



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y
Recursos Hidráulicos (ERIS)

DETERMINACIÓN DE PLANCTON EN LA LAGUNA EL PINO, BARBERENA, SANTA ROSA

Inga. Mariela Yulissa Rodríguez García
Asesorado por el MSc. Ing. Zenón Much Santos

Guatemala, junio de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE PLANCTON EN LA LAGUNA
EL PINO, BARBERENA, SANTA ROSA**

ESTUDIO ESPECIAL

PRESENTADO A LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA
Y RECURSOS HIDRÁULICOS POR

MARIELA YULISSA RODRÍGUEZ GARCÍA

ASESORADO POR EL MSC. ING. ZENÓN MUCH SANTOS

COMO REQUISITO PREVIO A OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE

**MAESTRA (*MAGISTER SCIENTIFICAE*) EN CIENCIAS DE
INGENIERÍA SANITARIA**

GUATEMALA, JUNIO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL I	
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**DIRECTOR DE LA ESCUELA REGIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA Y
RECURSOS HIDRÁULICOS**

MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN DE ESTUDIO ESPECIAL

EXAMINADOR	MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis
EXAMINADOR	MSc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos
EXAMINADOR	MSc. Ing. Zenón Much Santos

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

DETERMINACIÓN DE PLANCTON EN LA LAGUNA EL PINO, BARBERENA, SANTA ROSA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), con fecha agosto de 2014.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Mariela Yulissa Rodríguez García', is written over a horizontal line.

Inga. Mariela Yulissa Rodríguez García

e-mail: yuli310687@gmail.com

Carnet 201390193

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



UNIVERSIDAD DE
SAN CARLOS
DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA



FACULTAD DE INGENIERIA
Escuela Regional de Ingeniería
Sanitaria y Recursos Hídricos



Edificio de ERIS,
Instalaciones de Prefabricados, CII
Ciudad Universitaria Zona 12
Ciudad de Guatemala 01012
Guatemala, C. A.

Tel. (502) 24188000,
Ext. 86212 y 86213
(502) 24189138
(502) 24189140

Teléfono (502) 24189124

www.ingenieria-usac.edu.gt

Guatemala, abril 24 de 2015

M. Sc. Ing. Adán Pocasangre
Coordinador de la Maestría en Ingeniería Sanitaria
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos
Hidráulicos "ERIS"
Facultad de Ingeniería, USAC

Habiendo revisado el documento titulado:

**"Determinación de Planctón en la Laguna el Pino,
Barberena, Santa Rosa".**

Elaborado por la Ingeniera Mariela Yulissa Rodríguez
García, como parte de su Estudio Especial, y como
requisito para optar al grado académico de Maestro en
Ingeniería Sanitaria, mediante la presente me permito
informarle mi satisfacción con su contenido y por lo tanto,
le comunico que dicho documento cuenta con mi
aprobación.

Agradeciendo la atención prestada a la presente, me
suscribo de usted,

Atentamente.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS".

M. Sc. Ing. Zenón Muñoz Santos
Asesor del estudio





Guatemala, 11 de junio de 2015

Señores:
Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS-
Facultad de Ingeniería, USAC

Respetuosamente les comunico que he revisado la versión corregida, en mi calidad de Coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria, el trabajo de Estudio Especial titulado:

**“DETERMINACIÓN DE PLANCTON EN LA LAGUNA EL PINO,
BARBERENA, SANTA ROSA”**

Presentado por la estudiante:

Ingeniera Civil Mariela Yulissa Rodriguez Garcia

En tal virtud, manifiesto que la estudiante cumplió en forma satisfactoria los requisitos establecidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS- y la Universidad San Carlos de Guatemala, en la realización de su estudio.

Agradeciendo la atención a la presente, se suscribe de ustedes.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

MSc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos
Coordinador Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.



FIUSAC
Unidad de Lingüística

Guatemala, 15 de junio de 2015

Ingeniero Pedro Saravía
Director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hídricos
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ing. Saravía:

Por este medio extiendo constancia a la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hídricos, de la Facultad de Ingeniería, que se ha realizado satisfactoriamente la revisión y corrección de estilo del trabajo de graduación de Maestría en Ciencias de Ingeniería Sanitaria: **Determinación de placton en la laguna El Pino, Barberena, Santa Rosa** de la estudiante Ingeneria **Mariela Yulissa Rodríguez García** (carné: 2013-90193).

Para los requerimientos que su despacho necesite.

Atentamente,

(f) y sello

Licda. Rosa Amelia González Domínguez
Unidad de Lingüística
Facultad de Ingeniería



Rosa Amelia González Domínguez
LICENCIADA EN LETRAS
Colegiada No. 1204



ERIS - USAC



El director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos –ERIS– después de conocer el dictamen del tribunal examinador integrado por los profesores siguientes: MSc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos, MSc. Pedro Cipriano Saravia Celis y MSc. Ing. Zenón Much Santos, así como el visto bueno del coordinador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Sanitaria, MSc. Ing. Adán Ernesto Pocasangre Collazos y la revisión lingüística efectuada por la Licenciada Rosa Amelia González Domínguez con No colegiado 5284, al trabajo de la estudiante Ingeniera Civil Mariela Yulissa Rodríguez García, titulado:

“DETERMINACIÓN DE PLANCTON EN LA LAGUNA EL PINO, BARBERENA, SANTA ROSA”


En representación de la comisión de admisión y otorgamiento de grado, procede a la autorización del mismo.

Guatemala, 15 de junio de 2015

IMPRIMASE

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”




MSc. Ing. Pedro Cipriano Saravia Celis
DIRECTOR

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por su infinito amor, por ser la luz que guía mi camino, por darme la oportunidad de culminar esta etapa y ser el soporte en los momentos difíciles, sé que este triunfo es para el cielo.
Mi madre	Lidia García, por su inmenso amor y dedicación, por enseñarme que los sueños se alcanzan trabajando día a día.
Mi padre	Benjamín Rodríguez, por ayudarme a ser la persona que hoy en día soy.
Mi hermano	José García, por tu cariño y apoyo incondicional.
Mi abuelo	Julián García (q.e.p.d.), por tu amor papi, un beso al cielo.
Mi abuela	Felisa de León, por tu amor, tus sonrisas y todas tus atenciones.
Mi tía	Marina García, por considerarme como una hija y brindarme tú cariño y apoyo siempre.
Mi familia	En general, por su cariño y apoyo.

La familia

De León García, por abrirme las puertas de su hogar y hacerme sentir que no estuve lejos del mío, por acompañarme en los momentos difíciles y por compartir aventuras y sonrisas.

Mis amigos

Erick Menjívar, Adriana Orozco, José Luis Chávez y Azucena Guas, por hacer de esta experiencia algo inolvidable, mi cariño y admiración para cada uno.

Mi amiga

Patricia Figueroa, por su cariño y apoyo incondicional, por enseñarme que aún en la distancia te pueden acompañar.

Mi madrina

Inga. Nivia Calderón, por su amistad y cariño demostrado en cada etapa de mi vida; es una bendición contar con usted.

AGRADECIMIENTOS A:

- Mi madre** Por el gran esfuerzo realizado, no hay palabras que expresen mi agradecimiento. ¡Te amo mami!
- Ing. Zenón Much** Por su apoyo y disposición durante esta etapa, por compartir sus conocimientos con generosidad y su aporte en la realización de este trabajo.
- Erick Menjívar** Por el apoyo brindado, por cada lección tanto profesional como personal. Gracias compañero fue un verdadero honor compartir esta etapa contigo, atesoro cada experiencia y sabes que en Guatemala siempre te esperamos con cariño.
- Adriana Orozco** Por abrir las puertas de tu casa y tu familia, por la amistad sincera y enseñarme la grandeza de la fe.
- Profesores** Por compartir sus conocimientos y experiencias, que enriquecieron mi formación.
- Dora María Cardoza** Por recibirme siempre con una sonrisa y brindarme un consejo que me permitió ver la vida de forma diferente, todo mi respeto, cariño y aprecio.

AMSA

Al personal de la División de Control Ambiental, por compartir sus conocimientos y la disposición para el desarrollo de mi trabajo, pero sobre todo por brindarme su amistad.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	IX
GLOSARIO.....	XI
RESUMEN.....	XV
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XVII
JUSTIFICACIÓN.....	XIX
HIPÓTESIS.....	XXI
OBJETIVOS.....	XXIII
ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN.....	XXV
LIMITACIONES.....	XXVII
ANTECEDENTES.....	XXIX
INTRODUCCIÓN.....	XXXVII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Plancton.....	1
1.2. Fitoplancton.....	3
1.2.1. Características de fitoplancton.....	5
1.2.1.1. Morfología.....	5
1.2.1.2. Pigmentos.....	5
1.2.1.3. Movilidad.....	7
1.2.1.4. Reproducción.....	7
1.2.2. Clasificación taxonómica de fitoplancton.....	8
1.2.2.1. Cyanobacterias.....	8
1.2.2.2. Chlorophyta.....	10
1.2.2.3. Bacillariophyceae.....	12

	1.2.2.4.	Chrysophyceae.....	13
	1.2.2.5.	Xantophyceae.....	14
	1.2.2.6.	Cryptophyceae	15
	1.2.2.7.	Dinophyceae.....	15
	1.2.2.8.	Euglenophyceae	16
1.3.		Zooplankton	17
	1.3.1.	Protozoos	17
	1.3.2.	Rotíferos.....	19
	1.3.3.	Cladóceros	20
	1.3.4.	Copépodos	23
1.4.		Asociación de comunidades planctónicas con la fertilización de un cuerpo de agua.....	24
1.5.		Fitoplancton en sistemas de tratamiento de agua para consumo humano.....	26
	1.5.1.	Problemas generados por el fitoplancton.....	27
		1.5.1.1. Generación de lama	27
		1.5.1.2. Generación de color, olor y sabor .	27
		1.5.1.3. Obstrucción de filtros y tuberías....	28
		1.5.1.4. Corrosión	30
		1.5.1.5. Dificultad para floculación	30
		1.5.1.6. Toxicidad	30
1.6.		Microbiología en sistemas de tratamiento de aguas residuales.....	31
	1.6.1.	Función de microorganismos.....	31
		1.6.1.1. Bacterias.....	31
		1.6.1.2. Hongos	32
		1.6.1.3. Algas	32
		1.6.1.4. Protozoarios	33
		1.6.1.5. Rotíferos	35

	1.6.1.6.	Crustáceos	36
	1.6.1.7.	Virus.....	36
1.7.		Descripción del área de estudio.....	36
2.		METODOLOGÍA	41
2.1.		Visita preliminar	41
	2.1.1.	Recurso humano.....	41
	2.1.2.	Equipo <i>in situ</i> premuestreo	41
	2.1.3.	Estaciones de premuestreo.....	42
	2.1.4.	Toma de muestras de premuestreo	43
2.2.		Estaciones de muestreo	43
2.3.		Equipo <i>in situ</i> a utilizar	45
2.4.		Equipo de laboratorio.....	45
2.5.		Toma de muestras <i>in situ</i>	46
2.6.		Cantidad de muestras representativas.....	49
2.7.		Métodos.....	50
	2.7.1.	Análisis <i>in situ</i>	50
		2.7.1.1. Temperatura.....	51
		2.7.1.2. Transparencia	51
	2.7.2.	Análisis de laboratorio.....	51
		2.7.2.1. Nutrientes.....	52
		2.7.2.2. Plancton	52
3.		RESULTADOS.....	57
3.1.		Premuestreo	57
3.2.		Muestreos.....	57
	3.2.1.	Fisicoquímico	58
	3.2.2.	Especies de plancton	60
3.3.		Estado trófico según comunidades planctónicas	62

3.4.	Clasificación para fitoplancton de Terrell & Bytnar	65
4.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	69
4.1.	Fisicoquímico	69
4.1.1.	Transparencia	69
4.1.2.	Temperatura.....	71
4.1.3.	Nitratos.....	74
4.1.4.	Fosfatos	76
4.2.	Plancton.....	78
4.2.1.	Variación de plancton	78
4.2.2.	Variación de fitoplancton	84
4.2.3.	Variación de zooplancton	90
4.3.	Estado trófico según comunidades planctónicas	95
4.4.	Clasificación para fitoplancton de Terrell & Bytnar	99
4.5.	Fitoplancton en sistema de agua para consumo humano	100
4.5.1.	Modificación en características físicas.....	100
4.5.2.	Obstrucción de tuberías.....	101
4.5.3.	Obstrucción de filtros	102
4.5.4.	Toxicidad.....	102
4.6.	Comunidades planctónicas procedentes de aguas residuales.....	103
4.6.1.	Fitoplancton.....	103
4.6.2.	Zooplancton.....	106
	CONCLUSIONES	109
	RECOMENDACIONES	111
	BIBLIOGRAFÍA.....	113
	APÉNDICES	119

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Relación de plancton en cadena alimenticia.....	2
2.	Cianofíceas	10
3.	Protozoos.....	18
4.	Rotíferos	20
5.	Daphnia	22
6.	Bosmina.....	22
7.	Diagrama de principales ordenes de copépodos (hembras).....	24
8.	Ubicación geográfica de laguna El Pino	37
9.	Estaciones de premuestreo.....	42
10.	Toma de muestra (premuestrero).....	43
11.	Estaciones de muestreo.....	44
12.	Captación de muestras plancton superficial	47
13.	Captación de muestras a profundidad.....	47
14.	Medición de transparencia	48
15.	Toma de temperatura en muestras	48
16.	Número aproximado de muestras requeridas en la estimación de una concentración media	50
17.	Variación de transparencia durante estudio	70
18.	Variación de temperatura estación 1	71
19.	Variación de temperatura estación 2	72
20.	Variación de temperatura estación 3.....	72
21.	Variación de nitratos estación 1	74
22.	Variación de nitratos estación 2	75

23.	Variación de nitratos estación 3	75
24.	Variación de fosfatos estación 1	76
25.	Variación de fosfatos estación 2	77
26.	Variación de fosfatos estación 3	77
27.	Variación de plancton estación 1 - 0 metros	79
28.	Variación de plancton estación 1 - 1 metro	79
29.	Variación de plancton estación 1 - 3 metros	80
30.	Variación de plancton estación 2 - 0 metros	80
31.	Variación de plancton estación 2 - 1 metro	81
32.	Variación de plancton estación 2 - 3 metros	81
33.	Variación de plancton estación 3 - 0 metros	82
34.	Variación de plancton estación 3 - 1 metro	82
35.	Variación de plancton estación 3 - 3 metros	83
36.	Variación de fitoplancton estación 1 - 0 metros.....	85
37.	Variación de fitoplancton estación 1 - 1 metro	85
38.	Variación de fitoplancton estación 1 - 3 metros.....	86
39.	Variación de fitoplancton estación 2 - 0 metros.....	86
40.	Variación de fitoplancton estación 2 - 1 metro	87
41.	Variación de fitoplancton estación 2 - 3 metros.....	87
42.	Variación de fitoplancton estación 3 - 0 metros.....	88
43.	Variación de fitoplancton estación 3 - 1 metro	88
44.	Variación de fitoplancton estación 3 - 3 metros.....	89
45.	Variación de zooplancton estación 1 - 0 metros.....	90
46.	Variación de zooplancton estación 1 - 1 metro	91
47.	Variación de zooplancton estación 1 - 3 metros.....	91
48.	Variación de zooplancton estación 2 - 0 metros.....	92
49.	Variación de zooplancton estación 2 - 1 metro	92
50.	Variación de zooplancton estación 2 - 3 metros.....	93
51.	Variación de zooplancton estación 3 - 0 metros.....	93

52.	Variación de zooplancton estación 3 - 1 metro	94
53.	Variación de zooplancton estación 3 - 3 metros	94

TABLAS

I.	Clasificación de plancton según tamaño	2
II.	Características de las asociaciones fitoplanctónicas más comunes en relación con el grado de fertilización	25
III.	Criterios de clasificación de fitoplancton.....	26
IV.	Algas sápidas y olorosas.....	27
V.	Algas que obstruyen filtros	29
VI.	Algas tóxicas.....	30
VII.	Bacterias presentes en aguas residuales	31
VIII.	Algas presentes en aguas residuales.....	33
IX.	Algas comunes en lagunas de estabilización	33
X.	Protozoos presentes en tratamiento de aguas residuales	34
XI.	Rotíferos presentes en tratamiento de aguas residuales.....	35
XII.	Reducción en espejo de agua laguna El Pino	38
XIII.	Coordenadas de estaciones de muestreo	45
XIV.	Plancton encontrado en premuestreo.....	57
XV.	Transparencia durante estudio.....	58
XVI.	Temperatura durante estudio	58
XVII.	Nitratos durante estudio	59
XVIII.	Fosfatos durante estudio.....	59
XIX.	Fitoplancton determinado.....	60
XX.	Zooplancton determinado.....	62
XXI.	Estado trófico para el desarrollo de fitoplancton	62
XXII.	Estado trófico para el desarrollo de zooplancton	65
XXIII.	Clasificación para fitoplancton de Terrell & Bytnar	66

XXIV.	Estado trófico demandado por fitoplancton	96
XXV.	Estado trófico demandado por zooplancton	97
XXVI.	Resumen de clasificación para fitoplancton de Terrell & Bytnar.....	99
XXVII.	Algas de la laguna El Pino que pueden modificar características físicas del agua.....	101
XXVIII.	Algas de la laguna El Pino que pueden obstruir tuberías.....	102
XXIX.	Algas tóxicas de la laguna El Pino	103
XXX.	Algas de la laguna El Pino que pueden presentarse en aguas residuales	104
XXXI.	Algas de la laguna El Pino que pueden presentarse en lagunas de estabilización	104
XXXII.	Zooplancton de la laguna El Pino que pueden presentarse en aguas residuales	106

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Cm	Centímetro
DBO	Demanda biológica de oxígeno
°C	Grados Celsius
m	Metro
msnm	Metros sobre el nivel del mar
μm	Micrómetro
mg/l	Miligramos por litro
No/ml	Número de organismo por mililitro
OD	Oxígeno disuelto

GLOSARIO

Alelopatía	Situación inusual en la que un organismo produce compuestos bioquímicos que influyen en el ciclo de vida de otros organismos.
Autotrófica	Capacidad de un organismo para sintetizar las sustancias que son fundamentales en su desarrollo, sin necesitar de otros seres organismos.
Ecosistema	Unión de individuos de varias especies, situados en un ambiente con características definidas realizando una interacción entre sí y con el ambiente propiamente.
Estado trófico	Productividad del ambiente acuático.
Estratificación	Formación de capas, o bien serie de separaciones que dividen un ecosistema.
Estuario	Zona ubicada en la desembocadura de un río hacia el mar, en la cual se intercambia el agua dulce y salada debido a las olas.

Eutrofización	Incremento del crecimiento de algas y otros organismos en la masa de agua, condicionando por el aporte excesivo de nutrientes (fosforo y nitrógeno), situación en la que se generan anoxia por el consumo de oxígeno en el proceso de degradación de la materia orgánica.
Fagotrófico	Organismo que tiene la capacidad de ingerir las partículas alimenticias en estado sólido (organismos con capacidad holozoica).
<i>In situ</i>	Expresión que significa en el lugar o punto establecido.
Limnología	Estudio de los cuerpos de agua dulce, contemplándolos como un ecosistema, evaluando los cambios provocados por la intervención antropogénica, por medio de parámetros físicos, químicos y biológicos.
Litoral	Zona de un cuerpo de agua, cercano a las orillas donde hay una menor profundidad, caracterizada por tener vegetación acua-terrestre con raíces.
Mastigonema	Pequeños pelillos que sirven al flagelo de un organismo, para orientar su movimiento.
OCDE	Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo.

Sistema lacustre	Se refiere a todo lo que se suscita en el entorno de un lago o laguna, tomando en cuenta el cuerpo de agua en la interacción.
Sistema léntico	Sistema de masas de agua con un movimiento de corriente mínimo o casi nulo, hay aportaciones al cuerpo de agua pero las salidas pueden ser superficiales o subterráneas, se consideran como sistemas lénticos los lagos, lagunas y presas.
Trofogénica	Zona de alta absorción de luz y radiación disponible para el proceso de fotosíntesis, con abundante concentración de fitoplancton, puede llegar hasta los límites del hipolimnion, depende de la transparencia del cuerpo de agua, (también llamada zona fótica).
USEPA	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos.

RESUMEN

El presente estudio contiene la información obtenida en la determinación de los grupos taxonómicos de plancton presentes en la laguna El Pino, realizado con la finalidad de establecer el estado trófico del sistema lacustre, donde se desarrolló una evaluación cualitativa y cuantitativa de las especies de plancton; complementando el trabajo con una estimación de valores de transparencia, temperatura y nutrientes (nitratos y fosfatos) que ingresan al cuerpo de agua durante el periodo de evaluación comprendido entre noviembre del 2014 a febrero del 2015.

En la laguna El Pino se determinaron 70 especies planctónicas, en su mayoría pertenecientes al fitoplancton el cual está dominado por clorofitas, el zooplancton por su parte está dominado por copépodos y ciliados. Las especies planctónicas establecieron que el cuerpo de agua está en un estado mesotrófico, basándose en las necesidades ambientales de cada de una de estas.

El análisis de resultados expone la variación tanto de las comunidades planctónicas como los parámetros fisicoquímicos durante el estudio, así como un análisis de las especies que pueden representar algún riesgo al usar el agua con fines de abastecimiento para poblados y algunas especies que pueden estar presentes en aguas residuales.

La laguna El Pino tiene buena calidad de agua y un ingreso moderado de nutrientes según lo indican las especies planctónicas que se desarrollan actualmente, mantienen una diversidad en sus comunidades planctónicas, teniendo en cuenta que el fosfato representa una limitación para el florecimiento de especies que provocan problemas al ecosistema.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Guatemala es un país que cuenta con diversidad de ecosistemas, dentro ellos, los sistemas lénticos como la laguna El Pino, ubicada en municipio de Barberena del departamento de Santa Rosa; representan un suministro de agua para las comunidades establecidas a los alrededores, brindan la oportunidad de realizar diferentes actividades tanto antropogénicas como propias del entorno ecológico, la existencia de este cuerpo de agua mantiene el balance del ecosistema.

Las actividades antropogénicas ocasionan los impactos más drásticos en los sistemas lacustres, debido a que la mayoría de situaciones generan fuentes de contaminación puntuales (descargas de aguas residuales) y no puntuales (arrastre de sedimentos procedentes de la siembra de cultivos, debido a la precipitación), al introducir sustancias ajenas en mayor proporción a la capacidad de soporte del cuerpo de agua, este empezará a reflejar problemas tanto es sus características fisicoquímicas como biológicas, afectando en mayor proporción la interacción de las especies bióticas.

Con el transcurrir del tiempo los cambios en los cuerpos de agua se han hecho evidentes debido a un manejo inadecuado de dichos recursos, la laguna El Pino no ha sido la excepción, se puede observar una notable disminución de su espejo de agua, profundidad y un aumento en la tributación de sustancias que facilitan el crecimiento de organismos planctónicos, de los cuales aún no se tiene datos cualitativos ni cuantitativos, es claro que si la tributación de sustancias es constante y en cantidades considerables la degradación del cuerpo de agua incrementará, cambiando consigo la diversidad de los organismos planctónicos.

La comunidad planctónica sin duda alguna se encuentra presente en los sistemas lénticos, siempre que haya contribución de nutrientes y radiación solar, cualquier cambio que se suscite en el sistema se reflejará en el plancton abriendo un área de estudio planteando lo siguiente: ¿Es posible realizar un estudio limnológico desde el área biológica utilizando el plancton para determinar el estado trófico de la laguna?

Generalmente los estudios limnológicos se enfocan en tres áreas: física, química y biológica; las dos primeras áreas ya han sido abordadas de manera investigativa, por ello el presente estudio pretende complementar con el área biológica e iniciar la recaudación de datos de grupos taxonómicos de los organismos planctónicos que se encuentran actualmente en la laguna El Pino, tomando en cuenta las condiciones bajo a las que está sujeto el cuerpo de agua, generando información que a futuro puede ser utilizada para cotejar otras investigaciones.

JUSTIFICACIÓN

Considerando que no existen estudios previos acerca de la composición de los organismos planctónicos presentes en la laguna El Pino, se destaca que las comunidades bióticas pueden brindar información limnológica acerca del comportamiento de un sistema lacustre y se toma en cuenta que la laguna es un área abierta al público para actividades de recreación, conjuntamente con otras presiones como ser suministro de agua para actividades agrícolas, agropecuarias, consumo humano; un conjunto de situaciones que de mantenerse perennes en el tiempo, sin duda alguna ocasionarán cambios. El estudio de las poblaciones planctónicas puede representar un recurso para evaluar los impactos que se desarrollan a través del tiempo en el cuerpo de agua.

Wetzel R. (1975) indica que “la limnología es el sentido amplio del estudio de las reacciones funcionales y la productividad de las comunidades bióticas de las aguas dulces en relación de los parámetros físicos, químicos y bióticos ambientales”. Usualmente los estudios limnológicos abordan la parte fisicoquímica y no el área enfocada a las comunidades biológicas, a pesar que brinda información sobre la calidad del agua y afectaciones de sustancias dispersas en la misma, especialmente las que se denominan nutrientes (fosforo, nitrógeno).

Considerando la estrecha relación entre los parámetros fisicoquímicos y susceptibilidad a los cambios de los organismos planctónicos, incrementando o disminuyendo su población, el presente estudio determinará los grupos taxonómicos de plancton que se encuentran actualmente en el sistema lacustre, identificando el dominio de determinados grupos por medio de métodos

cuantitativos, esto podrá ser concluyente para brindar una explicación directa del cambio producido por el ingreso de sustancias contaminantes hacia la laguna.

La investigación está dirigida principalmente a las comunidades más sobresalientes del plancton es decir el fitoplancton o algas, organismos que desempeñan un papel muy importante en el ecosistema, una abundante producción puede provocar la extinción de otras especies como el zooplancton y los macrovertebrados (peces), por medio de la creación de periodos de anoxia y la propia degradación del cuerpo de agua, en otro escenario la escasez de fitoplancton reduce el número de depredadores mayores (zooplancton y peces), ambos escenarios son desfavorables provocando un desequilibrio ecológico del ecosistema.

Los organismos planctónicos son de tamaño microscópico, pero la importancia de su estudio rebasa completamente su tamaño, estos pueden describir la asimilación de las sustancias que ingresan a un cuerpo de agua.

HIPÓTESIS

Los grupos taxonómicos de plancton presentes en la laguna El Pino, describen el estado trófico del cuerpo de agua.

OBJETIVOS

General

Determinar los grupos taxonómicos de plancton existente en la laguna El Pino, Barberena, Santa Rosa y por medio de ellos describir el estado trófico actual.

Específicos

1. Realizar una identificación taxonómica del plancton existente en la laguna a través de un estudio microscópico.
2. Realizar recuentos de las células del plancton existente en la laguna a través de un estudio microscópico
3. Determinar los niveles de nutrientes en zonas de interés (nitratos y fosfatos) en la laguna.
4. Describir el estado trófico a través de las comunidades planctónicas existentes en la laguna.
5. Comparación teórica con grupos taxonómicos de fitoplancton habituales de aguas residuales.

ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación pretende establecer la relación de la comunidad planctónica con el estado trófico, así como los cambios que la laguna tiene debido a la exposición constante a una contaminación derivada de diferentes actividades humanas y un manejo inadecuado del recurso, a pesar de contar con legislación para su protección.

El alcance a futuro es documentar los grupos taxonómicos que se encuentren y realizar un inventario, para que en posteriores investigaciones funcionen como parámetro de comparación, encontrando cambios que expliquen lo suscitado con la laguna, por medio del estudio de comunidades planctónicas enfocadas al análisis de estado trófico y calidad de agua.

LIMITACIONES

La limitación más considerable es el corto tiempo de evaluación del estudio, debido a que comprende cuatro meses, que inicia en noviembre del 2014 y finaliza en febrero 2015, por lo que no se alcanza a realizar un análisis del comportamiento de las comunidades plantónicas durante época de invierno, donde se pueden suscitar algunas variantes debido a las condiciones ambientales.

ANTECEDENTES

La laguna El Pino está ubicada a 50 km. de la ciudad de Guatemala, el área de este ecosistema es considerado como un centro de recreación, estimula la práctica de actividades de interacción con la naturaleza, con el propósito de generar bienestar y confort a aquellos que lo visitan, está catalogada como un área protegida por el Conap y fue declarada como parque nacional desde el 26 de mayo de 1955, en la actualidad la administración se realiza de manera conjunta por: Inab, Acogua y el Comité de Conservación y Manejo del Parque.

