

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua

UNAN – León

Área de conocimiento de Ciencias y Tecnologías

Departamento de Biología

“Edgar Munguía Álvarez”



Estudio exploratorio sobre la diversidad y abundancia del fitoplancton presente en los Esteros Padre Ramos y Aserradores en época seca, Chinandega – Nicaragua 2022

Tesis para optar al título de Licenciatura en Biología

Autor:

Br. Bayron Rafael Rosales

Tutor (a):

Dra. Claudia María Dolmus Bustillo

Dra. María Eugenia Cerda Castillo

León, Noviembre de 2023

“2024: 45/19 La Revolución, La Patria”

DEDICATORIA

Dedico este trabajo investigativo primeramente a Dios quién me ha dado la vida y el valor de seguir adelante, por todas sus bendiciones y así; como también por haberme guiado en mi camino profesional.

A mi madre María Josefa Rosales, junto a mi tía Lucía del Carmen Berrios y abuelita Emelina Rosales, por ser las grandes promotoras para alcanzar mi meta, creer en mis expectativas, por sus valores y principios, en ser ambas una gran fuente de apoyo, fortaleza primordial y sobre todo por sus consejos.

A toda mi familia y amigos quienes también fueron una gran y excelente fuente de apoyo, porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona para seguir adelante.

A mis otras tías; Lic. Ruth Vanessa Ballesteros, Lic. Idalia Chacón, Lic. Lesbia Gaitán, Lic. Yahaira Ramírez, Lic. Norma Pineda y Lic. Gloria Darce, por ser todas, también un gran pilar al brindarme de su gran ayuda, armonía y cariño el cual fue fundamental para mi formación profesional.

¡A todos ustedes muchas gracias!

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar primeramente mi más profunda gratitud al CNU (Consejo Nacional de Universidades), el cual financio esta investigación; como convocatoria de fondos concursable para proyectos en el año 2021 – 2022, junto a las personas de las comunidades involucradas en este proyecto investigativo.

Muchas gracias también al maestro Dr. Oscar Gonzales, el cual fue el coordinador y encargado de llevar a cabo este proyecto investigativo, así como también a sus aportes, experiencias y dedicación en cada monitoreo.

A mis tutoras; la Dra. Claudia María Dolmus Bustillo por su apoyo incondicional en cada muestreo, consejos y experiencias. Así como también, por brindarme de su tiempo para transmitirme conocimientos y capacitarme para poder enfrentarme a la ejecución de esta investigación.

A la Dra. María Eugenia Cerda Castillo, por las enseñanzas de sus valiosos conocimientos los cuales hicieron que día a día fuese creciendo como un buen profesional y su vez, agradeciéndole por permitirme realizar este trabajo dentro de las instalaciones del laboratorio de Genética Molecular de la UNAN - León y prestar los equipos necesarios. Gracias por su gran colaboración.

Quienes son para mí un modelo a seguir del profesional que quiero llegar a ser.

Al resto de mis maestros por sus conocimientos, igualmente sus experiencias las cuales me han sido de mucha ayuda y también al resto de personas involucradas en cuanto al apoyo de esta investigación.

Finalmente, agradezco a toda mi familia, abuelita Emelina Rosales, otras tías, primos, amigos y en especial a mi madre por su acompañamiento, su apoyo incondicional, por creer en mí, siendo también una gran fuente de apoyo y sobre todo por sus grandes consejos.

¡A todos ustedes mis más sinceros agradecimientos!

RESUMEN

El fitoplancton consiste en una comunidad de microorganismos fotosintetizadores que se encuentran suspendidos sobre la columna de los diferentes cuerpos de agua. Actualmente, el fitoplancton es considerado como una propiedad ecológica clave, debido a la transformación del dióxido de carbono en carbono orgánico. El objetivo de esta investigación consistió en evaluar los distintos grupos fitoplanctónicos (*Cyanophyta*, *Bacillariophyta*, *Chlorophyta* y *Dinoflagellata*) y su relación con los parámetros fisicoquímicos (pH, Temperatura, Salinidad, Sólidos Totales Disueltos, Oxígeno Disuelto y Turbidez). Se llevó a cabo un estudio no probabilístico por conveniencia sobre la diversidad y abundancia del fitoplancton en el Estero Padre Ramos y el Estero Aserradores, donde se seleccionaron 7 puntos de muestreo en agua tomando los parámetros fisicoquímicos y 3 puntos de muestreo en raíces o fitoperifito de *Rhizophora* sp cada 10 metros lineales, respectivamente en ambas zonas. En la cuantificación celular se utilizaron las cámaras Neubauer para el conteo de *Chlorophytas* y la cámara Sedgwick - Rafter en *Bacillariophytas*, *Cianophytas* y *Dinoflagellata*. La identificación de géneros se realizó por medio de comparación de catálogos. Los valores promedio para los parámetros fisicoquímicos en la zona de Padre Ramos fueron, en pH 7, Temperatura 29 °C, Salinidad 38 %, Sólidos Totales Disueltos 6593 ppm, Oxígeno Disuelto 6 mg/L y Turbidez 146 cm. En cuanto a los valores promedio de los parámetros fisicoquímicos en la zona de Aserradores fueron, en pH 7, Temperatura 33 ° C, Salinidad 29 %, Sólidos Totales Disueltos 3311 ppm, Oxígeno Disuelto 17 mg/L y Turbidez 186 cm. En el porcentaje respecto a los grupos de microalgas presentes en las muestras de agua del Estero Padre Ramos, predominó el grupo de las *Bacillariophyta* en un 64%, y en menor cantidad los *Dinoflagellata* con un 5%. Sin embargo, el porcentaje de los grupos algales en el Estero Aserradores se presentó en mayor cantidad el grupo *Bacillariophyta* con 85%, y en menor proporción los *Dinoflagellata* con 1%. Mientras que el porcentaje de los grupos de microalgas presentes en las muestras fitoperifito del Estero Padre Ramos se dio en mayor cantidad el grupo *Bacillariophyta* con 75% y en menor cantidad el grupo *Dinoflagellata* con 2%. Por otro lado, el Estero Aserradores presentó valores

superiores en el grupo *Bacillariophyta* con 86 % y valores inferiores en el grupo *Dinoflagellata* con 1%. En las muestras de agua del Estero Padre Ramos, se registraron valores máximos por dominancia de *Planctonema* sp con 8,985 cel/ml, seguido de *Nitzschia* sp con 6,560 cel/ml y por último *Oscillatoria* sp con 5,300 cel/ml, además; valore mínimos con *Rhizosolenia* con 1,980 cel/ml, seguido de *Chaetoceros* con 1570 cel/ml y por último *Anabaena* con 1,110 cel/ml. Por consiguiente, en las muestras de agua del Estero Aserradores, se obtuvieron valores máximos por dominancia de *Nitzschia* sp con 9,875 cel/ml, seguido de *Pinnularia* sp con 8,375 cel/ml y por último *Navicula* sp y *Leptocylindrus* sp con 8,125 cel/ml; en cuanto a los valores mínimos, se obtuvieron los géneros; *Crucigeniella* sp con 813 cel/ml, seguido de *Bacillaria* sp y *Rhopalodia* sp con 375 cel/ml y, por último; *Chaetoceros*, *Coscinudiscus*, *Cymbella*, *Amphora* y *Alexandrium* con 188 cel/ml. En raíces de *Rhizophora* sp presentes en el Estero Padre Ramos, los géneros predominantes fueron, *Synedra* sp con 8,600 cel/ml, seguido de *Nitzschia* sp con 5,465 cel/ml y por último *Oscillatoria* sp con 4,200 cel/ml mientras que en menor cantidad los géneros *Coscinudiscus* sp con 1370 cel/ml, seguido de *Pseudonabaena* sp con 1,210 cel/ml y por último *Alexandrium* sp con 1,100 cel/ml. Mientras que; en las raíces de *Rhizophora* sp presentes en el Estero Aserradores, los géneros más representativos fueron, *Nitzschia* sp con 7,815 cel/ml, seguido de *Pinnularia* sp con 5,500 cel/ml y por último *Biddulphia* sp con 5,055 cel/ml, sin embargo; en menor cantidad se obtuvieron los géneros *Amphora* sp con 140 cel/ml, seguido de *Coscinudiscus* sp con 128 cel/ml y por último *Alexandrium* sp con 125 cel/ml. El análisis de datos se representó mediante los índices de diversidad de Shannon Weiner y Simpson. Donde, se obtuvo una baja diversidad en ambos Esteros, en Padre Ramos con un valor de 2.621 y en Aserradores un valor de 2.832. Sin embargo, la dominancia presente fue alta ya que los rangos obtenidos para Padre Ramos fue un valor de 0.916 y para Aserradores un valor de 0.932. De tal manera, que los valores de los parámetros fisicoquímicos incidieron; en la proliferación de estos microorganismos en cuanto a las condiciones ambientales favorables que se presentaron en ambas zonas de estudio.

ABSTRACT

Phytoplankton consists of a community of photosynthesizing microorganisms that are suspended over the column of the different bodies of water. Currently, phytoplankton is considered a key ecological property, due to the transformation of carbon dioxide into organic carbon. The objective of this research was to evaluate the different phytoplanktonic groups (*Cyanophyta*, *Bacillariophyta*, *Chlorophyta* and *Dinoflagellata*) and their relationship with physicochemical parameters (pH, Temperature, Salinity, Total Dissolved Solids, Dissolved Oxygen and Turbidity). A non-probabilistic study was carried out for convenience on the diversity and abundance of phytoplankton in the Padre Ramos Estuary and the Aserradores Estuary, where 7 sampling points were selected in water taking the physicochemical parameters and 3 sampling points in roots or *phytoperiphyte* of *Rhizophora* sp every 10 linear meters, respectively in both areas. For cell quantification, Neubauer cameras were used to count *Chlorophytas* and the Sedgwick - Rafter camera for *Bacillariophytas*, *Cyanophytas* and *Dinoflagellata*. The identification of genera was carried out by means of catalog comparison. The average values for the physicochemical parameters in the Padre Ramos area were, at pH 7, Temperature 29 °C, Salinity 38 ‰, Total Dissolved Solids 6593 ppm, Dissolved Oxygen 6 mg/L and Turbidity 146 cm. Regarding the average values of the physicochemical parameters in the Aserradores area, they were at pH 7, Temperature 33 °C, Salinity 29‰, Total Dissolved Solids 3311 ppm, Dissolved Oxygen 17 mg/L and Turbidity 186 cm. In the percentage with respect to the groups of microalgae present in the water samples of the Estero Padre Ramos, the *Bacillariophyta* group predominated in 64%, and in less quantity the *Dinoflagellata* with 5%. However, the percentage of algae groups in the Estero Aserradores was found in greater quantity by the *Bacillariophyta* group with 85%, and to a lesser extent by the *Dinoflagellata* with 1%. While the percentage of groups of microalgae present in the *phytoperiphyte* samples of the Padre Ramos Estuary, the *Bacillariophyta* group occurred in greater quantity with 75% and the *Dinoflagellata* group in less quantity with 2%. On the other hand, the estuary Sawyers presented higher values in the *Bacillariophyta* group with 86% and lower values in the *Dinoflagellata* group with 1%. In the water samples from the

Padre Ramos Estuary, maximum values were recorded due to *Planctonema* sp dominance with 8,985 cells/ml, followed by *Nitzschia* sp with 6,560 cells/ml and finally *Oscillatoria* sp with 5,300 cells/ml, in addition; Value minimums with *Rhizosolenia* with 1,980 cells/ml, followed by *Chaetoceros* with 1,570 cells/ml and finally *Anabaena* with 1,110 cells/ml. Consequently, in the water samples from Estero Aserradores, maximum values were obtained by dominance of *Nitzschia* sp with 9,875 cells/ml, followed by *Pinnularia* sp with 8,375 cells/ml and finally *Navicula* sp and *Leptocylindrus* sp with 8,125 cells/ml; Regarding the minimum values, the genera were obtained; *Crucigeniella* sp with 813 cells/ml, followed by *Bacillaria* sp and *Rhopalodia* sp with 375 cells/ml and, finally; *Chaetoceros*, *Coscinudiscus*, *Cymbella*, *Amphora* and *Alexandrium* with 188 cells/ml. In *Rhizophora* sp roots present in the Padre Ramos Estuary, the predominant genera were *Synedra* sp with 8,600 cells/ml, followed by *Nitzschia* sp with 5,465 cells/ml and lastly *Oscillatoria* sp with 4,200 cells/ml while in lesser quantity the genera *Coscinudiscus* sp with 1370 cells/ml, followed by *Pseudonabaena* sp with 1,210 cells/ml and finally *Alexandrium* sp with 1,100 cells/ml. While; in the roots of *Rhizophora* sp present in the Estero Aserradores, the most representative genera were *Nitzschia* sp with 7,815 cells/ml, followed by *Pinnularia* sp with 5,500 cells/ml and finally *Biddulphia* sp with 5,055 cells/ml, however; in smaller quantity the genera *Amphora* sp with 140 cells/ml were obtained, followed by *Coscinudiscus* sp with 128 cells/ml and finally *Alexandrium* sp with 125 cells/ml. Data analysis was represented by the Shannon Weiner and Simpson diversity indices. Where, a low diversity was obtained in both estuaries, in Padre Ramos with a value of 2,621 and in Aserradores a value of 2,832. However, the present dominance was high since the ranks obtained for Padre Ramos was a value of 0.916 and for Aserradores a value of 0.932. In such a way, that the values of the physicochemical parameters affected; in the proliferation of these microorganisms in terms of the favorable environmental conditions that occurred in both study areas.

ABREVIATURA

 **SR:** Sedgwick – Rafter

 **%:** Porcentaje

 **°C:** Grado centígrado

 **Cel/ml:** Células por mililitro

 **Mg/L:** Miligramos por litro

 **Ppm:** Partes por millón

 **Cm:** Centímetro

 **STD:** Sólidos Totales Disueltos

 **CO₂:** Dióxido de Carbono

 **FAN y FAT:** Floraciones Algales Nocivas y Floraciones Algales Toxicas



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

Departamento de Biología

León Nicaragua

DICTAMEN

Las suscritas, Dra. CLAUDIA MARIA DOLMUS BUSTILLO, Profesora del Departamento de Ciencias Naturales, Facultad de Ciencias de la Educación y Humanidades de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua - León (UNAN-León), y Dra. MARIA EUGENIA CERDA CASTILLO Profesora del Departamento de Biología, Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua - León (UNAN-León)

CERTIFICAMOS QUE:

El INFORME FINAL de investigación titulado “Estudio exploratorio sobre la diversidad y abundancia del fitoplancton presente en los Esteros Padre Ramos y Aserradores en época seca, Chinandega – Nicaragua 2022.”, elaborado por el **Br. BAYRON RAFAEL ROSALES (18-03018-0)** para optar al grado de Licenciado en Biología por la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua - León, fue revisado por nosotras,

POR TANTO:

APROBAMOS Y AUTORIZAMOS ENTREGA DE INFORME FINAL al departamento de Biología según, lo estipula el Reglamento de Formas de Finalización de los Estudios, Capítulo VII, Arto. 41

Dado en la ciudad de León, departamento de León, el 17 de octubre del 2023.

Dra. Claudia María Dolmus Bustillo

Dra. María Eugenia Cerda Castillo

Profesor Asistente

Profesor Titular

“A la Libertad por la Universidad”

ÍNDICE GENERAL

Contenido

I - INTRODUCCIÓN	1
II - OBJETIVOS.....	3
Objetivo General:	3
Objetivos específicos:	3
III - MARCO TEORICO	4
1) Los ecosistemas costeros en Nicaragua	4
1.1) Los Esteros en Nicaragua.....	4
1.2) Los manglares del pacifico de Nicaragua	5
2) Los Sistemas Estuarinos	5
2.1) Clasificación de los Esteros	5
2.2) Importancia de los Esteros	6
2.3) Red trófica en los Esteros.....	6
3) Generalidades del Plancton.....	7
3.1) Las microalgas	8
3.2) Evolución	8
3.3) Características adaptativas	9
3.4) Reproducción	9
3.5) Alimentación.....	10
3.6) Hábitats	11
3.7) Importancia ecológica	11
3.9) Eutrofización	12
3.10) Floraciones Algales	13
3.11) Taxonomía	14

4) Principales grupos de microalgas	15
4.1) <i>Cianophyta</i>.....	15
4.2) <i>Bacillariophyta</i>	16
4.3) <i>Chlorophyta</i>	17
4.4) <i>Dinoflagellata</i>.....	17
5) Factores reguladores del crecimiento en las microalgas	18
6) Los parámetros Fisicoquímicos.....	19
7) Principales cámaras utilizadas para el recuento celular	21
8) Índices de Biodiversidad.....	22
8.1) Shannon - Weinner	22
8.2) Simpson	22
IV - METODOLOGÍA.....	24
Área de estudio	24
Tipo de estudio.....	24
Diseño de estudio	25
Muestreo.....	25
Instrumentos y procedimiento de recolección de datos	25
Identificación y conteo celular.....	25
Análisis de datos.....	26
V - RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
VI - CONCLUSIONES.....	53
VII - RECOMENDACIONES	54
VIII - BIBLIOGRAFÍA.....	55
IX - ANEXOS.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Puntos de muestreo en el Estero Padre Ramos.....	26
Figura 2. Puntos de muestreo en el Estero Aserradores.....	26
Figura 3. Valores promedio del pH presente en el Estero Padre Ramos y Estero Aserradores	33
Figura 4. Valores promedio de la temperatura presente en el Estero Padre Ramos y Estero Aserradores.....	34
Figura 5. Valores promedio de la salinidad presente en el Estero Padre Ramos y Estero Aserradores	35
Figura 6. Valores promedio de sólidos totales disueltos en el Estero Padre Ramos y Estero Aserradores.....	36
Figura 7. Valores promedio de oxígeno disuelto en el Estero Padre Ramos y Estero Aserradores	37
Figura 8. Valores promedio de turbidez presente en el Estero Padre Ramos y Estero Aserradores	38
Figura 9. Porcentaje de los diferentes grupos algales presentes en las muestras de agua del Estero Padre Ramos	40

Figura 10. Géneros de microalgas encontrados en las muestras de agua del Estero Padre Ramos	42
Figura 11. Porcentaje fitoperifito encontrado en raíces de <i>Rhizophora</i> sp en el Estero Padre Ramos	43
Figura 12. Géneros de microalgas perifíticas encontradas en raíces de <i>Rhizophora</i> sp en el Estero Padre Ramos.....	45
Figura 13. Porcentaje de los diferentes grupos algales presentes en las muestras de agua del Estero Aserradores	46
Figura 14. Géneros de microalgas encontrados en las muestras de agua del Estero Aserradores	47
Figura 15. Porcentaje fitoperifito encontrado en raíces de <i>Rhizophora</i> sp en el Estero Aserradores	49
Figura 16. Géneros de microalgas perifíticas encontradas en raíces de <i>Rhizophorasp</i> en el Estero Aserradores	51
Figura 17. Diversidad de Shannon Weinner en muestras de agua presentes en el Estero Padre Ramos.....	74
Figura 18. Dominancia de Simpson en muestras de agua presentes en el Estero Padre Ramos.....	74

Figura 19. Diversidad de Shannon Weiner en muestras fitoperifito presentes en el Estero Padre Ramos..... 75

Figura 20. Dominancia de Simpson en muestras fitoperifito presentes en el Estero Padre Ramos..... 75

Figura 21. Diversidad de Shannon Weiner en muestras de agua presentes en el Estero Aserradores..... 76

Figura 22. Dominancia de Simpson en muestras de agua presentes en el Estero Aserradores..... 76

Figura 23. Diversidad de Shannon Weiner en muestras fitoperifito presentes en el Estero Aserradores.....77

Figura 24. Dominancia de Simpson en muestras fitoperifito presentes en el Estero Aserradores.....77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Toma de parámetros fisicoquímicos en diferentes puntos seleccionados en el Estero Padre Ramos..... 29

Tabla 2. Toma de parámetros fisicoquímicos en diferentes puntos seleccionados en el Estero Aserradores..... 30

Tabla 3. Índices de diversidad y abundancia, Shannon Wiener y Simpson con relación a las microalgas en los Esteros Padre Ramos y Aserradores..... 53

I - INTRODUCCIÓN

El término fitoplancton proviene del griego *phyton* el cual se significa (planta) y *planktos* (errante). Consiste en una comunidad de organismos microscópicos fotosintetizadores que viven suspendidos en la zona fótica de la columna de los diferentes cuerpos de agua y cumpliendo un papel importante en la base de las redes tróficas y actuando como indicadores de los diferentes cuerpos de agua (Reynolds, 1984; Kilham & Hecky, 1988).

Diversos estudios afirman, que en los sistemas acuáticos la biomasa del fitoplancton es considerada una propiedad ecológica clave, ya que cuantifica al componente del ecosistema pelágico, el cual es primordialmente responsable de la transformación del dióxido de carbono en carbono orgánico. Aquí entonces, se describe como producción primaria la tasa de conversión de carbono inorgánico a carbono orgánico por el fitoplancton durante el proceso fotosintético; mediante el cual sostiene no solamente el fitoplancton mismo sino también los otros organismos presentes en el ecosistema. Por lo tanto, resulta esencial conocer la variabilidad espacial y temporal de la biomasa y producción del fitoplancton para entender los ciclos del carbono oceánico, los cambios en las poblaciones de recursos pesqueros y el acoplamiento del forzamiento físico - biogeoquímico de los ecosistemas pelágicos con una base regional (Platt, *et al.*, 2008).

La contaminación de los cuerpos de agua por actividades antropogénicas, ha propiciado el desarrollo excesivo de algunas especies hasta formar los florecimientos algales (Otten & Paerl, 2015). Sin embargo, los florecimientos también pueden ocurrir naturalmente por estimulados de las lluvias, esto por el afloramiento de aguas ricas en nutrientes o por temperaturas cálidas (Suthers & Rissik, 2009).

América Latina, presenta problemáticas similares, según González, *et al.* (2003); ya que, en Colombia y en cuatro embalses venezolanos empleados en el suministro de agua potable se han visto afectados por casos de eutrofización y en ellos

predominan cianobacterias y cryptophyceae como consecuencia de la entrada excesiva de nutrientes desde sus cuencas de drenaje altamente erosionadas e intervenidas (Roldan, 2002).

El fitoplancton, es fundamental por ser el productor primario del medio marino y de la misma manera que en el medio terrestre, junto con las plantas. Además, de servir como alimento para muchos organismos acuáticos que habitan los ecosistemas marinos, teniendo en cuenta también que, se encarga de fijar el dióxido atmosférico de manera que el carbono pasa a ser parte de la cadena alimenticia, y por tanto en una fuente de energía. Además, de sus diversas aplicaciones benéficas en laboratorios. Asimismo, los estudios de fitoplancton han sido y siguen siendo de mucha importancia, publicados por Comas (1992; 2009), junto con Moreira (2010; 2013), y también Comas, *et al.*, (2006; 2017), siendo relevantes por el enfoque ante los florecimientos algales nocivos de muchas especies, específicamente Cianobacterias. De tal manera, es importante realizar un estudio sobre la relación de los principales grupos fitoplanctónicos, con relación a los parámetros fisicoquímicos y así; poder valorar las microalgas potencialmente peligrosas para la salud humana por la producción de cianotoxinas entre otras (Carmichael, 1997).

