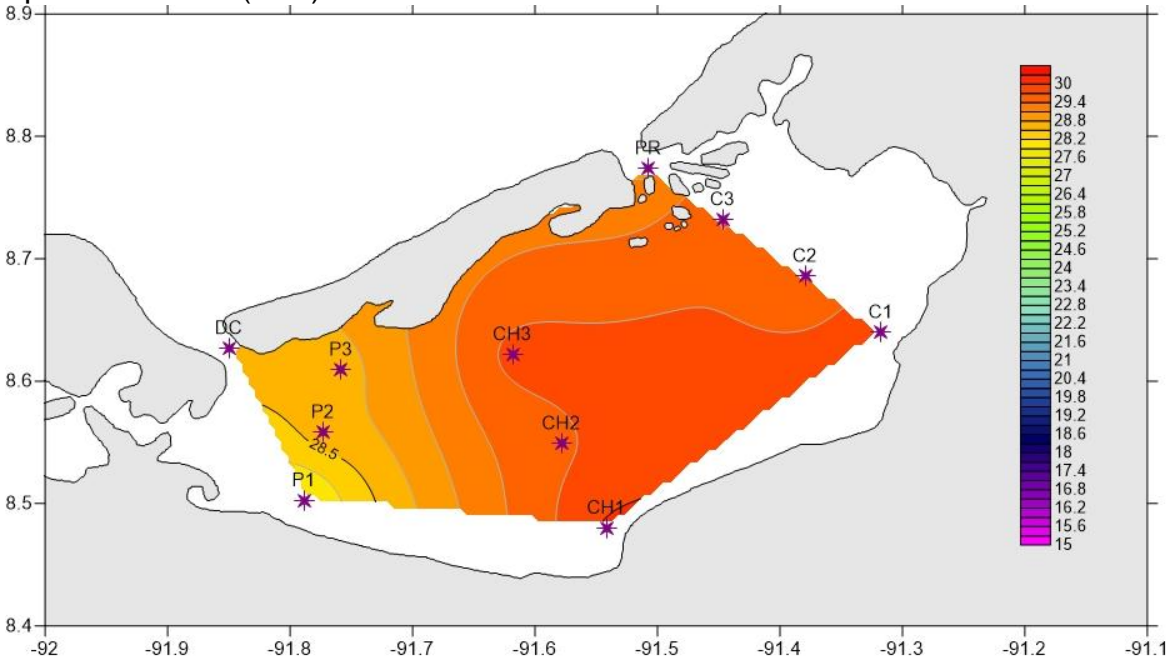


Figura 23. Distribución horizontal de la temperatura superficial (°C) durante la época de lluvias (octubre).

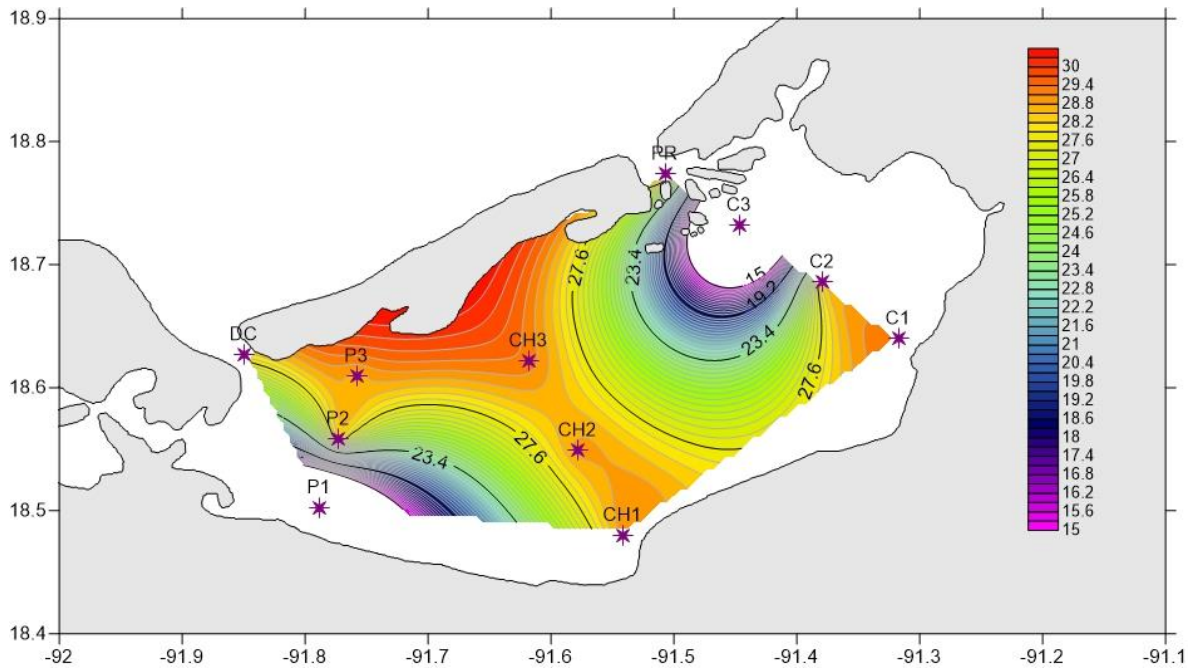


Figura 24. Distribución horizontal de la temperatura (°C) a media agua durante la época de lluvias (octubre).

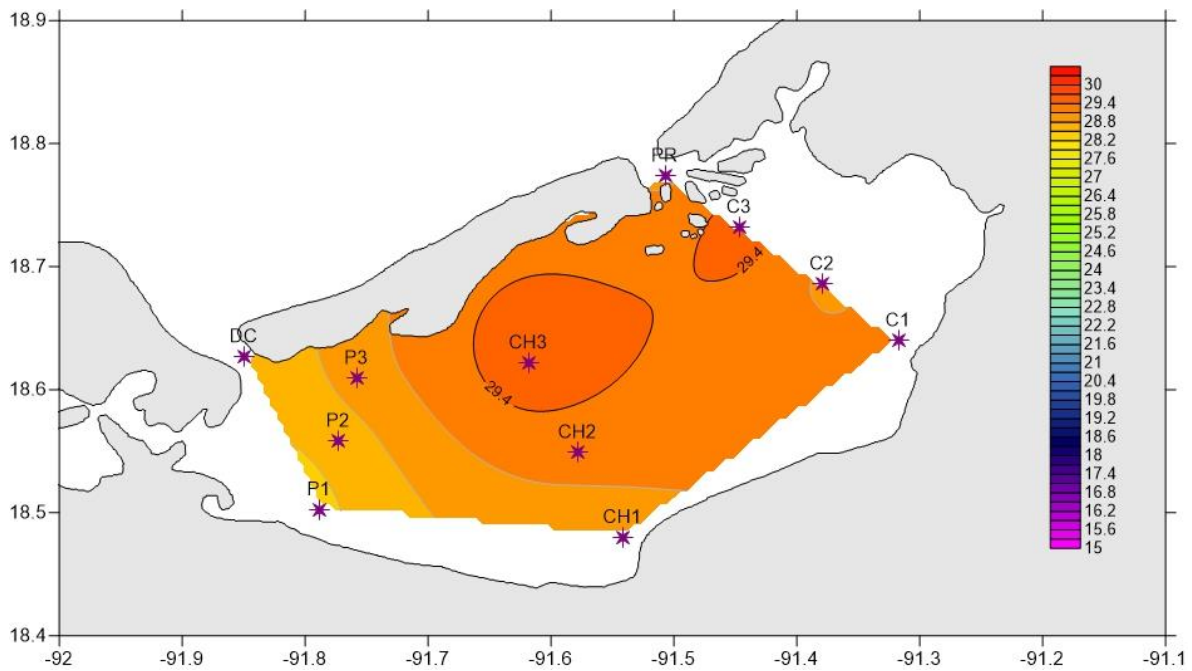


Figura 25. Distribución horizontal de la temperatura (°C) en el fondo durante la época de lluvias (octubre).

Salinidad

La salinidad registrada durante las dos épocas mostró diferencias muy marcadas entre ellas. Como era de esperarse, en la época de secas (abril) se registró una salinidad mayor a la de la época de lluvias (octubre).

Esto debido a que la lluvia baja la concentración de salinidad por la disolución, así como por la descarga de los ríos. Durante la época de secas se registró una profundidad menor, por lo que se generaban áreas de alta evaporación por lo que se presenta un aumento en la salinidad.

Las estaciones con mayor salinidad fueron PR, CH3 y P3 tanto para el mes de abril como para el mes de octubre, esto debido a su lejanía de los ríos, así como por su cercanía al mar y a la flora y fauna (humedal) del sitio.

Así mismo la estación que registró la menor salinidad para ambas épocas fue P1, esto debido a la cercanía que tiene con el río Palizada.

Para el mes de octubre (lluvias) se registró un patrón similar en las 3 profundidades donde las estaciones con mayor salinidad fueron PR y CH3, y las de menor salinidad fueron las que tenían una mayor cercanía a los ríos, principalmente P1 (Figuras 26-30).

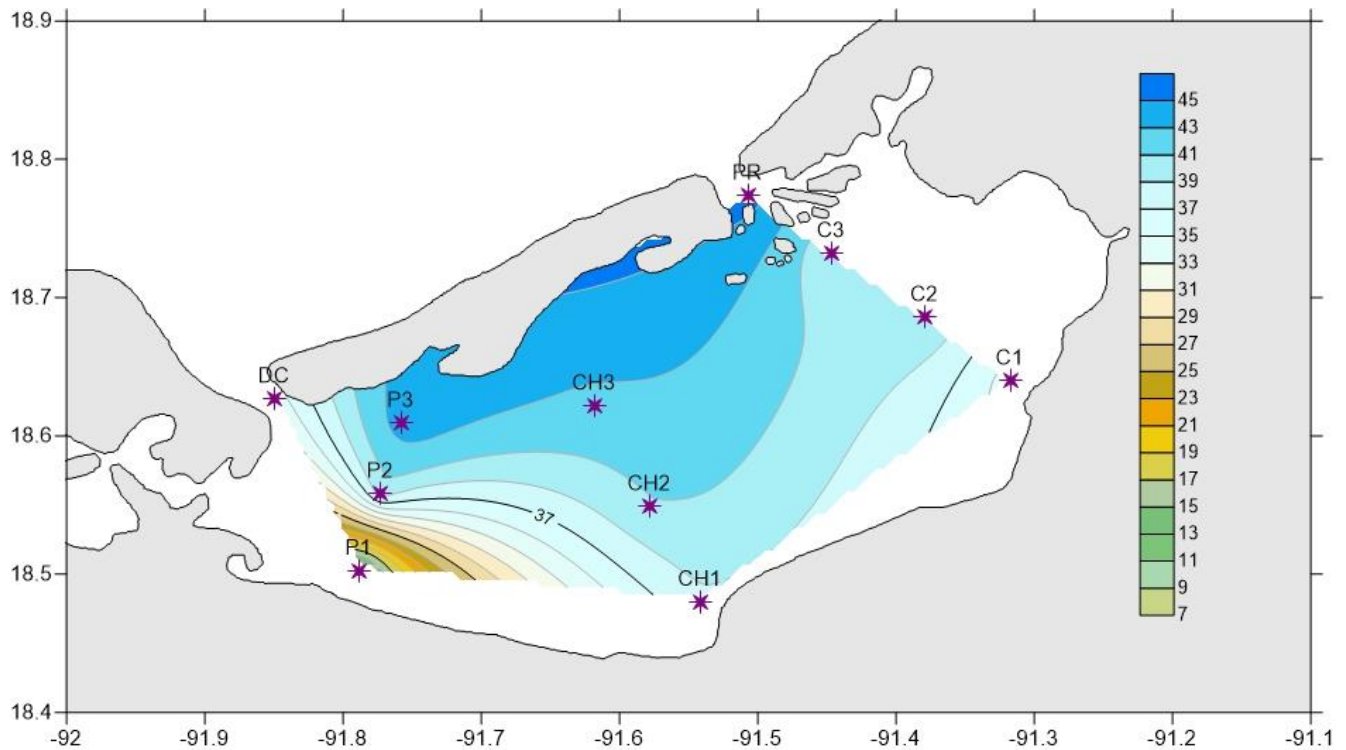


Figura 26. Distribución horizontal de la salinidad superficial (ups) durante la época de secas (abril).