Siendo el deterioro ecológico un tema a nivel mundial, el Gobierno de la República de Guatemala resolvió legislar la preservación de los recursos naturales como un logro de desarrollo social y económico mediante el cumplimiento de leyes, de las cuales aplican las siguientes al parque nacional laguna El Pino : Ley de Mejoramiento de Medio Ambiente, Decreto del Congreso de la República de Guatemala 68-86, publicado en diciembre de 1986; tiene por objeto la preservación y mejoramiento del medio ambiente, manteniendo el equilibrio en los ecosistemas actuales.

Ley de Áreas Protegidas, Decreto 4-89 publicado en febrero de 1989, se encarga de supervisar el manejo adecuado de áreas esencialmente intocables por la actividad humana que pueda representar un riesgo al ecosistema, pero pueden ofrecer recreación de forma controlada, las restricciones anteriores son debido a que la laguna pertenece a la categoría tipo 1 (artículo 8) de la mencionada ley; Ley de Pesca y Acuicultura, Decreto 80-2002 publicado en diciembre 2002, encargada de velar por la regularización de actividades en torno

a la pesca y acuicultura, enfatizando la preservación de las especies y el respeto por las épocas reproductivas de las especies existentes en el medio acuático.

Los primeros estudios que se realizaron en sistemas lacustres en Guatemala se efectuaron a principios de siglo pasado a cargo de investigadores de universidades extranjeras, para posteriormente despertar el interés de investigadores nacionales.

Walton Clark (1908) publica su estudio *The holophytic plankton of lakes Atitlan and Amatitlan, Guatemala*, describiendo las características de los grupos taxonómicos encontrados en los lagos estudiados.

Josephine E. Tilden (1908) publica la investigación *Notes a collection of algae from Guatemala*, describiendo los tipos de algas encontradas en los lagos de Amatitlán y Atitlán

C. Juday (1910) realiza el estudio *Limnological studies on some lakes in Central América*, trabajo que incluye al lago Ilopango y Coatepeque de la República de El Salvador y los lagos de Amatitlán y Atitlán que pertenecen a la República de Guatemala, el estudio limnológico abarca características fisicoquímicas y biológicas, específicamente la composición de la red de plancton de los sistemas lacustres.

R. Peckham & C. Dineen (1951) realizan la investigación *Summer plankton of lake Amatitlan, Guatemala*, trabajo que expone los resultados sobre el plancton durante 8 semanas en el lago de Amatitlán, estableciendo mediciones cualitativas y cuantitativas de los grupos taxonómicos encontrados.

C.M. Weiss (1971) realizó la investigación *Water quality investigations Guatemala*, un trabajo de la Universidad de Carolina del Norte EE.UU. con la colaboración de La Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

La Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) de la Universidad de San Carlos de Guatemala (1972) publica *Programas de investigación de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria* a cargo de Dra. Alba Tabarini de Abreu & L.E. García, el cual muestra los resultados de las investigaciones realizadas conjuntamente con la Universidad de Carolina del Norte EE.UU.

Alba Tabarini de Abreu & colaboradores (1975) presentan el informe preliminar *Eutrofización del lago de Amatitlán* de los programas de investigación de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) en el seminario de AIDIS realizado en San Salvador, exponiendo los problemas de contaminación debido a la presencia de nutrientes en el lago.

En el Congreso XIII Centroamericano de Ingeniería Sanitaria (1981) se presenta el informe final *Eutrofización del lago de Amatitlán* a cargo de Dra. Alba Tabarini de Abreu, donde se exponen los resultados del trabajo enfocado a la contribución de nitrógeno y fósforo en este cuerpo de agua.

Manuel Bastarachea (1988) realiza el estudio *Caracterización limnológica preliminar de 32 lagunas de Guatemala*, enfocándose a parámetros fisicoquímicos, realizando un solo muestreo en todos los sistemas lénticos, las lagunas se encuentran ubicadas en diferentes puntos del país, dentro del estudio efectuado se encuentra la laguna El Pino.

Fundación Defensores de la Naturaleza y Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Concyt) (1999) realiza el estudio *El impacto de la cuenca del río Polochic sobre la integridad biológica del lago de Izabal*, trabajo a cargo de un equipo de expertos en el cual se determinó parámetros fisicoquímicos, hidrológicos y biológicos.

M. Brenner, M. Rosenmeier, D. Hodell, J. Curtis, F. Anselmetti & D. Ariztegui (2002) realizan la investigación *Limnología y paleolimnología de Petén, Guatemala*, trabajo desarrollado por un equipo de investigadores extranjeros apoyados por la Universidad del Valle de Guatemala, dentro de los resultados obtenidos se muestran parámetros fisicoquímicos y datos de especies bióticas de varios cuerpos de agua, en el periodo comprendido por el estudio y resultados de los análisis de paleolimnología.

Margaret Dix (2003 y 2009) realiza estudios ecológicos en el lago de Atitlán con determinación de parámetros fisicoquímicos y biológicos (plancton).

La tesis de posgrado *Estudio limnológico del lago de Guija, determinación de su estado de eutrofización* de Lic. Luis López, Maestría en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente, Usac, octubre 2008. Trabajo en el que se muestra un análisis de parámetros fisicoquímicos y biológicos del lago para el estudio limnológico.

El estudio elaborado por Ing. Dennis Argueta en mayo del 2011 titulado *Caracterización fisicoquímica de la laguna de Ayarza ubicada entre los municipios de Casillas y San Rafael las Flores de departamento de Santa Rosa, de la República de Guatemala* para optar al título en maestro en Ciencias en Ingeniería Sanitaria, estudio que realiza una descripción de la variación de los

parámetros analizados durante el tiempo de estudio, determinar el estado trófico según OCDE e indicar los usos potenciales del agua de la laguna.

El estudio de Inga. Andrea Rodas en noviembre del 2012 titulado *Evaluación del estado trófico del lago de Ayarza utilizando el modelo de simulación WASP* para optar a título de maestra en Ciencias en Ingeniería Sanitaria, trabajo en el cual se determinan parámetros fisicoquímicos, para ser utilizados como información básica del programa para establecer el estado trófico del cuerpo de agua, se usan los índices de Carlson, OCDE y Vollenweider.

Dentro de los estudios realizados en la laguna El Pino se encuentran los efectuados por estudiantes de las diferentes facultades de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

La tesis de grado *Caracterización ecológica de la cuenca laguna El Pino* de Roger Valenzuela, Ciencias Agrícolas, Facultad de Agronomía, Usac, noviembre 1982, presenta resultados de las características climáticas, fisicoquímicas del agua del sistema léntico, así como la composición de la vegetación terrestre, arbórea, arbustiva y limítrofe (acua-terrestre) de la cuenca.

La tesis de grado *Estudio preliminar de la eutrofización y su influencia en la sucesión ecológica acuática de la laguna El Pino, Barberena, Santa Rosa* de César Rivera, Ciencias Agrícolas, Facultad de Agronomía, Usac, abril de 1984 enfocó las etapas que forman la sucesión ecológica: laguna, pantano y pradera, exponiendo resultados cualitativos y cuantitativos de la composición vegetal de dichas etapas, caracterización del área litoral de la laguna y parámetros fisicoquímicos del agua que se encuentra en la laguna.

Dentro de los aspectos más relevantes se presentan los cambios debido a la acumulación de sedimentos en el fondo de la laguna y el aprovechamiento de los nutrientes por organismos planctónicos y la vegetación limítrofe. El estudio antes mencionado señala una reducción en su espejo de agua, para el año 1984 se consideraba una disminución de 14,25 hectáreas de su total, principalmente en el área sur y noreste, parte de la población contribuyó a la situación con dos propósitos, el primero reducir la presencia de vectores (zancudos) que producían malaria y el segundo destinar a otros usos el área que se supondría se secaría.

Se publica la tesis de grado *Propuesta de manejo de las áreas críticas de la cuenca laguna del Pino, Barberena, Santa Rosa* de Marco Antonio Hidalgo, Ciencias Agrícolas, Facultad de Agronomía, Usac, noviembre 1992. Estudio que realiza una clasificación de diferentes usos que se brindaban en la cuenca, porcentaje de área que ocupaba, así como determinar los elementos del paisaje y aporte con respecto a la cuenca, reducir la vulnerabilidad por medio de la identificación de áreas críticas y manejo adecuado las mismas.

La tesis de grado *Análisis descriptivo de los parámetros físico y químicos de: laguna El Pino durante los meses de julio, agosto, septiembre y octubre de 1997* de Jorge Calderón, Marco Pinto, técnico universitario de Acuicultura, Usac, julio de 1997, expone un estudio de las variaciones que tienen los parámetros durante el periodo de observación y la incidencia en el proceso de enriquecimiento por nutrientes, también plantea cómo la reducción de área tiene un efecto negativo para la laguna, tendiendo a la desaparición con el paso del tiempo.

Se publica la tesis de grado *Propuesta de rescate ecológico, ampliación y remodelación parque nacional recreativo, laguna El Pino, Barberena, Santa Rosa* de Erick Quijivix, Facultad de Arquitectura, Usac, noviembre 2002. Este tiene como objetivo el generar un proyecto que contemple unas instalaciones que puedan optimizar la interacción con el ecosistema y realizar un monitoreo constante, adaptó el diseño a un concepto totalmente ecológico, tomando en cuenta la realización de actividades de una mayor duración de tiempo.

El artículo científico *Estudio limnológico calidad del agua y plancton laguna El Pino* de Carlos Galindo, María Colmenares, Kelder Ortiz, Thylma Chamorro y Gerson Urtecho, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), Usac, noviembre 2013.

Este trabajo realiza una descripción de las cualidades físicas, químicas y biológicas de la laguna, la evaluación fue realizada en 6 puntos del cuerpo de agua, identificando ocho especies de plancton, por medio de los resultados fisicoquímicos los profesionales concluyen en que este cuerpo de agua se encuentra en un estado eutrófico.

El estudio más reciente, previo a esta investigación es *Caracterización fisicoquímica del agua de la laguna El Pino, ubicada entre los municipios de Barberena y Santa Cruz Naranjo del departamento de Santa Rosa, de la República de Guatemala* elaborado por Ing. José Duarte, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, noviembre 2014. Dicha investigación expone la caracterización fisicoquímica a diferentes profundidades de la laguna, estudiando la variación de sus parámetros y cómo inciden en el proceso de eutrofización, ubicando el cuerpo de agua en una categoría según OCDE basándose en su enriquecimiento natural o artificial.

INTRODUCCIÓN

La laguna El Pino está ubicada en el municipio de Barberena, departamento de Santa Rosa, el 26 de mayo de 1985 fue declarada como parque nacional por el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (Conap), constituida por una extensión de 73 hectáreas, el 20 % pertenece al Gobierno y el 80 % restante es de carácter privado. Dentro de su extensión cuenta con la infraestructura que promueve las actividades recreativas dentro y fuera de la laguna. Su actual administración está a cargo del Inab y el gobierno local.

Las lagunas son masas de agua que representan una parte importante como recurso hídrico del país. laguna El Pino es la encargada de resolver las necesidades de las poblaciones circunvecinas, pero de la misma forma la intervención antropogénica incide directamente en las condiciones del ecosistema lacustre, modificando sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

Dentro de las características bióticas más particulares de un cuerpo de agua, se encuentran el plancton, formado en su parte vegetal por organismos acuáticos que viven dispersos en el agua y realizan sus actividades de fotosíntesis aprovechando las condiciones de la masa de agua, la parte complementaria del plancton vegetal (fitoplancton) es el zooplancton integrado por los rotíferos, protozoos, microcrustáceos, poríferos, gusanos diminutos y ácaros.

La formación del fitoplancton se realiza por medio de factores importantes como la energía solar y la aportación de nutrientes, a medida que estos incrementan la cantidad de organismos también crecerá, haciéndose evidente en época de verano donde la zona fótica aumenta y no existe dilución de nutrientes, en época de invierno se puede percibir las especies predominantes en el ecosistema.

Las determinación de los grupos taxonómicos se considera como un elemento significativo, que permite describir el estado trófico de la masa de agua, debido a la degradación a la cual está sujeta, las especies se van adaptando a las condiciones que se presentan, cuando ya no es posible la adaptación viene la sustitución por una especie con la capacidad de aprovechar los factores actuales, debido a esto hay especies que únicamente se desarrollan en determinado estado trófico.

El presente estudio limnológico está enfocado a los aspectos biológicos de un cuerpo de agua, en la investigación se realizó la determinación de grupos taxonómicos de organismos planctónicos que están en la laguna El Pino, tomando en cuenta aspectos de importancia en el comportamiento de las poblaciones planctónicas como la contribución de nutrientes (nitratos y fosfatos) que ingresan al cuerpo de agua, transparencia, temperatura. El estudio realiza una observación de dominio de las poblaciones planctónicas por medio de un análisis cuantitativo de las células de cada género encontrado en el sistema lacustre.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Plancton

Comunidad de organismos acuáticos de minúsculo tamaño (< 3 cm), con restricciones de locomoción, es decir, se dejan llevar por la corriente, dentro de sus peculiaridades se puede mencionar, que se encuentran situados de una columna de agua, siendo más abundantes en la zona trofogenica. El termino plancton se deriva del vocablo griego *plagktós* que significa errante, lo cual fue contrastado para realizar una descripción de estos organismos que provienen de las corrientes marinas y dulceacuícolas, según V. Hensen (1887).

El plancton ha sido utilizado como indicativo de calidad debido a que responde rápidamente a cambios en el medio ambiente, la existencia de las comunidades planctónicas se ve condicionada directamente con las propiedades que presenta cada entorno, siendo diferente en cada situación. El plancton está integrado su parte más diminuta por las bacterias (bacterioplancton), la parte vegetal es una de las más estudiadas (algas o fitoplancton) y complementa el plancton animal o denominado zooplancton, integrado por organismos de mayor tamaño y depredadores del plancton vegetal. El plancton se puede catalogar según el tamaño de sus organismos:

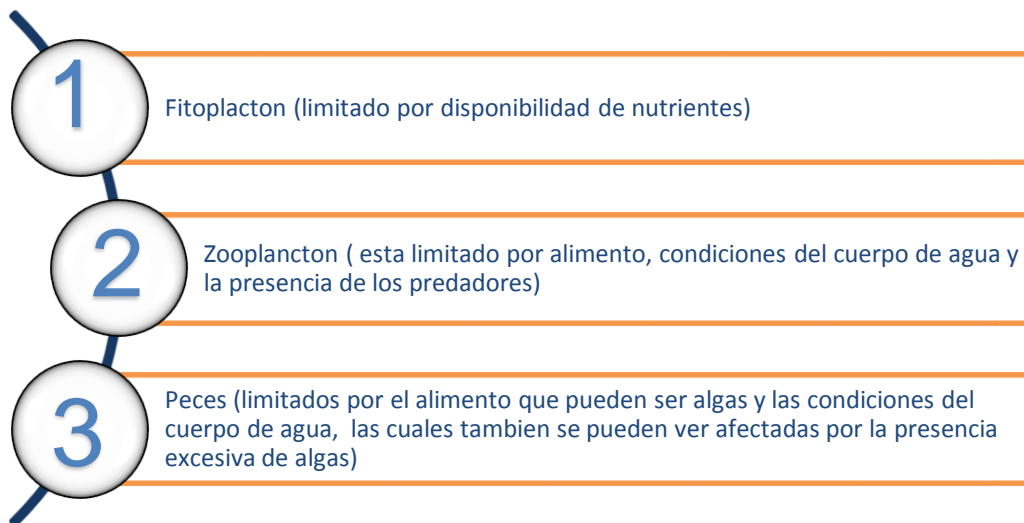
Tabla I. **Clasificación de plancton según tamaño**

Tamaño	Límite	Tamaño	Límite
Macro-plancton	(>200 μm)	Pico-plancton	(2.0-0.20 μm)
Micro-plancton	(200-20 μm)	Femto-plancton	(<0.20 μm)
Nano-plancton	(20-2.0 μm)		

Fuente: AROCENA, R; CONDE, D. *Métodos en ecología de aguas continentales con ejemplos en limnología en Uruguay*. p. 107.

El plancton desempeña un papel muy importante en la cadena alimenticia en un ecosistema, su presencia afecta directamente los otros niveles del proceso, a pesar que cada grupo compite por alimentos distintos, la existencia de unos con otros es dependiente, teniendo factores en común como la variación de calidad de entorno debido a fuentes de contaminación.

Figura 1. **Relación de plancton en cadena alimenticia**



Fuente: elaboración propia.

1.2. Fitoplancton

El fitoplancton es una comunidad de microorganismos representado como el material vegetal de la zona fótica en los cuerpos de agua, en su mayoría fotosintéticos (microalgas, cianobacterias, flagelados, heterótrofos y otros grupos sin clorofila), estos microorganismos viven suspendidos en la columna de agua.

El fitoplancton en su mayoría está formado por algas, estas se describen como plantas primitivas, microscópicas, unicelulares y en determinados casos forman colonias, no tienen raíces, tallos, ni hojas.

Las algas son denominadas autótrofas, debido a que poseen la capacidad de alimentarse por sí mismas, sintetizando el anhídrido carbónico y el agua, formando almidón; las células verdes son capaces de convertir la energía radiante (luz solar) en energía química gracias a un pigmento que se encuentra en su parte interna llamado clorofila, el cual es el responsable del proceso de fotosíntesis.

“La fotosíntesis se suscita en los periodos de exposición solar, tendiendo a un mayor consumo de oxígeno, por el contrario en horas diurnas hay liberación de oxígeno por parte de las algas dejando a disposición de otras especies (peces, animales pequeños) el consumo del oxígeno liberado, debido a este tipo de acciones las algas se convierten en un eslabón en la actividades metabólicas”¹

¹ AGUILERA, R. *Determinación de producción primaria en el lago de Amatitlán*. p. 15.

El fitoplancton para su composición y abundancia necesita de varios factores:

- Condiciones físicas e hidrológicas.²
 - Luz solar (proceso de fotosíntesis)
 - Temperatura
 - Turbulencia (estabilidad del agua)
- Composición química del agua
 - Nutrientes
 - Materia orgánica
 - Mineralización (compuestos de proporcionalidad constante)
 - pH
- Factores biológicos
 - Depredadores (peces y zooplancton)
 - Relaciones entre especies

De los factores previamente mencionados los más relevantes en el desarrollo de las comunidades fitoplanctónicas son la presencia de luz solar y los nutrientes, ante un aporte constante de nutrientes, la producción algal incrementa reduciendo la zona fótica del cuerpo de agua, un aumento desmedido de las poblaciones algales trae consigo desventajas al cuerpo de agua, debido a que son organismos con ciclos de vida muy cortos, llegando a su final muy rápidamente, quedando en el cuerpo de agua como materia orgánica disponible para las bacterias, provocando una aceleración en el deterioro del cuerpo de agua.

² Confederación Hidrográfica del Ebro. *Protocolo de muestreo y análisis para fitoplancton*. p. 9.

1.2.1. Características de fitoplancton

Dentro los rasgos distintivos de las comunidades del plancton vegetal se encuentran: la forma de sus células, los pigmentos, la manera que utilizan para su reproducción, el medio de desplazamiento en la zona fótica.

1.2.1.1. Morfología

La mayoría de los organismo son unicelulares y la forma de sus células son variadas, pueden ser esféricas, ovalada, triangular, bacilar, puntiaguda, vástago. Las agrupaciones fitoplanctónicas no siguen un patrón, pueden ser en grupos filamentos simples o conglomerados con cordones individuales, grupos membranosos, ramificados o sin ramificar, tubos divididos o no por pared celular.

Las células del fitoplancton pueden ser procariotas o eucariotas, en su aspecto y forma de agruparse se asemejan a las bacterias. La mayor parte de especies tienen una pared celular fina y rígida; las diatomeas tienen una característica muy especial en su pared celular tienen impregnada sílice.

En la mayoría de especies de algas tienen un núcleo discreto y otras inclusiones como granos de almidón, gotas de aceite y vacuolas. La clorofila y otros pigmentos se encuentran en organelos rodeados de una membrana llamada cloroplasto.

1.2.1.2. Pigmentos

En las algas se conocen tres pigmentos fotosintéticos, por lo regular se encuentran solo dos pigmentos en los organismos, en diferente proporción.

- Clorofila

La clorofila es el pigmento más conocido y estudiado en las comunidades fitoplanctónicas, hay cinco divisiones:

- Clorofila “a”, presente en todos los organismos fotosintéticos.
- Clorofila “b” presente en *Euglenophycophyta* y *chlorophycophyta* y otros.
- Clorofila “c” presente en *Bacillariophyphyta*, *chrysophycophyta*, *pyrrophyphyta*, *cryptophycophyta* y *phaeophycophyta*.
- Clorofila “d” presente en *Rhodophycophyta*.
- Clorofila “e” es difícil de encontrar y generalmente solo está presente en dos géneros de *Xanthophycophyta* llamados *Tribonera* y *Vaucheria*.

- Carotenoides

- Carotenos: son hidrocarburos lineales no saturados
- Xantófilas: derivados no oxigenados de los carotenos.

- Biloproteínas (ficobilinas)

Es un pigmento soluble en agua a diferencia de la clorofila y carotenoides que son solubles en lípidos. Este tipo de pigmento solo se encuentra en tres tipos de algas, por lo que no se puede considerar como un distintivo para catalogar taxativamente, además que la proporción suele variar con respecto al medio en el que se encuentra en el organismo.

1.2.1.3. Movilidad

El sistema de movilidad de las algas no siempre es el mismo, algunas se mueven a través de las corrientes debido a que carecen de medios de locomoción, otras tienen cualidades para adherirse al sustrato de agua en el que viven hasta que seden y son arrastradas a nuevos espacios, por último se tienen las algas que son capaces de trasladarse por sí mismas, debido a que cuentan con flagelos o mechones, colocados en la porción anterior o posterior de la célula. Los flagelos pueden ser de tres tipos: látigo (cilíndrico y liso), relumbrante (cilíndrico y con apéndices tipo cabello), listón o cinta.

1.2.1.4. Reproducción

Las algas se pueden reproducir de forma sexual o asexual, algunas especies solo realizan un tipo de reproducción, otras especies practican los dos tipos de reproducción.

“El proceso asexual incluye una división celular puramente vegetativo como lo hacen las bacterias. Una colonia nueva de algas puede iniciar de un fragmento de un tipo multicelular viejo del cual se ha desprendido”.³

La reproducción sexual se puede dar por:

- Isogamia: unión de gametos idénticos que se unen para formar un cigoto
- Heterogamia: unión de gameto macho y hembra (difieren en tamaño).
- Oogamia: unión de huevo (femenino) y gameto (masculino).

³ PELZCAR, M; REID, R; CHAN, E. *Microbiología*. p 294.

1.2.2. Clasificación taxonómica de fitoplancton

Clasificación taxonómica abarca los grupos más frecuentes que conforman el fitoplancton en un cuerpo de agua, estableciendo la jerarquía por clase y especie; describiendo las características más relevantes de cada grupo.

1.2.2.1. Cyanobacterias

Este tipo de algas son conocidas con cianofíceas o verde-azules, con respecto a su tamaño estarían catalogadas como bacterias; propias de medios alcalinos, pero pueden presentarse en medios de pH ácidos, se pueden apreciar en medios salinos pero de forma esporádica, debido a que el plancton marino tiene más restricciones.

“Aunque son denominadas verde-azules, también pueden ser incoloras o de otros colores como: grises, verdes, olivas, naranjas, amarillas, moradas, cafés, violetas o rojas”.⁴

Su reproducción es por división celular simple, estas se presentan en colonias en forma aplanadas, esféricas o filamentos siendo predominante esta última; la fotosíntesis se realiza por medio de clorofila, carotenoides y biloproteínas (ficocianina y ficoeritrina).

Algunos de los géneros de cianofíceas cuentan con características muy especiales para desarrollarse en medios ambientalmente poco favorables y cambiantes, poseen células (heterocistos) con capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico y otras células de mayor tamaño que benefician la resistencia al medio.

⁴ PELZCAR, M; REID, R; CHAN, E. *Microbiología*. p. 296.

Cuando el medio regula las condiciones, la existencia de las cianofíceas se ve comprometido, quedando fácilmente excluidas debido a la competitividad con otros organismos.

El crecimiento acelerado de algunas especies puede suceder en periodos relativamente cortos de tiempo, dando paso a un fenómeno llamado floración (*bloom*), este suceso es factible solo cuando las condiciones ambientales son favorables, generalmente en verano y principios de otoño, tomando en cuenta que el cuerpo de agua debe contar con un aporte constante de nutrientes para las especies.

Este género de algas cuenta con vacuolas de gas en sus células, acumulándose en la superficie de los cuerpos de agua, haciendo más visibles cuando están presentes, en forma de manchas o alfombras cuando hay densidades altas.

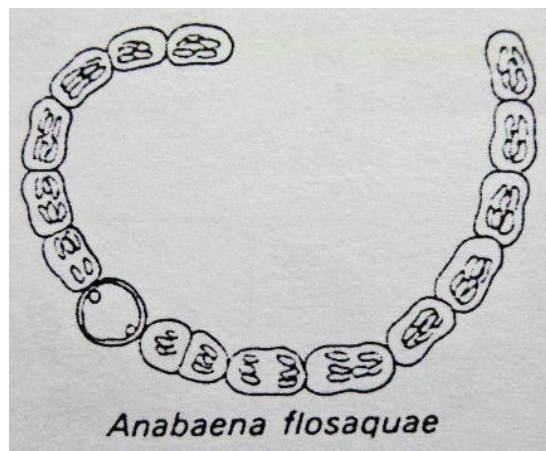
Las cianofíceas en algunos casos han sido responsables de generar efectos nocivos a otros seres vivos (acuáticos, terrestres o aves), los géneros más tóxicos son aquellas que tienen la capacidad de fijar el nitrógeno, representado la mayor toxicidad antes del declive de la población esto se suscita a fines del verano.

Géneros de cianofíceas:

- Cianofíceas no filamentosas: se caracterizan por ser pequeñas (3 - 6 μm), con vacuolas de gas, se aglomeran y desarrollan en masa mucilaginosa sin estructura. Dentro de estas se encuentran: *Mycrosistis*, *Merismopedia*, *Aphanothece*, *Gomphosphaeria*, *Coelosphaerium*, *Anacystis*.

- Cianofíceas filamentosas: son células unidas en cadenas frecuentemente anilladas y con un mucilago claro, algunas de estas células son en forma globosa y otras son más sutiles; dentro de la misma especie se puede observar filamentos rectos y curvados o en espiral. Entre las más comunes se tiene: *Anabaena*, *Nodularia*, *Anabaenopsis*, *Ocillatoria*, *Lyngbya*, *Spirulina* y *Aphanizomenon*, *Closterium*.

Figura 2. **Cianofíceas**



Fuente: MARGALEF, Ramón. *Limnología*, (figura 7-13, p 213).

1.2.2.2. **Chlorophyta**

Clorofíceas o algas verdes es uno de los grupos más grandes y con la mayor diversidad a nivel morfológico. Poseen un núcleo definido y en la mayoría de organismos poseen pared celular caracterizado por contener clorofila (a y b), carotenos y xantofilas; la organización de este tipo de algas puede presentarse tanto individual como en colonias, la existencia de flagelos en algunos de los géneros les permiten tener movilidad, otras por su parte cuentan con la capacidad de adherirse a otras algas de mayor tamaño o animales planctónicos.

Se pueden clasificar:

- Cocales (esféricas): organismos “abundantes en primavera y a principios de verano, cuando hay disponibilidad de nutrientes, luz solar y alta temperatura”.⁵
- Clorococales: células solitarias, pueden vivir en grupos, es difícil observar flagelos en la mayoría de géneros, generalmente se sitúan en aguas con baja salinidad. Entre los géneros se están: *Golenkinia*, *Scenedesmus*, *Sphaerocystis schroeteri*, *Desmatractum*, *Tetraëdrom*, *Shroederia*, *Ankistrodesmus*, *Korshikiviella*, *Ankira*, *Characium*, *Lambertia gracilipes*, *Rhopalosolen Cylindricus*, *Tetrastrum*, *Pediastrum*, *Sorastrum*, *Coelastrum*, *Chlorella*.
- Volvococales: las células aparecen unidas (colonias) y coordinadas en actividades plasmodesmos, son las más frecuentes en la comunidad planctónica, dentro de los géneros se encuentra: *Gonium*, *Pandorina*, *Eudorina*, *Volvox*.
- Conyugadas: algas coloniales, en lo particular no cuentan con formas flagelíferas, son isógamas pero distinguible entre sexos, debido al tamaño de las células. Dentro de este grupo se encuentran: *Micrasterias*, *Cosmarium*, *Spirogyra*.
- Desmidiáceas: se desarrollan en “aguas con bajas concentraciones de calcio y magnesio, presentan mayor diversidad en cuencas de rocas graníticas e ígneas, con aguas de alto contenido de materia orgánica”⁶.

