



AgEcon SEARCH
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search
<http://ageconsearch.umn.edu>
aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua

UNAN – León

Escuela de Ciencias Agrarias y Veterinaria

Departamento de Ingeniería Acuícola



Evaluación de la dinámica fitoplanctónica de los grupos: Cianofitas, Clorofitas, Diatomeas, y Dinoflagelados y su relación con los parámetros fisicoquímicos, en las aguas del Estero Salinas Grandes, periodo junio – noviembre 2017.

Requisito previo para optar al título de

Ingeniero Acuícola.

Autores:

Miguel Alejandro Argeñal Fabilena, Br.

Diana de los Ángeles López Montalván, Br.

Tutores.

Ariel José Aguilar, Ph. D.

Mariela Prado, Lic.

León-Nicaragua

Mayo 2018



Evaluación de la dinámica fitoplanctónica de los grupos: Cianofitas, Clorofitas, Diatomeas, y Dinoflagelados y su relación con los parámetros fisicoquímicos, en las aguas del Estero Salinas Grandes, periodo junio-noviembre 2017.

Certificación

ARIEL JOSÉ AGUILAR, Profesor Titular del Departamento de Acuícola, Escuela de Ciencias Agrarias y Veterinaria y Mariela Prado Olivares, Profesor Adjunto del Departamento de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua- León, (UNAN-León).

CERTIFICAN:

Que la presente memoria titulada “Evaluación de la dinámica fitoplanctónica de los grupos: Cianofitas, Clorofitas, Diatomeas, y Dinoflagelados y su relación con los parámetros fisicoquímicos, en las aguas del Estero Salinas Grandes, periodo junio-noviembre 2017” presentada por los Br. Miguel Alejandro Argeñal Fabilena y Diana de los Ángeles López Montalván para optar al grado de Ingeniero Acuícola por la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua-León, ha sido realizada bajo nuestra dirección y que hallándose concluida autorizamos su presentación para que pueda ser juzgada por el tribunal correspondiente.

Y para que así conste y surta los efectos oportunos, firmamos la presente en León, a 20 días del mes de mayo de 2018.

Dr. Ariel José Aguilar

Lic. Mariela Prado Olivares



Evaluación de la dinámica fitoplanctónica de los grupos: Cianofitas, Clorofitas, Diatomeas, y Dinoflagelados y su relación con los parámetros fisicoquímicos, en las aguas del Estero Salinas Grandes, periodo junio-noviembre 2017.

Financiación

La presente Tesis de grado ha sido realizada en el Laboratorio de Fisiología Animal, Departamento de Biología, Facultad de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, bajo la dirección del Doctor Ariel José Aguilar y la Lic. Mariela Prado. La investigación desarrollada en esta Tesis, ha sido subvencionada por Fundación LIDER, Amigos de la Tierra y ECODES a través del proyecto de la Unión Europea denominado *"fortalecimiento al desarrollo económico de cooperativas y mipymes que participan en 7 cadenas de valor incluyentes, aplicando enfoques de sostenibilidad y adaptación al cambio climático y de igualdad de género de la producción agropecuaria y pesquera en las zonas vulnerables ante la sequía de las segovias y occidente del país"*.



Dedicatoria

Le dedico este trabajo investigativo:

En primer lugar, a **Dios** por darme salud y fuerza para alcanzar mis metas y por estar conmigo siempre siendo mi mayor sostén.

A mis padres **Amalia Fabilena** y **Femiguel Argeñal** por sus consejos y porque aun con sus limitaciones me apoyaron, me enseñaron y alentaron siempre a tener un deseo de superación, lo que me lleva a culminar mi carrera con este trabajo investigativo.

A mi abuelita, **Julia María Bravo** por el apoyo incondicional, por los consejos que tanto me han ayudado y porque verle cada día me motiva a querer seguir adelante en la vida.

¡A mis familiares y amigos!

Br. Miguel Alejandro Argeñal Fabilena

Le dedico este trabajo investigativo:

Primeramente, a **Dios** por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy.

A mis padres **Néstor López** y **Gertrudis Montalván** por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo. Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.

¡A mis familiares y amigos!

Bra. Diana de los Ángeles López Montalván.



Agradecimientos

En primer lugar, a Dios por la bendición de la vida, por darnos salud y protección en cada una de las jornadas y por darnos la sabiduría y razonamiento necesarios para hacer posible este trabajo investigativo.

A nuestro tutor Ph, D Ariel Aguilar, por su gestión y por habernos dado la oportunidad de formar parte de esta investigación, por regalarnos parte de su tiempo en corregir y aconsejarnos en el diseño del trabajo y por brindarnos sus conocimientos lo que facilito nuestro entendimiento con respecto al área investigada.

A nuestra tutora, Lic. Mariela Prado gracias por darnos su ayuda de forma desinteresada y regalarnos mucho de su tiempo capacitándonos y teniéndonos mucha paciencia hasta aprender las técnicas y conocimientos que fueron fundamentales en el desarrollo de este trabajo, por el acompañamiento en las jornadas de muestreos, lo cual valoramos mucho por el estado de salud que presentaba, por coordinarnos y enseñarnos a trabajar en equipo lo que facilito en gran medida cada una de las jornadas.

A Fundación Líder, por haber financiado este trabajo investigativo en todas sus etapas, por confiar en nosotros y tenernos paciencia en el desarrollo y finalización de la investigación.

A los profesores que en el transcurso de nuestra carrera nos transmitieron todos sus conocimientos.

A nuestros padres que estuvieron ahí en todo momento aconsejándonos, apoyándonos y alentándonos a culminar este trabajo.

A nuestros compañeros, parte del equipo investigativo distribuidos en otras zonas del estero, Cristhian Cuadra, María Sandoval, Fulvio Sánchez, Johana Reyes, Eldier Díaz y Erick Aragón, por haber trabajado en equipo aun con algunas diferencias y por todas esas experiencias compartidas en todo el periodo de la investigación lo que nos llevó a tener momentos muy agradables.

¡¡¡A todos muchas gracias!!!



Índice

| | |
|---|----|
| Certificación | 2 |
| Financiación | 3 |
| Dedicatoria | 4 |
| Agradecimientos | 5 |
| Abreviaturas | 9 |
| Índice de tablas | 11 |
| Índice de figuras | 12 |
| Abstract | 13 |
| Resumen | 14 |
| 1. Introducción | 15 |
| 2. Objetivos | 17 |
| 3. Literatura revisada | 18 |
| 3.1. Sistemas Costeros y Estuarinos | 18 |
| 3.2. Generalidades de Salinas Grandes | 18 |
| 3.2.1 Condiciones climáticas. | 19 |
| 3.3. Generalidades del plancton | 19 |
| 3.4. Principales grupos de microalgas | 20 |
| 3.4.1 Diatomeas. | 20 |
| 3.4.2 Dinoflagelados. | 21 |
| 3.4.3 Cianofitas | 22 |
| 3.4.4 Clorofitas..... | 22 |
| 3.5. Composición de las microalgas | 23 |
| 3.6. Reproducción las microalgas | 23 |
| 3.7. Importancia ecológica de las microalgas | 24 |
| 3.8. Principales usos de las microalgas | 25 |
| 3.8.1. Producción de Biocombustibles..... | 25 |
| 3.8.2. Alimentación y Salud Humana. | 26 |
| 3.8.3. Alimentación animal. | 26 |
| 3.8.4. Microalgas como Biofertilizantes | 27 |
| 3.8.5 Ácidos grasos Poliinsaturados. | 27 |
| 3.8.6. Cosmética..... | 28 |
| 3.9. Eutrofización | 28 |
| 3.10. Floraciones algales | 29 |



Evaluación de la dinámica fitoplanctónica de los grupos: Cianofitas, Clorofitas, Diatomeas, y Dinoflagelados y su relación con los parámetros fisicoquímicos, en las aguas del Estero Salinas Grandes, periodo junio-noviembre 2017.

| | |
|---|-----------|
| 3.10.1. Factores que llevan al predominio de las cianobacterias | 31 |
| 3.10.2. Floraciones toxicas..... | 33 |
| 3.10.3. Problemas taxonómicos y cepas toxicas. | 34 |
| 3.10.4. Control de floraciones..... | 36 |
| 3.11. Cámaras utilizadas para la cuantificación de las microalgas. | 36 |
| 4. Materiales y métodos | 38 |
| 4.1 Área de muestreo | 38 |
| 4.2. Metodología experimental para la toma de muestras..... | 39 |
| 4.3. Identificación de grupos de algas y conteo celular | 40 |
| 4.3.1. Cámara Neubauer o Hematocitometro..... | 40 |
| 4.3.2. Cámara Sedgwick-Rafter (S/R)..... | 40 |
| 4.4. Análisis estadísticos..... | 41 |
| 5. Resultados..... | 42 |
| 5.1. Parámetros Fisicos-Quimicos..... | 42 |
| 5.1.1. Salinidad. | 42 |
| 5.1.2. Salinidad (valores de las pendientes). | 43 |
| 5.1.3. Oxígeno Disuelto (OD)..... | 44 |
| 5.1.4. pH..... | 45 |
| 5.1.5. Disco de secchi..... | 46 |
| 5.1.6. Temperatura. | 47 |
| 5.2. Identificación y conteo de microalgas | 48 |
| 5.2.1. Concentracion de Clorofitas..... | 48 |
| 5.2.2. Concentracion de Diatomeas. | 49 |
| 5.2.3. Concentracion de Dinoflagelados. | 50 |
| 5.2.4. Generos de Clorofitas..... | 51 |
| 5.2.5. Generos de Diatomeas. | 52 |
| 5.2.6. Generos de Dinoflagelados. | 53 |
| 5.2.7. Correlaciones entre concentraciones de microalgas y parámetros físico-químicos (Garita). ... | 54 |
| 5.2.8. Correlaciones entre concentraciones de microalgas y parámetros físico-químicos (Gasolina).55 | |
| 5.2.9. Correlaciones entre concentraciones de microalgas y parámetros físico-químicos (Manzano). | 56 |
| 6. Discusión..... | 57 |
| 6.1. Caracterización preliminar del estudio..... | 57 |
| 6.2. Parámetros fisicoquímicos | 57 |



Evaluación de la dinámica fitoplanctónica de los grupos: Cianofitas, Clorofitas, Diatomeas, y Dinoflagelados y su relación con los parámetros fisicoquímicos, en las aguas del Estero Salinas Grandes, periodo junio-noviembre 2017.

| | |
|--|-----------|
| 6.2.1. Salinidad..... | 57 |
| 6.2.2. Oxígeno..... | 58 |
| 6.2.3. pH, Disco de Secchi y Temperatura..... | 59 |
| 6.3. Dinámica fitoplanctónica..... | 60 |
| 6.3.1. Clorofitas..... | 60 |
| 6.3.2. Diatomeas..... | 60 |
| 6.3.3. Dinoflagelados..... | 61 |
| 6.4. Principales Géneros..... | 61 |
| 6.5. Relación entre parámetros físico químicos y los grupos fitoplanctónicos..... | 62 |
| 7. Conclusiones..... | 64 |
| 8. Recomendaciones..... | 66 |
| 9. Bibliografía..... | 67 |



Abreviaturas

ASODEL: Asociación para la sobrevivencia y el desarrollo local.

Cel: Célula

Cel/L: Célula por mililitro

CO₂: Dióxido de carbono

DHA: Acido docosahexaenoico

DSP: Intoxicación diarreica por mariscos

EPA: Acido eicosapentaenoico

FAO: Organización de las naciones unidas para la Agricultura y la alimentación.

Fx: Físico

g: Gramo

Km: Kilometro

Km/h: Kilometro por hora

L: Litro

ml: Mililitro

mm: Milímetro



Evaluación de la dinámica fitoplanctónica de los grupos: Cianofitas, Clorofitas, Diatomeas, y Dinoflagelados y su relación con los parámetros fisicoquímicos, en las aguas del Estero Salinas Grandes, periodo junio-noviembre 2017.

mm²: Milímetro al cuadrado

N₂: Nitrógeno

OD: Oxígeno disuelto

PUFAs: Ácidos poliinsaturados

pH: Medida de acidez o alcalinidad de una disolución

PSP: Intoxicación parálitica por mariscos

Ppm: partes por mil

Qx: Químico

μM: Unimicrómetro



Índice de tablas

| | Pág. |
|--|------|
| Tabla 1. Coordenadas puntos de muestreo..... | 37 |
| Tabla 2. Valores de las pendientes de la concentración salina..... | 42 |
| Tabla 3. Concentraciones de oxígeno disuelto..... | 43 |
| Tabla 4. Valores de pH..... | 44 |
| Tabla 5. Lectura de disco de Secchi..... | 45 |
| Tabla 6. Valores de temperatura..... | 46 |
| Tabla 7. Concentraciones de Dinoflagelados..... | 49 |
| Tabla 8. Géneros de Clorofitas..... | 50 |
| Tabla 9. Géneros de Diatomeas..... | 51 |
| Tabla 10. Géneros de Dinoflagelados..... | 52 |



Índice de figuras

| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 1. Mapa de puntos de muestreo..... | 37 |
| Figura 2. Comportamiento de la concentración salina..... | 41 |
| Figura 3. Comportamiento de la concentración de Clorofitas..... | 47 |
| Figura 4. Comportamiento de la concentración de diatomeas..... | 48 |



Abstract

The present study was made in the Salinas Grandes estuary, located in the community of Salinas Grandes, department of León, in the period of June-November 2017. The aim was to evaluate the dynamics of the concentrations of the microalgae groups, Chlorophytes, Cyanophytes, Diatoms and Dinoflagellates and relate them to the fluctuation of the physicochemical parameters. The water samples were taken once a month, using 500 ml bottles and the physicochemical parameters were measured (temperature, salinity, dissolved oxygen, turbidity, pH). The results show, in a general way, the presence of only three of the four main groups (Chlorophytes, Diatoms and Dinoflagellates). Diatoms showed higher concentrations and diversity of genera, showing significant difference ($P \leq 0.05$) with the other two groups, which is logical considering the proximity of the sampling area with the sea. Also, a decreasing tendency in the concentrations of these is shown as it advances towards the continent. Diatoms and dinoflagellates showed positive correlation in the three study areas. Likewise, a positive correlation was observed between the levels of dissolved oxygen and turbidity, which suggests that the phytoplankton fluctuation is the one that modulates the concentration of dissolved oxygen.



Resumen

El presente estudio se realizó en el Estero de Salinas Grandes, ubicado en la comunidad de Salinas Grandes, departamento de León, en el periodo de junio-noviembre 2017. El objetivo consistió en evaluar la dinámica de las concentraciones de los grupos de microalgas, Clorofitas, Cianofitas, Diatomeas y Dinoflagelados y relacionarlas con la fluctuación de los parámetros fisicoquímicos. Las muestras de agua se tomaron una vez al mes, usando botellas de 500 ml y se midieron los parámetros fisicoquímicos (temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, turbidez, pH). Los resultados muestran, de manera general, la presencia de solo tres de los cuatro grupos principales (Clorofitas, Diatomeas y Dinoflagelados), siendo las Diatomeas quienes presentaron mayores concentraciones y diversidad de especies, mostrando diferencia significativa ($P \leq 0.05$) con los otros dos grupos, lo cual es lógico teniendo en cuenta la cercanía del área de muestreo con el mar. Asimismo, se muestra una tendencia decreciente en las concentraciones de estas a medida que se avanza hacia el continente. Las diatomeas y los dinoflagelados mostraron una correlación positiva en las tres áreas de estudio. Asimismo, se observó una correlación positiva entre los niveles de oxígeno disuelto y la turbidez, lo que sugiere que la fluctuación del fitoplancton es la que modula la concentración de oxígeno disuelto.



