

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS QUÍMICAS Y AMBIENTALES**

PROYECTO DE GRADUACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

“MAGÍSTER EN MANEJO INTEGRAL DE LABORATORIOS DE DESARROLLO”

TEMA

**ELABORACIÓN DE UN SISTEMA ESTADÍSTICO DE CONTROL DE LAS
ALGAS QUE DETERIORAN LAS PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS DEL
AGUA DE CONSUMO EN LA ZONA DE CAPTACIÓN DE AGUA POTABLE
PARA LA CIUDAD DE GUAYAQUIL.**

AUTOR

BIÓLOGO DALTON MICHAEL GUARNIZO CRESPO

Guayaquil - Ecuador

AÑO

Mayo - 2016

DEDICATORIA

A mi Cristo Jesús, por haber permitido que cumpla esta meta con salud para mis objetivos, gracias por su infinita bondad y amor.

A mis queridos y amados padres Irma Crespo Paladines y Luis German Guarnizo por su amor infinito y apoyo siempre

A mis hijos Michael, Michelle y Manuel por siempre mi corazón y ejemplo para que sigan adelante preparándose con mucho amor y sabiduría en el camino de sus vidas.

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a Dios por protegerme, acompañarme y guiarme a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizaje y experiencias.

Le doy gracias a mis Padres por apoyarme en todo momento cuando pudieron hacerlo, por los valores que me inculcaron, por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida, sobre todo por haberme enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar con sus sabios consejos.

Agradezco la confianza, apoyo y dedicación de tiempo a mi Tutor el Dr. Mariano Montaña por haber compartido sus conocimientos y sus valiosas aportaciones que hicieron posible este proyecto.

A mis Jefes del trabajo Dr. Luis Cazar y Dr. Félix Bobadilla, por su motivación y confianza.

A la mujer que amo Laddy Abad Murillo por ayudarme en el desarrollo de mi proyecto y por su atención en todo momento.

A mis seres queridos por todo su apoyo, cariño, comprensión y la paciencia que me tuvieron en los momentos más difíciles.

Gracias a todos los que me brindaron su ayuda en el recorrido de este proyecto.

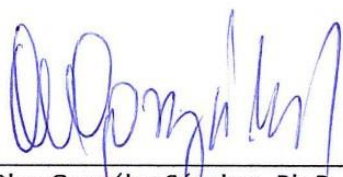
DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Graduación, me corresponde exclusivamente; el patrimonio intelectual del mismo, corresponde exclusivamente a la **Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Departamento de Ciencias Químicas y Ambientales** de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

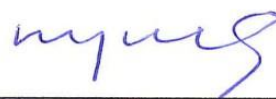


BIÓLOGO DALTON MICHAEL GUARNIZO CRESPO

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Olga González Sánchez, Ph.D.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



Mariano Montaña Armijos, Ph.D.
DIRECTOR DE PROYECTO



M.Sc. Michael Rendón Morán
VOCAL DEL TRIBUNAL

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized 'D' followed by 'M' and 'G' in a cursive script.

BIÓLOGO DALTON MICHAEL GUARNIZO CRESPO
AUTOR

OBJETIVOS DE ESTUDIO

A. OBJETIVO GENERAL

Establecer los grupos de algas que predominan en la zona de captación (Estación de Bombeo, Coordenadas UTM 0612990; 9781174) y aguas arriba (Punto Nobol, Coordenadas UTM 0610363; 9782414) de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Guayaquil - LA TOMA, así como el análisis cualitativo y cuantitativo de los géneros de algas que causan riesgos para la salud y ocasionan problemas en el proceso de tratamiento del agua para consumo humano.

B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Realizar el análisis cualitativo y cuantitativo de la abundancia y frecuencia de las especies de algas encontradas en las muestras recolectadas durante el tiempo de estudio.
- b) Elaborar un catálogo de las especies o géneros que predominan en las zonas de estudio y cuáles son las que ocasionan cambios en la calidad del agua y problemas en el proceso de tratamiento.
- c) Señalar los métodos más utilizados en las Plantas Potabilizadoras para controlar las algas.
- d) Elaborar un método de control estadístico, que permita llevar mediante un análisis rutinario un control más efectivo y prevenir cambios en la calidad del agua potable para consumo.
- e) Identificar diferencias significativas en cuanto a la distribución de las algas en la época de invierno y verano.

RESUMEN

Los problemas de la calidad del agua y el taponamiento de filtros del proceso de potabilización, es atribuido al crecimiento de microorganismos nocivos de cierto grupo de algas. En septiembre del 2010 en la ciudad de Guayaquil el incremento de la biomasa de las algas pertenecientes a los géneros *Pseudoanabaena*, *Cylindrospermopsis*, y *Anabaena* de vida libre ocasionó un deterioro en la estética del agua de consumo humano al tomar un olor y sabor a tierra.

En la actualidad se encuentran trabajos sobre algas que causan dificultades en las plantas de tratamiento que utilizan aguas de fuentes como ríos o represas para potabilizar el agua, pero estos se refieren a las algas endémicas de cada sector o ciudad para su estudio, tratamiento y control. El presente trabajo identificó 6 grupos más importantes de algas a nivel de clase con 12 familias, 20 géneros y 88 especies hasta el año 2013 distribuidas en la zona de captación frente a la estación de bombeo punto "La Toma" y aguas arriba frente al malecón de Nobol, punto "Nobol". Se evidenció que existe un marcado dominio de Clases con relación a la estación del año en el periodo de estudio, en la época invernal predominó, en dos de los 3 años de investigación, la clase Cyanophyceae, que produce alteración en las características organolépticas del agua y por consiguiente en la salud; en la época de verano con una amplia dominancia la clase Coscinodicyphyceae que tiene la particularidad de ocasionar taponamiento en las etapas del tratamiento del agua. Se elaboró el método estadístico Percentil para el control de rutina basado en datos de conteos de algas de la cámara de admisión de agua cruda en un periodo de tiempo.

Otro punto muy importante de la investigación fue a conocer soluciones alternativas a este tipo de problema en el agua causadas por las algas y conocer su afectación en la salud de las personas.

Summary

The problems of water quality and the clogging of filters purification process is attributed to the growth of harmful microorganisms of a certain group of algae. In September 2010 in the city of Guayaquil increased biomass of algae belonging to the genera *Pseudoanabaena*, *Cylindrospermopsis*, and *Anabaena* caused a deterioration in the aesthetics of drinking water which produced a smell and taste of earth in the same.

Currently are works on algae that cause difficulties in treatment plants that use water sources such as rivers or dams for drinking water, but these refer to endemic algae in each sector or city for study, treatment and control. This work identified 6 major groups of algae as a class with 12 families, 20 genera and 88 species until 2013 distributed in the catchment area in front of the pumping station point "La Toma" and upstream against the seawall of Nobol point "Nobol" was evident that there is a marked dominance of classes in relation to the season in the study period; in winter time prevailed in two of the 3 years of research Cyanophyceae class, which produces alteration in the organoleptic characteristics of water and therefore health; in the summer time with a wide dominance the Coscinodicyphyceae class that is unique to cause clogging in the stages of water treatment. Percentile statistical method for routine control data based on algae counts camera raw water intake over a period of time was developed.

Another very important point of the research was to present alternative solutions to this kind of problem in the water caused by algae and know their involvement in the health of people.

ÍNDICE GENERAL

CONTENIDO	Pág.
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
DECLARACIÓN EXPRESA	iv
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN	v
OBJETIVOS DE ESTUDIO	vii
RESUMEN	viii
SUMMARY	ix
ÍNDICE GENERAL	x
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
INDICE DE FOTOGRAFÍAS	xiii
ANEXOS	xiv
NOMENCLATURA	xiv
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	xv
DEFINICIÓN DEL PROYECTO	xv
METAS	xv
HIPÓTESIS	xvi
JUSTIFICACIÓN	xvi
CAPÍTULO 1	
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Generalidades	1
1.2 El Phytoplankton (Las algas).....	4
1.2.1 Variables a considerar en el desarrollo de los blooms de las algas...	7
1.3 Taxonomía de las algas.....	9
1.4. Antecedentes de problemas atribuidos a cyanophytas en el agua potabilizada.....	13
1.5. Principales métodos conocidos para minimizar el desarrollo de las algas.....	14
1.5.1 Biológico.....	14
1.5.2 Ecológico.....	15
1.5.3 Físico.....	15
1.5.4 Químico.....	15
CAPÍTULO 2	
2. METODOLOGÍA.....	16
2.1 ÁREA DE ESTUDIO.....	16

2.2 Muestreo y Toma de las muestras.....	17
2.3 Análisis de Laboratorio.....	18
2.3.1 Laboratorio INP.....	18
2.3.2 Laboratorio INTERAGUA.....	18
CAPÍTULO 3	
3. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	21
3.1 Catálogo de algas Dominantes en la zonas de estudio.....	21
3.2 Observación de las muestras de Agua Cruda en la Planta de Tratamiento.....	25
3.3 Estadística de los Phylum más representativos.....	27
3.3.1 Frecuencia Relativa.....	27
3.3.1 Abundancia Relativa.....	32
3.4 Biomasa de las algas encontradas.....	36
3.5 Distribución de la biomasa de algas en la época climática de cada año de estudio.....	41
3.6 Estadística de los meses en los cuales se dio problemas de olor y sabor a tierra.....	48
3.7 Como llevar un control de algas.....	55
CAPÍTULO 4	
4. CONCLUSIONES.....	57
CAPÍTULO 5	
5. RECOMENDACIONES.....	59
REFERENCIAS.....	60
ANEXOS.....	66

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Pág.
Tabla 1. Resumen de la clasificación de las algas más importantes.....	12
Tabla 2. Clasificación de las algas encontradas en la zona de estudio.....	21
Tabla 3. Porcentaje de Abundancia Relativa de las especies más importantes en los puntos La Toma y Nobol durante los meses Septiembre, Octubre, Noviembre y Diciembre del 2010.....	33
Tabla 4. Porcentaje de Abundancia Relativa de los Géneros más importantes encontrados en los puntos La Toma y Nobol durante el año 2011.....	34
Tabla 5. Porcentaje de Abundancia Relativa de los Géneros más importantes encontrados en los puntos La Toma y Nobol durante el año 2012.....	35
Tabla 6. Porcentaje de Abundancia Relativa de los Géneros más importantes encontrados en los puntos La Toma y Nobol durante el año 2013.....	36
Tabla 7. Densidad celular de los grupos de algas encontrados en los puntos de	

estudio, año 2010.....	37
Tabla 8. Densidad celular de los grupos de algas encontrados en los puntos de estudio, año 2011.....	38
Tabla 9. Densidad celular de los grupos de algas encontrados en los puntos de estudio, año 2012.....	39
Tabla 10. Densidad celular de los grupos de algas en los puntos de estudio, año 2013.....	40
Tabla 11. Resultados de los Géneros más representativos que se presentan en la época invernal del año 2011.....	42
Tabla 12. Resultados de los Géneros más representativos que se presentan en la época de verano del año 2011.....	43
Tabla 13. Resultados de los Géneros más representativos que se presentan en la época de invierno del año 2012.....	44
Tabla 14. Resultados de los Géneros más representativos que se presentan en la época de verano del año 2012.....	44
Tabla 15. Resultados de los Géneros más representativos que se presentan en la época de invierno del año 2013.....	46
Tabla 16. Resultados de los Géneros más representativos que se presentan en la época de verano del año 2013.....	46
Tabla 17. Metabolitos algales producidos por cianobacterias y sus olores descriptores	53
Tabla 18. Toxinas de cyanophytas y mecanismos de toxicidad	55
Tabla 19. Alguicidas recomendados para el género de algas	56

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Pág.
Figura 1. Factores casuales e intensificadores que ocasionan los brotes masivos de algas.....	8
Figura 2. Mapa de los puntos de muestreo ubicados en el Río Daule.	16
Figura 3. Carta control para el género Anabena en muestras de agua cruda, indicando su límite de alerta 24 cel/ml.	27
Figura 4. Porcentaje de Frecuencia Relativa de las especies encontradas en el punto La Toma 2010.....	28
Figura 5. Porcentaje de Frecuencia Relativa de las especies encontradas en el punto Nobol 2010.....	28
Figura 6. Porcentaje de Frecuencia Relativa de las especies encontradas en el punto La Toma 2011.....	29
Figura 7. Porcentaje de Frecuencia Relativa de las especies encontradas en el punto Nobol 2011.....	30
Figura 8. Porcentaje de Frecuencia Relativa de las especies encontradas en el punto La Toma 2012.....	30
Figura 9. Porcentaje de Frecuencia Relativa de las especies encontradas en el punto La Nobol 2012.....	31
Figura 10. Porcentaje de Frecuencia Relativa de las especies encontradas en el punto La Toma 2013.....	31
Figura 11. Porcentaje de Frecuencia Relativa de las especies encontradas en el	

punto La Nobol 2013.....	32
Figura 12. Porcentaje de Abundancia Relativa de las especies más importantes encontradas en los puntos: A) La Toma y B) Nobol.....	35
Figura 13. Biomasa celular de los grupos de algas encontrados en los puntos La Toma y Nobol en los últimos 4 meses del año 2010.....	38
Figura 14. Biomasa celular de los grupos de algas encontrados en los puntos La Toma y Nobol durante el año 2011.....	39
Figura 15. Biomasa celular de los grupos de algas encontrados en los puntos La Toma y Nobol durante el año 2012.	40
Figura 16. Biomasa celular de los grupos de algas encontrados en los puntos La Toma y Nobol durante el año 2013	41
Figura 17. Densidad celular de los grupos de algas encontrados en los puntos La Toma y Nobol en la época invernal del año 2011	43
Figura 18. Densidad celular de los grupos de algas encontrados en los puntos La Toma y Nobol en la época de verano del año 2011	43
Figura 19. Densidad celular de los grupos de algas encontrados en los puntos La Toma y Nobol en la época invernal del año 2012.	45
Figura 20. Densidad celular de los grupos de algas encontrados en los puntos La Toma y Nobol en la época de verano del año 2012.	45
Figura 21. Densidad celular de los grupos de algas encontrados en los puntos La Toma y Nobol en la época invernal del año 2013.....	47
Figura 22. Densidad celular de los grupos de algas encontrados en los puntos La Toma y Nobol en la época de verano del año 2013.....	47
Figura 23. Densidad celular del género <i>Pseudoanabaena</i> encontrado en el mes de Septiembre del 2010 que ocasiono olor y sabor a tierra en el agua tratada.....	48
Figura 24. Densidad celular del género <i>Anabaena</i> encontrado en los meses de Marzo y Abril del 2011 que ocasiono olor y sabor a tierra en el agua tratada.....	49
Figura 25. Densidad celular del género <i>Anabaena</i> encontrado en los meses de Marzo y Abril del 2012 que ocasiono olor y sabor a tierra en el agua tratada.....	49
Figura 26. Densidad celular del género <i>Anabaena</i> encontrado en el mes los mese Abril del 2013 que ocasiono olor y sabor a tierra en el agua tratada.....	50

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía	Pág.
Fotografía 5. <i>Pseudoanabaena limnetica</i>	22
Fotografía 6. <i>Anabaena torulosa</i>	22
Fotografía 7. <i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	22
Fotografía 8. <i>Oscillatoria sp.</i>	22
Fotografía 9. <i>Anabaena cf. spiroides</i>	23
Fotografía 10. <i>Polymyxus coronalis</i>	24
Fotografía 11. <i>Cylotella sp.</i>	24
Fotografía 12. <i>Nitzschia acicularis</i>	25
Fotografía 13 <i>Scenedesmus acuminatus</i>	25
Fotografía 14 Observaciones al microscopio del agua cruda que ingresa a la Planta en la que se puede observar en el centro el alga del género <i>Anabaena</i>	26

ANEXOS

ABREVIATURAS

INP - Instituto Nacional de Pesca

ECOSOC - Consejo Económico y Social de la ONU

PHYTOPLANKTON – Microorganismos vegetales acuáticos o no cosmopolitas

Blooms - Floraciones algales

Eutrofización – Es el enriquecimiento natural o artificial del agua por material orgánico

TUSLMA - Tratado unificado de Saneamiento y Legislación Ambiental

DAC - Alguicida – Cloruro de dodecil acetamino dimetil benzil amonia

DQN – Alguicida – 2,3 dicloroquinona

CMU – Alguicida – 3 (p-clorofenil)-1,1 dimetil urea

UNESCO - Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

FAN - Floraciones algales nocivas

NRL - Laboratorio Nacional de Investigación de la exposición de la EPA

EPA – Environmental Protection Agency

SRP - fosfato reactivo soluble

IRBA – Investigación de Recursos Bio Acuáticos

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los días comprendidos entre el 17 y 26 de septiembre del 2010 se presentó un problema en la calidad del agua potable distribuida a la ciudad de Guayaquil. Voceros de INTERAGUA dieron a conocer que debido a un elevado incremento de la biomasa de ciertas algas presentes en el río Daule, que es la fuente de captación para la potabilización del agua, el agua tratada se vio afectada en su olor y sabor.

DEFINICIÓN DEL PROYECTO

Definir una carta de control del género de algas que ocasionan alteraciones a la calidad del agua mediante el estudio de los resultados de análisis del agua en período comprendido entre el 2011 y 2013.

HIPÓTESIS

La calidad del agua potable en cuanto a sus características organolépticas puede ser controlada si se identifica el género de algas cyanophytas que la alteran y se aplica un control estadístico de estas poblaciones.

JUSTIFICACIÓN

La falta de información actualizada de las especies de fitoplancton que han venido predominando en la zona de captación del agua en la Planta “LA TOMA”, sus cercanías y la represa DAULE-PERIPA ha ocasionado que éstas afecten de manera directa en la calidad del agua potable para consumo humano.

Son dos características que definen la calidad del agua. Generalmente las quejas más frecuentes de los consumidores se refieren al “olor y sabor del agua”, que pueden considerarse como una mezcla de los sentidos del olfato y gusto.

Uno de los principales orígenes del sabor y olor en el agua, es el producido por el metabolismo de determinado tipo de microorganismos, especialmente el fitoplancton, concretamente determinados tipos de algas, como las algas verde-azules, las verdes, las diatomeas y los flagelados.

El conocimiento del phytoplankton encontrado en la zona de captación de agua cruda permitirá saber cuáles son las algas que son un riesgo para la salud debido a las toxinas que producen y cuales causan obturación en los filtros de la Planta, De esta manera se tomarán las acciones necesarias para evitar percances.

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

Una sustancia esencial para la vida y el desarrollo de las actividades humanas, dígase la agricultura, la ganadería, la acuicultura o la industria, es el agua, pero por otro lado desdichadamente representa la primera causa de mortalidad en todo el mundo, por enfermedades relacionadas con el agua (cólera, tifoidea, dengue, etc.). El agua está distribuida de forma desigual en el planeta, por ejemplo sólo nueve países: Brasil, Canadá, China, Colombia, Congo, India, Indonesia, Rusia y los Estados Unidos, incorporan el 60 % de las reservas mundiales de agua dulce (UNEP, 2010). Aun así, India y China, debido a la presión de su elevada población, enfrentan graves problemas de suministro y de contaminación del agua. En medio de estos signos de los tiempos la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en su dictamen 64/292 consagra como derecho humano esencial el derecho al agua potable y el saneamiento para el pleno disfrute de la vida y de todos los derechos humanos.

Lo anterior ha sido parte de una década, 2005-2015, que la ONU ha dedicado al tema específico del agua, fuente de vida (Maestu, 2015). Se ha aprendido y se requiere a futuro seguir trabajando en base de: (a) Implementar el desafío del acceso universal al agua incorporando el rango de los recursos, lo humano y las capacidades sociales y las tecnologías disponibles; (b) Financiamiento y control de su eficiencia, teniendo en cuenta, por ejemplo, que una inversión de US\$ 1 en servicios básicos puede proporcionar un retorno de US\$ 5.5 en beneficios (costos evitados en los servicios de salud y la mejora de la educación, productividad, etc.); (c) Tecnología, ciencia e innovación, a través de los importantes avances en las nuevas tecnologías adaptadas a la escala, capacidades y condiciones locales; (d) Desarrollo de capacidades, que

comprende el establecimiento de una sólida base de conocimiento y sensibilización en todos los niveles, incluidos los de las personas, organizaciones, asociaciones, comunidades y (e) Gobernanza, que significa coherencia política e institucional tomando en cuenta que la naturaleza del ciclo del agua exige una especial necesidad de respuestas integradas, además de un enfoque sectorial específico.

La UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura) y la ECOSOC (Consejo Económico y Social) como organismos encargados de misiones importantes han dotado de un estatus consultivo muy especial al Consejo Mundial del Agua. El Consejo Mundial del Agua (World Water Council) fue creado en 1996 con el objetivo de dar respuesta al incremento de la preocupación de la comunidad internacional con respecto a los asuntos relacionados con el agua. En esta dirección cada tres años ha llevado organizado el Foro Mundial del Agua en estrecha colaboración con las autoridades del país anfitrión.

El más reciente VII Foro Mundial del Agua: "Agua para el futuro" se realizó en Daegu y Gyeongbuk, República de Corea, del 12 a 17 abril 2015. Es el evento más grande del mundo en la esfera del agua reuniendo a participantes de la comunidad internacional del agua: académicos, instituciones de investigación, empresas, redes de profesionales, gobiernos y responsables políticos, organizaciones intergubernamentales y no gubernamentales, así como representantes de diversos sectores como agricultura, alimentación y energía (World Water Council, 2016).

Para el futuro se deben establecer prioridades y deben quedar establecidas en la próxima conferencia de Naciones Unidas y pueden señalarse como las siguientes (Pero-Sanz, 2012):

- Establecer una base para el crecimiento sostenible que genere empleo mediante la sinergia entre el agua, el alimento seguro y la energía.
- Acelerar la implantación del derecho al agua.
- Incorporar al agua como elemento importante en la vertiente económica, social y medioambiental.

Las proyecciones para el año 2025 que se dieron a conocer en el segundo Foro Mundial del Agua de La Haya, Holanda, se determinó que “todo ser humano debe tener acceso seguro al agua para satisfacer sus necesidades de consumo, saneamiento y producción de alimentos y de energía, a un costo razonable. El abastecimiento del agua para la satisfacción de estas necesidades básicas debe realizarse en armonía con la naturaleza” (Cosgrove y Rijsberman, 2000).