⁵AROCENA, R; CONDE, D. *Métodos en ecología de aguas continentales con ejemplos en limnología en Uruguay*. p. 109.

⁶WETZEL, R. *Limnología*. p. 263.

Algunos géneros se encuentran: *Cosmarium*, *Staurastrum*, *Micrasterias*, *Pleurotaenium*, *Staurodesmus*, *Euastrum*, *Xanthidium*, *Sphaerososma* y *Hyalotheca*.

1.2.2.3. Bacillariophyceae

Este tipo de algas es comúnmente conocido como diatomeas, la característica principal es el recubrimiento de sílice en su pared celular, lo cual permite un estudio detallado de la forma sin haber daños por la preservación.

La pared silicificada recibe el nombre de valva, que consta de una parte superior denominada epiteca y una inferior llamada hipoteca, el conjunto completo recibe el nombre de frústulo. En este tipo de organismos fitoplanctónicas no es común observar flagelos, la movilidad que estos puedan tener es debido a las corrientes del medio en el que se encuentren.

Algunas especies de diatomeas son coloniales, pueden alcanzar densidades altas (floraciones), pero no son visibles en la superficie debido a que la densidad de los organismos es mayor y tienden a sedimentarse en el fondo de los ecosistemas.

Las floraciones de diatomeas en sistemas de agua dulce no son tóxicas pero si en sistemas marinos, las consecuencias de las altas densidades son asfixia a los peces debido a obstrucción de su sistema respiratorio, taponamiento en filtros de tratamiento de potabilización.

Las diatomeas se pueden clasificar por su simetría en:

- Centrales: son de simetría radial, “el grado de repetición de estructuras equivalentes alrededor del eje es variable”.⁷ Algunas especies son ovaladas y siguen en esta categoría: *Melosira*, *Cyclotella*, *Stephanodiscus*.

- Pennales: son de simetría bilateral, con valvas alargadas, cuenta con un órgano que permite transmitir movimiento del plasma desde el interior de la célula hacia el exterior de la misma llamado Rafe, reaccionando y haciendo que la diatomea se mueva. Se dividen en 4 grupos:
 - Arrafíceas: *Asterionella*, *Diatoma*, *Fragilaria*, *Synedra*.
 - Rafíceas: muestran un rafe rudimentario. *Actinella*, *Eunotoria*.
 - Monorrafíceas: disponen de un rafe en una de las valvas. *Achnutes*, *Cocconeis*.
 - Birrafídeas: disponen de un rafe en las dos valvas. *Amphora*, *Cymbella*, *Gomphonema*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Pinnularia*, *Surirella*.

1.2.2.4. Chrysophyceae

Las crisofíceas principalmente se desarrollan en agua dulce, forman parte de las algas pardas. Su pigmentación es dominada por caroteno, xantofilas, luteína y diadinoxantina pero también contienen clorofila “a” y “c”. La reserva de alimentos se basa en aceites (crisolaminarina) en mayor proporción que en almidón, debido a su frecuente incorporación de sílice, a diferencia de las algas verdes. Son organismos unicelulares muy pocas especies son coloniales y ocasionalmente filamentosas, pueden presentarse con varios flagelos, escamas síliceas y cápsulas.

⁷ MARGALEF, R. *Limnología*. p. 229.

Se desarrollan en medios oligotróficos, particularmente concentraciones bajas de fósforo, debido a que algunas especies coloniales son heterótrofas, dentro de los géneros con estas necesidades se pueden mencionar *Dynobryon*, *Uroglena*, *Kephyrion*, *ochromonas*, *Erkeria*. En el caso *Synura* necesita concentraciones altas de fosforo para el desarrollo de su especie.

Los géneros que poseen flagelos son muy pequeños y se catalogan dentro de nanoplancton, se pueden mencionar los siguientes: *Chromulina*, *Chrysococcus*, *Mallomonas*.

1.2.2.5. Xantophyceae

Denominadas algas verde-amarillas debido a que sus “pigmentos tienen alto contenido de carotenoides y xantofilas. Por lo general las células presentan dos flagelos de diferente longitud y su pared celular está compuesta de celulosa y glucosa”.⁸

La mayoría de sus géneros son unicelulares aislados, coloniales, filamentosos o tubulares, de la misma forma que las crisofíceas los productos almacenados son aceites, las algas xantofíceas se caracterizan por ser bentónicas o vivir sobre otras plantas.

Uno de los géneros más destacados es la *Vaucheria* “fieltro de agua”, desarrollado en aguas tranquilas (sin corrientes), de característica tubular. Se puede mencionar como géneros plantónicos *Chlorobotrys*, *Gloeobotrys* y *Gloeochloris*.

⁸ AROCENA, R. y CONDE, D. *Métodos en ecología de aguas continentales con ejemplos en limnología en Uruguay*. p. 110.

1.2.2.6. Cryptophyceae

Se presentan en células individuales móviles y en colonias inmóviles. En cuanto a pigmentos “contienen clorofila (a y c), carotenos, ficocianina y ficoeritrina, dando como resultado una variación de colores desde verde-azul hasta rojo”.⁹Morfológicamente las células son aplanadas (forma de zapato), no todas cuenta con pared celular, de la misma forma que las clorofíceas almacenan almidón, poseen dos flagelos desiguales, esporádicamente se observan células de un solo flagelo.

En esta categoría incluye a las “Cryptomonadales (organismos unicelulares, móviles y flagelados), Tetragonidiales (unicelulares o coloniales, inmóviles)”¹⁰.

Las criptofíceas en periodos fríos durante el año pueden desarrollar densidades altas, en condiciones relativamente bajas de luz, pero manteniendo un aporte necesario de nutrientes para su desarrollo.

Dentro de las especies más destacadas en aguas dulces se encuentran: *Rhodomonas*, *Cryptomonas*, *Gonyostomum*, *Vacuolaria*.

1.2.2.7. Dinophyceae

Los dinoflagelados o dinofíceas es un grupo de organismos planctónicos menos variado en aguas marinas. Son organismos unicelulares de formas asimétricas, tienen un flagelo longitudinal dirigido hacia atrás (impulsa el

¹⁰ AROCENA, R; CONDE, D. *Métodos en ecología de aguas continentales con ejemplos en limnología en Uruguay*. p. 110.

¹¹ Op. cit. p. 110.

movimiento), mientras que el transversal que le da vuelta a la célula y es acintado, con un fleco de mastigonemas que orientan su movimiento.

La mayoría de especies debajo de la membrana celular tienen placas (ornamentadas con poros y retículos) de celulosa en número y disposición específica, algunas especies presentan espinas o prolongaciones. Se pueden desarrollar desde el epilimnión hasta la zona profunda de la columna de agua.

Dentro de esta categoría se puede considerar géneros que pasan una parte importante de su vida sin mostrar flagelos, dentro de los que se pueden mencionar: *Glenodinium montanum*, *Hemidinium nasutum*, *Stylodinium*, *Cystodinium*, *tetradinium*.

Entre los géneros más representativos de las dinoflagelados se tiene: *Ceratium*, *Peridinium*, *Diplopsalis acuta*, *Gonyaulax apiculata*.

1.2.2.8. Euglenophyceae

Se desarrollan principalmente en sistemas de agua dulce, pueden tener pigmentos o carecer de ellos. Los metabolismos son variados encontrándose géneros fotoautotrófico, heterotrófico o fagotrófico.

Las especies son unicelulares, se desplazan rápidamente, de tamaño y forma variable, algunas especies con cápsula o lorica, pueden presentar hasta siete flagelos, pero regularmente se observan dos.

Algunos expertos los consideran protozoarios y otros plantas, pero ambas posturas concuerdan en que son organismos con descendencia animal que se ha desarrollado como plantas fotosintéticas.

“El amonio y los compuestos de nitrógeno orgánico disueltos son las principales fuentes en la mayoría de euglenoideas”.¹¹ Su desarrollo en el fitoplancton es temporal, a cierta profundidad o sistemas lénticos con concentraciones altas de amonio y materia orgánica disuelta, contando con estas condiciones en el medio, se pueden alcanzar altas densidades de especies heterótrofas incluso si los organismos son pigmentados.

1.3. Zooplancton

Integrada por los organismos heterótrofos perteneciente al plancton animal, se alimentan principalmente del fitoplancton, materia orgánica u otros animales; en agua dulce la diversidad de géneros excesivamente reducida, contando con la siguiente clasificación.

1.3.1. Protozoos

Población de organismos unicelulares del zooplancton poco estudiada y no considerada dentro de las primordiales, pero debido a un incremento en el número de organismos en sus géneros ha obligado a los investigadores a ser apreciada. La mayoría de protozoos se desarrollan en medios aeróbicos, pero algunos pueden existir en condiciones de anoxia. Los representantes más importantes de esta clasificación son los ciliados y los tintinídeos.

- Los ciliados, organismos de 3 mm de tamaño, rígidos, globosos y de simetría relativamente radial, “se desarrollan mejor en medios poco profundos, en el hipolimnion en condiciones anaeróbicas”.¹²

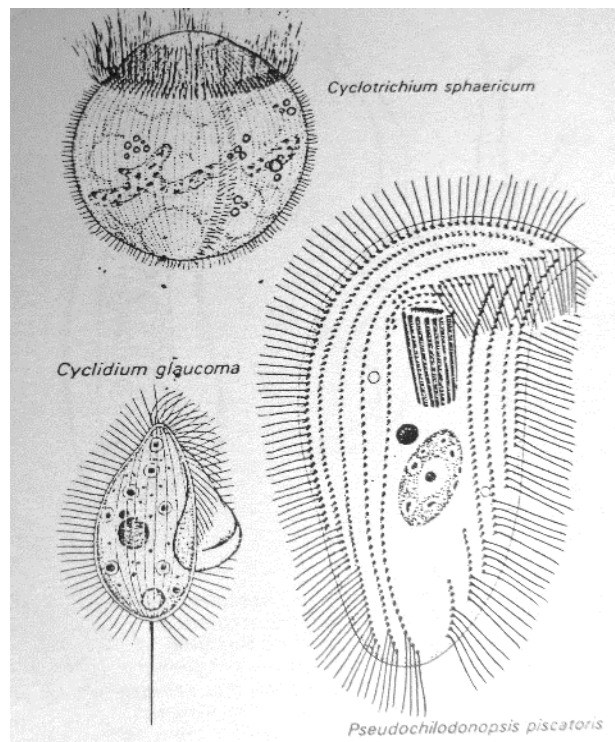
¹¹ WETZEL, R. Limnología. p. 267.

¹² Op. cit. p. 380.

“La alimentación es holozoica siendo la principal fuente algas, bacterias, partículas detríticas y otros protozoos”.¹³

- Los tintinídeos, organismos caracterizados por tener una envoltura separada de la célula, que adhiere minerales o material orgánico; los tintinados se alimentan de pequeño fitoplancton.

Figura 3. **Protozoos**



Fuente: MARGALEF, Ramón. *Limnología*, (figura 9-12, p. 334).

¹³ WETZEL, R. *Limnología* p. 380.

1.3.2. Rotíferos

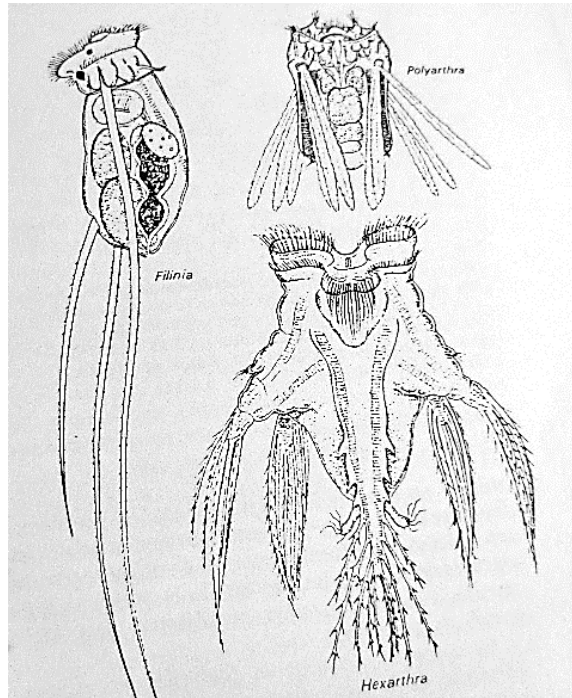
Los rotíferos son organismos de cuerpo blando, el cual está formado por un número específico de células; el cuerpo está integrado por cabeza, tronco y pie; cubierto por una cutícula delgada, flexible y en algunos géneros rígida. Los rotíferos tienen dos particularidades, la primera es un órgano colocado por encima del cerebro que produce un líquido pegajoso, la segunda es el atrofia del pie que permite el desenvolvimiento entre las algas. Morfológicamente existe una gran diferencia en tamaño entre las hembras y los machos, denominando a rotíferos machos como enanos.

La base alimenticia de los rotíferos son células algales, protozoos y pequeños crustáceos menores de 12 μm , pueden ingerir partículas más grandes pero depende completamente de la forma del alimento.

Los parámetros que tienen más impacto tienen sobre las poblaciones de rotíferos son la temperatura y la disposición de alimento, a mayor temperatura menor tamaño de las células de los rotíferos, por su parte el alimento condiciona la existencia de las poblaciones. Los rotíferos son organismos que dominan las poblaciones zooplanctónicas en condiciones muy eutróficas.

El tiempo de vida de los rotíferos es aproximadamente 14 días. Dentro de los géneros más sobresalientes de los rotíferos se puede mencionar: *Polyarthra*, *Keratella*, *Fillinia*, *Brachionus*, *Collotheca*, *Hexartra*.

Figura 4. **Rotíferos**



Fuente: MARGALEF, Ramón. *Limnología*, (figura 9-7, p. 337).

1.3.3. **Cladóceros**

Son crustáceos, “semejantes a los rotíferos por su tamaño, rápido desarrollo y ciclos reproductivos, tienen un número pequeño de células, pero no es constante como en los rotíferos”.¹⁴

“Se distingue claramente la cabeza del cuerpo, este cubierto por un caparazón cupular bivalvo”.¹⁵ La boca consta: mandíbulas grandes, para triturar el alimento; un par de pequeñas maxilas para empujar el alimento a las

¹⁴ MARGALEF, R. *Limnología*. p. 341 y 342.

¹⁵ WETZEL, R. *Limnología*. p. 397.

mandíbulas; un labio medio que cubre las otras piezas bucales. Los cladóceros tienen un solo ojo, que a veces está totalmente atrofiado, la visión transparente del animal depende de la cantidad del pigmento presente. Estos organismos zooplanctónicos cuentan con dos pares de antenas, el primer par, con mayor sensibilidad y más desarrollados en los machos, el segundo es un ápice nadador y principal órgano de locomoción.

El tiempo de vida en los cladóceros es aproximadamente dos semanas, variando positivamente si el medio es oligotrófico y la temperatura es baja. Los cladóceros se alimentan de protozoos, rotíferos y pequeños crustáceos, atrapándolos mediante sus patas prensoras.

Los géneros más representativos de los cladóceros son los dáfnidos y los bosmínidos, que constituyen una fracción muy importante del plancton animal lacustre.

- Daphnia (pulgas de agua): organismos entre 1 - 2 mm de tamaño, se puede describir como la especie planctónica más dominante de los cladóceros, debido a su amplia variedad, se considera con un organismo filtrador, las actividades de apresar y seleccionar los alimentos son realizadas por las patas del organismo.

Figura 5. **Daphnia**



Fuente: MARGALEF, Ramón. *Limnología*, (figura 9-12, p. 342).

- Bosmínidos: son pequeños cladóceros, entre 0.25-1.5 mm, nadan de forma continua, con movimientos rápidos, cuando se ven amenazados, se detiene abruptamente y dejan sedimentar para evitar ser capturados.

Figura 6. **Bosmina**



Fuente: MARGALEF, Ramón. *Limnología*, (figura 9-12, p. 342).

1.3.4. Copépodos

“Esta población de organismos puede llegar a representar hasta el 50 % del zooplancton en un medio”¹⁶, la cantidad varía según el grado de eutrofización que exista. Se debe tomar en cuenta que también son organismos que tardan más tiempo en reproducirse en comparación con otras poblaciones planctónicas.

El cuerpo está dividido en dos regiones, la cabeza en la cual lleva cinco pares de apéndices (antenas y apéndices bucales), el tórax con seis pares de patas nadadoras. La parte posterior formada por segmentos abdominales; el primero en las hembras se encuentra modificado por el segmento genital; el segmento terminal está ramificado y provisto de sedas, en ambos sexos.

La cutícula que reviste el cuerpo de los copépodos puede mostrar distintos tipos de grabaduras, funciona como soporte para los órganos sensitivos, mecánicos y químicos, en forma de sedas o pequeñas depresiones. De la misma forma que los cladóceros poseen un ojo con pigmento, este de color rojo (de cristalino a oscuro) en centro de la región frontal.

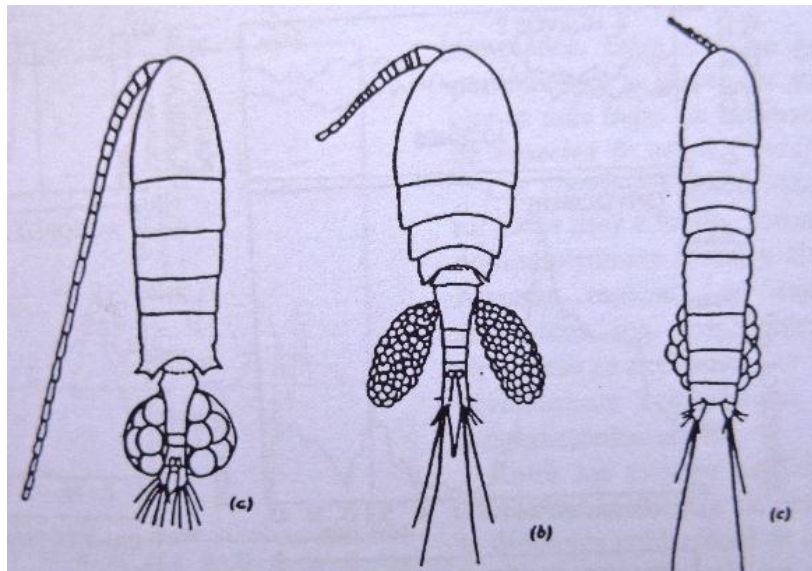
Los copépodos carnívoros alimentándose de microcrustáceos, larvas de díptero y oligoquetos; en el caso de los copépodos herbívoros se alimentan de gran variedad de algas, desde diatomeas unicelulares a largas hileras de algas filamentosas. Las especies de copépodos carnívoras son de mayor tamaño que las herbívoras, pero la población en general tiene facilidad para interactuar con las demás especies, moverse con más agilidad en el medio, observándose continuamente cerca de la superficie.

¹⁶ MARGALEF, R. *Limnología*. p. 353.

La vida de los copépodos puede ser larga, desde semanas hasta meses, prolongándose hasta cerca de un año si las condiciones favorecen a la población. Los copépodos generalmente aparecen en tres órdenes diferentes siendo estas los calanoides, ciclópoides y harpacticoides. En la figura 7 se puede apreciar los tres órdenes de copépodos.

Figura 7. **Diagrama de principales ordenes de copépodos (hembras)**

a) Calanoide , b) ciclopoide, c) harpacticoide



Fuente: WETZEL, Robert. *Limnología* (figura 16-22, p. 415).

1.4. **Asociación de comunidades planctónicas con la fertilización de un cuerpo de agua**

La presencia de las comunidades planctónicas está asociada con el alimento disponible para su desarrollo, se ha investigado el comportamiento de esta relación; Robert Wetzel (1975) presenta un cuadro donde relaciona distintas

comunidades fitoplanctónicas con el estado trófico del cuerpo del agua, presentado en la tabla II.

Tabla II. **Características de las asociaciones fitoplanctónicas más comunes en relación con el grado de fertilización**

Nivel eutrófico del lago	Características del agua	Algas dominantes	Algas acompañantes
Oligotrófico	Ligeramente acida, muy poco salina.	Desmideaceas: <i>Staurastrum</i> , <i>Stauradesmus</i> .	<i>Sphaerocystis</i> , <i>Gloecystis</i> , <i>Rhizosolenia</i> , <i>Tabellaria</i> .
Oligotrófico	Neutra o ligeramente alcalina; pobre en nutrientes.	Diatomeas, especialmente <i>Cyclotella</i> y <i>Tabellaria</i> .	Algunas <i>Asterionella sp</i> , algunas <i>Melosira sp</i> , <i>Dinobryon</i> .
Oligotrófico	Neutra o ligeramente alcalina; lagos pobres en nutrientes o lagos más productivos en la estación reducción de nutrientes.	Crisofíceas, especialmente <i>Dinobryon</i> , algunas <i>Mallomonas</i> .	Otras crisofíceas (<i>Synura</i> , <i>Uroglena</i>), diatomea (<i>Tabellaria</i>).
Oligotrófico	Neutra o ligeramente alcalina; lagos pobres en nutrientes.	La clorococal <i>Oocystis</i> o la crisofícea <i>Betryococcus</i> .	Diatomeas oligotróficas, pequeñas crisofíceas y diatomeas.
Oligotrófico	Neutra o ligeramente alcalina generalmente pobre en nutrientes, lagos árticos poco profundos.	Dinoflageladas, especialmente algunos <i>Peridium</i> y <i>Ceratium sp</i> .	
Mesotrófico o eutrófico	Neutra o ligeramente alcalina; dominantes anuales o en lagos eutróficos, estacionales.	Dinoflageladas, algunos <i>Ceratium</i> y <i>Peridinium sp</i>	<i>Gleodinium</i> y muchas otras.
Eutrófico	Normalmente lagos alcalinos ricos en nutrientes.	Muchas diatomeas especialmente <i>Asterionella sp</i> , <i>Fragillaria crotonensis</i> , <i>Synedra</i> , <i>Stephandiscus</i> , y <i>Melosira granulata</i> .	Muchas otras algas especialmente verdes y azules durante los periodos cálidos del año; demideaceas si hay abundancia de materia orgánica.
Eutrófico	Normalmente alcalino, rico en nutrientes; común en periodos cálidos de lagos templados o todo el año en lagos tropicales muy ricos en nutrientes.	Algas azules, especialmente <i>Anacystis (Microcystis)</i> , <i>Aphanizomenon</i> , <i>Anabaena</i> .	Otras algas azules: euglenofíceas si el lago esta polucionado o es muy rico en materia orgánica.

Fuente: WETZEL, Robert. *Limnología* (Tabla 14-2, p. 271).

Por su parte Terrell & Bytnar (1996) proponen varios criterios para clasificar las comunidades planctónicas con respecto al ambiente del cual son pertenecientes las especies de fitoplancton que presenten, debido a que algunas especies son capaces de subsistir bajo medios específicos de contaminación o la ausencia de la misma. En la tabla III se presentan enumerados los criterios mencionados previamente.

Tabla III. **Criterios de clasificación de fitoplancton**

Criterios Terrell & Bytnar	Código
Algas generadoras de olor	A
Propias de agua contaminada	B
Propias de agua retenida	C
Propias de agua limpia	D
Algas que crecen en paredes	E
Algas planctónicas y de aguas superficiales	F
Algas propias de estuarios contaminados	G

Fuente: FONTÚRBEL, F. *Evaluación rápida de la diversidad de fitoplancton en aguas eutróficas del lago Titikaka (Bolivia) y su uso como indicador de grado de contaminación*, (tabla 3, p. 8).

1.5. Fitoplancton en sistemas de tratamiento de agua para consumo humano

Los cuerpos de agua lénticos constituyen fuentes de abastecimiento de agua destinada al consumo humano; el fitoplancton forma parte del sistema biológico de los cuerpos de agua, algunas de las comunidades planctónicas con poblaciones abundantes pueden llegar a representar problemas indeseables en el tratamiento de potabilización de agua.

1.5.1. Problemas generados por el fitoplancton

El desarrollo desmedido de ciertas poblaciones fitoplanctónicas en las fuentes o en los sistemas de abastecimiento puede representar inconvenientes y modificar las características del agua.

1.5.1.1. Generación de lama

Lama o verdín es una capa blanda que se encuentra la zona bentónica de los cuerpos de agua, dentro de las comunidades plantónicas generadoras se encuentran algunas especies de cianofitas, algas rojas, algunas clorofitas y algunos flagelados.

1.5.1.2. Generación de color, olor y sabor

Cada especie de algas tiene un sabor característico y en cuanto al color las más problemáticas son las verde – azules y rojas. En la tabla IV se muestran algunas especies y las características que pueden generar con una abundante presencia en sistemas de abastecimientos de agua.

Tabla IV. Algas sápidas y olorosas

Algas sápidas y olorosas		
Fitoplancton		Olor, sabor, color
Cianofíceas	<i>Anabaena Flosaquae</i>	Moho, hierba, fétido
	<i>Anabaena circinalis</i>	N.D.
	<i>Anabaena planctónica</i>	N.D.
	<i>Anacystis cyanea</i>	N.D.
	<i>Anacystis Dimidiata</i>	N.D.
	<i>Aphanizomenon</i>	Moho, hierba, fétido
	<i>Cylindrospermum</i>	Hierba
	<i>Microcystis</i>	N.D.
	<i>Oscillatoria Amphibia</i>	N.D.
	<i>Rivularia Dura</i>	Moho, Hierba

Continuación de tabla IV.

Algas sápidas y olorosas		
Fitoplancton	Olor, sabor, color	
Clorofitas	<i>Closterium</i>	N.D.
	<i>Chara</i>	N.D.
	<i>Cladophora Aegagropila</i>	N.D.
	<i>Cistypaerium ehrenbergianum</i>	
	<i>Cosmarium Portianum</i>	N.D.
	<i>Eudonira</i>	Débilmente a pescado
	<i>Hydrodictyon Reticulatum</i>	Muy maloliente
	<i>Nitella gracilis</i>	
	<i>Padorina</i>	Débilmente a pescado
	<i>Pediatrum tetras</i>	N.D.
	<i>Protococcus</i>	N.D.
	<i>Snedesmus</i>	N.D.
	<i>Spirogyna Porticalis</i>	N.D.
	<i>Volvox</i>	Pescado
Diatomeas	<i>Achantes</i>	N.D.
	<i>Astirionella Formosa</i>	Aromático, geranio, pescado
	<i>Cyclotella Meneghiniana</i>	Débilmente aromático
	<i>Diatoma Vulgare</i>	Débilmente aromático
	<i>Fragilaria Crotonensis</i>	N.D.
	<i>Melosira Granulata</i>	N.D.
	<i>Navicula Graciloides</i>	N.D.
	<i>Synedra Acus</i>	A tierra húmeda
Dinoflagelados	<i>Tabellaria Fenestrata</i>	Aromatico, geranio, pescado.
	<i>Ceratium Hirundinella</i>	N.D.
	<i>Chlamydomonas Globosa</i>	N.D.
	<i>Dinobryon Sertularia</i>	N.D.
	<i>Mollomonas Caudata</i>	N.D.
	<i>Pandorina morum</i>	N.D.
	<i>Perinidium Cinctom</i>	N.D.
Crisofíceas	<i>Synura uvella</i>	N.D.
	<i>Ureglonopsis americana</i>	N.D.
N.D. = ningún dato		

Fuente: SALAS, Dennis. *Métodos empleados en ingeniería sanitaria para la remoción de algas en una fuente de abastecimiento de agua* (tabla 5.1 p. 43 y cuadro 6-1 p. 73).

1.5.1.3. Obstrucción de filtros y tuberías

La obstrucción de las tuberías puede ocurrir al presentarse “especies con la capacidad de reproducirse en la obscuridad como: *Scenedesmus*, *Euglena*,

Anacystis, *Coelastrum* y *Clorococum*¹⁷; estas especies con la aplicación de cloro se pueden eliminar; especies como *Elaktotherix Gelatinosa*, *Gomphosparia Aponima*, *Closterium*, *Cosmarium* y *Chlorella* son más complicadas de eliminar mediante método de cloración, es recomendable realizar un tratamiento en el agua cruda y no en el sistema de distribución.