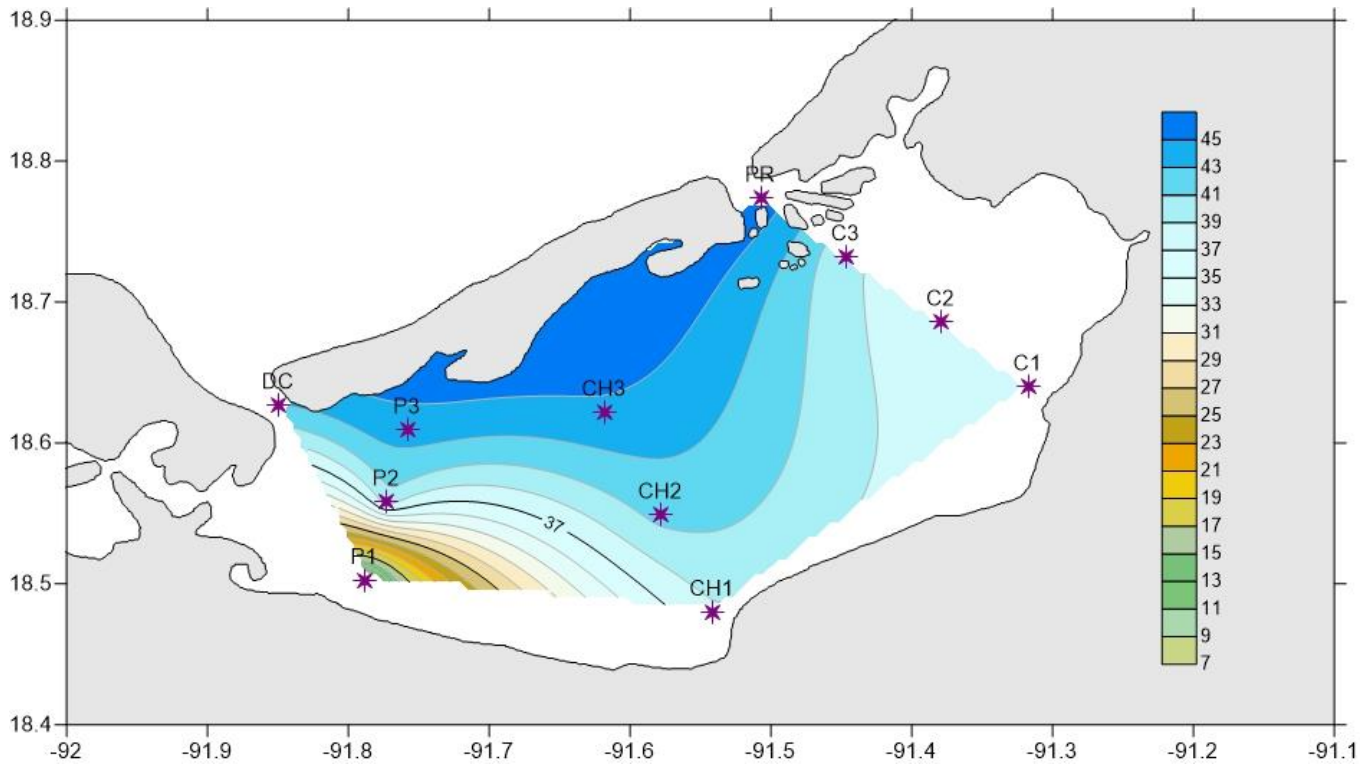


Figura 27. Distribución horizontal de la salinidad (ups) en el fondo durante la época de secas (abril).

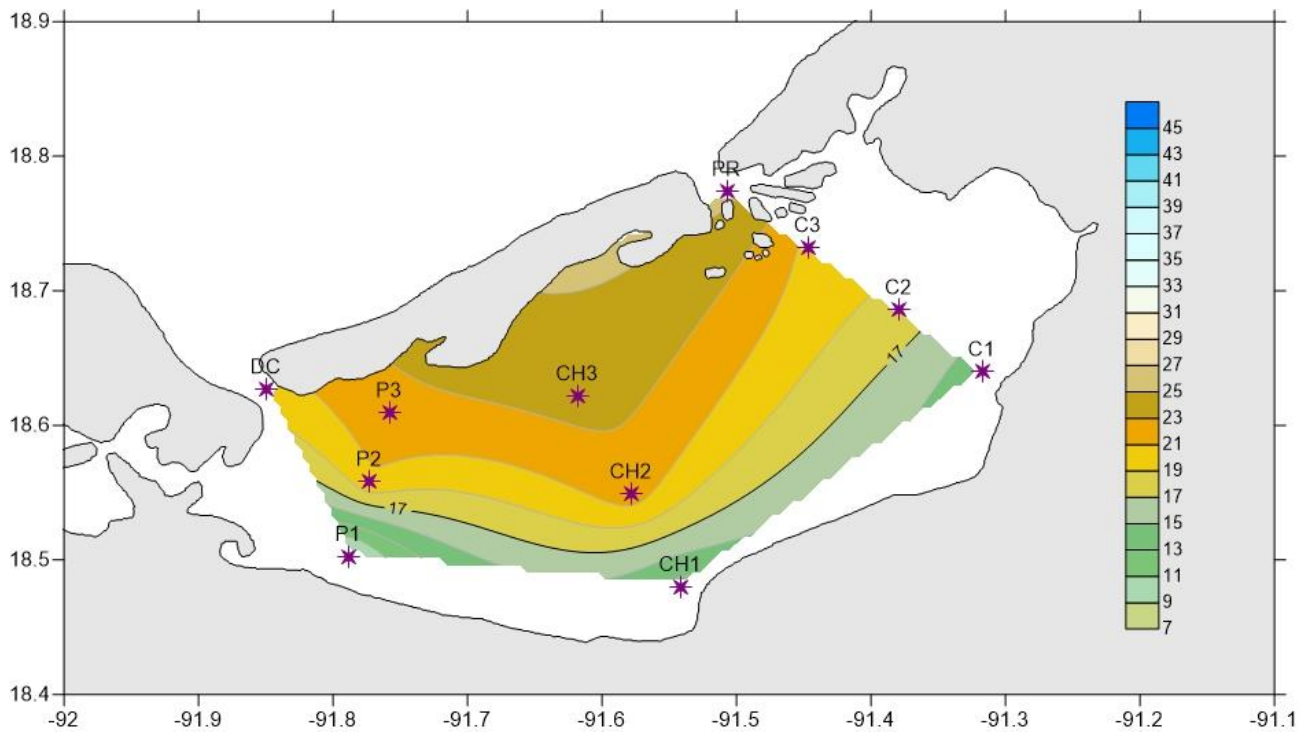


Figura 28. Distribución horizontal de la salinidad superficial (ups) durante la época de lluvias (octubre).

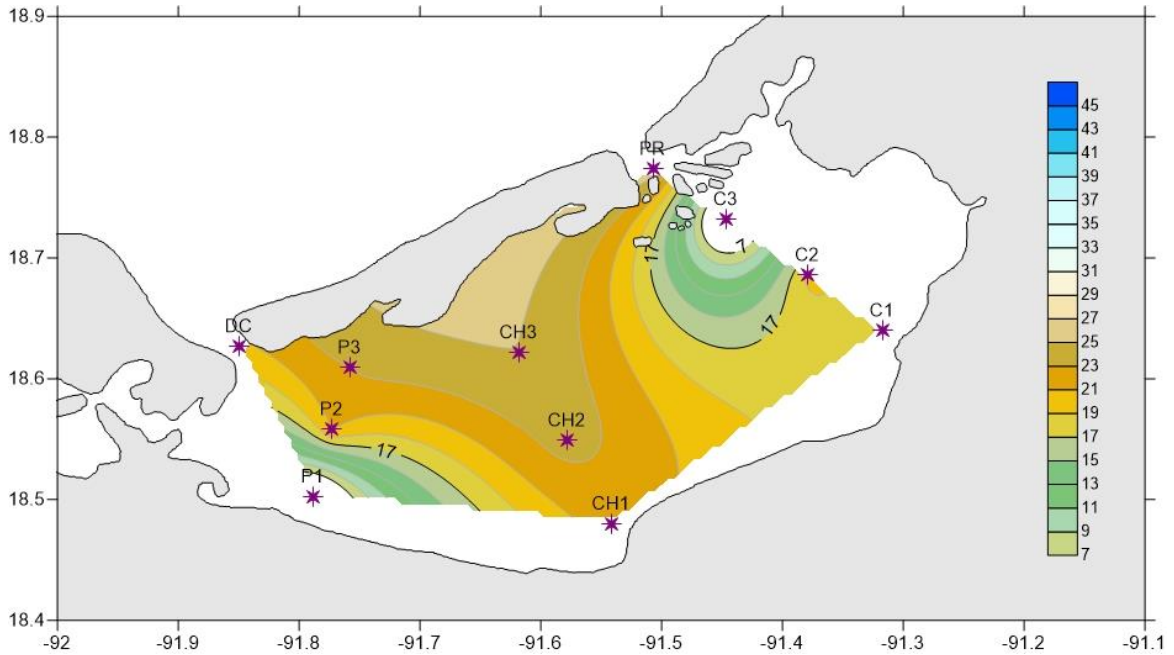


Figura 29. Distribución horizontal de la salinidad a media agua (ups) durante la época de lluvias (octubre).