En el Ecuador la mayor parte de su desarrollo se cimienta en el Ecosistema Guayas a través de la agricultura, ganadería, acuicultura, pesca, minería, navegación, turismo y asentamientos poblacionales. Desde hace 15 años, en este lugar, se establece la existencia de un elemento enlazante entre las actividades humanas y la naturaleza, el nitrógeno (N), que al fijarse biológicamente a la simbiosis entre una alga (*Anabaena*) y el superorganismo *Azolla*, en el sistema de arrozales de la Cuenca del río Guayas está destinado a reproducir nuevos paradigmas en el sistema agrícola, alimenticio, de salud, económico y medioambiental del país (Montaño, 2010).

La producción de agua de la Planta de Potabilización La Toma asciende a 1 031 881 m³/día lo que significa servir al 2016 a una población de 2 918 000 incluyendo la ciudad de Guayaquil, siendo el Río Daule la fuente de abastecimiento de esta agua. La empresa potabilizadora de Guayaquil cuenta con 4 estaciones de bombeo con una capacidad de bombeo de 1.5 millones de m³/día (García, 2013) lo que garantiza una producción asegurada del líquido vital para Guayaquil y ciudades conexas.

El consumo de agua por habitante se expresa generalmente en litros (L) por habitante y día, lo que varía en función de la cantidad de habitantes, el nivel socioeconómico, el país y la región. Por ejemplo el consumo medio de agua de Estados Unidos es 1 000 L/hab/día, de Europa 300 L/hab/día y Asia menos de 100 L/hab/día.

En la potabilización del agua en una planta el primer paso es analizar la calidad de la fuente de abastecimiento ya sea esta un lago, río etc. Esto permite diseñar el

tratamiento correcto que en muchos casos contiene varias etapas lo que permite eliminar lo que posiblemente contenga el agua, esto es entre otros: metales, materia orgánica, color, sabor, olor, bacterias, virus, parásitos, magnesio, calcio, hierro y manganeso, etc.

Durante muchos años los servicios de agua potable han sido inscritos en la cartera de salud pública y es porque siendo esta fuente de vida, es también un canal para la transmisión de toda clase de gérmenes, bacterias y algas, las que producen muchas enfermedades en la población y problemas en el proceso de potabilización.

El proceso de potabilización del agua y su modificación con el transcurso del tiempo se debe a poder brindar un servicio de calidad y eficiencia en brindar agua potable a las ciudades y comunidades, con el afán de cumplir con la demanda se han detectado que existen problemas en las Plantas Potabilizadoras ocasionados por partículas suspendidas donde se alojan las algas.

En todas las plantas que potabilizan el agua de una fuente, las algas son causa de diferentes incluyendo la saturación y obstrucción de las tuberías que conducen el agua cruda y los filtros y su corrosión, así como cambios químicos en el agua como olor y sabor desagradables.

La acción fundamental de toda planta potabilizadora es un buen tratamiento de clarificación y desinfección al agua cruda de captación, para que su producto final de entrega a los habitantes cumpla con todos los requisitos específicos incluidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108: Agua potable (INEN, 2014). Si bien la norma no menciona dentro de sus requisitos a las algas como parámetro de estudio sí establece los parámetros de Olor y Sabor con “no objetable” como Límite máximo permitido.

1.2. PHYTOPLANCTON (Algas)

El Fitoplancton es un grupo de microorganismos fotoautotróficos que poseen estadios

vegetativos en sus ciclos de vida y se desarrollan en la zona pelágica del mar, lagos, lagunas y ríos (Biicudo y Menezes, 2006). Estas poblaciones de algas cumplen un importante papel en todos los ecosistemas acuáticos, puesto que además de iniciar la transferencia de energía en la cadena trófica, algunas pueden ser consumidoras, por lo cual ocupan diferentes nichos ecológicos (Annadotter et al., 2005).

Durante el proceso de la fotosíntesis también se produce la incorporación y liberación de dióxido de carbono (CO₂) en el ecosistema acuático así como también de oxígeno, lo que incrementa la importancia de estos grupos algales.

Las algas son un grupo de aproximadamente cincuenta mil organismos vegetales heterogéneos de preferencia acuática, donde destacan unicelulares de tamaño de 10 μ hasta tamaños que superan los 50 m, estas pueden ser de origen dulceacuícola o de origen marino, también se encuentran en el suelo, en la nieve y sobre la arena del desierto.

Muchas especies de fitoplancton son utilizadas como indicadores de la calidad del agua debido a las características particulares como poseer un ciclo de vida corto y sensibilidad a modificaciones físico-químicas del entorno, especialmente las relacionadas con la eutrofización (enriquecimiento de nutrientes), lo que determina principalmente cambios en la densidad y características organolépticas del agua, que en algunos casos es usada como fuente de captación para ser potabilizada para consumo humano.

Las algas como todo organismo vegetal tiene la propiedad de realizar la fotosíntesis que se encarga de convertir la energía lumínica en energía química la cual es muy necesaria para la síntesis de sus moléculas, otra particularidad que tienen son la variedad de sus colores, estos van de la mano de su pigmento fotosintético que tienen los cromoplastos. El color verde se debe a la clorofila, el pardo a la ficoxantina y rojo a la ficoeritrina.

La reproducción de las algas es sexual y asexual, pero en las pluricelulares hay sistemas de reproducción conocidos como alternancia de generaciones; consiste en que después de cada generación cambia el tipo de reproducción, primero por gametos de forma sexual y por esporas en la fase asexual.

Las algas pueden tener un efecto negativo en las características del agua, de dos formas; la primera, alterar las características organolépticas, la segunda, producir toxinas que afecten la salud de las personas causándoles en algunos casos diarreas. Ciertas cyanophytas y sus toxinas se encuentran en la lista de contaminantes del agua potable (CCL) en los Estados Unidos de América (Canino, 2011).

Todas las floraciones de algas conocidas como “blooms” representan eventos de multiplicación y acumulación de estos microorganismos libres en todos los sistemas acuáticos y presentan un incremento masivo de su biomasa de una especie o género en particular en un corto tiempo que puede ser horas o días, lo que va de la mano con las condiciones de eutrofización de la zona acuática en que se presenta.

Las floraciones de algas se originan por un sinnúmero de especies pertenecientes a las divisiones Chlorophyta (algas verdes), Pyrrophyta (dinoflagelados), Rhodophyta (algas rojas), Ochrophyta (diatomeas) y las Cyanophytas (algas verdeazules) (Izco et al., 2004).

Muchas especies de algas tanto de agua dulce como salobre han reportado floraciones tóxicas a nivel mundial, entre ellas: *Microcystis* (cianobacteria), *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Planktothrix*, *Cylindrospermopsis* y *Nodularia*, ya que producen efectos sobre los organismos debido a las toxinas. Estas floraciones algales nocivas (FAN) representan una amenaza directa para la salud tanto humana como animal (Annadotter et al., 2005).

Estas FAN representan además un peligro para los ecosistemas acuáticos ya que debido a las toxinas que producen pueden degradar la calidad del agua y asimismo

causar gran mortalidad de peces en peligro de extinción (Wilde et al., 2005).

1.2.1. VARIABLES A CONSIDERAR EN EL DESARROLLO DE LOS BLOOMS DE LAS ALGAS

Estas variables o factores que favorecen el crecimiento y desarrollo de las FAN son:

(a) La eutrofización en los ambientes acuáticos por el aumento de nutrientes como nitrógeno (N) y fósforo (P) son debido a:

Descargas puntuales a los sistemas acuáticos de efluentes domésticos o industriales que al no ser tratados contienen una alta concentración de N y P.

La escorrentía de los suelos fertilizados y áreas cultivadas en las que se utilizan N y P como abono y suelos deforestados.

(b) El largo tiempo que permanecen estos nutrientes en los ecosistemas acuáticos favorece la dominancia y desarrollo de ciertos géneros que causan las FAN. Una forma de control es la regulación de los caudales de entrada y salida para minimizar el tiempo de residencia de estos eventos.

(c) La sequía en ciertos lugares dentro o cerca de la cuenca hidrográfica que aportan minerales y aumento de turbidez en los ambientes acuáticos lo que interfiere en la actividad fotosintética de ciertas algas que al morir van al fondo formando un sedimento que es colonizado por las cyanophytas.

(d) Otra variable importante es el aumento de temperatura (mayor a 20 ° C) y la intensidad luminosa o la baja turbulencia que con ayuda de la eutrofización favorecen el desarrollo de las FAN (Canino, 2011).

Las variables descritas anteriormente se resumen en la Figura 1

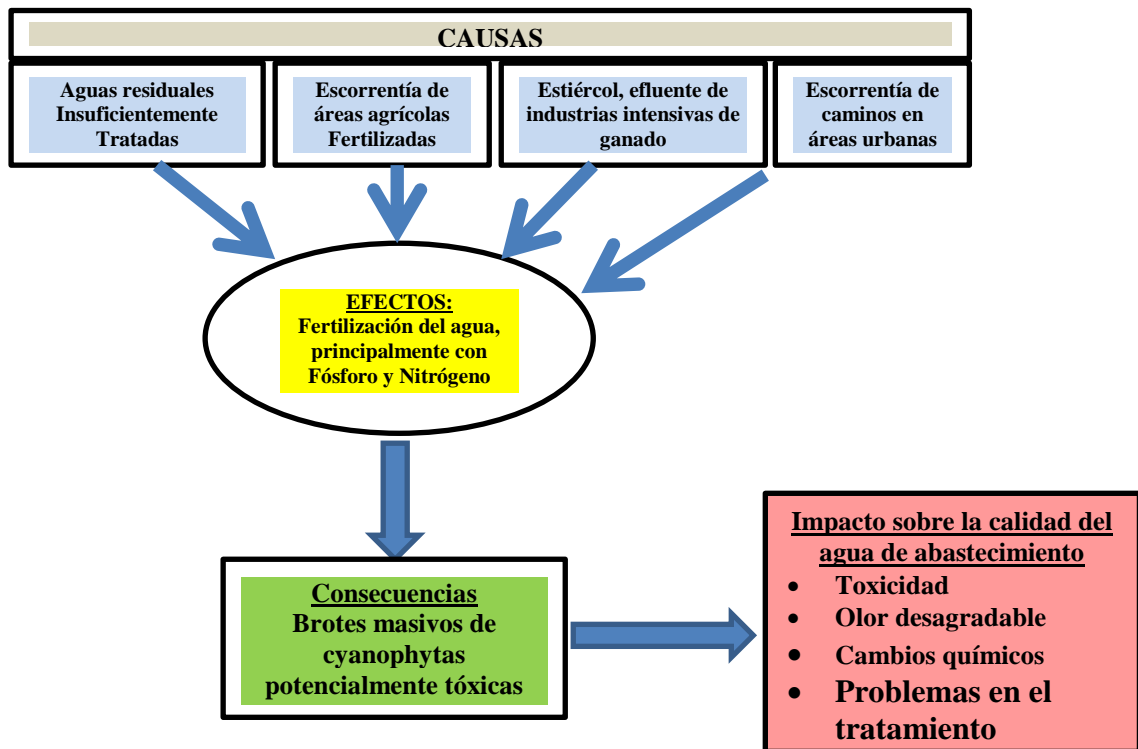


Fig. 1. Factores casuales e intensificadores que ocasionan los brotes masivos de cyanophytas (Canino, 2011)

El proceso de potabilización del agua es un sistema complejo con diferentes características tales como ausencia de luz, presencia de desinfectantes, bajas concentraciones de nutrientes que fluyen por kilómetros de tuberías de diferentes diámetros y materiales llevando el agua por diferentes estaciones de bombeo y puntos de cloración, pero con la posibilidad de que durante este trayecto se altere su calidad bacteriológica haciendo que en algunos casos sea inaceptable para su consumo.

Los controles microbiológicos que se realizan normalmente constituyen acciones adecuadas para el control sanitario del agua tratada, pero esto solo da una vista parcial de toda la dinámica microbiana existente. En la llave o grifo de provisión donde sale el agua es posible encontrar algas, hongos, bacterias y protozoos; algunos de estos organismos causan problemas durante el tratamiento del agua y otros ocasionan problemas de toxicidad por microcistinas (toxinas que desarrollan las algas).

El NRL (Laboratorio Nacional de Investigación de la exposición de la EPA), ha realizado investigaciones importantes sobre tecnología “verde” en el caso de tratamiento de microcistinas en el agua para consumo humano, estos estudios pilotos han demostrado que en el tratamiento convencional (coagulación, floculación y sedimentación) que se hace al agua cruda arrojan como resultado el aumento en la concentración de toxina soluble.

Una nueva tecnología la fotocatalisis que se refiere a la oxidación química con dióxido de titanio para el tratamiento de microcistina-LR funciona de manera eficiente para purificar el agua. Las investigaciones demuestran que podría destruir microcistina-LR en el agua, en concentraciones de hasta 5000 mg/L (López et al., 2008).

Las floraciones algales (blooms) en muchos casos se debe a la introducción y movimientos entre las cuencas, sin embargo la identificación de fósforo reactivo soluble en bajas concentraciones (SRP 2 ppb) como la causa inmediata del crecimiento del alga *Didmosphenia geminata* (Max et al., 2014).

1.3. TAXONOMIA DE LAS ALGAS

Se clasifican en unicelulares, móviles por flagelos, inmóviles y ameboides (sin pared celular) y otras se agrupan unidas por mucílagos formando el cenobio. Las multicelulares en algunos casos se agrupan formando tejidos filamentosos, poseen pigmentos como ficobilina, xantofila, carotenos y tienen clorofila a, b, c, d, e.

El Reino Monera agrupa a las algas que no tienen membrana nuclear y se denominan procariotas, el otro Reino, el Protista, reúne a las algas unicelulares que tienen su núcleo rodeado por una membrana y se llaman Eucarióticas, otras formas pluricelulares se incluyen en el Reino Plantae (Cosgrove y Rijsberman, 2000).

A continuación se mencionan las líneas filogenéticas más importantes:

CYANOPHYTA: Llamadas también algas verde azuladas, carecen de membrana nuclear, poseen centroplasma, poseen formas cocoides y filamentosas coloniales, pueden producir floraciones (blooms) sobre todo en zonas neríticas y dulceacuícolas eutrofizadas; ciertos géneros pueden producir sustancias tóxicas, así como también generar esporas de resistencia que les permite mantenerse en latencia hasta que se den las condiciones adecuadas para su desarrollo.

El color va desde verde azulado hasta rojo o púrpura esto se debe a sus dos pigmentos especiales que son la ficocianina (azul) y la ficoeritrina (rojo), que enmascaran el color verde de la clorofila a. Su reproducción es por fragmentación y esporas y su distribución es cosmopolita.

Cuando la temperatura sube principalmente en invierno se forman floraciones tóxicas en las superficies de charcas y en las costas, formando lamas o “flores de agua” (Cosgrove y Rijsberman, 2000).

CHLOROPHYTA: Comúnmente llamadas algas verdes poseen clorofila a, b y como material de reserva almidón; conforman los microorganismos más antiguos, su registro fósil data de hace más de 2000 millones de años. La mayor parte son unicelulares, con y sin movilidad, coloniales o pluricelulares.

Las especies móviles se desplazan con la ayuda de un flagelo en la superficie del agua; las especies sin movimiento producen zoosporas como células reproductoras móviles. Todas pueden vivir en colonias o en forma aislada, poseen paredes celulares con dos capas la externa con pectina y la interior con celulosa. Algunas algas verdes unicelulares se agrupan formando filamentos dando una apariencia de lama en los ríos o lagos. Esto sucede cuando la población aumenta los llamados blooms, provocando mal olor en los charcos y lagos que se encuentran con alta concentración de nitratos y fosfatos debido contaminación que en la mayoría de veces se da por la descarga de efluentes domésticos o industriales y que produce una espuma maloliente reduciendo

drásticamente la concentración de oxígeno vital y la vida de otras especies acuáticas (Cosgrove y Rijsberman, 2000).

OCHROPHYTA: También llamadas diatomeas, son el grupo más diverso y conocido de microalgas unicelulares; muy frecuentemente dominan la comunidad fitoplanctónica en número y biomasa pero su concentración es mayor en zonas donde los nutrientes están disponibles en altas concentraciones. Pueden unirse en colonias formando ramificaciones o formas de tallo, poseen membrana, núcleo, cromatóforos, organelos y dos vacuolas; acumulan aceite en vez de almidón; también poseen una notable cubierta formada de una modificación de celulosa y sílice que los envuelve y protege como una especie de caparazón que en algunos origina patrones de estrías que ayuda para su identificación.

Su color amarillento se debe a la clorofila verde que se mezcla con la xantofila (de color amarillento), los carotenos y el fucoxantina que se encuentran en el citoplasma para darle su apariencia castaño dorada. Las divisiones celulares sucesivas producen células de menor tamaño, periódicamente se originan células por reproducción sexual dando la talla del organismo original (Cosgrove y Rijsberman, 2000).

Todos los restos fósiles de las conchas de diatomeas se les llama tierra de diatomeas que muy utilizado en los laboratorios como material filtrante, morfológicamente se dividen en dos grupos: las Céntricas y las Pennadas (Cosgrove y Rijsberman, 2000).

PYRROPHYTA: Se los conoce como Dinoflagelados y son en su mayoría marinos; este grupo es muy diverso y complejo de flagelados unicelulares que poseen la capacidad de formar quistes con una cubierta muy resistente, lo que permite resistir condiciones extremas e incluso fosilizarse. Son más conocidos como formadores de las mareas rojas cuando se encuentran en afloramientos masivos produciendo toxinas en el medio acuático (Cosgrove y Rijsberman, 2000).

Todos estos grupos cumplen un papel fundamental en los diferentes ecosistemas acuáticos, además intervienen en los ciclos bioquímicos del carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, fósforo, hierro, sílice y otros elementos como azufre, sodio, cloro, potasio y distintos metales trazas, puesto que sus formas iónicas constituyen los llamados nutrientes que son asimilados sistemáticamente por el fitoplancton para su crecimiento. Muchas de estas especies son utilizadas como indicadores de la calidad del agua debido a características particulares como son el de poseer un ciclo de vida corto y sensibilidad a modificaciones físico-químicos del entorno, especialmente las relacionadas con la eutrofización, lo que determina principalmente cambios en la densidad y composición de la comunidad fitoplanctónica.

En la Tabla 1 se indican algunas características de los diferentes grupos de algas que generalmente se encuentran en cualquier cuerpo de agua o suelo:

Tabla 1.- Resumen de la clasificación de las algas más importantes (Izco et al., 2004)

Tipo de algas	Pigmentos fotosintéticos	Flagelos	Reservas alimenticias	Adicional
CYANOPHYTAS, Algas verde-azul.	Clorofila a- Biliproteínas	No hay	Almidón de cianofíceas.	Organización celular procariota, no hay membranas dobles de núcleos, cloroplastos o mitocondrias, reproducción sexual por conjugación, amitosis
RODOPHYTAS, Algas rojas.	Clorofila a y ⁺ d Biliproteínas	No hay	Almidón de florideas.	Estructura celular eucariótica, reproducción sexual o ógamica, detalles y procesos que siguen a la reproducción sexual, usualmente complejos, en su mayoría plantas marinas.
OCHROPHYTA, Algas pardas, Diatomeas	Clorofila a y c fucoxantina	Uno tinsel y uno tipo látigo	Crisolaminari; grasas Laminaria	Estructura celular eucariótica, flagelos lateralmente insertos, las algas de mayor tamaño y vegetativamente las más complejas, fundamentalmente organismos marinos de la zona litoral de las aguas frías. Sílice a menudo presente en la pared celular o en la pared de las estructuras reproductoras.
CHLOROPHYTA, Algas verdes	Clorofila a y b	Generalmente 2 (o más) de tipo látigo	Almidón verdadero	Estructura celular eucariótica, pared celular celulosita, estructuras reproductoras unicelulares.

En la actividad fotosintética que realizan las algas se puede presentar un fenómeno que altera las condiciones químicas del agua, esto es reducir la capacidad amortiguadora natural “buffer” lo que permitiría elevar considerablemente el pH por encima de 10 unidades, por lo cual el hidróxido de calcio y magnesio precipitan sobre los granos de arena afectando la eficiencia del tratamiento en el proceso y la operación normal de los filtros en las plantas de potabilización (Cosgrove y Rijsberman, 2000).

1.4. ANTECEDENTES DE PROBLEMAS ATRIBUIDOS A CYANOPHYTAS EN EL AGUA POTABILIZADA

En Estados Unidos en 1931 los ríos Ohio y Potomac presentaron masivos blooms de *Microcystis* lo que causó enfermedades a unas 5000 personas que consumían el agua potable que provenía como única fuente de abastecimiento de los ríos mencionados (Canino, 2011).

En el año de 1968 nuevamente Estados Unidos vuelve a ser noticia con un caso de enfermedades digestivas después de la exposición directa a blooms de cyanophytas y en 1975 ocurrió un caso de choque endotóxico de 23 pacientes de diálisis en Washington D.C., que se debió a un crecimiento de cyanophytas en un reservorio de agua potable del lugar donde recibían el tratamiento (Canino, 2011).

En Australia durante el año de 1979 en un reservorio de agua potable ubicado en Plum Island se desarrolló un afloramiento del alga *Cylindrospermopsis raciborskii* el cual se contrarrestó con sulfato de cobre, ocasionando que se liberen toxinas en el agua y a la vez enfermedades graves en 141 personas que utilizaban esta agua para consumo (Canino, 2011).

En China en el año de 1993 las personas que utilizaban agua superficial contaminada con cyanophytas tenían una incidencia mayor de padecer cáncer hepático que las que bebían agua de pozo (Canino, 2011).

Suecia en el año de 1994 cerca de Malmo, presentó un caso muy particular, una fábrica de azúcar utilizó ilegalmente agua de río sin tratamiento por periodo de horas y el resto de tiempo utilizó agua potable; esta conexión cruzada produjo en 121 de 304 habitantes del pueblo incluidas sus mascotas vómitos, diarrea, retorcijones musculares y náuseas, todo esto debido a que el agua de río estaba densamente poblada con el alga cyanophyta *Planktothrix agardhii* que contenía microcistinas en los análisis efectuados.

1.5. PRINCIPALES MÉTODOS CONOCIDOS PARA MINIMIZAR EL DESARROLLO DE LAS ALGAS

Para propósitos de manejo, es importante entender que las toxinas que afectan la salud se encuentran en las células de las algas; en el caso de cyanophytas, su liberación en el agua circundante es posible cuando las células mueren y se desintegran, pero la concentración de toxinas altamente peligrosas resultan generalmente de la acumulación de células en forma de espuma.

Hay una variedad de métodos para controlar las algas que van de acuerdo a las condiciones de localidad y si afecta a los abastecimientos de agua los más utilizados son los siguientes:

1.5.1 BIOLÓGICO

Como su nombre lo indica se basa en utilizar un organismo para que este controle a otro. Estos pueden ser gansos, cisnes, peces, caracoles, etc. Este método con el pasar del tiempo ha cobrado mucha importancia ya que a diferencia de otros produce una cantidad mínima de efectos secundarios (Canino, 2011).