Por su parte los filtros (de arena) son más susceptibles a tener taponamientos si no se cuenta con un sistema coagulación-floculación, debido a que los organismos interfieren disminuyendo el área de los poros.

En la tabla V se presentan especies de fitoplancton que pueden representar problemas en sistemas de abastecimientos de agua potable que utilice filtros dentro de sus procedimientos.

Tabla V. **Algas que obstruyen filtros**

Algas que obstruyen filtros				
Clase	Especie	Clase	Especie	
Cianofíceas	<i>Anabaena Flosaquae</i>	Diatomeas	<i>Astirionella Formosa</i>	
	<i>Anacystis Dimidiata</i>		<i>Cyclotella Meneghiniana</i>	
	<i>Oscillatoria Amphibia</i>		<i>Diatoma Vulgare</i>	
	<i>Rivularia Dura</i>		<i>Fragilaria Crotonensis</i>	
Clorofitas	<i>Chlorella Pyrenoidosa</i>		<i>Melosira Granulata</i>	
	<i>Cladophora Aegagropila</i>		<i>Navicula Graciloides</i>	
	<i>Hydrodictyon Reticulatum</i>		<i>Synedra Acus</i>	
	<i>Palmella Mucosa</i>		<i>Tabellaria Fenestrata</i>	
	<i>Spirogyna Porticalis</i>		Dinoflagelados	<i>Dinobryon Sertularia</i>
	<i>Ulotrix Variabilis</i>			<i>Perinidium Wisconsinense</i>
Xantophyceae	<i>Tribonema Bombycinum</i>		<i>Trachelomonas Crebea</i>	

Fuente: SALAS, Dennis. *Métodos empleados en ingeniería sanitaria para la remoción de algas en una fuente de abastecimiento de agua* (cuadro 6-2, p. 76 y 77).

¹⁷ SALAS, D. *Métodos empleados en ingeniería sanitaria para la remoción de algas de una fuente de abastecimiento de agua*. p. 37.

1.5.1.4. Corrosión

La corrosión representa un problema en reservorios abiertos, esta dificultad puede ser una consecuencia de la modificación de condiciones fisicoquímicas del agua a cargo de ciertas comunidades planctónicas como la *Oscillatoria*, cianofitas, algunas clorofitas.

1.5.1.5. Dificultad para floculación

La *Asterionella* y *Synegra* interrumpen el proceso de floculación, formando flóculos más pequeños. En presencia de *Anabaena* y *Gomphospharia* se induce al uso de agitadores para la sedimentación de estas algas.

1.5.1.6. Toxicidad

Las toxinas que se encuentran contenida en las células de la cianofitas, representan un peligro para los seres vivos cuando tiene contacto o se ingieren (cantidades representativas), la ingesta de estas toxinas puede provocar gastroenteritis, irritación en la piel, problemas hepáticos, en los animales puede ser mortal.

Tabla VI. Algas tóxicas

Algas tóxicas	
<i>Anabaena circinalis, flosaquae</i>	Cianofíceas o Verde – azules
<i>Anacystis Cynea</i>	
<i>Aphanizonemos flosaquae</i>	
<i>Cylindrospermum</i>	
<i>Lyngbya Cortorta</i>	
<i>Microcystis spp y Aeroginosa</i>	
<i>Nodularia spumigena</i>	

Fuente: SALAS, Dennis. *Métodos empleados en ingeniería sanitaria para la remoción de algas en una fuente de abastecimiento de agua* (cuadro 6-3, p. 77).

1.6. Microbiología en sistemas de tratamiento de aguas residuales

Los tratamientos de aguas residuales por medios biológicos utilizan pequeños organismos para llevar a cabo la remoción de sustancias contaminantes, dentro de los más importantes se tiene a las bacterias y protozoos.

1.6.1. Función de microorganismos

Los microorganismos son los encargados de remover la materia orgánica y mejorar la calidad del agua, convirtiéndose en un factor importante en el éxito de la depuración de aguas residuales.

1.6.1.1. Bacterias

Las bacterias son comunes en tratamientos de aguas residuales, encargadas de tomar la materia orgánica como alimento, tienen una función de oxidar ciertos elementos, siendo una de las claves en tratamientos biológicos.

En la tabla VII aparece una lista de los organismos presentes en aguas residuales, así como lo que indica su presencia en las mismas o en cierta etapa de un tratamiento de aguas residuales.

Tabla VII. **Bacterias presentes en aguas residuales**

Organismo	Parámetro bioindicador
<i>Bacillus sp</i>	Variación en la carga
<i>Beggiatoa</i>	Alta carga orgánica y septicidad.
<i>Cianoficeas</i>	Aguas procedentes de fosas sépticas
<i>Haliscomenobacter hydrosis</i>	Deficiencia de oxígeno, baja carga másica y deficiencia en nutrientes.

Continuación de tabla VII.

Organismo	Parámetro bioindicador
<i>Nocardia sp</i>	Asociado a tratamiento de aceites y grasas en afluentes.
<i>Nostocoida limicola</i>	Baja carga másica, bajo niveles de OD , vertidos industriales.
<i>Micothrix</i>	Baja carga másica, bajo niveles de OD , afluentes ricos en grasas, bajas temperaturas.
<i>Streptococcus sp.</i>	Bajo OD , ante episodio de cloración generan grandes densidades, afluentes con elevada DBO .
<i>Thiotrix</i>	Condiciones de septicidad, afluentes ricos en sulfuros y ácidos orgánicos, condiciones deficiencia nutricional.

Fuente: RODRÍGUEZ, Eva, et al. *Manual práctico para el estudio de grupos de bioindicadores en fangos activos*. p. 50-65.

1.6.1.2. Hongos

Utilizados en tratamiento de aguas de origen industrial, son organismos aeróbicos, heterotróficos, no fotosintéticos; tienen la capacidad de subsistir en ambientes poco húmedos, tolerar condiciones de pH bajos y para su desarrollo necesitan valores bajos de nitrógeno en comparación de las bacterias. La aparición de hongos es indicativo de afluentes de aguas industriales.

1.6.1.3. Algas

“Organismos fotosintéticos y autotróficos en tratamientos de lagunas de oxidación aportan oxígeno debido a su proceso de fotosíntesis, oxígeno que contribuye a reacciones bioquímicas”.¹⁸ Los principales elementos para su reproducción son el nitrógeno y fósforo.

En la tabla VIII y IX se presenta una lista de algas presentes en aguas residuales así como lo que indica su presencia en las mismas.

¹⁸ RODRÍGUEZ, E., et al. *Manual práctico para el estudio de grupos bioindicadores en fangos activos*. p. 125.

Tabla VIII. **Algas presentes en aguas residuales**

Clase	Organismo	Parámetro bioindicador
Cianofíceas	<i>Oscillatoria</i>	Organismo poli saprobio, desarrolla sobre restos vegetales en descomposición
	<i>Spirulina</i>	Aguas contaminadas con bajos índices de turbidez; bajas concentraciones de SSLM*, característica en aguas salinas
Chrysophyceae	<i>Dynobryon</i>	Aparece en biofilm ** en el tanque de cloración
Diatomeas	<i>Navícula</i>	Aguas ricas en materia orgánica
Clorofitas	<i>Oocystis</i>	Aguas ricas en materia orgánica
	<i>Pediastrum</i>	Aguas ricas en materia orgánica
	<i>Scenedesmus</i>	Aguas ricas en materia orgánica
*SSLM : microorganismos activos y solidos inertes en licor de mezcla		
**Biofilm: capa biológica		
Escala de saprobiedad: sistema de clasificación de consumo de oxígeno de las aguas donde se encuentran		

Fuente: RODRÍGUEZ, Eva, et al. *Manual práctico para el estudio de grupos de bioindicadores en fangos activos*. p. 90-110.

Tabla IX. **Algas comunes en lagunas de estabilización**

Grupo	Géneros representativos	Porcentaje de aplicación
Diatomeas	<i>Cyclotella, Gomphonema, Nitzschia</i>	10 %
Flageladas	<i>Chlamydomonas, Euglena, Cryptomonas</i>	25 %
Algas verdes	<i>Ankistrodesmus, Chlorella, Scenedesmus</i>	50 %
Algas verde-azules	<i>Anacystis, Anabaena, Oscillatoria</i>	15 %

Fuente: RODRÍGUEZ, Eva, et al. *Manual práctico para el estudio de grupos de bioindicadores en fangos activos*. p. 110-125

1.6.1.4. Protozoarios

Protistas unicelulares con movilidad por medio de flagelos, la mayoría son aeróbicos, pero también se pueden hallar anaeróbicos; la función de protozoos es consumir la materia orgánica de efluentes finales de agua tratada para mejorar

la calidad, también se alimentan de bacterias. Los protozoos son fundamentales para la evaluación de procesos en fangos activados, debido a que según las poblaciones que se encuentren se pueden determinar algunas características del fango o procedencia del afluente.

Tabla X. **Protozoos presentes en tratamiento de aguas residuales**

Organismo	Tratamiento	Parámetro bioindicador
<i>Bodónidos</i>	Fangos activados	Fangos iniciales, fangos maduros en malos sistemas de depuración, Deficiencia de oxígeno, sobre carga orgánica, ingreso de tóxicos, y cambios bruscos de propiedades fisicoquímicas.
<i>Entosiphon sp</i>	Fangos activados	Baja carga orgánica en reactor.
<i>Peranema</i> <i>Trichophorum</i>	Fangos activados	Baja carga orgánica en reactor, indica alto rendimiento de depuración.
<i>Euglena sp</i>		Agua residual entrante con sustancias orgánicas muy diluidas.
<i>Vorticella convallaria</i>	Fangos activados	Buena aireación y ausencia de nitrificación en reactor biológico.
<i>Vorticella infosionum</i>	Fangos activados	Deficiencia de oxigenación, sobre cargas orgánicas.
<i>Vorticella striata</i>	Fangos activados	Indicador de efluente de mala calidad.
<i>Epistylis chysemydis</i>	Fangos activados	Buena calidad de depuración y adecuada oxigenación en reactor.
<i>Epistylis chysemydis</i>	Fangos activados	Buena calidad en el efluente.
<i>Opecularia microdiscum</i>	Fangos activados	Presencia de elementos tóxicos, alta carga orgánica y baja oxigenación. Vertidos industriales.
<i>Stentor sp</i>	Fangos activados Lagunas de oxidación	Bajas cargas másicas y edades altas de fango.
<i>Colpoda ecaudata</i>		Sistemas de carga media, asociado a niveles altos de hierro.
<i>Paramecium caudatum</i>	Filtros percoladores Fangos activados	Presencia esporádica en fangos en formación. Habitual en filtros.
<i>Uronema sp</i>	Fangos activados	Sistemas de altos niveles de bacterias libres, presencia ligada a etapa de arranque de sistema.
<i>Cinethochilum</i>	Fangos activados	Condiciones de nitrificación en reactor. Agua residual poco cargada.
<i>Aspidisca</i>	Fangos activados	Fangos estabilizados.
<i>Acineria uncinata</i>		Tolera ausencias de oxígeno, común en tratamientos de eliminación de nutrientes.

Continuación de tabla X.

Organismo	Tratamiento	Parámetro bioindicador
<i>Suctor</i>	Fangos activados	Estabilidad ecológica, presentes en fangos de edad avanzada.
<i>Coleps hirtus</i>		Bajos niveles de carga orgánica y alto contenido de nitrógeno (bajas concentraciones de amonio) en afluentes. Indica aporte de residuos agrícolas.
<i>Litonotus lamella</i>		Indica mal estado en los fangos, con deficiencias de sedimentación y procesos de nitrificación.

Fuente: RODRÍGUEZ, Eva, et al. *Manual práctico para el estudio de grupos de bioindicadores en fangos activos*. p. 65-80

1.6.1.5. Rotíferos

Son animales multicelulares, aeróbicos, con una gran eficiencia en el consumo de bacterias y materia orgánica en efluentes finales de aguas ya tratadas.

Tabla XI. **Rotíferos presentes en tratamiento de aguas residuales**

Organismo	Tratamiento	Parámetro bioindicador
<i>Rotatoria sp</i>	Fangos activados	Buena calidad de agua tratada.
<i>Pholodina ps</i>	Fangos activados	Cargas débiles y aireaciones prolongadas.
<i>Lecane sp</i>	Fangos activados	Procesos estabilizados y buena depuración.
<i>Testudinella</i>	Sedimentador secundario y terciario	
<i>Anélidos</i>	Fangos activados	Edad avanzada de fangos, buena depuración.
<i>Quiromidos</i>		Altas concentraciones de materia orgánica, su color indica la oxigenación del medio.

Fuente: RODRÍGUEZ, Eva, et al. *Manual práctico para el estudio de grupos de bioindicadores en fangos activos*. p. 80-90.

1.6.1.6. Crustáceos

Animales multicelulares aeróbicos, no se presentan en sistemas biológicos de tratamiento de aguas, su presencia es un indicativo que los efluentes tienen baja carga de materia orgánica y altos valores de oxígeno disuelto.

1.6.1.7. Virus

Es la estructura celular más pequeña, se encuentran en heces fecales provenientes de los seres vivos y son causantes de variedad de enfermedades.

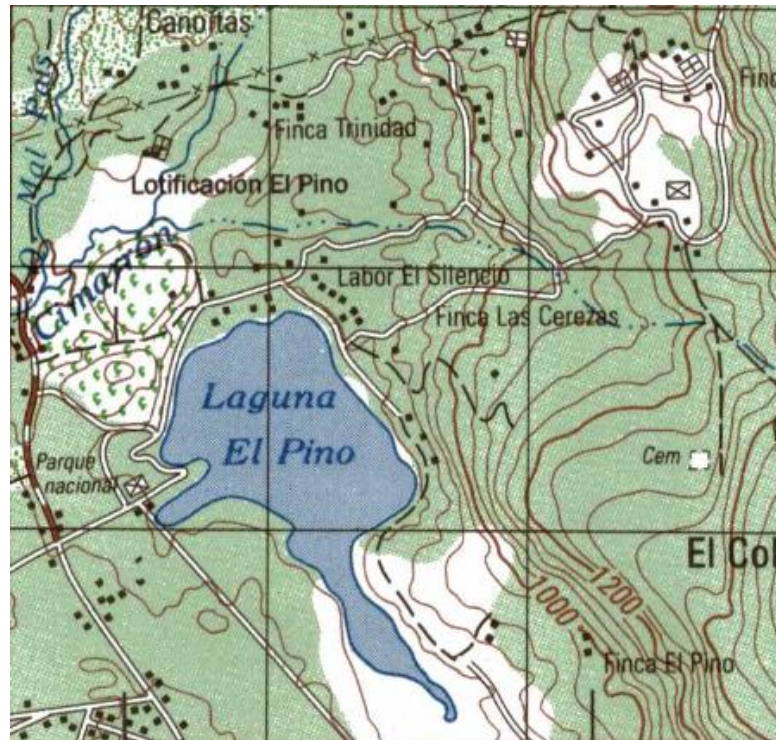
1.7. Descripción del área de estudio

La laguna El Pino políticamente se encuentra en la aldea El Cerinal, del municipio de Barberena, departamento de Santa Rosa. “La laguna es considerada como una cubeta de origen volcánico-técnico, situada en la cordillera volcánica del Pacífico, el área donde se encuentra posee baja intensidad sísmica”¹⁹. La laguna está ubicada dentro de la cuenca María Linda, sus coordenadas:

- Longitud norte 14° 60' 40" y 14° 21' 10"
- Longitud oeste 90° 21' 50" y 90' 24' 30"
- Altitud 1050 msnm

¹⁹ QUIJIVIX, E. *Propuesta de rescate ecológico, ampliación y remodelación parque nacional recreativo, laguna El Pino*. p. 4.

Figura 8. **Ubicación geográfica de laguna El Pino**



Fuente: Mapa cartográfico de Nueva Santa Rosa, escala 1:50 000.

El área de la cuenca y de la laguna El Pino cuenta con una extensión de 708,73 hectáreas y un espejo de agua registrado en el año 1959 de 72,5 hectáreas, este cuerpo de agua ha tenido variaciones en su extensión debido a las presiones que ha experimentado; en el 2002 el Arq. Quijivix estimó una razón de disminución de 0,76 has/año, de haberse mantenido este cambio, actualmente la laguna debería contar alrededor de 30 has, la tabla XII presenta las reducciones a través del tiempo.

Tabla XII. **Reducción en espejo de agua laguna El Pino**

Año	Espejo de agua
1959	72,5 Has.
1973	58,25 Has.
1991	42,6 Has
2002	34,24 Has.
Reducción total 2002	38,26 Has.
2014	29,14

Fuente: QUIJIVIX, Erick. *Propuesta de rescate ecológico, ampliación y remodelación Parque Nacional Recreativo, Laguna El Pino, 2002.* p. 4.

La reducción también se puede apreciar en la profundidad de la laguna, en 2002 esta tenía una profundidad entre 3,78 – 6,00; para el 2014 la profundidad oscila 2,70 – 4,20 m, esto debido a la acumulación de sedimentos en el fondo de la laguna, se adjudica al crecimiento descontrolado de plantas acuáticas como la hydrilla verticillata, que en algunas zonas se tiene reducciones casi totales. La profundidad de un cuerpo de agua está fuertemente ligada con la fertilidad del mismo, si disminuye la profundidad la capa fótica aumenta, aprovechando la cantidad de luz recibida, contribuyendo a la actividad fotosintética.

Dentro del área correspondiente al parque nacional se puede observar una parte que corresponde al bosque, que no es propio del lugar, por lo que se piensa que en algún momento fue introducido, la especie específicamente son pinos, y esencialmente el parque fue llamado así debido a la existencia de esta especie de árboles, según lo expresado por la población. “La clasificación de vida según Holdridge, la cuenca pertenece a bosques húmedo subtropical permontano”.²⁰

²⁰ VALENZUELA, R. *Caracterización ecológica de la cuenca laguna El Pino.* p 25.

El acceso a la laguna El Pino es a través de una carretera de terracería de 1,5 km desviada de la Carretera Interamericana (CA-1) que conduce hacia El Salvador, la distancia aproximada entre el parque nacional laguna El Pino y la capital del país es de 50 km, convirtiendo el lugar con fácil acceso para los turistas que disfrutan de la belleza que esta aporta.

Los poblados vecinos hacen lo propio, utilizando la laguna como recurso ante sus necesidades, el lugar está bastante cercano al casco urbano, pero la población sigue siendo catalogada como rural, debido a que desarrollan actividades agrícolas, pesca, oficios (herrería, carpintería, entre otros); observando una fracción de los poblados carecen de servicios de agua potable y eliminación de aguas residuales, utilizando el cuerpo de agua como recepción de fluidos proveniente de drenajes y al mismo tiempo captando agua para consumo humanos y desarrollo de sus actividades.

2. METODOLOGÍA

2.1. Visita preliminar

El punto inicial de la investigación fue proceder al reconocimiento de campo, obteniendo un contacto directo con el sitio de estudio, visualizando los lugares en donde se podrían ubicar las estaciones de muestreo, tomando en cuenta las condiciones con respecto a luz solar y recaudación de las muestras.

Se observó que la laguna tiene una gran abundancia de plantas acuáticas como tul y en la mayoría de su extensión hydrilla verticillata.

La visita fue realizada el día 29 de septiembre, en el cual se tomaron muestras del agua de la laguna de sitios cercanos al muelle, como finalidad de un premuestreo y determinar las especies presentes en el cuerpo de agua. Asimismo, se realizó la investigación de contacto de transporte acuático para realizar los futuros muestreos, en las fechas establecidas.

2.1.1. Recurso humano

- Investigadora: Inga. Mariela Yulissa Rodríguez García
- Colaboradora: Inga. Adriana Daniela Orozco Miranda
- Colaboradora: Licda. Lorena García

2.1.2. Equipo *in situ* premuestreo

- Red estándar para fitoplancton

- Recipientes con protección para luz solar
- Hielera
- Lugol al 10 %
- Cinta para rotular
- Cámara fotográfica

2.1.3. Estaciones de premuestreo

Las estaciones de premuestreo se ubicaron cerca del muelle de la laguna, con la finalidad de verificar las especies que presentes en este cuerpo de agua.

Figura 9. **Estaciones de premuestreo**



Fuente: Google Earth. (Consulta: 15 de octubre 2014).

2.1.4. Toma de muestras de premuestreo

La captación de muestras se realizó superficialmente, por medio de un método de arrastre, se recorrió una distancia aproximada de 3 m, tomando el volumen de 50 ml del recolector de la red, se repitió el procedimiento hasta concentrar una muestra de 250 ml.

Figura 10. **Toma de muestra (premuestrero)**



Fuente: Laguna El Pino (29 de septiembre del 2014).

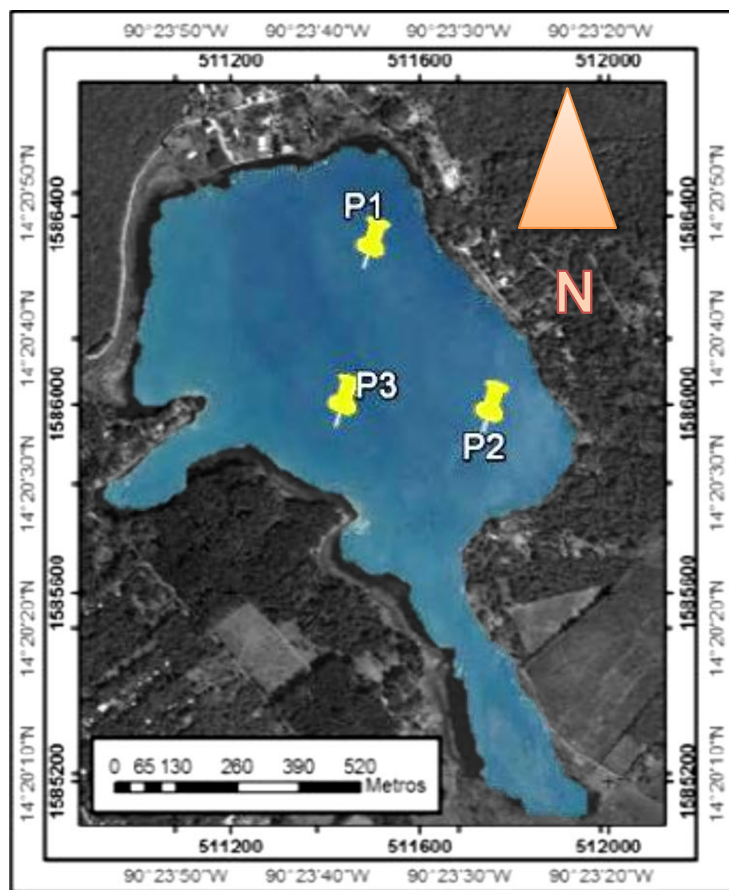
2.2. Estaciones de muestreo

Se establecieron tres estaciones de muestreo en forma representativa para la laguna, tomando en cuenta que debe haber una estrecha relación entre parámetros fisicoquímicos y el desarrollo de las poblaciones planctónicas, las estaciones se encuentran lo más cerca posible a las estaciones analizadas en el estudio *Caracterización fisicoquímica del agua de la laguna El Pino, ubicada entre los municipios de Barberena y Santa Cruz Naranjo del departamento de Santa Rosa, de la República de Guatemala* realizado en noviembre del 2014.

El presente estudio estratifica las estaciones de muestreo para realizar una evaluación en la zona fótica de la laguna, recolectando muestras a una profundidad de 0, 1 y 3 metros, asimismo, se complementa el estudio de las comunidades planctónicas con la toma de parámetros como transparencia, temperatura y la evaluación de concentración de nutrientes (nitratos y fosfatos).

En la figura 11 se pueden observar la ubicación de las estaciones y en la tabla XIII las coordenadas de cada estación.

Figura 11. **Estaciones de muestreo**



Fuente: Google Earth. (Consulta: 4 de noviembre 2014).

Tabla XIII. **Coordenadas de estaciones de muestreo**

Estación	Coordenadas
1	<ul style="list-style-type: none">• Latitud 14° 20' 47" N• Longitud 90° 23' 36" O
2	<ul style="list-style-type: none">• Latitud 14° 20' 32" N• Longitud 90° 23' 28" O
3	<ul style="list-style-type: none">• Latitud 14° 20' 33" N• Longitud 90° 23' 39" O

Fuente: elaboración propia.

2.3. Equipo *in situ* a utilizar

- Lancha con motor
- Hielera para transportar muestras
- Red de plancton estándar 75 µm
- 10 recipientes de 1 litro, cada uno con protección para luz solar (por visita)
- 10 recipientes para realizar análisis de nutrientes (por visita)
- Captador de muestras a profundidad
- Disco Secchi
- Lugol 10 %
- Sistema de posicionamiento global (GPS)
- Termómetro
- Etiquetas para recipientes.

2.4. Equipo de laboratorio

- Microscopio
- Cámara de conteo
- Pipeta

- Mechero
- Porta y cubre objetos
- Celdas
- Espectrofotómetro
- Reactivo Nitra ver
- Reactivo Fosver3
- Probeta

2.5. Toma de muestras *in situ*

Se realiza la captación de muestras para plancton y nutrientes en las estaciones establecidas, tanto superficialmente como 1 y 3 metros de profundidad. Recolectadas las muestras de plancton se les agregó 1 cm³ de Lugol para la preservación de los organismos captados.

Para las muestras superficiales de plancton la toma se realizó bajo un método de filtrado, haciendo pasar un volumen de 20 litros por la red de plancton de 75 micras, tomando el volumen de 50 ml del recolector de la red hasta concentrar 1L de muestra (ver figura 12); para las muestras a 1 y 3 metros, la toma es directa mediante un dispositivo (ver figura 13) que permite realizar la captación a dicha profundidad, el captador fue utilizado en el estudio *Caracterización fisicoquímica del agua de la laguna El Pino, ubicada entre los municipios de Barberena y Santa Cruz Naranjo del departamento de Santa Rosa, de la República de Guatemala* realizado en noviembre del 2014.

En cada estación se midió la transparencia por medio del disco Secchi (ver figura 14), la temperatura se midió en las muestras recolectadas para análisis de nutrientes (ver figura 15).

Figura 12. **Captación de muestras plancton superficial**



Fuente: Laguna El Pino (4 de noviembre 2014).

Figura 13. **Captación de muestras a profundidad**



Fuente: Laguna El Pino (4 de noviembre 2014).

Figura 14. **Medición de transparencia**



Fuente: Laguna El Pino (4 de noviembre 2014).

Figura 15. **Toma de temperatura en muestras**



Fuente: Laguna El Pino (4 de noviembre 2014).

2.6. Cantidad de muestras representativas

El número total de muestras debe ser representativo tal que la cantidad de estas que sean analizadas brinden datos representativos de las comunidades plantónicas encontradas en la laguna. Se debe tomar en cuenta que si se conoce la desviación estándar global, el número requerido de muestras puede ser establecido por la siguiente ecuación:

$$N \geq \left(\frac{t_s}{U}\right)^2$$

En donde:

N=número de muestras a tomar

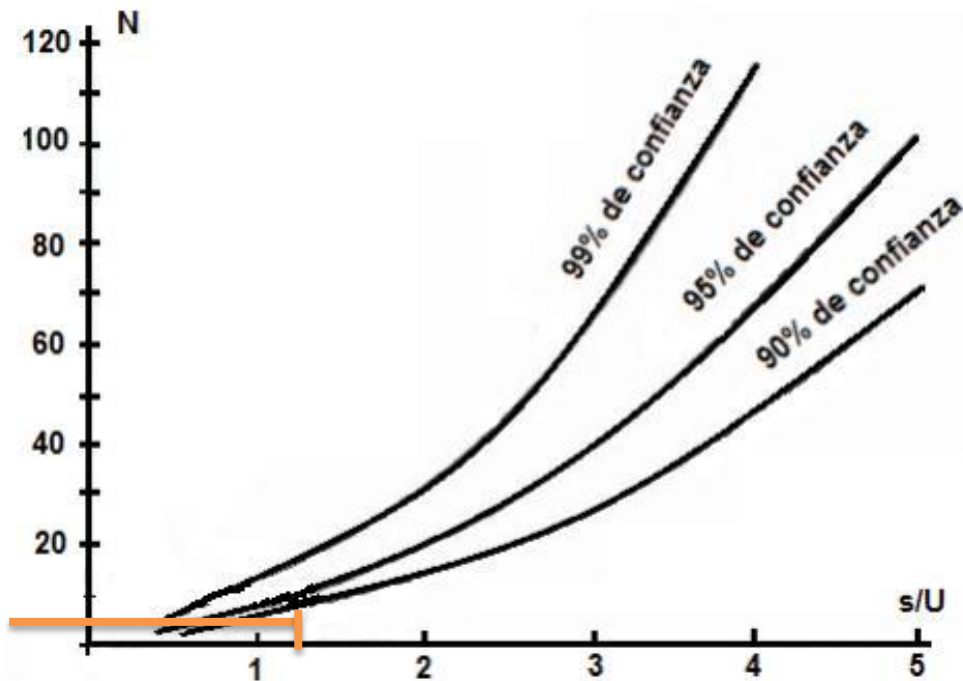
(t)= prueba t student para nivel de confianza

S= desviación estándar

U= nivel aceptable de incertidumbre

Para este caso se toma una desviación estándar igual a 0,02 y un nivel de confianza del de 0,016. La relación entre dos valores (s/U) es igual 1,25. Tomando un nivel de confianza a 90 %, con la ayuda de la gráfica mostrada en figura 16, brinda el número de muestras aproximado que se debe utilizar para la presente investigación siendo ≥ 5 muestras

Figura 16. **Número aproximado de muestras requeridas en la estimación de una concentración media**



Fuente: Standard Methods (figura 1060:1, p.1-21).