1. Introducción

La comunidad Salinas Grandes pertenece geográficamente al Municipio de León, Departamento de León, se encuentra ubicada en el Km 77 carretera León-Managua, propiamente en el empalme del mismo nombre Salinas Grandes tomando el margen izquierdo. Desde la carretera se toma un camino de unos 15 Km de tierra, lo que le tomaría en un vehículo particular de 20 a 30 minutos. Dentro de la zona que cubre la comunidad se encuentran todas las playas o playones donde actualmente se produce sal, en la parte norte hay pequeñas lomas con una latitud aproximada de 15 a 25 pies sobre el nivel del mar, la zona es bastante llana con bosques de sabana. (ASODEL, 2009).

Con el aumento de la densidad poblacional las actividades del hombre se intensifican, consecuentemente la entrada de nutrientes a los sistemas acuáticos aumenta. (Nixon, 1995; Jonge et al., 2002). La descarga puede provenir de fuentes puntuales como efluentes domésticos e industriales, con aportes orgánicos y detergentes ricos en polifosfatos, de agua residuales de plantas de tratamientos o de fuentes difusas como las escorrentías provenientes de la agricultura con fertilizantes ricos en nitrógeno y fosforo (Jonge et al., 2002). Entre los probables efectos negativos están las floraciones algales que pueden propiciar intoxicaciones masivas de organismos marinos y personas, debido al consumo de organismos marinos (moluscos o peces) contaminados por las toxinas generadas por algunos dinoflagelados o diatomeas (Epstein et al., 1993; Hallegraeff, 1998, Anderson, 1988; Yasumoto et al., 1984). Algunas microalgas producen toxinas



Evaluación de la dinámica fitoplanctónica de los grupos: Cianofitas, Clorofitas, Diatomeas, y Dinoflagelados y su relación con los parámetros fisicoquímicos, en las aguas del Estero Salinas Grandes, periodo junio-noviembre 2017.

tan potentes que pueden resultar dañinas, aunque no alcancen concentraciones celulares elevadas que decoloren el agua (Sar, Ferrario y Reguera, 2002).

Por tal razón nuestro estudio se enfoca en las fluctuaciones de los principales grupos de microalgas y su relación con los parámetros físico-químicos para evaluar la salud de este cuerpo de agua y poder determinar si esta zona, presenta condiciones de bienestar animal para el cultivo de peces en jaulas flotantes.



2. Objetivos

Objetivo general:

1. Determinar la fluctuación de las concentraciones de los grupos de Clorofitas, Cianofitas, Diatomeas, Dinoflagelados y relacionarlos con los parámetros físicos y químicos en las aguas del estero de Salinas Grandes en el periodo comprendido de junio-noviembre del 2017.

Objetivos específicos:

1. Medir los valores de los parámetros físicos-químicos (oxígeno disuelto, temperatura, pH, salinidad y turbidez) en La Garita, Gasolina y El Manzano en la zona del estero de Salinas Grandes.
2. Evaluar la dinámica fitoplanctónica de los grupos de microalgas (Clorofitas, Cianofitas, Diatomeas y Dinoflagelados) en La Garita, Gasolina y El Manzano en la zona del estero de Salinas Grandes.
3. Relacionar la dinámica fitoplanctónica con las fluctuaciones de los parámetros físico-químicos.



3. Literatura revisada

3.1. Sistemas Costeros y Estuarinos

La zona costera o litoral, es la zona de transición e interacción entre el ambiente terrestre y el ambiente marino. En esta zona operan los procesos costeros o tienen una gran influencia. La costa incluye tanto la zona de tierra emergida como la zona de aguas poco profundas en las que las olas realizan su actividad, así como las playas y acantilados costeros modelados por las olas, y las dunas costeras. (IRENA, 1992).

Un estuario se define como 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; se debe marcar también la importancia de los límites que controlan la distribución de las propiedades, el movimiento y la mezcla del agua (Pritchard y Cameroon, 1963).

3.2. Generalidades de Salinas Grandes

La comunidad Salinas Grandes pertenece geográficamente al Municipio de León, Departamento de León. Se encuentra ubicada en el Km 79, carretera León-Managua, propiamente en el empalme del mismo nombre Salinas Grandes (ASODEL, 2009).



3.2.1 Condiciones climáticas.

El clima es cálido con temperaturas que oscilan en 36 grados centígrados. Se cuenta con un período lluvioso correspondiente a seis meses de mayo a octubre y el verano desde noviembre hasta el mes de abril. Los vientos son fuertes en el período seco intensificándose entre febrero y abril, alcanzando velocidades hasta 30 km/h (ASODEL, 2009)

3.3. Generalidades del plancton

El conjunto de organismos que viven en suspensión dentro de la masa de agua constituyen el plancton. Cuando el agua se desplaza, traslada en ella estos organismos. Dentro del agua hay una gran cantidad de organismos microscópicos, como los virus y las bacterias, entre los más pequeños; y las algas unicelulares, entre los organismos microscópicos más grandes. Todos los organismos fotosintéticos del plancton, sobre todo algas y algunas bacterias están formado por un conjunto de organismos, tanto vegetales como animales, adultos y larvarios, que viven en las aguas dulces o marinas, flotando o dotados de escasos elementos de locomoción; generalmente presentan tamaño microscópico y para medirlos se utiliza la micra (la milésima parte de un milímetro)

El fitoplancton está compuesto, sobre todo, por organismos autótrofos unicelulares aislados o que forman cadenas o agregados, es el primer eslabón de la cadena trófica y se sitúan en aguas superficiales. (Ong y Choo, 1997; Rodríguez-Amaya, 1999; Che Man y Tan, 2003).

Como hay importantes implicaciones fisiológicas y ecológicas producto del tamaño de la especie, el plancton se puede clasificar en diversas categorías:



- a) **Megaplancton:** son los 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 está entre 2 y 20 cm e incluyen grandes organismos visibles como el krill, flecha gusanos, medusas.
- c) **Microplancton:** El tamaño promedio está entre 20 y 200 μm e incluyen diatomeas, dinoflagelados, rotalinidos, ciliados, nauplios (etapas tempranas de crustáceos como los copépodos y los percebes).
- d) **Nanoplancton:** El tamaño promedio está entre 2 y 20 μm e incluyen fitoplancton pequeño, en su mayoría unicelulares como diatomeas, flagelados (tanto fotosintéticos y heterótrofa), pequeño ciliados, radiolarios y otros.
- e) **Picoplancton:** El tamaño promedio está entre 0,2 a 2 μm , son en su mayoría bacterias (llamado bacterioplancton) (Peters, 1983)

3.4. Principales grupos de microalgas

3.4.1 Diatomeas.

Presentan gran diversidad (10000 a 12000 especies descritas) y son probablemente los eucariotas más abundantes en el medio acuático. Las diatomeas son foto sintetizadores acuáticos más importantes, denominando en el fitoplancton de las aguas más frías y ricas en nutrientes especialmente en zonas de turgencias.

Estas microalgas predominan por sobre otros grupos fitoplanctónicos debido a que se ven especialmente favorecidas por los eventos de turgencia (Tomas, 1997) y se encuentran en todas las aguas marinas de los ecosistemas costeros (Moreno *et al.*, 1996) debido a la elevada



disponibilidad de compuestos inorgánicos (silicatos, nitratos y fosfatos) que estimulan su desarrollo (Hasle y Syvertsen, 1996; Lara *et al.*, 1996). Las diatomeas alternan entre la reproducción asexual por división celular, que es la más frecuente, y la reproducción sexual. En la reproducción por división celular, cada célula hija recibe una de las frústulas de la célula padre y la utiliza como frústula mayor (o epiteca), reconstruyendo una frústula menor. (Hoek, 1995)

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, etc. El resultado de estas incidencias lleva a una acumulación de diatomeas muertas y de sus frústula en el fondo del mar y ello a su vez provoca que en determinadas zonas constituyan el principal componente del fango marino (Werner, 1977).

3.4.2 Dinoflagelados.

Se presentan en formas marinas, salobres y dulces. La forma prevaleciente de la división es la biflagelada, pero también se presentan formas no móviles. Poseen nutrición diversificada: fotosintética, heterotrófica, saprofítica, parasítica, simbiótica y holozoica; además, muchas son auxotróficas para varias vitaminas. El núcleo presenta características inusuales de procariotes y eucariotes, llamándose por ello mesocariótico (Ramírez, 2000).

Se distribuyen en función de la temperatura, salinidad y profundidad, y sus características morfológicas y requerimientos nutritivos los hacen exitosos desde el punto de vista reproductivo, donde la estabilidad en la columna de agua es mayor y la concentración de nutrientes más baja (Tomas, 1997).



La reproducción de los dinoflagelados es principalmente asexual, que en condiciones favorables puede ser muy rápida originando poblaciones que pueden llegar a 60 millones de individuos por litro de agua. La reproducción sexual también ocurre. La reproducción sexual tiene lugar por la fusión de dos individuos para formar un cigoto, que puede seguir siendo móvil o formar un quiste inmóvil. (López-García, 2011). La reproducción de los dinoflagelados es principalmente asexual, que en condiciones favorables puede ser muy rápida originando poblaciones que pueden llegar a 60 millones de individuos por litro de agua. La reproducción sexual también ocurre. La reproducción sexual tiene lugar por la fusión de dos individuos para formar un cigoto, que puede seguir siendo móvil o formar un quiste inmóvil. (López-García, 2011).

3.4.3 Cianofitas:

Las algas verde-azules denominadas Cianobacterias, dada su afinidad con las bacterias respecto a la organización procariótica, sin embargo, el tamaño es su diferencia fundamental, pues las algas verde-azules son de mayor tamaño que aquellas y adicionalmente las algas son productores primarios del plancton, mientras que muy pocas bacterias lo son (Ramírez, 2000). Las cianobacterias son en general organismos foto sintetizadores, pero algunas viven heterotróficamente. Estas microalgas comparten con algunas otras bacterias la capacidad de usar N_2 atmosférico como fuente de nitrógeno y pueden ser unicelulares o pluricelulares (Lee, 2008).

3.4.4 Clorofitas.

Estos organismos constituyen uno de los mayores grupos de algas, si se tiene en cuenta su abundancia en géneros y especies, al igual que su frecuencia y ocurrencia. Crecen en aguas de amplio rango de salinidad; pueden ser planctónicos o bentónicos, o pueden presentarse en hábitat



sub-aéreos. Es común que posean talos unicelulares, coloniales cenóbicos o no cenóbicos, filamentosos ramificados o no, membranosos, de forma laminar o tubular (Ramírez, 2000). Su reproducción puede ser sexual o asexual; incluso algunas especies presentan una reproducción con alternación de generaciones. El 90% de las Clorofitas son de hábitat de agua dulce y el 10% de hábitat marino. Las especies de agua dulce son cosmopolitas y las marinas tienden a estar en aguas tropicales (Lee, 2008).

3.5. Composición de las microalgas

Las microalgas tienen una composición bioquímica compleja debida a la presencia del aparato fotosintético, que le da una gran riqueza en pigmentos y componentes como citocromos y ácidos poliinsaturados de cadena larga (PUFAs). Esto resulta en un elevado contenido en productos de alto valor, como los carotenoides luteína y astaxantina o los PUFAs DHA y EPA. Como captadoras de CO₂ y asimiladoras del nitrógeno, son además una fuente sostenible de biocombustibles y biofertilizantes (UAL, 2014). Para determinar la composición de las microalgas se puede usar la siguiente fórmula C₁₀₆H₁₈₁O₄₅N₁₆P, de donde se deduce que un kilogramo de microalgas contendría: 523.9 g de carbono, 74.5 g de hidrógeno, 296.5 g de oxígeno, 92.2 g de nitrógeno, 12.76 g de fósforo (Ruiz, 2011).

3.6. Reproducción las microalgas

Las algas se reproducen tanto sexual como asexualmente. Algunas de las especies, las cuales tienen estructuras internas características en las plantas vasculares se limitan a uno de los procedimientos, pero, muchas tienen varios ciclos en los que emplean los dos tipos de reproducción (Pelczar *et al.*, 1992). Reproducción sexual y asexual, característica principal de la



Euglena sp (Audesirk, 1997). Los ciclos de vida de las algas son complejos y varían de manera considerable entre las divisiones, e incluso dentro de ellas. (Audesirk, 1997).

El proceso de reproducción asexual en las algas incluye el tipo de división celular puramente vegetativo como lo hacen las bacterias. Una colonia nueva de algas o filamentos empieza incluso de un fragmento de un tipo multicelular viejo del cual se ha desprendido. Sin embargo, casi todas las reproducciones asexuales en las algas son más complejas y suponen la producción de esporas unicelulares, muchas de las cuales, especialmente en las formas acuáticas, tienen flagelo y son móviles; a estas se les denomina zoosporas. La reproducción asexual por medio de la esporulación es otro tipo de reproducción y es la más común dentro del grupo de las algas. La esporulación se refiere al proceso por el cual las células de algunos organismos producen una o más células reproductivas dentro de su pared celular. La célula original (madre) es llamada esporangio y la nueva o nuevas células son llamadas esporas. Se pueden producir grandes cantidades de esporas para un incremento rápido en el tamaño de la población (Pelczar, 1982).

3.7. Importancia ecológica de las microalgas

Los principales productores primarios en zonas costeras son: algas (macroalgas y microalgas), cianobacterias, fanerógamas que crecen en los sedimentos y los dinoflagelados simbioses presentes en los arrecifes, además de la vegetación costera. Hay que considerar la importancia de los manglares, que forman densos bosques en la zona intermareal, formando un importante ecosistema costero. A menudo, el término productividad primaria se intercambia con el de autotrofia, y se puede definir como el proceso biológico mediante el cual se sintetizan compuestos orgánicos ricos en energía a expensas del CO₂, agua y otros nutrientes. Menos del 1% de la energía solar disponible en la superficie del mar es absorbida por organismos autótrofos. Éstos constituyen



el primer eslabón en la cadena alimentaria, y la vía de entrada de energía a un ecosistema; de aquí que se denominen productores primarios. Los productores primarios de los ecosistemas costeros y marinos son autótrofos y se encuentran en el primer nivel trófico; éstos soportan al mundo viviente a través de la fotosíntesis. (Gómez, 2007)

3.8. Principales usos de las microalgas

La biomasa algal tiene una amplia utilización que va desde biofertilizantes a producción de biocombustibles, también para alimentación animal y humana, y para la obtención de productos biotecnológicos con uso en medicina, farmacia y/o cosmética (Gómez 2007, Brennan y Owende 2010, Flotats *et al.* 2011).