1.5.2 ECOLÓGICO

Se basa en la limitación de una o más variables que interfieran el desarrollo de su crecimiento y estos pueden ser químicos o físicos, dentro de los físicos se encuentra la cantidad de luz ya que para muchas es un factor crítico ya que les impide realizar la fotosíntesis vital para su crecimiento. En la práctica solo se lo puede hacer en ambientes pequeños, en reservorios grandes se aconseja cortar el ingreso de materia orgánica, o sea los nutrientes que ocasionan los blooms algales (Canino, 2011).

1.5.3 FÍSICO

Se lo denomina también mecánico y consiste en diferentes formas como el podado, arranque y cribado bajo el agua; está enfocado para contrarrestar algas flotantes y plantas acuáticas (Canino, 2011).

1.5.4 QUÍMICO

Este método es el que más se emplea en las plantas de tratamiento y consiste en una variedad de productos químicos para combatir las algas; los más utilizados son el sulfato de cobre (II) y el cloro. El sulfato de cobre (II) se utiliza en áreas muy grandes, ya que por su economía efectividad y seguridad para el hombre y los peces es el más elegido, su uso viene desde muchos años atrás (Canino, 2011).

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

2.1 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio comprende una parte del cauce del río Daule, a la altura de la zona de captación, punto “La Toma” (Estación de Bombeo, Coordenadas UTM 0612990; 9781174), ubicado en el km 26 vía a Daule, y el segundo punto a 10 km aguas arriba punto “Nobol” frente al malecón del cantón Nobol (Coordenadas UTM 0610363; 9782414). En la Fig. 2 se muestran los 2 puntos de estudio.

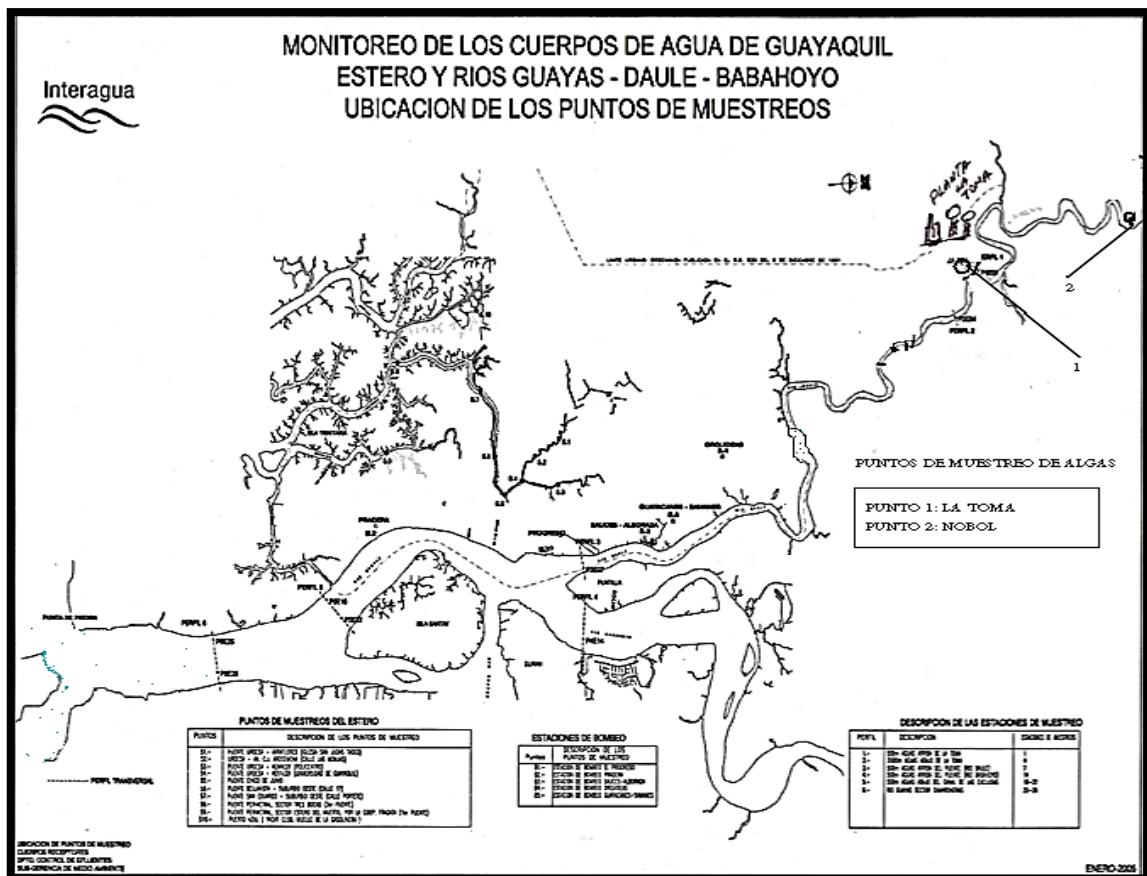


Figura 2. Mapa de los puntos de muestreo ubicados en el río Daule

2.2 MUESTREO Y TOMA DE MUESTRAS

El estudio abarca un muestreo rutinario de análisis de algas, uno diariamente en la Planta de INTERAGUA y otro mensualmente tanto en la zona de captación de agua para potabilizar como 10 km aguas arriba.

El muestreo se comenzó desde septiembre del 2010 y se utiliza un bote para ir por el río Daule y ubicar el primer punto frente a la zona de captación de la Planta La Toma (km 24) al que se denominó punto “La Toma”, para luego dirigirse 10 km aguas arriba frente al malecón de Nobol (Km. 37), a este punto se le llamo punto “Nobol”.

Los frascos de muestreo que se utilizan para la recolección de la muestra son de vidrio ámbar, lavados y secados en estufa para eliminar cualquier contaminación con microorganismos que pueden producir resultados errados.

El volumen de muestra que se recolectó fue de 1 litro para cada punto, estas muestras se preservaron con hielo y se trasladaron al INP (Instituto Nacional de Pesca) para su respectivo análisis cualitativo y cuantitativo de todas las algas encontradas teniendo cuidado en que las muestras cumplan con la temperatura de preservación recomendada $\leq 6^{\circ} \text{C}$ (Standard Methods, 2012)

Otro muestreo que se realiza diariamente para el análisis cualitativo y cuantitativo es a la muestra de agua cruda que es bombeada del río Daule y llega a la planta por una tubería la cual se deposita en una cámara llamada cámara de admisión.

2.3 ANÁLISIS DE LABORATORIO. MATERIALES Y REACTIVOS

2.3.1 LABORATORIO INP

Para poder llevar a cabo esta investigación se necesitó subcontratar al INP (Instituto Nacional de Pesca) específicamente al área de proceso IRBA, el cual se especializa en los análisis cualitativo y cuantitativo de algas; aquí se entregaron las muestras recolectadas por el personal de INTERAGUA a partir del 18 de septiembre del 2010 para que se inicie un análisis cualitativo y cuantitativo del fitoplancton.

Por tratarse de una toma de muestra simple y directa, es decir que no se usó redes planctónicas, se procedió a preservarlas con lugol y la cuantificación se realizó con cámaras de sedimentación de 10 cm³ de capacidad, siguiendo el método Utermohl, en un microscopio invertido, obteniéndose los resultados en cel.L⁻¹. La unidad de conteo para las Cyanophytas unicelulares fue la célula mientras que las multicelulares se cuantificaron por colonias o filamentos, según el caso.

Para la identificación taxonómica de las especies, se siguieron los trabajos de varios autores (Kómarek y Zapomélova, 2007; Biicudo y Menezes, 2006; Sant'Anna et al., 2006; Komárek y Anagnostidis, 2005; Cronberg, 2004; Echenique, 2001).

2.3.2 LABORATORIO INTERAGUA

El Laboratorio de INTERAGUA (LI) realiza los análisis de algas más frecuentemente, cuando el fenómeno de afloramiento de cyanophytas se presenta por la presencia de las especies *Anabaena* de vida libre como un indicador directo del olor y sabor a tierra en el agua. En este caso los análisis se realizan diariamente y si no se encuentra se puede realizar semanalmente.

El análisis de las muestras recolectadas por el LI se inicia en la cámara de admisión en un microscopio binocular, utilizando una celda de contaje Sedgwick-Rafter para determinar de esta manera qué géneros y cuántos se encuentran en 1 mL de agua. Se homogeniza la muestra y con una pipeta volumétrica de 1 mL se transfiere con cuidado la muestra a una celda. Previamente se coloca el cubreobjetos de forma diagonal dejando que ingrese despacio por una esquina el agua hasta que se llena totalmente la celda y el cubreobjetos toma una posición igual que la celda, de esta manera se evita que se formen burbujas en la celda.

Una manera eficaz de observar las algas es dejando reposar 15 minutos la muestra en la celda para que se logre sedimentar la materia orgánica particulada en suspensión.

Las observaciones se realizan en objetivos 10x y el conteo es en toda la celda haciendo un barrido total de los campos, esto se debe a que las muestras no son muy concentradas en lo que refiere a fitoplancton.

En caso de encontrarse una biomasa de algas muy grande se procederá contando solo 5 campos elegidos al azar. La fórmula utilizada para calcular la cantidad de fitoplancton, por género y mililitro es la siguiente:

$$\text{Cantidad de fitoplancton } \left(\frac{\text{cel}}{\text{mL}}\right) = \frac{C \times 1000}{A \times D \times F}$$

Dónde:

C= número de microorganismos contados

A= Área de un campo en mm²

D= Profundidad de un campo (profundidad de la celda en mm)

F= Número de campos contados

Los resultados son registrados en un formato interno del LI y éstos a su vez alimentan una carta control para su vigilancia en cuanto al límite máximo permisible de 24 cel/mL para la especie indicadora, que en este caso es el género *Anabaena* de vida libre.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 CATÁLOGO DE ALGAS DOMINANTES EN LAS ZONAS DE ESTUDIO

Se identificaron 6 Phylum de algas a nivel de Clase que incluyen: CYANOPHYCEAE, COSCINODICOPHYCEAE, BACILLARIOPHYCEAE, DYNOPHYCEAE, ZYGNEMAPHYCEAE y CHLOROPHYCEAE. Dentro de estas clases se ubicaron 12 familias, 20 géneros y 88 especies. En la Tabla 2 se muestra los géneros encontrados más importantes.

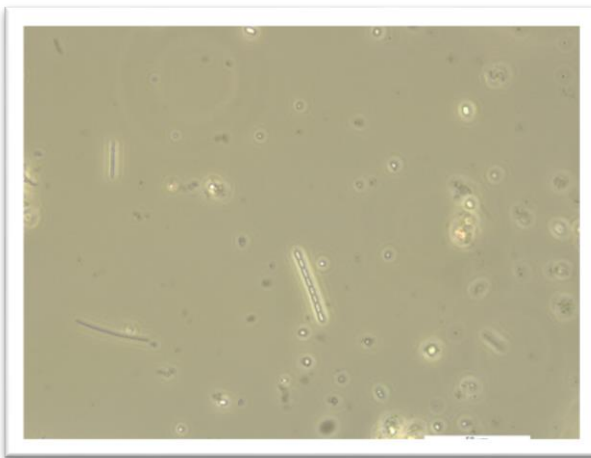
TABLA 2.- CLASIFICACIÓN DE LAS ALGAS ENCONTRADAS EN LA ZONA DE ESTUDIO

CLASE	CARACTERÍSTICAS	FAMILIA	ESPECIE
CYANOPHYCEAE	Poseen clorofila a y b, además presentan pigmentos β -caroteno, ficocianina, ficoeritrina, aloficocianina, zeaxantina, criptoxantina, presentan sustancias de reserva como almidón de cianofíceas, gránulos de cianoficina y su pared celular esta constituida por Peptidogluanos	Nostocaceae	<i>Anabaena viguieri</i>
			<i>Anabaena torulosa</i>
			<i>Anabaena sp.</i>
			<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>
		Pseudanabaenaceae	<i>Pseudanabaena limnetica</i>
COSCINODICOPHYCEAE	Color pardo o verde claro tienen localizados los pigmentos en los cromatóforos tienen una pared celular muy rígida con marcas regulares con núcleo presente	Thalassiosiraceae	<i>Cyclotella sp.</i>
		Aulacoseiraceae	<i>Alaucoseira granulata</i>
		Fragilariaceae	<i>Tabellaria fenestrata</i>
		Coscinodisceaceae	<i>Polmyxus coronalis</i> <i>Coscinodiscus sp.</i>
BACILLARIOPHYCEAE	Poseen clorofila a, C_1 y C_2 , y C_3 además presentan pigmentos accesorios como β -caroteno, diatinoxantina, fucoxantina, diadinoxantina, violoxantina, presentan sustancias de reserva como almidón crisolaminarina, lípidos, manitol, y su pared celular esta constituida por celulosa, sílice, ácido alginico o carecen de ello	Naviculaceae	<i>Navicula sp.</i>
			<i>Gyrosigma acuminatus</i>
		Bacillariaceae	<i>Nitzschia longissima</i>
			<i>Nitzschia acicularis</i>
			<i>Nitzschia sigma</i>
DYNOPHYCEAE	Poseen clorofila a, C_1 y C_2 , además presentan pigmentos accesorios como β -caroteno, peridina, diatinoxantina, fucoxantina, diadinoxantina, presentan sustancias de reserva como almidón, lípidos, manitol, y su pared celular esta constituida por celulosa.	Peridiniaceae	<i>Peridinium sp.</i>
		Gymnodiniaceae	<i>Gymnodinium sp.</i>
CHLOROPHYCEAE	Poseen clorofila a y b, además presentan pigmentos α y β -caroteno, luteína, neoxantina, sifonoxantina; presentan sustancias de reserva como almidón y su pared celular esta constituida por celulosa orgánica o carecen	Scenedesmaceae	<i>Scenedesmus quadericauda</i> <i>Scenedesmus acuminatus</i> <i>Scenedesmus ovaltemus</i>
ZYGNEMAPHYCEAE	Color verde a verde amarillento tienen localizados los pigmentos en los cromatóforos presenta sustancias de reserva como almidón tienen una pared celular semirígida, lisa o con espinas, con núcleo presente	Desmidiaceae	<i>Closterium acerosum</i>
			<i>Staurastrum leptocladum</i>
			<i>Cosmarium sp.</i>
			<i>Closterium acutum</i>

Los grupos de algas a nivel de Phylum se pueden agrupar en 3 importantes que van expresados por los géneros más representativos y dominantes para formar un catálogo de algas endémicas del sector; esta información va a ayudar para la identificación en el análisis rutinario que realiza el LI. Las fotografías del 5 al 13 fueron tomadas en el Laboratorio del INP (Insituto Nacional de Pesca).

Phylum: CYANOPHYTA

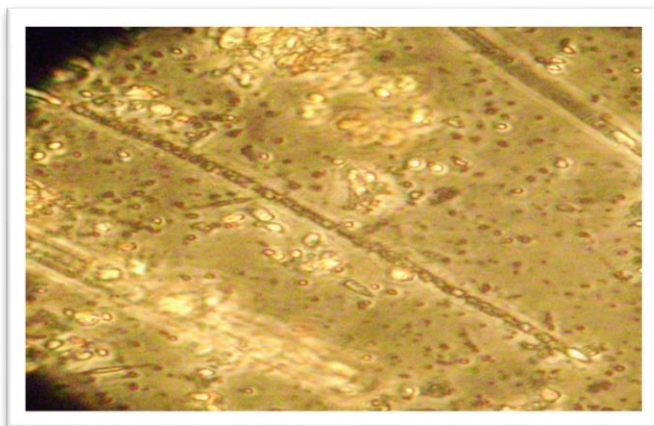
Clase: CYANOPHYCEAE



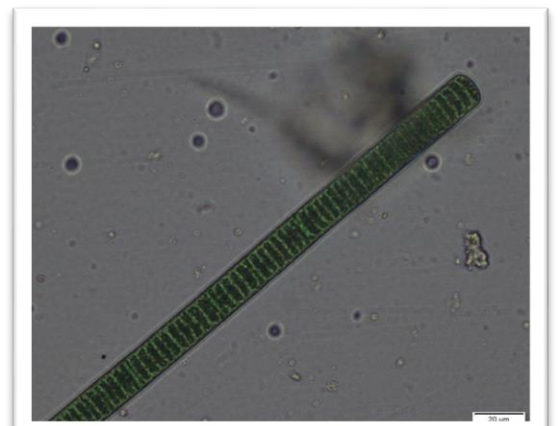
Fotografía 5. *Pseudoanabaena limnetica*



Fotografía 6. *Anabaena torulosa*



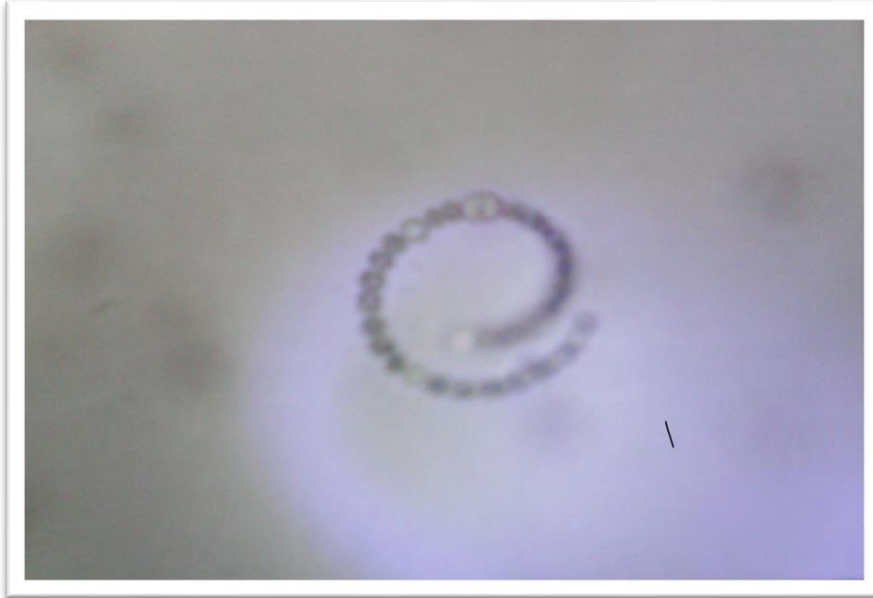
Fotografía 7. *Cylindrospermopsis raciboskii*



Fotografía 8. *Oscillatoria sp.*

Phylum: CYANOPHYTA

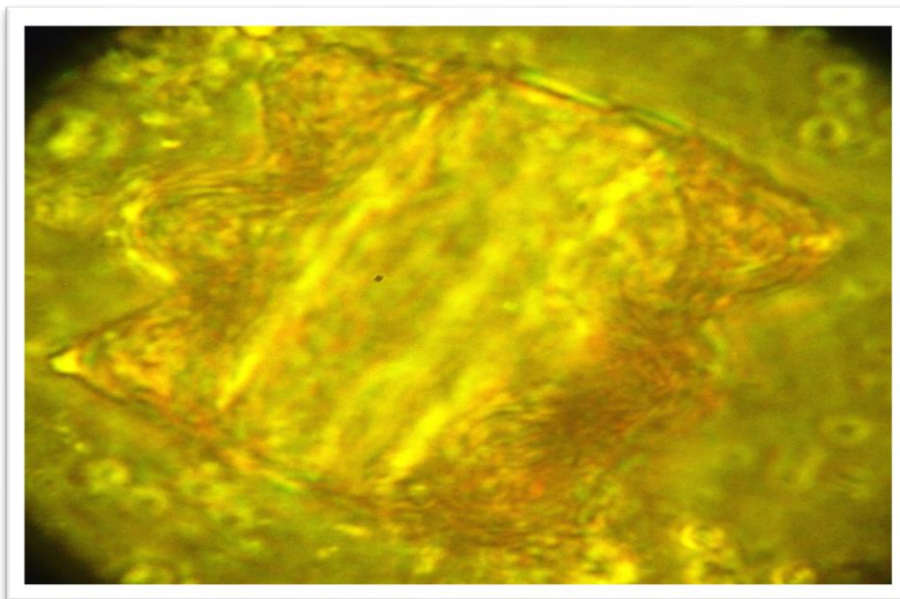
Clase: CYANOPHYCEAE



Fotografía 9. *Anabaena cf. spiroides*

Phylum: OCHROPHYTA

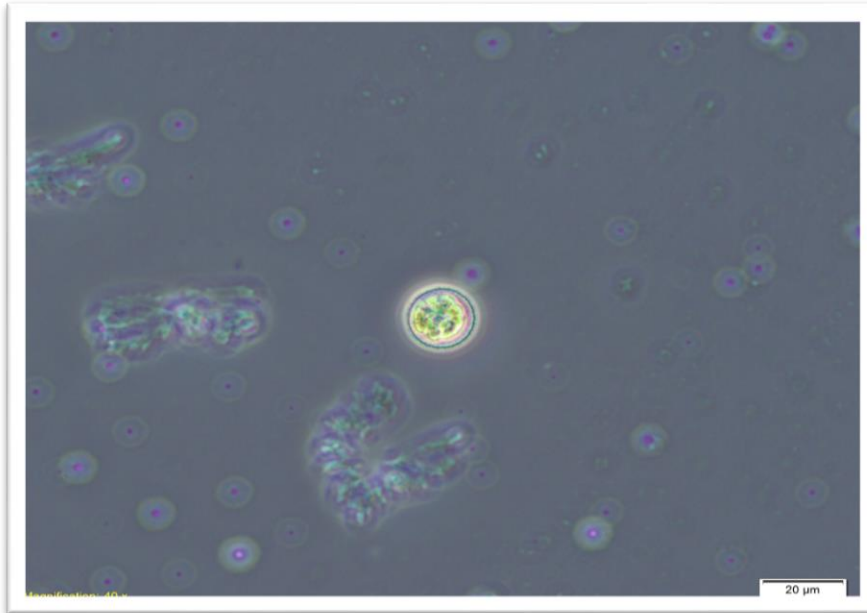
Clase: COSCINODICOPHYCEAE



Fotografía 10. *Polymyxus coronalis*

Phylum: OCHROPHYTA

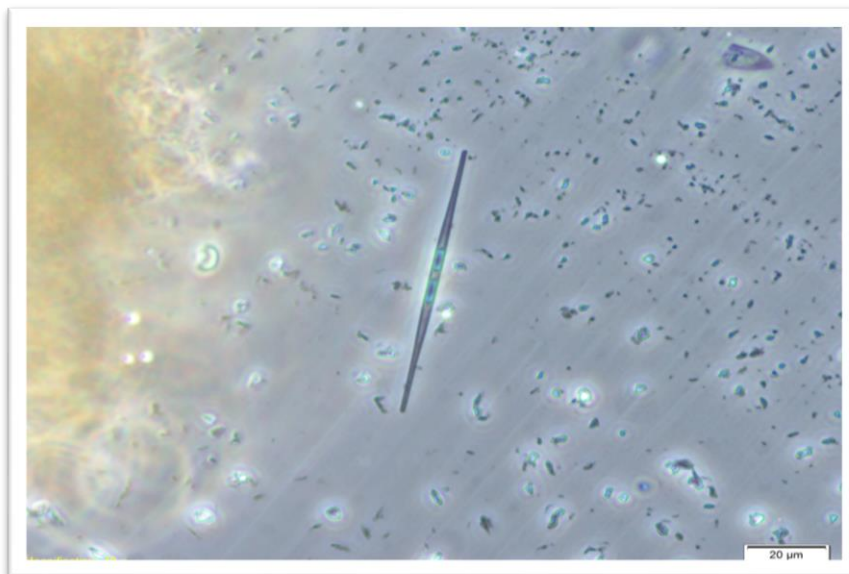
Clase: COSCINODICOPHYCEAE



Fotografía 11. *Cylotella* sp.