Con la realización de este tipo de estudio, se pretende beneficiar a la población ya que actualmente no existe mucho conocimiento en las zonas de Padre Ramos y Aserradores en cuanto a los diferentes grupos de fitoplancton y sus causas. Por lo que, esta investigación; servirá como antecedente para estudios futuros en ambas zonas. Por ende, las autoridades correspondientes podrían implementar diferentes acciones y tomar medidas, ante un posible problema, para reducir el impacto negativo que se pueda provocar en perjuicio de las especies que cohabitan y así se logre la auto sostenibilidad de los recursos. De tal manera, que este tipo de estudio; podría ser de gran relevancia, para mantener un monitoreo constante en cuanto a la composición y abundancia fitoplanctónica presente en estos ecosistemas marinos.

II - OBJETIVOS

Objetivo General:

- ❖ Evaluar la diversidad y abundancia del fitoplancton presente en los Esteros Padre Ramos y Aserradores en época seca

Objetivos específicos:

- ✓ Relacionar el efecto que generan los parámetros fisicoquímicos (pH, Temperatura, Salinidad, Sólidos Totales Disueltos, Oxígeno Disuelto y Turbidez) respecto a la distribución de las microalgas en las diferentes zonas de estudio
- ✓ Definir los géneros y concentraciones de fitoplancton en los grupos *Cyanophyta*, *Bacillariophyta*, *Chlorophyta* y *Dinoflagellata* encontrados en las aguas y raíces de bosque de manglar de ambos Esteros
- ✓ Determinar la diversidad, abundancia poblacional de las microalgas a través de los índices Shannon Wiener y Simpson

III - MARCO TEORICO

1) Los ecosistemas costeros en Nicaragua

Los ecosistemas costeros del Pacífico son menos diversos con respecto al Caribe debido a la mayor fragmentación de sus hábitats. El Pacífico contiene manglares, áreas estuarinas, playas y ecosistemas marinos como arrecifes de roca, de tal manera que, la plataforma continental del Pacífico es estrecha con (68 Km) y en términos de biomasa, los recursos existentes en sus aguas constituyen uno de los valores más altos en términos de productividad biológica (Vegas,1971). Sin embargo, las tortugas marinas, camarones y abundantes peces pelágicos y demersales son algunas de las especies que pueblan los ecosistemas marinos del Pacífico nicaragüense (MAIZCO, 1997).

1.1) Los Esteros en Nicaragua

Los esteros del Pacífico de Nicaragua están caracterizados por una riqueza en recursos naturales, siendo el medio de vida de las comunidades rurales y conforman los hábitats de numerosas especies migratorias y residentes. El Pacífico Norte de Nicaragua limita al norte con el Golfo de Fonseca y se caracteriza por formar parte de un gran sistema estuarino formado por manglares, esteros, planicies, lagunas temporales y otros ecosistemas frágiles amenazados. En el Golfo vierten sus aguas seis cuencas principales y otras menores, donde la cuenca del Río Choluteca en Honduras es la más grande, seguida por la cuenca de Río Estero Real y el Río Negro en Nicaragua, de tal manera que, estas cuencas pertenecen a los tres países que tienen salida al Golfo de Fonseca (MAIZCO,1997). Los estudios de proyectos internacionales que han sido impulsados en el Golfo de Fonseca han tenido un objetivo común, proteger y balancear la riqueza de sus ecosistemas con las actividades humanas de extracción de recursos naturales. Además, el Estuario del Estero Real y su cuenca, el estero Padre Ramos y los esteros de Aserradores, El Realejo han sido objeto de las actividades programadas para el Pacífico Norte nicaragüense dentro del Programa SUCCESS (Barrera, 1998).

1.2) Los manglares del pacifico de Nicaragua

Los manglares son la vegetación típica de los esteros. La cobertura de manglar en estas áreas ha disminuido drásticamente en las dos últimas décadas debido a la explotación de los mismos utilizando su madera con fines energéticos y para la construcción de casas. Adicionalmente, la desaparición del manglar se ha visto incrementada por la construcción de camaroneras en los esteros, ya que son áreas ideales para esta actividad donde existe una renovación de agua permanente a través de las mareas y donde existen playas salitrales en las cuales pueden ubicarse las infraestructuras necesarias para el cultivo del camarón. A su vez, la presencia de una vegetación típica en la zona pacifica está formada principalmente por los géneros *Rhizophora* (Rhizophoraceae), *Laguncularia* (Myrtaceae) y *Avicennia* (Vervenaceae), (Vegas, 1971). Pero también, estas zonas de manglares reúnen condiciones favorables para el desarrollo de formas larvales, alimentación de estadios juveniles de una gran variedad de especies marinas. Además, los manglares atrapan el sedimento de tal manera que contribuyen a la formación de los suelos, creando un hábitat sustentable para muchos organismos (Moreno, 2001).

2) Los Sistemas Estuarinos

Consisten en un cuerpo de agua costero semicerrado con una conexión libre con el mar abierto, dentro del cual el agua de mar es diluida con agua dulce derivada del drenaje terrestre. Desde un punto de vista físico la definición de un estuario debe reconocer ciertas similitudes básicas en la distribución de la salinidad y la densidad, así como el patrón de circulación y los procesos de mezclado, ya que se debe marcar también la importancia de los límites que controlan la distribución de las propiedades, el movimiento y la mezcla del agua (Pritchard, 1967).

2.1) Clasificación de los Esteros

Existen distintas formas de clasificar a los Esteros, la cual está regida por la clasificación según su origen de acuerdo con Brenes (2001), dividiéndolos en: Estuarios de barrera, los cuales se encuentran constituidos por arenas, colocadas

paralelamente a la costa, por la acción de las olas, por lo que, estos son también considerados como estuarios planos, separados del océano. También se encuentran los de origen tectónico, los cuales son producidos por fallas y causan un área limitada de hundimiento dentro del flujo de los ríos. Dado que también se encuentran, los Estuarios de planicies costeras, que se formaron como consecuencia, del aumento del nivel del mar, de modo que el océano es interrumpido por valles de ríos y, por último, los Estuarios fiordos, que estos generalmente presentan un depósito glacial, formando un umbral cerca de la entrada al mar, y por ende son considerados como valles glaciados con paredes verticales en forma de U.

2.2) Importancia de los Esteros

Los sistemas de estuarios o estuarinos son unos de los más productivos del mundo, debido a que entra una gran cantidad importante de nutrientes desde el continente, como también partículas de materia orgánica y sedimentos transportados principalmente por los ríos. Es por esto que cumplen un rol natural importantísimo como sitios de reproducción, desarrollo y crecimiento de muchas especies de animales y plantas Estuarinas. Así como también, de muchas especies marinas que remontan hacia el Estuario durante el periodo reproductivo. Además, hacen grandes aportes de energía a las áreas costeras adyacentes, teniendo por ello una gran importancia para las pesquerías. (Stuardo & Valdovinos, 1981).

2.3) Red trófica en los Esteros

Una red trófica de Estero, según Day, *et al.*, (2013), radica en una cadena alimentaria o red de alimentos para la transferencia de energía de los alimentos desde su origen por las plantas como productores primarios, la cual se da a través de una serie de organismos alimenticios entre sí, dando origen a una dinámica trófica en la estructura de la producción y el consumo de alimentos, que esta produce y cambia con el tiempo. Además, se debe tener en cuenta que, la dinámica trófica de los Estuarios tiende a ser compleja ya que, en primer lugar, casi siempre hay varios tipos de productores primarios en los Estuarios, incluyendo el fitoplancton, plantas marinas, manglares, hierbas marinas etc. Dado que, en el mar,

prácticamente todo fitoplancton se consume con vida, por ende, en los Estuarios, muchas plantas no son muy importantes, pero mueren y se descomponen para poderse consumir, así este material en descomposición se suele llamar detritus orgánico y la red trófica que soporta se llama red alimenticia detrítica. Cabe mencionar, que el detritus orgánico es un importante alimento en los Estuarios y redes tróficas, por lo que forma parte de la cadena alimenticia de los Estuarios más fácilmente identificable es el pastoreo basado en el fitoplancton. Por lo tanto, los productores primarios son comidos por el zooplancton, el cual luego es comido por pequeños peces planctívoros y estos peces pueden ser anchoas o sardinas, donde el fitoplancton sirve de alimento a las larvas de los mismos peces o adultos.

3) Generalidades del Plancton

El fitoplancton es el primer eslabón de la cadena trófica y se trata de un conjunto de organismos acuáticos autótrofos que tiene capacidad fotosintética. Como hay importantes implicaciones fisiológicas y ecológicas producto del tamaño de la especie, el plancton se puede clasificar en diversas categorías:

a) Megaplancton: Son grandes organismos flotantes que superan los 20 cm de longitud y están representados por grandes medusas, salpas, y sus familiares.

b) Macroplancton: El tamaño promedio es de entre 2 cm - 20 cm e incluyen grandes organismos visibles como el krill, flecha gusanos, medusas.

c) Microplancton: El tamaño promedio es de entre 20 cm - 200 μm e incluyen diatomeas, dinoflagelados, rotalinidos, ciliados, nauplios, es decir, (etapas tempranas de crustáceos como los copépodos y los percebes).

d) Nanoplancton: El tamaño promedio es de entre 200 μm - 20 μm e incluyen fitoplancton pequeño, en su mayoría unicelulares también como diatomeas, flagelados (tanto fotosintéticos y heterótrofos), pequeño ciliados, radiolarios y otros.

e) Picoplancton: El tamaño promedio es de entre 0,2 μm - 2 μm - 20 μm y en su mayoría son bacterias llamadas (bacterioplancton), (Peters, 1983).

3.1) Las microalgas

Son un conjunto de organismos microscópicos fotosintetizadores que se encuentran en la columna fótica de los diferentes cuerpos de agua (Reynolds, 1984; Kilham, & Hecky, 1988).

Sin embargo, la biomasa de las microalgas está compuesta de 20 – 30 % de lípidos, de un 40 – 50 % de proteínas y la parte sobrante está dividida entre los carbohidratos, que en determinadas microalgas pueden llegar hasta el 55% de la biomasa, e incluso otros compuestos de mínimo valor (Borowitzka, 1988; Bene – mann, *et al.*, 1998; Spolaore, *et al.*, 2006). Además, las microalgas se componen así en el producto del más eficaz estado de producción de biomasa en el ciclo de la naturaleza, siendo reconocidas como un buen recurso medioambiental y biotecnológico y a diferencia de las bacterias, hongos y levaduras, las microalgas por su acción fotosintética pueden lograr grandes beneficios simplemente utilizando energía solar adecuada y una fuente de carbono como el CO₂ o bicarbonatos, asimismo de nutrientes de fácil disponibilidad (Olguín, 1984; Behrens, 1999).

Dado también, a los diferentes lípidos y de otros compuestos poco comunes que pueden sintetizar las microalgas estas tienen la capacidad de desarrollarse en medios diferentes y desfavorables (Guschina & Hardwood, 2006). Pero en dependencia de la especie de microalga, esta puede desarrollarse sobre un sustrato orgánico, con o sin presencia de luz (Travieso & Benítez, 1998; Behrens, 1999; Miao & Wu, 2006).

3.2) Evolución

Hace 3.000 millones de años, se dio la aparición del oxígeno en la atmósfera terrestre. Desde entonces, este elemento es considerado un producto generado por un grupo de microorganismos, donde se cree que posiblemente fueron las *cyanophytas* o cianobacterias, por lo que, 1.500 millones de años después, dieron origen al resto de los grupos algales y a las plantas primitivas (Ochoa, 2014). Además, se atribuía dicha explosión evolutiva a factores físicos, como las variaciones en el nivel del mar, donde un registro fósil muestra que a lo largo de las

eras geológicas como el Mesozoico y el Cenozoico, la vida marina se diversificó a un ritmo sin precedentes, hasta tal punto que antaño se cuestionaba si dicha pauta reflejaba tan solo la conservación preferente de fósiles más recientes, que habían tenido menos tiempo de sufrir erosión. Sin embargo, los análisis posteriores indicaron que la floración aparente de especies en el mar era real. Por lo tanto, para explicar el fenómeno, se han aducido toda una serie de factores, entre ellos van, los cambios en el clima y en el nivel del mar, así como extinciones en masa, que habrían ofrecido nuevas oportunidades para el crecimiento o desarrollo de otras especies (Martín, 2013).

3.3) Características adaptativas

Las microalgas han generado diversas características adaptativas como, la resistencia al hundimiento, habilidad para la absorción rápida de nutrientes cuando se encuentran disponibles en el medio y almacenarlos intracelularmente cuando disminuyen, estas son algunas de las características que poseen los diferentes grupos que integran a las microalgas y como resultado estas presentan notables similitudes morfológicas como respuesta al medio físico en el que habitan. Por ello, a fin de mantenerse en la capa iluminada de las aguas naturales, sólo las formas más pequeñas tienden a ser redondeadas y las medianas y grandes muestran algún grado de alargamiento o poseen apéndices, prolongaciones, cuernos, espinas o ramificaciones y otras estructuras que aumenta tanto la fricción con el agua como la relación (superficie - volumen) para la absorción de los nutrientes (López & Catzim, 2010).

3.4) Reproducción

La multiplicación de las microalgas se da principalmente por reproducción asexual, es decir, por simple división celular, donde las microalgas se desarrollan acumulando suficiente materia orgánica y cuando esta ha conseguido duplicar su material, se divide en dos pequeñas microalgas que contienen, igual información genética a fin de perpetrar de nuevo el ciclo (López & Catzim, 2010). Además, el desarrollo de las microalgas en condiciones de cultivo puede ser restringido por los niveles de nutrimentos inorgánicos, así como por las técnicas de manejo en las

unidades de cultivo y su reproducción, la cual se lleva a cabo por mitosis (Prieto, *et al.*, 2005).

Sin embargo, los ciclos de vida de las microalgas incluyen la formación de esporas de resistencia, con las cuales sobreviven durante periodos desfavorables y como una forma de conservar su diversidad genética, incluye procesos asexuales y sexuales. Por ende, se define por el sitio donde ocurre la meiosis durante la reproducción sexual. Acá en el ciclo cigótico, la meiosis ocurre después de la germinación del cigoto, sus productos son haploides y sólo el cigoto es diploide y este ciclo se presenta en la mayoría de los grupos fitoplanctónicos. Pero en el ciclo gamético la meiosis ocurre durante la diferenciación de los gametos por lo que el organismo de vida libre es diploide, y éste se presenta principalmente en el grupo de las *Bacillariophyta* (Bold & Wynne, 1985).

3.5) Alimentación

Por lo general, las microalgas son conocidas como los productores primarios de biomoléculas sintetizadas a partir del cambio de la energía lumínica a energía química lo que se conoce como un tipo de alimentación fotoautotrófica. Sin embargo, no todas las especies de microalgas son fotoautotróficas (Romo, 2002).

Existen 4 tipos más de alimentación de las microalgas según Ruíz (2011):

- **Alimentación mixotrófica:** Consiste en que las microalgas son capaces de crecer bajo procesos tanto autótrofos como heterótrofos, de manera que la fuente de energía es tanto la luz como la materia orgánica y el carbono lo obtienen tanto de compuestos orgánicos como inorgánicos
- **Alimentación heterótrofa:** Reside en que los compuestos orgánicos proporcionan tanto la energía como la fuente de carbono. Es decir, existen algas que pueden crecer bajo ausencia de luz.
- **Alimentación fotoheterótrofa:** Radica principalmente por ser la parte donde las microalgas reciben la energía del sol y utilizan compuestos orgánicos como fuente de carbono

- **Alimentación autótrofa:** Acá las microalgas producen sus alimentos a través de la energía del sol y el carbono de compuestos inorgánicos.

3.6) Hábitats

Las microalgas habitan en casi todos los ecosistemas marinos del planeta, pero normalmente crecen en cuerpos de agua cerrados donde permanecen en un mismo lugar sin correr ni fluir, como lagos, lagunas, embalses y estanques para acuicultura. Dado que también se pueden desarrollar en ambientes lóticos, es decir, agua fluvial como manantiales, ríos, arroyos, cascadas y canales. Por ende, los parámetros fisicoquímicos en lagos y ríos varían de acuerdo con las características del medio y por lo tanto se emplea el término de aguas interiores para abarcar la variedad de intervalos en los sistemas acuáticos continentales (Wehr, 2003).

3.7) Importancia ecológica

Las microalgas son de vital importancia ambiental ya que fijan más del 40% del carbono de la tierra, además de ofrecer a la biósfera una considerable proporción de oxígeno. A su vez, las microalgas son de mucha importancia por la producción de diversos compuestos de interés comercial, por lo que estas no tienen que competir con tierras de cultivo y pueden hacer uso de residuos como fuente de nutrientes (Bitog, *et al.*, 2009).

Además, la importancia del fitoplancton en la calidad de agua radica en que es un componente importante en las cadenas tróficas, ya que constituyen la base de la cadena alimentaria, y representa un sistema eficiente para la bioconversión de la energía luminosa asociada a la utilización de los elementos nutritivos como (nitrógeno, fosforo y otros elementos como hierro, cobre, molibdeno y silicio) en materia orgánica, alimento disponible para el resto de la biota acuática, proporcionando cerca del 70% de oxígeno atmosférico y jugando un papel importante en el reciclaje de nutrientes (Martínez & Zapata, 1997). Aun así, gracias a su rápida tasa de reproducción y a los bajos requerimientos de sustratos y espacios, las sociedades humanas se benefician de ellas, gracias a la producción de diversos materiales naturales obtenidos, para su uso o comercio entre otros.

3.8) Usos

Las microalgas a nivel industrial han sido utilizadas para la elaboración de diferentes compuestos químicos debido a las propiedades y nutrientes básicos que estas contienen (Robledo, 1990 & Guzmán del Proo, 1993), ya que, uno de los productos más rentables extraídos de las algas son los ficocoloides como (alginatos, carragenanos y agar), los cuales se utilizan como gelificantes y emulsificantes en la industria alimenticia, cosmética, farmacéutica, bacteriológica y bioquímica (Hoppe, *et al.*, 1979; Chapman & Chapman, 1980; Castro, 1997).

Farmacológicamente, se han utilizado en tratamientos de parasitosis, desórdenes gastrointestinales, hipertensión, problemas urinarios e hipocolesterolemia y actualmente se emplean algunas algas en la medicina homeopática y naturista (Martínez, 1991). Según González, *et al.*, (1991), explican que es posible el uso de las algas marinas en la alimentación animal, utilizándolas como complemento para la dieta de ovejas, vacas y gallinas, ya que elevan la cantidad y calidad de la lana, leche y huevos y también aumentan la fertilidad, reduciendo las enfermedades infecciosas.

3.9) Eutrofización

Se considera como el proceso natural en el incremento de las aguas con nutrientes, a un ritmo tal que no puede ser compensado por la mineralización total, lo que provoca una baja de oxígeno en aguas profundas a causa de la descomposición de la materia orgánica (Margalef, 1991). Además, uno de los componentes biológicos clave del desarrollo de los procesos eutróficos es el aumento de los productores primarios (Dolbeth, *et al.*, 2003; Höfle, *et al.*, 1999; Western, 2001).

El aumento en la concentración de nutrientes beneficia el desarrollo de ciertas poblaciones de microalgas (Carpenter & Cottingham, 1997; Howarth, *et al.*, 2000; Muyaert, *et al.*, 2002; Sohrin, *et al.*, 1997; Weisner, *et al.*, 1997; Weithoff, *et al.*, 2000), responsables de la actividad fotosintética y que por lo tanto produce una gran cantidad de biomasa y de oxígeno disuelto (Smith & Smith, 2001). Sin embargo, el fitoplancton sirve de sustento para una segunda respuesta a nivel de los

consumidores primarios, obteniendo como resultado una (explosión) del bacterioplancton (Höfle, *et al.*, 1999), que se le atribuye el consumir gran parte del oxígeno disuelto en agua generando condiciones de (Anoxia). Por lo general también se incrementa la cantidad de sólidos en el cuerpo de agua, creciendo la turbidez del medio y disminuyendo la incidencia de la radiación fotosintéticamente activa (Fontúrbel, 2004), ocasionando un efecto en cascada sobre grupos clave de animales y plantas del medio acuático (Achá & Fontúrbel, 2003). Sin embargo, no todas las microalgas que están expuestas a los mismos procesos eutróficos presentan iguales características de adaptación a las concentraciones de nutrientes del medio, por lo que, este proceso generalmente va acompañado de una disminución de la diversidad, donde se reduce la equidad de la comunidad en un aparente control del tipo de abajo hacia arriba (Fretwell, 1977; Fretwell, 1987; Mengue, 1992 & Mengue, 2000), donde tienden a prevalecer ciertos grupos eurioicos, en deterioro de la disminución y dispersión de otros, afectando así la comunidad y dependiendo de la naturaleza de los contaminantes que se crean en el proceso eutrófico, se presentan ciertos grupos característicos que se han manifestado como buenos indicadores ambientales (Terrel & Bytnar, 1996).

3.10) Floraciones Algales

Las floraciones algales, en sentido estricto, o también conocidas como mareas rojas, son descoloraciones del agua visibles a simple vista y se debe a proliferaciones de microorganismos planctónicos pigmentados como microalgas, ciliados y bacterias, que alcanzan concentraciones de hasta 10^6 células por l-1, lo que en realidad ya hace referencia en sentido amplio, el término de (Floraciones Algales Nocivas), el cual ha sido acuñado por la COI (Comisión Oceanográfica Intergubernamental) de la UNESCO para designar las apariciones de un heterogéneo grupo de microorganismos que son percibidos como dañinos por el hombre y esto por sus efectos adversos en la salud humana, sobre todo en las explotaciones de acuicultura y turísticas de zonas costeras y en las poblaciones naturales de organismos marinos. Si bien el término está inspirado en las manchas de dinoflagelados planctónicos (*Dinoflagellata*), hoy día se aplica a cualquier

población microalgal, ya sea planctónica o bentónica, incluso aunque las concentraciones celulares no sean muy elevadas, siempre y cuando su aparición conlleve un efecto nocivo (Anónimo, 1992).

De tal manera que existen dos tipos de floraciones algales según Anónimo (1992):

- **Floraciones Algales Tóxicas:** Son descoloraciones de los cuerpos de agua producto de microalgas productoras de potentes venenos o toxinas endocelulares y a su vez, se trata de mareas rojas ictiotóxicas por lo que liberan al medio exotoxinas con propiedades hemolíticas o neurotóxicas, que causan mortandades de peces y otros organismos marinos (Dahl, *et al.*, 1989; *Karenia mikimotoi*, *et al.*, 1990).

Donde los síndromes tóxicos más conocidos causados por microalgas son (Intoxicación Paralizante por Marisco e Intoxicación Amnésica por Marisco).