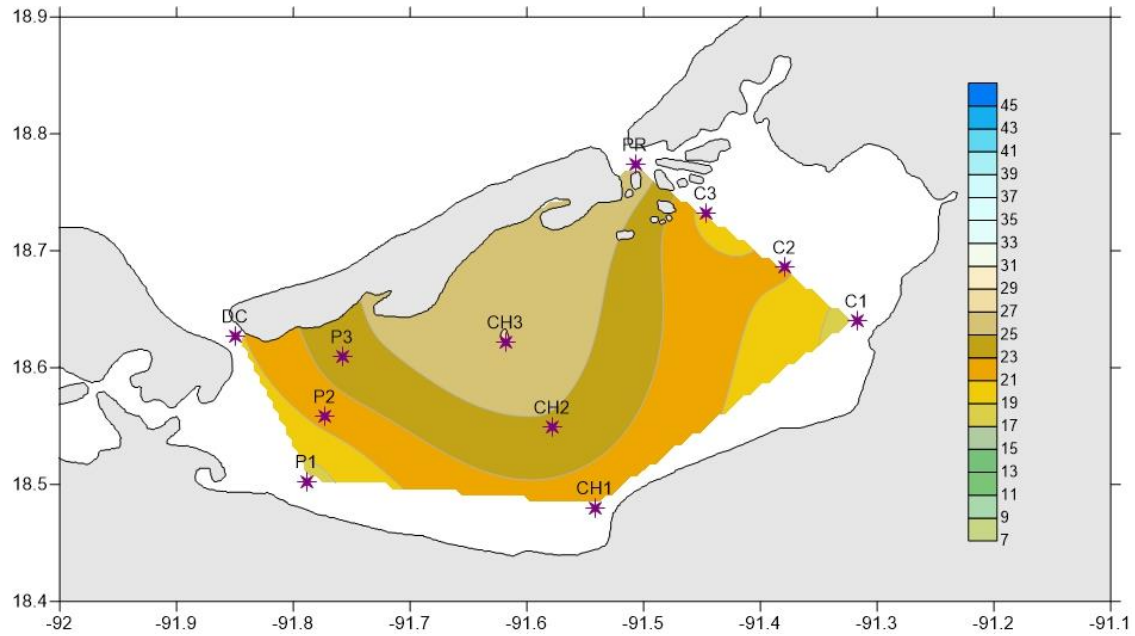


Figura 30. Distribución horizontal de la salinidad en el fondo (ups) durante la época de lluvias (octubre).

Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto registrado durante las dos épocas no mostró diferencias muy marcadas entre ellas, el oxígeno en ambas épocas fue constante y con valores similares.

Para la época de secas las estaciones con mayor concentración de oxígeno fueron regularmente las que están cerca del mar y los ríos, ya que éstas son fuentes de recirculación, así mismo son las que presentaron menor temperatura, por lo que el agua a menor temperatura transporta más oxígeno.

Para la época de lluvias las estaciones con mayor cantidad de oxígeno en la superficie fueron C1, C2 y CH1, en la de medio fueron C2, DC y P3, y en la de fondo C3, PR y CH1 y las de menor concentración fueron, en la superficie fueron P1, PR y P2, en la de medio fueron P1, C3 y C1, y en la de fondo CH2 y C1 (Figuras 31-35).

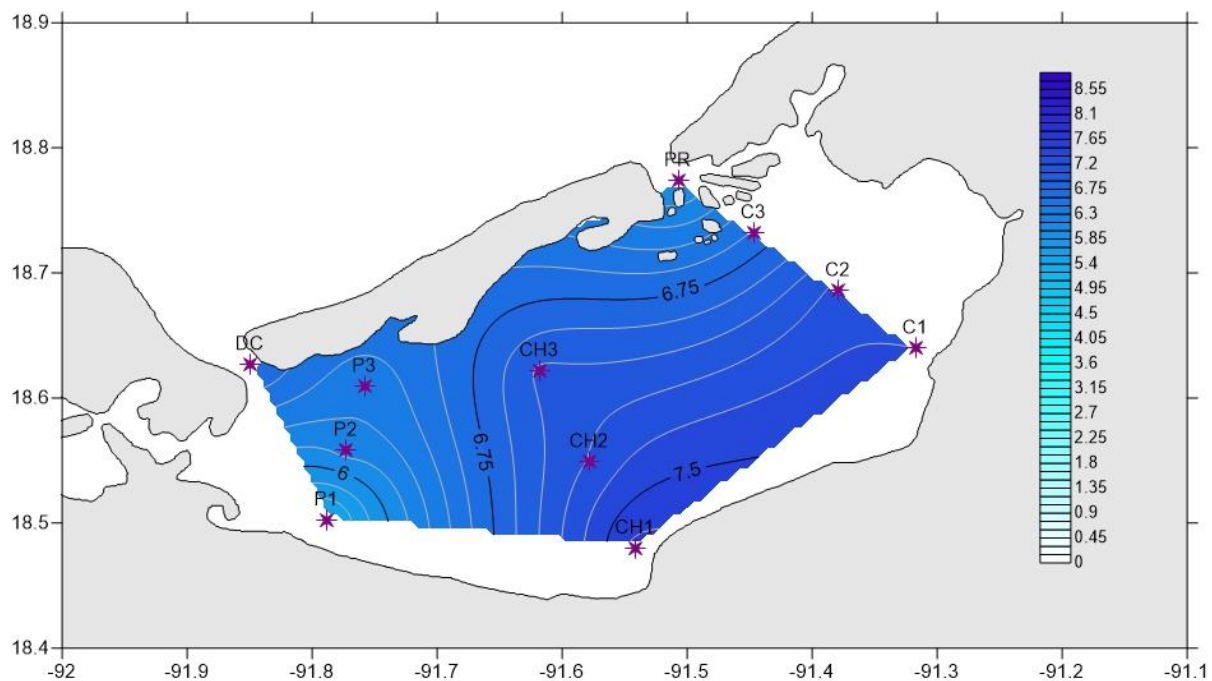


Figura 31. Distribución horizontal del oxígeno disuelto (mg/L) en superficie durante la época de lluvias (octubre).

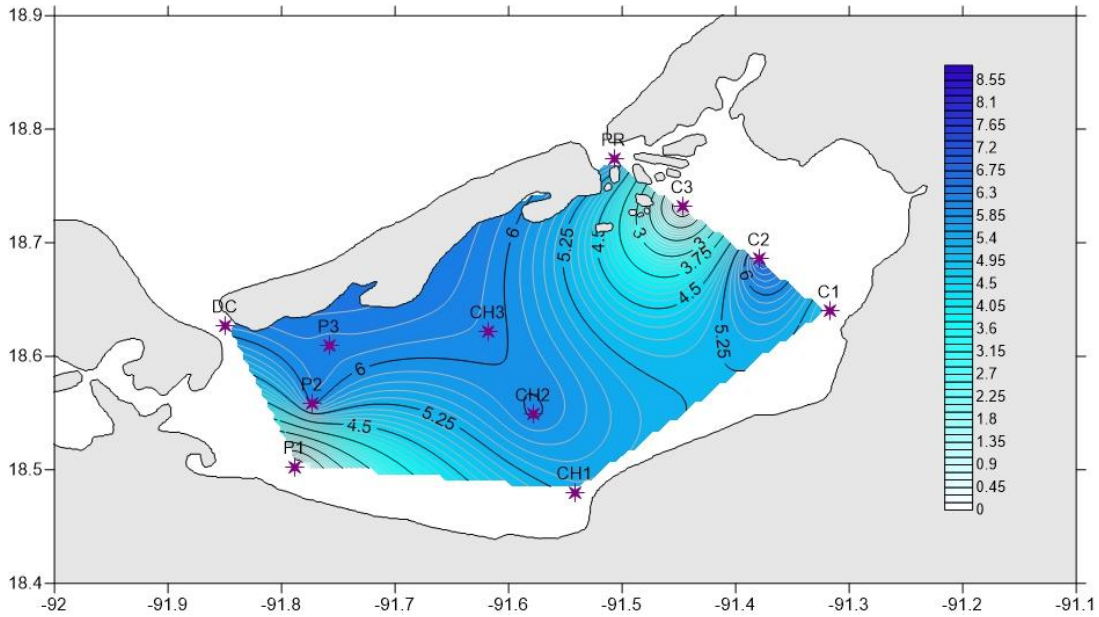


Figura 32. Distribución horizontal del oxígeno disuelto (mg/L) a media agua durante la época de lluvias (octubre).

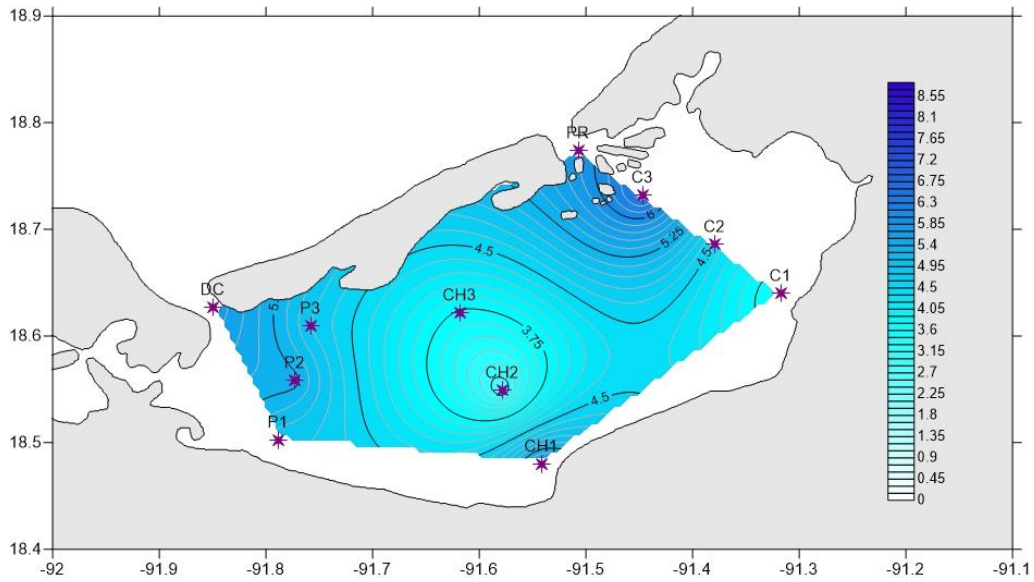


Figura 33. Distribución horizontal del oxígeno disuelto (mg/L) en el fondo durante la época de lluvias (octubre).