Phylum: OCHROPHYTA

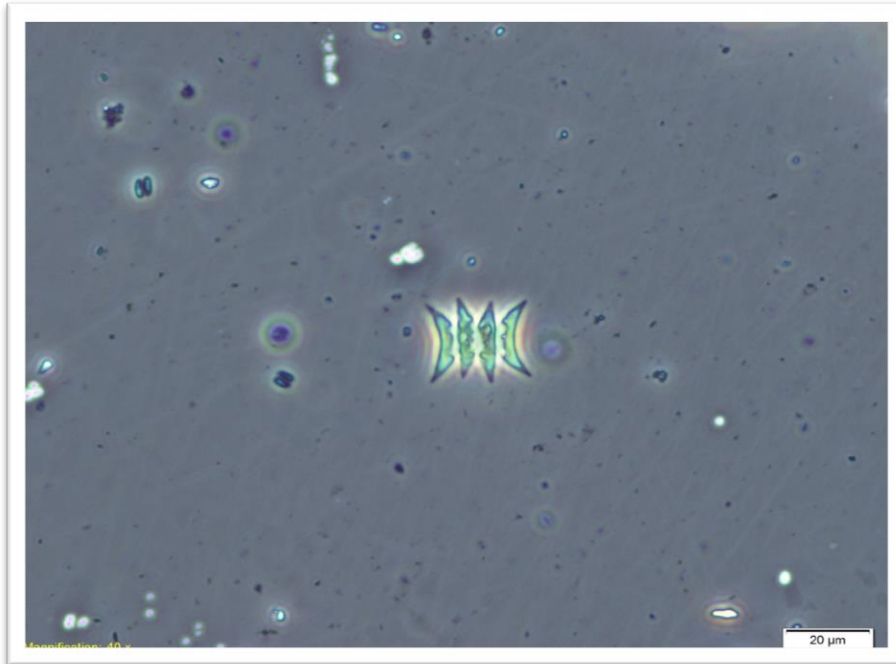
Clase: BACILLARIOPHYCEAE



Fotografía 12. *Nitzschia acicularis*

Phylum: CHLOROPHYTA

Clase: CHLOROPHYCEAE

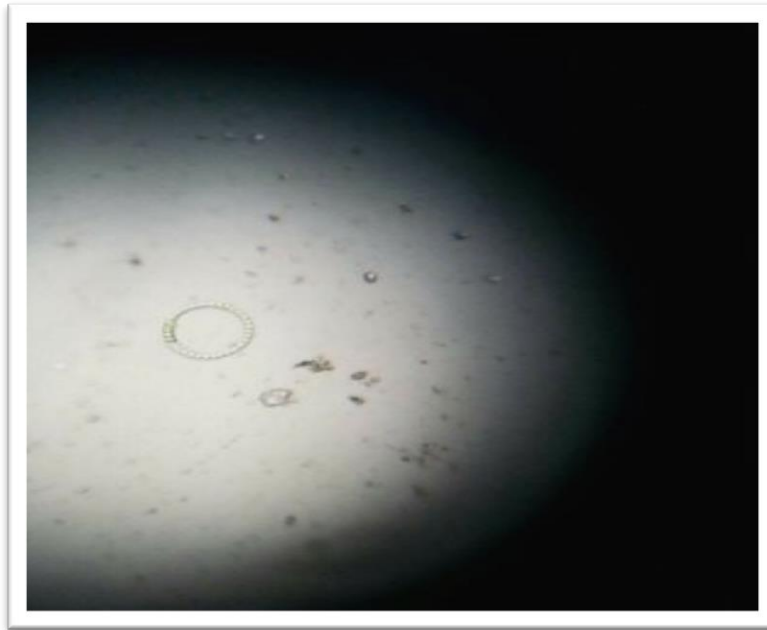


Fotografía 13. *Scenedesmus acuminatus*

3.2 OBSERVACIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGUA CRUDA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO

En las muestras analizadas en el laboratorio se pudieron apreciar aspectos diferentes en las 2 estaciones, de invierno y verano, del año, ya que en la época invernal se presenta material particulado en suspensión que se observan en el microscopio utilizando un objetivo de 10x, en la celda de contaje Sedgewick Rafter de 1mm.

El alga del género *Anabaena* de vida libre se puede observar en la Fotografía 14 que corresponde a un análisis realizado en época de invierno por lo que además se puede apreciar sólidos suspendidos en la muestra.



Fotografía 14. Observaciones al microscopio del agua cruda que ingresa a la Planta de INTERAGUA en la que se puede observar en el centro el alga del género *Anabaena*

En el laboratorio de INTERAGUA (LI) luego de realizar varios análisis en el microscopio del agua cruda en el año 2013 se aplicó un ensayo estadístico basado en el cálculo del Percentil a 100 datos tomados de los análisis rutinarios desde marzo del 2013, aplicando la curva normal de Gauss y el 95% de confiabilidad, en los cuales se evidenció sabor-olor a tierra en las muestras de agua. Con estos datos se calculó el promedio (6) una desviación estándar ($DS=9$, $2DS=18$), una mínima de (-12), una máxima de 24 y un Percentil de 24.

Con los datos calculados se estableció una carta control para el género *Anabaena* de vida libre la cual se va abasteciendo con los datos de análisis rutinarios que se realicen al agua cruda en la cámara de admisión de la Planta.

La carta control con los datos históricos se puede observar en la Figura 3.

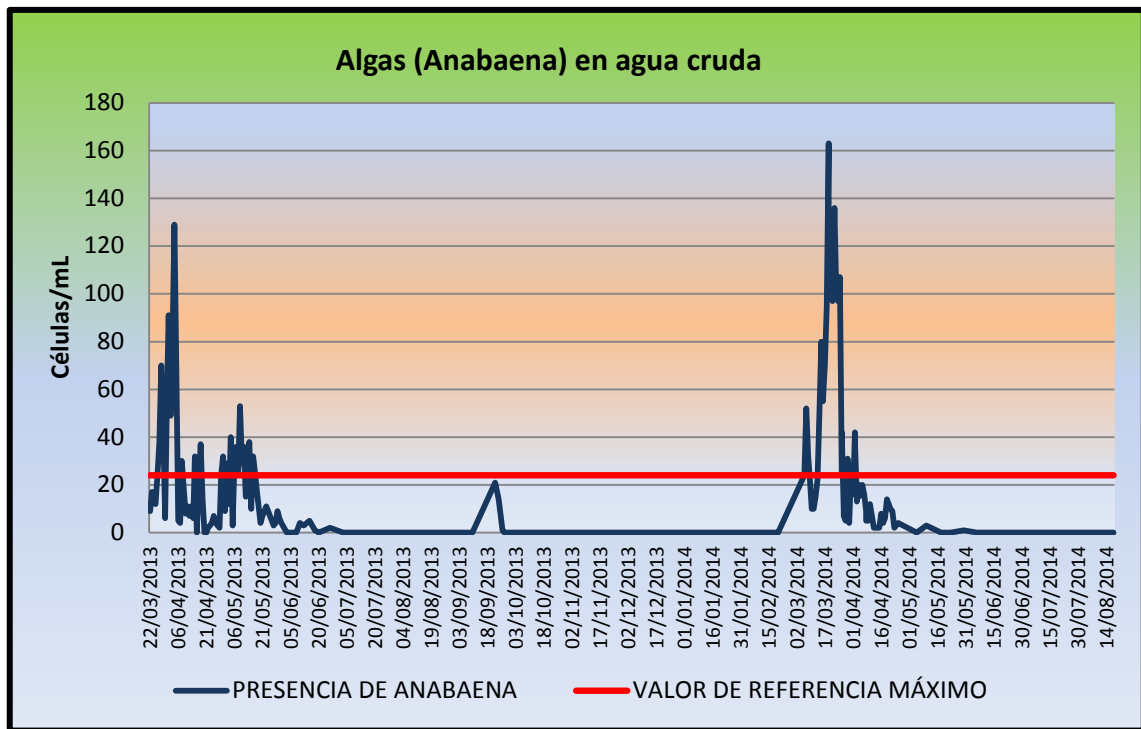


Figura 3. Carta control para el género *Anabaena* en muestras de agua cruda, indicando su límite de alerta 24 cel/mL

3.3 ESTADÍSTICA DE LOS PHYLUM MÁS REPRESENTATIVOS

3.3.1 FRECUENCIA RELATIVA

Para el cálculo de la frecuencia relativa (F_i) se utilizó la siguiente fórmula:

$$F_i = (n/N) * 100$$

Donde:

n= número de veces en que aparece en los 4 meses

N= número total de meses

Dentro de los 3 grupos más importantes Cyanophytas, Chlorophytas y Ochrophyta, que se identificaron en el punto La Toma, en el año 2010 entre septiembre y diciembre las especies más frecuentes (100 %) fueron *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Nitzschia longissima*, *Scenedesmus quadricauda*, como lo indica en la Figura 4.

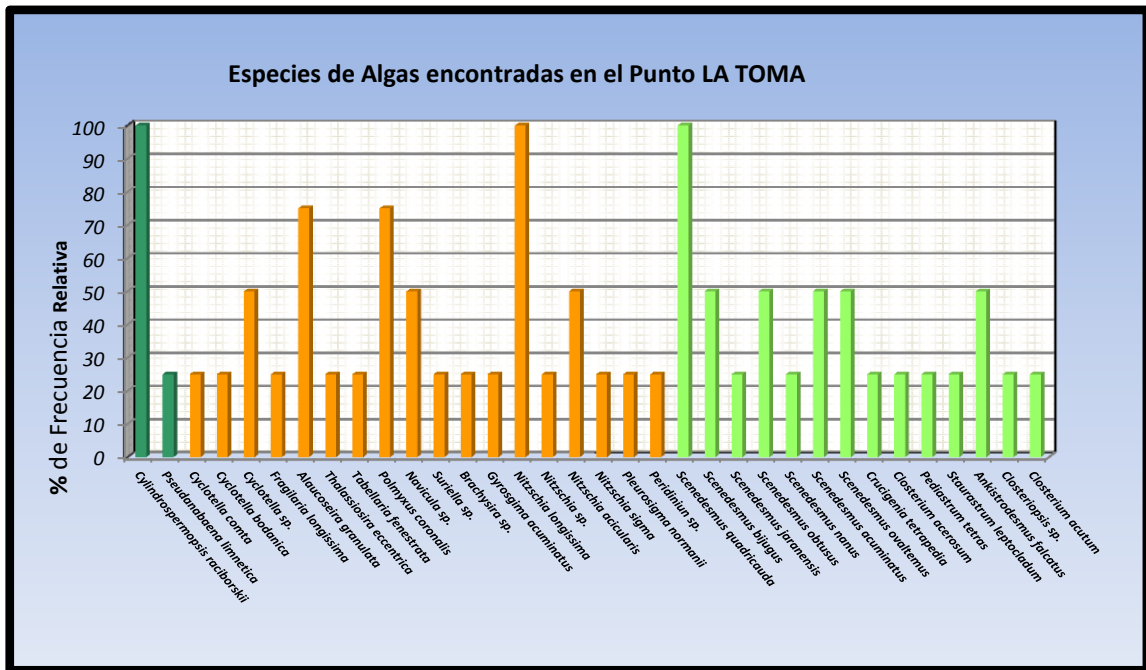


Fig. 4. Porcentaje de Frecuencia Relativa de las especies encontradas en el punto La Toma 2010

En el punto Nobol, en el año 2010 entre septiembre y diciembre las especies más frecuentes (100 %) fueron *Cylindrospermopsis raciborskii*, *Alauoseira granulata*, *Nitzschia longissima* y *Polmyxus coronalis*, como lo indica en la Figura 5.

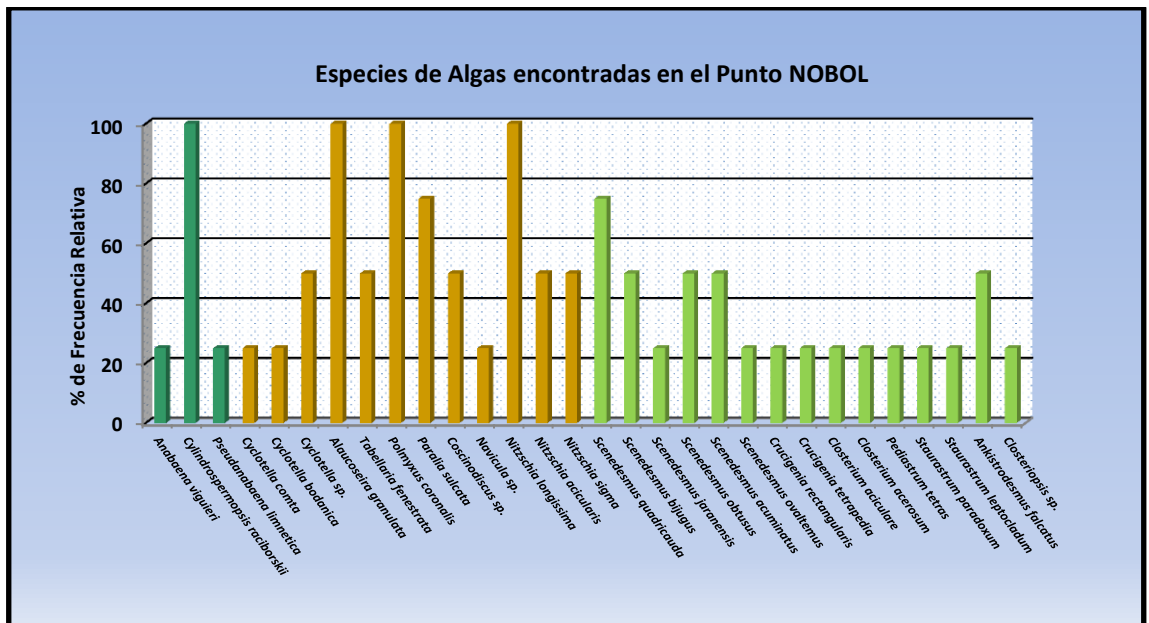


Fig. 5. Porcentaje de Frecuencia Relativa de las especies encontradas en el punto La Nobol 2010

En el año 2011 las especies de más frecuencia (92%) en el punto La Toma fueron

Cylindropermopsis raciborskii, y *Polmyxus coronalis*, como lo indica en la Figura 6.

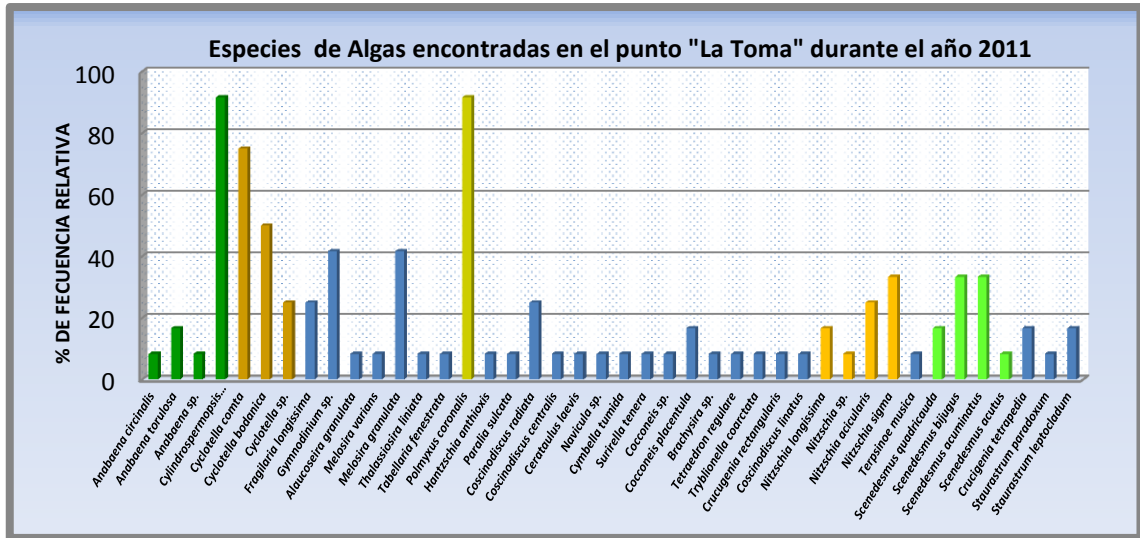


Fig. 6. Porcentaje de Frecuencia Relativa de las especies encontradas en el punto La Toma 2011

En el año 2011 las especies más frecuentes en el punto Nobol fueron *Cylindropermopsis raciborskii* (83 %) y *Polmyxus coronalis* (92 %), como lo indica en la Figura 7.

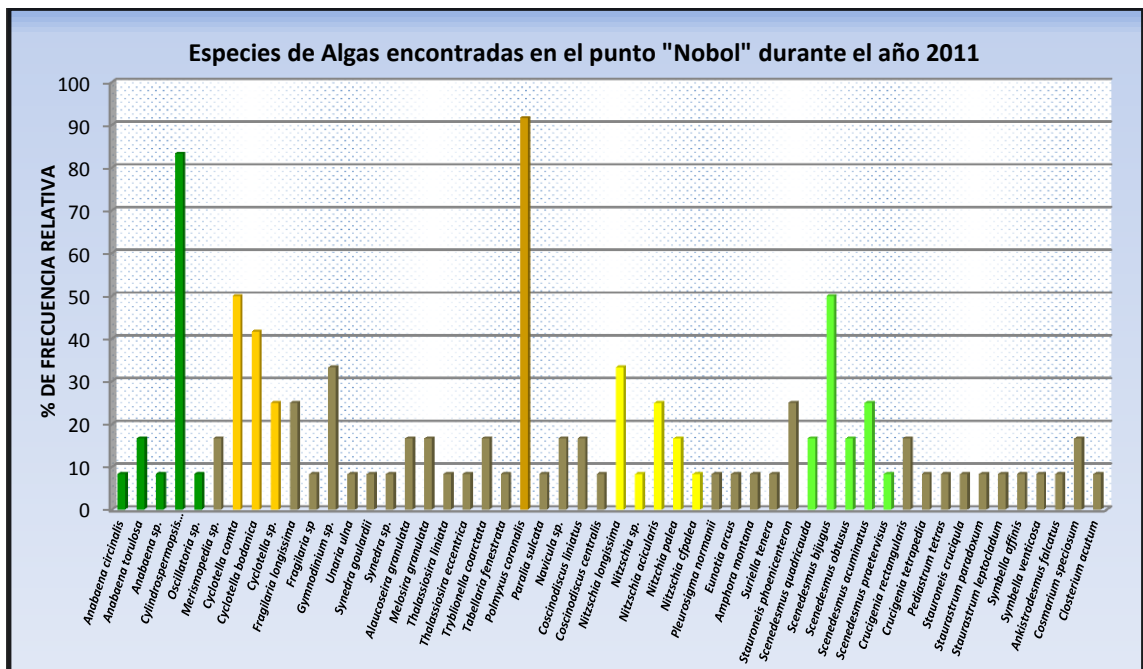


Fig. 7. Porcentaje de Frecuencia Relativa de las especies encontradas en el punto Nobol 2011

En el año 2012 las especies más frecuentes en el punto La Toma fueron FCNM

Cylindropermopsis raciborskii (92 %), *Melosira granulata* (92 %) y *Polmyxus coronalis* (83 %), como lo indica en la Figura 8.

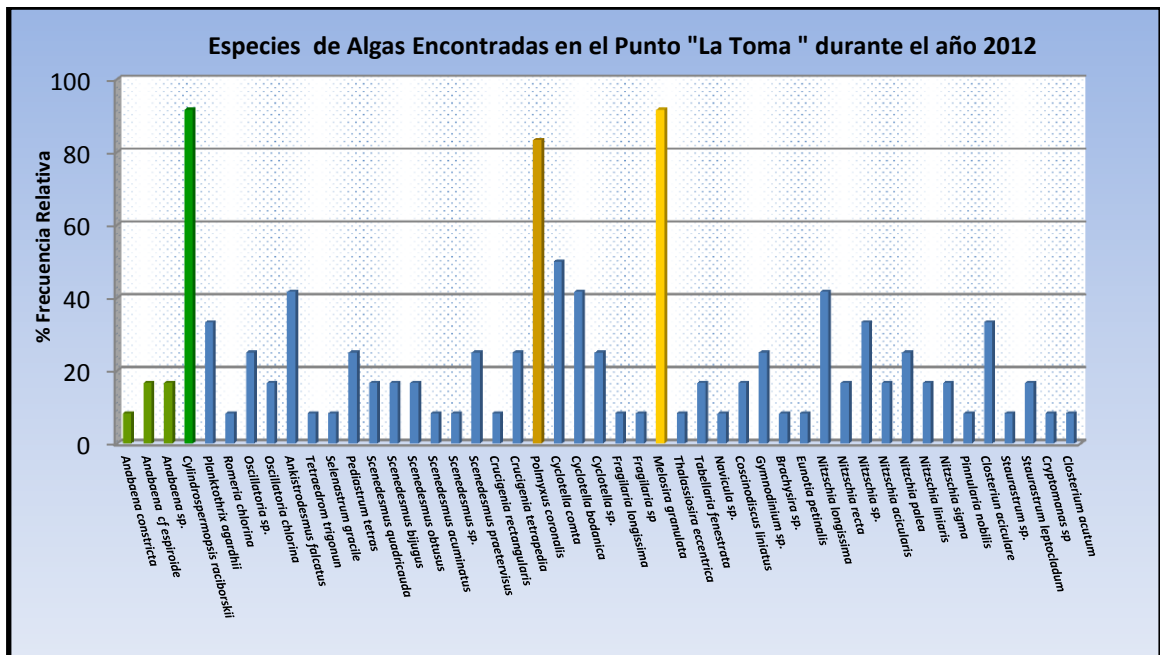


Fig. 8. Porcentaje de Frecuencia Relativa de las especies encontradas en el punto La Toma 2012

En el año 2012 las especies más frecuentes en el punto Nobol fueron *Cylindropermopsis raciborskii* (92 %) y *Polmyxus coronalis* (67%), como lo indica en la Figura 9.