- **Floraciones Algales Nocivas o Inocuas:** Se tratan de mareas rojas de microalgas no tóxicas pero que pueden causar daños a los organismos marinos o perjuicios socioeconómicos. En general, cualquier especie fitoplanctónica que alcance densidades formadoras de manchas constituye un peligro potencial para los peces cultivados en jaulas flotantes o para los organismos bentónicos ya que estas suelen alcanzar densidades tan elevadas que pueden hacer variar bruscamente los niveles de oxígeno disuelto o el pH del medio, o bien por su elevada biomasa compite por los nutrientes y hace disminuir la penetración de luz solar, afectando negativamente a los productores primarios bentónicos; ya que, no es consumida por los herbívoros y al morir libera niveles importantes de amonio, y causando fermentaciones en el fondo marino (Garcés, *et al.*, 1998).

3.11) Taxonomía

Taxonómicamente hablando, las microalgas engloban especies eucariotas representadas en las divisiones (*Chlorophyta*, *Bacillariophyta* y *Dinoflagellata*) del reino Protista, aunque desde el punto de vista biotecnológico el término se utiliza para aquellos microorganismos que contienen clorofila a y otros pigmentos fotosintéticos y que pueden realizar fotosíntesis oxigénica. Es por esta razón que, a

pesar de presentar también organismos procariotas, como las (*Cyanophyta* o *cyanobacterias*) en este grupo (Rodríguez, 2022).

4) Principales grupos de microalgas

Las microalgas tienen un valor intrínseco por sí mismas en los ecosistemas, contribuyendo a la biodiversidad del planeta, y siendo la base de muchas cadenas alimentarias y fijan el CO₂ atmosférico disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero y aun así, gracias a su rápida tasa de reproducción y a los bajos requerimientos de sustrato y espacio, hay muchas ventajas que las sociedades humanas pueden obtener de su producción, donde se dividen los grupos (*Cyanophyta*, *Bacillariophyta*, *Dinoflagellata* y *Chlorophyta*), (Rodríguez, 2022).

4.1) *Cyanophyta*

Las *cianofitas*, también llamadas cianobacterias, son un conjunto de microorganismos procarióticos que carecen de membrana nuclear. A su vez, presentan pigmentos fotosintéticos como clorofila, carotenoides y xantofilas, es decir, (mixoxantina, flavacina, luteína y zeaxantina y ficocianina) donde la ficocianina se trata de un pigmento de color azul por el cual se les denomina algas verde azules. Además, las cianobacterias son en general organismos fotosintetizadores, pero algunas viven heterotróficamente y estas microalgas comparten con algunas otras bacterias la capacidad de usar Nitrógeno atmosférico como fuente y también pueden ser unicelulares o pluricelulares. En cuanto a la reproducción de las algas verde azules, esta se lleva a cabo a través de división celular por fragmentación de colonias o de filamentos y por esporas. Sin embargo, presentan una pared celular similar a la de las bacterias, pero en el citoplasma se distingue una zona central o centroplasma donde se encuentra el ADN y otra periférica o cromoplasma donde están los corpúsculos con los pigmentos. Destacando también que estas pueden vivir en ambientes acuáticos, sobre rocas y árboles, en aguas termales soportando temperaturas de hasta 90°C y en simbiosis con hongos formando líquenes (Lee, 2008).

4.2) Bacillariophyta

Las *Bacillariophytas* o diatomeas son un grupo de microalgas unicelulares pertenecientes a la Clase Bacillariophyceae. Donde el tamaño de estas algas va desde menos de 10 micras de longitud hasta 1 mm de diámetro para las especies mayores, e incluso dentro de una misma especie la diferencia de tamaños puede alcanzar hasta unas treinta veces más su tamaño normal, como resultado de un característico método de reproducción. Sin embargo, son estrictamente autótrofas, presentan pigmentos fotosintéticos como la clorofila a y c, así como también betacarotenos, pero una característica especial de este tipo de algas es que se encuentran rodeadas por una pared celular única, hecha de sílice (Dióxido de siliciohidratado) llamada frústula y que se pueden encontrar solitarias o conformando cadenas, por lo que, en este último caso las diferentes especies presentan distintas estrategias o formas de unión entre las células (Tomas, 1997). En cuanto a la taxonomía de este grupo se basa en dos aspectos principales: la simetría y las características de su pared celular y también a constituyen el grupo más importante del fitoplancton debido a que contribuyen con cerca del 90% de la productividad de los sistemas acuícolas. A su vez, estas microalgas predominan por sobre otros grupos fitoplanctónicos debido a que se ven especialmente favorecidas por los eventos de turgencia y se encuentran en todas las aguas marinas de los ecosistemas costeros (Moreno, *et al.*, 1996) y debido a la elevada disponibilidad de compuestos inorgánicos como (silicatos, nitratos y fosfatos) generan una estimulación en su desarrollo (Hasle & Syvertsen, 1996; Lara-Villa, *et al.*, 1996). Además, gran número de diatomeas mueren como consecuencia de los cambios estacionales, como por ejemplo aquellos que provocan el empobrecimiento local del material nutritivo, alteraciones medioambientales, su transporte por movimientos verticales del agua o bien al encontrarse localizadas por debajo de la zona eufótica. De tal manera entonces, que el resultado de estas incidencias conlleva a una acumulación de diatomeas muertas y de sus frústulas en el fondo del mar y ello a su vez provoca que en determinadas zonas constituyan el principal componente del fango marino. De tal manera que, la mayoría de las diatomeas acumulan aceites o ácidos grasos en vez de azúcares como producto final de la fotosíntesis, y por lo

que bajo condiciones excepcionales un crecimiento particularmente de diatomeas puede producir suficiente aceite como para llegar a formar una capa oleosa en la superficie del mar de varias millas de extensión (Werner, 1977).

4.3) *Chlorophyta*

Las *Chlorophytas* o algas verdes, son organismos que se encuentran distribuidas por todo el mundo y su tamaño comprende desde las microscópicas de 2 micras – 200 micras unicelulares, hasta las grandes macroalgas formadas por filamentos de considerable longitud. Sin embargo, todas contienen clorofila, lo que les permite sintetizar sustancias alimenticias a partir de materias minerales, lo que adicionalmente tienen carotenoides como la luteína y su alimento lo almacenan en forma de almidón. En cuanto a su reproducción, esta puede ser sexual o asexual, incluso algunas especies presentan una reproducción con alternación de generaciones. Además, el 90% de las clorofitas son de hábitat de agua dulce y el 10% de hábitat marino. A su vez, las especies de agua dulce son normalmente cosmopolitas y las especies marinas tienden a estar únicamente en aguas tropicales (Lee, 2008).

4.4) *Dinoflagellata*

El grupo *Dinoflagellata* o los dinoflagelados son organismos unicelulares, los cuales corresponden a un grupo del fitoplancton marino de carácter cosmopolita, donde con regularidad se distribuyen en función de la temperatura, salinidad y profundidad, así como también de sus características morfológicas y requerimientos nutritivos, lo que los hacen exitosos desde el punto de vista reproductivo sobre todo donde la estabilidad en la columna de agua es mayor y la concentración de nutrientes más baja. A su vez, los dinoflagelados fluctúan entre diversos tamaños, por lo que se les ubica dentro del microplancton, y pueden ser divididos en dos grandes grupos diferenciados por la presencia o ausencia de placas de naturaleza celulósica en su pared celular o anfiesma (Tecados y atecados). De acuerdo con esta característica se les denomina tecados o atecados, respectivamente y presentan cloroplastos en forma de discos o varillas con clorofilas a y c, aunque también con algunas xantofilas específicas como la peridininina. Por lo tanto, las

distintas combinaciones de pigmentos les proporcionan una coloración, pardo - amarillenta, y en ocasiones verde azul. Por lo que, dentro de este grupo los representantes más comunes son los Gymnodiniales, es decir, (dinoflagelados desnudos o desprovistos de caparazón) y los Peridinales (dinoflagelados con el cuerpo recubierto por un caparazón), (Tomas, 1997).

5) Factores reguladores del crecimiento en las microalgas

Los factores incidentes o las condiciones ambientales como, la luz, temperatura, pH, entre otras intervienen en el crecimiento y la asimilación de nutrientes de las microalgas, (Stevenson, *et al.*, 1996). Donde la luz es la fuente de energía que lidera las reacciones fotosintéticas, por lo que la calidad, cantidad y fotoperiodo deben ser considerados al trabajar con microalgas ya que estas varían de acuerdo con el tipo, interviniendo en el crecimiento y en la síntesis de compuesto orgánicos como los lípidos, carbohidratos y proteínas, Asimismo, si la intensidad de luz es muy fuerte se da el efecto de fotoinhibición t por lo tanto disminuye su crecimiento (Barsanti & Gualtieri, 2006).

5.1) Mediciones de las concentraciones de las microalgas

De acuerdo a las mediciones de las concentraciones de microalgas, el objetivo de contar algas no es solamente establecer la población (densidad) de células por mililitro que hay en un recipiente, sino también determinar numéricamente el grado de división celular en un determinado tiempo, de tal manera, que los resultados permitan estimar en cierto modo la situación de un cultivo y relacionarlo con la curva de crecimiento de esa población algal (Weber, 1973). Por lo general, los dispositivos son usados para contar algas que se cultivan en recipientes, pero no necesariamente son muy convenientes para contar poblaciones naturales. Así entonces, los métodos para estimar biomasa de algas de ambientes naturales generalmente requieren de la sedimentación del plancton (Branco, 1978). En ocasiones se acepta de manera muy tolerada concentraciones de hasta 50 mg/L, aunque algunas especies aguantan concentraciones sustancialmente más altas y el amonio como nutriente por gran importancia del tratamiento de aguas residuales.

6) Los parámetros Fisicoquímicos

Para el estudio de los parámetros fisicoquímicos se realiza normalmente un muestreo de agua con ayuda de un sensor multiparamétrico el cual determinará de manera *in situ* las características fisicoquímicas del cuerpo de agua y con ayuda de botellas para toma de muestras de agua a distintas profundidades, usualmente a 1 metro de superficie y a 1 metro del fondo, donde el procedimiento seguido es el mismo en aguas transicionales y costeras. De tal manera que, el agua contenida en las botellas es utilizada para determinar una gran cantidad de variables y cuanto mayor es la manipulación mayor es el riesgo de contaminación de las muestras por lo que es importante seguir un orden, por lo tanto, lo mejor es recoger en primer lugar las más sensibles, y así las primeras muestras serán para las determinaciones fisicoquímicas en este caso turbidez, a continuación muestras para la determinación de nutrientes y salinidad, temperatura, pH, destinadas al análisis del fitoplancton y por último aquellas destinadas a la determinación de sólidos en suspensión o totales (Oviedo, 2019).

6.1) pH

Respecto al pH, el rango óptimo de la mayoría de microalgas se encuentra entre 7 - 9 según Torren - tera & Tacón (2009), incluso siendo tolerables valores superiores a éstos, ya que valores ácidos generalmente provocan la muerte de las microalgas. Además, puede dañar la solubilidad de varios compuestos en un el medio de cultivo, por lo que, un pH elevado disminuye la asimilación de ciertos metales traza (Richmond, 2004). A su vez, diversos valores de pH ocasionan disociación de ciertas sales en sus componentes y estos últimos pueden tener efecto tóxico o inhibitorio para el crecimiento microalgal ya sea en el medio natural o laboratorio (González, 2000). Sin embargo, Lavens & Sorgeloos (1996), mencionan que el pH en cultivos de microalgas con fines de producción se encuentra en un rango entre 7 y 9 con un valor óptimo de operación de 8,2 a 8,7 y la tasa de crecimiento para las concentraciones de 2 y 9 mg L⁻¹ de NH₃ y del 77% para los cultivos con concentraciones de 34 mg L⁻¹ de NH₃.

6.2) Temperatura

La temperatura regula el metabolismo de las microalgas, así como también la composición de la biomasa y la velocidad de crecimiento, siendo el rango óptimo para la mayoría de microalgas, entre 18 - 22°C (Helm, Bourne & Lovatelli, 2006).

6.3) Sólidos Totales Disueltos (STD)

Los sólidos totales Disueltos SDT o TDS por sus siglas en inglés, es un valor utilizado para medir la concentración de todos los minerales, sales u otros metales, orgánicos y muchos otros contaminantes disueltos en el agua, ayudando en la valoración del crecimiento microalgal. Dado que el valor de SDT en ocasiones afecta la conductividad del agua y está relacionado con la corrosión, la eficiencia química, la claridad del agua etc, (Robert, 2016).

6.4) Salinidad

La salinidad regula el crecimiento principalmente en base a la ósmosis, siendo muy variable entre microalgas y a su vez puede ocasionar efectos letales según González (2000), porque dentro de los nutrientes esenciales para el crecimiento de las microalgas, se destaca el carbono, cuya fuente principal es el dióxido de carbono, el cual representa aproximadamente el 50 % en peso seco (Chiu, 2009).

6.5) Oxígeno Disuelto

Acá las floraciones densas de fitoplancton están asociadas con una baja concentración de oxígeno disuelto durante la noche, pero el fitoplancton es un productor neto de oxígeno, por lo que, esto es evidente por la existencia de biomasa de fitoplancton en sí. Esta biomasa no podría existir si el fitoplancton no fuera productor neto de oxígeno, ya que sería respirado por el propio fitoplancton. Lo que da beneficio en los estanques acuícolas y a las especies de cultivo, ya que las bacterias que descomponen la materia orgánica o realizan la (Nitrificación) ayudan a otros organismos no fotosintéticos respecto a la respiración, siendo este parámetro uno de los más importantes (Claude, 2018).

6.6) Turbidez

La turbulencia es de gran relevancia ya que permite una distribución homogénea de las microalgas en su medio, facilitando la asimilación de nutrientes y captación de la luz, así como también mejorando el intercambio gaseoso y presentando una función termorreguladora (González, 2000).

7) Principales cámaras utilizadas para el recuento celular

El método empleado para contar algas es sencillo e implica el uso de dispositivos que permiten el contaje, ya que, de todos los dispositivos conocidos el más usado en los laboratorios marinos comerciales es el hemocitómetro o cámara Neubauer y para fines de investigación también se utilizan las cámaras Palmer Maloney, Sedgwick-Rafter y Petroff- Hausser (Weber, 1973).

7.1) Cámara Neubauer o Hematocitómetro

La cámara Neubauer o Hematocitómetro, se caracteriza por medir 0.1 mm de profundidad y posee una grilla denominada (Neubauer), la cual se encuentra dividida en 16 cuadros de 1 mm de lado cada uno, algunos de los cuales tienen subdivisiones, con lo cual es posible contar células en un área determinada y el volumen de muestra en cada una de estas áreas es de 0.0018 ml (Branco, 1978).

7.2) Cámara Sedgwick - Rafter (SR)

La cámara de Sedgwick - Rafter o (S/R) como es descrita por Serfling (1949) y McAlice (1971) tiene 50 mm por 20 mm de lado y 1 mm de profundidad, con una capacidad de 1 ml de muestra. Esta cámara es apta para conteos de células relativamente grandes, y el alto de la cámara no permite realizar observaciones con gran aumento (generalmente menos de 200x). De tal manera, que para llenar la cámara se recomienda colocar el cubre objetos en forma diagonal, y colocar la muestra por el espacio libre que queda entre este y el porta objeto. Por lo tanto, se evita la formación de burbujas de aire, que podrían introducir una fuente de error al medir el volumen de la muestra.

7.3) Cámara Palmer - Maloney

La cámara de Palmer – Maloney, consiste en una cámara de vidrio circular, de 17.9 mm de diámetro y 0.4 mm de profundidad, y con una capacidad para 0.1 ml de muestra. Normalmente esta cámara es buena para realizar conteos de especies nanoplanctónicas ($> 20\mu\text{m}$), donde la cámara se llena por una de las dos ranuras que posee en su parte media y luego se cubre con el cubre objetos. (Palmer & Maloney, 1954).

7.4) Cámara Petroff - Hausser

Por lo general, la cámara Petroff – Hausser, es utilizada para conteos de células sanguíneas y su uso no es frecuente en trabajos de planctología. Por lo que, presenta 0.02 mm de profundidad y posee una grilla también denominada Neubauer y el volumen total de la muestra es de 0.00018 ml (Weber, 1973).

8) Índices de Biodiversidad

8.1) Shannon - Wiener

El índice de Shannon – Wiener, expresa la uniformidad de los valores de importancia a través de todas las especies de la muestra, su valor va de 1 a 5. Ya que, mide el grado promedio de incertidumbre en predecir a que especie pertenecerá un individuo escogido al azar de una colección (Magurran, 1988; Peet, 1974; Baev & Penev, 1995). Sin embargo, asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están presentadas en la muestra, adquiriendo valores entre cero, cuando hay una sola especie, y el logaritmo de S, cuando todas las especies están representadas por el mismo número de individuos (Magurran, 1988).

8.2) Simpson

El índice de Simpson es un índice de dominancia más que de diversidad y representa la probabilidad de que dos individuos escogidos al azar pertenezcan a

la misma especie (Moreno, 2001). Sin embargo, su inverso es considerado como un buen indicador de diversidad (Feinsinger, 2004). Además, varios estudios relacionan la riqueza y la diversidad de especies con los niveles de perturbación en ecosistemas boscosos (Mishra, *et al.*, 2004; Kumar & Ram, 2005; Sahu, *et al.*, 2008).

IV - METODOLOGÍA

Área de estudio

El presente estudio se realizó en el Estero Padre Ramos (Figura 1), el cual se encuentra ubicado en el departamento de Chinandega específicamente en el municipio del Viejo comprendiendo las siguientes coordenadas 12°42'32''N y 87°35'55''O. A como también en el Estero Aserradores (Figura 2), ubicado de igual manera en el departamento de Chinandega en el municipio del Viejo, comprendiendo las siguientes coordenadas 12°60'46''N y 87°32'33''O. Además, ambas zonas se caracterizan por presentar una vegetación muy densa de bosque de manglar en donde habitan, se alimentan y se reproducen diferentes especies faunísticas (Peralta, 2000).



Figura 1. Puntos de muestreo en el Estero Padre Ramos

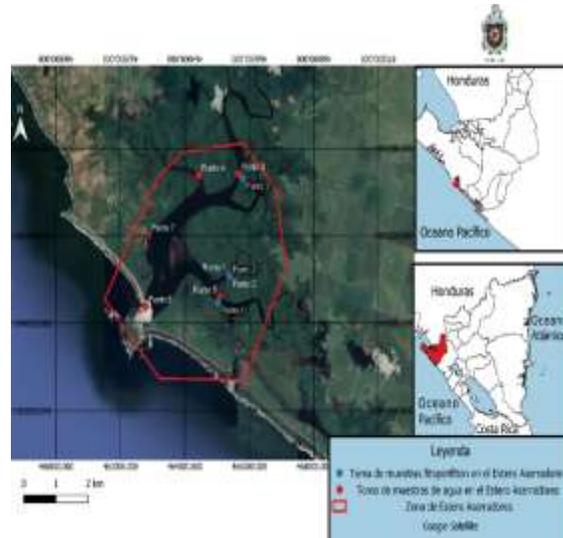


Figura 2. Puntos de muestreo en el Estero Aserradores

Tipo de estudio

Fue de tipo no probabilístico por conveniencia siguiendo la metodología propuesta por Hernández, *et al.*, (2014).

Diseño de estudio

Fue de corte transversal, llevándose a cabo en periodo seco en marzo de 2022.

Muestreo

Se seleccionaron 7 puntos de muestreo en agua y 3 puntos de muestreo en raíces de bosque de manglar o fitoperifito con ayuda de coordenadas geográficas, a través de la aplicación GPS Status, en el trayecto de ambos Esteros; estos de acuerdo con las entradas de agua a los mismos (Figura 1 y Figura 2).

Instrumentos y procedimiento de recolección de datos

Los parámetros fisicoquímicos fueron tomados en cada punto siendo estos, oxígeno disuelto por medio de una sonda multiparamétrica YSI modelo YSI550A. Los valores de pH, temperatura y sólidos totales disueltos se evaluaron usando un pHmetro de campo marca Zhaolan - Meter modelo TPH01138A. Para la salinidad se utilizó un refractómetro modelo 0 to 100 PPT w/ATC y la turbidez se tomó con ayuda de un disco de Secchi graduado cada 5 cm.

La colecta de datos y muestras de fitoplancton se llevaron a cabo siguiendo lo establecido por el protocolo europeo para muestreo de fitoplancton con modificaciones, propuesto por la Directa Marco del Agua [DMA], (2005). Donde también se realizó un muestreo exploratorio de fitoperifito asociado a raíces del bosque de manglar siguiendo la metodología propuesta por (Cuenca, *et al.*, 2017) con ciertas modificaciones.

Identificación y conteo celular

En el recuento celular se utilizaron las cámaras Neubauer para el conteo de *Chlorophytas* y la cámara Sedgwick - Rafter para los demás grupos fitoplanctónicos, *Bacillariophytas*, *Cianophytas* y *Dinoflagellata*, donde se usó un microscopio óptico compuesto marca *Focus instrumens* y luego se procedió a la identificación a nivel de género por medio de comparación con catálogos de organismos fitoplanctónicos presentes en diferentes cuerpos de agua (Flores, 2015).

Análisis de datos

Se utilizó el programa Excel 2016 versión 16.0 donde se elaboraron gráficos de barras y diagramas de pastel para las diferentes concentraciones respecto a los distintos grupos algales. En cuanto al análisis de los datos; se usó el software estadístico para biólogos PAST (PAleontological STatistics) versión 3.25, esto debido a la evaluación de los parámetros poblacionales, diversidad (Shannon - Weinner) y abundancia (Simpson).

V - RESULTADOS Y DISCUSIÓN

❖ Los parámetros fisicoquímicos

En los diferentes estudios limnológicos y marítimos se evalúa la calidad de los cuerpos de agua en base a variables físicas, químicas y biológicas, ya sean estas de manera individual o grupal (Vargas, 2001). Para este estudio los parámetros fisicoquímicos que se evaluaron fueron, pH, temperatura, salinidad, sólidos totales disueltos, oxígeno disuelto y turbidez en los Esteros Padre Ramos y Aserradores.

Tabla 1. Toma de parámetros fisicoquímicos en diferentes puntos seleccionados en el Estero Padre Ramos

Parámetros	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7
pH	6.6	6.6	6.9	6.8	6.6	6.8	6.5
Temperatura	29	28	28	29	28	28	30
Salinidad	44	34	35	31	35	35	35
Sólidos Totales Disueltos	9260	8670	9750	8610	2190	6148	1528
Oxígeno Disuelto	4.6	6	6	8.1	5.2	4.6	6
Turbidez	125	145	190	180	165	140	75

En la tabla 1 se muestran los valores obtenidos mediante 7 puntos de muestreo en el Estero Padre Ramos, donde se evaluaron 6 parámetros fisicoquímicos los cuales fueron pH, temperatura, salinidad, sólidos totales disueltos, oxígeno disuelto y turbidez.

El valor de pH más alto se presentó en el punto 3 con 6.9 y el valor más bajo en el punto 7 con 6.5. En cuanto a la temperatura el valor más alto con 30° centígrados en el punto 7 y el valor más bajo con 28° centígrados en los puntos 2,3,5 y 6. La concentración de salinidad predominó en el punto 1 con 44% y en menor proporción en el punto 4 con 31%. El mayor valor de sólidos totales disueltos fue en el punto 3 con 9750 ppm y el menor valor en el punto 7 con 1528 ppm. El oxígeno disuelto en agua presentó un valor elevado en el punto 4 con 8.1 mg/l y un valor decadente en los puntos 1 y 6 con 4.6 mg/l. El valor más alto de turbidez se dio en el punto 3 con 190 cm y el más bajo en el punto 7 con 75 cm.