3.8.1. Producción de Biocombustibles.

El mundo se enfrenta a futuros retos energéticos puesto que se ha indicado que las reservas de combustibles fósiles se agotarán en medio siglo (Harun *et al.* 2011, Rawat *et al.* 2011).

Las principales ventajas de las microalgas como fuente para la producción de biocombustible son: tasas de crecimiento altas y cortos tiempos de generación; requisitos mínimos de tierra (en comparación con otros sistemas de cultivo para producción de biocombustibles); alto contenido de lípidos y ácidos grasos; el uso de agua residual como fuente de nutrientes y/o captura de CO₂ desde fuentes contaminante (Park *et al.* 2011b, Rawat *et al.* 2011, Maity *et al.* 2014).

La generación de biodiesel desde microalgas, a partir de sus aceites se presenta como una solución eficiente ante los problemas medioambientales de la actualidad y la probable escasez de petróleo en un futuro cercano (Zeng *et al.* 2011, Wang *et al.* 2012), debido a sus altas tasas de crecimiento y de producción de lípidos transesterificables (Flotats *et al.* 2011).



3.8.2. Alimentación y Salud Humana.

El consumo humano de microalgas se limita a pocas especies debido al estricto control sobre seguridad alimentaria, factores comerciales, demanda del mercado y preparación específica. Los 3 géneros más destacados son *Chlorella*, *Spirulina* y *Dunaliella*, que se comercializan como suplementos alimentarios (Morris *et al.* 1999, Spolaore *et al.*, 2006; Brennan y Owende 2010; Mendoza *et al.*, 2011).

También algunas especies se comercializan por su valor medicinal, como *Chlorella* que protege contra la insuficiencia renal y promoción del crecimiento de *Lactobacillus* intestinales. Además favorece la disminución en concentraciones de colesterol sanguíneo. En cambio *Dunaliella* se comercializa por su contenido de β -caroteno (Morris *et al.*, 1999; Spolaore *et al.* 2006; Brennan y Owende 2010; Mendoza *et al.*, 2011).

3.8.3. Alimentación animal.

El 30% de la producción mundial de microalgas está destinada al consumo animal y, de hecho, el 50% de la producción de *Arthrospira* es con este fin (Spolaore *et al.*, 2006). Algunas especies de algas, tales como los géneros *Chlorella*, *Scenedesmus* y *Spirulina*, tienen aspectos beneficiosos para los animales, mejoran la respuesta inmune, la infertilidad, el control de peso, producen una piel más sana y un pelo brillante (Spolaore *et al.*, 2006; Brennan y Owende, 2010; Mendoza *et al.*, 2011). Se utilizan en la alimentación de gatos, perros, peces de acuario, aves ornamentales, caballos, vacas y toros reproductores (Spolaore *et al.*, 2006; Harun *et al.*, 2010). Sin embargo, no se recomienda la alimentación prolongada sobre todo a altas concentraciones, en especial las dietas a base de cianobacterias (Spolaore *et al.*, 2006; Brennan y Owende, 2010).



En acuicultura, las microalgas son la principal fuente de alimentación de moluscos filtradores y estados larvarios de peces y crustáceos (Knauer y Southgate, 1997; Spolaore *et al.*, 2006; Brennan y Owende, 2010; Harun *et al.*, 2010; Mendoza *et al.*, 2011).

3.8.4. Microalgas como Biofertilizantes.

Otra aplicación es la de biofertilizante (Abdel-Raouf *et al.*, 2012). Algunas técnicas de conversión (especialmente la pirólisis) producen carbón vegetal, llamado Biochar o Biocarbón, que posee un alto potencial como fertilizante en la agricultura (Brennan y Owende, 2010).

3.8.5 Ácidos grasos Poliinsaturados.

Los ácidos poliinsaturados (PUFAs por sus siglas en inglés) son esenciales en el desarrollo y fisiología humana, además de tener un rol importante en la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares. Actualmente, las fuentes más importantes de estos compuestos son los peces, donde la utilización de sus aceites es limitada debido al riesgo de acumulación de toxinas en el pez, olor y sabor a pescado, pobre estabilidad oxidativa y mezcla entre diferentes tipos de ácidos grasos (Spolaore *et al.*, 2006; Brennan y Owende, 2010; Harun *et al.*, 2010; Mendoza *et al.*, 2011). Es destacable que de hecho, los PUFAs se encuentran en los peces debido a la alimentación de microalgas, por lo que es lógico considerar a las microalgas como potenciales fuentes de estos componentes esenciales (Spolaore *et al.*, 2006).

Las microalgas son una fuente importante de estos ácidos, aunque, actualmente, el ácido docosahexaenoico (DHA) es el único disponible comercialmente (Spolaore *et al.*, 2006; Brennan y Owende, 2010; Mendoza *et al.*, 2011). Cherng y Shih (2005) en estudios en ratones y hámsteres, determinaron que la alimentación con *Chlorella* era beneficiosa para estos animales, disminuyendo



la cantidad de triglicéridos, colesterol total y colesterol LDL, previniendo hiperlipidemia y arteriosclerosis.

3.8.6. Cosmética.

Algunas especies de microalgas son utilizadas en la industria de la cosmética para el cuidado de la piel, tales como *Arthospira* y *Chlorella* (i.e., cremas antiedad, productos refrescantes o regenerantes de la piel, emolientes y antiirritantes). Extractos ricos en proteínas de *Arthospira* reparan los signos prematuros de envejecimiento de la piel, ejercen un efecto tensor y previenen la formación de estrías. Extractos de *C. vulgaris* estimulan la síntesis de colágeno, apoyando la regeneración de tejidos y la reducción de arrugas, mientras que *Nannochloropsis oculata* posee excelentes propiedades para el estiramiento de la piel (Spolaore *et al.*, 2006).

3.9. Eutrofización

La Eutrofización, en un principio se estudió como un proceso natural (eutrofización natural), para conocer el transcurso del “envejecimiento” de los lagos inducido por procesos autóctonos (NAS, 1969). Sin embargo, este término se utilizó posteriormente para definir el fenómeno provocado por los vertidos de los desechos de actividades humanas, llamándolo Proceso de Eutrofización cultural o simplemente eutrofización; inicialmente se definió como “el abastecimiento excesivo de los nutrientes nitrógeno y fósforo a los cuerpos de agua, con el consecuente crecimiento acelerado de microalgas, que puede producir la muerte de peces al despojarlos del oxígeno que necesitan para vivir” (US-EPA, 1997).

La eutrofización es el incremento de la tasa de producción de materia orgánica en un cuerpo de agua, asociado al sobre enriquecimiento de nutrientes. Los cambios climáticos afectaran la eutrofización de los estuarios y la zona costera, incrementado los flujos de nutrientes, las relaciones



entre nutrientes, la producción fitoplanctónica, el desarrollo de algas tóxicas y nocivas, la reducción de la calidad del agua, pérdida de los hábitad y recursos naturales, y el recrudecimiento de la hipoxia (Rabalais, 2002). La eutrofización de los sistemas acuáticos es uno de los problemas ambientales actuales de mayor distribución a nivel mundial (Schindler, 2015). El principal efecto de la eutrofización en estos sistemas es la formación de floraciones o "blooms" de microalgas producidas principalmente por los grupos Cyanophyceae (cianobacterias), Dinophyceae, Chlorophyceae, Cryptophyceae, Chrysophyceae, Euglenophyceae y Bacillariophyceae (Paerl 1988; Sigee, 2005).

3.10. Floraciones algales

Las floraciones se expresan de diversa forma dependiendo de la especie y el cuerpo de agua (Sigee, 2005), pueden ocurrir en la superficie y/o a profundidades específicas en la columna de agua, son favorecidas por diversas condiciones ambientales, como el exceso de nutrientes, la temperatura, alta intensidad de luz, pH, estabilidad de la columna de agua (por ausencia de viento) (Robarts y Zohary, 1987; Jacoby *et al.*, 2000; Davis *et al.*, 2009; Xu *et al.*, 2010). Procesos poblacionales como el aumento de tasa de crecimiento y capacidad de competir con otras algas o la reducción del pastoreo, dispersión, sedimentación y mortalidad, también están implicados en la formación y desarrollo de las floraciones (Imberger *et al.*, 1983). En un ambiente con óptimas condiciones, se asimila toda la producción primaria (tasa de producción de biomasa fitoplanctónica), sin embargo, si la producción excede el consumo, el fitoplancton se acumula y puede llegar a ser visible generando cambios de color del agua (frecuentemente amarillo, verde, rojo o café) y/o de la textura del agua (Sigee, 2005). En muchos casos el aumento de biomasa se transfiere a través de la red trófica contribuyendo al re-suministro de nutrientes en la columna de agua sin tener efectos adversos sobre el ambiente (Carstensen *et al.*, 2007). Contraria a esta



situación, la acumulación de biomasa genera diversos efectos negativos en los sistemas acuáticos y en los usos que se realizan sobre el recurso agua y el sistema en general, siendo consideradas un problema ambiental y de salud emergente para la población.

Las floraciones producen cambios en la red trófica, disminución de la transparencia del agua (UNESCO, 2009). A su vez, estos cambios generan una disminución del valor estético y paisajístico de los ecosistemas (por cambios en su coloración, acumulaciones de biomasa y mal olor), lo que afecta la calidad del agua impidiendo su utilización para la natación, navegación y demás actividades acuáticas (Reynolds, 2006). Específicamente, las floraciones de cianobacterias pueden producir toxinas con propiedades hepatotóxicas, neurotóxicas o dermatotóxicas que afectan la salud humana y animal (Chorus y Bartram, 1999).

En las últimas décadas la frecuencia y la distribución global de las floraciones de fitoplancton, principalmente de cianobacterias tóxicas, ha aumentado a nivel mundial, lo que ha sido atribuido al efecto combinado de la eutrofización y el cambio del clima (Paerl, 2014).

Tras la aparición de un *bloom* se observa generalmente una fase de crecimiento seguida de una desaparición casi total de fitoplancton, llamada *die-off* (Paerl, 1988). Existen varias hipótesis que justifican las causas de esta desaparición brutal, entre otras, Smith (1988) ha observado en ciertos casos de *die-off* la presencia de agentes patógenos, bacterias y virus que provocan la destrucción de las células. Este mismo autor atribuye la aparición de estos fenómenos a la respuesta ante acontecimientos como deficiencias de nutrientes que pueden paralizar la formación de las proteínas y entrañar una fotólisis de las células, o bien reducir sus defensas quedando más susceptibles a un ataque bacteriano o viral.



La identificación de los principales factores bióticos y abióticos que condicionan el aumento de biomasa de fitoplancton es esencial para la adecuada gestión de los ecosistemas de aguas continentales (Peretyatko *et al.*, 2007). Existen diferentes métodos de evaluación que implican desde la composición taxonómica y la diversidad de especies (Stevenson y Smol, 2003), hasta métodos de agrupación a partir de aspectos fisiológicos y/o morfológicos. Estos últimos permiten relacionar la presencia y el comportamiento de las comunidades algales con determinadas condiciones tanto físicas como químicas de los cuerpos de agua (Reynolds *et al.*, 2002; Padisák *et al.*, 2009) sin necesariamente hacer mediciones en el ambiente y/o donde el conocimiento de estos parámetros es escaso (Kruk *et al.*, 2010). Los enfoques basados en las características funcionales de las especies han sido cada vez más aplicados para explicar y predecir la respuesta de las especies de fitoplancton a las condiciones ambientales (Kruk y Segura, 2012).

3.10.1. Factores que llevan al predominio de las cianobacterias

Los procesos de eutrofización producen cambios cuantitativos y cualitativos en la comunidad del fitoplancton. Aumenta la frecuencia y densidad de las floraciones y las cianobacterias desplazan a las diatomeas, clorofíceas o crisofíceas. En ambientes altamente eutrofizados suelen predominar durante la mayor parte del año. Estos hechos se han verificado en muchos trabajos limnológicos. Se han formulado diversas hipótesis al respecto. El predominio de cianobacterias en muchos lagos mesotróficos y eutróficos hacia el final del verano y en otoño se explicaría por su capacidad para fijar nitrógeno molecular (Margalef, 1983; Pick y Lean, 1987; Paerl, 1988). En ese momento el nitrógeno suele ser el nutriente limitante de la productividad primaria y las cianobacterias tendrían ventajas competitivas en esta situación. Se asume que es limitante cuando la relación $N-(NO_3+NO_2+NH_4): P-PO_4$ es menor que 5 o la relación Total N:P es menor que 25 (Forsberg *et al.*, 1978). No sólo son importantes las relaciones sino los valores absolutos. En lagos



mesotróficos o eutróficos estratificados, puede predecirse que si la concentración de P-PO₄ en primavera, es superior a 10 mg l⁻¹, existe una alta probabilidad de floraciones durante el verano (Reynolds, 1991).

La temperatura elevada es otro de los factores mencionados, pero existen muchas excepciones. Según Shapiro (1990), el predominio de las cianobacterias se explicaría en todos los casos por su elevada capacidad para absorber bióxido de carbono disuelto, aun en concentraciones muy bajas. Esta ventaja competitiva se debe a que la anhidrasa carbónica de las cianobacterias, se localiza en la membrana celular, mientras que en las algas eucarióticas se encuentra localizada en el interior de las células, sobre la membrana del cloroplasto (Olofsson, 1980). El pH elevado favorece el desarrollo de las cianobacterias, por su capacidad para transformar los iones bicarbonato y carbonato en bióxido de carbono (Olofsson, 1980; Shapiro, 1990). De hecho, las cianobacterias son las únicas algas que desarrollan biomasas importantes en ambientes naturalmente alcalinos y salinos (Fogg *et al.*, 1976; Skulberg *et al.*, 1984). En cuerpos de agua someros su concentración suele aumentar durante los años secos.

Otro tipo de factor implicado en su predominio, es la baja tasa de filtración por el zooplancton, sea porque son poco palatables (Shapiro, 1990), o porque interfieren mecánicamente el proceso o porque se inhiben cuando hay cepas tóxicas en el medio (Lampert, 1987). Cualquiera sea el mecanismo involucrado, el predominio de las cianobacterias en muchos ecosistemas acuáticos es una respuesta del ambiente a la eutrofización cultural (Suess, 1981; Skulberg *et al.*, 1984; Smith *et al.*, 1987; Pick y Lean, 1987; NRA, 1990). La composición del fitoplancton está relacionada con el tipo y las modalidades de uso de la tierra en la cuenca hidrográfica, v.g., la densidad de habitantes, tratamiento de los efluentes cloacales, uso de fertilizantes, deforestación, carga animal



y otros. La cantidad de fósforo excretada por una vaca equivale a la de veinte personas (Vallentyne, 1978).