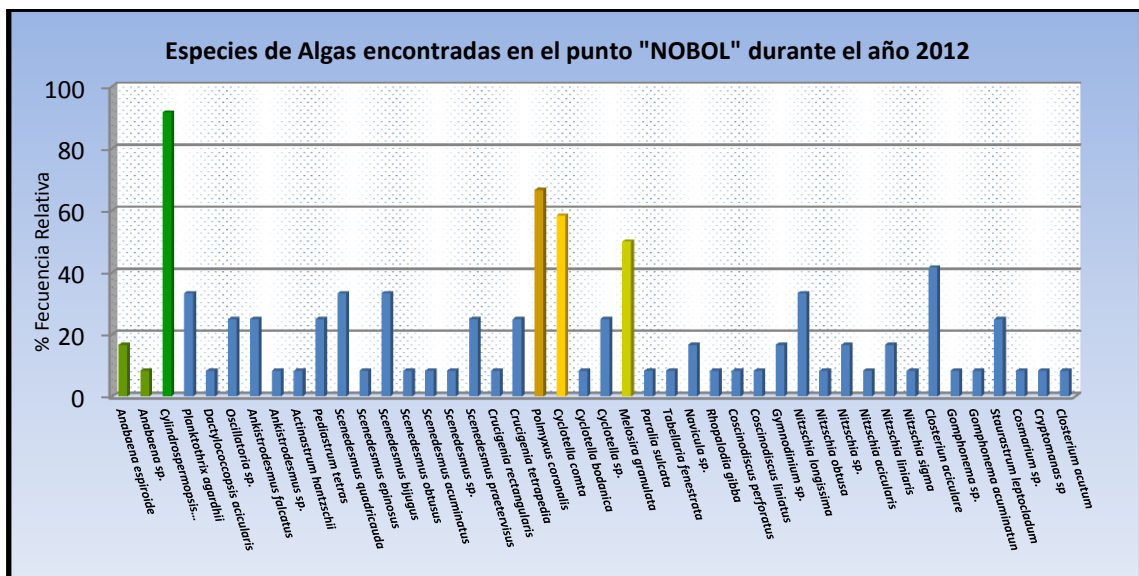


Fig. 9. Porcentaje de Frecuencia Relativa de las especies encontradas en el punto Nobol 2012

En el año 2013 las especies más frecuentes en el punto La Toma fueron

Cylindrospermopsis raciborskii (92 %), *Cyclotella bodanica* (75 %), *Gymnodinium sp.* (83 %) y *Polmyxus coronalis* (75 %), como lo indica en la figura 10.

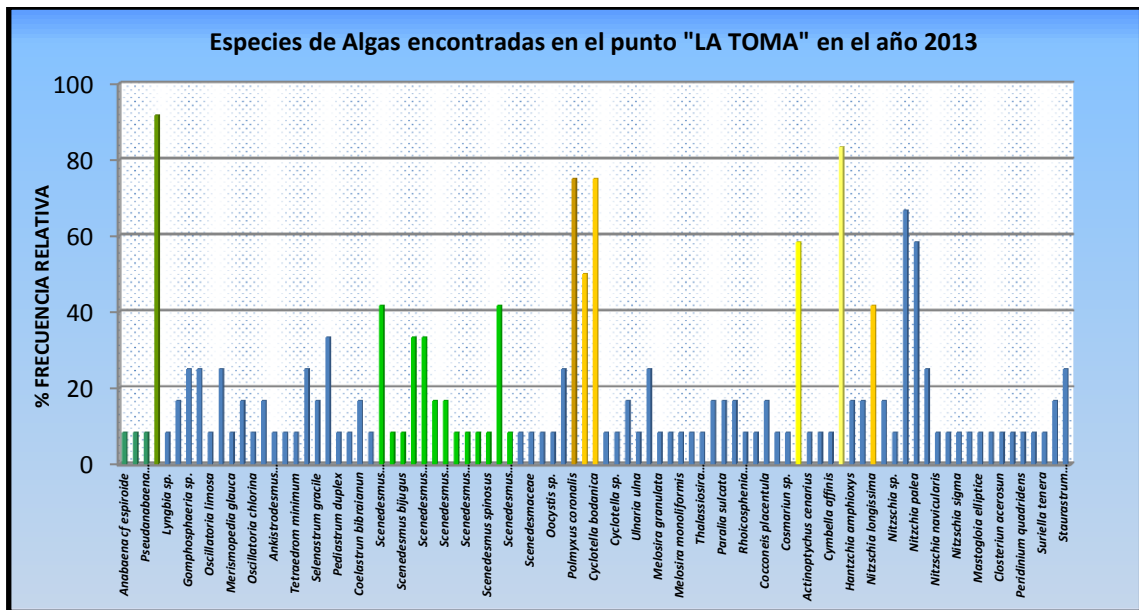


Fig. 10. Porcentaje de Frecuencia Relativa de las especies encontradas en el punto La Toma 2013

En el año 2013 las especies más frecuentes en el punto Nobol fueron *Cylindrospermopsis raciborskii* (92 %), *Gymnodinium sp.* (83 %) y *Polmyxus coronalis* (83 %), como lo indica en la Figura 11.

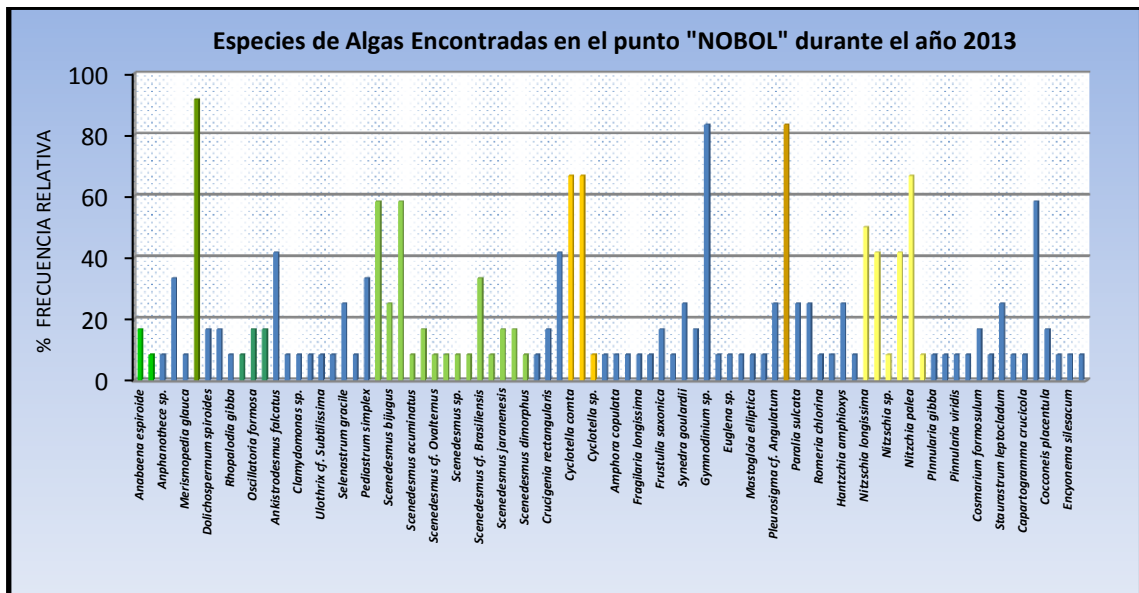


Fig. 11. Porcentaje de Frecuencia Relativa de las especies encontradas en el punto Nobol 201

3.3.2 ABUNDANCIA RELATIVA

Para el cálculo de la abundancia relativa (AR) se utilizó la siguiente fórmula:

$$AR = (n/N) * 100$$

Dónde:

n= número de células de la especie

N= biomasa total de especies

Los resultados obtenidos en abundancia relativa porcentual de las especies más importantes encontrados en los puntos La Toma (T) y Nobol (N), durante los últimos 4 meses del 2010 son los siguientes: *Cylindrospermopsis raciborskii* (6.61%-T), (20.8%-N), *Pseudanabaena limnetica* (9.11%-T), (8.9%-N), *Alauoseira granulata* (2.85%-T), (2.40%-N) y *Polmyxus coronalis* (18.56%-T), (4.20%-N), *Nitzschia longissima* (45.22%-T), (45%-N), *Nitzschia acicularis* (7.86%-T), (5.70%-N), *Scenedesmus quadricauda* (2.62%-T) (1.10%-N) y *Scenedesmus bijugus* (1.03%-T) (1.50%-N), la información se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Porcentaje de Abundancia Relativa de las especies más importantes encontradas en los puntos La Toma y Nobol durante los meses septiembre, octubre, noviembre y diciembre del 2010

ABUNDANCIA RELATIVA (%) DE LAS ESPECIES MÁS IMPORTANTES ENCONTRADOS EN LOS PUNTOS LA TOMA Y NOBOL EN LOS 4 ULTIMOS MESES DEL AÑO 2010								
SITIO	CIANOPHYTAS		DIATOMEAS				CLOROPHYTAS	
	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	<i>Pseudanabaena limnetica</i>	<i>Alauoseira granulata</i>	<i>Polmyxus coronalis</i>	<i>Nitzschia longissima</i>	<i>Nitzschia acicularis</i>	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	<i>Scenedesmus bijugus</i>
LA TOMA	6.61 %	9.11 %	2.85 %	18.56 %	45.22 %	7.86 %	2.62 %	1.03 %
NOBOL	20.80 %	8.90 %	2.40 %	4.20 %	45.00 %	5.70 %	1.10 %	1.50 %

.Los resultados obtenidos del análisis estadístico a las especies encontradas en los puntos de estudio que se registran en la Tabla 3, se muestran en el Figura 12.

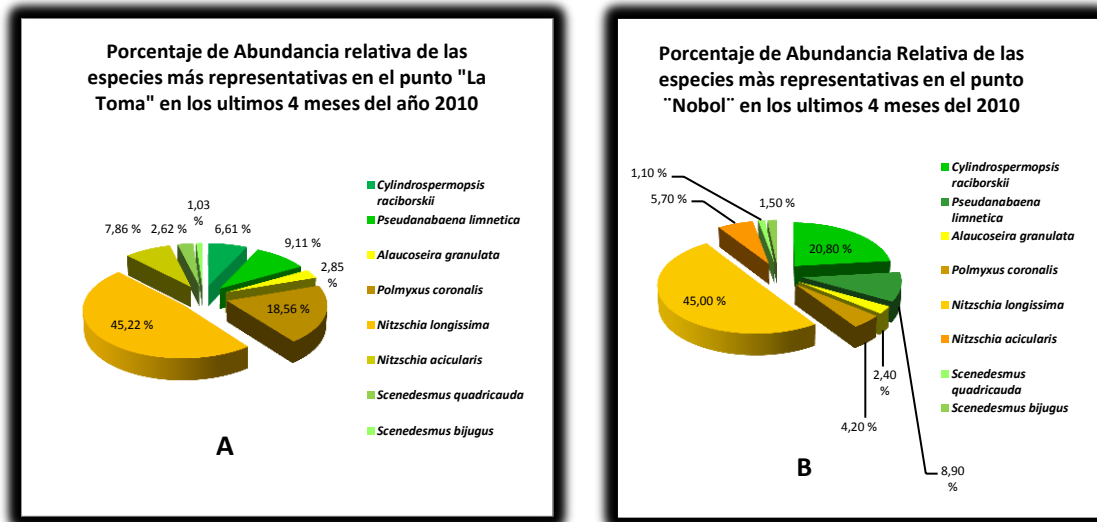


Fig. 12. Porcentaje de Abundancia Relativa de las especies más importantes encontradas en los puntos: A) La Toma y B) Nobol.

Los géneros más importantes encontrados en los puntos La Toma (T) y Nobol (N), en el año 2011 son los siguientes: *Cylindrospermopsis* (33.46%-T), (30.05%-N), *Anabaena* (1.34%-T), (0.79%-N), *Cyclotella* (16.9%-T), (2.83%-N) y *Polmyxus* (30.00%-T), (47.22%-N), *Nitzschia* (4.42%-T), (1.86%-N), *Scenedesmus* (3.27%-T) (4.20%-N) , la información se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Porcentaje de Abundancia Relativa de los Géneros más importantes encontrados en los puntos La Toma y Nobol durante el año 2011

ABUNDANCIA RELATIVA (%) DE LOS GÉNEROS MÁS REPRESENTATIVOS ENCONTRADAS EN LOS PUNTOS LA TOMA Y NOBOL EN EL AÑO 2011						
SITIO	CIANOPHYTAS		DIATOMEAS			CLOROPHYTAS
	<i>Cylindrospermopsis</i>	<i>Anabaena</i>	<i>Cyclotella</i>	<i>Polmyxus</i>	<i>Nitzschia</i>	<i>Scenedesmus</i>
LA TOMA	33.46 %	1.34 %	16.9 %	30.00 %	4.42 %	3.27 %
NOBOL	30.05 %	0.79 %	2.83 %	47.22 %	1.86 %	4.20 %

Los resultados obtenidos del análisis estadístico a las especies encontradas en los puntos de estudio que se registran en la Tabla 4, se muestran en el Figura 13.

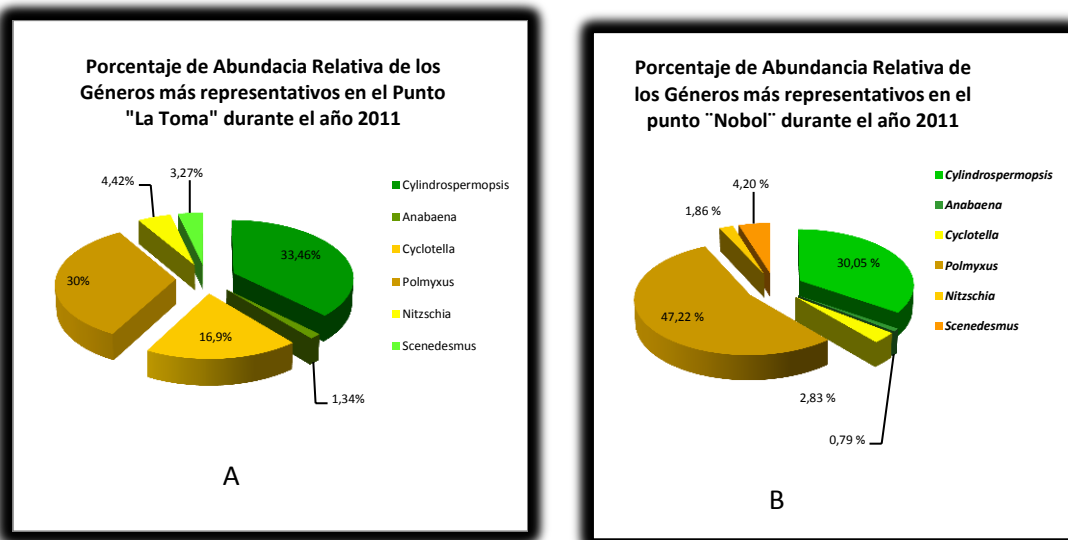


Fig. 13. Porcentaje de Abundancia Relativa de las especies más importantes encontradas en los puntos: A) La Toma y B) Nobol

Los géneros más importantes encontrados en los puntos La Toma (T) y Nobol (N), en el año 2012 son los siguientes: *Cylindrospermopsis* (42.44%-T), (41.87%-N), *Anabaena* (0.94%-T), (1.69%-N), *Oscillatoria* (0.52%-T), (0.56%-N), *Cyclotella* (2.71%-T), (3.55%-N) *Polmyxus* (27.53%-T), (16.82%-N), *Nitzschia* (3.75%-T), (7.10%-N), y *Scenedesmus* (1.46%-T) (6.93%-N) , la información se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Porcentaje de Abundancia Relativa de los Géneros más importantes encontrados en los puntos La Toma y Nobol durante el año 2012

ABUNDANCIA RELATIVA (%) DE LOS GÉNEROS MAS REPRESENTATIVOS ENCONTRADAS EN LOS PUNTOS LA TOMA Y NOBOL DURANTE EL AÑO 2012							
SITIO	CIANOPHYTAS			DIATOMEAS			Scenedesmus
	<i>Cylindrospermopsis</i>	<i>Oscillatoria</i>	<i>Anabaena</i>	<i>Cyclotella</i>	<i>Polmyxus</i>	<i>Nitzschia</i>	
LA TOMA	42.44 %	0.52 %	0.94 %	2.71 %	27.53 %	3.75 %	1.46 %
NOBOL	41.87 %	0.56 %	1.69 %	3.55 %	16.82 %	7.10 %	6.93 %

Los resultados obtenidos del análisis estadístico a las especies encontradas en los

puntos de estudio que se registran en la Tabla 5, se muestran en la Figura 14.

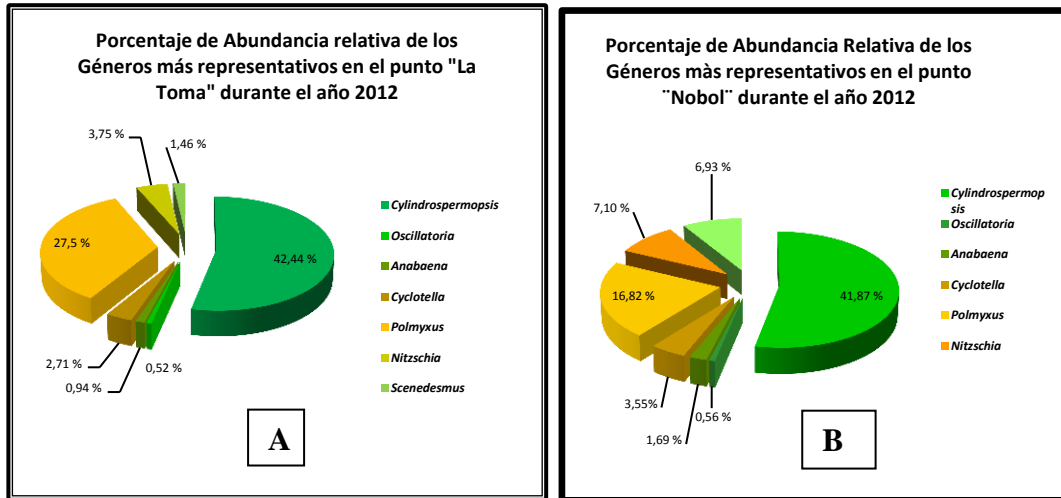


Fig. 14. Porcentaje de Abundancia Relativa de las especies más importantes encontradas en los puntos: A) La Toma y B) Nobol.

Los géneros más importantes encontrados en los puntos La Toma (T) y Nobol (N), en el año 2013 son los siguientes; *Cylindrospermopsis* (15.89%-T), (19.12%-N), *Anabaena* (0.55%-T), (0.49%-N), *Oscillatoria* (0.78%-T), (0.49%-N), *Cyclotella* (10.92%-T), (4.20%-N) *Polmyxus* (17.07%-T), (21.64%-N), *Gymnodinium* (10.54%-T) (19.33%-N), *Nitzschia* (5.37%-T), (5.67%-N), y *Scenedesmus* (1.57%-T) (0.14%-N) , la información se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Porcentaje de Abundancia Relativa de los Géneros más importantes encontrados en los puntos La Toma y Nobol durante el año 2013

ABUNDANCIA RELATIVA (%) DE LOS GÉNEROS MÁS IMPORTANTES ENCONTRADOS EN LOS PUNTOS LA TOMA Y NOBOL EN EL AÑO 2013									
SITIO	CIANOPHYTAS			DIATOMEAS				CLOROPHYTAS	
	<i>Anabaena</i>	<i>Oscillatoria</i>	<i>Cylindrospermopsis</i>	<i>Polmyxus</i>	<i>Cyclotella</i>	<i>Gymnodinium</i>	<i>Nitzschia</i>	<i>Scenedesmus</i>	<i>Ulothrix</i>
LA TOMA	0.55 %	0.78 %	15.89 %	17.07 %	10.92 %	10.54 %	5.37 %	10.39 %	1.57 %
NOBOL	0.49 %	0.49 %	19.12 %	21.64 %	4.20 %	19.33 %	5.67 %	7.77 %	0.14 %

Los resultados obtenidos del análisis estadístico a las especies encontradas en los

puntos de estudio que se registran en la Tabla 7, se muestran en la Figura 15.

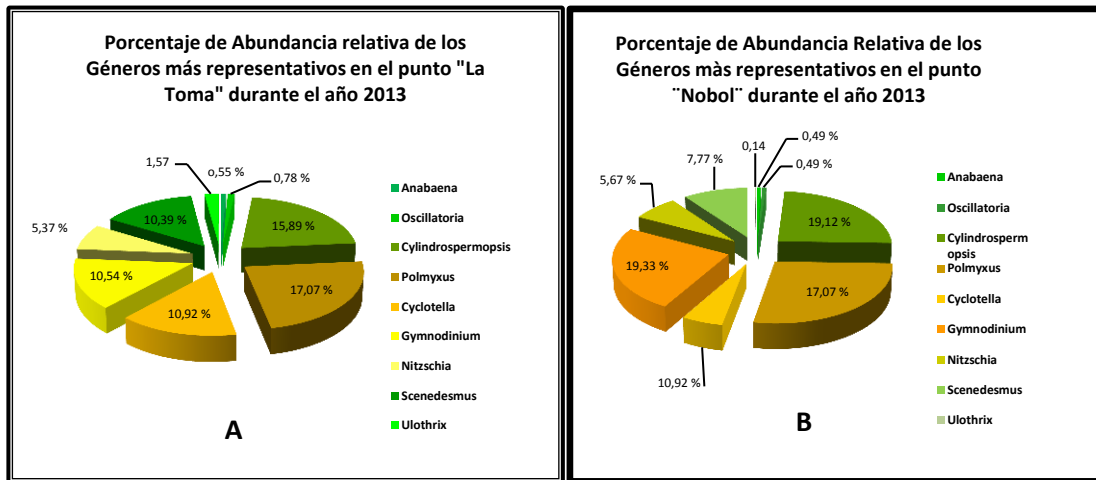


Fig. 15. Porcentaje de Abundancia Relativa de las especies más importantes encontradas en los puntos: A) La Toma y B) Nobol.