Según Orozco, *et al.*, (2005) señalan, la ventaja de los métodos fisicoquímicos se basa en que sus análisis suelen ser más rápidos y pueden ser monitoreados con mayor frecuencia, en comparación con los métodos biológicos, basados en la observación y medición de ciertas comunidades de seres vivos en las aguas; además, la elección de las especies debe ser cuidadosa ya que de esta depende la evaluación de la calidad del recurso, que generalmente solo se realiza para un uso determinado, a diferencia de las fisicoquímicas, que permiten una evaluación para diferentes tipos de uso.

Tabla 2. Toma de parámetros fisicoquímicos en diferentes puntos seleccionados en el Estero Aserradores

Parámetros	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7
pH	6.7	6.7	6.7	6.8	6.9	7	6.6
Temperatura	29	29	29	28	28	29	28
Salinidad	31	30	30	34	35	35	29
Sólidos Totales Disueltos	1290	1070	2140	1769	3810	8433	4670

Oxígeno Disuelto	9.3	10.7	12.7	13.6	0.4	7.1	5.8
Turbidez	230	190	205	155	180	160	180

En la tabla 2, de igual manera se muestran los valores obtenidos mediante 7 puntos de muestreo en el Estero Aserradores, donde se evaluaron 6 parámetros fisicoquímicos los cuales también fueron pH, temperatura, salinidad, sólidos totales disueltos, oxígeno disuelto y turbidez.

El valor de pH más alto se presentó en el punto 5 con 6.9 y el valor más bajo en el punto 7 con 6.6. En cuanto a la temperatura el valor más alto con 29° centígrados en los puntos 1, 2,3 y 6 mientras que el valor más bajo con 28° centígrados en los puntos 4,5 y 7. La concentración de salinidad predominó en los puntos 6 y 5 con 35% y en menor proporción en el punto 7 con 29%. El mayor valor de sólidos totales disueltos fue en el punto 6 con 8433 ppm y el menor valor en el punto 2 con 1070 ppm. El oxígeno disuelto en agua presentó un valor elevado en el punto 3 con 12.7 mg/l y un valor decadente en el punto 5 con 0.4 mg/l. El valor más alto de turbidez se dio en el punto 1 con 230 cm y el más bajo en el punto 4 con 155 cm.

Según estudios realizados por Ott (1970), es importante conocer las bases metodológicas de un indicador físico, químico o biológico, antes de aplicarlo en un sistema acuático, porque en muchas ocasiones estos son elaborados para problemas específicos de una región, los cuales no se acoplan a otras fuentes que van a ser estudiadas; por lo tanto, la elaboración o adaptación de un indicador sería la mejor opción para el uso de estos indicadores; teniendo en cuenta que un elevado o disminución en los parámetros puede favorecer la presencia de ciertos organismos perjudiciales para la salud de otros, como algunas microalgas.

❖ **Valores Promedio de los parámetros fisicoquímicos en los Esteros Padre Ramos y Aserradores**

La calidad de diferentes tipos de agua se ha valorado a partir de variables físicas, químicas y biológicas, evaluadas individualmente o en forma grupal. Sin embargo, los parámetros fisicoquímicos dan una información extensa de la naturaleza sobre las especies químicas del agua y sus propiedades físicas, sin aportar información de su influencia en la vida acuática; de tal manera, que los métodos biológicos aportan esta información, pero no señalan nada acerca del contaminante o los contaminantes responsables, por lo que muchos investigadores recomiendan la utilización de ambos en la evaluación del recurso hídrico (Orozco, *et al.*, 2005).

La ventaja de los métodos fisicoquímicos se basa en que sus análisis suelen ser más rápidos y pueden ser monitoreados con mayor frecuencia, en comparación con los métodos biológicos, basados en la observación y medición de ciertas comunidades de seres vivos en las aguas. Por ende, la elección de las especies debe ser cuidadosa ya que de esta depende la evaluación de la calidad del recurso, que generalmente solo se realiza para un uso determinado, a diferencia de las fisicoquímicas, que permiten una evaluación en diferentes tipos de uso.

Independiente del tipo de variables usadas en el monitoreo de una fuente, siempre se genera un gran número de datos, que requieren de un tratamiento e interpretación, tarea dispendiosa y de complejo entendimiento en el proceso de la valoración de la calidad ya que en muchas ocasiones se incurre en la pérdida de información o gastos que no justifican los resultados obtenidos.

Así mismo; según Fernández & Solano (2005), los resultados de un monitoreo deben permitir resolver diferentes tipos de conflictos como el uso del agua y la integridad ecológica de los sistemas acuáticos, los cuales involucran aspectos socioeconómicos, siendo una herramienta importante, pues su cálculo involucra más de una variable, de tal manera que el uso correcto de estos indicadores permite utilizarlos para la evaluación de los programas de gestión de recursos hídricos.

➤ pH

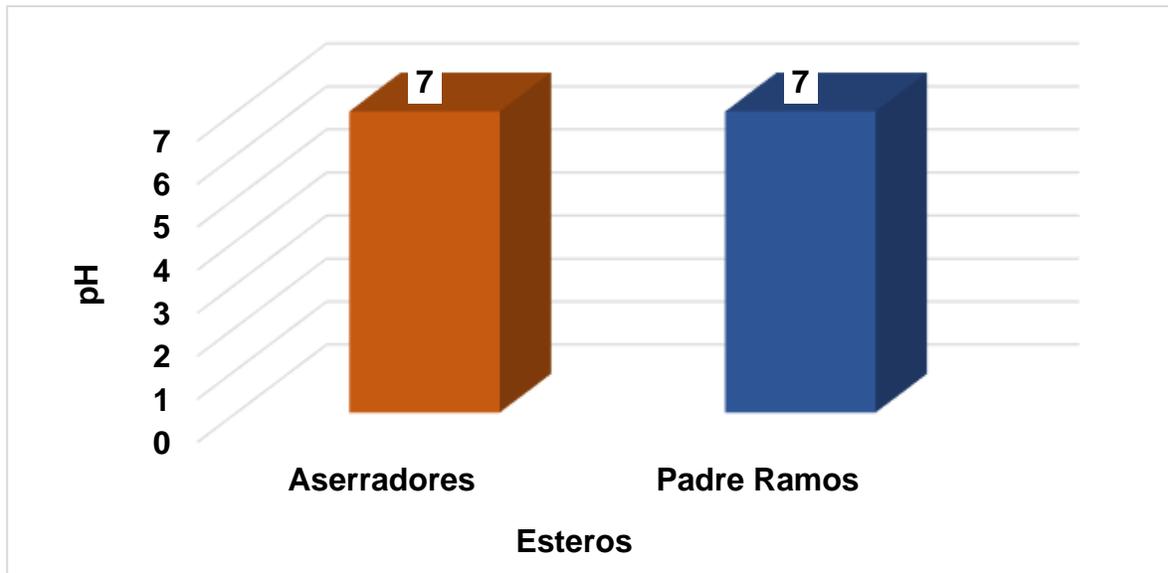


Figura 3. Valores promedio del pH presente en el Estero Padre Ramos y Estero Aserradores

Los resultados de pH obtenidos en esta investigación muestran que los valores promedio fueron similares en ambos Esteros con 7. Estudios realizados por Kiely, *et al.*, (1999), reportaron que el incremento de materia orgánica produce un aumento de sólidos en suspensión y compuestos tales como nitrito, nitrato, fosfato y compuestos amoniacales, los cuales, a largo plazo, generan una posible neutralización o acidificación en los diferentes cuerpos de agua. A su vez, García, *et al.*, (2019), indican que los desechos de la agricultura y las emisiones de combustibles fósiles, como el dióxido de carbono generan un ácido débil al disolverse en el agua, donde estos factores en ocasiones causan fluctuaciones en el pH de los diferentes cuerpos de agua.

Sin embargo, En los países con vía de desarrollo, existe un crecimiento sin control ni planeación tanto de industrias como de asentamientos humanos, originando entre otros el problema de la alteración de la calidad del agua en los ecosistemas acuáticos, esto debido a las descargas por desechos que de alguna manera estos ciertos compuestos llegan acidificar el pH del agua desembocando en los diferentes

cuerpos de agua; lo que constituye la principal fuente de contaminación en la actualidad (Limón, *et al.*, 1986).

➤ **Temperatura**

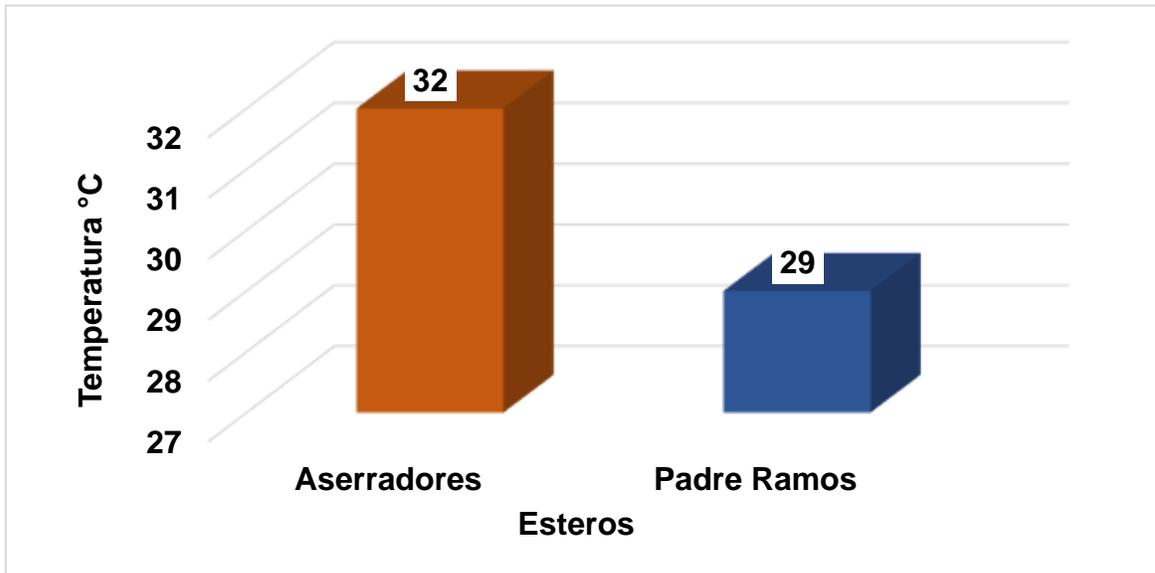


Figura 4. Valores promedio de la temperatura presente en el Estero Padre Ramos y Estero Aserradores

La temperatura en ambos sitios varió, por mayor resultado en el Estero Aserradores con 32° centígrados y por menor resultado en el Estero Padre Ramos con 29° centígrados. El comportamiento de la temperatura del agua en los dos Esteros puede estar asociado a la incidencia de los rayos del sol, esto debido a su amplitud y el poco bosque de manglar sobre todo en el Estero Padre Ramos, en donde se tomaron las muestras de agua; así como también otro factor que podría estar relacionado con este comportamiento es la hora en la que se midió la este parámetro en cada punto de muestreo, variando el clima en horas de la mañana y pocas horas del mediodía (Baker & Kromerbaker, 1979).

➤ **Salinidad**

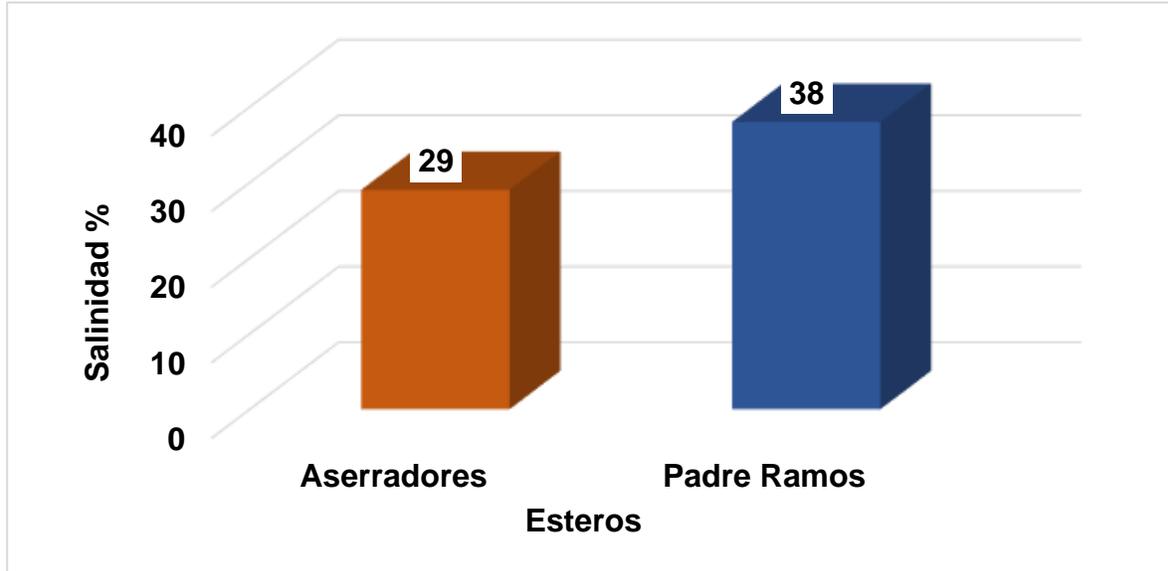


Figura 5. Valores promedio de la salinidad presente en el Estero Padre Ramos y Estero Aserradores

La mayor concentración de salinidad se presentó en el Estero Padre Ramos con un porcentaje de 38% y en cuanto al Estero Aserradores con un 29%. Sin embargo, estudios realizados por Bernal (2013), señalan que las descargas industriales, como residuos de materia orgánica y diversas sales pueden ocasionar la alteración de salinidad en los Esteros. Además, pueden aumentar la conductividad eléctrica; lo que ocasiona un esfuerzo adicional de las células fitoplanctónicas en cuanto a la obtención de sus nutrientes por ejercer una mayor presión osmótica.

Además, esto suele en ocasiones generar ciertas modificaciones en la composición de la comunidad (estructura por tamaños o grupos funcionales) afectando los ciclos biogeoquímicos de los elementos y la transferencia trófica de energía a niveles superiores, determinando así la baja productividad secundaria del ecosistema (Falkowski & Oliver, 2007; Cloern & Dufford, 2005).

➤ **Sólidos Totales Disueltos**

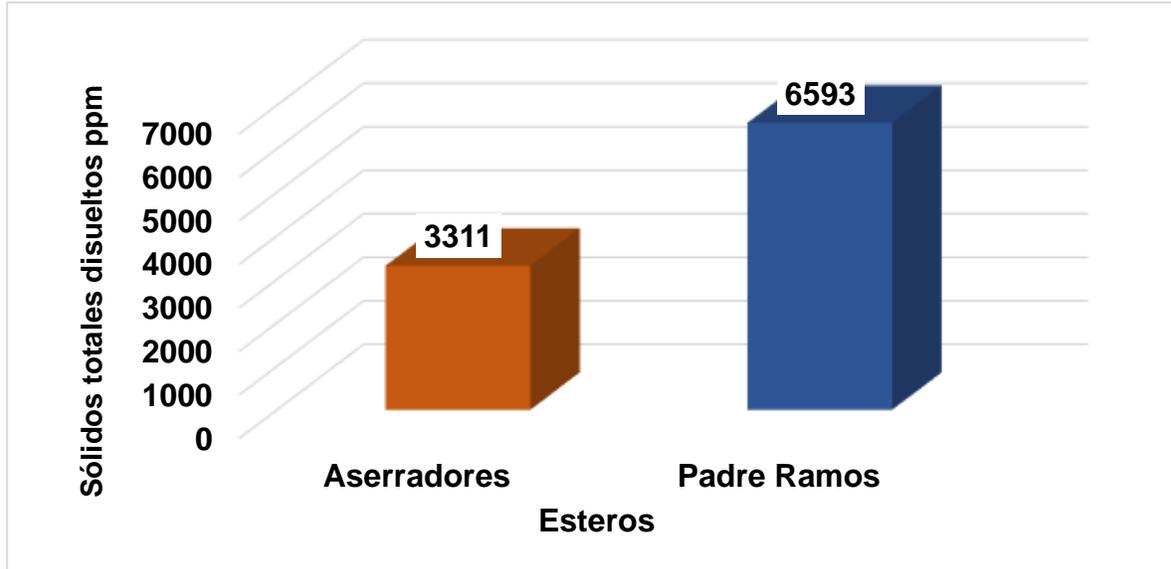


Figura 6. Valores promedio de sólidos totales disueltos en el Estero Padre Ramos y Estero Aserradores

El valor más alto de sólidos totales disueltos se dio en el Estero Padre Ramos con 6593 ppm, en comparación con el Estero Aserradores el cual presentó un menor resultado con 3311 ppm. Los registros de conductividad en los trabajos referidos por Guzmán & Orbe (2002), muestran que un factor clave en el occidente del país es la mineralización del agua y puede influir en la mala calidad de los diferentes cuerpos de agua y esto por el aumento significativamente en cuanto a las instalaciones industriales en diferentes zonas.

Cabe destacar, que el aporte indiscriminado de contaminantes excesivos sobre sólidos en suspensión por diversos tipos; industrial, doméstico y agrícola, lo cual junto a los cambios en su volumen propiciados por diversas razones, hace que los diferentes cuerpos de agua se encuentren en grave peligro al convertirse en un ambiente no adecuado para la vida acuática, ya que las condiciones de eutrofia favorecen el crecimiento de fitoplancton ocasionando diferentes problemas económicos y de salud (Banks & Herrera, 1997).

Cabe destacar, que otro factor relacionado a esto puede ser, el aporte indiscriminado de contaminantes excesivos sobre sólidos en suspensión por diversos tipos; industrial, doméstico y agrícola, lo cual junto a los cambios en su volumen propiciados por diversas razones, hace que los diferentes cuerpos de agua se encuentren en grave peligro al convertirse en un ambiente no adecuado para la vida acuática, ya que las condiciones de eutrofia favorecen el crecimiento del fitoplancton ocasionando entonces diferentes problemas económicos y de salud (Banks & Herrera, 1997).

➤ **Oxígeno Disuelto**

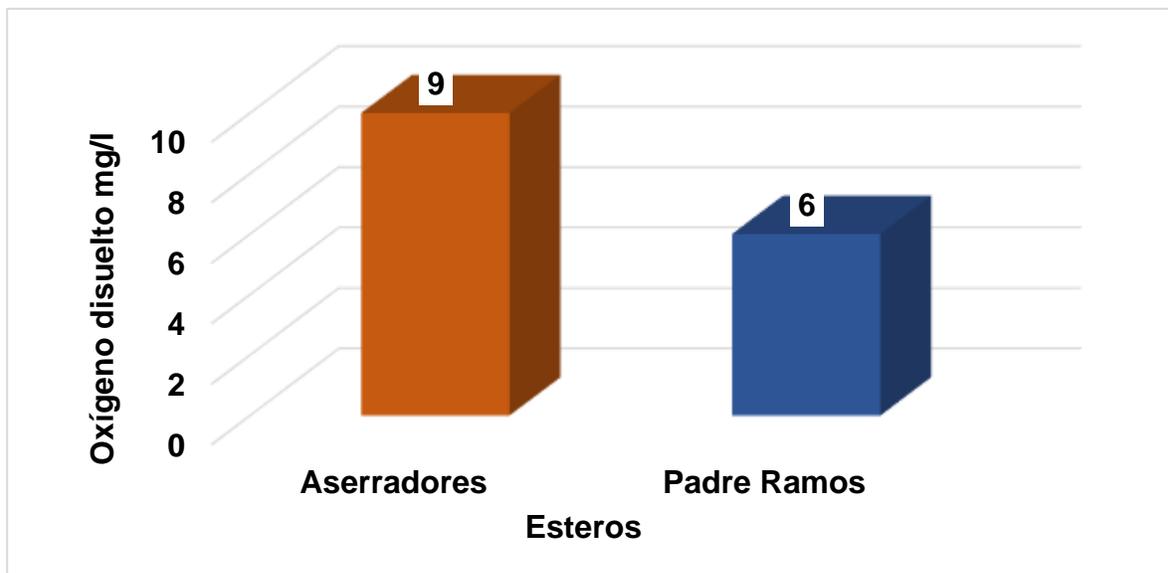


Figura 7. Valores promedio de oxígeno disuelto en el Estero Padre Ramos y Estero Aserradores

El valor más elevado de oxígeno disuelto fue el Estero Aserradores con 9 mg/l y en menor cantidad en el Estero Padre Ramos con 6 mg/l. Según Banks & Herrera (1997), el oxígeno gaseoso disuelto en agua es gran importancia al ser un elemento vital para la existencia de todos los seres vivos sobre todo en el hecho marino; ya que, el oxígeno es un componente clave en la respiración celular tanto para la vida acuática como para la vida terrestre. Sin embargo, la concentración de oxígeno

disuelto (OD) en un ambiente acuático se establece como un buen indicador de gran importancia en la calidad del agua.

Por otro lado, Abosedo & Ikegwu (2012) señalan, que el exceso de nutrientes en los cuerpos de agua generado por las descargas de aguas residuales domésticas, suelen incrementar la cantidad de microorganismos fitoplanctónicos, relacionado en el consumo de oxígeno disuelto, interrumpiendo el paso de luz al incrementar la turbidez, bloqueando el proceso de fotosíntesis por plantas acuáticas o macrofitas y ocasionando la desaparición de muchas especies sensibles.

Vázquez & Sánchez (1975), mencionan que el oxígeno gaseoso se disuelve en el agua por diversos procesos posiblemente relacionados con la difusión entre la atmósfera y el agua, oxigenación por el flujo del agua sobre las rocas y otros detritos, la agitación del agua por las olas y el viento e incluso por la acción del proceso de la fotosíntesis de plantas acuáticas, cómo también del fitoplancton y niveles bajos generan gradualmente problemas serios en los casos de Eutrofización.