2.7. Métodos

Se presentan las metodologías utilizadas para la evaluación de los parámetros que plantea el estudio, indicando el procedimiento realizado tanto en campo como en laboratorio.

2.7.1. Análisis *in situ*

La temperatura y transparencia son parámetros que se deben medir en campo, para apreciar las condiciones en el momento del muestreo.

2.7.1.1. Temperatura

Se utilizará un termómetro de mercurio, el cual mide la temperatura a través de la dilatación del metal dependiendo de la temperatura del medio.

- **Procedimiento**

Se introduce el termómetro en el recipiente de la muestra extraída, dejándolo suspendido (sin que toque las paredes y el fondo) en el recipiente, manteniéndolo verticalmente, se espera un tiempo aproximado de 1 minuto, posteriormente se toma lectura de la temperatura.

2.7.1.2. Transparencia

Es un parámetro que permite visualizar la profundidad de la zona fótica de un cuerpo de agua, la cual depende de la turbiedad de la misma.

- **Procedimiento:**

El procedimiento radica en introducir al cuerpo de agua un disco circular de 20 cm, dividido en 4 regiones (2 blancas y 2 negras), atado a un cinta plástica con escala graduada en metros, se introduce lento y cuidadosamente se observa, la lectura es tomada cuando el disco se deja ser perceptible al ojo humano, la distancia es medida desde el nivel del agua superficial hacia el disco sumergido, se debe tomar una lectura cuando el disco desciende y otra cuando el disco asciende.

2.7.2. Análisis de laboratorio

Dentro de los parámetros evaluados en laboratorio se tiene el contenido de nutrientes y las especies de plancton.

2.7.2.1. Nutrientes

Los análisis de nutrientes presentes en la laguna El Pino son realizados en el Laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini Molina” de la ERIS, Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala; la determinación de la cantidad de nutrientes presentes en cada uno de los muestreos programados será bajo la metodología indicada por Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater de APHA (American Public Health Association), específicamente nitratos y fosfatos.

2.7.2.2. Plancton

El análisis de plancton se dividió en dos etapas, la primera incluye la determinación de especies que se encuentran en la laguna El Pino; la segunda etapa consiste en el conteo de organismos pertenecientes a cada especie identificada.

- Determinación de plancton

Para la determinación de plancton se realizan las lecturas con ayuda del microscopio y catálogos que funcionan como consulta ante los casos de especies presentes. (Ver apéndice 1 el equipo utilizado para la determinación de plancton)

- Procedimiento
 - Extraer la muestra del aparato de refrigeración para que esta tenga temperatura ambiente previa a ser analizada.
 - Tomar un portaobjetos y esterilizarlo por medio del mechero, seguidamente tomar una porción de la muestra con una pipeta, preferiblemente del fondo, donde se tiene sedimentado o

concentrados los organismos planctónicos, colocar la porción de la muestra en el portaobjetos.

- Colocar el cubreobjetos sobre la muestra contenida en el portaobjetos.
- Ubicar el portaobjetos en el microscopio, fijándolo apropiadamente, posteriormente proceder a examinar la muestra, de preferencia buscar con el objetivo de 10X para facilitar la búsqueda y al ubicar algún organismo ampliar con el objetivo 40X.
- Identificado algún organismo proceder a tomar la fotografía para documentar la presencia y buscar en los catálogos existentes la especie y clase a la que pertenece, según las características presentadas.

- **Conteo de organismos de plancton**

Para el conteo de plancton se utiliza la metodología indicada por Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater de APHA(American Public Health Association). (Ver en apéndice 1 el equipo utilizado en procedimiento de conteo de organismos de plancton)

- **Procedimiento**

- Extraer la muestra del aparato de refrigeración para que esta tenga temperatura ambiente previa a ser analizada.
- Homogeneizar la muestra cuidadosamente, agitando levemente (para evitar dañar los organismos contenidos), antes de extraer la porción de muestra para el conteo de células presentes.
- Extraer la porción de la muestra (1 ml) a través de una pipeta.

- Colocar el cubreobjetos de forma diagonal sobre la cámara, a medida que se coloca la porción de muestra, el cubre objetos se va acomodando, se realiza de esta forma para evitar burbujas de aire; la muestra debe ser colocada de forma continua para evitar que se puedan generar burbujas de aire, si por algún motivo se forma una burbuja, retirar la muestra de la cámara y volver a introducir esta en su totalidad hasta que no se tengan burbujas de aire que dificulten la lectura.
- Colocar la cámara de conteo en el microscopio, fijar cuidadosamente y proceder al conteo.
 - ✓ Contar en filas (1 tira ancho de 50 mm, 1 mm profundidad) una tira al principio, una intermedia y una al final de la cámara (se contó fila 2, 9 y 19).
 - ✓ En muestras con baja población de organismos planctónicos el conteo se puede realizar tomando en cuenta el total de la cámara.
 - ✓ Si hay un organismo dividido en una parte de la rejilla debe ser contado en la fila en la cual tenga la mayor proporción (80 %) de su cuerpo.
 - ✓ Los organismos que se presenten en colonias, estas deben estar bien definidas para ser tomadas en cuenta.
 - ✓ Los organismos para ser contados deben estar completos.
- Realizar tres conteos de organismos planctónicos por cada muestra que se desee analizar, para obtener una confirmación de datos.

- Para estimar la cantidad de organismos por cada mililitro se realiza por medio de la siguiente ecuación:

$$No/ml = \frac{C*1000mm^3}{L*D*W*S}$$

Ecuación 1

Donde:

C: número de organismos contados.

L: longitud de cada tira (50 mm).

D: profundidad de cada tira (1 mm)

W: ancho de tira (1mm)

S: número de tiras contadas (recomendable 3 tiras)

Multiplicar o dividir el número de células por mililitro por el factor de corrección para ajustar por dilución o concentración.

Ver apéndice 4, se presenta un ejemplo del formato que se utilizó para realizar el conteo de organismos.

3. RESULTADOS

3.1. Premuestreo

Dentro de las especies encontradas en el premuestreo se tiene especies que pertenecen más a la zona litoral de la laguna que a la zona planctónica. El premuestreo fue realizado el 1 de septiembre del 2014.

Tabla XIV. **Plancton encontrado en premuestreo**

Fitoplancton	Especie
Cianofíceas	<i>Anabaena sp</i> <i>Cylindrospermum sp</i> <i>Oscillatoria</i>
Clorofitas	<i>Scenedesmus sp</i> <i>Volvox sp</i>
Diatomeas	<i>Fragillaria sp</i> <i>Navicula sp</i>
Dinoflageladas	<i>Ceratium</i>
Zooplancton	Especie
Copépodos	

Fuente: elaboración propia.

3.2. Muestreos

Los muestreos iniciaron en noviembre de 2014 cuando finalizaba la época de invierno, en las tablas XV a XVIII se detallan las fechas en que se realizó cada muestreo.

3.2.1. Fisicoquímico

En la tabla XV se muestran los resultados de la transparencia en los 5 muestreos; en la tabla XVI los resultados de temperatura; en la tabla XVII los resultados de nitratos; en la tabla XVIII los resultados de fosfatos.

Tabla XV. **Transparencia durante estudio**

TRANSPARENCIA (m)						
Muestreos	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	Media
Fecha	04/11/2014	13/11/2014	22/01/2015	06/02/2015	20/02/2015	
P-1	1,85	2,25	3,35	5,55	2,55	3,11
P-2	1,60	2,65	4,45	2,90	3,65	3,05
P-3	1,95	2,95	3,90	3,00	3,05	2,97
Media	1,80	2,62	3,90	3,82	3,04	3,04

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVI. **Temperatura durante estudio**

TEMPERATURA °C						
Muestreos	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	Media
Fecha	04/11/2014	13/11/2014	22/01/2015	06/02/2015	20/02/2015	
P1-0	27,50	27,00	24,00	23,00	23,00	24,90
P1-1	26,50	26,00	23,50	22,00	23,00	24,20
P1-3	25,00	24,50	22,80	22,00	22,00	23,26
P2-0	26,00	26,50	24,00	23,00	23,00	24,50
P2-1	26,00	25,00	23,00	23,00	23,00	24,00
P2-3	25,00	25,00	22,90	23,00	23,00	23,78
P3-0	27,00	27,00	23,90	23,00	23,00	24,78
P3-1	26,00	25,00	23,00	23,00	23,00	24,00
P3-3	26,00	24,00	23,00	22,00	23,00	23,60
Media	26,11	25,56	23,34	22,67	22,89	24,11

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Nitratos durante estudio**

NITRATOS (mg/l)						
Muestruos	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	Media
Fecha	04/11/2014	13/11/2014	22/01/2015	06/02/2015	20/02/2015	
P1-0	5,28	7,04	7,92	4,84	11,44	7,30
P1-1	7,04	6,60	8,80	6,16	9,24	7,56
P1-3	7,92	7,48	3,08	7,48	7,48	6,68
P2-0	4,84	5,28	4,40	8,36	5,72	5,72
P2-1	7,48	6,60	3,52	8,80	10,56	7,39
P2-3	3,96	11,00	6,16	4,84	6,60	6,51
P3-0	3,96	12,32	7,48	9,24	9,68	8,53
P3-1	8,36	8,80	7,92	7,04	15,40	9,50
P3-3	5,28	7,04	5,72	12,32	7,04	7,48
Media	6,01	8,02	6,11	7,68	9,24	7,41

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVIII. **Fosfatos durante estudio**

FOSFATOS(mg/l)						
Muestruos	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	Media
Fecha	04/11/2014	13/11/2014	22/01/2015	06/02/2015	20/02/2015	
P1-0	0,59	0,68	0,35	0,23	0,57	0,48
P1-1	0,99	0,75	0,22	0,61	2,08	0,93
P1-3	0,30	0,70	0,49	0,35	0,78	0,52
P2-0	0,60	0,63	0,20	0,21	2,61	0,85
P2-1	0,61	0,29	0,12	0,63	1,72	0,67
P2-3	0,66	0,43	0,53	0,24	0,40	0,45
P3-0	1,06	0,58	0,72	0,49	0,66	0,70
P3-1	0,36	0,29	0,40	0,26	2,65	0,79
P3-3	0,29	0,15	0,30	0,28	0,83	0,37
Media	0,61	0,50	0,37	0,37	1,37	0,64

Fuente: elaboración propia.

3.2.2. Especies de plancton

En la tabla XIX y XX se presenta una lista de las especies planctónicas encontradas, en el apéndice 2 se puede observar las imágenes de cada especie. En el apéndice 3 se presenta imágenes de especies que no pudieron ser identificadas.

Tabla XIX. **Fitoplancton determinado**

FITOPLANCTON		
Cianofitas		
1	<i>Anabaena</i>	<i>Anabaena Azollae</i>
2		<i>Anabaena Torulosa</i>
3	<i>Coelosphaerium</i>	
4	<i>Closterium</i>	<i>Closterium Dianae</i>
5		<i>Closterium Acutum</i>
6	<i>Merismopedia</i>	
Clorofitas		
7	<i>Actinotaenium Permitum</i>	
8	<i>Chroococcus</i>	
9	<i>Coelastrum</i>	<i>Coelastrum Reticulatum</i>
10	<i>Coenochoris</i>	
11	<i>Cosmarium</i>	<i>Cosmarium Margaritatum</i>
12		<i>Cosmarium Moliforme</i>
13		<i>Cosmarium Botrytis</i>
14		<i>Cosmarium Contractum</i>
15		<i>Cosmarium Bioculatum</i>
16	<i>Elakatothrix Gelatinosa</i>	
17	<i>Euastrum</i>	<i>Euastrum Binale</i>
18		<i>Euastrum Denticulatum</i>
19		<i>Euastrum Elegans</i>
20	<i>Gloeocystis</i>	
21	<i>Micrasterias</i>	<i>Micrasteria Rotata</i>
22		<i>Micrasteria Foliacea</i>
23		<i>Micrasteria Furcata</i>
24	<i>Mougeotia</i>	
25	<i>Oocystis</i>	
26	<i>Planktosphaeria</i>	

Continuación de la tabla XIX.

Clorofitas		
27	<i>Scenedesmus</i>	
28	<i>Selenastrum</i>	
29	<i>Staurastrum</i>	<i>Stauradesmus Cuspidatus</i>
30		<i>Staurastrum Alternans</i>
31		<i>Staurastrum Dispar</i>
32		<i>Staurastrum Gracile</i>
33		<i>Staurastrum Orbiculare</i>
34		<i>Staurastrum Planctonicum</i>
35		<i>Staurastrum Victoriense</i>
36	<i>Ulotrix</i>	
37	<i>Volvox</i>	
Diatomeas		
38	<i>Cyclotella</i>	
39	<i>Cilindrotheca Closterium</i>	
40	<i>Cymbella</i>	
41	<i>Epithemia</i>	
42	<i>Fragillaria</i>	<i>Fragillaria A</i>
43		<i>Fragillaria B</i>
44		<i>Fragillaria Sp</i>
45		<i>Fragillaria Pinnata</i>
46		<i>Fragillaria Vaucheria</i>
47	<i>Navicula</i>	
48	<i>Nitzchia</i>	<i>Nitzchia</i>
49		<i>Nitzchia Acicularis</i>
50	<i>Pinnularia</i>	
Dinoflageladas		
51	<i>Ceratium</i>	
52	<i>Perinidium</i>	
Eustigmatophyta		
53	<i>Pseudostaurastrum Limneticum</i>	
Xantophyceae (verde amarillas)		
54	<i>Tribonema</i>	<i>Tribonema sp</i>
55		<i>Tribonema utriculosum</i>
Crisofíceas (algas pardas)		
56	<i>Uroglenopsis</i>	
Criptophyceae		
57	<i>Criptomonas</i>	

Fuente: elaboración propia.

Tabla XX. **Zooplancton determinado**

Zooplancton		
Protozoos		
58		<i>Halteria</i>
59	<i>Ciliados</i>	<i>Holophrya</i>
60		<i>Strobilidium</i>
61	<i>Lepocinclis Salina</i>	
Rotíferos		
62	<i>Filinia</i>	
63	<i>Hexarthra</i>	
64	<i>Polyarthra</i>	
Cladóceros		
65	<i>Daphnia</i>	
66	<i>Diaphanosoma</i>	
Copépodos		
67	<i>Ciclopoida</i>	<i>Acanthocyclops</i>
68	<i>Calanoida</i>	* <i>Diaptomus</i>
69		* <i>Larva Nauplius</i>
70	<i>Ostrácodo</i>	

Fuente: elaboración propia.

3.3. Estado trófico según comunidades planctónicas

En la tabla XXI y XXII se enlistan las especies halladas y el estado trófico en el cual se pueden desarrollar.

Tabla XXI. **Estado trófico para el desarrollo de fitoplancton**

FITOPLANCTON			
Cianofitas			Estado trófico (hábitat)
1	<i>Anabaena</i>	<i>Anabaena Azollae</i>	Eutrófico
2		<i>Anabaena Torulosa</i>	Eutrófico
3	<i>Coelosphaerium</i>		Mesotrófico
4	<i>Closterium</i>	<i>Closterium Dianae</i>	Oligotrófico

Continuación de la tabla XXI.

	Cianofitas		<i>Estado trófico (hábitat)</i>
5	<i>Closterium</i>	<i>Closterium Acutum</i>	Oligo – Eutrófico
6	<i>Merismopedia</i>		Mesotrófico
Clorofitas			
7	<i>Actinotaenium permitum</i>		Oligotrófico
8	<i>Chroococcus</i>		Oligo y Mesotrófico
9	<i>Coelastrum</i>	<i>Coelastrum Reticulatum</i>	Eutrófico
10	<i>Coenochoris</i>		*N.D.
11	<i>Cosmarium</i>	<i>Cosmarium Margaritatum</i>	Oligotrófico
12		<i>Cosmarium Moliforme</i>	*N.D.
13		<i>Cosmarium Botrytis</i>	Mesotrófico
14		<i>cosmarium Contractum</i>	Oligo – Mesotrófico
15		<i>Cosmarium Bioculatum</i>	*N.D.
16	<i>Elakatothrix Gelatinosa</i>		Meso - Eutrófico
17	<i>Euastrum</i>	<i>Euastrum Binale</i>	Oligotrófico
18		<i>Euastrum Denticulatum</i>	*N.D.
19		<i>Euastrum Elegans</i>	*N.D.
20	<i>Gloeocystis</i>		*N.D.
21	<i>Micrasterias</i>	<i>Micrasteria Rotata</i>	Oligo – Mesotrófico
22		<i>Micrasteria Foliacea</i>	Oligo – Mesotrófico
23		<i>Micrasteria Furcata</i>	Oligo – Mesotrófico
24	<i>Mougeotia</i>		Oligo – Mesotrófico
25	<i>Oocystis</i>		Eutrófico
26	<i>Planktosphaeria</i>		Oligo – Eutrófico
27	<i>Scenedesmus</i>		Eutrófico
28	<i>Selenastrum</i>		Oligotrófico
29	<i>Stauradesmus</i>	<i>Stauradesmus cuspidatus</i>	Eutrófico
30	<i>Staurastrum</i>	<i>Staurastrum alternans</i>	Mesotrófico
31		<i>Staurastrum Dispar</i>	Mesotrófico
32		<i>Staurastrum Gracile</i>	Oligo – Mesotrófico
33		<i>Staurastrum Orbiculare</i>	Mesotrófico
34		<i>Staurastrum Planctonicum</i>	Mesotrófico
35		<i>Staurastrum Victoriense</i>	Mesotrófico
36		<i>Ulotrix</i>	
37	<i>Volvox</i>		Oligo – Mesotrófico
Diatomeas			
38	<i>Cyclotella</i>		Eutrófico
39	<i>Cilindrotheca Closterium</i>		*N.D.
40	<i>Cymbella</i>		Oligo – Mesotrófico

Continuación de la tabla XXI.

	Diatomeas		<i>Estado trófico (hábitat)</i>
41	<i>Epithemia</i>		Oligo – Mesotrófico
42	<i>Fragillaria</i>	<i>Fragillaria A</i>	Oligo – Eutrófico
43		<i>Fragillaria B</i>	Oligo – Eutrófico
44		<i>Fragillaria Sp</i>	Oligo – Eutrófico
45		<i>Fragillaria Pinnata</i>	Oligo – Eutrófico
46		<i>Fragillaria Vaucheria</i>	*N.D.
47	<i>Navicula</i>		Oligo – Mesotrófico
48	<i>Nitzchia</i>	<i>Nitzchia</i>	Meso – Eutrófico
49		<i>Nitzchia Acicularis</i>	Meso – Eutrófico
50	<i>Pinnularia</i>		Oligo – Mesotrófico
Dinoflageladas			
51	<i>Ceratium</i>		Oligo – mesotrófico
52	<i>Perinidium</i>		Mesotrófico
Eustigmatophyta			
53	<i>Pseudostaurastrum limneticum</i>		Eutrófico
Xanthophyceae (verde amarillas)			
54	<i>Tribonema</i>	<i>Tribonema sp</i>	Oligo – Mesotrófico
55		<i>Tribonema Utriculosum</i>	Oligo – Mesotrófico
Crisofíceas (algas pardas)			
56	<i>Uroglenopsis</i>		*N.D.
Criptophyceae			
57	<i>Criptomonas</i>		*N.D.
*N.D. = ningún dato			

Fuente: elaboración propia.

Tabla XXII. Estado trófico para el desarrollo de zooplancton

Zooplancton			
Protozoos			Estado trófico (hábitat)
58		<i>Halteria</i>	Oligo – Mesotrófico
59	<i>Ciliados</i>	<i>Holophrya</i>	*N.D.
60		<i>Strobilidium</i>	Eutrófico
61	<i>Lepocinclis Salina</i>		*N.D.
Rotíferos			
62	<i>Filinia</i>		Eutrófico
63	<i>Hexarthra</i>		Eutrófico
64	<i>Polyarthra</i>		Eutrófico
Cladóceros			
65	<i>Daphnia</i>		Mesotrófico
66	<i>Diaphanosoma</i>		Mesotrófico
Copépodos			
67	<i>Ciclopoida</i>	<i>Acanthocyclops</i>	Oligo - Mesotrófico
68	<i>Calanoida</i>	* <i>Diaptomus</i>	Oligo - Mesotrófico
69		* <i>Larva Nauplius</i>	Oligo - Mesotrófico
70	<i>Ostrácodo</i>		*N.D.
*N.D. = ningún dato			

Fuente: elaboración propia.

3.4. Clasificación para fitoplancton de Terrell & Bytnar

En la tabla XXII se presenta la clasificación de las especies de fitoplancton según los criterios de Terrell & Bytnar que describen el ambiente propio de estas.

Tabla XXIII. Clasificación para fitoplancton de Terrell & Bytnar

FITOPLANCTON									
Cianofitas			A	B	C	D	E	F	G
1	Anabaena	Anabaena Azollae		*	*			*	
2		Anabaena Torulosa			*			*	
3	Coelosphaerium			*				*	
4	Closterium	Closterium Dianae	*			*		*	
5		Closterium Acutum	*	*				*	
6	Merismopedia							*	
Clorofitas									
7	Actinotaenium	permitum					*		
8	Chroococcus							*	
9	Coelastrum	Coelastrum Reticulatum		*					
10	Coenochoris							*	
11	Cosmarium	Cosmarium Margaritatum				*			
12		Cosmarium Moliforme						*	
13		Cosmarium Botrytis		*				*	
14		cosmarium Contractum		*				*	
15		Cosmarium Bioculatum						*	
16	Elakatothrix	Gelatinosa		*				*	
17	Euastrum	Euastrum Binale				*			
18		Euastrum Denticulatum						*	
19		Euastrum Elegans						*	
20	Gloeocystis							*	
21	Micrasterias	Micrasteria Rotata				*		*	
22		Micrasteria Foliacea				*			
23		Micrasteria Furcata				*			
24	Mougeotia			*					
25	Oocystis			*					
26	Planktosphaeria			*					
27	Scenedesmus		*	*					
28	Selenastrum					*			
29	Stauradesmus	Stauradesmus Cuspidatus		*					
30	Staurastrum	Staurastrum Alternans						*	
31		Staurastrum Dispar						*	
32		Staurastrum Gracile						*	
33		Staurastrum Orbiculare				*			
34		Staurastrum Planctonicum						*	
35		Staurastrum Victoriense						*	
36	Ulotrix					*			
37	Volvox		*					*	

Continuación de la tabla XXIII.

		Diatomeas						
		A	B	C	D	E	F	G
38	<i>Cyclotella</i>	*	*					
39	<i>Cilindrotheca Closterium</i>		*					
40	<i>Cymbella</i>			*	*			
41	<i>Epithemia</i>			*	*			
42	<i>Fragillaria</i>		*				*	
43			*				*	
44			*				*	
45			*				*	
46								*
47	<i>Navicula</i>				*			
48	<i>Nitzchia</i>		*					
49			*					
50	<i>Pinnularia</i>							
Dinoflageladas								
51	<i>Ceratium</i>	*			*		*	
52	<i>Perinidium</i>	*			*		*	
Eustigmatophyta								
53	<i>Pseudostaurastrum Limneticum</i>		*				*	
Xantophyceae (verde amarillas)								
54	<i>Tribonema</i>				*		*	
55					*		*	
Crisofíceas (algas pardas)								
56	<i>Uroglenopsis</i>						*	
Criptophyceae								
57	<i>Criptomonas</i>						*	
<p>A: Algas generadoras de olor B: Algas propias de aguas contaminadas C: Algas propias de aguas retenidas D: Aguas propias de agua limpia E: Algas que crecen sobre paredes F: Algas plantónicas y de aguas superficiales G: Algas propias de estuarios contaminados</p>								

Fuente: elaboración propia.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El estudio se basó en 3 estaciones donde se consideró que había una profundidad adecuada para clasificar los grupos taxonómicos como planctónicos, excluyendo las comunidades de las zonas litorales y bentónicas; la profundidad de la laguna se ve reducida en la época de verano y tomando en cuenta la transparencia para la zona fótica del cuerpo de agua, se estratificó la toma de muestras en 0 metros, 1 metro y 3 metros.

4.1. Físicoquímico

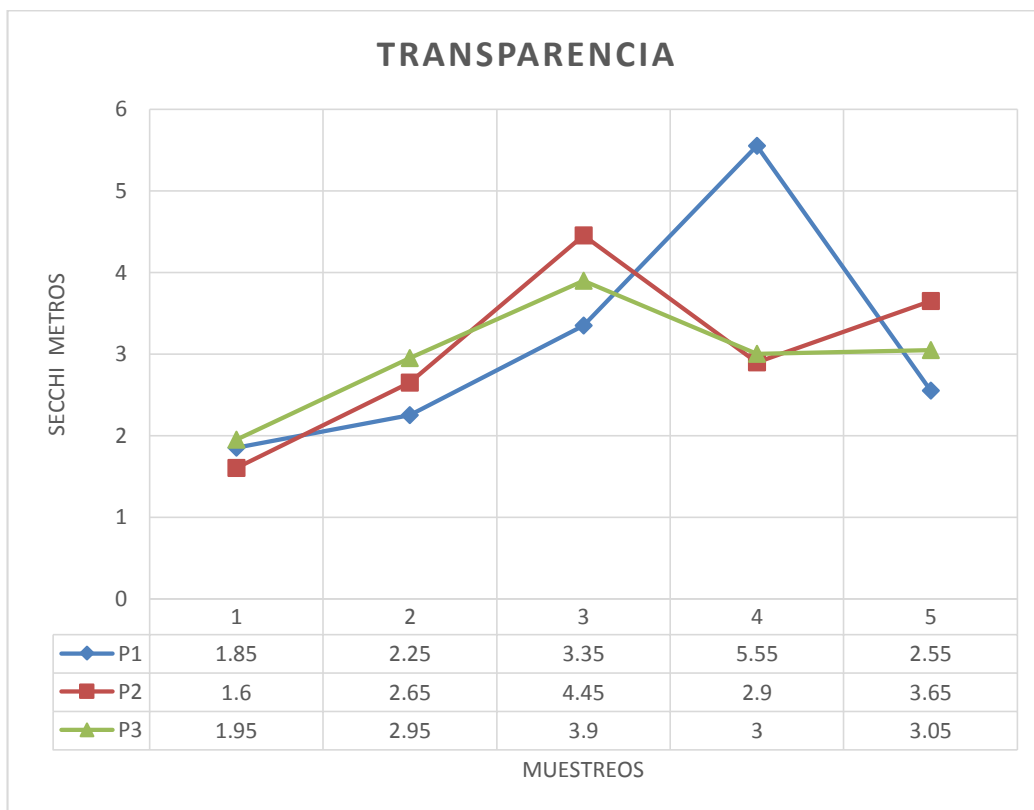
Dentro de los análisis físicoquímicos para este estudio se contempló la contribución de nutrientes (nitratos y fosfatos), transparencia y la temperatura en el periodo de evaluación.

4.1.1. Transparencia

El comportamiento de la transparencia de las 3 estaciones durante el estudio se muestra en la figura 17; a medida que transcurre la investigación los valores incrementaron, en el muestreo 1 se registraron valores menores a 2 m en las 3 estaciones, los valores más altos se registran en el muestreo 4 con una transparencia de 5,55 m en la estación 1, pero se debe considerar que la medición se vio afectada por las condiciones ambientales, aun con ese dato en el muestreo 3 se tiene una mayor transparencia media con un valor de 3,90 m.