3.4 BIOMASA DE LAS ALGAS ENCONTRADAS

En lo referente a la densidad celular de las algas encontradas en las zonas del proyecto se encontró que el grupo con mayor variedad de especies es el de Ochrophyta en todos los años de estudio.

En los últimos 4 meses del año 2010 que comenzó el problema de olor y sabor a tierra en el agua, las algas del grupo Cyanophytas a la cual pertenecen los géneros que ocasionan estos eventos ocupan el segundo lugar en cuanto a densidad celular presentando en La Toma $1\,380\,000\text{ cel.L}^{-1}$ y la mayor densidad la presentó el grupo Ochrophyta con $6\,790\,000\text{ cel.L}^{-1}$. En la Tabla 7 se encuentran los resultados de las densidades correspondientes a los grupos de algas en el año 2010 tanto en el punto La Toma como Nobol.

Tabla 7. Densidad celular (cel.L^{-1}) de los grupos de algas encontrados en los puntos de

estudio, año 2010

Distribución Superficial de la Biomasa Celular encontrada en los puntos La Toma y Nobol Durante los muestreos efectuados en los meses de Septiembre, Octubre, Noviembre y Diciembre del 2010			
Puntos de Muestreo	CIANOPHYTAS	DIATOMEAS	CLOROPHYTAS
LA TOMA	1380000	6790000	610000
NOBOL	2350000	4890000	650000

Las densidades celulares de los grupos de algas encontradas en los puntos de estudio que se registran en la Tabla 7, se muestran en la Figura 16.

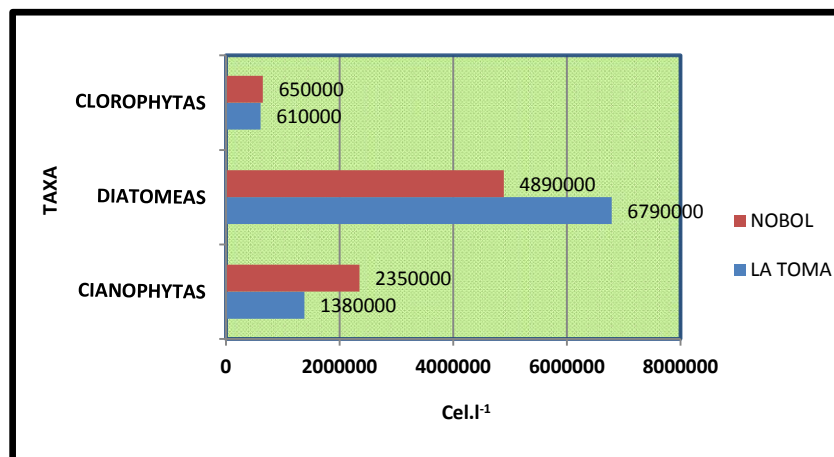


Fig. 16. Biomasa celular de los grupos de algas encontrados en los puntos La Toma y Nobol en los últimos 4 meses del año 2010

Durante año 2011 el grupo de Cyanophytas obtuvo una concentración de células en el punto Nobol de 3 190 000 cel.L⁻¹. La mayor concentración celular lo tuvo el grupo de Ochrophyta con 6 310 000 cel.L⁻¹ en el mismo punto. En la tabla 8 se encuentran los resultados de las densidades correspondientes a los grupos de algas en el año 2011 tanto en el punto La Toma como Nobol.

Tabla 8. Densidad celular (cel.L⁻¹) de los grupos de algas encontrados en los puntos de

estudio, año 2011

Distribución Superficial de la Biomasa Celular encontrada en los puntos La Toma y Nobol Durante los muestreos efectuados en el año 2011			
Puntos de Muestreo	CIANOPHYTAS	DIATOMEAS	CLOROPHYTAS
LA TOMA	1810000	3170000	220000
NOBOL	3190000	6310000	750000

Las densidades celulares de los grupos de algas encontradas en los puntos de estudio que se registran en la Tabla 8, se muestran en la Figura 17.

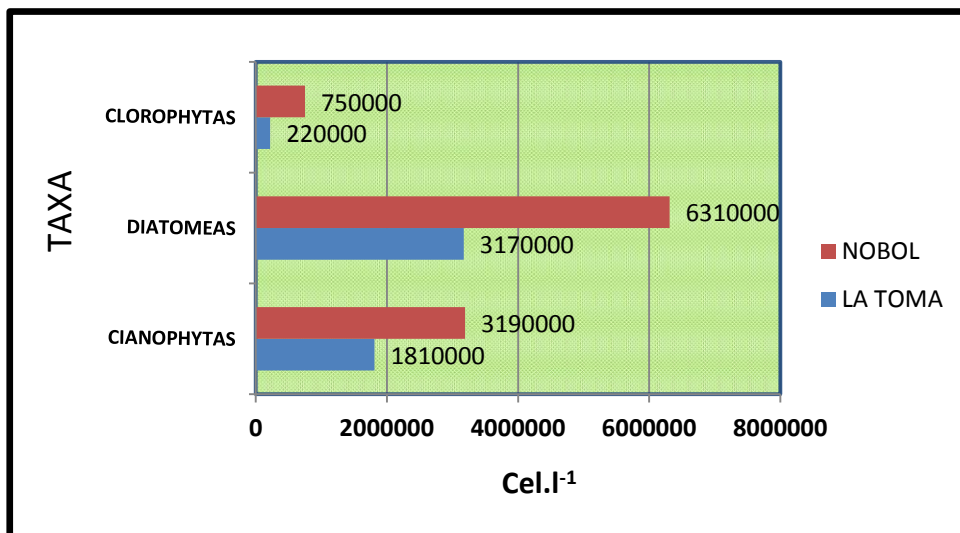


Fig. 17. Biomasa celular de los grupos de algas encontrados en los puntos La Toma y Nobol durante el año 2011

En el año 2012 la mayor concentración de células la tienen dos grupos, el Phylum Ochrophyta en el punto La Toma con como 4 720 000 cel.L⁻¹ y las Cyanophytas con 4 540 000 cel.L⁻¹. En la Tabla 9 se encuentran los resultados de las densidades correspondientes a los grupos de algas en el año 2012 tanto en el punto La Toma como

Nobol.

Tabla 9. Densidad celular (cel.L^{-1}) de los grupos de algas encontrados en los puntos de estudio, año 2012

Distribución Superficial de la Biomasa Celular encontrada en los puntos La Toma y Nobol Durante los muestreos efectuados en el año 2012			
Puntos de Muestreo	CIANOPHYTAS	DIATOMEAS	CLOROPHYTAS
LA TOMA	4540000	4720000	330000
NOBOL	2610000	2060000	680000

Las densidades celulares de los grupos de algas encontradas en los puntos de estudio que se registran en la Tabla 9, se muestran en la Figura 18.

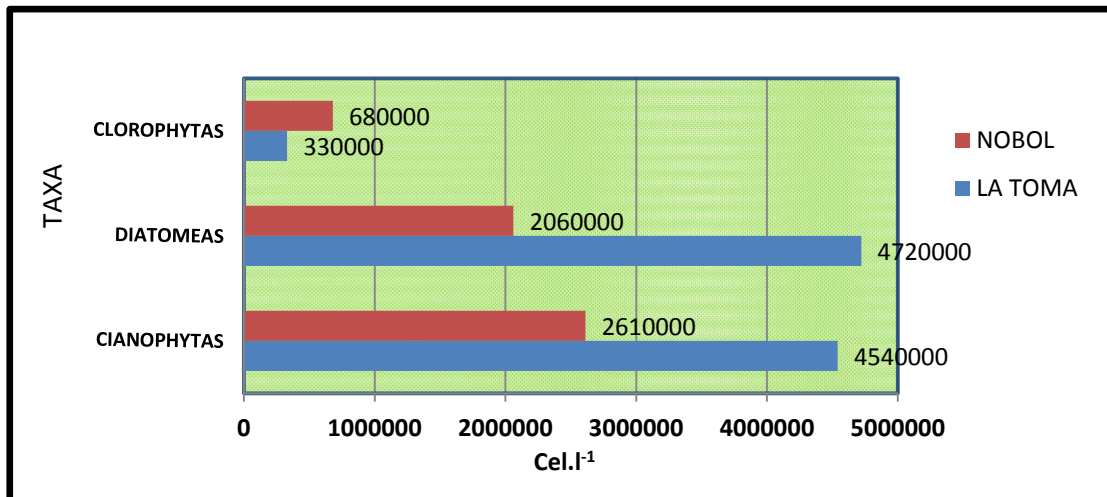


Fig. 18. Biomasa celular de los grupos de algas encontrados en los puntos La Toma y Nobol durante el año 2012

En el año 2013 la mayor concentración de células la tiene el grupo, Ochrophyta en el punto La Toma con 8 280 000 cel.L⁻¹ y en el punto Nobol con 9 470 000 cel.L⁻¹. En la Tabla 10 se encuentran los resultados de las densidades correspondientes a los grupos de algas en el año 2013 tanto en el punto La Toma como Nobol.

Tabla 10. Densidad celular (cel.L⁻¹) de los grupos de algas encontrados en los puntos de estudio, año 2013.

Distribución Superficial de la Biomasa Celular encontrada en los puntos La Toma y Nobol Durante los muestreos efectuados en el año 2013			
Puntos de Muestreo	CIANOPHYTAS	DIATOMEAS	CLOROPHYTAS
LA TOMA	2360000	8280000	2070000
NOBOL	3070000	9470000	1740000

Las densidades celulares de los grupos de algas encontradas en los puntos de estudio que se registran en la Tabla 10, se muestran en la Figura 19.

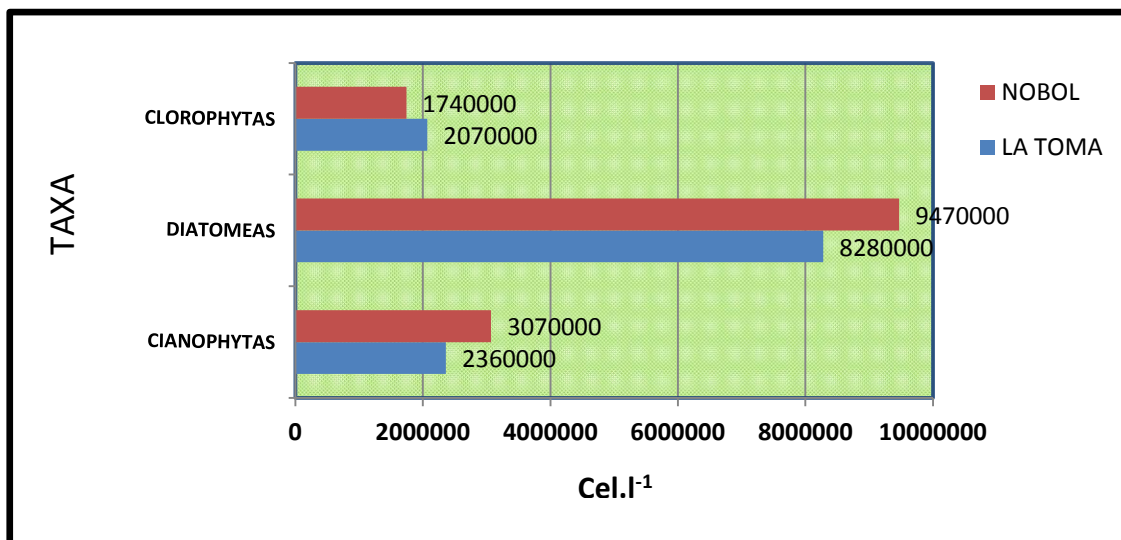


Fig. 19. Biomasa celular de los grupos de algas encontrados en los puntos La Toma y Nobol durante el año 2013

3.5 DISTRIBUCIÓN DE LA BIOMASA DE ALGAS EN LA ÉPOCA CLIMÁTICA DE CADA AÑO DE ESTUDIO

La distribución de las algas en las épocas de invierno y verano fue diferente para cada año lo que se debe a la irregularidad de la época invernal, por lo que una vez realizado la identificación y conteo, se graficó para hacer comparaciones de los géneros más representativos que se presentaron en cada época.

AÑO 2011

En el año 2011 los géneros más representativos que mostraron mayor presencia en la época invernal en los 2 puntos de estudio son los siguientes: *Cylindrospermopsis* (150 000 cel.L⁻¹), *Anabaena* (70 000 cel.L⁻¹), *Polmyxus* (190 000 cel.L⁻¹), en la época de verano hay una mayor biomasa celular en el punto Nobol del género *Polmyxus* (4 780 000 cel.L⁻¹). Esta información se muestra en las Tablas 11 y 12.

Tabla 11. Resultados de los Géneros más representativos que se presentan en la época invernal del año 2011

RESULTADOS EN Cel.L ⁻¹ DE LOS GENEROS MAS IMPORTANTES ENCONTRADOS EN LOS PUNTOS LA TOMA Y NOBOL EN LA ESTACIÓN DE INVIERNO DEL AÑO 2011					
SITIO	CIANOPHYTAS			DIATOMEAS	
	<i>Anabaena</i>	<i>Cylindrospermopsis</i>	<i>Oscillatoria</i>	<i>Cyclotella</i>	<i>Polmyxus</i>
LA TOMA	70000	150000	0	40000	190000
NOBOL	80000	120000	10000	60000	60000

Tabla 12. Resultados de los Géneros más representativos que se presentan en la época de

verano del año 2011

RESULTADOS EN Cel.L ⁻¹ DE LOS GENEROS MAS IMPORTANTES ENCONTRADOS EN LOS PUNTOS LA TOMA Y NOBOL EN LA ESTACIÓN DE VERANO DEL AÑO 2011					
SITIO	CIANOPHYTAS	DIATOMEAS			COLOROPHYTAS
	<i>Cylindrospermopsis</i>	<i>Cyclotella</i>	<i>Nitzschia</i>	<i>Polmyxus</i>	<i>Scenedesmus</i>
LA TOMA	1590000	2410000	230000	1370000	170000
NOBOL	2960000	230000	160000	4780000	430000

Las densidades celulares de los grupos de algas encontradas en la época invernal y de verano de los puntos de estudio que se registran en la Tabla 11 y 12, se muestran en las Figuras 20 y 21.

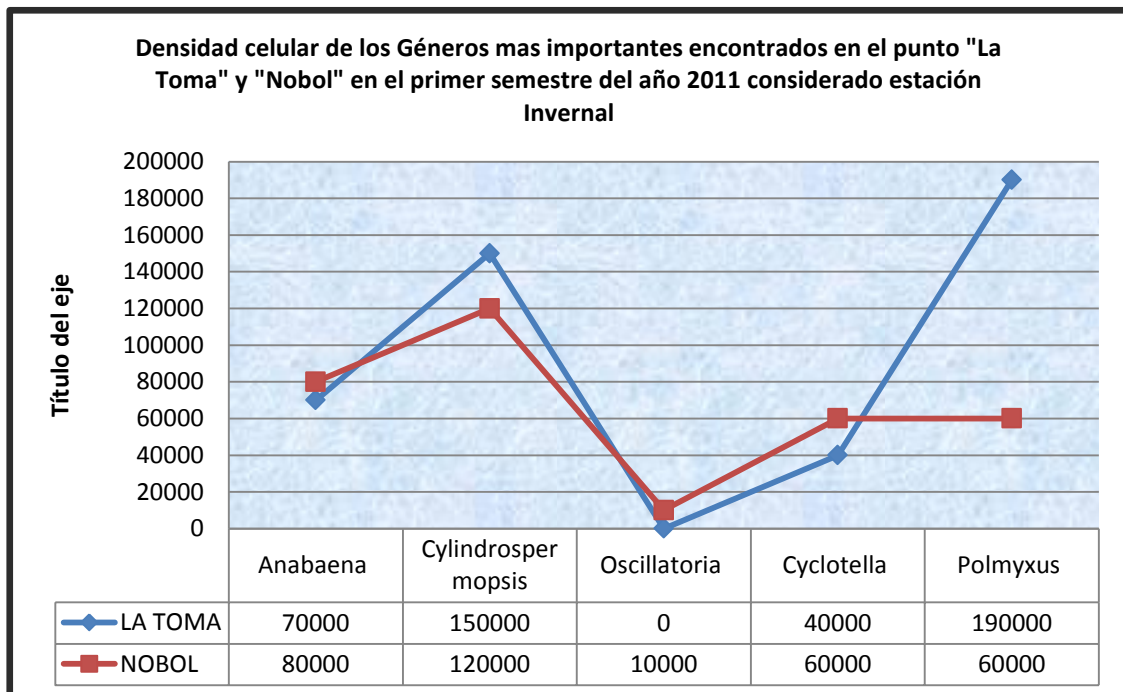


Fig. 20. Densidad celular de los grupos de algas encontrados en los puntos La Toma y Nobol en la época invernal del año 2011

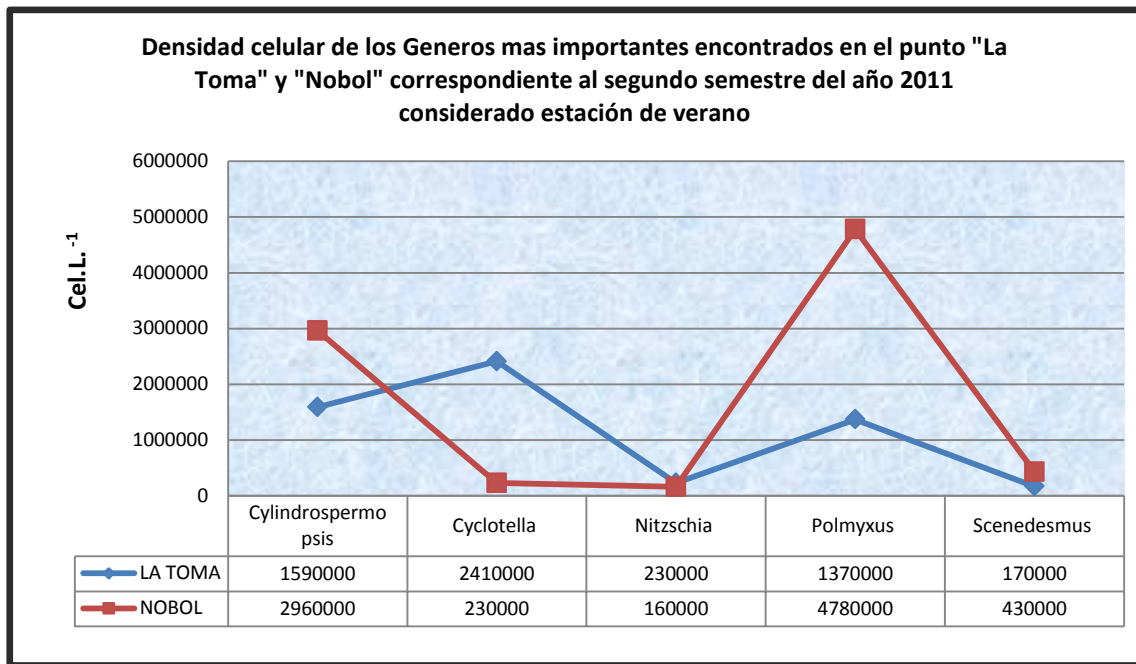


Fig. 21. Densidad celular de los grupos de algas encontrados en los puntos La Toma y Nobol en la época de verano del año 2011

AÑO 2012

En el año 2012 el único género más representativos que mostro mayor presencia en la época invernal es el siguientes; *Polmyxus* (4 800 000 cel.L⁻¹), y en la época de verano presento una alta biomasa celular *Cylindrospermopsis* (1.320.000 cel.L⁻¹) la información se muestran en la Tabla 13 y 14.

Tabla 13. Resultados de los Géneros más representativos que se presentan en la época de invierno del año 2012

RESULTADOS FINALES EN Cel.L ⁻¹ DE LOS GENEROS MAS IMPORTANTES ENCONTRADOS EN LOS PUNTOS LA TOMA Y NOBOL EN LA ESTACIÓN DE INVIERNO DEL AÑO 2012						
SITIO	CIANOPHYTAS			DIATOMEAS		
	<i>Anabaena</i>	<i>Cylindrospermopsis</i>	<i>Oscillatoria</i>	<i>Cyclotella</i>	<i>Melosira</i>	<i>Polmyxus</i>
LA TOMA	80000	140000	20000	30000	900000	4800000
NOBOL	80000	110000	20000	20000	40000	290000

Tabla 14. Resultados de los Géneros más representativos que se presentan en la época FCNM

de verano del año 2012

RESULTADOS FINALES DE LOS GENEROS EN Cel.L ⁻¹ MAS IMPORTANTES ENCONTRADOS EN LOS PUNTOS LA TOMA Y NOBOL EN LA ESTACIÓN DE VERANO DEL AÑO 2012							
SITIO	CIANOPHYTAS			DIATOMEAS			CLOROPHYTAS
	<i>Anabaena</i>	<i>Cylindrospermopsis</i>	<i>Oscillatoria</i>	<i>Cyclotella</i>	<i>Melosira</i>	<i>Polmyxus</i>	<i>Scenedesmus</i>
LA TOMA	10000	1320000	20000	230000	150000	2160000	140000
NOBOL	10000	2130000	10000	190000	170000	60000	370000

Las densidades celulares de los grupos de algas encontradas en la época invernal y de verano de los puntos de estudio que se registran en la Tabla 13 y 14, se muestran en las Figuras 22 y 23.