➤ **Turbidez**

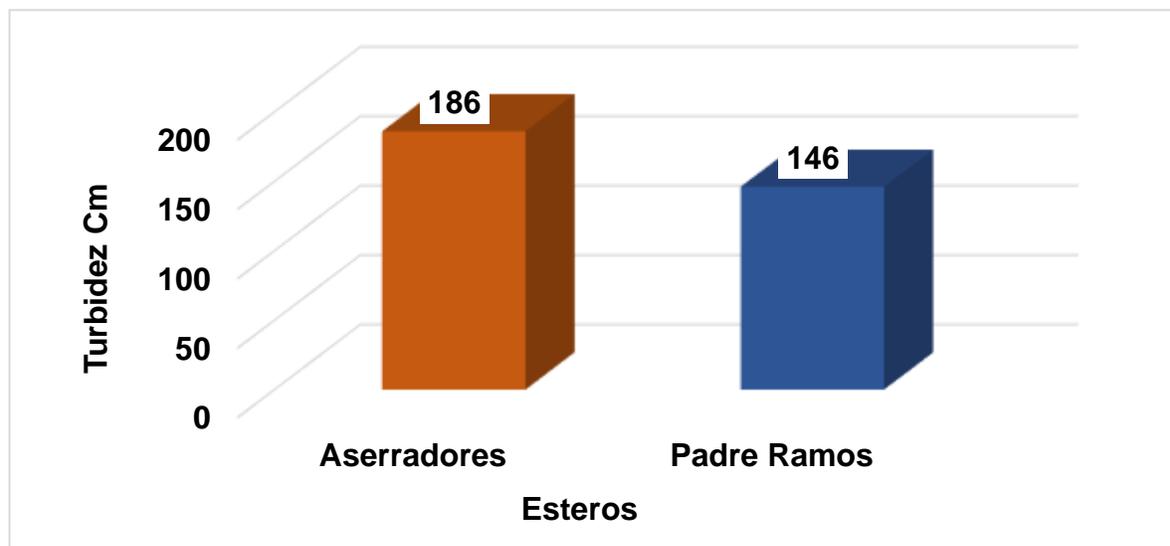


Figura 8. Valores promedio de turbidez presente en el Estero Padre Ramos y Estero Aserradores

El valor de turbidez más alto se presentó en el Estero Aserradores con 186 cm y en menor cantidad en el Estero Padre Ramos con 146 cm. Las descargas industriales por lo general causan problemas de turbidez en los cuerpos de agua, esto relacionado también a sólidos en suspensión como arcillas coloidales, presentando una mayor productividad fitoplanctónica a niveles de transparencia y menor profundidad (Lind, *et al.*, 1992).

Finalmente, Lannacone, *et al.*, (2003), también reportan que el incremento de la turbidez, es considerado un síntoma en agua de baja calidad; debido a partículas sólidas en suspensión y en muchas ocasiones provocando disminución o aumento de las especies fitoplanctónicas por roce y abrasión de las células, esto debido a la turbulencia del flujo que se incrementa de sobre manera en las épocas de avenida.

❖ **Concentración celular en muestras de agua**

La biomasa de microalgas según Pearson *et al.*, (1987) debe medirse en términos de clorofila (a), y en pocas ocasiones se realizan recuentos celulares, dada la facilidad de la realización de este método en laboratorio y la precisión en comparación con el método de biovolumen que toma en cuenta el tamaño del microorganismo, siendo este parámetro variable incluso cuando se analizan muestras de la misma especie.

Así mismo; en condiciones normales todas las clases de microalgas poseen invariablemente la clorofila (a) que confiere el color verde a las algas y al menos un pigmento accesorio, que puede enmascarar en ocasiones a la clorofila (a). La clorofila (b) se encuentra específicamente en las algas verdes y la clorofila (c) en diatomeas y dinoflagelados, pero a nivel de cultivos bajo condiciones adecuadas de iluminación, temperatura, salinidad y concentración de nutrientes, las microalgas llegan a representar una excelente fuente de pigmentos llamados carotenoides. De tal manera; que diversos estudios han demostrado que la producción de carotenoides en microalgas, puede optimizarse mediante variaciones en las condiciones de cultivo tales como, las altas salinidades, incremento en la irradiancia

y en la temperatura esto según Ben - Amotz, (1987); o bien al estrés por limitación de nutrientes (Borowitzka & Borowitzka, 1988).

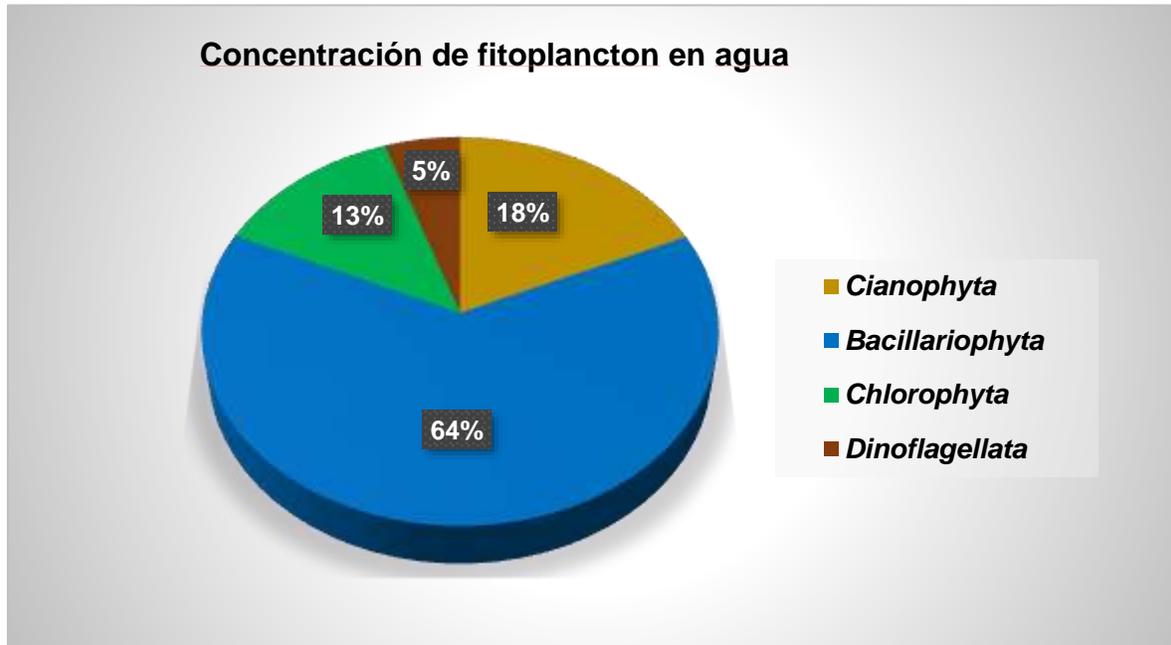


Figura 9. Porcentaje de los diferentes grupos algales presentes en las muestras de agua del Estero Padre Ramos

En la figura 9, se aprecia en porcentaje respecto a los grupos de microalgas presentes en las muestras de agua del Estero Padre Ramos, donde en mayor número predominaron las *Bacillariophytas* en un 64%, seguido de las *Cyanophytas* en un 18%, luego las *Chlorophytas* en un 13% y por último los *Dinoflagellata* con un 5%.

Según la Confederación Hidrográfica del Hebro; CHE, (2005), las diatomeas o *Bacillariophytas* suelen ser un grupo muy representativo en comparación a los otros; esto debido a que soportan las diversas presiones fisicoquímicas del medio en el que se encuentran tales como, el incremento de la materia orgánica, salinidad y acidificación; siendo la mayoría de los taxas de este grupo tolerantes a la contaminación debido a la pared celular que estos poseen y por lo general este grupo es catalogado como cosmopolita (Biosfera, 2005).

En el caso de las cianobacterias o *Cyanophytas*, este grupo de microalgas llegan a ser mayormente representativos en ambientes de agua dulce, en ocasiones de aguas salobres y por sobre todo en aguas con altas concentraciones de nutrientes con residuos de nitrógeno, fosforo o azufre; es decir, ambientes que van de mesotróficos a eutróficos o bien hipertróficos (Roset, *et al.*, 2001).

Las algas verdes o *Chlorophytas*, De La Hoz Aristizabal (2004) afirma, que este grupo de microalgas se encuentra estrechamente ligado a sistemas de agua dulce y en ocasiones en sistemas de aguas salobres con ambientes cálidos y soportan bien la turbulencia, y reportándose especies con grandes potenciales económicos.

El grupo de los dinoflagelados o *Dinoflagellata*, llegan a ser utilizados como indicadores biológicos de masas de aguas, dado que estos presentan una gran sensibilidad ante los cambios en los parámetros fisicoquímicos y a su vez; son un grupo de organismos predominantes de ambientes marinos, especialmente en aguas tropicales y la distribución de los dinoflagelados se ve estrechamente relacionado en muchas ocasiones con la eutrofia presente en los diferentes cuerpos de aguas (Gómez, 2015).

❖ **Identificación y conteo celular en muestras de agua**

La identificación se describe a través de las características morfológicas que presentan los microorganismos, apoyado de un recuento celular para la determinación sobre casos de eutrofia presentes en un cuerpo de agua, teniendo en cuenta que Lannacone, *et al.*, (2003) señalan que el principal indicador para estimar la calidad del agua es el fitoplancton, debido al bajo costo que representa para el investigador y a la facilidad de implementación junto con la comparación de estos estudios, en contraste con los costosos análisis químicos. Asimismo, expresan, que los indicadores biológicos (fitoplancton) pueden proporcionar información de situaciones pasadas, mostrando factores ausentes durante la toma de muestras. De tal manera; que otros autores plantean que la diversidad fitoplanctónica puede estar relacionada principalmente a las oscilaciones

hidrológicas, es decir; variaciones en el clima por sobre todo en épocas de precipitación alta (Marciales, *et al.*, 2012).

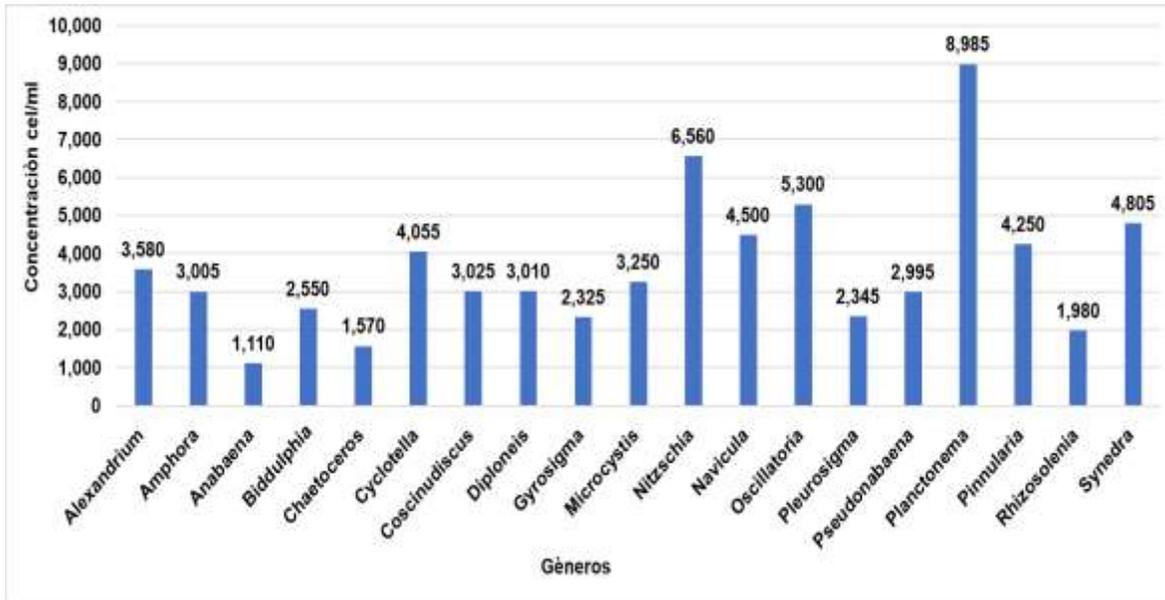


Figura 10. Géneros de microalgas encontrados en las muestras de agua del Estero Padre Ramos

En la figura 10 se presentan los géneros de microalgas presentes en las muestras de agua en el Estero Padre Ramos, donde predomina el género *Planctonema* con 8,985 cel/ml, seguido del género *Navícula* con 6,560 cel/ml y en menor proporción *Chaetoceros* con 1,570 cel/ml y *Anabaena* con 1,110 cel/ml. Según MARENA, (2001), la mayoría de los Esteros del departamento de Chinandega se consideran como los humedales más importantes de Nicaragua en el área de seguridad alimentaria y nutricional, además de otros beneficios que genera el bosque de manglar presentes en esta zona (FAO, 2010). No obstante, muchos de estos actúan como un receptor de la sedimentación proveniente de áreas agrícolas, o acuícolas por granjas camaroneras, sobre descargas de materia orgánica e inorgánica provenientes de los afluentes al Estero, que en su mayoría deterioran la calidad del agua para el cultivo de organismos marinos y salud pública. Sumado a esto se puede mencionar el efecto silencioso del cambio climático sobre la salud de los

ecosistemas, que afecta de manera general a todos los cuerpos de agua (Moore, *et al.*, 2008).

❖ **Concentración celular Fitoperifito**

Se realizó un estudio exploratorio sobre microalgas adheridas a raíces de árboles de mangle en el Estero presente en la reserva natural Padre Ramos. Sin embargo, se logra valorar el grupo más representativo y los géneros, que pueden llegar a encontrarse (Charle, 2002). Incluso muchos de los grupos algales pueden estar incidiendo en el bosque de manglar por el grado de contaminación presente en las aguas del Estero; de igual manera Morales & Salazar (2012), Indican que el reportar Cianobacterias o *Cianophytas* nos indican que el agua puede contener abundante materia orgánica; ya que este último grupo este asociado mayormente en aguas dulces con alta concentración de nutrientes y en menos proporción en aguas salobres.

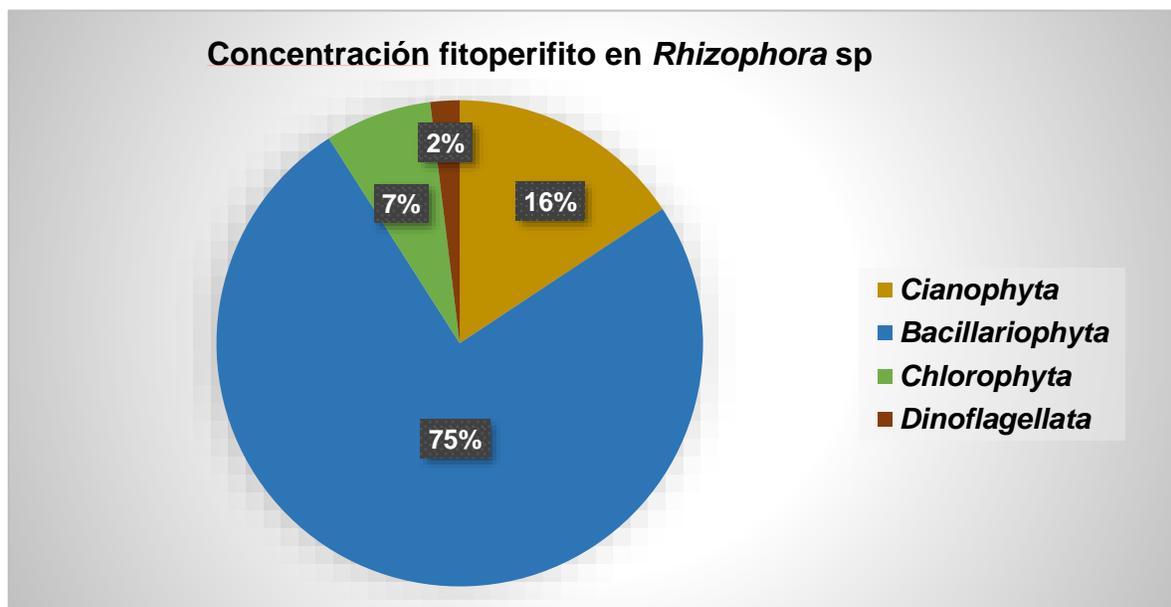


Figura 11. Porcentaje fitoperifito encontrado en raíces de *Rhizophora* sp en el Estero Padre Ramos

Los resultados en la figura 11, indican que, de los cuatro grupos de microalgas estudiados en las aguas del Estero Padre Ramos, el grupo de las *Bacillariophytas* con 75% fue quien presento la mayor concentración de cel/ml, seguido del grupo de las *Cianophytas* con 16%, luego las *Chlorophytas* con 7% y por último el grupo *Dinoflagellata* con un 2%. Lee, (2008), indica; que resulta interesante observar y valorar de manera general, los cuatro grupos algales; ya que generan una tendencia decreciente al relacionar su concentración con respecto al tiempo. De tal manera, que el grupo de las diatomeas o *Bacillariophytas* suelen habitar en mayor presencia los ecosistemas marinos en comparación a los otros grupos algales por lo que se adaptan más rápido al medio sobre las condiciones ambientales favorables o desfavorables que se presenten y en cambio los otros grupos por la sobre carga de nutrientes presentes en el cuerpo de agua, lo que crea proliferaciones hasta conllevar a los distintos niveles eutróficos (Margalef, 1983).

❖ **Identificación y conteo de microalgas perifíticas**

También se llevó a cabo, la identificación y recuento celular de microalgas perifíticas o bien adheridas a raíces de bosque de manglar presentes en el Estero Padre Ramos, valorando el estado actual de la zona. Sin embargo; Margalef (1983), señala que los ensambles microalgales colonizan sustratos naturales presentando una composición taxonómica y fisiología muy variada, siendo denominadas de manera genérica como *perifiton*. Cabe destacar que, debido a la presencia de un flujo unidireccional ejercido por un cuerpo de agua, la mayor parte de la biota microalgal ha desarrollado adaptaciones que le permiten adherirse a un tipo de sustrato y aprovechar el movimiento del agua para el consumo de nutrientes y CO₂ (Sabater, 2000). De tal manera, que los factores más importantes que regulan la composición y la abundancia del ensamble de microalgas perifíticas en su mayoría son la luz, la temperatura, ciertos organismos como herbívoros, los nutrientes, la corriente y el tipo de sustrato (Allan & Castillo, 2007). Por ende, el tipo de microalgas presentes en un ecosistema fluvial y su concentración proporciona herramientas indispensables para conocer la calidad y para la toma de decisiones en relación al

control ambiental de ciertos lugares y esto ha llevado utilizar a estos microorganismos indicadores biológicos (Margalef, 1951; Roldan & Ramírez, 2008).

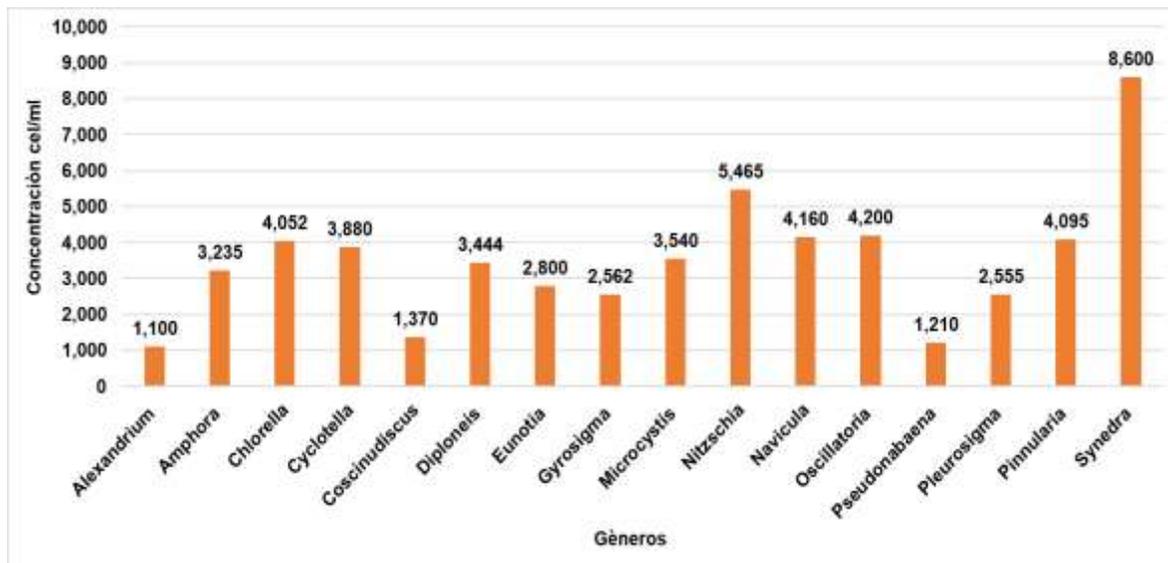


Figura 12. Géneros de microalgas perifíticas encontradas en raíces de *Rhizophora sp* en el Estero Padre Ramos

En la figura 12 se presentan los géneros de microalgas presentes en las muestras fitoperifito en el Estero Padre Ramos, donde predominó el género *Synedra* con 8,600 cel/ml, seguido del género *Nitzschia* con 5,465 cel/ml y en menor cantidad *Pseudonabaena* con 1,210 cel/ml y *Alexandrium* con 1,110 cel/ml.

Estudios realizados por Gómez (2015), las condiciones ecológicas del bosque de manglar durante la época de verano difieren a la reportada durante la época de invierno, esto se observa en la diversidad. Sin embargo, esto se relaciona a las pocas inundaciones que se presentan en el bosque de manglar; siendo menos intensas y en ciertas ocasiones estando limitadas a la influencia de las mareas, y permite que ciertos grupos perifíticos pueden proliferar de manera descontrolada por el clima cálido el cual propicia su crecimiento. Por, sobre todo; en diversos estudios se han observado que las concentraciones perifíticas en verano son mayores por diatomeas respecto a los demás grupos ya que estas soportan mejor las diferentes perturbaciones ambientales presentes en un ecosistema (CHE, 2005).

❖ **Concentración celular en muestras de agua**

Los sistemas acuáticos suelen ser muy dinámicos y normalmente presentan una conexión con corrientes superficiales y profundas. Por lo general, los parámetros fisicoquímicos, juegan un papel principal en la dinámica de los cuerpos de agua, ya que estos permiten la formación de capas estratificadas, que pueden romperse por la surgencia de las mismas aguas, por ende; estos ecosistemas ocupan un papel importante en el desarrollo de la vida, para la determinación del clima y son el motor que transporta el calor y el agua dulce de la atmósfera (Lara, *et al.*, 2008).

Asimismo, es los sistemas estuarinos se presentan varios tipos de ecosistemas que suelen clasificarse según su zona de vida, tal caso, pelágicas asociadas a la superficie de las masas de agua, bentónica asociados a los fondos marinos, manglares, arrecifes de coral, etc. A su vez, se diferencia de las zonas costeras, oceánicas o marinas, esto por la disponibilidad o ausencia de luz en eufótica y afótica, brindando las condiciones favorables para el desarrollo de muchos organismos acuáticos como las algas.