3.10.2. Floraciones tóxicas.

Algunas microalgas producen toxinas tan potentes, que pueden resultar dañinas, aunque no alcancen concentraciones celulares elevadas que descoloren el agua. Bastan unos pocos cientos (o miles, según la especie) de células por Litro para que los mariscos adquieran niveles de toxinas que sobrepasan los límites legales establecidos como nivel de regulación. Se define como episodios de microalgas tóxicas aquellos eventos en los que la presencia de microalgas en concentraciones moderadas (no causantes de descoloraciones) confiere niveles de toxinas a los moluscos tales que pueden constituir un peligro para la salud, y obligan a las autoridades competentes a prohibir su recolección y comercialización. Los mariscos tóxicos pueden transmitir estas sustancias a niveles superiores de la cadena trófica, actuando como vectores que dan lugar a los tristemente célebres síndromes de «intoxicación por marisco», que afectan a los vertebrados y al hombre. Los síndromes tóxicos más conocidos causados por microalgas son la «Intoxicación Paralizante por Marisco» (Paralytic Shellfish Poisoning = PSP), la «Intoxicación Diarreica por Marisco» (Diarrhetic Shellfish Poisoning = DSP), la «Intoxicación Amnésica por Marisco» (Amnesic Shellfish Poisoning = ASP) y la «Intoxicación Neurotóxica por Marisco» (Neurotoxic Shellfish Poisoning = NSP) (E.A. Sar, M.E. Ferrario y B. Reguera, 2002).

Un buen ejemplo de episodio de microalgas tóxica, que puede provocar el síndrome con bajas concentraciones celulares ($10^2 - 10^4 \text{ cel} \cdot \text{l}^{-1}$) lo constituyen los episodios de DSP asociados a la ocurrencia de concentraciones moderadas de dinoflagelados del género *Dinophysis* (Reguera *et al.*, 1993; Blanco *et al.*, 1998). Además de los moluscos, las toxinas microalgales pueden ser



acumuladas por el zooplancton (Maneiro *et al.*, 2000) y en niveles sub-letales en las vísceras de peces planctívoros. La posterior transferencia de niveles sub-letales de toxinas, a través de pequeños organismos pelágicos, a niveles superiores de la red trófica puede causar mortandades de mamíferos marinos, como fue el caso de las muertes de leones marinos tras ingerir alimento portador de toxinas amnésicas (Scholin *et al.*, 2000).

Carreto y Benavides (1993) citaron la existencia de archivos históricos en Argentina que mencionan mortandades en las poblaciones indígenas de Ushuaia, causadas por consumo de mariscos, desde 1886 los primeros casos de víctimas humanas registrados en tiempos recientes, presumiblemente por PSP, se dieron en 1970 (Avaria, 1979) y en 1972 año en que estos brotes tóxicos se asociaron a la ocurrencia de *Alexandrium* (*Gonyaulax*) *catenella* en la región de Magallanes de la Patagonia chilena (Guzmán y Campodonico, 1975). A partir de 1980 comienzan los informes de virulentos episodios de PSP asociados a la ocurrencia de *Alexandrium* *tamarensis* (*Gonyaulax tamarensis/excavata*) en las costas de la Patagonia Argentina (Carreto *et al.*, 1981).

3.10.3. Problemas taxonómicos y cepas tóxicas.

Las cianobacterias son las principales responsables de los eventos de intoxicación en aguas dulces, y en unos pocos casos también en aguas marinas. Los dinoflagelados también pueden causar problemas de toxicidad, pero en las aguas continentales estos casos son excepcionales. Las especies del género *Microcystis* son responsables de más del 60 % de los casos de intoxicación en todo el mundo. La ecología de las especies tóxicas y no tóxicas no está clara por lo que es lícito hablar de toxicidad a nivel de género, es decir de *Microcystis* sp. (Ohtake *et al.*, 1989), independientemente de la especie presente. La toxicidad depende de las cepas y no de las especies, pudiendo coexistir en un mismo sitio cepas de la misma especie, tóxicas y no tóxicas (Sirenko,



1980; Margalef, 1983). La toxicidad de una floración presenta grandes variaciones aun de un día a otro, por factores ambientales: presencia de especies competidoras, envejecimiento y otros, siendo por lo tanto difícil de predecir (Sirenko, 1980; NRA, 1990; Repavich *et al.*, 1990).

El conocimiento de las toxinas de las cianobacterias es reciente. Entre las técnicas empleadas para su aislamiento e identificación se encuentran la HPLC (High Performance Liquid Chromatography), el análisis estereoquímico, la espectroscopía de resonancia magnética nuclear (Lawton y Codd, 1991) y otras. Estas técnicas son muy sofisticadas para un laboratorio standard. El único método de rutina disponible para verificar la presencia de toxicidad es el bioensayo en ratas mediante la inyección intraperitoneal del extracto obtenido de un cultivo axénico o de una floración natural (NRA, 1990; Sivonen *et al.*, 1990)

Las toxinas producidas por las cianobacterias se clasifican en dos grupos principales, las neurotoxinas (alcaloides) y las hepatotoxinas (péptidos monocíclicos) (Carmichael, 1992)

La mayor parte de los eventos de intoxicación en el mundo han sido provocados por **hepatotoxinas**. Se clasifican en dos tipos principales, microcistinas y nodularinas. La intoxicación aguda produce disgregación de los hepatocitos, necrosis de los capilares sanguíneos y la muerte por hemorragia intrahepática. Las microcistinas constituyen un conjunto de más de cuarenta pentapéptidos o heptapéptidos producidos particularmente por cepas de *Microcystis*. Algunos se denominaron inicialmente como cianoginosinas, cianoviridina o factor de muerte rápida. (Azis, 1974, en Margalef, 1983).

Las **neurotoxinas** son alcaloides cuya toxicidad supera a la de los hepatotóxicos. De hecho, en los casos de especies que producen tanto hepatotoxinas como neurotoxinas (*Anabaena flos-aquae*,



A. Spiroides, *A. Circinalis*, *Aphanizomenon flos-aquae* y *Oscillatoria*), éstas últimas actúan más rápido y dominan los síndromes clínicos (Carmichael, 1992; Carmichael y Falconer, 1993).

3.10.4. Control de floraciones.

El difundido tratamiento con sulfato de cobre libera la mayor parte del contenido de toxinas de las células (Falconer y Carmichael, 1993). Por lo tanto, el sulfato de cobre no debe usarse cuando están presentes algunas de las especies potencialmente tóxicas. Kenefick *et al.* (1992) sugieren utilizar hidróxido de calcio porque abate las algas sin liberar toxinas y además co-precipita el fósforo disuelto con lo cual se reduce el crecimiento de la población algal.

3.11. Cámaras utilizadas para la cuantificación de las microalgas.

Para realizar el recuento celular se han diseñado diferentes cámaras que contienen un volumen determinado de muestra entre una lámina y una laminilla rígida (cubre objeto especial) colocada sobre plataformas laterales a una altura establecida (Alfonso y Leal, 1998).

Cámara de Sedgwick-Rafter (S/R): El uso de esta cámara se describe en (Serfling, 1949; McAlice, 1971). Tienen 50 mm por 20 mm de lado y 1 mm de profundidad, con una capacidad de 1 ml de muestra. 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). Para llenar la cámara se recomienda colocar el cubreobjetos en forma diagonal, y colocar la muestra por el espacio libre que queda entre este y el porta objeto. De esta manera se evita la formación de burbujas de aire, que podrían introducir una fuente de error al medir el volumen de la muestra.



Cámara Neubauer o Hematocitometro: La cámara Neubauer consiste en una placa gruesa con forma de porta, cuya porción central está dividida en tres bandas longitudinales perpendiculares a su eje longitudinal. De ellas, las dos laterales se encuentran sobre elevadas con respecto de la central en 0.1 mm, y en la central hay grabado un retículo cuadrangular.

La cuadrícula de recuento está formada por 9 cuadrados grandes, cada uno de ellos con una superficie de 1 mm². El cuadrado grande central está dividido en 25 cuadrados medianos, cada uno de ellos con 16 cuadrados pequeños en su interior. Los cuatro cuadrados grandes de las esquinas (no se muestran en la figura), están formados por 16 cuadrados medianos.



4. Materiales y métodos

4.1 Área de muestreo

El presente estudio se realizó en el estero de la zona de Salinas Grandes, Departamento de León, Nicaragua, en el periodo de junio-noviembre del 2017. La zona de estudio tiene un área de 1.55km; divididos en 3 puntos de muestreo escogidos estratégicamente.



Figura 1. Mapa de puntos de muestreo. (P1: Garita: 12°16'22.0"N, 86°52'47.3"W; P2: Gasolina: 12°16'47.0"N, 86°52'52.5"W; P3: 12°16'56.5"N, 86°53'15.1"W).

Tabla 1. Coordenadas puntos de muestreo en el Estero de Salinas Grandes, León-Nicaragua.

| Punto | Localidad | Latitud | Longitud |
|-------|-----------|-------------|-------------|
| P1 | Garita | 12°16'22.0" | 86°52'47.3" |
| P2 | Gasolina | 12°16'47.0" | 86°52'52.5" |
| P3 | Manzano | 12°16'56.5" | 86°53'15.1" |



4.2. Metodología experimental para la toma de muestras

Los muestreos se realizaron en un área de 1.55 km, una vez al mes, en el período junio-noviembre, 2017. El área de estudio se dividió en 3 puntos de muestreo, P1.Garita-P2.Gasolina-P3.Manzano. Los puntos fueron georreferenciados con un GPS marca etrex 10. La toma de las muestras se hizo siempre entre las 10:00am y 12:00pm en marea alta.

Los parámetros fisicoquímicos (salinidad, oxígeno disuelto (OD), pH, temperatura y turbidez) se midieron en el centro del río. Para determinar el nivel de OD y los grados de temperatura en el sitio se utilizó un oxigenometro marca 556 Handheld Multiparameter Instrumen (YSI). La salinidad se midió usando un refractómetro marca J&G SC, que previo a la utilización se calibraba y tras cada toma de medida se lavaba con agua destilada. El pH se midió con un pH-metro marca Eco Testr pH2. La turbidez se midió con un disco de secchi elaborado por el Laboratorio de Fisiología Animal de la UNAN-León, el cual consiste de un disco circular graduado con franjas blanca y negra y el soporte de medida graduado cada 5 cm. La metodología consistió en hacer descender el disco en la columna de agua en la parte de la sombra de la embarcación, hasta que no se observe y las lecturas siempre fueron realizadas por la misma persona.

La toma de muestra de agua se realizó usando un tubo PVC de 2 pulgadas de ancho por 1 metro de largo, el cual en la parte inferior tenía una pelota amarrada con una cuerda que pasaba por el centro del tubo y que llegaba hasta la mano de quien esté tomara la muestra. El tubo se introducía en el río aflojando un poco la cuerda con la pelota para que entrara el agua y cuando el tubo estaba lleno se jalaba la cuerda de tal forma que la pelota sirviera de tapón para que no se saliera la muestra, luego el agua se depositada en una cubeta (siempre se realizaba por triplicado) de donde se tomaban las muestras. Luego se llenaban tres botellas de 500ml debidamente



rotuladas por punto, a las cuales se les agregaba 1.5ml de lugol neutro, esto para fijar la muestra para luego ser llevadas al Laboratorio de Fisiología Animal de la UNAN-León.

4.3. Identificación de grupos de algas y conteo celular

Usando un microscopio óptico convencional, se identificaron los grupos de fitoplancton con mayores concentraciones de forma comparativa usando un manual de fitoplancton. Previo a la realización de cada una de las lecturas las muestras se agitaban suavemente, de manera que no se fragmentaran las células. Y Para la identificación de los organismos fitoplanctónicos se utilizaron dos tipos de cámaras de conteo celular:

4.3.1. Cámara Neubauer o Hematocitometro.

Se colocaban 10 μ l de la muestra en la cámara de Neubauer con una micropipeta. Con el lente de 4X ubicábamos los cuadrantes de manera general en toda la cámara, con el lente de 10x se enfoca un solo cuadrante y una vez seleccionado se usaba el lente de 40X para proceder a la identificación y conteo de los organismos, se iniciaba de la parte superior derecha llevando una trayectoria en forma de S. Una vez contados los organismos de los 4 cuadrantes se multiplicaban por 2500 para obtener número de células por mililitros.

4.3.2. Cámara Sedgwick-Rafter (S/R).

Con un gotero se colocaba 1 mL de muestra en la cámara Sedgwick- Rafter (S/R) de la siguiente manera: se llenaba lentamente de tal forma que no quedaran gotas de agua y se enfocaba con el lente 10x con un microscopio óptico convencional. Las lecturas se hacían en toda la cámara haciendo luego un recuento de todas las células encontradas.



4.4. Análisis estadísticos.

Para todos los experimentos la comparación entre los grupos se realizó usando Sigma Stat (SPSS Inc., Chicago, IL). Los datos fueron analizados mediante una prueba de normalidad (Shapiro-Wilks) y de homogeneidad de varianzas (prueba C de Cochran). Los datos se muestran como media \pm E.E.M. de cada grupo y las diferencias entre ellos se evaluaron mediante un ANOVA de una vía. Tras los análisis de varianza se realizó el test de comparaciones múltiples de Student Newman Keuls. En todos los casos el nivel de significación se estableció con un valor de $P < 0.05$. La relación entre los parámetros fisicoquímicos y las concentraciones de los grupos de microalgas se determinó usando el análisis de Correlación de Pearson (R).



5. Resultados

5.1. Parámetros Físicos-Químicos

5.1.1. Salinidad.

En la figura 2 se muestran los valores promedio con respecto al comportamiento de la concentración salina (ppm), en cada uno de los puntos de muestreo en los meses estudiados. De manera general, se observa una tendencia decreciente del primer al último punto de muestreo (entrada del agua hacia el continente) en los meses de junio, septiembre, octubre y noviembre.