Las condiciones ambientales como la nubosidad, el viento y lanchas con motor complican la lectura de la transparencia, los últimos dos evitan la sedimentación de partículas suspendidas, por consiguiente impiden el paso de la luz a una mayor profundidad, de los factores externos previamente mencionados el más incidente fue el viento, ya que no se observó dispositivos con motor al realizar las mediciones y la nubosidad no afectó debido a que todos los días estaban soleados.

Figura 17. **Variación de transparencia durante estudio**

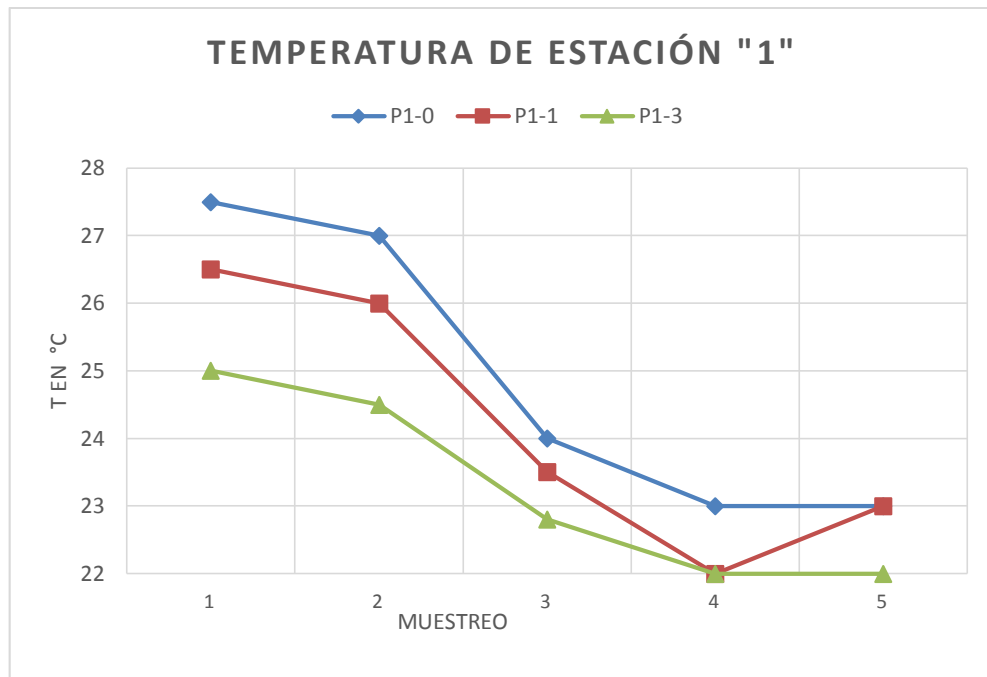


Fuente: elaboración propia.

4.1.2. Temperatura

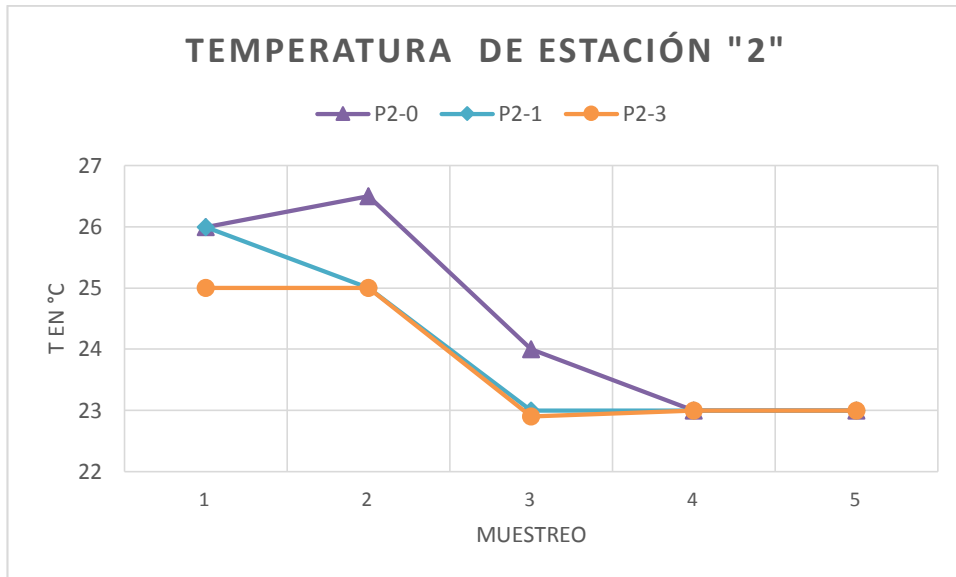
El comportamiento de la temperatura se muestra en las figuras 18 - 20, durante el tiempo de estudio la temperatura mantiene un patrón de descenso en las 3 estaciones analizadas, consecuentemente las temperaturas más altas se registran al inicio del estudio en noviembre 2014 con valores medios de 26,11 °C.

Figura 18. Variación de temperatura estación 1



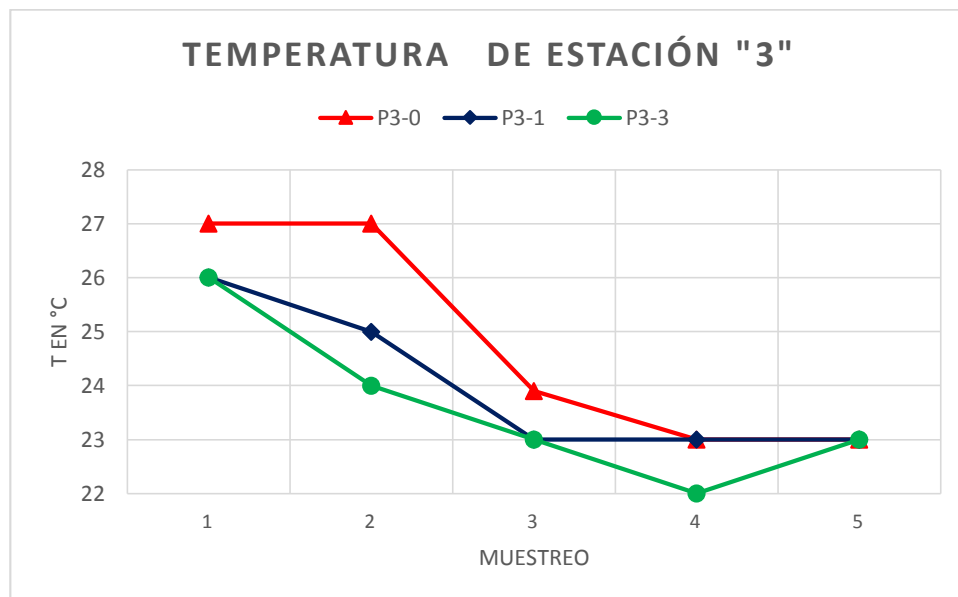
Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Variación de temperatura estación 2



Fuente: elaboración propia.

Figura 20. Variación de temperatura estación 3



Fuente: elaboración propia.

En la estación 1 al inicio se puede observar una estratificación térmica estrechamente relacionada con la profundidad, es decir, mayor temperatura en la parte superficial (27,5 °C a 0 m) y a medida que la profundidad aumenta la temperatura desciende (25 °C a 3 m), este escenario se mantiene hasta el muestreo 3, en los muestreos 4 y 5 la temperatura se mantiene constante en 23 °C sin importar la profundidad eliminando la estratificación térmica.

En el caso de las estación 2 la estratificación térmica se puede observar con respecto a dos puntos: el superficial (0 m) con una temperatura de 26 °C y el punto de estudio más profundo a 3 m con una temperatura de 25 °C, este escenario se mantiene hasta el muestreo 3; para los muestreos 4 y 5 la temperatura es constante en la columna de agua observada, es decir, no importa la profundidad la temperatura sigue siendo de 23 °C.

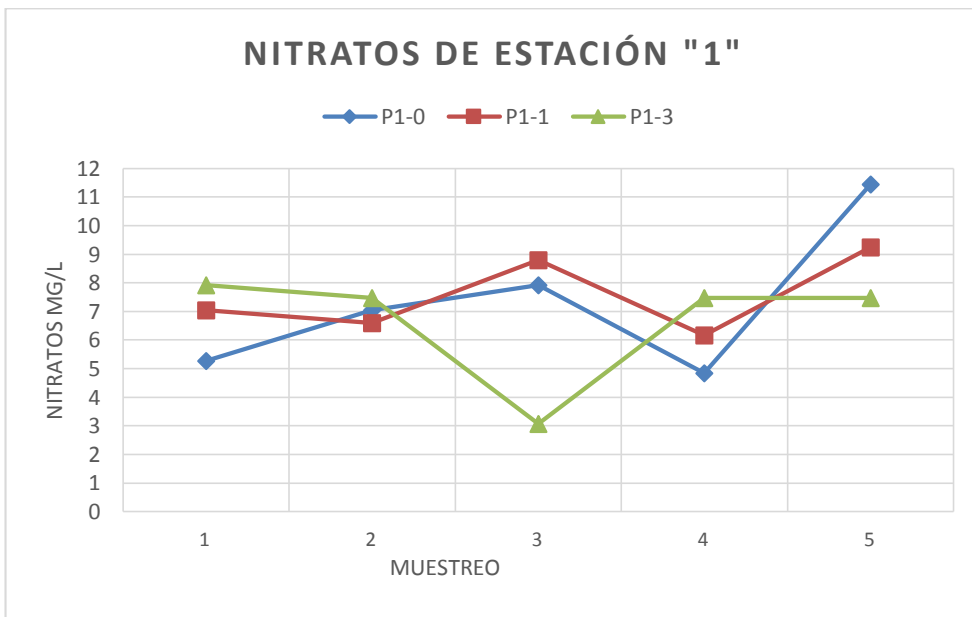
En la estación 3 se observa un caso similar a la estación 2, se nota un cambio de temperatura entre el punto superficial (0 m) con temperatura de 23 °C y el punto a 3 m de profundidad con temperatura de 22 °C, la diferencia aproximada es de 1 °C en los muestreos 1, 3 y 4; en el caso del muestreo 2 se puede ver una estratificación térmica haciéndose notar un cambio en todos los puntos observados en la columna de agua; en el muestreo 5 la temperatura es de 23 °C en todo los puntos de estudio.

El comportamiento de la temperatura va ligado a la transición de la época del año, mayores temperaturas en noviembre que en febrero, en los meses siguientes se debe esperar un ascenso en la temperatura por la llegada del verano.

4.1.3. Nitratos

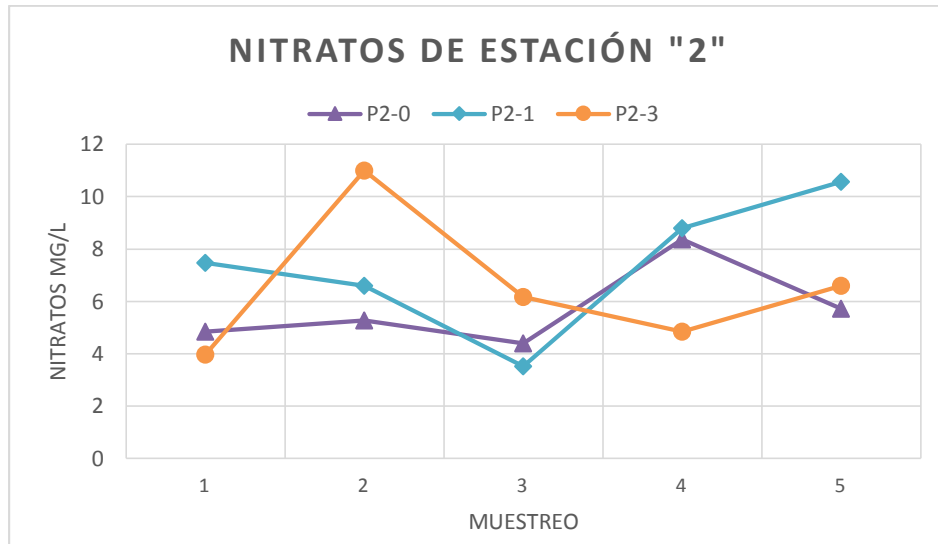
El comportamiento de los nitratos durante el estudio se muestra en las figuras 21 – 23, la conducta es ascendente durante el estudio en las 3 estaciones evaluadas, haciéndose notar que la estación 3 está más cercana a la zona litoral de la laguna y la que cuenta con una menor profundidad debido a la proliferación de una planta acuática (*hydrilla verticillata*), precisamente es donde se registra valores medios más altos de nitratos (7,48 – 9,50 mg/l).

Figura 21. Variación de nitratos estación 1



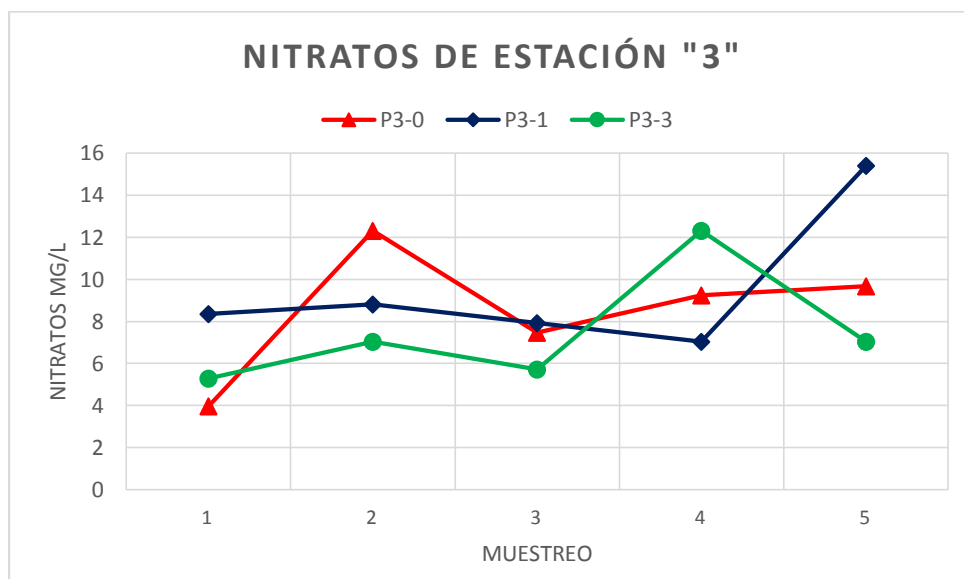
Fuente: elaboración propia.

Figura 22. Variación de nitratos estación 2



Fuente: elaboración propia.

Figura 23. Variación de nitratos estación 3



Fuente: elaboración propia.

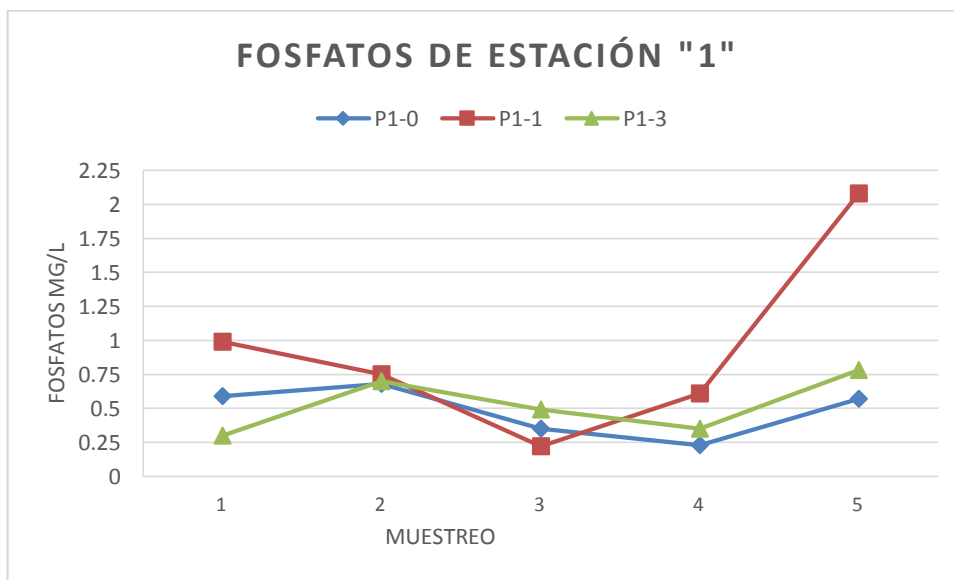
Por su parte la estación 1 está situada en el área más poblada a las orillas de la laguna y se representa al obtener valores medios (6,58 – 7,30 mg/l) durante el estudio; la estación 2 tiene baja accesibilidad de carácter antropogénica registrando los valores más bajos oscilando (5,72 mg/l a 7,39 mg/l).

Durante el estudio los valores de nitratos se mantienen por debajo de los 10 mg/l, pero algunos datos esporádicamente sobrepasan dicho valor por lo que presume que son situaciones especiales.

4.1.4. Fosfatos

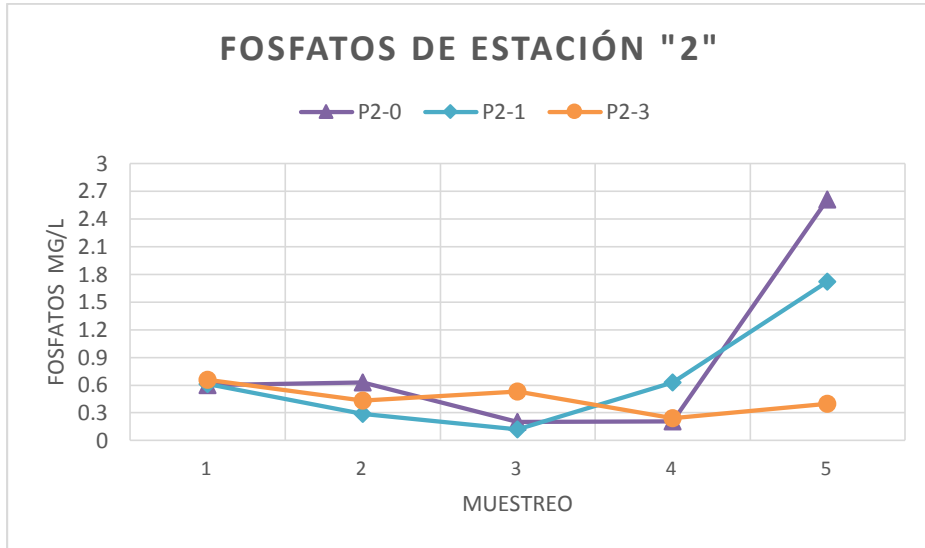
El comportamiento de los fosfatos durante el periodo de estudio se muestra en las figuras 24 – 26.

Figura 24. Variación de fosfatos estación 1



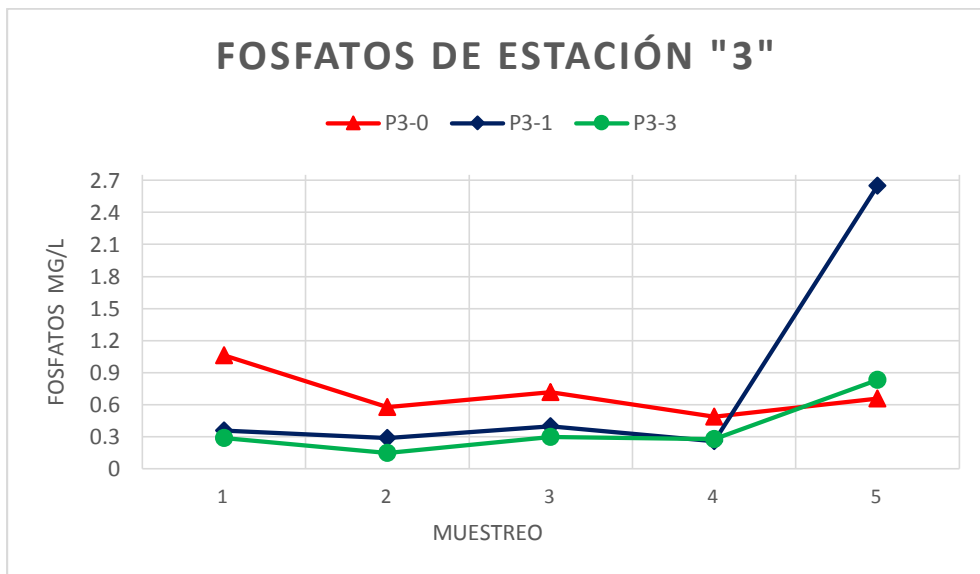
Fuente: elaboración propia.

Figura 25. Variación de fosfatos estación 2



Fuente: elaboración propia.

Figura 26. Variación de fosfatos estación 3



Fuente: elaboración propia.

Los fosfatos tienen un comportamiento similar en las 3 estaciones durante el estudio, la mayoría de los puntos analizados tienen valores menores a 1 mg/l, a excepción del muestreo 5 donde se observan valores excedentes a los 2 mg/l, para la estación 1 el valor máximo se encuentra a 1 m de profundidad con 2,08 mg/l; en la estación 2 su valor máximo se encuentra en el punto superficial (0 m) con 2,68 mg/l; en la estación 3 el valor máximo se encuentra en a 1 m de profundidad con 2,65 mg/l.

Los valores de nitratos exceden por mucho los valores de fosfatos, algunas ocasiones doblando en otras hasta 10 veces los valores; si se incrementan los valores del fósforo disuelto, tomando en cuenta que es un elemento fundamental para la generación de comunidades plantónicas, la composición puede tener variaciones desfavorables para este cuerpo de agua.

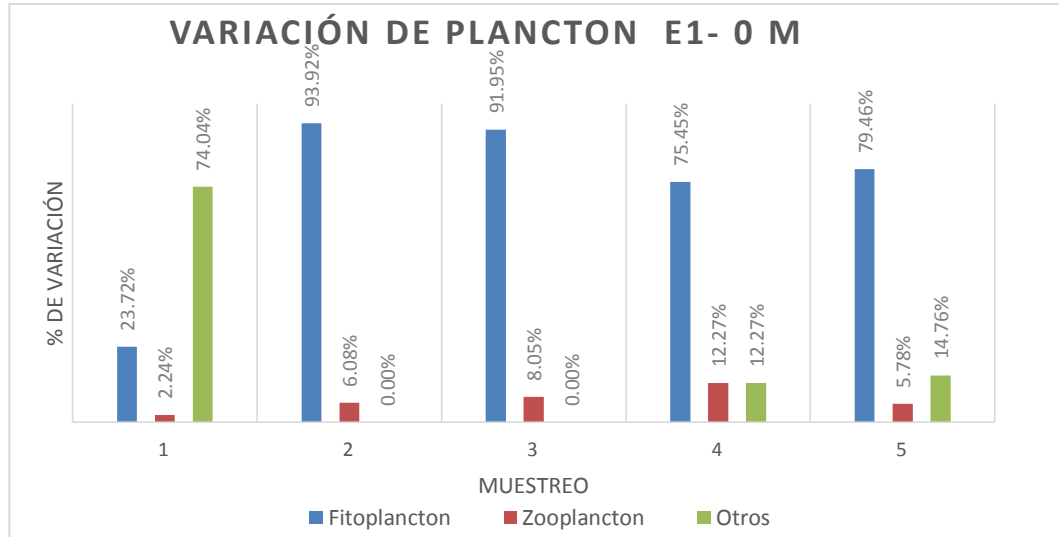
4.2. Plancton

Se presenta la variación y composición de plancton, la diversificación y presencia de especies que conforman el fitoplancton y zooplancton.

4.2.1. Variación de plancton

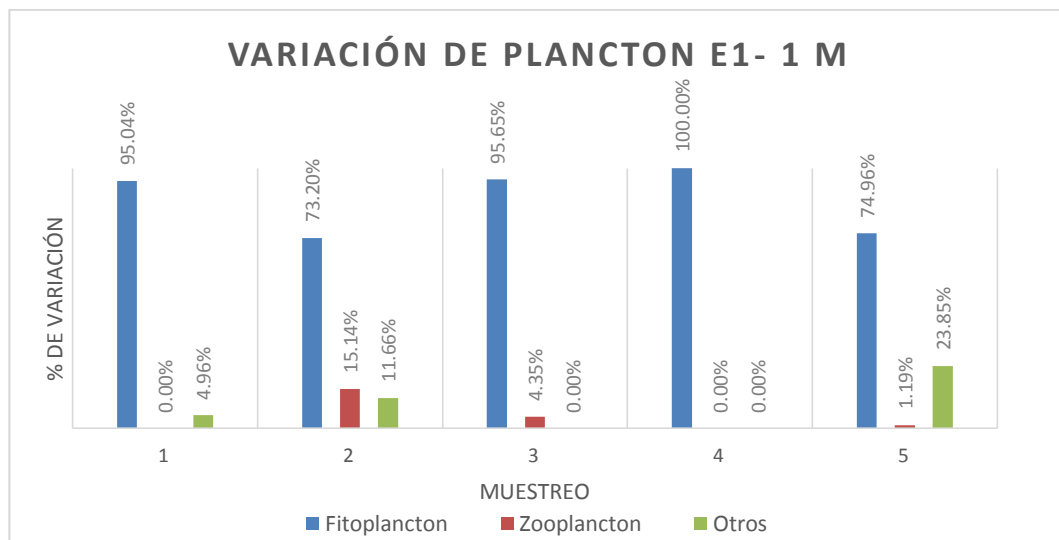
En las figuras 27 a 35 se muestra el comportamiento de plancton conformado por fitoplancton, zooplancton y otros (especies sin identificar) en cada uno de los muestreos, tomando en cuenta cada estación y profundidad analizada en la columna de agua (0, 1 y 3 m).

Figura 27. Variación de plancton estación 1 - 0 metros



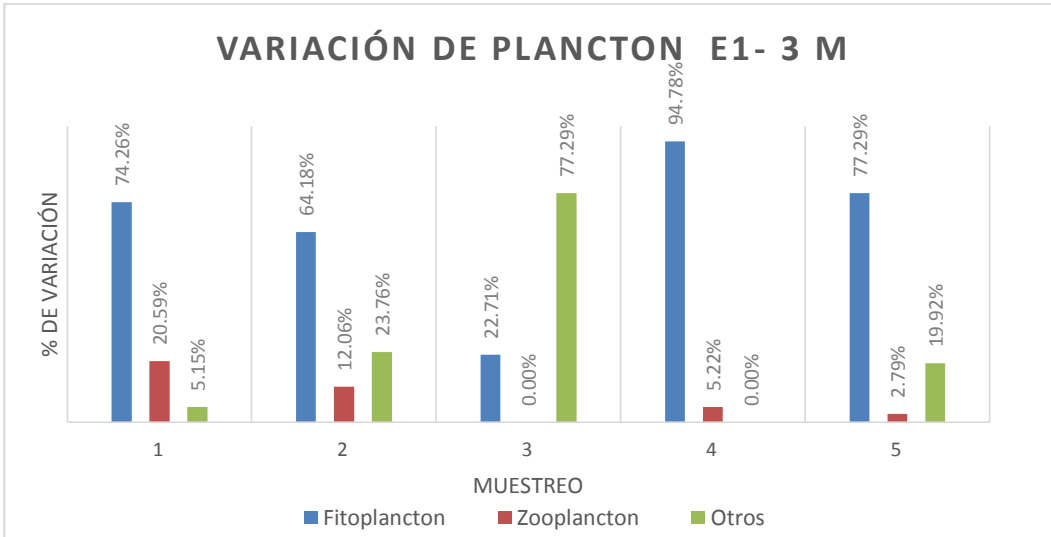
Fuente: elaboración propia.

Figura 28. Variación de plancton estación 1 - 1 metro



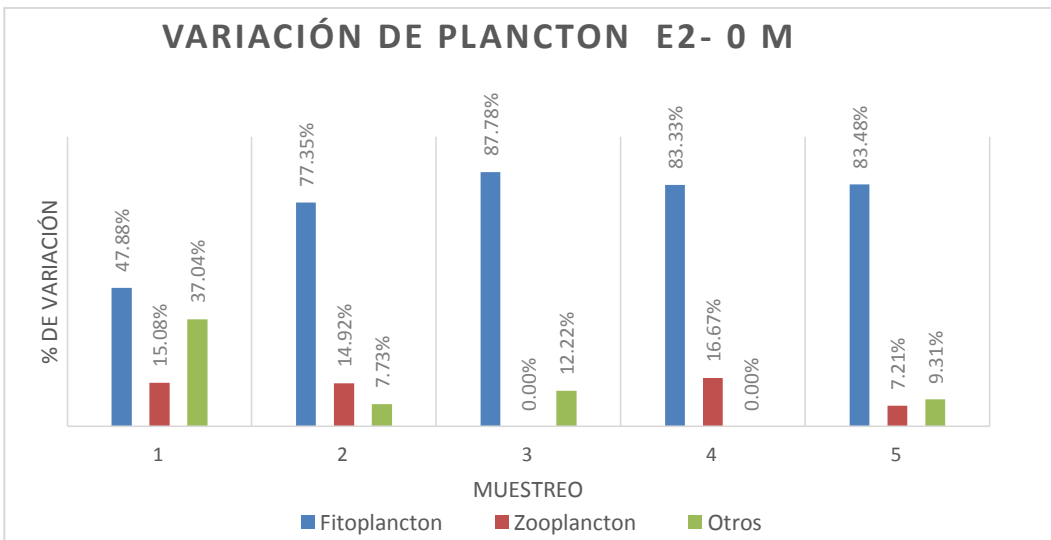
Fuente: elaboración propia.