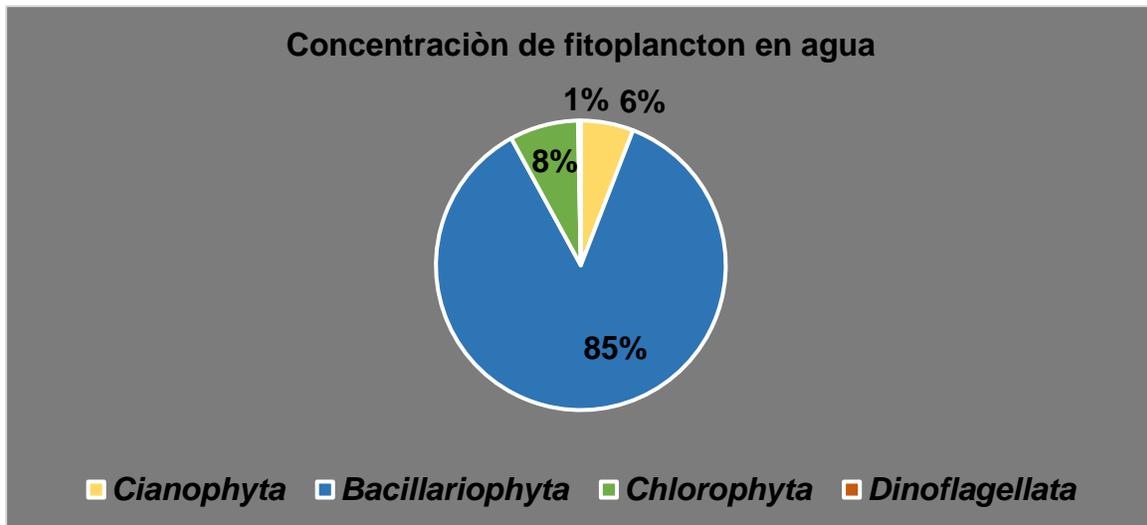


Figura 13. Porcentaje de los diferentes grupos algales presentes en las muestras de agua del Estero Aserradores

En la figura 13, se aprecia en porcentaje respecto a los grupos de microalgas presentes en las muestras de agua del Estero Aserradores, donde en mayor número

predominaron las *Bacillariophytas* en un 85%, seguido de las *Chlorophytas* en un 8%, luego las *Cianophytas* en un 6% y por último los *Dinoflagellata* con un 1%.

Sin embargo, estos diferentes grupos o bien las microalgas del perifiton, en particular, desempeñan un papel fundamental en los ecosistemas acuáticos al ser responsables de la fijación del carbono inorgánico y de la producción de materia orgánica que será utilizada por los organismos consumidores (Roldán & Ramírez, 2008; Razzak, *et al.*, 2017; Wu, *et al.*, 2017).

Así mismo, ayudan en el reciclaje de nutrientes y por sus características ecológicas, son útiles como bioindicadores de la calidad del agua, donde también; Everall, *et al.*, (2017) afirman que el grupo *Bacillariophyta* suele ser en la mayoría de los casos investigativos muy predominantes por su mejor adaptabilidad y resistencia a diversas concentraciones o variantes del clima. Es, por ende; que su presencia convierte a estos organismos junto con las *Chlorophytas* en un vínculo de información entre el estado ecológico del sistema y los disturbios que lo impactan.

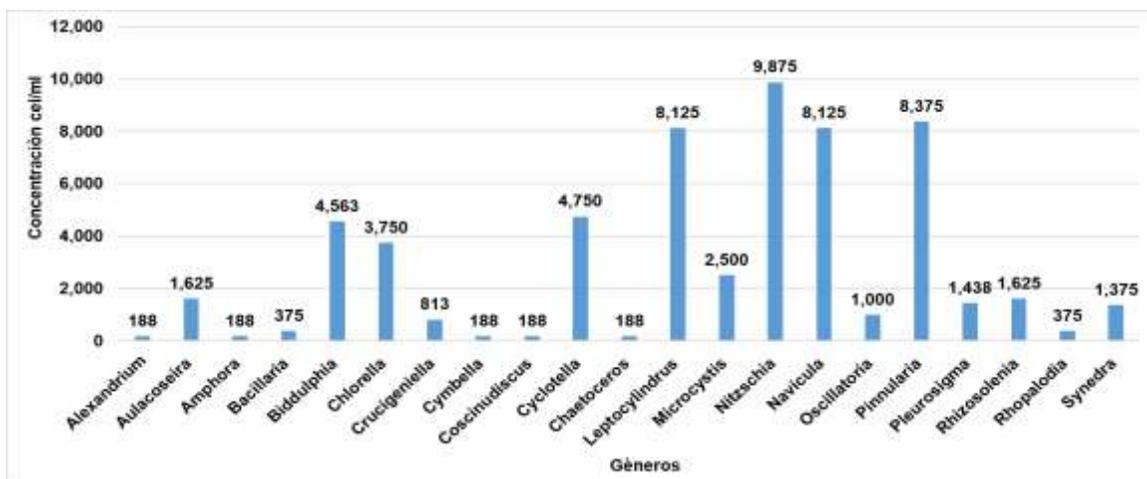


Figura 14. Géneros de microalgas encontrados en las muestras de agua del Estero Aserradores

En la figura 14 se presentan los géneros de microalgas presentes en las muestras de agua en el Estero Aserradores, donde predominó el género *Nitzschia* con 9,875 cel/ml, seguido del género *Leptocylindrus* con 8,125 cel/ml y en menor proporción *Alexandrium*, *Amphora*, *Cymbella*, *Coscinodiscus* y *Chaetoceros*, todos con 188

cel/ml. Investigaciones como estas, hacen necesario priorizar el estudio de estas comunidades biológicas, ya que; dicha información es crucial para entender en alguna medida el impacto sobre los recursos acuáticos, lo cual podría tener implicaciones en el uso adecuado de los recursos hidrológicos y biológicos (Ochoa & Chávez, 2011; Salomón, 2012; Castro – Garzón, *et al.*, 2014; Briceño, 2015).

Cabe destacar, que estos géneros de microalgas indican una no muy buena calidad en el cuerpo de agua, ya que la mayoría suelen presentarse en aguas estancadas o de uso doméstico, como lo es *Chaetoceros*, *Amphora* y en raras ocasiones *Alexandrium*, lo que conlleva a un bajo o alto perjuicio en los niveles de toxicidad a otros organismos incluyendo los seres humanos s (Willis, *et al.*, 2005).

❖ **Concentración celular fitoperifito**

De igual manera, se llevó a cabo un estudio exploratorio sobre microalgas adheridas a raíces de árboles de mangle en el Estero Aserradores, donde; también se logró valorar el grupo más representativo y los géneros, que pueden llegar a encontrarse en dicha zona (Charle, 2002). Por tal caso, Wetzel (1983), señala, que el fitoperifito es de gran relevancia en los ecosistemas acuáticos, caracterizándose por una comunidad compleja de microorganismos adheridos a un sustrato (vivo o muerto, natural o artificial, orgánico o inorgánico) sumergido, y gozando de gran aceptación por la comunidad científica por lo que se mantiene en la actualidad.

Cabe destacar, que el ensamble de las especies en la comunidad perifítica se desarrolla básicamente en tres etapas según Gamboa, *et al.*, (2003); colonización, agrupamiento y crecimiento y por último formación de la matriz extracelular. Donde; la primera etapa se caracteriza por la presencia de algas de menor tamaño; en la segunda etapa se da un crecimiento exponencial de las especies, a su vez algas de mayor tamaño con estructuras de fijación y algas coloniales menores colonizan el sustrato y la tercera etapa, se considera una fase madura en donde predominan diatomeas pedunculadas, cianobacterias y algas verdes (Esteves, 2011).

Sin embargo, Stevenson, *et al.*, (1996) afirman que el proceso de colonización, crecimiento y desarrollo de la comunidad fitoperifítica comienza con especies pioneras, de vida corta y tasas reproductivas altas como; (*Lyngbya*, *Melosira*, *Fragilaria*, etc.), las cuales preparan el ambiente para la llegada de especies intermedias como; (*Cocconeis*, *Nitzschia*, etc.) y termina con la entrada de especies tardías con ciclos de vida más complejos y tasas reproductivas más lentas como; (*Surirella*, *Gomphonema*, *Closterium*, entre otras). Teniendo en cuenta, que las especies pioneras son buenas colonizadoras, ya que presentan un crecimiento rápido y estas preparan el medio para la aparición de especies intermedias y tardías, las cuales pueden crecer y desplazar a las pioneras de su medio acuático.

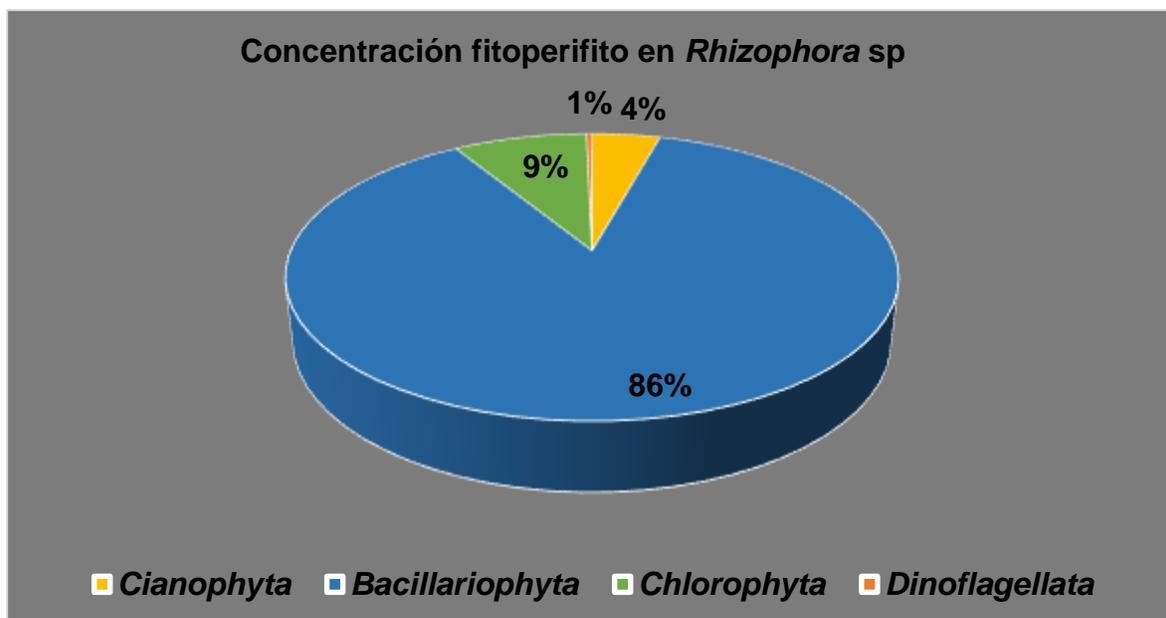


Figura 15. Porcentaje fitoperifito encontrado en raíces de *Rhizophora* sp en el Estero Aserradores

Los resultados en la figura 15, indican que, de los cuatro grupos de microalgas estudiados en las aguas del Estero Aserradores, el grupo de las *Bacillariophytas* con 86% fue quien presentó la mayor concentración de cel/ml, seguido del grupo de las *Chlorophytas* con 9%, luego las *Cyanophytas* con 4% y por último el grupo

Dinoflagellata con 1%. Estos grupos suelen presentarse en grandes proporciones en los cuerpos de agua sobre todo las diatomeas o Bacillariophytas, dadas a su adaptabilidad y resistencia a diversas condiciones ambientales desfavorables, sobre todo por su capa llamada frustula (*Frustulum*), la cual en cierta medida previene la muerte celular de esta, a diferencia de los otros grupos algales (Álvarez, *et al.*, (2010).

por otro lado, estudios realizados por Vera - Parra, *et al.*, (2011) demuestran que consiguientemente los ecosistemas acuáticos suelen ser impactados por actividades como inundaciones, derrames de petróleo, vertimiento de otros residuos entre otros y ellos analizaron el impacto sobre la comunidad fitoperifítica del río Acacias en Colombia, generado por la explotación petrolera durante un periodo lluvioso, donde; sus resultados demuestran reducciones en la abundancia y la riqueza de algas del perifiton, sin embargo notaron que predominaron más géneros de diatomeas o *Bacillariophytas* y cianobacterias o *Cianophytas* en los lugares donde ocurrieron tales vertimientos respecto a los otros grupos de microalgas.

❖ **Identificación y conteo de microalgas perifíticas**

De igual manera, se llevó a cabo, la identificación y recuento celular de microalgas perifíticas o bien adheridas a raíces de bosque de manglar presentes en el Estero Aserradores, valorando también el estado actual de la zona. Sin embargo, Montoya & Aguirre (2013) expresan que los estudios sobre perifiton son escasos en ciertas zonas o países, pero tienen en cuenta que muchas de estas al evaluarse pueden apoyar en países desarrollados con el tratamiento de aguas residuales y el uso de manera sostenible del recurso hídrico.

Además, Salomón (2012) realizó un estudio similar sobre microalgas perifíticas en el río piedemonte del departamento de Casanare en Colombia, donde; abarco los efectos de las actividades mineras sobre el perifiton y valoró los cambios producidos en la comunidad perifítica debidos a la extracción de piedras y ciertos metales pesados y encontró que dominaron las formas filamentosas de cianobacterias o *Cianophytas* y células céntricas de diatomeas o *Bacillariophytas*, puesto que estos

grupos están mejor adaptados a ambientes pobres en nutrientes, con bajas intensidades de luz y en los que ocurre abrasión por el movimiento de los sedimentos, en cambio las Chlorophytas y Dinoflagellata suelen vivir un corto tiempo y en zonas más cálidas, con intensidades de luz.

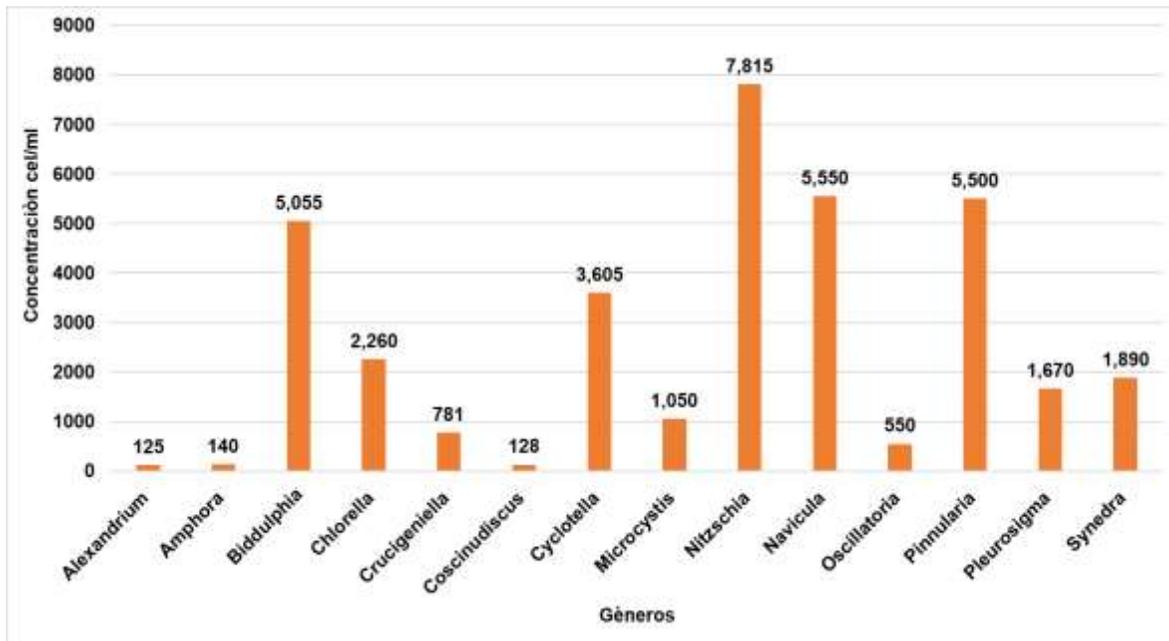


Figura 16. Géneros de microalgas perifíticas encontradas en raíces de *Rhizophora* sp en el Estero Aserradores

En la figura 16 se presentan los géneros de microalgas presentes en las muestras fitoperifito en el Estero Aserradores, donde predominó el género *Nitzschia* con 7,815 cel/ml, seguido de los géneros *Navícula* y *Pinnularia* con 5,550 cel/ml, y en menor cantidad *Coscinudiscus* con 128 cel/ml y *Alexandrium* con 125 cel/ml. Acá, Franco, *et al.*, (2012) describen las comunidades de estas algas perifíticas en varios ecosistemas lóticos, donde la posibilidad de que se presenten es mayor en comparación con los cuerpos lénticos, posiblemente, según los autores, por la predominancia de algunos ser organismos fijadores de nitrógeno en los primeros sustratos adheridos.

En contraste, la composición de fitoperifito puede deberse claramente a que son especies que residen o cohabitan en ambientes oligotrófico y con poca o ninguna contaminación. Sin embargo, Lewis, *et al.*, (2000) sugieren la posibilidad de que las altas concentraciones de ácidos húmicos y fúlvicos u otros nutrientes pueden condicionar la composición algal en diversos cuerpos de agua.

❖ **Análisis sobre diversidad (Shannon) y abundancia (Simpson)**

Se llevó a cabo el análisis de los datos mediante los índices de diversidad de Shannon Wiener y Simpson; donde, Lobo & Kobayasi (1990), señalan que el índice de diversidad de Shannon Wiener engloba tanto la riqueza de especies como sus componentes, este índice es también utilizado en la estimación del nivel de contaminación en el que se encuentren las diferentes masas de aguas, considerado como tal por el impacto que ejerce el ambiente sobre las diferentes especies.

Sin embargo, para la determinación del estado de contaminación se toma en cuenta una escala que va de 0 a 4 bits.ind-1, valores mayores a 3 indican aguas limpias, entre 1 - 3 indican contaminación moderada y valores inferiores a 1 se caracteriza por presentar una fuerte contaminación ((Wilham & Dorris, 1968).

Mientras que Hernández, *et al.*, (2016), afirma que el índice de Simpson, se valora cuanto más cerca de la unidad esté, ya que mayor será la probabilidad de dominancia de una sola especie, es decir; cuanto más cerca del 1 se encuentre, mayor será la dominancia y cuando se encuentre lejos del 0 se presentará una menor dominancia.

Tabla 3. Índices de diversidad y abundancia, Shannon Wiener y Simpson con relación a las microalgas en los Esteros Padre Ramos y Aserradores

Índices	Estero Padre Ramos	Estero Aserradores
Shannon H	2.621	2.832
Simpson indx	0.916	0.932

En la tabla 3 se muestra la diversidad y abundancia de los géneros de microalgas, donde se obtuvo una baja diversidad en ambos Esteros, en Padre Ramos con un valor de 2.621 y en Aserradores un valor de 2.832 a través del índice de Shannon Wiener. Sin embargo, la dominancia presente fue alta ya que los rangos obtenidos mediante el índice de Simpson fueron; para Padre Ramos un valor de 0.916 y para Aserradores un valor de 0.932, donde se puede apreciar que ambos Esteros coincidieron en cuanto a su diversidad y abundancia poblacional.

De tal manera, que la riqueza específica de los grupos estudiados, tal como se indica a continuación: *Cyanophyta*, *Bacillariophyta*, *Chlorophyta*, y *Dinoflagellata*, se asimila a investigaciones realizadas por Iannacone, *et al.*, (2013), sobre todo en un estudio de diversidad del plancton como indicador alternativo de calidad del agua. Donde, a través del índice de Shannon Wiener la división *Bacillariophyta* presentó mayor riqueza específica, patrón presentado también en otras investigaciones realizadas en ambientes lóticos por Franco, *et al.*, (2003) en Perú; Martínez, *et al.*, (2007) en Argentina; Silva, *et al.*, (2008) en Costa Rica; Ribeiro, *et al.*, (2009) en Brasil & Moreno, *et al.*, (2008) en México, lo que indica ser el grupo o taxón más diverso y representativo a nivel mundial.

Es, por ende, que según López & Altamirano (2011), las diatomeas o *Bacillariophytas* constituyen uno de los grupos taxonómicos más abundantes en los sistemas acuáticos a nivel mundial, debido a que muchas de estas especies son cosmopolitas y capaces de adaptarse a cualquier medio en comparación a las otras especies de los demás grupos. De tal manera, que en ríos suponen alrededor del 80% - 90% de la comunidad de microorganismos, por lo que, ya existen muchas especies con distintas sensibilidades frente a la contaminación marina.

En cuanto al índice de Simpson, en ecosistemas acuáticos, es importante el conocimiento de la diversidad de tamaños de las asociaciones fitoplanctónicas relacionadas a una biomasa total, ya que el tamaño celular dominante de estos organismos tiene fuertes implicancias en el tipo de redes tróficas y en una magnitud sobre los flujos de energía. Así, en ambientes con dominancia de microalgas, cobran importancia las redes tróficas de tipo loop o bucle microbiano, mientras que en ambientes con dominancia por microalgas de gran tamaño prevalecen las cadenas tróficas clásicas (Legendre & Féve, 1999; Legendre, 1990; Cushing, 1989).

VI - CONCLUSIONES

- La relación de los parámetros fisicoquímicos respecto a la distribución de los diversos grupos de microalgas, se mantuvieron dentro del rango óptimo en ambas zonas, donde se logró observar que la mayor relación entre el pH, temperatura, salinidad, sólidos totales disueltos, oxígeno disuelto y turbidez junto con la concentración de cel/ml la presentaron las diatomeas o *Bacillariophytas*, en paralelo con los otros grupos fitoplanctónicos.
- El estudio demuestra que se obtuvo una concentración total de 27 géneros agrupados en 4 divisiones, siendo el grupo de las *Bacillariophytas* el más representativo para ambas zonas; con un porcentaje de 64% para el Estero Padre Ramos y un porcentaje de 85% para el Estero Aserradores en cuanto a las muestras de agua. Sin embargo, en las muestras de raíz; el Estero Padre Ramos revelo un porcentaje de 75% siempre en las *Bacillariophytas* a diferencia del Estero Aserradores con un porcentaje de 86%, también para el grupo de las *Bacillariophytas*.
- Los índices de diversidad, demostraron que ambos Esteros coincidieron en cuanto a su diversidad y abundancia poblacional; donde se reflejó una diversidad baja de 2.621 para el Estero Padre Ramos y de igual manera, 2.832 para el Estero Aserradores; aunque presentaron una abundancia alta con un valor de 0.932 el Estero Aserradores y también 0.916 el Estero Padre Ramos.

VII - RECOMENDACIONES

- ❖ Realizar monitoreos sobre fitoplancton y otros indicadores biológicos en época lluviosa para comparar ambas zonas en cuanto a las dos estaciones y poder determinar el estado de conservación teniendo información base para futuras investigaciones.
- ❖ Establecer parcelas dentro del bosque de manglar en ambos Esteros y generar un monitoreo constante de microalgas adheridas a raíces de bosque de manglar.
- ❖ Llevar a cabo extracción de clorofila (a) para de esta manera conocer la biomasa algal presente en ambos Esteros.
- ❖ Brindar información más actualizada a la población del Estero Padre Ramos y el Estero Aserradores sobre otros diferentes grupos algales que se presenten en estudios realizados a futuro en cuanto a sus causas en los ecosistemas marinos, problemas de salud o beneficios.

VIII - BIBLIOGRAFÍA

- Achá D, & Fontúrbel F. (2003). *La diversidad de una Comunidad, ¿Está controlada por Top-Down, Bottom-Up o una combinación de estos?*, revista de *Biología. Org.*, 13, 1-16.

- Allan D, & Castillo M. (2007). *Ecología de corrientes Estructura y función de las aguas corrientes (2da edición)*. Holanda: Springer.

- Álvarez C, Cantor C, Corona C, Giraldo L, González A & Martínez A. (2010). *Análisis limnológico de siete cuerpos de agua localizados entre la zona de alta montaña desde Bogotá hasta la región orinocense de Villavicencio, Colombia (Informe Asignatura Limnología – Pregrado Biología)*. Bogotá: Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia.