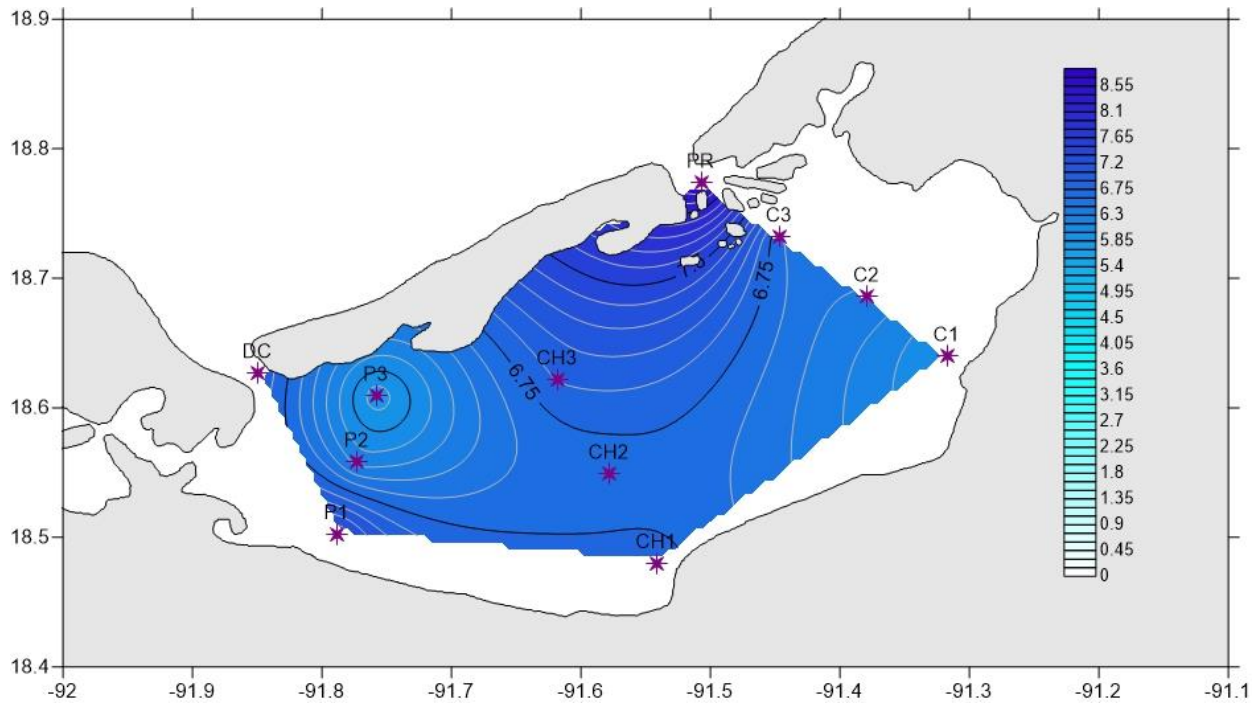


Figura 34. Distribución horizontal del oxígeno disuelto (mg/L) en superficie durante la época de secas (abril).

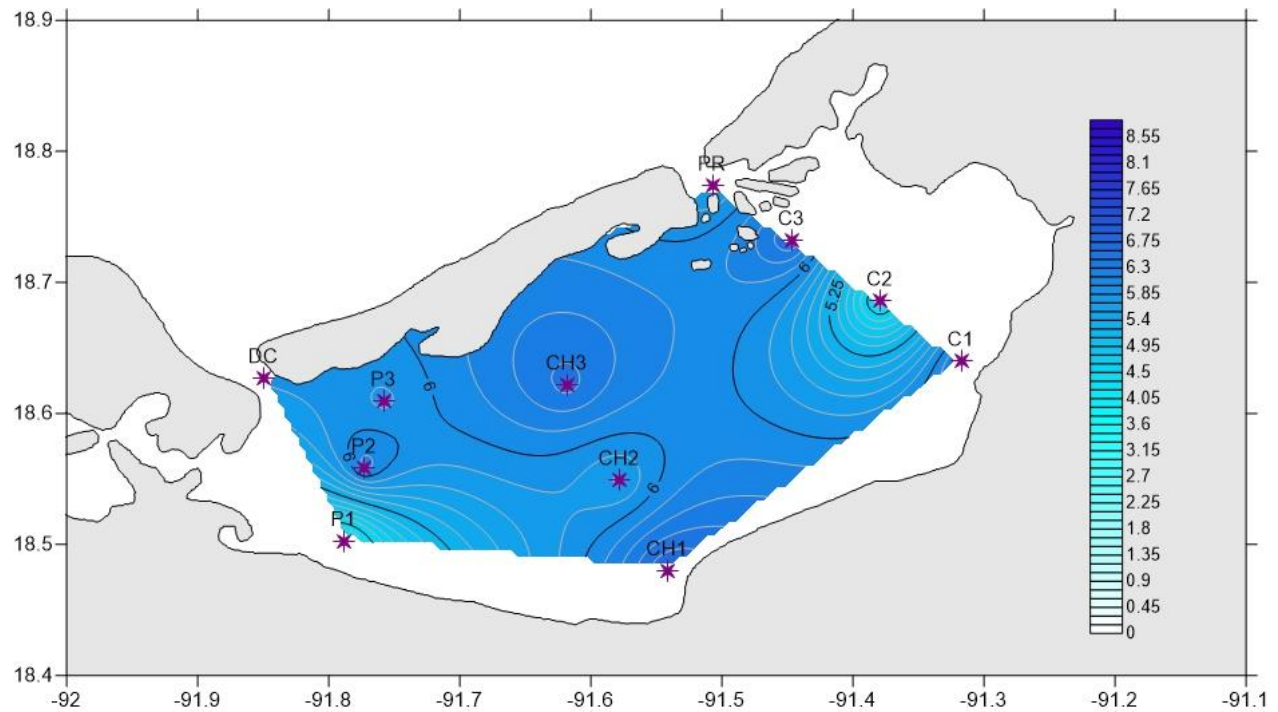


Figura 35. Distribución horizontal del oxígeno disuelto (mg/L) en el fondo durante la época de secas (abril).

Biomasa fitoplanctónica (concentración de clorofila-a)

La Chl-a registrada con la sonda multiparamétrica durante las dos épocas mostró diferencias entre ellas, en ambas épocas se muestran varias fluctuaciones muy diferentes de concentraciones de Chl-a.

Las fluctuaciones que muestran una mayor concentración de Chl-a fueron la estación P3 en la época de secas en la superficie y fondo, esto debido a la cercanía de la flora y fauna (humedal), lo que aporta una gran cantidad de nutrientes y para la época de lluvias fue C3 en el fondo (Figuras 36-40).

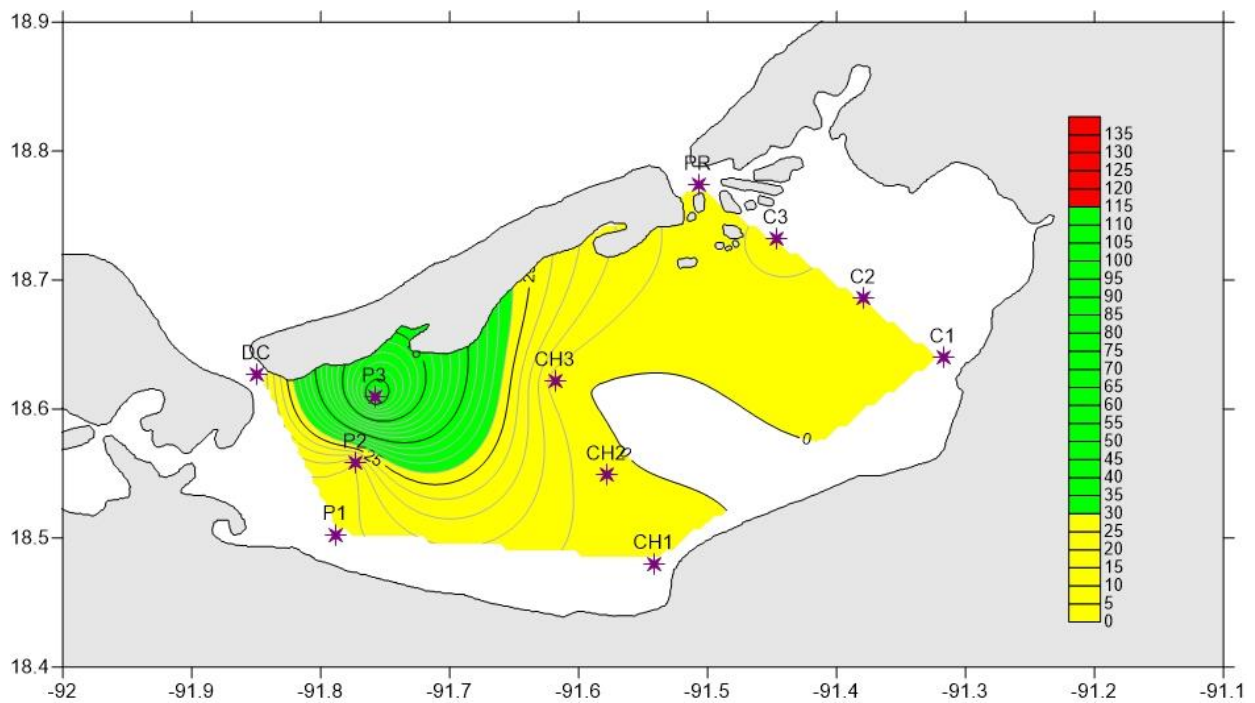


Figura 36. Distribución horizontal de la clorofila-a (mg/m^3) en superficie durante la época de secas (abril).

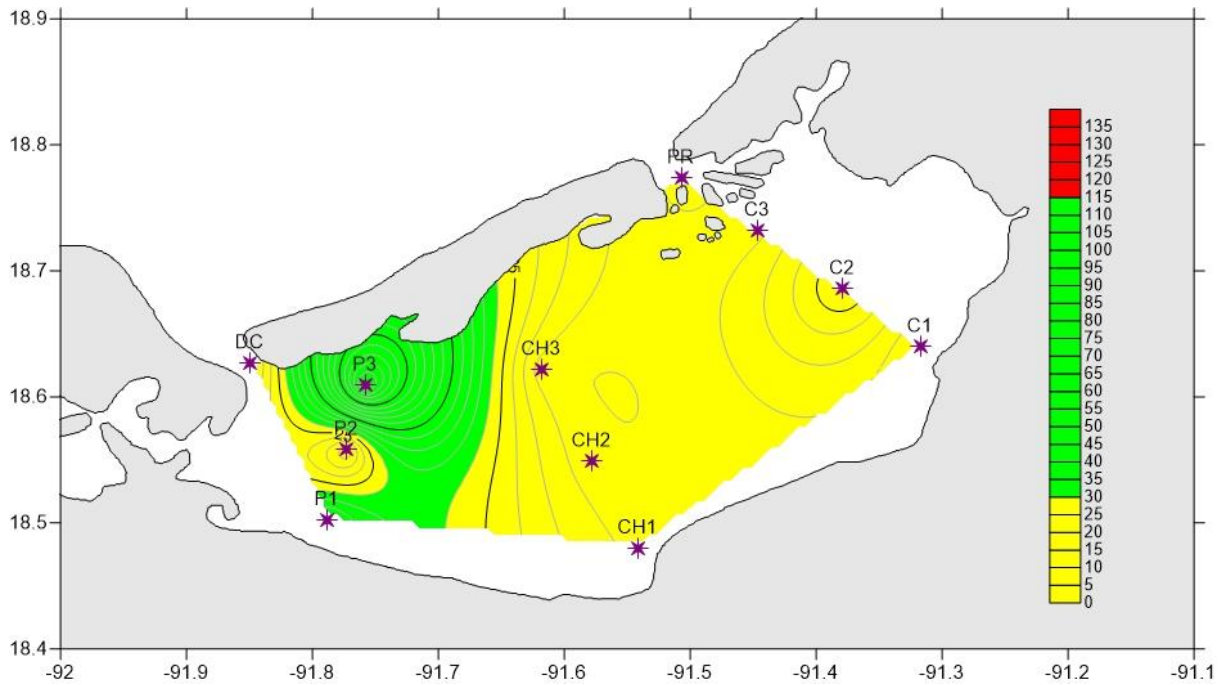


Figura 37. Distribución horizontal de la clorofila-a (mg/m^3) en el fondo durante la época de secas (abril).