Figura 29. Variación de plancton estación 1 - 3 metros



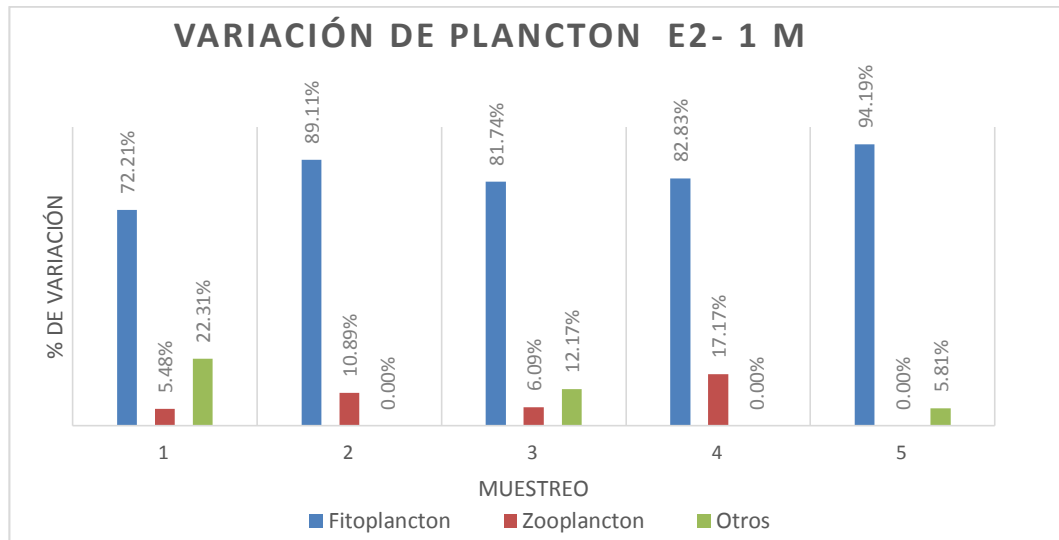
Fuente: elaboración propia.

Figura 30. Variación de plancton estación 2 - 0 metros



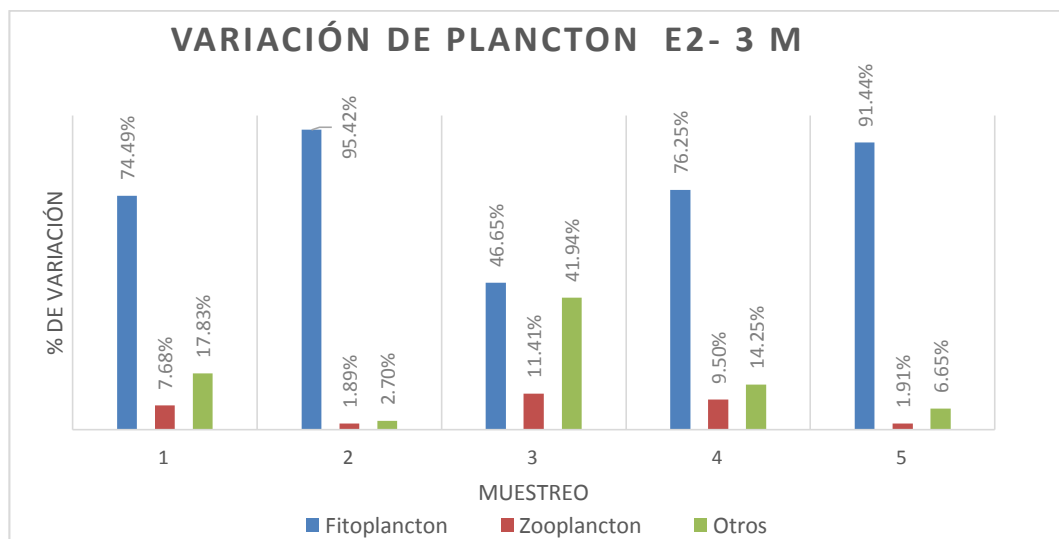
Fuente: elaboración propia.

Figura 31. Variación de plancton estación 2 - 1 metro



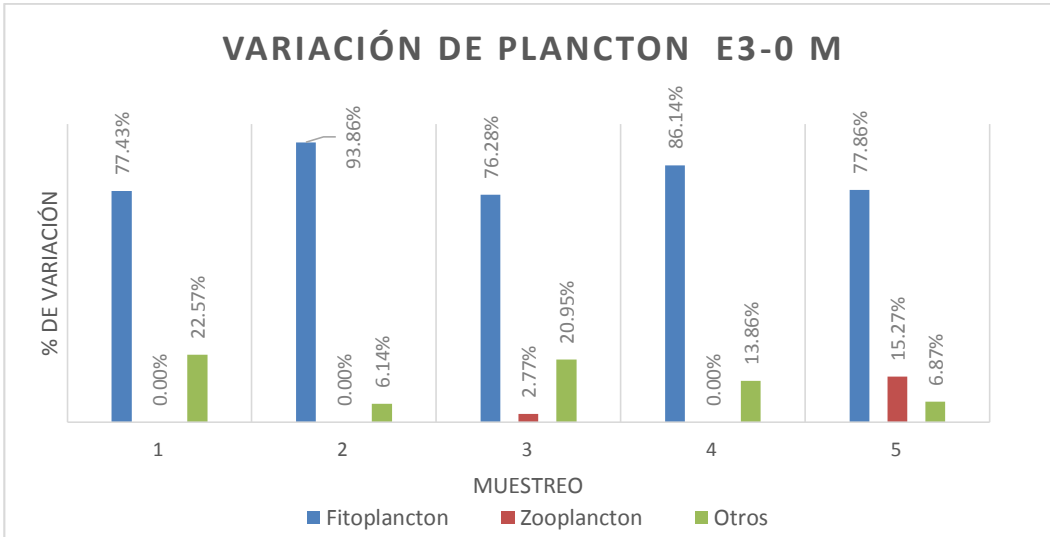
Fuente: elaboración propia.

Figura 32. Variación de plancton estación 2 - 3 metros



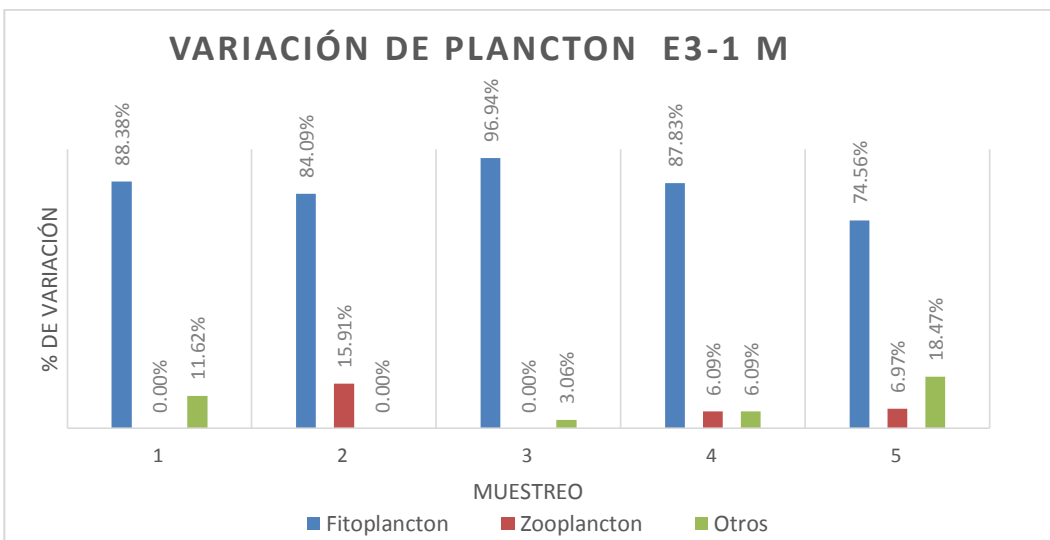
Fuente: elaboración propia.

Figura 33. Variación de plancton estación 3 - 0 metros



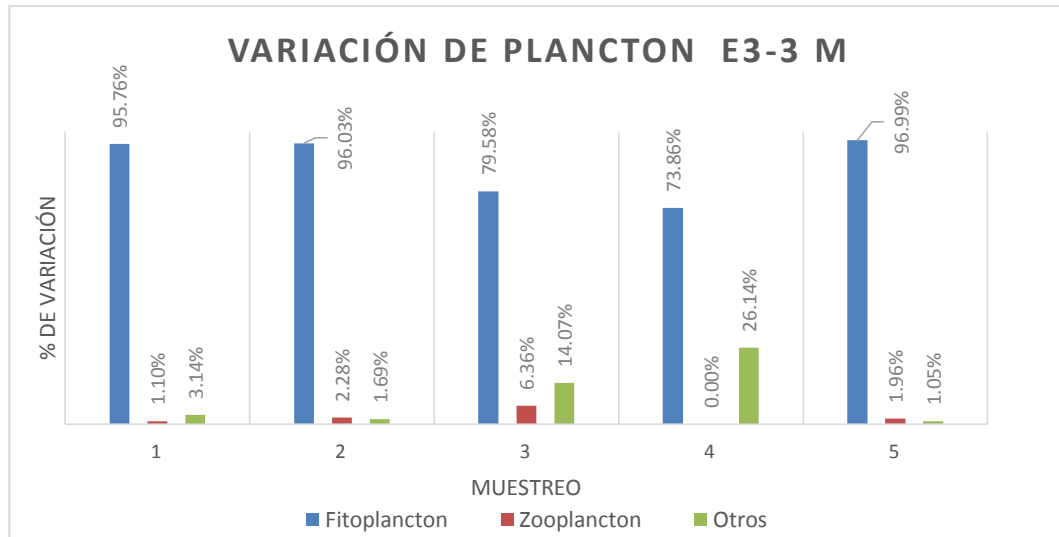
Fuente: elaboración propia.

Figura 34. Variación de plancton estación 3 - 1 metro



Fuente: elaboración propia.

Figura 35. Variación de plancton estación 3 - 3 metros



Fuente: elaboración propia.

En la composición del plancton de la laguna existe un claro dominio del fitoplancton en todos los puntos analizados, en la mayoría de estos tiene un dominio arriba del 70 %, en algunos puntos de análisis representan más del 90 % de la composición del plancton existente en la estación analizada.

En la estación 2 se observó que en la columna de agua, a las distintas profundidades estudiadas, la presencia de zooplancton es constante a diferencia de las otras estaciones, aunque esta estación no tiene los porcentajes máximos con respecto a la presencia de zooplancton.

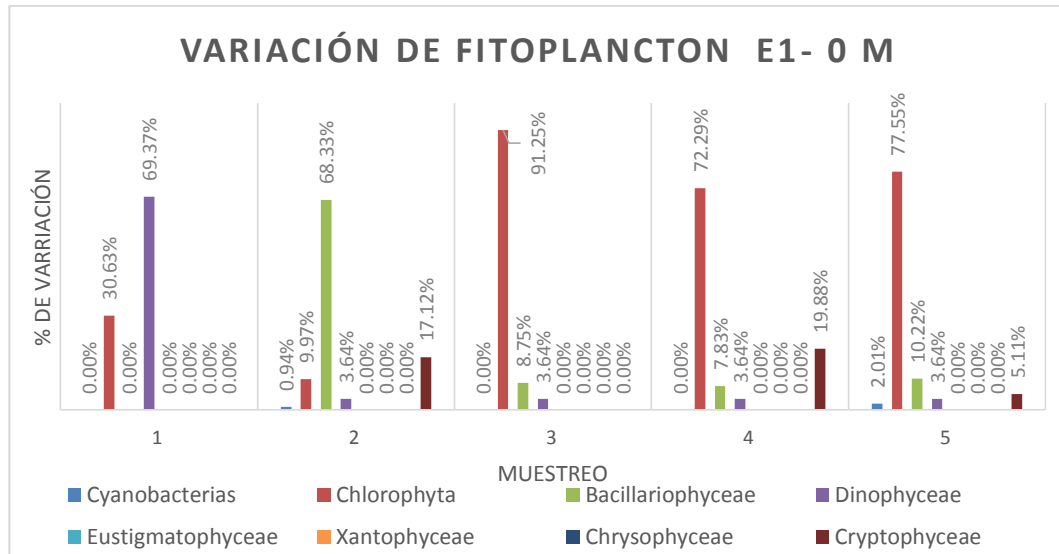
Los porcentajes corroboran el dominio del fitoplancton que está formado por 57 especies pertenecientes a sus diferentes clases a diferencia de las 13 especies que forman el zooplancton, mencionando que algunas especies del plancton animal tienen un tiempo de reproducción mayor que el del fitoplancton, tomando en cuenta que el fitoplancton depende de la contribución de nutrientes y energía solar, mientras que el plancton animal basa su supervivencia en el fitoplancton y otros seres vivos.

4.2.2. Variación de fitoplancton

De las figuras 36 a 44 se plasma el comportamiento de las clases que forman el fitoplancton, mostrando por medio de porcentajes la presencia y el dominio de los grupos durante los muestreos realizados, tomando en cuenta cada estación y profundidad analizada en la columna de agua (0, 1 y 3 metros).

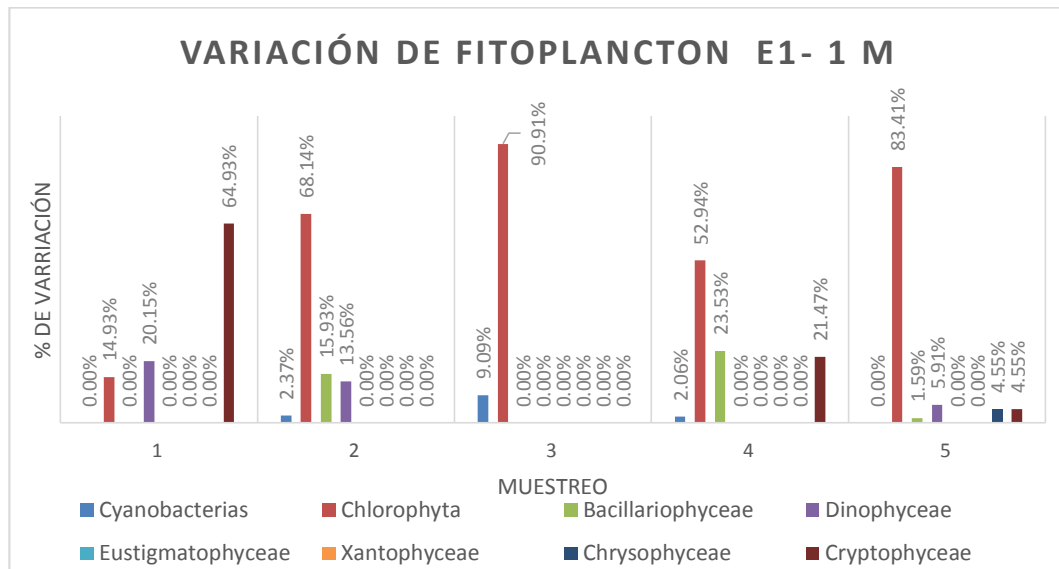
Las figuras de 36 – 44 contienen la composición por clases y no por especies debido a que 57 especies (6 especies de cianofitas, 31 especies de clorofitas, 13 especies de diatomeas, 2 especies de dinoflageladas, 1 especie de eustigmatophyta, 2 especies de xantofitas, 1 especie de crisofíceas y 1 especie de criptophyceae) son correspondientes al fitoplancton y ser colocadas juntas no permite apreciar el comportamiento.

Figura 36. Variación de fitoplancton estación 1 - 0 metros



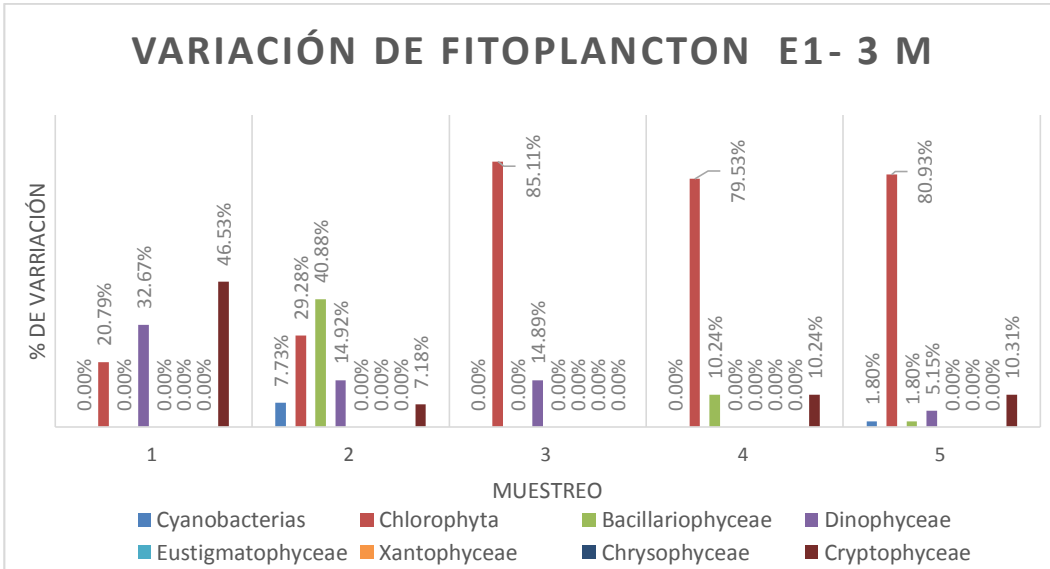
Fuente: elaboración propia.

Figura 37. Variación de fitoplancton estación 1 - 1 metro



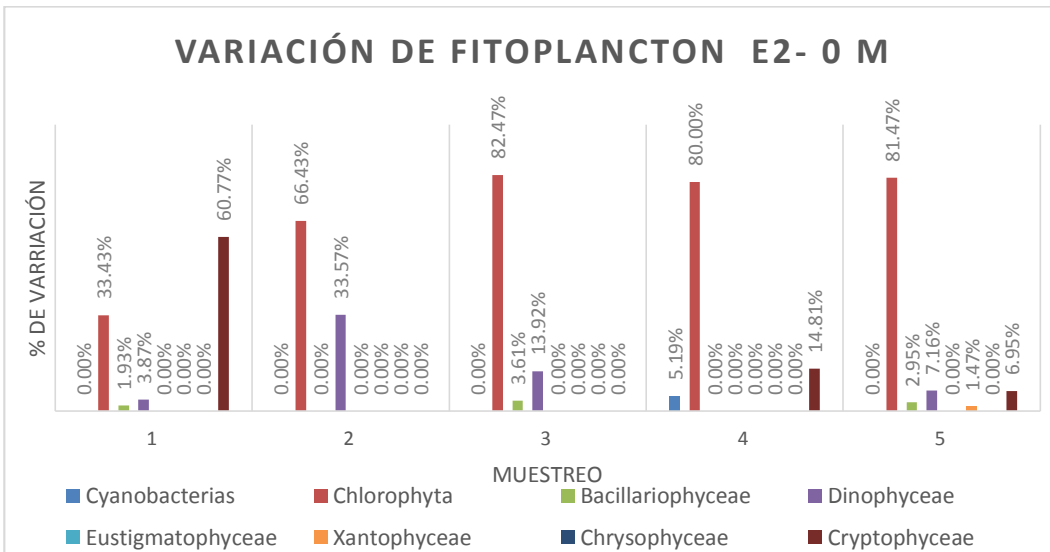
Fuente: elaboración propia.

Figura 38. Variación de fitoplancton estación 1 - 3 metros



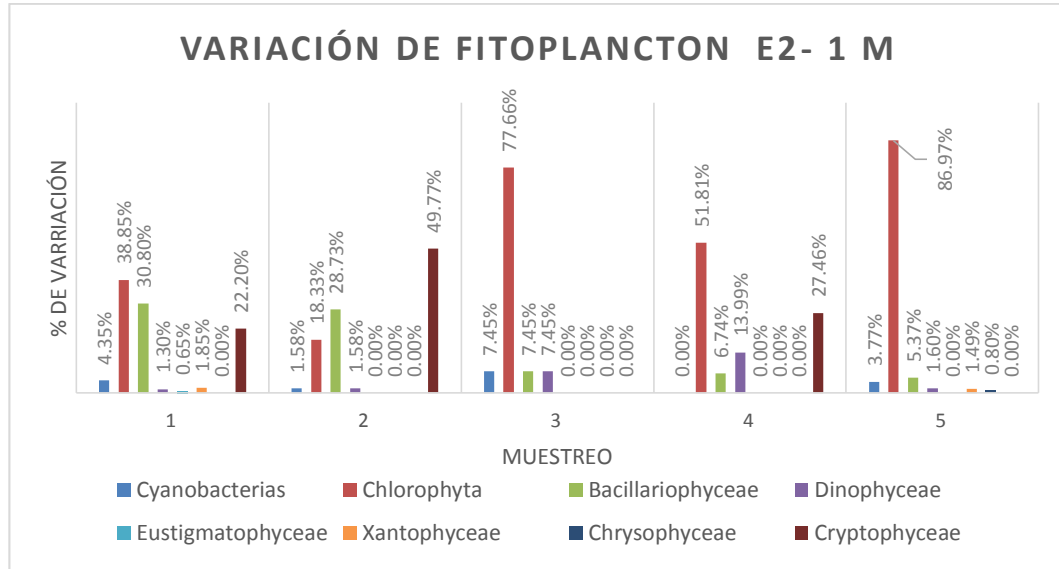
Fuente: elaboración propia.

Figura 39. Variación de fitoplancton estación 2 - 0 metros



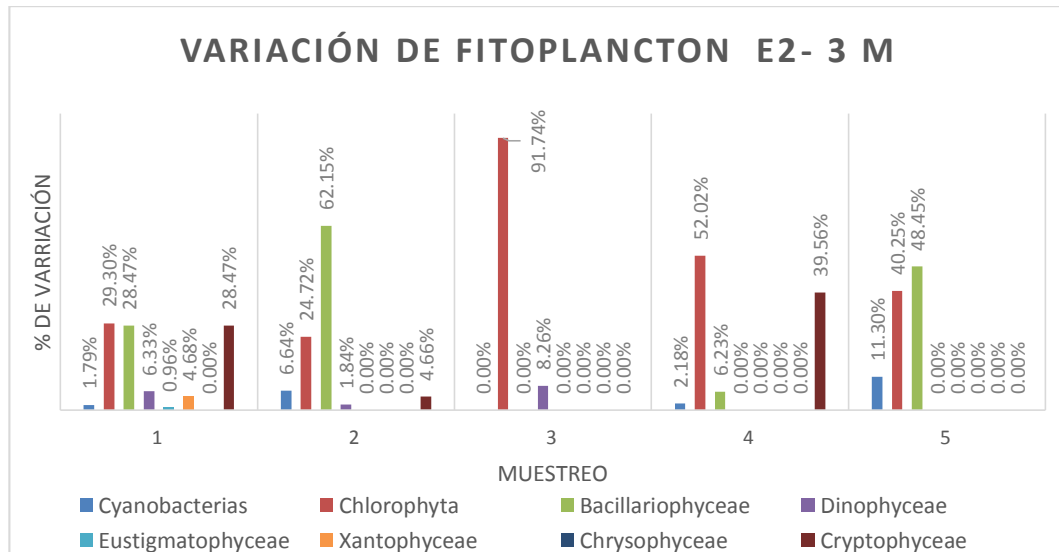
Fuente: elaboración propia.

Figura 40. Variación de fitoplancton estación 2 - 1 metro



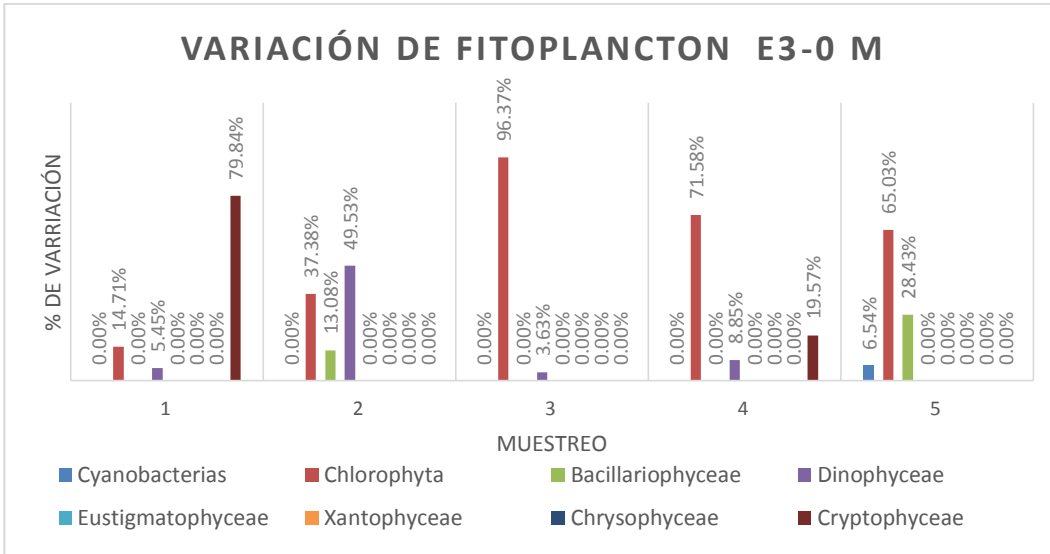
Fuente: elaboración propia.

Figura 41. Variación de fitoplancton estación 2 - 3 metros



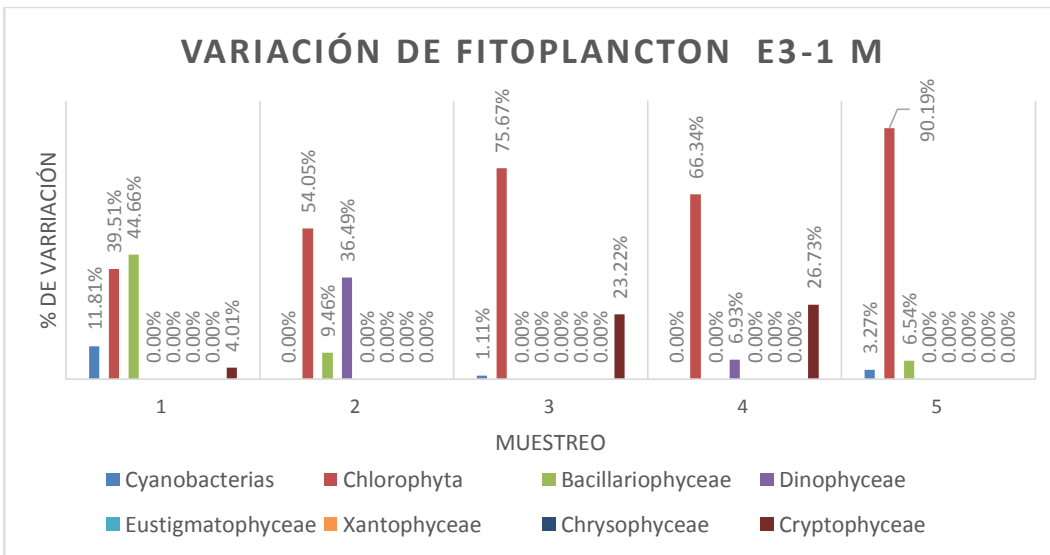
Fuente: elaboración propia.