- Abosedo T. e Ikegwu D. (2012). *Patrón sucesional de fitoplancton (> 55 µm) en la laguna de Lekki, Nigeria*. Revista de Biología Tropical.

- Anónimo, (1992). *Panel Intergubernamental COI-FAO sobre Floraciones de Algas Nocivas (COI-FAO/IPHABI/ 3), París, 23-25 de junio de 1992*. Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la UNESCO. Informes de los Órganos Rectores y de los Órganos Subsidiarios Principales, 62 págs.

- Biosfera. Consultoría ambiental. (2013). *Las Diatomeas como organismos indicadores de la calidad de las aguas*. <http://www.biosfera.es/las-diatomeascomo-organismos-indicadores-de-la-calidad-de-las-agua/>.

- BEN - AMOTZ, A. (1987). *Efecto de la irradiancia y deficiencia de nutrientes en la composición química de Dunaliella bardawil (Volvocales, Chlorophyta)*. J. Plant Physiol. 131:479-487.

- Baker & Kromerbaker. (1979). *La producción en los ríos*. FAO, Pesca Fluvial.

- Briceño G. (2015). *Evolución de la integridad estructural de ecosistemas lóticos del piedemonte llanero frente a la intervención antrópica*. Acta biol Colomb. 20(2):133-144. Doi: 10.15446/abc. v20n2.42307.

- Bernal - Villanueva R. (2013). *Análisis del caudal del río Osmore en tiempos de estiaje y avenida, como alternativa de solución al alto contenido de arsénico y boro de la fuente de abastecimiento de Locumba Ite, provincia de Ilo 2012 - 2013*. Ilo, Moquegua, Perú.

- Bold, H. C. & Wynne, M. J. (1985). *Introducción a las Algas: Estructura y Reproducción, y Edición*. Prentice-Hall, Inc, Toronto, 445(5), 12. Disponible en: <http://www.elsevier.es/es-revista-mexicana-biodiversidad-91-articulo-biodiversidad-del-fitoplancton-aguas-continentales-90372260>.

- Bitog JP., Lee IB., Shin MH., Hong SW., Hwang HS., Seo IH., Yoo JI., Kwon KS., Kim YH & Han JW (2009). *Simulación numérica de una serie de vallas en terrenos ganados al mar de Saemangeum*. Ambiente atmosférico 43(30):4612-4621.

- Barsanti, L. & Gualtieri, P. (2014). *Algas: anatomía, bioquímica y biotecnología*. Boca Raton, Florida: Taylor y Francis Group.

- Branco, S. M. (1978). *Hidrología aplicada a ingeniería sanitaria*. 2 ed. Sao Paulo, Brazil: CE-TESEB. 42 p. Disponible en: <http://www.ambiente.sp.gov.br/pactodasaguas/files/2011/05/livro-Fundamentos-da-Gestao-da-agua-sma.pdf>

- Brenes, C. (2001). *Fundamentos de oceanografía descriptiva: aplicaciones al istmo centroamericano*. Nicaragua: DIPAL.

- Behrens, P. (1999). *Desarrollos comerciales en biotecnología de microalgas*. J. Phycol. 35:215-226.

- Borowitzka, M. (1988). *Grasas, aceites e hidrocarburos*. En *Biotecnología Microalgal*. Cambridg. Disponible en:

http://www.ceid.edu.ar/biblioteca/biocombustibles/isabel_albarracin_microalgas_potenciales_productoras.pdf.

- Baev, H., Penev L. (1995). *Los índices y su clasificación*. Pdf.
- Barrera J.E. (1998). *Evaluación Potencial Productivo del Manglar del Estero Canta Gallo, Estero Real*. Tesis Doctoral.
- Castro - Garzón H, Rubio - Cruz MA &Rodríguez-Miranda JP. (2014). *Análisis y perspectivas de las coberturas de acueducto y alcantarillado en el Departamento del Meta*. Orinoquia. 18(2):122-129.
- Comas A, Moreira A, & Uriza S. (2006). *Informe Técnico Parcial*. Proyecto Territorial: Cianoprocaritas (Cianobacterias, Cianofíceas) y microalgas como indicadores de la calidad del agua en el Embalse Paso Bonito, Cienfuegos. Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos.
- Comas, A. (1992). *Taxonomische Beiträge zur Grünalgenflora (Chlorellales) Kubas (Descripción de una nueva especie de Eremosphaera (E. antillana Comas) del metafitón del embalse Paso Bonito)*. Estudios algológicos 65, 11-21.
- Carmichael, WW (1997). *Las Cianotoxinas*. Investigación botánica avanzada, 27, 211-226.
- Carpanter, S. y Cottingham, K. (1997). *Resiliencia y Restauración de Lagos*. Conservación Ecología, 1, 2.
- Chiu, S. Y., Kao, C. Y., Tsai, M. T., Ong, S. C., Chen, C. H. y Lin, C. S. (2009). *Acumulación de lípidos y utilización de CO₂ de Nannochloropsis oculata en respuesta a la aireación de CO₂*. Tecnología de biorrecursos, 100(2), 833-838.
- Cuenca, Z., Duque, M & Solana, V. (2017). *Microalgas adheridas a raíces de Rhizophora mangle*. Espirales revista multidisciplinaria de investigación. 1 (9). <https://doi.org/10.31876/re.v1i9.335>.

- Cloern J & Dufford P. (2005). *Cultivo de microalgas en una zona de aguas residuales dominada por efluentes de fábricas de alfombras para aplicaciones de biocombustibles*. Tecnología de biorecursos; 101:3097–3105.

- Cushing S. (1989). *Tamaño del fitoplancton*. En Productividad primaria y biogeoquímica ciclos en el mar. Falkowsky, P. G. y A. D. Woodhead (eds). Plenum Press, Nueva York.

- Claude, Z. (2018). *Producción y purificación parcial de ácido gamma-linolénico y algunos pigmentos a partir de Spirulina platensis*. J. appl. Phycol. 5: 109-115.

- Confederación Hidrográfica del Hebro. (2005). *Rios- indicadores biológicos: Diatomeas*. Obtenido de: <http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=27971&idMenu=4101>.

Charle L. (2002). *Eutrofización abundancia que mata*. Biblioteca umar. <http://bibliotecas.umar.mx/publicaciones/eutrofizacion.pdf>.

- Dolbeth, M., Pardal, M. A., Lillebo, A. I., Azeiteiro, U. y Marques, J. C. (2003). *Efectos a corto y largo plazo de la eutrofización en la producción secundaria de una comunidad macrobentónica intermareal*. Biología Marina, 143(6), 1229-1238. Höfle, M. G., Haas, H. y Dominik, K. (1999). *Dinámica estacional de la estructura de la comunidad de bacterioplancton en un lago eutrófico determinada por análisis de ARNr 5S*. Microbiología aplicada y ambiental, 65(7), 3164-3174. Western, D. (2001). *Ecosistemas modificados por humanos y evolución futura*. PNAS, 98, 5458-5465.

- Dalth, c. m., s. Agustí y d. Canfield. (1989). *Patrones en la estructura de la comunidad de fitoplancton*. En los lagos de Florida. Limnol. Oceanogr., 37(1): 155-161.

- Day, J. W. Jr., Crump, B. C. Kemp, W. M., & Yáñez-Arancibia, A. (2013). *Cinco vistas del estuario generalizado. Ecología Estuarina (pp. 1-6)*. 2 edición Nueva Jersey: Wiley-Blackwell. Disponible en: <https://books.google.com.ni/books?id=xvuHTzOwZ9AC&printsec=frontco->

ver&dq=Estuane+Ecology&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjB_6uY2qbXAhVLSyYKHa
c-NCgEQ6AEIJDA#v=onepage&q=Estuarine%20Ecology&f=false.

- Directa Marco del Agua., DMA. (2005). *Evaluación de la eutrofización del Embalse de Salto Grande. Análisis de las relaciones entre los parámetros físico-químicos y biológicos*. Informe Final de la primera etapa. CTM-SG/Universidad de la República–Facultad de Ciencias-Sección Limnología.

- De La Hoz Arizozabal, M. (2004). *Dinámica del fitoplancton de la Cianega Grande de Santa Marta, Caribe Colombiano*. Scielo.33 (1).
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0122-97612004000100009.

- Everall NC, Johnson MF, Wood P, Farmer A, Wilby RL & Measham N. (2017). *Comparabilidad de los índices de biomonitorio de macroinvertebrados de la salud del río derivados de metodologías semicuantitativas y cuantitativas*. Ecol Indic. 78:437– 448. Doi: 10.1016/j.ecolind.2017.03.040

- Esteves, F. (2011). *Fundamentos de Limnología*. 3rd edición. Editora - Intercadencia. Rio de Janeiro. 826 p.

- Flores, A. (2015). *Los recuentos celulares en microalgas*. PDF.

- Fernández N, Solano F. (2005). *Índices de Calidad y de contaminación del Agua*. Universidad de Pamplona.

FAO. (2010). *Implementando un enfoque ecosistémico a la pesca y la acuicultura (EEP/EEA) en el Estero Real Nicaragua*.

- Feinsinger P. (2004). *El diseño de estudios de Campo para la conservación de la Biodiversidad*. Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. Editorial FAN. 242 p.

- Fontúrbel, F. (2004). *Modelo operacional ambiental y aspectos sociales relevantes del proceso de eutrofización localizada en cuatro estaciones experimentales del lago Titikaka*. Publicaciones Integrales, La Paz. 241 p.

- Fretwell, S. (1977). *La regulación de las comunidades vegetales por las cadenas alimentarias que las explotan*. Perspectivas en biología y medicina, 20, 169-185. Fretwell, S. (1987). *Dinámica de la cadena alimentaria: ¿la teoría central de la ecología?* Oikos, 50, 291-301. Mengue, B.A. (1992). *Normativa comunitaria: ¿en qué condiciones son importantes los factores ascendentes en las costas rocosas?* Ecología, 73, 755-765. Mengue, B.A. (2000). *Regulación comunitaria de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba en hábitats marinos*. Revista de biología y ecología marinas, 250, 257-289.

- Franco A, González JD, Montaña S, Ulloa L, Martelo N & Martínez D. (2012). *Estudio regional de los ecosistemas acuáticos y terrestres de la región de Carimagua, Llanos Orientales, Meta, Colombia (Informe Asignatura Ecología Regional Continental – Pregrado Biología)*. Bogotá: Departamento de Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de Colombia; 235 p.

- Falkowski U & Oliver S. (2007). *Métodos de colecta, identificación y análisis de comunidades biológicas: plancton, perifiton y bentos en aguas continentales del Perú*. Lima, Perú: Zona Comunicaciones. S.A.C.

- Franco J, Sulca L & Cáceres C. (2003). *Fitoplancton del río altoandino "Kaño" - Tacna (Cordillera suroccidental del Perú)*. Ciencia & Desarrollo. 7: 49-55.

- Gamboa F, Mayorca O, Gómez M. (2003). *Películas microbianas*. Un mundo microscópico lleno de secretos. Innovación y ciencia. 21:50-55. Doi: doi: 10.1016/S0304- 3770(97)00073-9.

- Guzmán Del Proo, S. (1993). *Desarrollo y perspectivas de la explotación de algas marinas en México*. Ciencia Pesquera 9: 129-136.

- Guzmán G & Orbe L. (2002). *Evaluación espacio temporal de la calidad del agua del Río San Pedro en el estado de aguas calientes, México*. Rev. Int. Contam. Ambie. 27.

- González, C., Carrillo, S., Pérez-Gil, F., Manzano, R. y Rosales, E. (1991). *Sargazo Gigante (Macrocystis pyrifera): recurso potencial para la alimentación animal*. Ciencia agrícola. Rev. Cubana. 25-79.
- Guschina, I. y Hardwood, L. (2006). *Lípidos y metabolismo de lípidos en algas eucariotas*. Progreso en la Investigación de Lípidos, 45:160-186.
- González, E.J.; Ortaz, M.; Peña Herrera, C.; Montes, E. y Matos, M.L. (2003). *Fitoplancton de cinco embalses de Venezuela con diferentes estados tróficos*. *Limnetica*, 22 (1-2), 15-35.
- Graham, L. E., J. M. Graham y L. W. Wilcox. (2016). *Algas. Educación de personas Inc., San Francisco*. 286 págs.
- González, M. (2000). *Alternativas en el Cultivo de Microalgas* (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Garcés, G. Rodríguez, A. Rizo, P. (1998). *Evaluación espacio temporal de la calidad del agua del Río San Pedro en el estado de aguas calientes, México*. Rev. Int. Contam. Ambie. 27.
- García S, Arguello A & Para, R. (2019). *Factores que influyen en el pH del agua mediante la aplicación de modelos de regresión lineal*. *Innova research journal*. 4. 59-71. <httpS://doi.org/10.33890/innova.v4.n2.2019.909>.
- Gómez, F. (2015). *Diversidad y biogeografía de dinoflagelados marinos: notas en la taxonomía de algunos de los grupos menos conocidos*. (Tesis doctoral, Universidad Complutense de Madrid). <https://eprints.ucm.es/id/eprint/54175/1/5325629977.pdf>.
- Hernández R, Fernández C & Baptista M. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw - HILL/INTERAMERICANA ED, S.A. DE C.V.
- Hernández I, Marín M, Henríquez L, & Garay M. (2016). *La Variación espacial y temporal de la diversidad y abundancia del fitoplancton del lago de Yojoa*

en un año hidrológico 2014-2015. Revista Ciencia Y Tecnología, (19), 40-77.
<https://doi.org/10.5377/rct.v0i19.4274>.

- Hasle G, R. & Syvertsen, E.E. (1996). *Diatomeas marinas*. En C Tomás. (Ed.), Identificación de diatomeas marinas y dinoflagelados (págs. 5-385). San Diego: Academic Press.

- Helm, M.M., Bourne, N., Lovatelli, A. (comp. /Ed.). (2006). *Cultivo de bivalvos en criadero: Manual práctico* (FAO Documento de Pesca 471). Roma: FAO. 182 p. Disponible en: www.fao.org/3/a-y5720s.pdf.

- Höfle M., Haas H. & Dominik K. (1999). *Dinámica estacional de la estructura de la comunidad de bacterioplancton en un lago eutrófico determinada por análisis de ARNr 5S*. Microbiología aplicada y ambiental, 65(7), 3164-3174.

- Hoppe H, Leving T & Tanaka Y. (1979). *Las algas marinas en la ciencia farmacéutica*. Berlín: Walter de Gruyter and Co. Chapman, V. y Chapman, D. (1980). *Las algas y sus usos*. Chapman y Hall. Londres. 3a. 334 págs. Castro, R. (1997). *Actividad antibacteriana de Sargassumsinkola (Sarsassaceae, Phaeophytia) v Laurencia johnstonii (Rhodomelaceae, Rhodophyta) de la Bahía de La Paz, B.C.S.* Tesis de Maestría, CICIMAR, I.P.N. La Paz, B.C.S., México. 64.

- Karenia A, Ruffell I, Pratt S & Lant, P. (2013). *Hidrólisis térmica a alta presión como pretratamiento para aumentar el rendimiento de metano durante la digestión anaeróbica de microalgas*. Biorecurso Tecnología, 131, 128–133.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.12.125>.

- Kiely G & Veza J. (1999). *Ingeniería ambiental: fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*. Mc – Graw-Hill interamericana de España.

- Kilham, P. y R. E. Hecky. 1988. *Ecología comparada de especies marinas y fitoplancton de agua dulce*. Limnología y Oceanografía 33:776-795.

- Lara - Villa, M., Moreno - Ruiz, J. y Amaro - Mauricio, E. (1996). *Fitoplancton: conceptos básicos y técnicas de laboratorio* (pp. 227). México: Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa.

- Lobo E & Kobayasi H. (1990). *Índice de diversidad de Shannon aplicado a algunos conjuntos de diatomeas de agua dulce en el sistema del río Sakawa (Kanagawa pref Japón) y su uso como indicador de la calidad del agua*. Jpn j fical (sonui). 38.

- Lannacone J, Alvariño L, Jiménez R. & Argota G. (2003). *Diversidad del plancton y macrozoobentos como indicador de la calidad del agua del río Lurin*. Biología.

- Lee, Robert E. (2008). *Ficología*. Prensa de la Universidad de Cambridge. 547 páginas. 4 edición: 2008.

- Lavens, R; Sorgeloos, A. (1996). *El pH en cultivos de microalgas*. Su importancia. Pdf.

- Limón K, Rayo O & López L. (1986). *Crecimiento y reproducción algal, junto con tres especies de cladóceros de un pequeño humedal en el sureste de EE. UU*. Freshwater Biology 48: 589-603.

Lind M, Prado S & Calero E. (1992). *Las microalgas como alimento vivo y alternativa en la dieta de larvas y juveniles de especies de peces*. Avances en Investigación Agropecuaria 14(3):63- 72.

- Lewis WM, Hamilton SK, Lasi MA, Rodríguez M & Saunders III, JF. (2000). *Determinismo ecológico en la llanura aluvial del Orinoco*. Biociencia.50 (8):681-692. Doi:10.1641/0006-3568 (2000)050[0681: EDOTOF] 2.0.CO; 2.

- Lannacone J, Alvariño L, Jiménez - Reyes R & Argota G. (2013). *Diversidad del plancton y macrozoobentos como indicador alternativo de calidad de agua del río Lurín en el distrito de Cieneguilla, Lima-Perú*. The Biologist (Lima). 11: 79-95.

- López, S. y Catzim, L. (2010). *Capítulo 4: Microalgas Dulceacuícolas, Encontrado en "Biodiversidad y Desarrollo Humano en Yucatán", Centro de Investigación Científica de Yucatán, PPD-FMAM, Conabio, Seduma. México, pp. 165-166.*

- Lara J, Arena F, Bazan - Guzmán, Díaz – Castañeda & Escobar Briones (2008). *Los ecosistemas marinos: Conocimiento actual de la biodiversidad*. Obtenido de http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/pdf/CapNatMex/Voll/I05_Losecosistemasmarinos.pdf.

- Legendre K. (1990). *El efecto de la mezcla de la columna de agua*. Sucesión, diversidad y similitud del fitoplancton. *Diario de Plankton Resemch*. t927 - t951.

- Legendre L & Féve T. (1999). *Diversidad citomérica en ultraplancton marino*. *Limnol. Oceanogr.* 42(5): 874-880.

- Montoya M & Aguirre N. (2013). *Estado del arte del conocimiento sobre perifiton en Colombia*. *Rev Gest Amb.* 16(3):91- 117.

- Moreno, J. L., Licea, S. y Santoyo, H. (1996). *Diatomeas del Golfo de California Sur (pp. 272)*. México: Universidad Autónoma de Baja California Sur.

- Moreno, C. (2001). *Métodos para medir la biodiversidad*. Zaragoza, España. M&T– Manuales y Tesis SEA. 84 p.

- Moreno L, Tapia M, González C & Figueroa G. (2008). *Fitoplancton del río Tehuantepec, Oaxaca, México, y algunas relaciones biogeográficas*. *Revista de biología tropical*. 56: 27-54.

- Margalef, R. (1983). *Limnología*. 1ra edición. Omega. Barcelona. 1010 p.

- Margalef, R. (1951). *Diversidad de especies en las comunidades naturales*, *inst. Biol.APPL* 9:15-27.

- Mishra BP, OP Tripathi, RS Tripathi, HN Pandey. (2004). *Efectos de la perturbación antropogénica sobre la diversidad vegetal y la comunidad estructura de un bosque sagrado en Meghalaya, noreste India*. *Biodiversidad y Conservación* 13(2): 421-436.

- Moore S, Trainer V, Mantua N, Parker M, Laws E, Backer L & Fleming L. (2008). *Impactos de la variabilidad climática y el cambio climático futuro en*

floraciones de algas y salud humana. Medio ambiente Salud. 7 (suplemento 2): S4
doi: 10.1186/1476-069X-7-S2-S4.

- MAIZCO. Ivanova G. Liza, (1997). *Diagnóstico Ecológico de las Zonas Costeras de Nicaragua*. Programa Integral de las Zonas Costeras. MARENA.

- MARENA. (2001). *Plan de manejo del área protegida reserva natural delta del estero real*. Dirección General de Áreas Protegidas.

- Marrugan, A. (1998). *Los índices de biodiversidad*. Pdf.

- Martín, B. (2013). *Evaluación de riesgos de floraciones de algas dominadas por cianobacterias en un embalse del norte de Luisiana*. Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery 9: 103–114.

- Martínez - Lozano, S. (1991). *Algas marinas de aplicación farmacéutica*. J. *Publicaciones Biológicas - Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autonomía de Nuevo León*, 5, 81-88.

- Martínez L, Luque E, Lombardo D & Bruno E. (2007). *Potamoplancton en la cuenca media del río Cuarto (Córdoba, Argentina)*. Limnetica. 26: 25-38.

- Margalef, R. (1991). *Limnología*. Ed. Omega. PDF.

- McAlice, BJ (1971). *Muestreo de fitoplancton con celda Sedgwick-Rafter*. Limnol. Oceanog. 16:19'28.

- Martínez N., Zapata p. (1997). *Autohidrólisis y efecto del pretratamiento alcalino sobre Chlorella vulgaris y Scenedesmus sp.* Producción de metano. Energía, 78, 48–52. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.05.052>.

- Miao, X. y Wu, Q. (2006). *Producción de biodiesel a partir de aceite de microalgas heterótrofas*. Bioresource Technology, Volumen 97, Número 6. Pp 841-846.

- Marciales - Caro L, Díaz-Olarte J, Cruz- Casallas P & Medina - Robles V. (2012). *Evaluación de la composición del plancton en cuatro lagunas de rebalse del río Metica (Puerto López, Meta, Colombia)*. Orinoquia. 16(2):203-216.

- Morales S & Salazar M. (2012). *Diatomeas perifíticas de lagos con diferente estado trófico en el departamento del Cauca (Colombia)*. Revista luna azul. (35). 10-27 58.

- Ott, W (1970). *Índices Ambientales, teoría y práctica*. A Science, Ann Arbor, Michigan.

- Olgún, E. (1984). *Biomasa de microalgas como fuente de productos químicos, combustibles y proteínas*. En la sexta Conferencia Australiana de Biotecnología. Universidad o Queensland, St. Lucia Brisbane. Behrens, P. (1999). *Desarrollos comerciales en biotecnología de microalgas*, *J. Phycol.* 35:215-226.

- Ochoa, A. (2014). *Ecología del fitoplancton del Bajo Paraná Río (Argentina)*. Arco. Hidrobiol. Suplemento, 115/Grandes Ríos, 11 (1): 75-89.

- Orozco C, Pérez A, Gonzales M, Rodríguez F & Alfayate J. (2005). *Contaminación Ambiental. Una visión desde la Química*. 3ra edición, Thomson Editoriales España - Paraninfo, S. A.

- Ochoa M & Chávez L. (2011). *Evaluación de la sostenibilidad en los cultivos de palma africana en el Departamento del Meta*. Contribuciones a las Ciencias Sociales. Disponible en: <http://www.eumed.net/rev/cccss/13/oach.html>.

- Oviedo, R. (2019). *Caracterización diatomológica en tres cuerpos de agua de los humedales de Jilotepec - Ixtlahuaca, Estado de México*. Hidrobiológica 15:1-26.