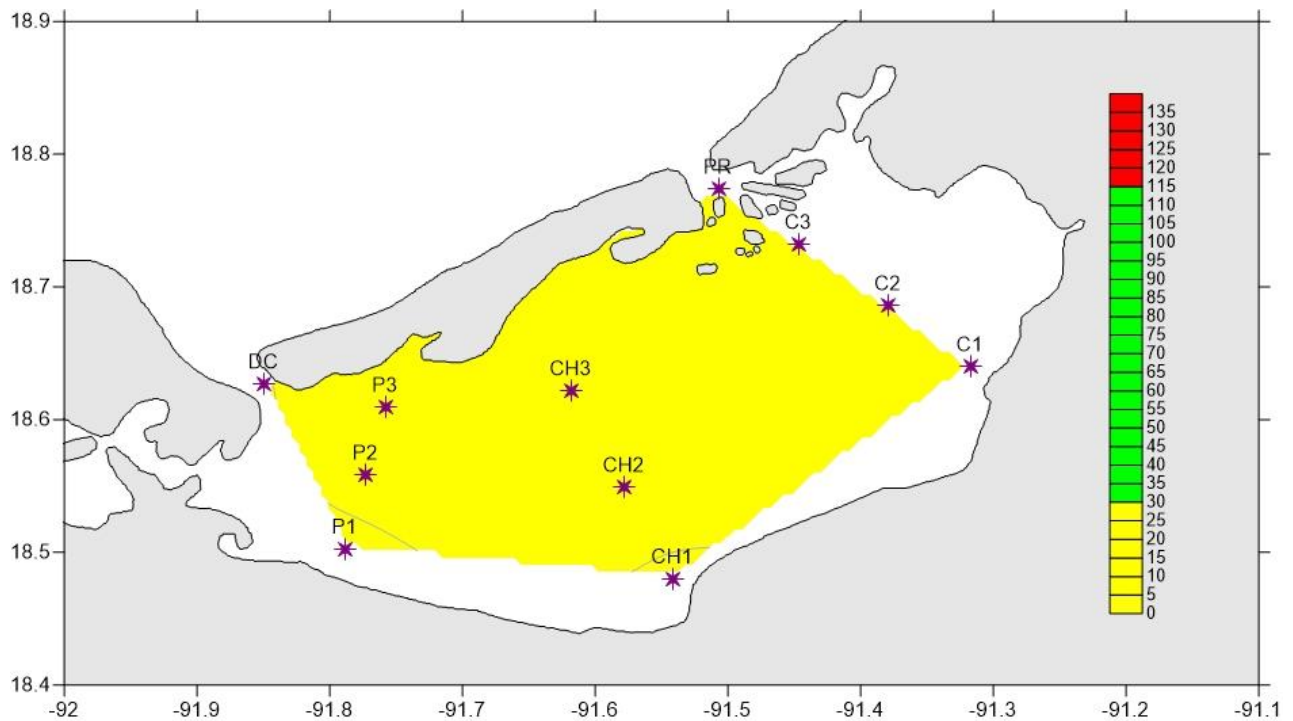


Figura 38. Distribución horizontal de la clorofila-a (mg/m^3) en superficie durante la época de lluvias (octubre).

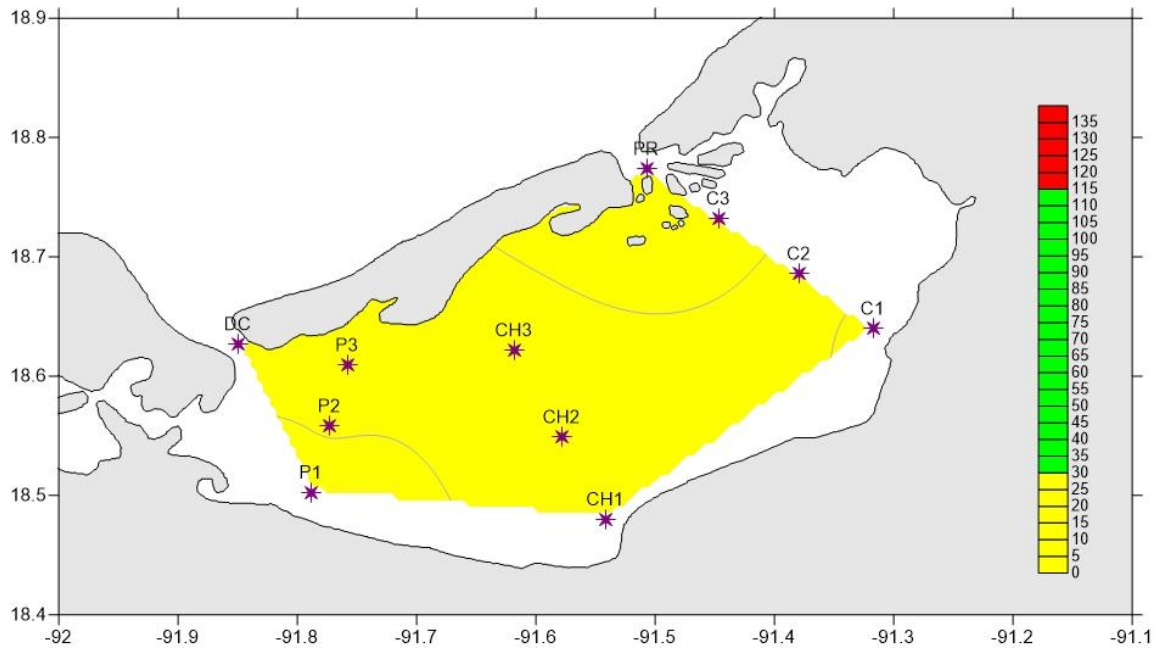


Figura 39. Distribución horizontal de la clorofila-a (mg/m^3) a media agua durante la época de lluvias (octubre).

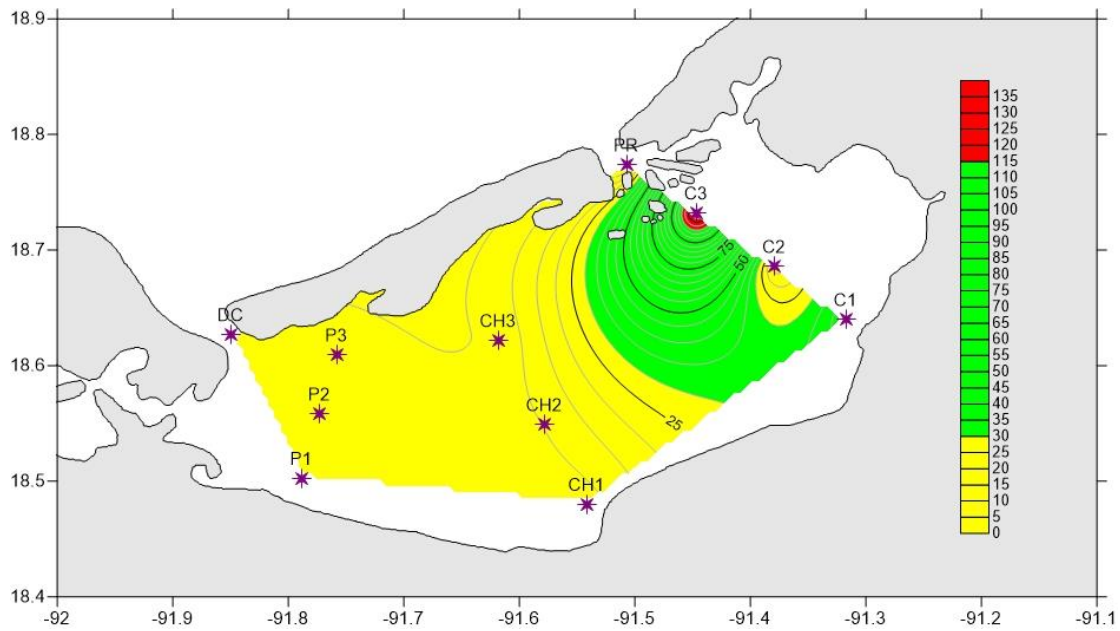


Figura 40. Distribución horizontal de la clorofila-a (mg/m^3) en el fondo durante la época de lluvias (octubre).

Distribución horizontal de la biomasa planctónica

En la figura 41 se muestra que los mayores valores de la biomasa zooplanctónica, tanto en la época de secas como en la de lluvias, se presentaron principalmente en las estaciones del río Candelaria, así como en ambas bocas de la laguna.

En la figura 42 se muestra que los mayores valores de la biomasa fitoplanctónica en la época de secas se observaron en las estaciones del río Chumpán, mientras que en la de lluvias se observaron en las estaciones del río Palizada, así como en la boca del Carmen.

Asimismo, se observa que generalmente donde se presenta mayor concentración de biomasa zooplanctónica se presenta menor concentración de biomasa fitoplanctónica.

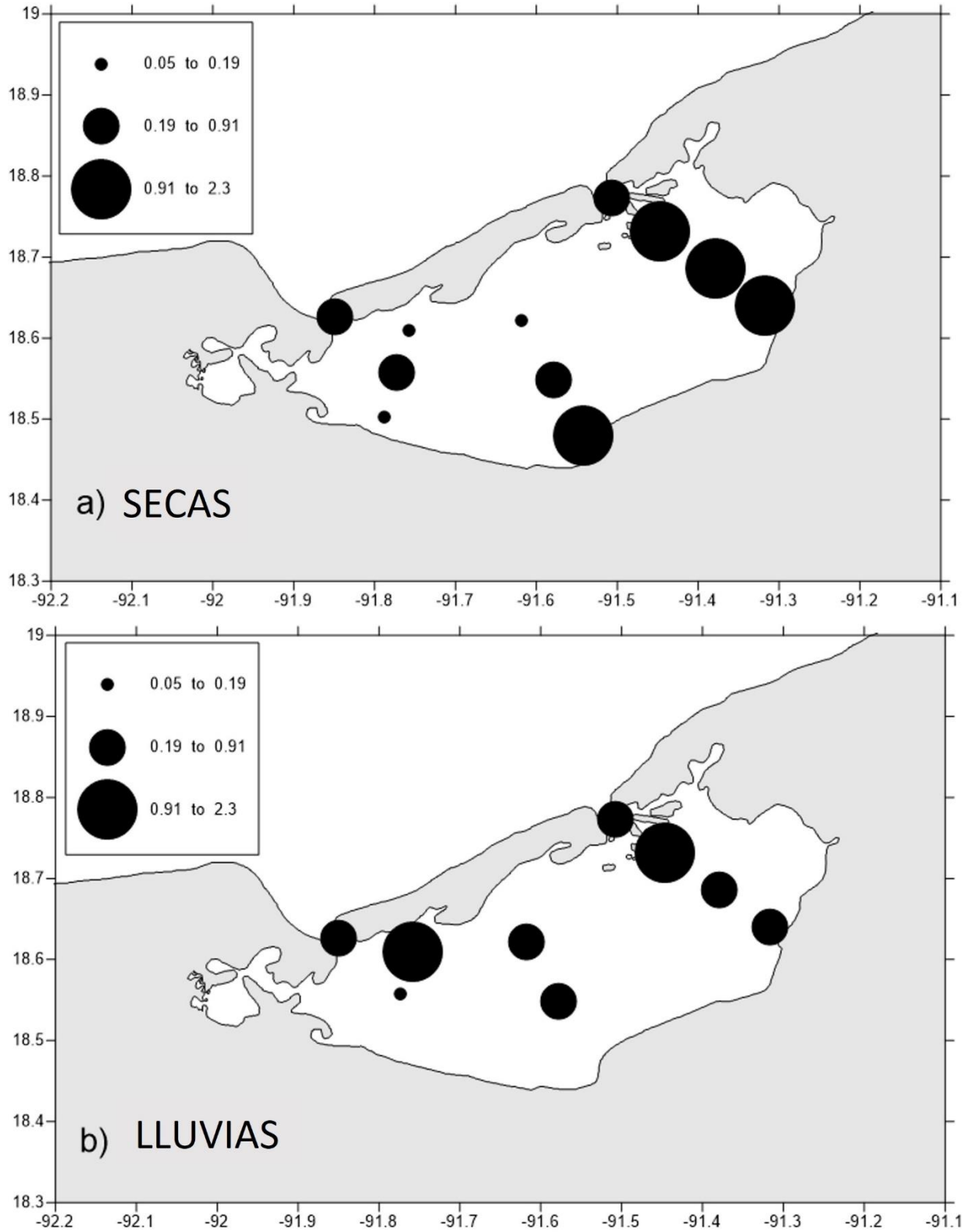


Figura 41. Distribución horizontal de la biomasa zooplanctónica (g1000/m³) en (a) la época de secas, y (b) en la época de lluvias.