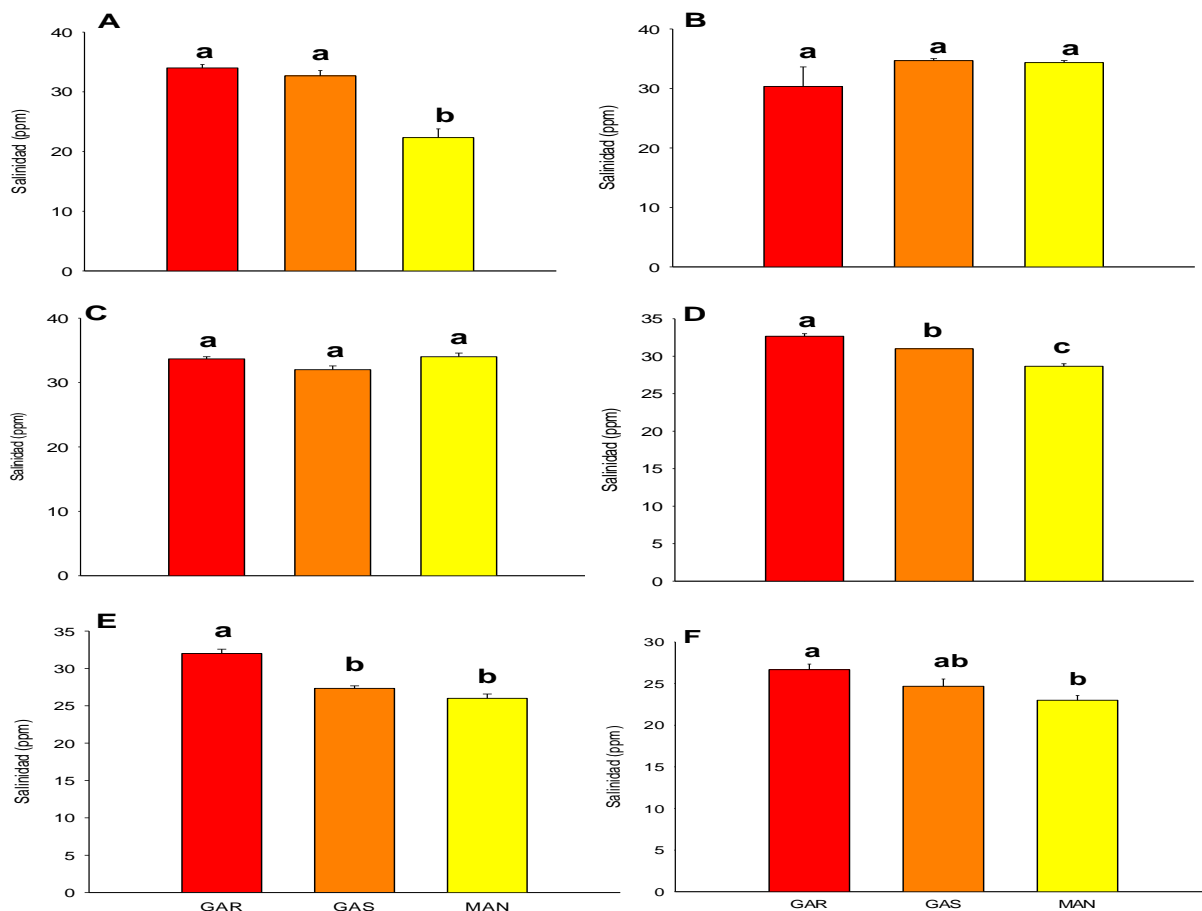


Fig.1. Valores promedio de la concentración salina en el periodo junio-noviembre 2017 en el Estero de Salinas Grandes, León. Junio (A), Julio (B), Agosto (C), Septiembre (D), Octubre (E) y Noviembre (F). Garita Punto 1 (GAR), Gasolina Punto 2 (GAS), Manzano Punto 3 (MAN). Cada valor se corresponde a la media \pm EEM, N=3. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre puntos.



5.1.2. Salinidad (valores de las pendientes).

La tabla 2 muestra los valores del comportamiento de la concentración salina a través de los valores de las pendientes (b), durante todo el periodo de muestreo (junio-noviembre), en diferentes intervalos de tiempo. De manera general, nuestros resultados indican un decrecimiento de los valores de pendiente en todo el periodo de estudio, en cada uno de los sitios estudiados. Sin embargo, si analizamos el comportamiento de la garita hacia el manzano se observa disminución de la concentración salina en los intervalos Jun-Nov y Ag-Nov.

Tabla 2. Valores de las pendientes de la concentración salina, en cada punto de muestreo, en el periodo junio-noviembre 2017 en el Estero de Salinas Grandes, León.

| <i>Meses</i> | Valores de pendiente. | | | | |
|-----------------|------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | Jun-Nov | Jul-Nov | Ago-Nov | Sep-Nov | Oct-Nov |
| Garita | -0.9333 | -0.9 | -2.1667 | -3 | -5.3333 |
| Gasolina | -1.8 | -2.4667 | -2.5667 | -3.1667 | -2.6667 |
| Manzano | -0.7714 | -3.0667 | -3.5667 | -2.8333 | -3 |



5.1.3. Oxígeno Disuelto (OD).

En la tabla 3. Se muestran las concentraciones promedio de oxígeno disuelto, por mes, en cada punto de muestreo. Se observa tendencia decreciente de la concentración entre Junio-Septiembre y comportamiento inverso de Octubre a Noviembre.

Tabla 3. Valores promedio de Oxígeno disuelto (mg/L) en cada punto de muestreo, en el periodo junio-noviembre 2017 en el Estero de Salinas Grandes, León. (°) Valores de concentración de oxígeno disuelto mayores, (*) Valores de concentración de oxígeno disuelto menores.

| Concentracion de oxigeno disuelto mg/L | | | |
|--|-----------------|-----------------|-----------------|
| MESES | GARITA | GASOLINA | MANZANO |
| JUNIO | 7.3267 ° | 6.7567 ° | 6.7067 ° |
| JULIO | 6.7667 | 5.0667 * | 6.5667 |
| AGOSTO | 5.5667 * | 5.7667 | 5.7667 |
| SEPTIEMBRE | 5.8500 | 5.4667 | 5.1667 * |
| OCTUBRE | 7.4667 ° | 7.1000 ° | 6.6000 ° |
| NOVIEMBRE | 6.0667 | 5.4667 | 6.1333 |



5.1.4. pH.

En la tabla 4. Se muestran los valores promedio de pH encontrados en cada punto de muestreo por mes, donde los valores máximos se presentan en el mes de octubre en los tres puntos.

Tabla 4. Valores promedio de pH en cada punto de muestreo, en el periodo junio-noviembre 2017 en el Estero de Salinas Grandes, León. (°) Valores de concentración de pH mayores, (*) Valores de concentración de pH menores.

Valores de pH

| MESES | GARITA | GASOLINA | MANZANO |
|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| JUNIO | | | |
| JULIO | 8.5333 ° | 7.4333 * | 7.3333 * |
| AGOSTO | 7.3667 | 7.4333 | 7.5000 |
| SEPTIEMBRE | 8.0000 | 8.4000 | 8.4000 |
| OCTUBRE | 8.5333 ° | 8.5667 ° | 8.5333 ° |
| NOVIEMBRE | 7.3667 * | 7.7667 | 7.9667 |



Evaluación de la dinámica fitoplanctónica de los grupos: Cianofitas, Clorofitas, Diatomeas, y Dinoflagelados y su relación con los parámetros fisicoquímicos, en las aguas del Estero Salinas Grandes, periodo junio-noviembre 2017.

5.1.5. Disco de secchi.

La tabla 5 muestra los valores promedio de lectura de Disco de Secchi de cada punto de muestreo, por mes. Se observa que los valores entre julio y noviembre en los tres puntos son mayores a los de junio, lo que indica menor turbidez durante esos meses.

Tabla 5. Valores promedio de lectura de Disco De Secchi en cada punto de muestreo, en el periodo junio-noviembre 2017 en el Estero de Salinas Grandes, León. (°) Valores de lectura de disco de Secchi mayores, (*) Valores de lectura de Disco de Secchi menores.

Valores de disco de Secchi (cm)

| MESES | GARITA | GASOLINA | MANZANO |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| JUNIO | 70.0000 * | 68.3333 * | 61.6667 * |
| JULIO | 150.0000 | 140.0000 | 160.0000 ° |
| AGOSTO | 128.3333 | 125.0000 | 131.6667 |
| SEPTIEMBRE | 151.6667 ° | 148.3333 ° | 123.3333 |
| OCTUBRE | 86.6667 | 115.0000 | 120.0000 |
| NOVIEMBRE | 140.0000 | 118.3333 | 121.6667 |



5.1.6. Temperatura.

En la tabla 6 se muestra los valores promedios de temperatura encontradas en cada punto de muestreo por mes. Se refleja que no hay variación significativa a lo largo del tiempo.

Tabla 6. Valores promedio de temperatura en cada punto de muestreo, en el periodo junio-noviembre 2017 en el Estero de Salinas Grandes, León. (°) Valores de temperatura mayores, (*) Valores de temperatura menores.

Valores de temperatura (°C)

| MESES | GARITA | GASOLINA | MANZANO |
|------------|------------------|------------------|------------------|
| JUNIO | 29.2000 | 29.2000 * | 29.1000 * |
| JULIO | 29.0667 * | 29.2000 * | 29.1333 |
| AGOSTO | 30.3333 | 30.3333 | 29.6000 |
| SEPTIEMBRE | 30.4667 | 30.3667 ° | 30.1000 ° |
| OCTUBRE | 30.5667 ° | 30.2000 | 29.9333 |
| NOVIEMBRE | 29.4667 | 30.0667 | 29.5667 |



5.2. Identificación y conteo de microalgas

5.2.1. Concentración de Clorofitas.

La figura 3 muestra los valores de la concentración de Clorofitas por punto y mes de muestreo. De manera general, nuestros resultados indican que entre los meses de julio a octubre no hubo diferencias significativas entre los 3 puntos, presentando solo diferencias en el mes de junio y noviembre.

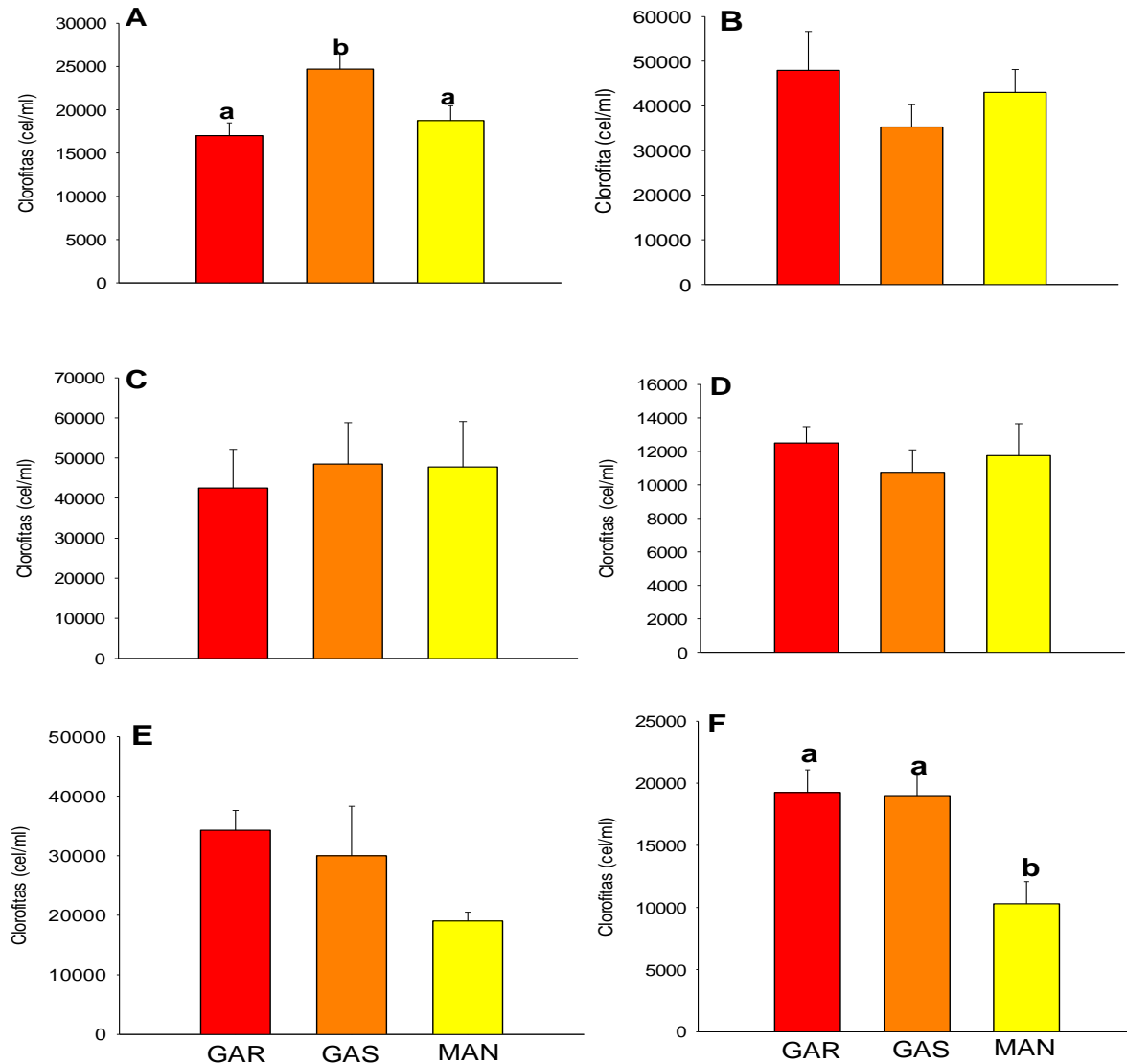


Fig.2. Valores promedio de la concentración de Clorofitas en el periodo junio-noviembre 2017 en el Estero de Salinas Grandes, León. Junio (A), Julio (B), Agosto (C), Septiembre (D), Octubre (E) y Noviembre (F). Garita Punto 1 (GAR), Gasolina Punto 2 (GAS), Manzano Punto 3 (MAN). Cada valor se corresponde a la media \pm EEM, N=10. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre puntos.



5.2.2. Concentración de Diatomeas.

La figura 4 muestra los valores de la concentración de Diatomeas por punto y mes de muestreo. De manera general, nuestros resultados reflejan que entre los meses de julio a octubre hay una tendencia decreciente de la concentración de diatomeas del Punto 1 (entrada del estero) hacia el continente. Mientras que en los meses de junio y noviembre la tendencia es ascendente teniendo una mayor concentración en el punto 3.

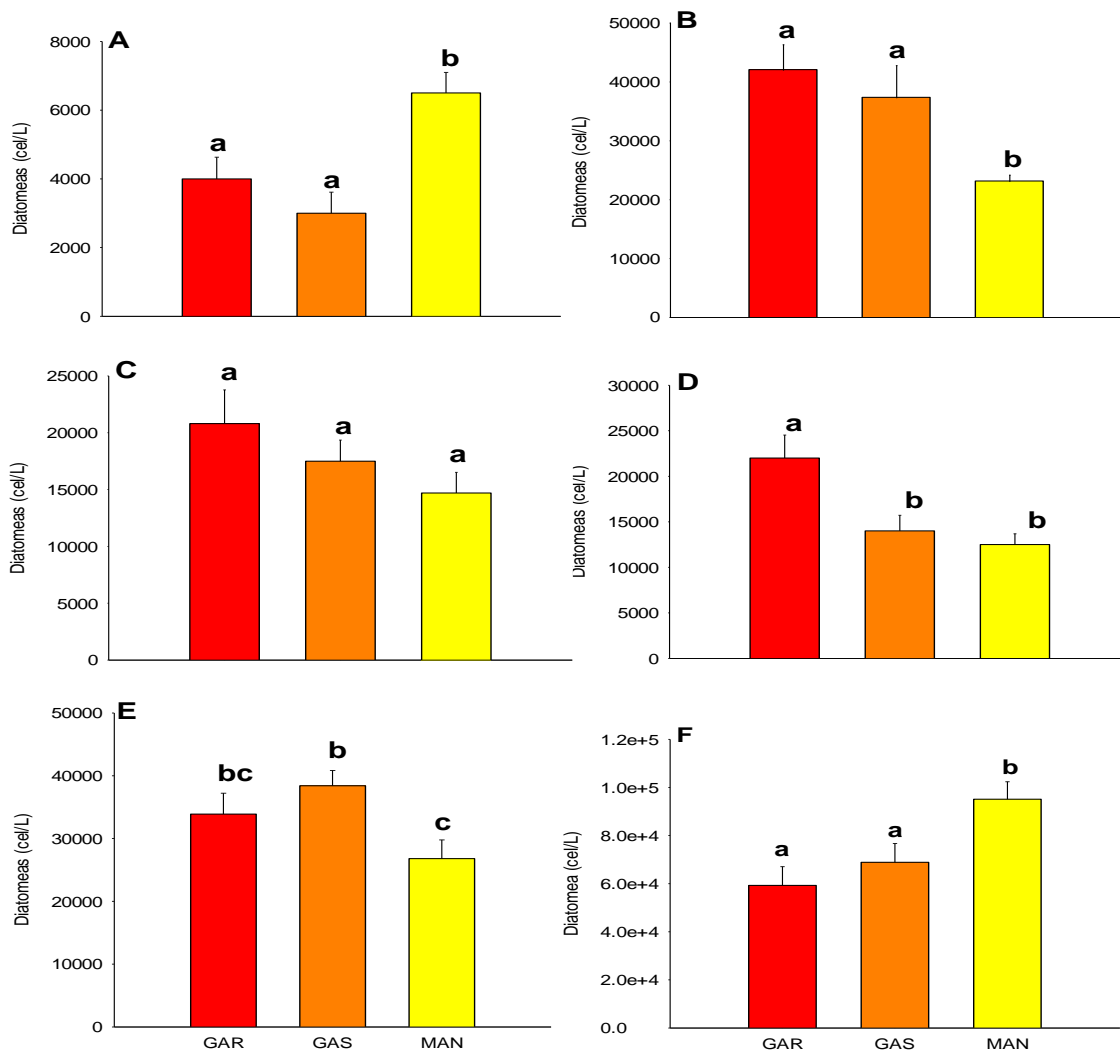


Fig.3. Valores promedio de la concentración de Diatomeas en el periodo junio-noviembre 2017 en el Estero de Salinas Grandes, León. Junio (A), Julio (B), Agosto (C), Septiembre (D), Octubre (E) y Noviembre (F). Garita Punto 1 (GAR), Gasolina Punto 2 (GAS), Manzano Punto 3 (MAN). Cada valor se corresponde a la media \pm EEM, N=10. Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre puntos.