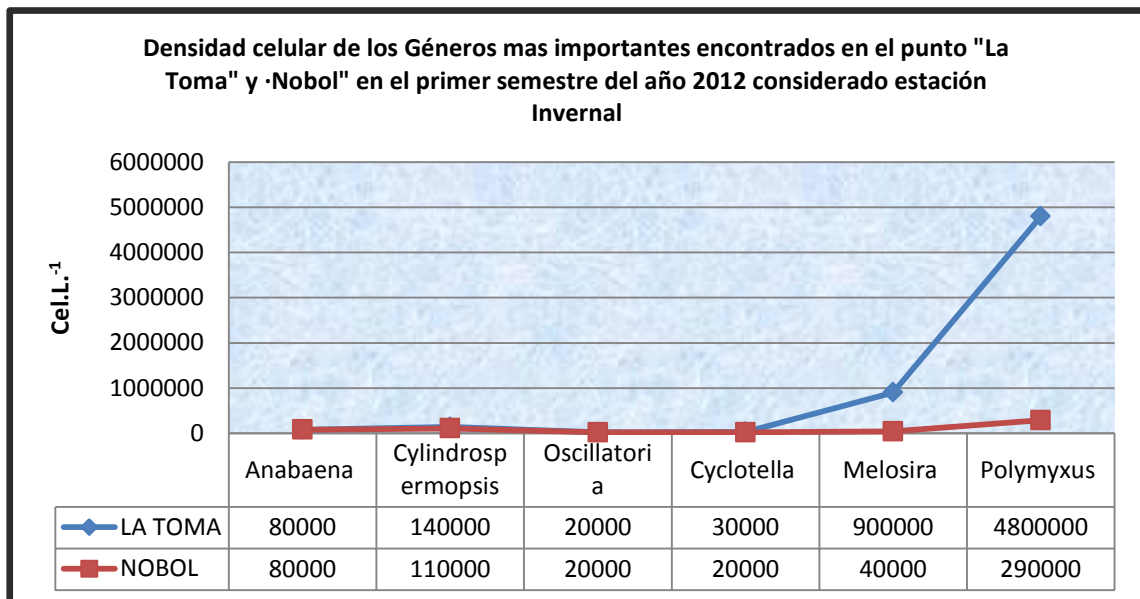


Fig. 22. Densidad celular de los grupos de algas encontradas en los puntos La Toma y Nobol en la época invernal del año 2012

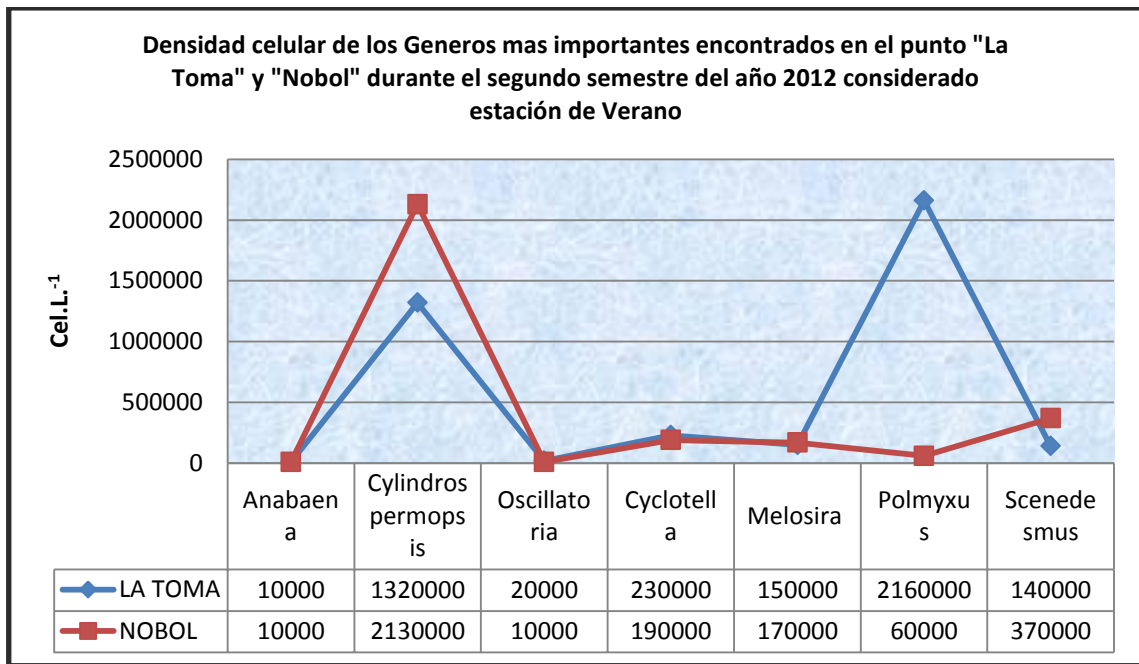


Fig. 23. Densidad celular de los grupos de algas encontrados en los puntos La Toma y Nobol en la época de verano del año 2012

Año 2013

En este año el único género más representativos que mostro mayor presencia en la época invernal es *Cylindrospermopsis* (1 240 000 cel.L⁻¹) en La Toma, y en Nobol con (1 830 000 cel.L⁻¹) mientras que en verano los géneros con más biomasa son *Cyclotella* (2 550 000 cel.L⁻¹) y *Polmyxus* (1.840.000 cel.L⁻¹), toda la información se muestran en la Tabla 15 y 16.

Tabla 15. Resultados de los Géneros más representativos que se presentan en la época de invierno del año 2013

RESULTADOS FINALES EN Cel.L ⁻¹ DE LOS GENEROS MAS IMPORTANTES ENCONTRADOS EN LOS PUNTOS LA TOMA Y NOBOL EN LA ESTACIÓN DE INVIERNO DEL AÑO 2013							
SITIO	CIANOPHYTAS			CLOROPHYTAS	DIATOMEAS		
	Anabaena	Cylindrospermopsis	Oscillatoria	Scenedesmus	Cyclotella	Nitzschia	Polymyxus
LA TOMA	70000	1240000	40000	40000	40000	130000	330000
NOBOL	70000	1830000	30000	50000	90000	180000	590000

Tabla 16. Resultados de los Géneros más representativos que se presentan en la época de FCNM

verano del año 2013

RESULTADOS FINALES EN Cel.L ⁻¹ DE LOS GENEROS MAS IMPORTANTES ENCONTRADOS EN LOS PUNTOS LA TOMA Y NOBOL EN LA ESTACIÓN DE VERANO DEL AÑO 2013						
SITIO	CLOROPHYTAS			DIATOMEAS		
	Cylindropermopsis	Oscillatoria	Scenedesmus	Cyclotella	Nitzschia	Polymyxus
LA TOMA	780000	40000	1270000	2550000	570000	1840000
NOBOL	900000	10000	1060000	1470000	630000	2500000

Las densidades celulares de los grupos de algas encontradas en la época invernal y de verano de los puntos de estudio que se registran en la Tabla 15 y 16, se muestran en las Figuras 24 y 25.

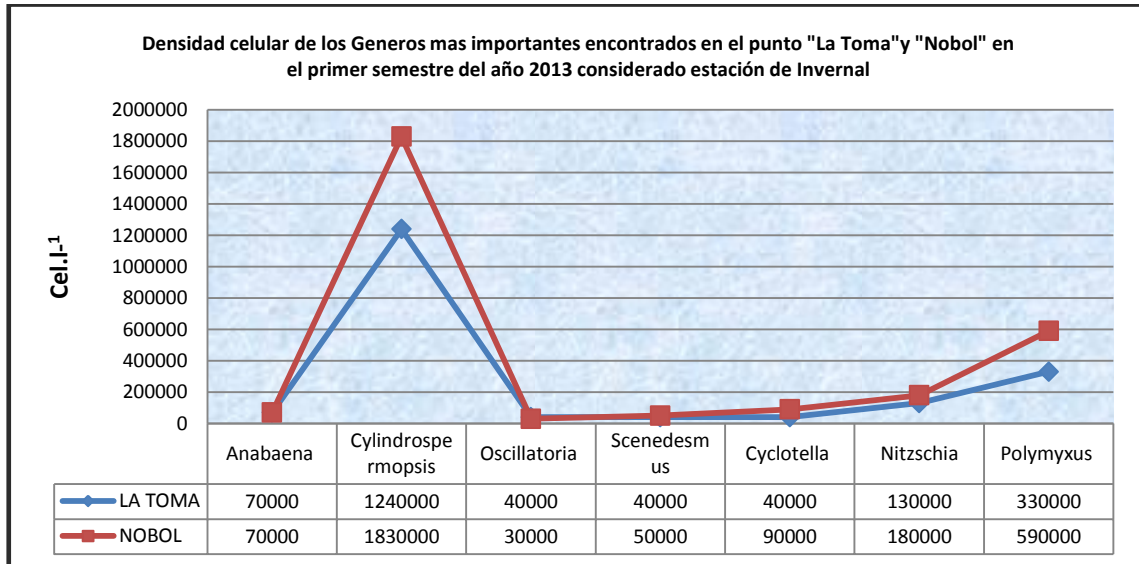


Fig. 24. Densidad celular de los grupos de algas encontradas en los puntos La Toma y Nobol en la época invernal del año 2013

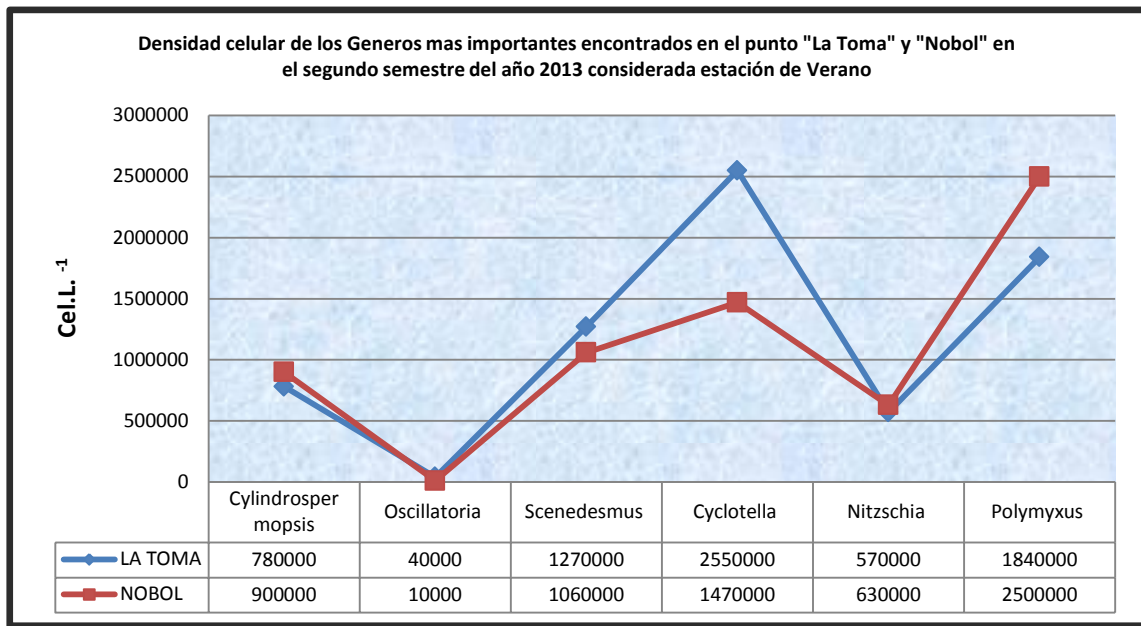


Fig. 25. Densidad celular de los grupos de algas encontrados en los puntos La Toma y Nobol en la época de verano del año 2013

3.6 ESTADÍSTICA DE LOS MESES CON PROBLEMAS DE OLOR Y SABOR A TIERRA EN EL AGUA TRATADA

Luego de presentarse el problema de olor y sabor a tierra en el agua para consumo en septiembre del 2010 INTERAGUA comenzó a enviar muestras mensualmente de los puntos señalados en el proyecto (La Toma y Nobol) al INP para su análisis cualitativo y cuantitativo. Después de obtener estos resultados y relacionarlos con los eventos que se presentaron en cada año se obtuvieron los siguientes datos que indican que el género *Anabaena* de vida libre en densidades celulares de 1 840 000 cel.L⁻¹ ocasionan un deterioro en la calidad del agua como es el olor y sabor a tierra. Estas concentraciones en los años 2010, 2011, 2012 y 2013 se muestran en las Figuras 26, 27, 28 y 29.

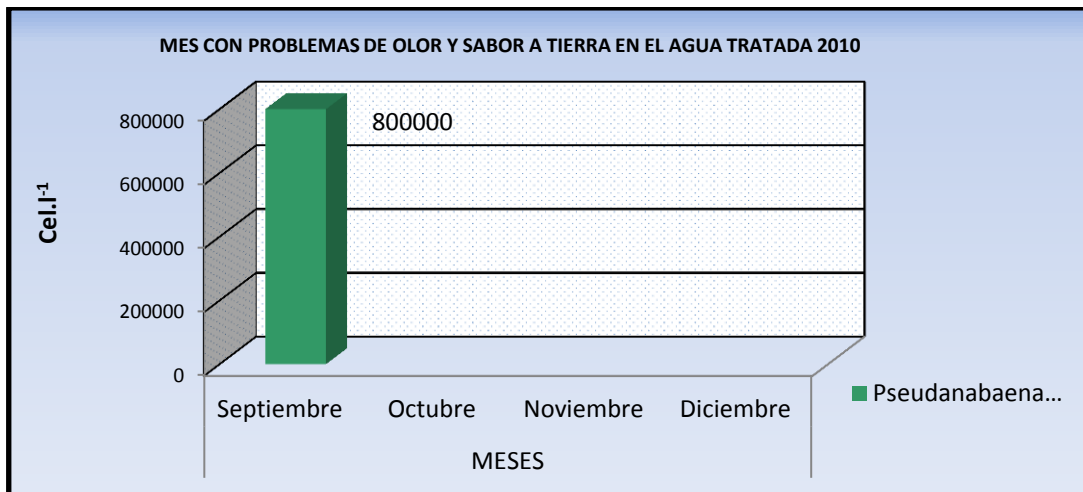


Fig. 26. Densidad celular del género *Pseudoanabaena* encontrado en el mes de septiembre del 2010 que ocasiono olor y sabor a tierra en el agua tratada.

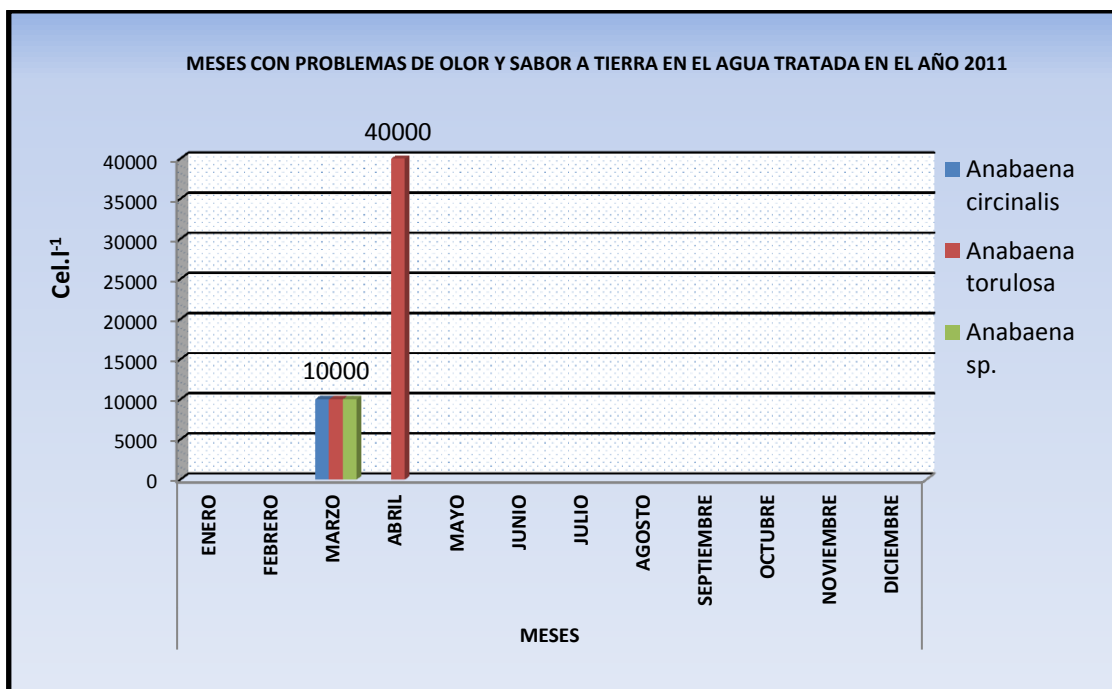


Fig. 27. Densidad celular del género *Anabaena* encontrado en los meses de marzo y abril del 2011 que ocasiono olor y sabor a tierra en el agua tratada

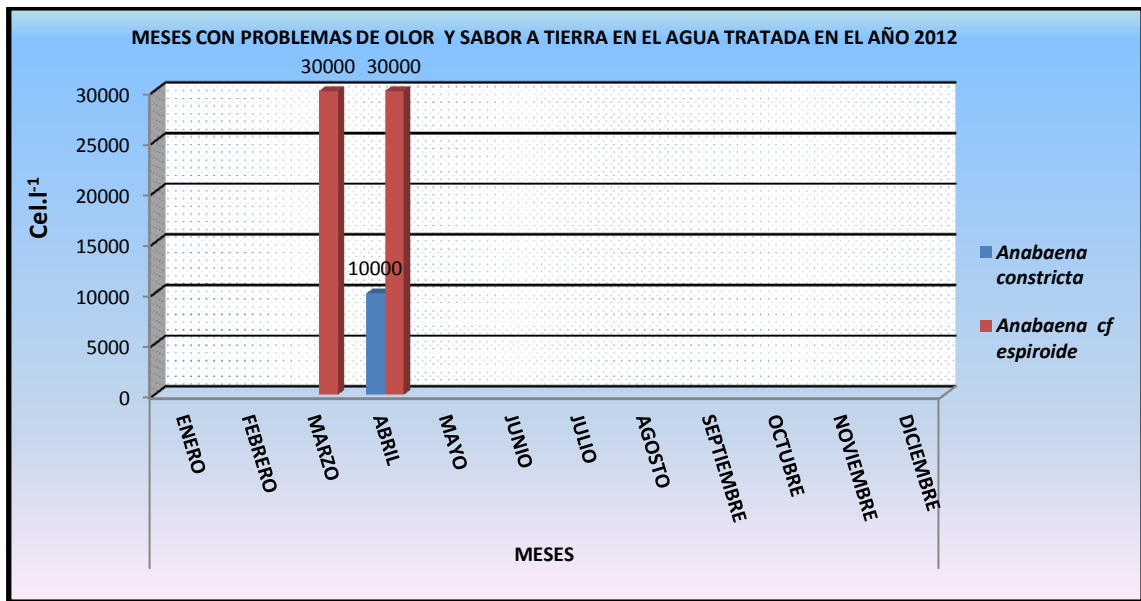


Fig. 28. Densidad celular del género *Anabaena* encontrado en los meses de marzo y abril del 2012 que ocasiono olor y sabor a tierra en el agua tratada.

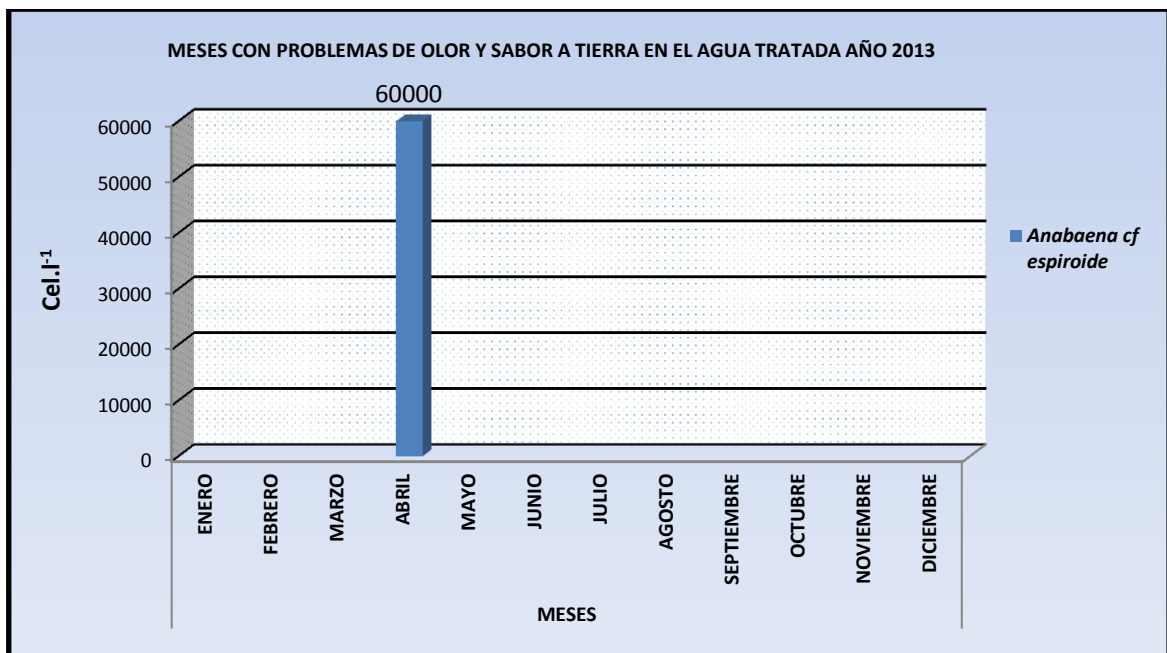


Fig. 29. Densidad celular del género *Anabaena* encontrado en el mes los mese abril del 2013 que ocasiono olor y sabor a tierra en el agua tratada

De igual forma, algunas de las especies mencionadas en este trabajo han sido reclasificadas, como sucede con *Oscillatoria limnetica* que actualmente se denomina *Pseudanabaena limnetica* y *Melosira granulata* como *Aulacoseira granulata*.

Entre los géneros identificados en las muestras analizadas se tiene varias Diatomeas pennadas (simetría bilateral), que se describen a continuación:

Nitzschia longissima.- Es una especie cosmopolita y frecuente en aguas costeras y estuarinas del Ecuador donde ha sido frecuentemente reportada a través de cruceros de investigación y estudios planctónicos (Tapia, 2002; Coello et al., 2007; Herrera et al., 2007; Coello y Cajas 2010). Esta alga tiene una actividad reproductiva intensa en zonas de mezcla con disponibilidad de nutrientes y en el caso de muestras analizadas es la única especie que supera el valor establecido para una proliferación algal que es del orden de 10^6 cel.L⁻¹ (Reguera, 2002).

Nitzschia acicularis.- Se desarrolla preferentemente en aguas mesotrópicas, con bajo contenido húmico. También se ha reportado su crecimiento en aguas contaminadas y puede obturar filtros de plantas de potabilización (Ramírez, 2000; Pinilla, 2002)

Aulacoseira granulata.- Especie filamentosa de hábitat eutrófico epilimnetico, tolera la luz débil, mezcla de aguas y deficiencia de carbono pero es sensible a estratificación y descenso de silicato. Este género está integrado por especies consideradas como algas de superficie y pueden causar obturaciones de filtros o producir olor a geranio, cuando su densidad es alta generan en el agua olor a tierra (Ramírez, 2000; Reynolds et al., 2002; Pinilla, 2002).

Esta especie ha sido reportada en varios ecosistemas acuáticos del Ecuador como son los canales de abastecimiento del Embalse Chongón y a lo largo del río Daule, Babahoyo, Guayas y estuario del río Guayas (Coello y Cajas, 2004)

A nivel internacional ha causado densas floraciones y obturación de filtros de plantas potabilizadoras del río Chubut (Argentina) (Santinelli et al., 2002).