- Peet H. (1974). *Clasificación de los índices de biodiversidad*. Pdf.

- Platt M, Mares J, Kopp R, Hlavkova J, Navratil S & Adamovsky O. (2008). *Acumulación de Microcistinas en Tilapia del Nilo, Oreochromis niloticus L., y Efectos de una Floración de Cianobacterias Complejas en la Calidad Dietética de los Músculos*. República Checa.

- Pritchard D. (1967). *¿Qué es un Estuario?; ¿Punto de vista física?*, Instituto de la Bahía de Chesapeake. La Universidad Johns Hopkins, Baltimore Maryland. Asociación Americana Avanzado Ciencias. 83: 3-5.

- Prieto, M., Mogollón, M., Castro, A. y Sierra, L. (2005). *Efecto del medio y condiciones de cultivos en la reproducción de tres diatomeas marinas con potencial acuícola*, Revista "MVZ. Córdoba", Vol.10, n, 1, pp. 544-554.

- Peralta, M. (2000). *Isla Juan Venado tesoro ecológico*. Recuperado de: <http://www.man-fut.org/leon/venado.html>.

- Palmer, C. M. y Maloney, T. E. (1954). *Una nueva diapositiva de conteo para nanoplancton*. Servicio de Salud Pública, Centro de Salud Ambiental. Limnol. Oceanogr. Esp. Publ. 2.

- Prieto, M., Mogollón, M., Castro, A. y Sierra, L. (2005). *Efecto del medio y condiciones de cultivos en la reproducción de tres diatomeas marinas con potencial acuícola*. Revista "MVZ. Córdoba", Vol.10, n, 1, pp. 544-554.

- Pearson, H.W., Mara, D. & Bartone, C.R. (1987). *Pautas para la evaluación mínima del desempeño de estanques de estabilización de desechos a gran escala*. Investigación del agua, 21(9), 1067-1075.

- Reynolds S. (1984). *La ecología del fitoplancton de agua dulce*. Prensa de la Universidad de Cambridge, Cambridge. 384 pág.

- Roldán G & Ramírez J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical*. 2 ed. Medellín: Editorial Universidad de Antioquia. 440 p.

- Roldán G. (2002). *Fundamentos de Limnología Neotropical*. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. 259 p.

- Romo A. (2002). *Manual para el cultivo de microalgas, Memoria Técnicas para un Trabajo Profesional. (Tesis Pregrado)*. Universidad Autónoma de Baja California sur Área Interdisciplinaria de Ciencias del Mar. Departamento de Biología Marina. 50p.

- Ruiz A, (2011). *Puesta en marcha de un cultivo de microalgas para la eliminación de nutrientes de un agua residual urbana previamente tratada anaeróbicamente*. (Tesis de Maestría). Universidad Politécnica de Valencia. España, 96p.

- Robledo D. (1990). *Las Macroalgas marinas un recurso desconocido*. ICYT. 12(169): 3-8.
- Rodríguez M. (2022). *Aplicación e importancia de las microalgas en el tratamiento de aguas residuales*. Contactos 59: 64-70.
- Richmond A. (2004). *Manual de Cultivo de Microalgas: Biotecnología y Ficología Aplicada*. Primera edición. Estados Unidos: Blackwell Publishing.
- Ribeiro D, Alves F, Moreno da Silva A & Santos R. (2009). *Composição e distribuição do microfitoplâncton do rio Guamá no trecho entre Belém e São Miguel do Guamá, Pará, Brasil*. *Q*. 4(3): 341-351.
- Robert A. (2016). *Una aproximación al fenómeno de sucesión fitoplanctónica del embalse Ignacio Allende, Guanajuato, por métodos multivariados*. *Zoología Informa* 32:5-17.
- Razzak S, Alia S, Hossaina M & de Lasa H. (2017). *Fijación biológica de CO2 con producción de microalgas en aguas residuales – Una revisión*. *Renovar Sust Energ Rev*. 76:379-390. Doi: 10.1016/j. ser.02.038.
- Roset J, Aguayo S, Muñoz M. (2001). *Detección de cianobacterias y sus toxinas. Una revisión*. *Rev. Toxicol.* 18. (2). <https://pesquisa.bvsalud.org/porta1/resource/pt/ibc-3108>.
- Salomón, S. (2012). *Efecto de la extracción de piedra sobre la comunidad perifítica en ríos del piedemonte llanero colombiano (tesis de pregrado)*. Bogotá: Facultad de Estudios Ambientales y Rurales, Pontificia Universidad Javeriana. 63 p.
- Stevenson, R., Rojas, J., Munguía, L. (1996). *Una introducción a la ecología de las algas en hábitats bentónicos de agua dulce*. En R. J. Stevenson, M. L. Bothwell & R. L. Lowe (Eds). *Ecología de algas: ecosistemas bentónicos de agua dulce*. San Diego, CA, EE. UU.: Academic Press: págs. 03–30.
- Stevenson R, Bothwell M & Lowe L. (1996). *Ecología de las algas: ecosistemas bentónicos de agua dulce*. Prensa Académica. EE.UU. 788 pág.

- Silva M, Sili C & Torzillo G. (2008). *Cyanoprocaryota y microalgas (Chlorophyceae y Bacillariophyceae) bentónicas dominantes en ríos de Costa Rica*. Revista de biología tropical. 56: 221-235.
- Stuardo R & Valdovinos L. (1981). *Evaluación de parámetros físicos, químicos y biológicos*. Indicadores del estado trófico del Lago de Yojoa, Honduras. Tesis de máster Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Suiza.
- Smith R & Smith T. (2001). *Ecología*. Addison Wesley, Madrid.639 pág.
- Serfling R. (1949). *Estimación cuantitativa del plancton a partir de muestras pequeñas Montajes de células Sedgwick Rafter de muestras concentradas*. Trans. Amer. Micr. 68: 185-199.
- Sabater S. (2000). *Comunidades de diatomeas como indicadores de estrés ambiental en el río Guadiamar. España, tras un importante vertido de relaves mineros*. Journal of Applied Phycology1 2: 113-1242, 000.
- Travieso L. & Benítez F. (1998). *Cultivo de Arthrospiras: del Laboratorio a Planta Piloto*. Curso: Tecnología y aprovechamiento del cultivo heterotrófico de microalgas. Centro de Investigaciones Pesqueras. La Habana Cuba.
- Terrel C & Bytnar P. (1996). *Guía de indicadores de calidad del agua*. Editorial Kendall/Hunt, Dubuque. 131 págs.
- Torrentera L & Tacón A. (2009). *La producción de alimento vivo y su importancia en acuicultura (FAO Documento de Pesca 12)*. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab473s/AB473S00.htm>.
- Tomás C. (1997). *Identificación del fitoplancton marino*. Prensa Académica. Nueva York. 858 pág.
- Vegas M. (1971). *Introducción a la ecología marina de Bentos*. Editorial Eva. Chesneau. Washington.

- Vásquez E & Sánchez L. (1975). *Variación estacional del plancton en dos sectores del río Orinoco y una laguna de inundación adyacente*. En L. S. Enrique Vásquez. Venezuela.

- Vera - Parra N, Marciales - Caro L, Otero - Paternina A, Cruz - Casallas P & Velasco - Santamaría. (2011). *Impacto del agua asociada a la producción de una explotación petrolera sobre la comunidad fitoperifítica del río Acacias (Meta, Colombia) durante la temporada de lluvias*. Orinoquia. 15(1):31-40.

- Vargas E. (2001). *Los parámetros fisicoquímicos en estudios limnológicos*. Pdf.

- Werner, D. (Ed.) (1977). *La biología de las diatomeas*. Monografías Botánicas, 13 (pp.498). Berkeley, CA: Prensa de la Universidad de California.

- Weber C. (1973). *Métodos biológicos de campo y laboratorio para medir la calidad de aguas superficiales y efluentes*. Disponible en: <http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/library/upload/Biological-Methods-Manual-07-1973.pdf>.

- Willis S, Winemiller K & López - Fernández H. (2005). *Complejidad estructural del hábitat y diversidad morfológica de conjuntos de peces en un río de planicie de inundación tropical*. Ecología.142:284-295. Doi: 10.1007/s00442-004-1723-z.

- Wu N, Dong X, Liu Y, Wang C, Baattrup - Pederseng A & Riisb T. (2017). *Uso de microalgas de río como indicadores para el biomonitoreo de agua dulce: revisión de investigaciones publicadas y direcciones futuras*. Ecol Indic. 81:124-131. Doi: 10.1016/j.ecolind.05.066.

- Wetzel R. (1983). *Limnología*. Ecosistemas lacustres y fluviales. 3ª edición. Prensa Académica. San Diego California, pdf.

- Wilhan L, Dorris M. (1968). *Valores de contaminación microalgal*. Pdf.

IX - ANEXOS

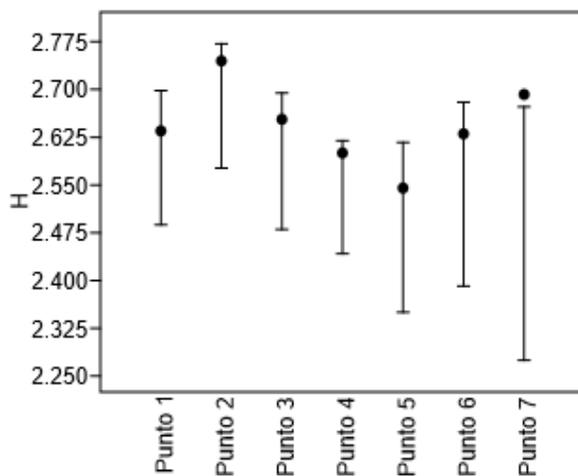


Figura 17. Diversidad de Shannon Weiner en muestras de agua presentes en el Estero Padre Ramos

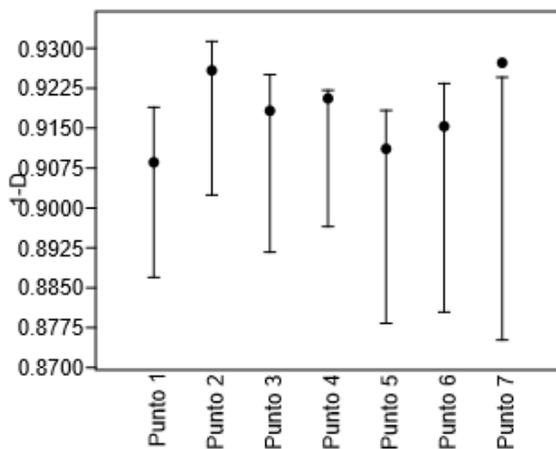


Figura 18. Dominancia de Simpson en muestras de agua presentes en el Estero Padre Ramos

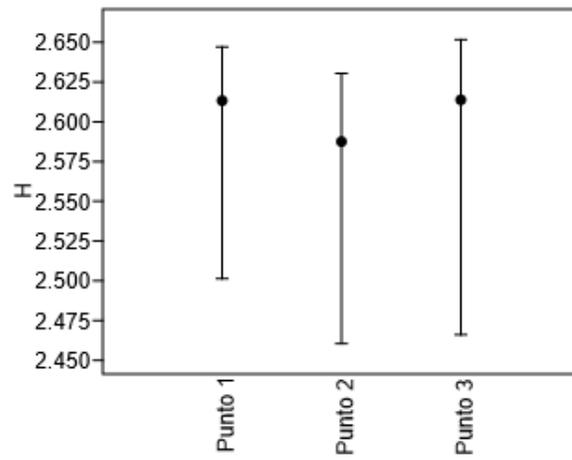


Figura 19. Diversidad de Shannon Weiner en muestras fitoperifito presentes en el Estero Padre Ramos

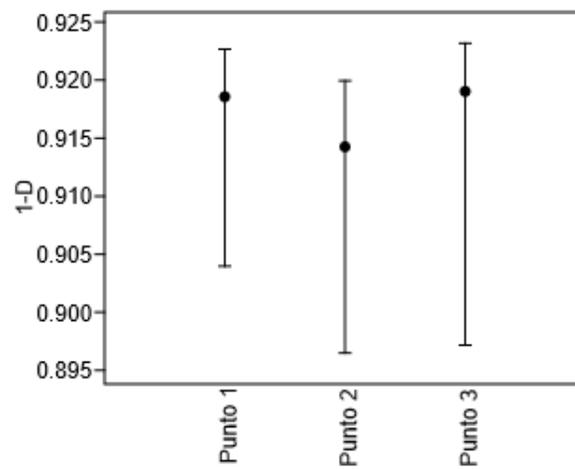


Figura 20. Dominancia de Simpson en muestras fitoperifito presentes en el Estero Padre Ramos

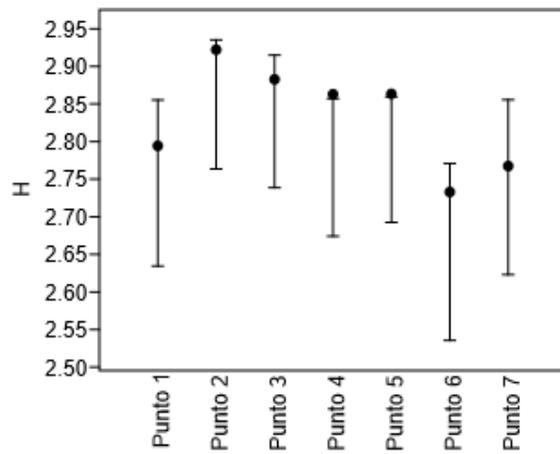


Figura 21. Diversidad de Shannon Weinner en muestras de agua presentes en el Estero Aserradores

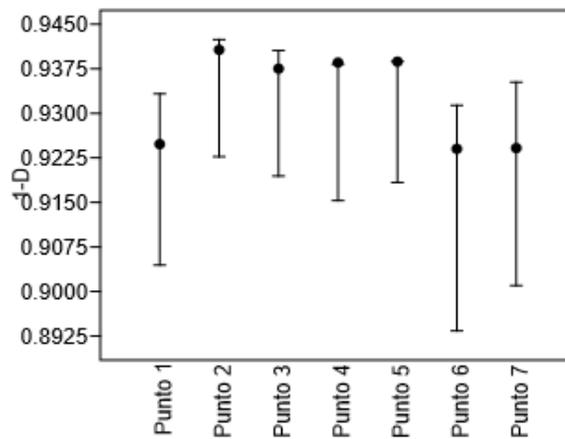


Figura 22. Dominancia de Simpson en muestras de agua presentes en el Estero Aserradores

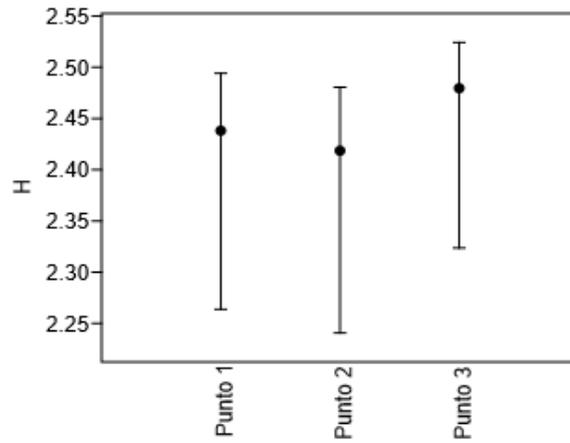


Figura 23. Diversidad de Shannon Weiner en muestras fitoperifito presentes en el Estero Aserradores

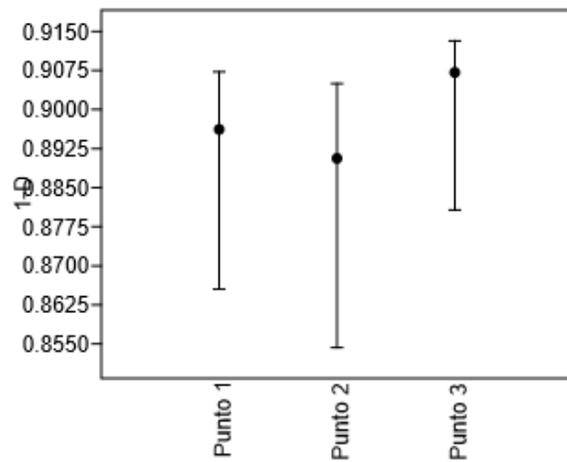
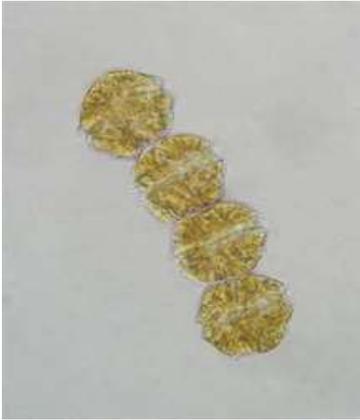


Figura 24. Dominancia de Simpson en muestras fitoperifito presentes en el Estero Aserradores

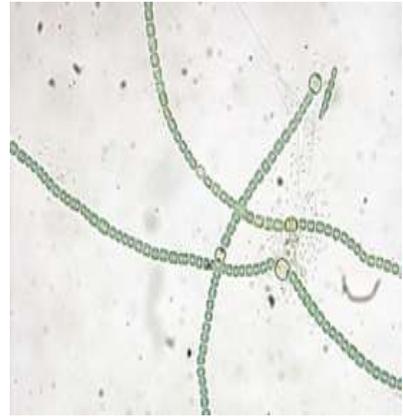
Géneros de microalgas presentes en muestras de agua y fitoperifito del Estero Padre Ramos



División: *Dinoflagellata*
Género: *Alexandrium*



División: *Bacillariophyta*
Género: *Amphora*



División: *Cyanophyta*
Género: *Anabaena*



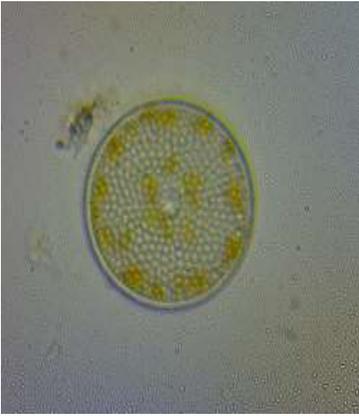
División: *Bacillariophyta*
Género: *Biddulphia*



División: *Bacillariophyta*
Género: *Chaetoceros*



División: *Bacillariophyta*
Género: *Cyclotella*



División: *Bacillariophyta*
Género: *Coscinudiscus*



División: *Bacillariophyta*
Género: *Diploneis*



División: *Bacillariophyta*
Género: *Gyrosigma*



División: *Cianophyta*
Género: *Microcystis*



División: *Bacillariophyta*
Género: *Nitzschia*



División: *Bacillariophyta*
Género: *Navicula*



División: *Cianophyta*
Género: *Oscillatoria*



División: *Bacillariophyta*
Género: *Pleurosigma*



División: *Cianophyta*
Género: *Pseudonabaena*



División: *Chlorophyta*
Género: *Planctonema*



División: *Bacillariophyta*
Género: *Pinnularia*



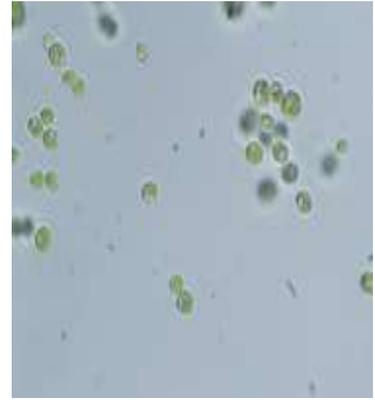
División: *Bacillariophyta*
Género: *Rhizosolenia*



División: *Bacillariophyta*
Género: *Synedra*



División: *Bacillariophyta*
Género: *Eunotia*



División: *Chlorophyta*
Género: *Chlorella*

Géneros de microalgas presentes en muestras de agua y fitoperifito del Estero Aserradores



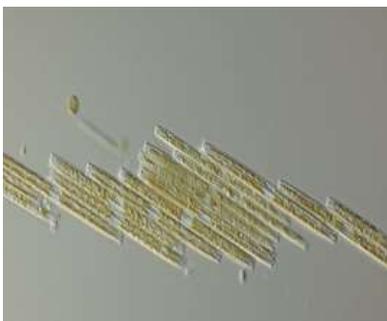
División: *Dinoflagellata*
Género: *Alexandrium*



División: *Bacillariophyta*
Género: *Aulacoseira*



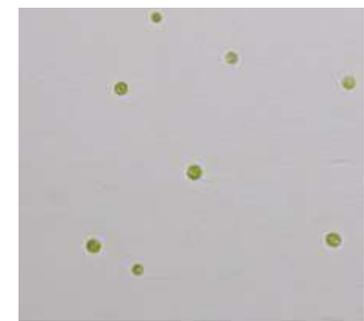
División: *Bacillariophyta*
Género: *Amphora*



División: *Bacillariophyta*
Género: *Bacillaria*



División: *Bacillariophyta*
Género: *Biddulphia*



División: *Chlorophyta*
Género: *Chlorella*



División: *Chlorophyta*
Género: *Crucigeniella*



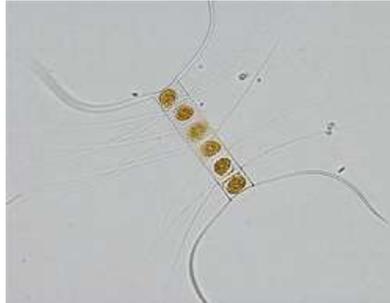
División: *Bacillariophyta*
Género: *Cymbella*



División: *Bacillariophyta*
Género: *Coscinodiscus*



División: *Bacillariophyta*
Género: *Cyclotella*



División: *Bacillariophyta*
Género: *Chaetoceros*



División: *Bacillariophyta*
Género: *Leptocylindrus*



División: *Cianophyta*
Género: *Microcystis*



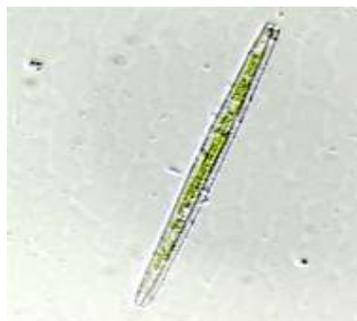
División: *Bacillariophyta*
Género: *Nitzschia*



División: *Bacillariophyta*
Género: *Navicula*



División: *Cianophyta*
Género: *Oscillatoria*



División: *Bacillariophyta*
Género: *Pinnularia*



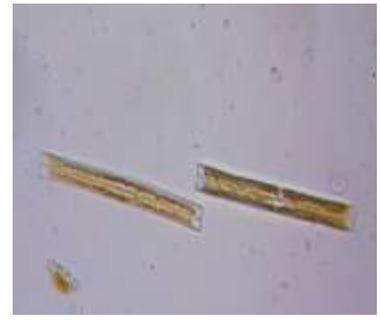
División: *Bacillariophyta*
Género: *Pleurosigma*



División: *Bacillariophyta*
Género: *Rhizosolenia*



División: *Bacillariophyta*
Género: *Rhopalodia*



División: *Bacillariophyta*
Género: *Synedra*

Fuente de imágenes obtenidas de:

(Willis, *et al.*, 2005; & Wu, *et al.*, 2017)