5.2.3. Concentración de Dinoflagelados.

La tabla 7 muestra los valores promedio de la concentración de Dinoflagelados por mes y punto de muestreo. De manera general, nuestros resultados reflejan una tendencia creciente en la concentración a lo largo del tiempo de estudio siendo octubre y noviembre los meses con los valores mayores en los 3 puntos de muestreo.

Tabla 7. Valores promedios de las concentraciones de Dinoflagelados en el periodo junio-noviembre 2017 en el Estero de Salinas Grandes, León. (°) concentración mayor.

Concentración de Dinoflagelados (cel/L)

| MESES | GARITA | GASOLINA | MANZANO |
|------------|--------|----------|--------------|
| JUNIO | 0 | 100 | 0 |
| JULIO | 100 | 200 | 0 |
| AGOSTO | 300 | 100 | 0 |
| SEPTIEMBRE | 700 | 500 | 1500 |
| OCTUBRE | 1600 | 1300 | 1200 |
| NOVIEMBRE | 2300 | 2300 | 2800° |



Evaluación de la dinámica fitoplanctónica de los grupos: Cianofitas, Clorofitas, Diatomeas, y Dinoflagelados y su relación con los parámetros fisicoquímicos, en las aguas del Estero Salinas Grandes, periodo junio-noviembre 2017.

5.2.4. Generos de Clorofitas.

La tabla 8 muestra el valor promedio de las concentraciones de los géneros de Clorofitas encontrados en cada uno de los seis meses de estudio en los 3 puntos de muestreo. Los resultados señalan que *Chlorella* fue el único genero encontrado en todo el periodo de estudio. La mayor concentración fue en el mes de agosto con 138,750 (cel/mL) y la menor en el mes de septiembre con 35,000 (cel/mL).

Tabla 8. Valores promedios de los géneros de Clorofitas presentes en toda el área de estudio en el periodo junio-noviembre 2017 en el Estero de Salinas Grandes, León. (°) concentración mayor, (*) concentración menor.

| Concentracion de Clorofitas (cel/ml) | | | | | | |
|--------------------------------------|--------|---------|-----------|------------|---------|-----------|
| GENERO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE |
| CLORELLA | 60,236 | 125,422 | 138,750 ° | 35,000* | 83,350 | 48,550 |



5.2.5. Generos de Diatomeas.

La tabla 9 muestra la suma de valores promedio de las concentraciones de los géneros de diatomeas en los 3 puntos a lo largo de seis meses de estudio. Los resultados reflejan que el género *Chaetoceros* presentan la mayor concentración en los meses de estudio, teniendo el mayor valor en el mes de noviembre con 136,200 cel/L.

Tabla 9. Valores promedios de los géneros de Diatomeas presentes en toda el área de estudio en el periodo junio-noviembre 2017 en el Estero de Salinas Grandes, León. (°) concentración mayor.

Concentracion de Diatomeas (cel/L)

| GENEROS | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE |
|-----------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| <i>Nitzchia</i> | 1,856 | 23,100 | 14,600° | 8,500 | 12,400 | 19,200 |
| <i>Pleurosigma</i> | 2,800° | 7,200 | 6,600 | 4,400 | 3,700 | 5,800 |
| <i>Coscinodiscus</i> | 811 | 3,800 | 3,900 | 4,600 | 6,200 | 5,200 |
| <i>Cyclotella</i> | 400 | 700 | 1,100 | 1,100 | 0 | 400 |
| <i>Navicula</i> | 4,567 | 3,200 | 1,800 | 1,000 | 900 | 5,000 |
| <i>Biddulphia</i> | 500 | 1,200 | 1,000 | 1,200 | 2,500 | 1,500 |
| <i>Thalassionema</i> | 1,000 | 8,800 | 5,400 | 2,100 | 5,000 | 7,800 |
| <i>Gyrosigma</i> | 1,000 | 700 | 500 | 4,800 | 200 | 400 |
| <i>Diploneis</i> | 600 | 2,200 | 3,200 | 1,400 | 2,700 | 3,300 |
| <i>Chaetoceros</i> | 0 | 24,100° | 5,400 | 5,700 | 20,100 | 136,200° |
| <i>Skeletonema</i> | 0 | 12,100 | 3,000 | 2,200 | 400 | 13,600 |
| <i>Odontella</i> | 0 | 1,000 | 500 | 500 | 4,100 | 2,400 |
| <i>Rhizoselenia</i> | 0 | 9,900 | 1,900 | 4,300 | 8,000 | 5,600 |
| <i>Guinardia</i> | 0 | 4,000 | 2,400 | 12,100° | 30,700° | 16,100 |
| <i>Eunotia</i> | 0 | 200 | 2,400 | 200 | 500 | 500 |
| <i>Surirella</i> | 0 | 200 | 100 | 0 | 0 | 0 |
| <i>Asterionella</i> | 100 | 0 | 800 | 0 | 0 | 900 |
| <i>Fragilaria</i> | 0 | 0 | 0 | 200 | 0 | 300 |
| <i>Ditylum</i> | 0 | 0 | 0 | 0 | 1100 | 400 |
| <i>Bacteriastrium</i> | 0 | 0 | 100 | 100 | 0 | 1300 |
| <i>Melosira</i> | 0 | 0 | 200 | 0 | 0 | 0 |
| TOTAL | 13,633 | 102,400 | 54,900 | 54,400 | 98,500 | 225,900 |



5.2.6. Generos de Dinoflagelados.

La tabla 10 muestra la suma de valores promedio de las concentraciones de los géneros de dinoflagelados en los 3 puntos a lo largo de seis meses de estudio. Los resultados reflejan que en el mes de noviembre se dio la mayor concentración total de todo el periodo de estudio, siendo el genero Cochlodinium el que predomino en este mes, con una concentración de 2,200 cel/L

Tabla 10. Valores promedios de los géneros de Dinoflagelados presentes en toda el área de estudio en el periodo junio-noviembre 2017 en el Estero de Salinas Grandes, León. (°) concentración mayor.

Concentracion de dinoflagelados (cel/L)

| GENERO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SEPTIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE |
|-----------------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|
| ALEXANDRIUM | 100° | 0 | 0 | 0 | 0 | 200 |
| DICTYOCHA | 0 | 300° | 100 | 400 | 1200 | 100 |
| PROROCENTUM | 0 | 0 | 300° | 100 | 1100 | 1400 |
| GYMNODINIUM | 0 | 0 | 0 | 2200° | 100 | 1000 |
| PROTOPERIDINIUM | 0 | 0 | 0 | 0 | 1400° | 1500 |
| TRIPUS FUSU | 0 | 0 | 0 | 0 | 200 | 0 |
| TRIPUS FURCA | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 |
| COCHLODINIUM | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2200° |
| TOTAL | 100 | 300 | 400 | 2700 | 4100 | 7400° |



5.2.7. Correlaciones entre concentraciones de microalgas y parámetros físico-químicos (Garita).

Pearson Product Moment Correlation

Data source: Correlaciones Garita.

Cell Contents:
Correlation Coefficient
P Value
Number of Samples

| | dino | CL | OD | pH | TUR | SAL | TEMP |
|------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|
| Dia | 0.730 0.0623 7 | 0.200 0.667 7 | -0.176 0.706 7 | -0.0834 0.875 6 | 0.538 0.213 7 | -0.947 0.00121 7 | -0.158 0.735 7 |
| Dino | | -0.282 0.541 7 | -0.0528 0.910 7 | -0.249 0.635 6 | 0.0925 0.844 7 | -0.733 0.0611 7 | 0.243 0.600 7 |
| CL | | | 0.0446 0.924 7 | 0.312 0.547 6 | 0.152 0.744 7 | 0.0383 0.935 7 | -0.0632 0.893 7 |
| OD | | | | 0.827 0.0422 6 | 0.746 0.0543 7 | 0.143 0.760 7 | -0.273 0.553 7 |
| pH | | | | | -0.276 0.596 6 | 0.194 0.713 6 | -0.0463 0.931 6 |
| TUR | | | | | | -0.463 0.295 7 | 0.00852 0.986 7 |
| SAL | | | | | | | 0.352 0.439 7 |

The pair(s) of variables with positive correlation coefficients and P values below 0.050 tend to increase together. For the pairs with negative correlation coefficients and P values below 0.050, one variable tends to decrease while the other increases. For pairs with P values greater than 0.050, there is no significant relationship between the two variables.



5.2.8. Correlaciones entre concentraciones de microalgas y parámetros físico-químicos (Gasolina).

Pearson Product Moment Correlation

Data source: Correlaciones Gasolina.

Cell Contents:
Correlation Coefficient
P Value
Number of Samples

| | Dino | CL | OD | pH | TUR | SAL | TEMP |
|-------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
| Diato | 0.868 0.0112 7 | -0.109 0.816 7 | -0.288 0.531 7 | -0.121 0.820 6 | 0.278 0.546 7 | -0.707 0.0757 7 | 0.153 0.743 7 |
| Dino | | -0.406 0.366 7 | 0.0238 0.960 7 | 0.294 0.572 6 | 0.0558 0.905 7 | -0.951 0.000978 7 | 0.357 0.432 7 |
| CL | | | 0.0396 0.933 7 | -0.611 0.197 6 | -0.0335 0.943 7 | 0.374 0.408 7 | -0.0770 0.870 7 |
| OD | | | | 0.657 0.156 6 | -0.699 0.0804 7 | -0.220 0.636 7 | 0.00572 0.990 7 |
| pH | | | | | -0.0480 0.928 6 | -0.434 0.390 6 | 0.503 0.309 6 |
| TUR | | | | | | 0.0348 0.941 7 | 0.466 0.292 7 |
| SAL | | | | | | | -0.540 0.211 7 |
| TEMP | | | | | | | |

The pair(s) of variables with positive correlation coefficients and P values below 0.050 tend to increase together. For the pairs with negative correlation coefficients and P values below 0.050, one variable tends to decrease while the other increases. For pairs with P values greater than 0.050, there is no significant relationship between the two variables.



5.2.9. Correlaciones entre concentraciones de microalgas y parámetros físico-químicos (Manzano).

Pearson Product Moment Correlation

Data source: Correlaciones Manzano.

Cell Contents:

Correlation Coefficient

P Value

Number of Samples

| | Dino | CL | OD | pH | TUR | SAL | TEMP |
|-------|----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|
| Diato | 0.820 0.0238 7 | -0.389 0.388 7 | 0.0467 0.921 7 | 0.0350 0.948 6 | 0.183 0.694 7 | -0.387 0.391 7 | 0.0442 0.925 7 |
| Dino | | -0.744 0.0550 7 | -0.298 0.516 7 | 0.578 0.229 6 | 0.0612 0.896 7 | -0.526 0.226 7 | 0.523 0.229 7 |
| CL | | | 0.114 0.807 7 | -0.818 0.0465 6 | 0.490 0.265 7 | 0.853 0.0147 7 | -0.399 0.376 7 |
| OD | | | | -0.209 0.691 6 | -0.245 0.597 7 | -0.273 0.554 7 | -0.667 0.102 7 |
| pH | | | | | -0.761 0.0789 6 | -0.712 0.112 6 | 0.887 0.0183 6 |
| TUR | | | | | | 0.769 0.0432 7 | 0.185 0.691 7 |
| SAL | | | | | | | -0.0263 0.955 7 |
| TEMP | | | | | | | |

The pair(s) of variables with positive correlation coefficients and P values below 0.050 tend to increase together. For the pairs with negative correlation coefficients and P values below 0.050, one variable tends to decrease while the other increases. For pairs with P values greater than 0.050, there is no significant relationship between the two variables.



6. Discusión

6.1. Caracterización preliminar del estudio

Un estuario se define como 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. (Pritchard y Cameroon. 1963). El presente estudio tiene como finalidad hacer un estudio de la dinámica fitoplanctónica y las variaciones de los parámetros fisicoquímicos en los meses de invierno (junio a noviembre) para evaluar las condiciones del cuerpo de agua del estero de Salinas Grandes en los sectores Garita, Gasolina y Manzano para el desarrollo del cultivo de peces en jaulas flotantes.

6.2. Parámetros fisicoquímicos

6.2.1. Salinidad.

Nuestros resultados coinciden con lo reportado por otros investigadores donde muestran que a medida que se avanza de la línea costera hacia el continente hay una tendencia decreciente de la concentración salina (López y Méndez, 2014; Osorio y Prado, 2014). Sin embargo, cabe señalar que nuestra área de estudio tiene una distancia de 1.55 km desde la entrada del mar hasta el punto final de muestreo, lo cual es una distancia muy corta para observar estratos salinos muy pronunciados a lo largo del recorrido. No obstante, a pesar de la cercanía al litoral marino se observan diferencias significativas entre la concentración salina del cuerpo de agua de la Garita con respecto al sector del Manzano, en casi todo el periodo de estudio, con una tendencia decreciente de las concentraciones salinas.



Al analizar los valores de la concentración salina en el tiempo, los resultados muestran que la mayor pendiente decreciente en los valores de las concentraciones salinas ocurrió en los meses de julio-noviembre y agosto-noviembre, en los 3 puntos de muestreo, probablemente debido al periodo lluvioso (Pritchard y Cameroon., 1963). Denotando, que los valores mínimos de concentración de la salinidad se observaron en el mes de noviembre en los tres puntos (Garita 26.6 ppm, Gasolina 24.6 ppm y Manzano 23 ppm).