Polymyxus coronalis.- Diatomea asociada a aguas contaminadas y que ha sido reportada dominante en el estuario del río de Guayas, río Daule, Guayas y Babahoyo (Tapia, 2002).

CYANOPHYTAS

Anabaena. En lo referente a este género de cianofitas estas prosperan rápidamente en ambientes donde otras algas no lo hacen como resultado de su capacidad de adaptación a los cambios abióticos. Son en su mayoría especies autótrofas y poseen características que las hacen competitivamente superiores a otras algas entre ellas:

- Capacidad para crecer y reproducirse bajo distintas condiciones de nutrientes (fijación de nitrógeno atmosférico) y luz (adaptación cromática).
- Temperaturas óptimas de desarrollo elevadas.
- Poder regular su posición en la columna de agua por estar dotadas de vesículas de gas.
- Capacidad de desarrollarse en medios con pH elevado.
- Alta tasa de desarrollo en medios ricos en materia orgánica, entre otras.

Pseudoanabaena limnetica. Cianofita filamentosa de 1.2 a 2.5 μ de ancho, que se presenta en aguas dulces y estuarinas asociada a ambientes eutróficos y hábitats turbios que tolera condiciones de luz deficientes (Reynolds et al., 2002 y Komárek y Anagnostidis, 2005). Ha sido reportada como abundante en camaroneras, ríos y estuarios como los de los ríos Guayas, Chone y Portoviejo (Coello 2007; Jiménez, 2007; Coello et al., 2009).

Cylindrospermopsis raciborskii.- Habita principalmente en aguas cálidas, tolera luz y nitrógenos escasos, es una especie altamente competitiva en ambientes eutrofizados y asociada a la producción del alcaloide tóxico cylindrospermopsina que produce el bloqueo de la síntesis de proteínas donde los primeros síntomas clínicos son daño al riñón e hígado que se manifiestan varios días después del contacto y por ello es difícil relacionar causa y efecto (WHO, 2003; Cronberg, 2004).

En nuestro país ha sido reportada como permanente y dominante en los Embalses de la Esperanza y Chongón, en relación al último cuerpo de agua mencionado el alga es dominante durante todo el año con densidades entre 1.9 y 62.2×10^6 cel.l⁻¹ y entre los factores que favorecen su desarrollo se encontró “alta turbidez puesto que la capa fótica es limitada entre 2.0 y 3.5 m de espesor, utilización del fósforo y de sus formas inorgánicas durante época de lluvias y del nitrógeno en la estación seca, capacidad de fijar nitrógeno molecular puesto que casi durante todo el año esta especie presenta heterocistos y finalmente la poca correlación existente con el zooplancton indicativo de una baja actividad de pastoreo, lo cual estaría dirigida hacia diatomeas criptofíceas y clorofitas” (Coello y Cajas, 2004; Coello, 2009).

Estas características permiten que las cianofitas alcancen grandes densidades en medios eutrofizados causando floraciones algales, las cuales en algunos casos pueden generar material espumoso, además varias de sus especies pueden conferir olor y sabor característicos al agua debido a la producción de metabolitos volátiles (β ciclocitral, 2-metilisoborneol y Geosmina, entre los más frecuentes). Ver Tabla 17.

Tabla 17. Metabolitos algales producidos por cianobacterias y sus olores descriptores (González et al., 2001)

METABOLITO ALGA	ESPECIE	OLOR
Beta-ciclocitral	<i>Microcystis aequiaginata</i>	Humo de tabaco
Geosmina	<i>Anabaena circinalis</i>	Tierra-moho
Geosmina	<i>Anabaena shermantzevi</i>	Tierra-moho
Geosmina	<i>Lyngbya aestuarii</i>	Tierra-moho
Geosmina	<i>Oscillatoria tenuis</i>	Tierra-moho
Geosmina	<i>Oscillatoria variabilis</i>	Tierra-moho
Geosmina	<i>Oscillatoria agardhii</i>	Tierra-moho
Geosmina	<i>Oscillatoria cortiana</i>	Tierra-moho
Geosmina	<i>Oscillatoria splendida</i>	Tierra-moho
2-metilisoborneo	<i>Lyngbya crytovaginata</i>	Tierra-moho
2-metilisoborneo	<i>Oscillatoria curviceps</i>	Tierra-moho
2-metilisoborneo	<i>Oscillatoria tenuis</i>	Tierra-moho

Especial atención merecen la capacidad de algunas de las especies de producir toxinas las cuales de acuerdo a su lugar de acción se clasifican en hepatoxinas, neurotoxinas y citotoxinas, que presentan un riesgo para la salud humana y animal (Ver Tabla 18).

Tabla 18. Toxinas de cyanophytas y mecanismos de toxicidad (WHO, 2003)

CIANOTOXINAS	TAXONES QUE PRODUCEN TOXINAS	MECANISMO DE TOXICIDAD
HEPATOXINAS		Bloqueo de proteínas fosfatasas por enlace covalente y produce hemorragia del hígado: puede ocurrir daño acumulativo
Microcistinas en general	<i>Microcystis</i> , <i>Planktothrix</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Nostoc</i>	
Microcistina-LR	<i>Anabaena</i> , <i>Anabaenopsis</i>	
Microcistina-YR	<i>Hapalosiphon</i>	
Microcistina.RR		
Nodularia	<i>Nodularia spumifera</i>	
NEUROTOXINAS		
Anatoxina-a(alcaloide)	<i>Anabaena</i> , <i>Oscillatoria</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Cylindrospermun</i>	Bloqueo de la despolarización post-sináptica
Anatoxina-a(s)(organofosfato único)	Conocida solo para dos especies de <i>Anabaena</i>	Bloqueo de acetilcolinesterasa
Saxitoxinas (alcaloides carbamato)	<i>Aphanizomenon</i> , <i>Anabaena</i> , <i>Lyngbya</i>	Bloqueo de los canales de sodio
CITOTOXINA		
Cylindrospermopsina(alcaloide)	<i>Cylindrospermopsis raciborskii</i>	Bloqueo de la síntesis de proteínas: toxicidad acumulativa sustancial

3.7 COMO LLEVAR UN CONTROL DE ALGAS

Hace pocos años se consideraba que las floraciones de algas nocivas eran causadas por microalgas planctónicas, restringidos exclusivamente a dinoflagelados y cyanophytas, sin embargo episodios ocurridos recientemente han permitido conocer que otros grupos de algas como diatomeas, entre otros, también son capaces de producir ese tipo de eventos.

Para el control de algas en una planta potabilizadora dependerá de su densidad y cuando su concentración supere 200 UPA/mL (Unidades Patrón de área/mL), además se llevará a cabo un programa de control mediante el uso de alguicidas o de otro recurso que pueda eliminarlas. La cantidad de estos microorganismos varía según su especie y medida o tamaño. Se debe tener conocimiento de la calidad del agua para poder determinar la presencia de nutrientes en tales cantidades que permita saber si es un factor determinante en el crecimiento anormal de estas algas (Ramírez, 2000).

Para la aplicación de los alguicidas que se seleccione lo debe hacer el personal capacitado y que a su vez capacite al personal de planta, ya que en algunos casos esta aplicación puede alterar la calidad del agua cruda, y ocasione problemas en el tratamiento. Algunos de los alguicidas conocidos se presentan en la Tabla 19.

Tabla 19. Alguicidas recomendados para el género de algas (Canino, 2011)

ALGUICIDAS RECOMENDADOS SEGÚN EL GÉNERO DE ALGAS		
GENERO	SEMSIBLES	RESISTENTES
<i>Chlorella</i>	Sulfato de cobre, al DAC y a la Rosinamina acetato	Resistentes a los demás alguicidas
<i>Cosmarium</i>	-----	Cloro
<i>Oocystis</i>	A casi todos los alguicidas, incluso al sulfato de cobre y al DAC	-----
<i>Pediastrum</i>	-----	Sulfato de cobre
<i>Peridinium</i>	-----	Sulfato de cobre
<i>Scenedesmus</i>	DAC	En general todos los alguicidas
<i>Tetraedron</i>	-----	Sulfato de cobre
<i>Ulothrix</i>	Muy Sensible al sulfato de cobre	-----
<i>Anabaena</i>	Muy sensibles al sulfato de cobre, al DNQ y al CMU	-----
<i>Gloeotrichia</i>	Muy sensible al DNQ	CMU
<i>Oscillatoria</i>	Sulfato de cobre	cloro
<i>Navicula</i>	Muy sensibles al sulfato de cobre	-----
<i>Fragilaria</i>	Muy sensibles al sulfato de cobre	-----
<i>Dinobryon</i>	Cloro y al sulfato de cobre	-----
<i>Ceratium</i>	Sensibles al sulfato de cobre y al cloro	-----

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES

Con todos los resultados obtenidos de todas las muestras analizadas tanto por el INP y por el Laboratorio de INTERAGUA provenientes del río Daule hay dos grupos de algas dominantes, el grupo de las diatomeas y el grupo de las cianofitas.

En el año 2013 se presentó la más alta densidad celular en relación a los otros años la cual fue de 9 470 000 cel.L⁻¹ y que corresponde a las Diatomeas en el punto Nobol. Esto indica que hay un gran aporte de nutrientes en dicha zona y que se debe a las poblaciones asentadas a las riveras del cauce del río y a los desarrollos agrícolas y ganaderos de las cuencas respectivas.

Dentro de los resultados de densidad celular de cada género de algas se pudo observar que género *Cylindrospermopsis*, que es una alga que produce alteraciones en la calidad del agua, su presencia cubre casi todo el año y va desde el 80 al 100 % y su abundancia va desde 6.61 a 42 % ; su más alta densidad celular fue de 2 960 000 cel.L⁻¹ en la época de verano del año 2011, lo que indica que es una alga endémica del sector y su presencia se debe a que recibe los nutrientes necesarios para poderse desarrollar, pero que no son los causantes directos del problema de olor y sabor que se presentó en el agua en ciertos meses de cada año de estudio.

El alga *Polmyxus coronalis*, también marcó una frecuencia muy alta en todos los meses del año y en el tiempo de estudio esta fue del 60 al 100 % y su abundancia fue de 4.20 a 47 %, su más alta densidad celular fue de 4 780 000 cel.L⁻¹ en la época de verano del 2011, lo que demuestra también que es una especie endémica de la zona de estudio. Esta alga por ser una diatomea tiene la característica de causar problemas de taponamiento de filtros dentro del proceso de tratamiento del agua.

El género *Anabaena* y *Pseudoanabaena*, no se mostraron muy frecuentes en todos los meses del año con una frecuencia que no supera el 20 %; en cuanto a su abundancia esta fue muy pobre yendo desde 0.5 a 8.9 %, pero en estas cantidades bajas de densidad celular pueden ocasionar un problema a una Planta de tratamiento de agua como lo fue en septiembre del 2010 que con una densidad celular de 800 000 cel.L⁻¹ el género *Pseudoanabaena* causó una molestia en la comunidad al percibir en el agua potable el olor y sabor a tierra.

Con estas estadísticas y resultados obtenidos se constata que con el control rutinario al agua cruda que ingresa a la Planta y teniendo identificados los géneros indicadores, como en este caso es el de *Anabaena* de vida libre, se puede tener control de la situación y prevenir problemas como los ocurridos en años anteriores. Esto será tomando las acciones necesarias que se necesiten en el proceso de tratamiento en la Planta.

Los factores climáticos juegan un papel importante en el crecimiento de estos organismos. Cuando se presenta un invierno fuerte estos géneros de cianophytas se presentan en mayor concentración y esto se debe a la escorrentía de tierras fertilizadas y aporte de efluentes no tratados.

En cuanto a las toxinas de las algas aún no se ha establecido el mecanismo que las produce, siendo necesario mencionar que la toxicidad de un organismo depende de las variedades y no de las especies, así como también que esta situación es muy variable en el tiempo y depende también de las condiciones ecológicas y fisiológicas existentes.

CAPITULO V

5. RECOMENDACIONES

1. Continuar con los análisis rutinarios que realiza el Laboratorio de INTERAGUA y en la medida de lo posible con los del INP, para llevar un control de los organismos indicadores de alteraciones en las características organolépticas del agua.
2. Extender los análisis a la represa Daule-Peripa para llevar un registro del Phytoplankton existente y analizar su afectación aguas debajo de la represa en las dos épocas del año.
3. Ampliar a más variables como pH, oxígeno disuelto, turbidez, clorofila, carbono orgánico, fósforo, nitrógeno y otros que ayuden a relacionar el crecimiento de las algas cianofitas, en las muestras de agua cruda a analizar.
4. Establecer más puntos de muestreo desde la zona de bombeo hasta la distribución dentro de la Planta Potabilizadora y su efluente tratado (agua potable) para evaluar la remoción de algas en el proceso de tratamiento.
5. De ser necesario, aparte de los procedimientos que se utilizan actualmente para el control de algas en la Planta, se deberán utilizar alguicidas autorizados por dependencias competentes y su aplicación con personal capacitado.
6. Realizar análisis de la materia orgánica sedimentada que quedara de las algas muertas como parte del tratamiento usado, además de mantener un programa de limpieza de los filtros y sistemas de almacenamiento del agua en la Planta.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Annadotter, H., G. Cronberg, R. Nystrand, And R. Rylander. (2005). Endotoxins from cyanobacteria and gram-negative bacteria as the cause of an acute influenza-like recationes after inhalation of aerosols. *EcoHealth* 2:209-221.
2. Biicudo, C., y M. Menezes (2006). Géneros de algas de aguas continentais do Brazil. Chave para identicacao e descricoes, Rima Artes e Textos. Sao Carlos. Brazil. 489 pp.
3. Canino G. J. (2011). Algas de interés sanitario, abundancia, y diversidad en sistemas de potabilización de agua. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ingeniería Civil. (33-36 pp).
4. Coello, D. y J. Cajas. (2010). Plancton en tres estaciones frente a la costa ecuatoriana durante Febrero-Junio 2010. Informe Tecnico. Instituto Nacional de Pesca. Guayaquil-Ecuador. 9 pp.
5. Coello, S., Vinueza, D., Echeverria, M.F., Cisneros, F., Astudillo, Herrera, J., Cervantes, E., Andrade, G., Perez, J., Soccola, J., Bravo, S., Real, b., Cardenas, M., Triviño, M., y J. Vera (2009). Diagnóstico Ambiental de las cuencas de los ríos Chone y Portoviejo. Informe preparado para el Ministerio del Ambiente. Ecobiotec del Ecuador.
6. Coello, D. (2007). Marea Roja ocasionada por *Scripsiella trochoidea* en el estudio del río Chone (mayo 2007). Instituto Nacional de Pesca. Guayaquil-Ecuador. 7pp. En Prensa.
7. Coello, D., Prado, M., Cajas, J. y L. de Cajas (2007). Variabilidad del Plancton en Estaciones Fijas frente a la costa ecuatoriana(1999-2006). Informe Tecnico. Instituto Nacional de Pesca. Guayaquil-Ecuador. 23 pp.
8. Coello, D., y J. Cajas. 2004. Distribución y abundancia del plancton en el embalse Chongón (marzo 2003-marzo 2004). Boletín Cientifico y Tecnico del Instituto Nacional de Pesca Guayaquil-Ecuador. 23 pp.
9. Cronberg., G. (2004). Photo Guide to Cyanobacteria IOC-Danida Advanced Workshop on HAB. Workshop IV: Cyanobacteria: University of Copenhagen-Sweden. 32 pp.
10. Echenique, R. (2001). Fitoplancton de la laguna Vitel (Buenos Aires, Argentina): Bo. Soc. Argent. Bot. 36 (3-4). La Plata-Argentina, 217-227 pp.

11. García Óscar (2013). INTERAGUA. Modelo de Gestión Operador Privado – Regulador Estatal. 21er. Seminario Internacional Servicios Públicos. Agua Potable y Saneamiento. Disponible en: <http://www.scpm.gob.ec/wp-content/uploads/2013/12/1.7.-Oscar-Garc%C3%ADa-INTERAGUA-Modelo-de-Gesti%C3%B3n-Operador-Privado.pdf>
12. Herrera, M., Peralta, M., Coello, D., Cajas, J., Elías, E., León, J., y T. De la Cuadra (2007). Estimación de la biomasa de los recursos demersales en el Golfo de Guayaquil (junio 2007). Informe Técnico. Instituto Nacional de Pesca. Guayaquil-Ecuador. 27 pp.
13. INEN (2014). NORMA TÉCNICA ECUATORIANA, NTE INEN 1108 Quinta revisión. Disponible en: <http://normaspdf.inen.gob.ec/pdf/nte/1108-5.pdf>
14. Izco, J., Barreño, E., Burgués, M., Costa, M., Devesa, J., Fernández, F., Gallardo, T., Limona X., Salvo, E., Talavera S., Valdés, B. (2004). Botánica 2da. Edición. Editorial McGraw-Hill Interamericana. Aravaca. Madrid.
15. Jiménez, R. 2007. Enfermedades de Tilapia en cultivo. Universidad de Guayaquil. Guayaquil-Ecuador. 108 pp.
16. Kómarek, J. y E. Zapomélova. 2007. Planktic morphospecies of the cyanobacterial genus Anabaena= subg. Dolichos – 1. part: coiled types. Fottea, Olomouv, 7(1):1-31p.
17. Komárek, Jr. K. Anagnostidis. 2005. Cyanoprokaryota. 2. Teil/2nd Part: Oscillatoriales. Subwasserflora von Mitteleuropa. Spektrum. 758 pp.
18. López, C.B., E.B. Jewett., Q. Dortch., B.T. Walton., H.K. Hudnell. (2008). Scientific Assessment of Freshwater Harmful Algal Blooms. Interagency Working Group on Harmful Algal Blooms, Hypoxia, and Human Health of the Joint Subcommittee on Ocean Science and Technology. Washington, DC. 3: 23.
19. Maestu Unturbe Josefina (2015). UNA HISTORIA DE 10 AÑOS: LA DÉCADA DEL AGUA PARA LA VIDA Y LO QUE VIENE DESPUÉS. Oficina de las Naciones Unidas de apoyo a la Década Internacional para la Acción “Agua para la Vida” (2005-2015). Disponible en: <http://www.unwaterbestpractices.org/WaterforLifeESP.pdf>
20. Max L.B., Brad W.T., & Cathy K. (2014). The Didymo story: the role of low dissolved phosphorus in the formation of *Didymosphenia geminata* blooms. Diatom Research, 2014. Vol. 29, Nº 3, 229-236.
21. Montaña Armijos Mariano, 2010. Ecosistema Guayas (Ecuador): Recursos, Medio Ambiente y Sostenibilidad en la perspectiva de Conocimiento Tropical,

- Tesis Doctoral, departamento de Agroquímica y Medio Ambiente, Universidad Miguel Hernández de Elche, España.
22. Cosgrove, W.J., y F.R. Rijsberman (2000). *World Water Vision-Making Water Everybody's Business*, World Water Council, La Haya Holanda.
 23. Pero-Sanz González Daniel (2012). sexta edición del Foro Mundial del Agua 12-17 Marzo 2012.
 24. Pinilla, G. 2002. Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia. Fundación Universidad de Bogota Jorge Tadeo Lozano. Santa Fe de Bogota-Colombia. 67 pp.
 25. Ramírez, J. (2000). *Fitoplancton en Agua Dulce*, Primera edición. Colombia. Medellín, Ed. Universidad de Antioquia.
 26. Reguera, B. (2002). Establecimiento de un Programa de Seguimiento de Microalgas Tóxicas. En *Floraciones Algales Nocivas en el Cono Sur Americano*. Ed. Sar, Ferrario y Reguera. Instituto Español de Oceanografía. Unesco. Vigo-España. 19-54 p.
 27. Reynolds, c., Vera, H., Kruk, C., Naselli-Flores, L., y S. Melo. 2002 *Towards a Functional classification of the freshwater phytoplankton*. *Journal of Plankton Research* Vol 24.
 28. Sant'Anna, C., Azevedo, M., Aguajaro, L., Carvalho, M., Carvalho, L., y R. de Souza. (2006). *Manuel Ilustrado para identificacao contagen de cianobacterias Planctonicas de Aguas Continentais Brasileiras*. Editora intercienca. Río de Janeiro-Brazil. 58 pp.
 29. Santinelli, N., Sastre, V., y J. Esteves (2002). Episodios de Algas nocivas en la Patagonia Argentina. En *Floraciones Algales Nocivas en el Cono Sur Americano*. Ed. Sar, Ferrario y Reguera. Instituto Español de Oceanografía. Unesco. Vigo-España. 197-207 p.
 30. *Standard Methods Edición No.- 22 th año 2012: Apartado 1060 C, Preservación y Almacenamiento de muestras; Tabla 1060: I Resumen de necesidades especiales de almacenamiento y Muestreo (43 – 45 pp).*
 31. Tapia, M.E. 2002. Estudio de las comunidades de Fitoplancton en los ríos Daule, Guayas y Estero Salado. *Acta Oceanográfica del Pacifico*. Vol 11(1): 79-90 p. Instituto Oceanográfico de la Armada. Guayaquil-Ecuador.

32. UNEP (2010). El enverdecimiento del derecho de aguas: la gestión de los recursos hídricos para los seres humanos y el medioambiente, Programa de Naciones Unidas para el Medioambiente, Nairobi, Kenia. Disponible en: http://www.unep.org/delc/Portals/119/UNEP_Greening_water_law_spanish.pdf
33. Wilde, S. B., T. M. Murphy., C. P. Hope., S. K. Habrun., J. Kempton., A. Birrenkott., F. Wiley., W. W. Bowerman., and A. J. Lewitus. (2005). Avian vacuolar myelinopathy linked to exotic aquatic plants and a novel cyanobacterial species. *Environmental Toxicology* 20: 348-353.
34. World Health Organization (WHO) (2003) Guidelines for safe recreational water environments. Vol. 1: Coastal and Fresh Waters. Geneva-Italia. 8 pp.
35. World Water Council (2016). Qué es el Consejo Mundial del Agua?. <http://eng.worldwaterforum7.org/main/>

ANEXO FOTOGRÁFICO

Fuente: Autor



Fotografía 1. Toma de muestras de algas en el punto La TOMA, río Daule 2011



Fotografía 2. Toma de muestras de algas en el punto NOBOL. 2011



Fotografía 3. Toma de muestras de algas en la cámara de admisión



Fotografía 4. Traslado y preservación de muestras



Fotografía 15. Bote de alquiler para la toma de muestras



Fotografía 16. Concentración y preservación de muestras en el Laboratorio del INP



Fotografía 17. Microscopio invertido del Laboratorio de algas, INP



Fotografía 18. Vista panorámica de la estación de Bombeo de la Planta La Toma



Fotografía 19. Vista panorámica del cauce del Río Daule