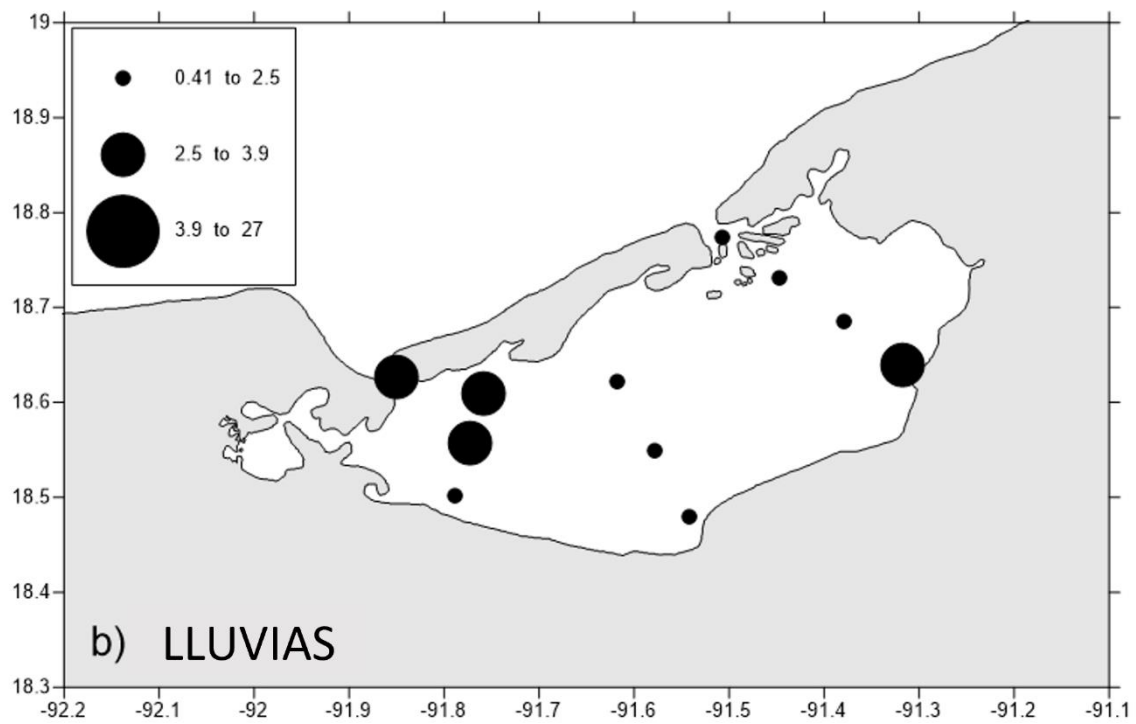
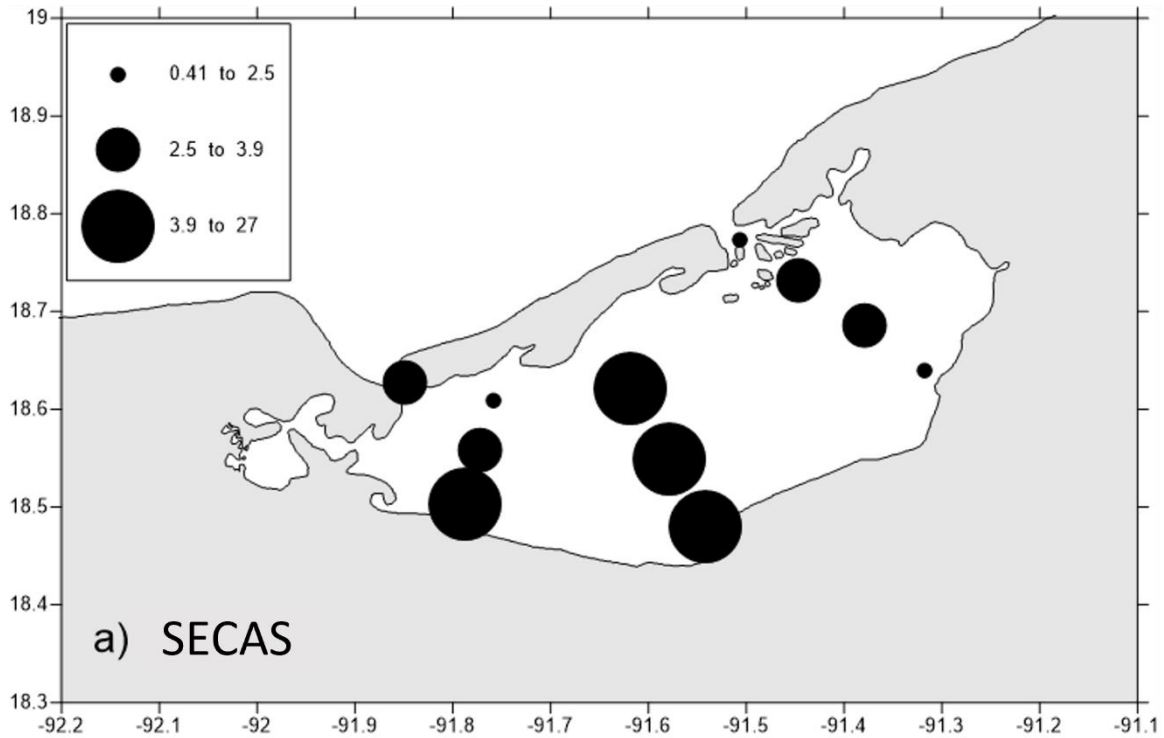


Figura 42. Distribución horizontal de la biomasa fitoplanctónica (mg/m^3) en (a) la época de secas, y (b) en la época de lluvias.

Análisis de componentes principales (PCA)

El resultado del análisis mostró que las variables que influyeron en la biomasa planctónica en la época de secas (abril) fue la salinidad, mientras que para la época de lluvias (octubre) las variables que influyeron en la biomasa planctónica fueron los sólidos disueltos totales y la temperatura (Figura 43).

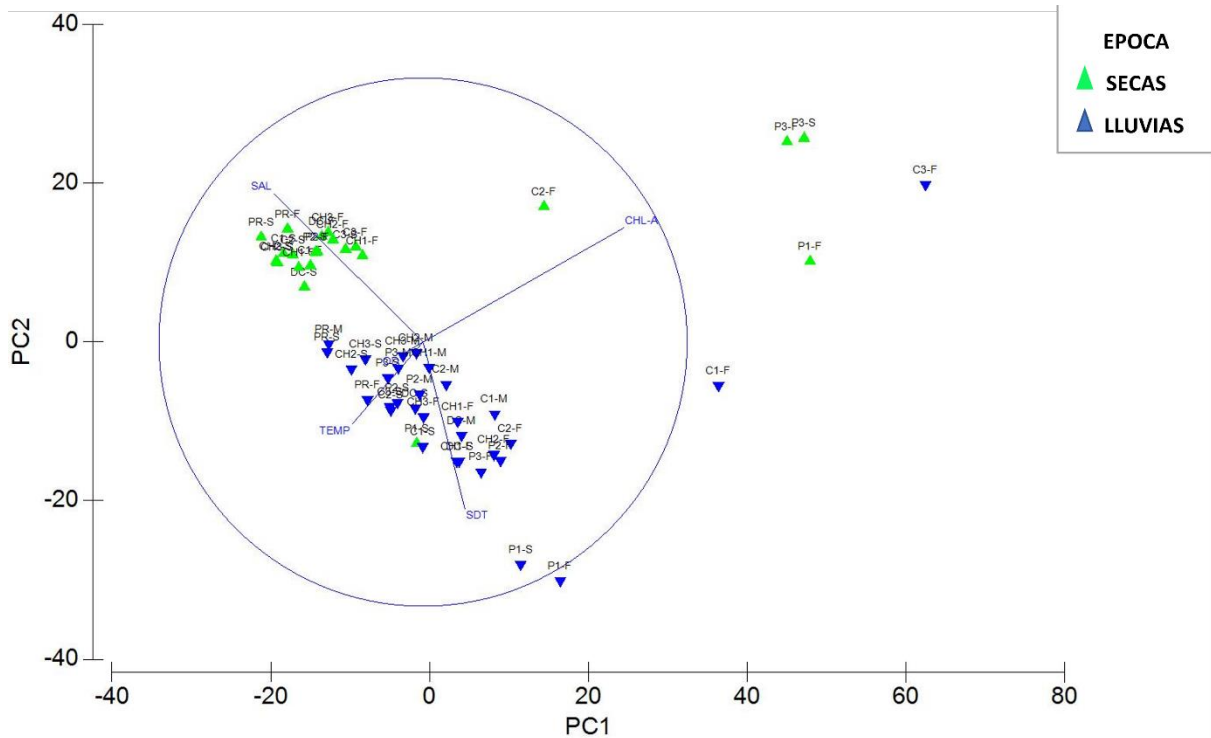


Figura 43. Análisis de componentes principales en la época de secas (triángulos verdes) y en la época de lluvias (triángulos azules).

DISCUSIÓN

El valor T mide la magnitud de la diferencia en relación con la variabilidad en los datos de la muestra. Cuanto mayor sea el valor de T, más será la evidencia en contra de la hipótesis nula. Esto quiere decir que hay más evidencia de que existe una diferencia significativa. Cuanto más lejos esté T del 0, más probable será que exista una diferencia significativa (Minitab, 2019).

Conforme con lo que se muestra en el análisis de T, se deduce que las variables de salinidad y oxígeno fueron las que mostraron una mayor diferencia entre ambas épocas, siendo la época de secas la que obtuvo un mayor valor.

La cuantificación de la biomasa del plancton puede ser considerada como un indicador de producción primaria (fitoplancton) y producción secundaria (zooplancton), ya que esta se ve influenciada por factores hidrográficos como lo son

los gradientes de salinidad, temperatura, etc., con lo que se puede obtener datos del comportamiento y productividad del sistema, la cual se ve influenciada por ciclos meteorológicos, así como por la cantidad de agua dulce que ingresa al sistema.