Bajo ese contexto, cabe señalar que aunque el cuerpo de agua de nuestra área de estudio tiene una distancia de 1.55 Km desde la entrada principal del estero de Salinas grandes, la confluencia entre el agua dulce proveniente de las escorrentías producidas por la lluvia propician valores de la concentración salina que difieren a lo observado por algunos investigadores en otros cuerpos de agua, como es el caso del rio Estero Real (UCA-MARENA, 2001; Curie, 1994).

6.2.2. Oxígeno.

En condiciones normales los esteros presentan concentraciones de oxígeno disuelto que fluctúan en base al nivel de enriquecimiento de nutrientes, actividad fotosintética y la concentración de microorganismos descomponedores (Rabalais *et al.*, 2002). Nuestros resultados reflejan que las concentraciones de oxígeno disuelto no presentan cambios pronunciados en sus valores a lo largo del tiempo, siendo el comportamiento más notorio el de una tendencia decreciente entre los meses de junio y septiembre en toda el área de estudio. Cabe señalar que en los tres sectores de estudio (Garita, Gasolina y Manzano) los valores de la concentración de oxígeno disuelto presentan condiciones óptimas para el bienestar animal, situación que puede deberse a su mayor proximidad al litoral costero. Por consiguiente, estos sitios presentan valores



de oxígeno disuelto, aún en periodo lluvioso, razonables para el desarrollo del cultivo de peces en jaulas flotantes (Boyd, 2000).

6.2.3. pH, Disco de Secchi y Temperatura.

Con respecto a los valores de pH, de manera general, se observa que nuestros datos concuerdan con lo reportado para cuerpos de agua que presentan condiciones óptimas para el bienestar animal, se observa que todos los valores de pH están dentro de los rangos 7.3-8.5 similar a lo reportado por otros autores y el Estero Padre Ramos (datos no publicados por Laboratorio de Fisiología Animal). La mayoría de las aguas epicontinentales presentan valores de pH que fluctúan entre 6.5 y 9, dentro de este intervalo de valores se considera debe encontrarse un ecosistema saludable, siendo algunos factores ambientales los responsables de la modulación de los valores de pH de un cuerpo de agua a otro (Korhonen *et al.*, 2012).

En el caso de la turbidez, factores que pueden ser de origen natural o antrópico inciden en los incrementos de la turbidez en las aguas marinas costeras. La turbidez constituye un indicador general de la calidad de las aguas, aunque no ofrece resultados sobre un contaminante específico (Lenntech, 2009; Moreira *et al.*, 2009). Asimismo, con respecto a los valores de turbidez encontrados en nuestro trabajo, se observa que están dentro de los valores para aguas estuarinas, con concentraciones de microalgas que están dentro de los rangos normales para la buena salud de un cuerpo de agua. La temperatura, de igual forma, no indico cambios significativos en el tiempo ni entre áreas de muestreo, teniendo un rango entre 29.1-30 °C, similar a lo reportado por investigadores de nuestro laboratorio, en el Estero Padre ramos (datos no publicados) y por estudios realizados en el Estero Real con rangos de temperatura entre 29.1-32.8 °C (López y Méndez, 2014; Osorio y Prado, 2014).



6.3. Dinámica fitoplanctónica

6.3.1. Clorofitas.

El 90% de las Clorofitas son de hábitat de agua dulce y el 10% de hábitat marino. Las especies de agua dulce son cosmopolitas y las marinas tienden a estar en aguas tropicales (Lee, 2008). De manera general, se observa que no hay diferencias significativas en la mayoría de los meses estudiados entre las concentraciones de Clorofitas en los diferentes puntos de muestreo, a excepción de los meses de octubre y noviembre; en el primero con una ligera tendencia a incrementar de Garita hacia Gasolina y en el segundo una tendencia decreciente de las concentraciones de la Garita hacia el Manzano. No obstante, cabe señalar que la concentración de cel/ml es muy bajo y no llega a alcanzar más de las 49,000 cel/ml, manteniendo un rango entre 10,000 y 49,000 cel/ml, lo que es común en este tipo de especie debido a que predomina más en agua dulce.

6.3.2. Diatomeas.

Estas microalgas predominan por sobre otros grupos fitoplanctónicos debido a que se ven especialmente favorecidas por los eventos de turgencia (Tomas, 1997) y se encuentran en todas las aguas marinas de los ecosistemas costeros (Moreno *et al.*, 1996) debido a la elevada disponibilidad de compuestos inorgánicos (silicatos, nitratos y fosfatos) que estimulan su desarrollo (Hasle y Syvertsen, 1996; Lara *et al.*, 1996). Nuestros resultados muestran que en los meses de julio, agosto, septiembre y octubre la concentración de diatomeas presenta una tendencia decreciente de las concentraciones a medida que se avanza hacia el continente, situación razonable debido a que las diatomeas son microalgas de ambiente marino (Moreno *et al.*, 1996).

No obstante, cabe señalar que la concentración de diatomeas incremento en el mes de noviembre en el Manzano teniendo diferencias significativas con respecto a Garita y Gasolina en



los meses de julio y noviembre, esta concentración superior en el Manzano no concuerda con la característica de hábitat que presentan las diatomeas y el género que presentó mayor concentración fue *Chaetoceros* sp. con 136,200 cel/L.

6.3.3. Dinoflagelados.

Las floraciones algales se expresan de diversa forma dependiendo de la especie y el cuerpo de agua (Siguee, 2005). Algunos investigadores afirman que los cambios climáticos propiciarán la eutrofización de los estuarios y la zona costera, incrementado los flujos de nutrientes, las relaciones entre nutrientes, la producción fitoplanctónica, el desarrollo de algas tóxicas y nocivas, la reducción de la calidad del agua, pérdida de los hábitat y recursos naturales, y el recrudecimiento de la hipoxia (Rabalais y Turner, 2005). Nuestros resultados muestran que las concentraciones de dinoflagelados, a medida que se intensifica el periodo lluvioso, presenta una tendencia a incrementar de junio a noviembre en las tres áreas de estudio, situación que pudiera deberse a la incidencia de la lluvia la cual podría estar trasladando sedimentos con altos contenidos nutritivos que podrían propiciar el crecimiento de este tipo de micro organismos.

6.4. Principales Géneros

Por el grupo de las Clorofitas solamente encontramos *Chlorella* sp., siendo los meses de julio y agosto los más relevantes con concentraciones de 125,422 y 138,750 cel/ml, respectivamente, siendo esta cifra la suma total de los tres puntos. Cabe señalar que la concentración salina en esos meses se encontraba en rango de 30-34 ppm lo cual resulta contradictorio con el ambiente en que generalmente se desarrollan este tipo de microalgas, que es más que de agua dulce (Lee, 2008).

En el caso de las diatomeas el género que más prevaleció fue *Chaetoceros* sp., su mayor concentración fue en el mes de noviembre con 136,200 cel/L (valor total de la suma de los tres



puntos de muestreo), no concordando con lo definido para el grupo de las diatomeas debido a que la concentración salina se encontraba en sus menores valores en todo el periodo de estudio en los tres puntos con un intervalo de 23-26 ppm (Tomas, 1997).

Con respecto a los dinoflagelados se observó mayor prevalencia de los géneros *Gymnodinium sp*, *protoperidinium sp*, *Prorocentrum sp* y *cocolodinium sp*, lo cual concuerdan con lo reportado para aguas en el pacifico. *Prorocentrum sp*. ha sido reportado en aguas del rio Estero Real (López y Méndez, 2014). No obstante, cabe señalar que *Cocolodinium sp*. no ha sido reportado en cuerpos de agua del pacifico, sin embargo, este fue encontrado solo en el mes de noviembre.

Con lo que respecta a posibles daños de la salud animal y humana no podríamos determinar problemas de marea roja, debido a que se sabe que existen aproximadamente 60 especies de *Prorocentrum sp*. y que solo 8 de ellas son las que pueden liberar toxinas (Delmail *et al.*, 2011). Por tanto, es recomendable profundizar en este tipo de investigaciones para determinar las especies específicas y así definir alguna probabilidad de daño a los animales en cultivo o a la salud humana.

6.5. Relación entre parámetros físico químicos y los grupos fitoplanctónicos

Tomando en cuenta que la dinámica ecológica acuática es fundamental para condiciones de bienestar animal debido a que propicia variaciones entre los diferentes parámetros, evaluamos la dinámica las concentraciones de las divisiones Cianofitas, Clorofitas, Diatomeas y dinoflagelados con las variaciones de los parámetros fisicoquímicos temperatura, pH, OD y turbidez en el ambiente acuático del estero de Salinas Grandes.

Nuestros resultados muestran que, en el estero de Salinas Grandes, en nuestro periodo de estudio, la fluctuación de la concentración de diatomeas y dinoflagelados presentó un comportamiento



inverso con respecto a la fluctuación de la concentración salina, situación que no concuerda con lo reportado a la característica de hábitat reportado para estos grupos (Hasle y Syvertsen, 1996; Lara et al., 1996). Las concentraciones de ambos grupos fitoplanctónicos presentaron correlación negativa ($P < 0.05$), relación que podría ser atribuida a un probable incremento de la concentración de nutrientes debido al volumen de agua provenientes de las escorrentías producto de las lluvias que, además de acarrear nutrientes, disminuye la concentración salina en el cuerpo de agua (Hasle y Syvertsen, 1996; Lara et al., 1996). Por tal razón, el incremento de las concentraciones de diatomeas y dinoflagelados podría estar siendo estimulado por el traslado de sedimentos con altos contenidos nutritivos (Rabalais y Turner, 2005).

Por otro lado, nuestros resultados coinciden con lo reportado por otros investigadores donde afirman que las concentraciones de oxígeno disuelto fluctúan en paralelo con el pH (Boyd, 2000). Es más, al analizar el coeficiente de correlación (0.87) y el valor probabilidad ($P < 0.05$) los resultados permiten deducir que las variaciones de pH son propiciadas principalmente por la fluctuación de la concentración de oxígeno disuelto. Asimismo, se sabe que la turbidez está relacionada con la concentración de fitoplancton o la concentración de sedimento (Boyd, 2000; Boyd y Tucker, 2000). Por ende, al evaluar la correlación de la turbidez del cuerpo de agua con la producción de oxígeno disuelto, los resultados muestran que existe una estrecha correlación entre ambas variables ($P = 0.543$). Bajo ese contexto, podemos afirmar que la turbidez se relaciona más con la presencia de microalgas que con la concentración de sedimento o material coloidal (Queralt, 2003) debido a que coincide con la dinámica paralela de la fluctuación del oxígeno disuelto (Boyd, 2000; Boyd y Tucker, 2000).



7. Conclusiones

1. De manera general, nuestros resultados muestran que los valores de salinidad presentaron comportamiento decreciente de la concentración a medida que nos alejamos de la línea costera en el sentido Garita-Gasolina-Manzano en los meses de junio, septiembre, octubre y noviembre, no observando diferencias significativas en los meses de julio y agosto. Es más, al evaluar el comportamiento de la salinidad en el tiempo, los intervalos de julio-noviembre y agosto-noviembre son los que presentaron las pendientes de decrecimiento más definidas.
2. El oxígeno disuelto, en las tres áreas de estudio, presenta concentraciones mayores a 5 ppm, lo cual es considerado óptimo para el bienestar animal. Asimismo, se observó ligera tendencia decreciente de la concentración de oxígeno disuelto en el sentido Garita-Gasolina-Manzano.
3. Los valores de pH fluctuaron entre 7.333 y 8.566 lo cual es razonable para un cuerpo de agua estuarino en condiciones saludables.
4. Los valores de disco de Secchi fluctuaron entre 61.66 cm y 160 cm lo cual denota nivel de turbidez razonable para un cuerpo de agua estuarino usado para la actividad acuícola.
5. Los valores de temperatura no presentaron diferencias significativas entre puntos de muestreo ni entre meses de estudio.
6. La concentración de microalgas del grupo Clorofitas no presentó diferencias significativas, entre puntos de muestreo en el tiempo, a excepción del mes de noviembre que se observó decrecimiento de la concentración en el sentido Garita-Gasolina-Manzano. El género que prevaleció fue clorella.



7. El grupo de diatomeas presento tendencia decreciente de la concentración en los meses de julio, agosto y septiembre, y tendencia opuesta en los meses de junio octubre y noviembre. Prevalciendo el género *Chaetoceros sp.*

8. Los géneros *Gymnodinium* y *Cochlodinium* fueron los que presentaron las mayores concentraciones con 2200 células/litro en los meses de septiembre y noviembre, respectivamente.

9. Diatomeas y dinoflagelados mostraron correlación 0.730 con probabilidad ($P=0.0623$), ambos grupos presentaron correlación -0.947 con probabilidad ($P=0.00121$ y 0.0611 , respectivamente). Asimismo, se observó correlación de 0.746 ($P=0.05$) entre los niveles de oxígeno disuelto y turbidez, lo que sugiere que la fluctuación Fitoplanctónica es la que modula la concentración de oxígeno disuelto.

En resumen, los resultados presentados en este trabajo de investigación proporcionan evidencias sobre la dinámica de los parámetros fisicoquímicos y la fluctuación de la concentración fitoplanctónica en el cuerpo de agua del estero de Salinas Grandes. Asimismo, mostramos la relación entre cada uno de los parámetros de estudio. Por lo antes expuesto, nuestros resultados muestran que Garita, Gasolina y Manzano presentan un comportamiento razonable de sus parámetros, similar a lo reportado para un cuerpo de agua sano. Por consiguiente, presenta condiciones de bienestar animal para el cultivo de pargos en jaulas flotantes.



8. Recomendaciones

- A. Realizar monitoreos constantes en el Estero de Salinas Grandes para detectar cualquier brote de floración algal nociva ya sea de diatomeas o dinoflagelados, de esta manera se puede notificar con anticipación a los pobladores para evitar cualquier tipo de afectaciones que podrían tener los peces cultivados en jaulas flotantes o la salud humana.

- B. Profundizar más en el estudio de la diversidad fitoplanctónica, para poder determinar qué tipo de especies de microalgas están presentes en el Estero de Salinas Grandes, determinando así las especies que tienen mayor impacto en esta zona, sea de manera positiva o negativa.



9. Bibliografía

- Alfonso, E. y Leal, S. (1998). Creación y Mantenimiento de un Cepario de Microalgas. Centro de Investigaciones Marinas, Universidad de La Habana. Habana, Cuba. 21 págs.
- Anderson, D. Jacobson, I. Bravo y Wrenn, J. (1988). The unique, microreticulate cyst of the naked dinoflagellate *Gymnodinium catenatum*. *J. Phycol.*24: 255-262
- Aranda, N. (2004). Eutrofización y calidad del agua de una zona costera tropical. Universidad de Barcelona, departamento de Ecología. Barcelona, España.
- Asociación para la Supervivencia y el Desarrollo Local (ASODEL), 2009. Proyecto Bosai, Informe línea de base sobre vulnerabilidad en la comunidad Salinas Grandes. p 9-13.
- Brennan, L. y Owende, P. (2010). Biofuels from microalgae-A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14: 557-577.
- Boyd, C. (2000). Calidad del agua, una introducción. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA. 330 pp
- Boyd, C. y Tucker, C. (2000). Elaboración de normas para efluentes de acuicultura en los Estados Unidos. *Global Aquaculture Advocate* 3(6), 81 - 82.
- Cameron, W. y Pritchard, D. (1963) Estuaries. In M. N. Hill (editor), *The Sea*, Vol. 2. John Wiley & Sons, New York, 306–324.
- Carreto, J., Montoya, A., Colleoni, C. y Akselman, R. (1998). *Alexandrium tamarense* blooms and shellfish toxicity in the Argentine Sea: a retrospective view. In Reguera, B., J. Blanco, M.L. Fernández & T. Wyatt (eds.), *Harmful algae*. Xunta de Galicia and IOC of UNESCO Publishers: 131-134.