En los muestreos, la biomasa planctónica y las variables de temperatura y oxígeno no mostraron diferencias significativas entre ambas épocas, mientras que la salinidad y la Chl-a medida por la sonda multiparamétrica, sí tuvieron diferencias significativas entre ambas épocas. Generalmente, tanto las variables como la biomasa planctónica fueron mayores en la época de secas, menos por la temperatura que fue un poco mayor en la época de lluvias.

A diferencia de lo que se planteaba en la hipótesis donde se menciona que durante la época de secas se encontraría una menor cantidad de biomasa planctónica con respecto a la de lluvias, en el estudio se mostró que la época de secas obtuvo una mayor biomasa tanto fitoplanctónica como zooplanctónica respecto a la de lluvias, por lo que con ello se obtuvo una mayor biomasa planctónica, lo cual se puede deber a que las características de la época seca, contribuyeron a la producción planctónica, por lo que esta época es más productiva a comparación de la de lluvias.

Este estudio permitió confirmar la hipótesis donde se menciona que la concentración de la biomasa planctónica dependerá de las características hidrográficas de la columna de agua, como se mostró en el PCA donde se muestra que la salinidad es la variable que está más relacionada con la biomasa planctónica en la época de secas y para la época de lluvias fue la temperatura y sólidos disueltos.

En el estudio se registraron intervalos de temperatura en la época de secas de 30.27 a 28.3° C y en la de lluvias fueron de 30.04 a 27.8° C. Por otra parte, Ayala et al. (2003) realizaron 19 campañas de campo mensuales en el sistema Laguna de Términos, durante septiembre de 1997 a marzo de 1999, donde reportaron un intervalo de 32.87 a 20.09° C para la época de secas, y de 30.13 a 24.54° C para la época de lluvias.

Poot (2016) reportó dos periodos cálidos en la Laguna de Términos, de agosto a octubre de 2012 y de abril a septiembre de 2013 con un intervalo de 32 a 28° C. En donde se muestra que la temperatura de la laguna sí ha sufrido cambios durante el transcurso del tiempo, lo que podría afectar en parámetros como la salinidad, debido a que a mayor temperatura se espera una mayor salinidad y en el caso del oxígeno disuelto, es mayor a menor temperatura.

Como era de esperarse, en la época de secas (abril) se registró una salinidad mayor a la de la época de lluvias (octubre). Esto debido a que la lluvia baja la concentración de salinidad por la dilución, así como por la descarga de los ríos. De igual manera,

debido a que en la época de secas se tenía una profundidad menor, se generaron áreas de alta evaporación por lo que se presentó un aumento en la salinidad.

La dinámica del entorno costero se ve afectada por la salinidad, que varía según el año climático, lo que refleja la variación estacional de la luz solar, lo que a su vez conduce a una mayor evaporación y, por tanto, a una mayor salinidad previa a la temporada de lluvias (Ramos-Miranda et al., 2006).

Ayala et al. (2003) registraron un intervalo de 39 a 0.8 ups en la época secas y de 39.7 a 1 ups en la época de lluvias, durante septiembre de 1997 a marzo de 1999. De igual manera Poot (2016) registró un valor promedio de 10 ups de noviembre del 2012 a febrero de 2013, en la Laguna de Términos, mientras que los intervalos de este estudio fueron de 46.33 a 7.16 ups en época de secas y en lluvias de 27.05 a 7.87 ups. Lara et al. (1980) reportaron que la parte sur de la laguna recibe más del 50% del aporte de agua dulce, en el estudio se muestra que las estaciones más cercanas al sur de la laguna son las que muestran menor concentración de salinidad.

Para la época de secas las estaciones con mayor concentración de oxígeno fueron regularmente las que están cerca del mar y los ríos, ya que éstas son fuentes de recirculación, así mismo son las que presentaron menor temperatura, por lo que el agua a menor temperatura transporta más oxígeno.

El valor promedio de oxígeno disuelto en el estudio fue de 6.15 mg/L en época de secas y en época de lluvias es de 5.49 mg/L, mientras que Poot (2016) reportó un valor promedio de 7.8 mg/L en la Laguna de Términos.

Ayala et al. (2003) registraron un intervalo en el oxígeno disuelto de 11.39 a 3.07 mg/L para la época de secas y para la época de lluvias fue de 10.61 a 3.57 mg/L, durante septiembre de 1997 a marzo de 1999, por lo contrario, en este estudio se registró un intervalo de 7.5 a 3.97 mg/L, para la época de secas mientras que para la época de lluvias se registró un intervalo de 7.7 a 2.84 mg/L.

En el estudio de Barreiro y Aguirre (1999), se menciona que la mayor concentración anual de Chl-a se observa en la época de secas con valores promedios de 19.86 mg/m³ y con un máximo hasta de 64 mg/m³ y los valores menores se presentaron durante la época de lluvias con valores promedio de 3.76 mg/m³, en cambio en este estudio en la época de secas (abril) el promedio general de Chl-a fue de 16.90 mg/m³ y la máxima fue de 111.47 mg/m³, mientras que en la época de lluvias (octubre) el promedio general de Chl-a fue de 10.94 mg/m³, para el caso de la época de lluvias se puede deducir que el aumento del promedio de Chl-a es debido a que el muestreo se realizó en un mes de transición, entre la época de lluvias y la de nortes, como lo reporta Lara et al. (1980) donde mencionan que hay 3 épocas

climáticas; la época de lluvias que abarca de junio hasta octubre, la época de "nortes" que abarca de noviembre hasta febrero y la época de secas que abarca de febrero hasta mayo.

La biomasa de los organismos de zooplancton es una variable importante para comprender el papel ecológico de cada grupo en esa comunidad y se considera una estimación más realista y precisa que la densidad en estudios estructurales, debido a la amplia gama de de las especies (Villabona et al., 2015).

La biomasa zooplanctónica registrada durante las dos épocas mostró diferencias entre ellas, en ambas épocas se observaron fluctuaciones con diferente concentración, siendo el mes de abril el que registró mayor biomasa zooplanctónica.

Las fluctuaciones que mostraron mayor biomasa zooplanctónica fueron C1, C3 y CH1 para la época de secas, en cambio para la época de lluvias fueron C3, P3 y CH3.

El zooplancton se considera un eslabón fundamental para la cadena alimentaria de los organismos acuáticos. Esto tiene un impacto importante en los procesos de transferencia de energía desde la producción primaria a los demás niveles tróficos. El zooplancton es alimento para la mayoría de las larvas y peces juveniles, incluidos algunos adultos. Otra función importante es el reciclaje de los nutrientes del zooplancton, que son excretados por el zooplancton y sirven como nutrientes para la población de fitoplancton (Castro y Hammann 1989).

La biomasa fitoplanctónica cuantificada a partir de espectrofotometría durante las dos épocas no mostró diferencias marcadas entre ellas a pesar de que, en ambas épocas se muestran fluctuaciones con diferente concentración. En general, el mes de abril fue el que registró valores más elevados. Las fluctuaciones que mostraron mayor biomasa fitoplanctónica fue CH3 en la superficie para la época de secas, en cambio para la época de lluvias fue CH2 en el fondo.

Los valores de biomasa planctónica indican que en la época de estiaje existe mayor disponibilidad de alimento para los distintos organismos dentro de la laguna, específicamente en el caso de los peces se puede dar un mayor desove en esta época, debido a la alta disponibilidad de alimento, esta disponibilidad se da principalmente en los puntos de muestreo más cercanos al humedal debido a que hay mayor concentración de nutrientes.

La importancia de las lagunas es que son lugares que sirven de protección, reproducción y alimentación a los distintos organismos, así mismo ayuda a las distintas migraciones de los peces, que a su vez estos ayudan a la transformación de energía, así como son organismos bioindicadores.

Ayala et al. (2003) reportaron que la especie más importante tanto en abundancia como en ocurrencia es *Arius melanopus*, representando el 26,5% de la captura total, seguida de *Diapterus rhombeus* con el 18,9%. También mencionan que la diversidad es alta en la época seca en la zona de pasto y en época de lluvias es alta en sistemas lagunares fluviales, lo que permite el aprovechamiento sucesivo de diferentes ambientes y también el reemplazo de especies en la laguna de Términos.

Lara et al. (1980) informaron que *Arius melanopus* es común en todos los hábitats que conforman el sistema ecológico de la laguna de Términos. Tiene una alta capacidad euritermohalina, lo que permite a la especie habitar todos los hábitats lagunares. Al final del período de incubación, la población adulta migra a zonas de Isla del Carmen en dirección opuesta al gradiente (mayor salinidad, menor temperatura y menor turbidez).

También menciona que las lagunas fluviales forman criaderos y forman parte de los criaderos durante la época de lluvias; Los juveniles y adultos posreproductivos abandonan las zonas de reproducción, y la cuenca central de la laguna es una importante zona de tránsito donde se reclutan muchos juveniles; Las zonas al interior de la Isla del Carmen son zonas de alimentación de adultos y juveniles durante la estación seca. Posteriormente, la población adulta abandona el interior de Isla del Carmen y se dirige a las zonas de reproducción. Los gradientes de salinidad, temperatura y turbidez parecen ser los factores más importantes.

Flores y Álvarez (1980) reportaron que la presencia de la familia Engraulidae fue constante durante los períodos de muestreo y su distribución tuvo una tendencia hacia la homogeneidad, la especie *A. lamprotaenia* fue la más representativa. El desove de esta especie es constante a través de todo el año, pero su época principal es en el verano, y dada su distribución y abundancia se puede considerar como el representante lagunar más típico.

Con los datos obtenidos se deduce que en el mes de abril se encontró mayor biomasa planctónica a comparación con la del mes de octubre, al contrario, como se planteaba al inicio del estudio donde se pensaba que el mes de octubre sería más productivo debido a que en este mes es época de lluvias, se concluyó que el mes de abril resultó más productivo, debido a que en el mes de marzo finaliza la temporada de nortes, por lo que hay una mayor re suspensión de nutrientes.

Regularmente la época de secas comprende los meses de abril a julio, la de lluvias de julio a octubre y la de nortes de octubre a abril. En cada época hay un periodo de transición, por ejemplo, en octubre se pueden ver características de época de lluvia, pero como es un mes de transición, también se pueden observar características de nortes.

CONCLUSIÓN

Las épocas analizadas en el presente estudio son contrastantes debido a que en general, el mes de abril fue el que registró valores más elevados en todos los datos físico/químicos, por lo que con ello se obtuvo una mayor biomasa planctónica, debido a la mayor disponibilidad de nutrientes dados por las características de la época seca, con lo que se deduce que esta época es la más productiva.

La distribución horizontal de la biomasa planctónica a lo largo de la laguna es distinta tanto en épocas como en estaciones, debido a que en la época de secas se presentó una mayor concentración de biomasa planctónica, asimismo se presenta una mayor concentración de biomasa fitoplanctónica en las estaciones próximas al río Chumpán y una mayor concentración de biomasa zooplanctónica en las estaciones del río Candelaria.