- Carstensen, J., Henriksen, P. y Heiskanen, A. (2007). Summer algal blooms in shallow estuaries: definition, mechanisms, and link to eutrophication. *Limnology and Oceanography* 50(1): 370-384.
- Cherng, J. y Shih, M. (2005). Preventing dyslipidemia by *Chlorella pyrenoidosa* in rats and hamsters after chronic high fat diet treatment. *Life Sciences* 76: 3001-3013.
- Chorus, I. y Bartram, J. (1999). Toxic cyanobacteria in water. A guide to their public health consequences monitoring and management. 1ª ed., E & FN Spon, London. 668 pp
- Hoek, C. (1995). *Algae: An Introduction to Phycology*. Cambridge University Press.
- Delmail, D., Labrousse, P., Crassous, P., Hourdin, P., Guri, M. y Botineau, M. (2011). *Prorocentrum rivalis* sp. nov. (Dinophyceae) and its phylogenetic affinities inferred from analysis of a mixed morphological and LSU rRNA data set. *VERSITA*, 66(3): 418—424. doi: 10.2478/s11756-011-0029-y
- Jonge, V., Elliott, M., y Ovríe, E. (2002). Causes, historical development, effects and future challenges of a common environmental problema. *Hydrobiologia* 475-476., 1-19
- Falconer, I., Dornbusch, M., Moran, G. y Yeung S. (1993). Effect of the cyanobacterial (blue-green algae) toxins from *Microcystis aeruginosa* on isolated enterocytes from the chicken small intestine. *Toxicon* 30(7):790-793.
- Flotats, X., Foged, A., Blasi, J., Palatsi, A., Magri y Schelde, K. (2011). Manure Processing Activities in Europe Project reference: ENV.B.1/ETU/2010/0007 Manure Processing Technologies. Technical Report 2, European Commission, Directorate-General Environment, 184 pp.
- Gómez, L. 2007. Microalgas: Aspectos ecológicos y biotecnológicos. *Revista Cubana de Química* 19(2): 3-20.



- Gómez, L. (1997). Cultivo y aplicación de las microalgas *Dunaliella salina* y *Chlorella vulgaris* en Cuba. Tesis de Doctorado. Servicio de aplicaciones, Universidad de Coruña. La Coruña, España, 265 pp.
- Gómez, F., Moreira, D., y López, P. (2011). Avances en el estudio de los dinoflagelados (Dinophyceae) con la filogenia molecular. *Hidrobiológica*, 21(3), 343-364.
- Hallegraeff, G. y Fraga, S. (1998). Bloom dynamics of the toxic dinoflagellate *Gymnodinium catenatum*, with emphasis on Tasmanian and Spanish coastal waters. In Anderson, D.M, A.D. Cembella & G.M. Hallegraeff (eds.), *Physiological Ecology of Harmful Algal Blooms*. NATO ASI Series, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, G (41): 59-80.
- Harun, R., Davidson, M., Doyle, M., Gopiraj, R., Danquah, M., y Forde, G. (2011). Technoeconomic analysis of an integrated microalgae photobioreactor, biodiesel and biogas production facility. *Biomass and Bioenergy* 35: 741-747.
- Hasle, G. y Syvertsen, E. (1996). Marine diatoms. In C Tomas. (Ed.), *Identifying Marine Diatoms and Dinoflagellates* (pp. 5-385). San Diego: Academic Press.
- Hernández, A. y Labbe, J. (2014). Microalgas, cultivo y beneficio. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*. Vol. 49, N°2: 157-173. DOI 10.4067/S0718-19572014000200001.
- Imberger, J., Berman, T., Christian, R., Sherr, E., Whitney, D., Pomeroy, L., Wiegert, R. y Wiebe, W. (1983). The influence of water motion on the distribution and transport of materials in a salt marsh estuary. *Limnology and Oceanography* 28: 201-214.
- Korhonen, L., Macías, V., Abdala, R., Figueroa, F. y Cabello, A. (2012). Effect of sulfide concentration, pH and anoxia on photosynthesis and respiration of *Zostera marina*. *Ciencias Marinas*. 38(4): 625-633.
- Knauer, J y Southgate, P. (1997). Growth and fatty acid composition of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) spat fed a spray-dried freshwater microalga (*Spongiococcum excentricum*) and microencapsulated lipids. *Aquaculture* 154: 293-303.



Evaluación de la dinámica fitoplanctónica de los grupos: Cianofitas, Clorofitas, Diatomeas, y Dinoflagelados y su relación con los parámetros fisicoquímicos, en las aguas del Estero Salinas Grandes, periodo junio-noviembre 2017.

- Kruk, C., Huszar, V., Peeters, E., Bonilla, S., Costa, M., Lurling, C., Reynolds y Scheffer, M. (2010). A morphological classification capturing functional variation in phytoplankton. *Freshwater Biology* 55(3): 614-627.
- Kruk, C. y Segura, A. (2012). The habitat template of phytoplankton morphology-based functional groups. *Hydrobiologia* 698(1): 191-202.
- Lawton, L. y Codd, G. (1991): Cyanobacterial (Blue-green algae) toxin and their significance in UK and European waters. *Journal of the Institution of Water and Environmental Management*, 5: 460-465.
- Lara, M., Moreno, J. y Amaro, E. (1996). Fitoplancton: conceptos básicos y técnicas de laboratorio. México: Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. pp. 227
- Lee, Robert, E. (2008). Phycology. Cambridge University Press. 4 edición. 547 páginas.
- Lenntech, B. (2009). FAQ de la evaluación de la calidad del agua. Agua residual & purificación del aire Holding B. V. <http://www.lenntech.es/la-evaluacion-de-la-calidad-aguafaqa-calidad-agua>.
- Lopez, J. y Mendez, A. (2014). Evaluación de la concentración de los grupos de fitoplancton: Diatomeas, Cianofitas, Clorofitas y Dinoflagelados y su relación con los parámetros fisicoquímicos, en las aguas del Río Estero Real, período junio-noviembre 2013. Nicaragua. 93 pag.
- Mauseth, J. (1995). Botany. An introduction to plant biology. Algae and the origin of eukaryotic cells. Class bacillariophyceae: Diatoms. Capítulo 21
- Maity J., Bundschuh, J., Chen, C. y Bhattacharya, P. (2014). Microalgae for third generation biofuel production, mitigation of greenhouse gas emissions and wastewater treatment: Present and future perspectives: A mini review. *Energy*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2014.04.003>.
- Margalef, R. (1983). Limnología. Omega. Barcelona. 1010 pp.



- Mendoza, H., de la Jara, A. y Portillo, E. (2011). Planta piloto de cultivo de microalgas: Desarrollo potencial de nuevas actividades económicas asociadas a la biotecnología en Canarias, Instituto Tecnológico de Canarias, Santa Cruz de Tenerife. 60 pp.
- Morris, H., Quintana, M., Almarales, A. y Hernández, L. (1999). Composición bioquímica y evaluación de la calidad proteica de la biomasa autotrófica de *Chlorella vulgaris*. *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*. 13: 123-128.
- Moreira, J., Carpintero, I., Crespo, R., Montoya, I., Pino, I., y Rodríguez, A. (2009). Generación de indicadores para el seguimiento de la calidad de las aguas litorales. Evolución de la turbidez en la desembocadura del río Guadalquivir. Memorias del XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección. Calatayud. 23-26 de septiembre de 2009, pp197-200.
- Moreno, J., Licea, S. y Santoyo, H. (1996). Diatomeas del Golfo de California. Universidad Autónoma de Baja California Sur-SEP-FOMES-PROMARCO. México. 273 p.
- NAS (National Academy of Sciences). (1969). Eutrophication: Causes, Consequences, Correctives. Washington, D.C. 661.
- Nixon, S. (1995). Coastal marine eutrophication: a definition, social causes, and future concerns. *Ophelia* 41, 199-219.
- Ohtake, Y., Hirasawa, H., Sugai, T., Oda, S., Shiga, H., Matsuda, K. y Kitamura, N. (1989). Nafamostat mesilate as anticoagulant in continuous hemofiltration and continuous hemodiafiltration. *Nephrol.*, 93, 215-217.
- Osorio, K. y Prado, M. (2014). Evaluación de la concentración de proteína y metabolitos libres (glucosa y aminoácidos) en el Río Estero Real y su relación con los parámetros físicos y químicos. Período mayo-octubre 2013. Nicaragua. 99 pág.
- Park, J., Craggs, R. y Shilton, A. (2011). Recycling algae to improve species control and harvest efficiency from a high rate algal pond. *Water Research* 45: 6637-6649.



- Paerl, H. (1988). Nuisance phytoplankton and inland waters blooms in coastal, estuarine. *Water Resources Research* 33: 823-847.
- Paerl, H. (2014). Mitigating harmful cyanobacterial blooms in a human and climatically impacted world. *Life* 4: 988-1012.
- Peters, R. (1983). The ecological implications of body size. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Pritchard, D. (1967). What is an Estuary: Physical View point. Chesapeake Bay Institute. The Johns Hopkins University, Baltimore Maryland. *American Assoc. Advant. Science.* 83: 3-5.
- Pritchard, E. (1963). Symposium on the classification of brackish waters. Venice System. *OIKOS* 9 (2): 311-312. Schubel y Hirschberg. (1978).
- Peretyatko, A., Teissier, S., Symoens, J. y Triest, L. (2007). Phytoplankton biomass and environmental factors over a gradient of clear to turbid peri-urban ponds. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 17: 584-601.
- Pelczar, M., Reid, R., y Chan, E. (1982). Microbiología. Ed. Mc Graw Hill, 2a ed. México, pp. 288-308.
- Queralt, R. (2003). Tratamiento de aguas residuales industriales: Generalidades. Fundacion Universitaria Iberoamericana. Barcelona.
- Rabiláis, N., Turner, N., Díaz, R. y Justic, J. (2009). Global change and eutrophication of coastal waters. International Council for the Exploration of the Sea. *Oxford Journals*, 66: 1528-1537.
- Rabalais, N., Turner, R. y Wiseman W. (2002). Gulf of Mexico hypoxia, aka The Dead Zone.
- Ramirez, M. (2010). Dinoflagelados (Dinophyta) de los órdenes Prorocentrales y Dinophysiales del Sistema Arrecifal. . Mexico: Instituto de Ciencias del mar y Limnología.



- Ramírez, J. (2000) Fitoplancton de agua dulce: aspectos ecológicos, taxonómicos y sanitarios. (Tesis de Maestría) Medellín: Universidad de Antioquia. p. 25.38.
- Rawat, Y. y Vishvakarma, S. (2011). Pattern of fodder utilization in relation to sustainability under indigenous agroforestry systems, North-Western Himalaya, India. *Environ. We Int. J. Sci. Tech.*, 6: 1-13
- Rawat, I., Ranjith, R., Mutanda, T. y Bux, F. (2011). Dual role of microalgae: Phycoremediation of domestic wastewater and biomass production for sustainable biofuels production. *Applied Energy* 88: 3411-3424.
- Reynolds, C. (2006). The ecology of freshwater phytoplankton. Cambridge University Press, Cambridge. 535 pp.
- Robarts, R. y Zohary, T. (1987). Temperature effects on photosynthetic capacity, respiration and growth rates of bloom forming cyanobacteria. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 21: 391-399.
- Ruiz, A. (2011). Biblioteca y documentacion científica. Universidad Politecnica de Valencia. Valencia English.
- Schindler, D. (2015). The dilemma of controlling cultural eutrophication of lakes. *Proceedings of the Royal Society* 5: 1-12.
- Sar, E., Ferrario, M. y Reguera, B. (2002). Floraciones Algales Nocivas en el Cono Sur Americano (Eds.) Instituto Español de Oceanografía
- Serfling, R. (1949). Quantitative estimates of plankton from small samples of Sedgwick-Rafter cell mounts of concentrate samples. *Trans. Am. Microsc. Soc.* 68: 185–199.
- Siguee, D. (2005). *Freshwater Microbiology: Biodiversity and dynamic interactions of microorganisms in the aquatic environment.* Wiley & Sons Ltd. Manchester. 525. pp.
- Smith, D. (1987). Phytoplakton and catfish culture. *Aquaculture*, 74:167-189.



Evaluación de la dinámica fitoplanctónica de los grupos: Cianofitas, Clorofitas, Diatomeas, y Dinoflagelados y su relación con los parámetros fisicoquímicos, en las aguas del Estero Salinas Grandes, periodo junio-noviembre 2017.

- Spolaore P., Joannis, C., Duran, E. y Isambert, A. (2006). Commercial Applications of Microalgae. In: Tomas, C.R. (ed.). 1997. Identifying marine phytoplankton. Academic, New York. 858 p.
- p.croalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 101(2): 87-96.
- Stevenson, R. y Smol, J. (2003). Use of algae in environmental assessments. In: J.D. Wehr & R.G. Sheath (eds.), Freshwater algae of North America: ecology and classification. pp. 775-804. Academic Press, San Diego.
- Tomas, C. (1997). Identifying marine phytoplankton. Academic Press. New York. 858 p.
- UCA-MARENA. (2001). Ficha RAMSAR del Estero Real. Grupos de Humedales de Nicaragua – MARENA. Managua, Nicaragua. 55 pp.
- UNESCO. (2009). Cianobacterias Planctónicas del Uruguay. Manual para la identificación y medidas de gestión. Bonilla, S. (ed.), Documento Técnico PHI-LAC, N° 16. 105 pp.
- US-EPA. (1997). Protecting Coastal Waters from Nonpoint Source Pollution. In: U.S. Environmental Protection Agency. Washington D.C. USA. 841-F-96004E.
- Werner, D. [Ed.] (1977). The biology of diatoms. Bot. Monogr., V.13. University of California Press, Berkeley and New York.
- Wang Y., Chen, T. y Qin, S. (2012). Heterotrophic cultivation of *Chlorella kessleri* for fatty acids production by carbon and nitrogen supplements. *Biomass and Bioenergy* 47: 402409.
- Yasumoto, T., Murata, M., Oshima, Y., Matsumoto, G. y Clardy, J. (1984). Diarrhetic shellfish poisoning. In Ragelis, E.P. (ed.), *Seafood Toxins*. Am. Chem. Soc., Washington D.C.: 207-214.
- Zeng, X., Danquah, M., Dong-Chen, X. y Lu, Y. (2011). Microalgae bioengineering: From CO₂ fixation to biofuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15: 3252-3260.