La distribución horizontal de las variables hidrográficas, son distintas.

Las variables hidrográficas influyen en la concentración de la biomasa planctónica, dado que en la época de secas la variable de la salinidad fue la determinante para la concentración de la biomasa planctónica, mientras que para la época de lluvias las variables determinantes fueron la temperatura y los sólidos disueltos totales.

Los muestreos realizados en ambas épocas (secas y lluvias), corresponden a meses que son de transición. De igual forma, la luz solar en época de secas (primavera) suele ser más intenso, así como los aportes de nutrientes procedentes de la descarga de los ríos, por lo que la concentración de fitoplancton y zooplancton es mayor en esta época.

Los factores hidrográficos reflejan las condiciones ambientales en cada época siendo la época de lluvias la fase de dilución de nutrientes, y la de estiaje la de producción.

Los factores hidrográficos influyen en la comunidad planctónica, por lo que esto se ve relacionado con la actividad de la cadena trófica del sistema. Estos nos muestran la posible disponibilidad de nutrientes y alimento, de igual forma muestra el comportamiento del sistema.

Las lagunas costeras son de suma importancia ya que estas son fundamentales para la migración de organismos, que requieren sitios de alimentación, protección, reproducción y descanso, con lo que se obtiene una gran biodiversidad/productividad del sistema.

REFERENCIAS

Álvarez Silva C. y Torres Alvarado M. R. (2013) Composición y abundancia del zooplancton de la laguna de Coyuya, Guerrero, México. *Hidrobiológica* 23 (2): 241-249

Anónimo (1983) Lagunas Costeras. *Ciencias* 16(1): 46-47

Argibay P. F. (2011) Estadística avanzada en medicina: el análisis de componentes principales Rev. *Hosp. Ital. B.Aires* 31(3) 107-112

Ayala Pérez L., Ramos Miranda J. y Flores Hernández D. (2003) La comunidad de peces de la Laguna de Términos: estructura actual comparada. *Rev. Biol. Trop.* 51(3-4)

Barreiro Güemes Ma. Teresa y Aguirre León Arturo (1999) Distribución espacio-temporal de la biomasa fitoplanctónica en el sistema lagunar Pom-Atasta, Campeche, México. *Rev. Biol. Trop.*, 47 (1) 27-35.

Bravo Núñez E. y Yáñez-Arancibia A. (1979) Ecología en la boca de Puerto Real, Laguna de Términos. I. Descripción del área y análisis estructural de las comunidades de peces. *An. Centro Cienc. del Mar y Limnol. Univ. Nal. Autón. México* 6: 125-182

Castro Longoria, E. y Hamman, M.G. (1989) Biomasa y composición de la comunidad de zooplancton en la Bahía de Todos Santos, B. C., México, durante el evento de El Niño 1982-1983. *Ciencias Marinas*, 15(4):1-20

Contreras Espinoza M. L. (2016) Variación espacio-temporal de la estructura comunitaria del zooplancton y su relación con las variables hidrográficas en la desembocadura del río Jamapa, Veracruz, en dos temporadas climáticas (nortes y lluvias). Tesis para obtener el grado de Maestro en Ecología y Pesquerías. Instituto de Ciencias Marinas Y Pesquerías. Universidad Veracruzana

Dávila Paola M., Diaz Sue-Hellen y Valdez J. (2014) Obtención de perfiles de biomasa fitoplanctónica en bahía San Jorge (Antofagasta, Chile) a partir de imágenes en color. *Cienc. Mar.* 40(1)

Flores Coto C. y Álvarez Cadena J. (1980) Estudios preliminares de distribución y abundancia del ictioplanctón en la Laguna de Términos, Campeche. Centro de Ciencias del Mar y Limnología. UNAM

Fuentes Martínez Rosa M. (2022) Distribución de la biomasa zooplanctónica en el cañón de Campeche, Golfo de México. Tesis para obtener el grado de Bióloga. F.E.S. Iztacala. UNAM.

Gasca Rebeca, Suárez-Morales E. y Vásquez-Yeomans L. (1994) Estudio comparativo del zooplancton (biomasa y composición) en dos bahías del Mar Caribe Mexicano. *Rev. Biol. Trop.*, 42(3): 595-60

Gómez Aguirre S. (1974) Reconocimientos estacionales de hidrología y plancton en la Laguna de Términos, Campeche, México (1964/1965). Instituto de Biología. UNAM.

Gómez Márquez J. L., Peña Mendoza B., Guzmán Santiago J. L. y Gallardo Pineda V. (2013) Composición, abundancia del zooplancton y calidad de agua en un micro reservorio en el estado de Morelos. *Hidrobiológica* 23(2): 227-240

Góngora Servín I. I. (2014) Visión del plancton en el arrecife Santiguillo, Veracruz. Tesis para obtener el grado de Bióloga. F.E.S. Zaragoza. UNAM.

González González S. (2021) Determinación de cadmio en sedimentos costeros de Laguna de Términos, Campeche. Facultad De Ciencias. UNAM.

Lara Domínguez A. L., Yáñez Arancibia A. y Amezcua Linares F. (1980) Biología y ecología del bagre *Arius Melanopus Günther* en la Laguna de Términos, sur del golfo de México (pisces: ariidae) Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Laboratorio de Ictiología y Ecología Estuarina. UNAM

Lara Lara J. R., Millán Núñez R., Lara Osorio J. L. y Bazán Guzmán C. (1993) Productividad y biomasa del fitoplancton por clases de tamaño, en la parte central del golfo de California durante primavera, 1985. *Ciencias Marinas* 19(2): 137-154

López Rafael (2019) El fitoplancton, básico para la vida en la Tierra. Gaceta UNAM. No. 5017 pp. 21

Macchi, R.L. 2020. Introducción a la Estadística en Ciencias de la Salud. 3ª edición. Ed. Medica Panamericana. 118 p.

Márquez Rojas B., Marín Baumar, Díaz Ramos J. R. y Troccoli L. (2008) Biomasa, densidad y composición zooplanctonica de la bahía de Mochima, Venezuela. *Gayana (Concepc.)* 72(1): 52-67

Minitab (18 de abril 2019) ¿Qué son los Valores T y los Valores P en Estadística? Página web: <https://blog.minitab.com/es/que-son-los-valores-t-y-los-valores-p-en-estadistica#:~:text=El%20valor%20t%20mide%20el,contra%20de%20la%20hip%C3%B3tesis%20nula>.

Mojica López L. y Franco Herrera A. (2019) Composición y abundancia taxonómica del zooplancton desde el Pacífico Sur hasta la Península Antártica 2016-2017. *Bol. Invest. Mar. Cost.* 48(2)

Montecino V. y Pizarro G. (2006) Productividad primaria, biomasa y tamaño del fitoplancton en canales y fiordos australes: patrones primavera-verano. Comité Oceanográfico Nacional - Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Valparaíso, pp. 93-97

Mora Heredia E. (2015) Composición del fitoplancton y relaciones especies-área de cinco sistemas lacustres en los Tuxtlas, Ver., México. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ecología Tropical. Universidad Veracruzana. Centro de Investigaciones Tropicales

Muciño Márquez R. E., Figueroa Torres M. G. y Aguirre León A. (2014) Composición fitoplanctónica en los sistemas fluvio-lagunares POM-ATASTA Y PALIZADA DEL ESTE, adyacentes a la laguna de Términos Campeche, México, *Acta biol. Colomb.* 19(1):63-84 Bogotá

Ponce Manjarrez E. J. (2016) Variabilidad espacio-temporal de los principales grupos fitoplanctónicos mediante la utilización de pigmentos marcadores, en la laguna de Términos, Campeche. Tesis para obtener el grado de Maestro de Ciencias. Posgrado en Ciencias del Mar y Limnología (Biología Marina). UNAM.

Poot-Delgado C. A. (2016) Microalgas como indicadores de la calidad del agua en los bancos ostrícolas de la laguna de Términos, Golfo de México. Tesis para obtener el grado de Doctor en Ecología y Pesquerías. Instituto de Ciencias Marinas y Pesquerías. Universidad Veracruzana

Ramírez Cruz V. (2005) Distribución de la biomasa zooplanctónica en la Región del Cañón de Campeche en fin de temporada de nortes. Tesis para obtener el grado de Bióloga. Facultad de Ciencias. UNAM.

Ramírez Diego G., Giraldo A. y Tovar J. (2006) Producción primaria, biomasa y composición taxonómica del fitoplancton costero y oceánico en el Pacífico colombiano (septiembre-octubre 2004). *Latin American Journal of Aquatic Research* 34(2): 211-216

Ramos-Miranda J., Flores-Hernández D., Ayala-Pérez L.A., Rendón-von Osten J., Villalobos Zapata G. & Sosa-López A. (2006) Atlas hidrológico e ictiológico de la Laguna de Términos. Universidad Autónoma de Campeche. 173 pp.

Ramos Miranda J., Quiniou L., Flores Hernández D., Do-Chis T., Ayala Pérez L. y Sosa López A. (2005) Spatial and temporal changes in the nekton of the Términos Lagoon, Campeche, México *J. Fish Biol.* 66, 513–530

Rodríguez Campos N. (1999). estudio del plancton en la presa Villa VICTORIA, Edo. de México. Tesis para obtener el grado de Bióloga. F.E.S. Zaragoza. UNAM.

Sánchez O., Herzig M., Peters E., Márquez-Huitzil R. y Zambrano L. (2007) Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología, U.S. Fish & Wildlife Service Unidos para la Conservación, A.C. Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo

Sánchez Mejía J. M. (2019) Distribución de la biomasa fitoplanctónica y su relación con la hidrografía en la bahía de la paz, Golfo de California. Tesis para obtener el grado de Bióloga. F.E.S. Iztacala. UNAM.

Serrano Trigueros B. (2019) Distribución de la biomasa y la densidad planctónica en la zona sur del Parque Nacional Sistema Arrecifal Veracruzano. Tesis para obtener el grado de Biólogo. F.E.S. Zaragoza. UNAM.

Signoret M. Aldeco J. y Barreiro M. T. (2006) Variabilidad de perfiles de clorofila-a obtenidos por fluorescencia natural en el oeste y centro del Golfo de México en junio de 1999. *Hidrobiología* 16(3):221-232

Strickland J. D.H. y Parsons T. R. (1972) A Practical Handbook of Seawater Analysis. 2nd edition. Ottawa, Canada, Fisheries Research Board of Canada

Vega González B. E. (2022) Biomasa fitoplanctónica por fracciones de tamaño y su relación con las condiciones fisicoquímicas en la desembocadura del río palizada de la Laguna de Términos, Campeche. Tesis para obtener el grado de Maestría en Ciencias. UNAM.

Villabona Gonzales S., Ramírez Restrepo J., Palacio Baena J. y Costa Bonecker C. (2015) Respuesta de la biomasa zooplanctónica a los gradientes de estado trófico y precipitación de un embalse tropical. *Rev. acad. colomb. cienc. exact. fis. nat.* 39(152):374-388

Yáñez Arancibia A. (1978) Patrones ecológicos y variación cíclica de la estructura trófica de las comunidades neotónicas en lagunas costeras del Pacífico de México. *Rev. Biol. Trop.* 26(1): 191-218.