Figura 42. Variación de fitoplancton estación 3 - 0 metros



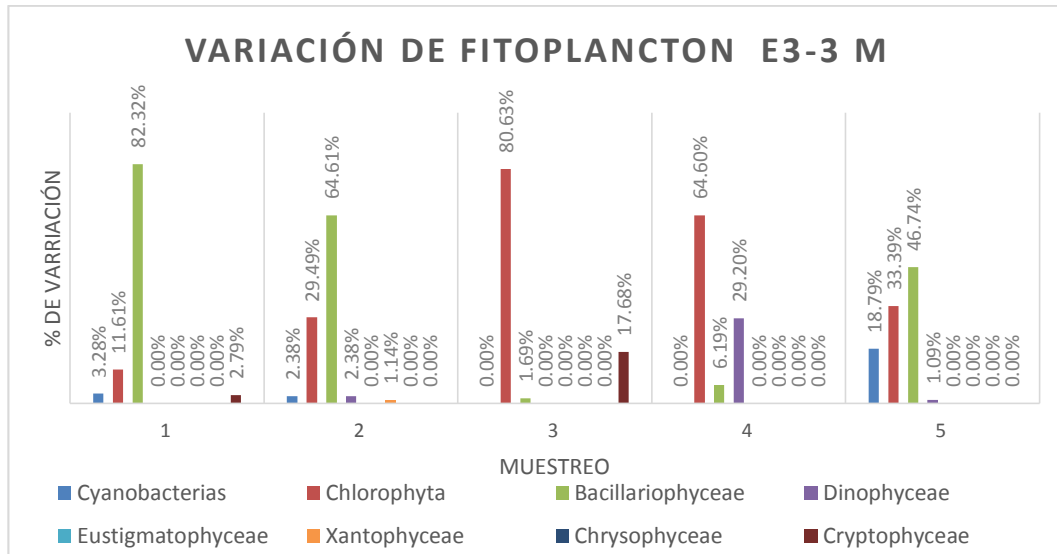
Fuente: elaboración propia.

Figura 43. Variación de fitoplancton estación 3 - 1 metro



Fuente: elaboración propia.

Figura 44. Variación de fitoplancton estación 3 - 3 metros



Fuente: elaboración propia.

La división de las clorofitas cuenta con 55 % de las especies que conforman el fitoplancton, reflejando un claro dominio en la mayoría de estaciones analizadas, dominando por encima de 50 % en la mayoría de los casos.

En casos especiales otras clases son dominantes como las diatomeas sobrepasando el 40 % de la composición del fitoplancton en el muestreo; las criptofíceas al inicio del estudio tienen un porcentaje considerable en las 3 estaciones sobrepasando el 45 % de la composición y convirtiéndose en la dominante en varios puntos de la columna de agua de las distintas estaciones analizadas.

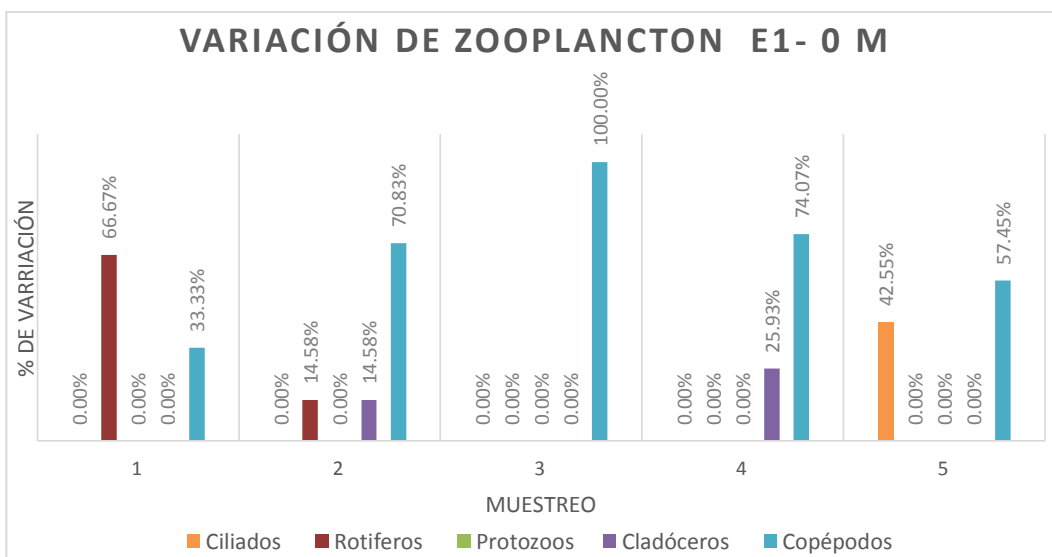
La presencia y dominio de diatomeas se tiene en las estaciones 2 y 3, que son las más cercanas a zonas litorales y bentónicas, las diatomeas son especies de fitoplancton con mayor densidad debido a la capa de sílice con la que cuentan.

En el primer muestreo del estudio el dominio se comparte en comunidades de dinoflagelados y *criptomonas*, dejando por debajo la población de clorofitas exponiendo que el aprovechamiento de las condiciones es más efectivo que contar con un gran número de especies.

4.2.3. Variación de zooplancton

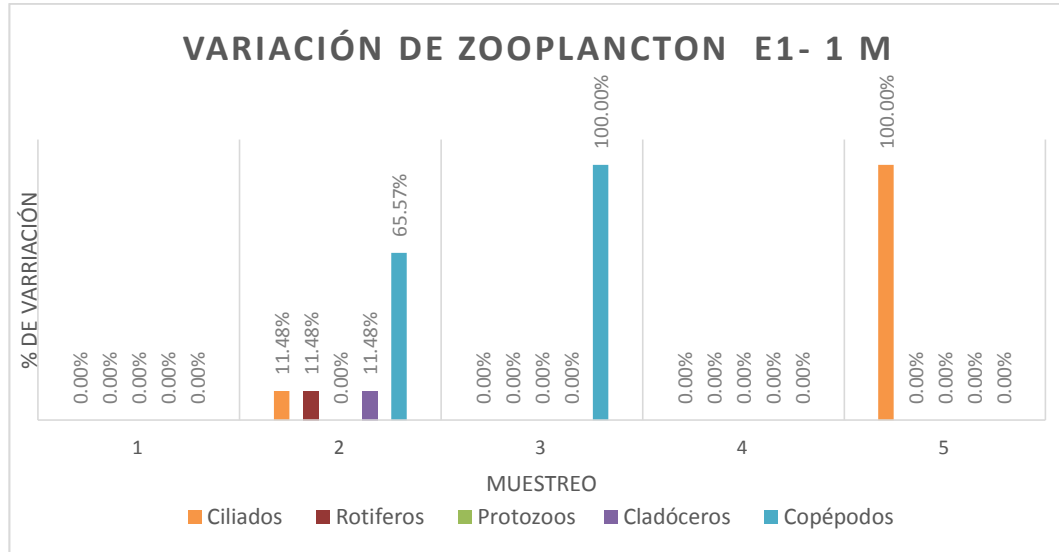
La distribución y dominio de cada clase que forma parte de zooplancton se representa por medio de porcentajes en las figuras 45 - 53. El plancton está formado por 13 especies, repartidas en sus diferentes clases.

Figura 45. Variación de zooplancton estación 1 - 0 metros



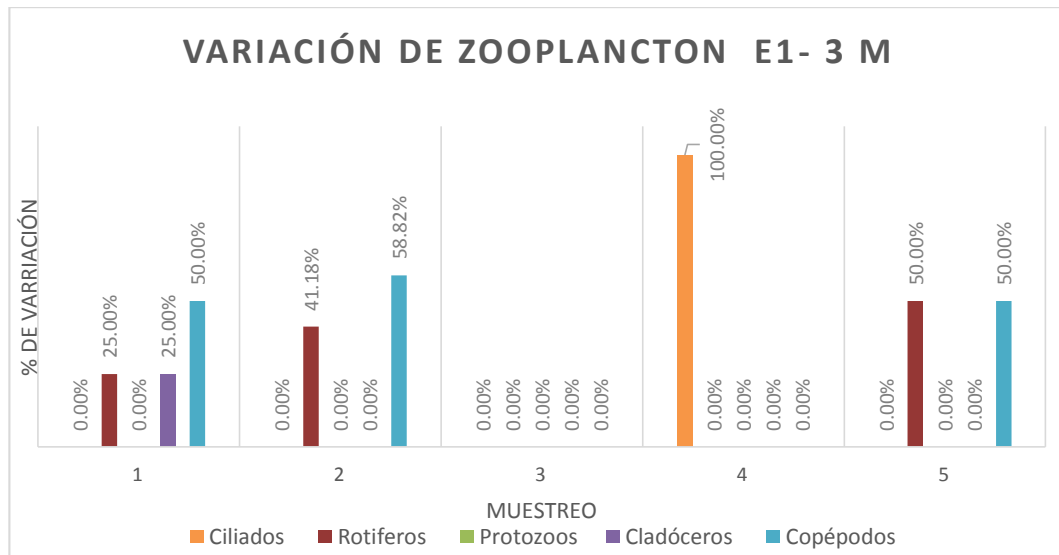
Fuente: elaboración propia.

Figura 46. Variación de zooplancton estación 1 - 1 metro



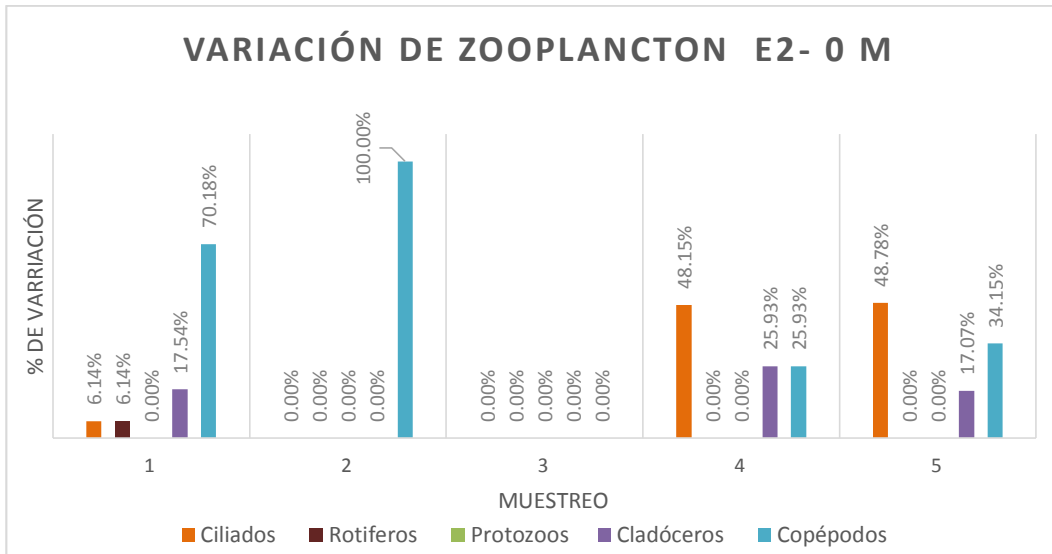
Fuente: elaboración propia.

Figura 47. Variación de zooplancton estación 1 - 3 metros



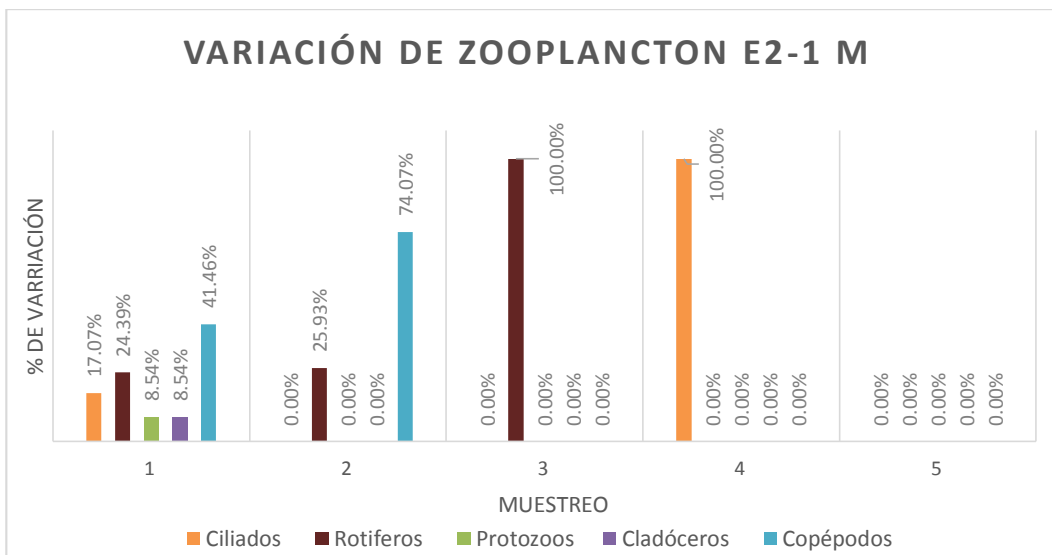
Fuente: elaboración propia.

Figura 48. **Variación de zooplancton estación 2 - 0 metros**



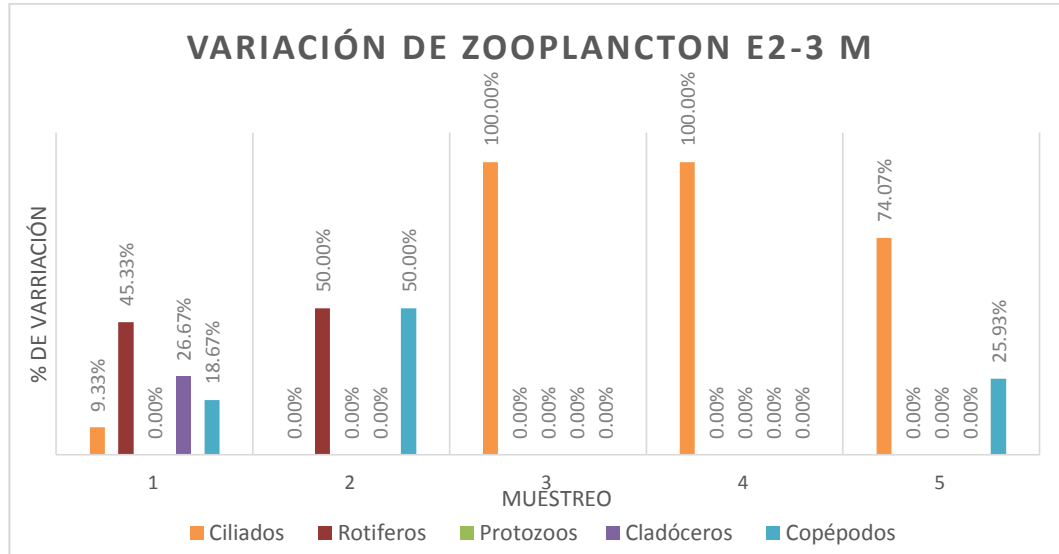
Fuente: elaboración propia.

Figura 49. **Variación de zooplancton estación 2 - 1 metro**



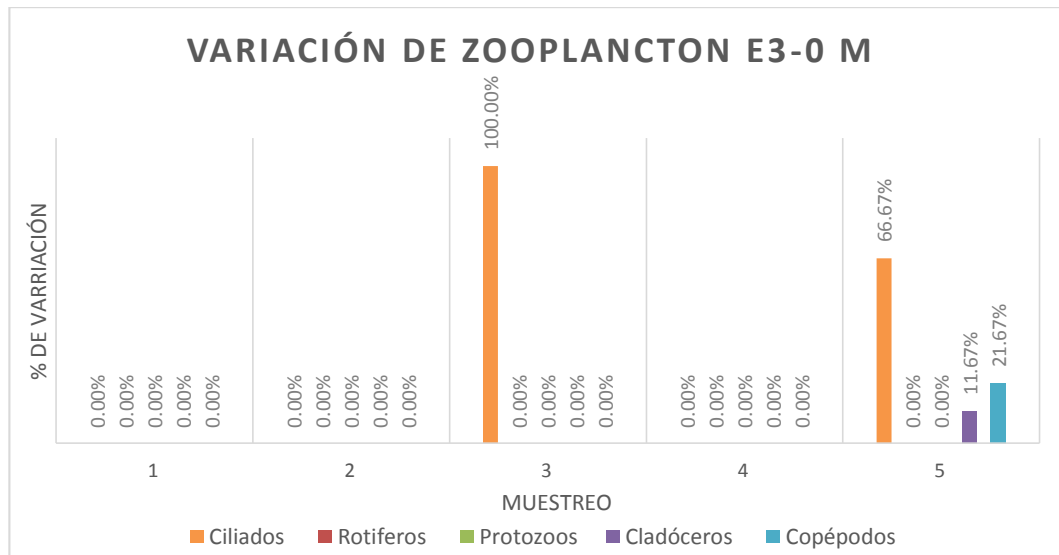
Fuente: elaboración propia.

Figura 50. Variación de zooplancton estación 2 - 3 metros



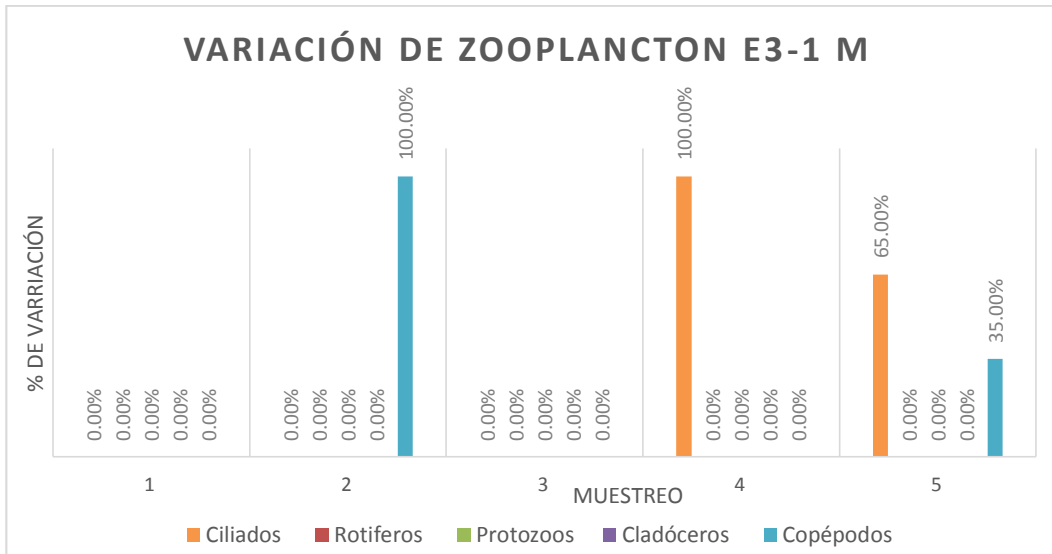
Fuente: elaboración propia.

Figura 51. Variación de zooplancton estación 3 - 0 metros



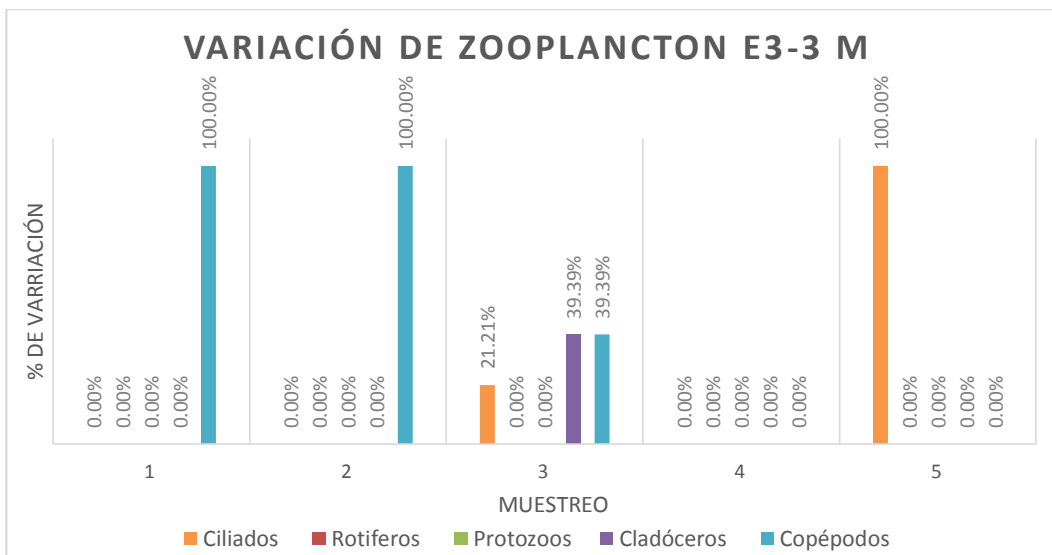
Fuente: elaboración propia.

Figura 52. Variación de zooplancton estación 3 - 1 metro



Fuente: elaboración propia.

Figura 53. Variación de zooplancton estación 3 - 3 metros



Fuente: elaboración propia.

En la estación 1 la clase más dominante del zooplancton es la formada por copépodos (microcrustáceos) con porcentajes que oscilan entre 50 - 100 %, seguida de los ciliados y rotíferos, lo cual indica que la disponibilidad de alimento para los copépodos mantiene sus especies.

En la estación 2 el dominio se reparte entre los ciliados con porcentajes entre 40 - 100 % y los rotíferos con porcentajes de dominio entre 50 - 100 %, por lo cual la población de copépodos se ve reducida, precisamente es una de las estaciones donde disminuye la cantidad de clorofitas que fungen como alimento para los copépodos, en esta estación se puede apreciar que ya se manifiestan los cladóceros (*Daphnia*), siendo esta una especie que puede subsistir en aguas un poco más degradadas y alimentarse de las partes bentónicas.

En la estación 3 se tiene una ausencia de rotíferos y el dominio se ve repartido entre los ciliados y copépodos, los primeros dominan la zona superficial, y los copépodos las zonas más profundas analizadas (1 y 3 m), en esta estación hay una ausencia completa de rotíferos y cladóceros solamente aparecen durante el muestreo 3 con un 39,39 %.

4.3. Estado trófico según comunidades planctónicas

El enriquecimiento de un cuerpo de agua se puede dar de forma natural o por contribución artificial (fuentes externas al cuerpo de agua), el estado trófico va ligado a la productividad del cuerpo de agua, no todas las especies que viven dentro y fuera del mismo toleran cambios debido al aumento de la productividad.

Tabla XXIV. **Estado trófico demandado por fitoplancton**

Estado trófico	N. Especies	Porcentaje
Oligotrófico	26	37,68%
Mesotrófico	27	39,13%
Eutrófico	16	23,19 %
Total	69	100 %

Fuente: elaboración propia.

Las necesidades plasmadas por las comunidades fitoplanctónicas en la tabla XXIV expresan con un 39,13 % que pertenecen a aguas limpias con moderada cantidad de nutrientes, seguidas de un 37,68 % de aguas limpias con bajo ingreso de nutrientes, finalizando con un 23,19 % de especies que se pueden desarrollar en medios con grandes cantidades de nutrientes y materia orgánica.

La mayoría de especies pertenecen a entornos con baja o moderada contribución de nutrientes es decir con una producción moderada, por lo tanto el cuerpo de agua no puede ser eutrófico, la mayoría de especies no podrían desarrollarse y la composición tendría que estar dominada por grupos que puedan aprovechar mejora las condiciones de medios eutróficos como en el caso de las cianofitas, pero en la laguna El Pino la cantidad de especies correspondiente a esta clase son pocas.

Tabla XXV. **Estado trófico demandado por zooplancton**

Estado trófico	N. Especies	Porcentaje
Oligotrófico	4	28,57 %
Mesotrófico	6	42,86 %
Eutrófico	4	28,57 %
Total	14	100 %

Fuente: elaboración propia.

Las necesidades expresadas en la tabla XXV por las comunidades zooplanctónicas en un 42,86 % son pertenecientes a aguas limpias con moderada cantidad de nutrientes, seguida de un 28,57 % de aguas limpias con bajo ingreso de nutrientes, finalizando con un 28,57 % de especies que se pueden desarrollar en medios con grandes cantidades de nutrientes y materia orgánica.

La mayoría de especies que se determinaron en la laguna El Pino se desarrollan en aguas limpias con valores bajos o moderados de nutrientes, tolerables a bajas cargas de materia orgánica.

Los copépodos son la clase más dominante en las estaciones durante los muestreos, estos microcrustáceos tiene una sensibilidad a la contaminación por lo que en agua con un aporte de materia orgánica o contaminación no tendrían un presencia tan marcada como en el cuerpo de agua en estudio, lo cual deja ver que la laguna si bien está sufriendo cambios desfavorables por la presencia de clases como los rotíferos y protozoos que se pueden desarrollar en medios contaminados y productivos, este cuerpo de agua aún conserva sus condiciones para realizar sus propios procesos de depuración.

Según la clasificación de OCDE basada en los resultados de transparencia se considera a la laguna El Pino como eutrófica y según la clasificación de USEPA basada en el oxígeno en su porcentaje de saturación el cuerpo de agua se clasifica como mesotrófico en transición a eutrófico, expresado en el estudio *Caracterización fisicoquímica del agua de laguna El Pino, ubicada entre los municipios de Barberena y Santa Cruz Naranjo del departamento de Santa Rosa, de la República de Guatemala* realizado por el Ing. José Miguel Duarte en noviembre 2014.

La clasificación de la OCDE evalúa la transparencia como uno de los parámetros para asignar el estado trófico a un sistema léntico; la OCDE ubica a la laguna El Pino como un cuerpo de agua con una contribución elevada de nutrientes y alta productividad, esto es refutado por las necesidades de las especies planctónicas que se encuentran en este cuerpo de agua, estas ante un medio eutrófico no serían capaces de subsistir; si la laguna El Pino estuviera en un estado eutrófico la composición de plancton debería estar dominada por especies con la capacidad de aprovechar el ingreso de nutrientes y materia orgánica.

En cuanto a la clasificación de la USEPA se ajusta más a lo planteado por las comunidades planctónicas según las necesidades de las especies, la mayoría de especies crecen en un medio con un enriquecimiento de bajo a moderado de nutrientes, contar con especies que se desarrollan en medios eutróficos describe que el cuerpo de agua sufre un deterioro y aumento de nutrientes.

4.4. Clasificación para fitoplancton de Terrell & Bytnar

En la tabla XXVI se realiza una clasificación según Terrell & Bytnar enfocándose en la naturaleza de desarrollo de cada especie de fitoplancton, tomando en cuenta hábitats contaminados, aguas residuales, entre otros.

Algunas especies cumplen con más de un criterio, por lo que se han marcado varias casillas.

Tabla XXVI. **Resumen de clasificación para fitoplancton de Terrell & Bytnar**

Criterio	No. de especies	Porcentaje
Algas generadoras de olor	7	8,00 %
Algas propias de aguas contaminadas	21	24,0 %
Algas propias de agua retenida	4	5,00 %
Agua propia de agua limpia	18	21,0 %
Algas que crecen sobre paredes	1	1,00 %
Algas plantónicas y de aguas superficiales	36	41,0 %
Aguas propias de estuarios contaminados	0	0,00 %
Total	87	100 %

Fuente: elaboración propia.

El 41 % de las especies pertenecen a la zona plantónica del cuerpo de agua, el 21 % pertenece a aguas limpias, solo el 24 % de las especies pueden ser provenientes de aguas contaminadas, tomando en cuenta que se consideró como especie propia de agua contaminada aquella que era capaz de desarrollarse en aguas eutróficas no que precisamente sea de aguas contaminadas, la calidad de agua de la laguna presenta cierto deterioro pero aun la capacidad de proporcionar hábitat para especies que mantienen un equilibrio ecológico, se observa que hay un 8 % de especies que generan olor solo si se

manifiestan floraciones y estas se vuelven dominantes en este cuerpo de agua, pero al ser un porcentaje bajo la probabilidad de ocurrencia es muy pequeña.

La clasificación de Terrell y Bytnar corroboran que el cuerpo de agua no posee aguas completamente limpias, pero tampoco contaminadas.

4.5. Fitoplancton en sistema de agua para consumo humano

La laguna El Pino en cuanto a su composición de comunidades plantónicas no representan un riesgo para ser usada en un sistema de abastecimiento de agua para consumo humano, al ser utilizada como suministro se cuentan con ciertas especies en las clases que pueden provocar problemas en los sistemas, algunas pueden modificar las características físicas, otras ocasionar taponamientos, cabe mencionar que estos problemas suscitarían bajo condiciones especiales, es decir en floraciones de este tipos de algas.

4.5.1. Modificación en características físicas

En la tabla XXVII se presentan algunas especies de algas presentes en laguna El Pino que pueden causar modificaciones en las características físicas en el agua, cabe mencionar que estas algas tendrían que tener poblaciones excesivas. La tabla XXVII es extraída de la tabla IV (p. 27) donde se enlistan las especies más comunes de algas sápidas y olorosas en sistemas de abastecimientos de agua para consumo humano.

Tabla XXVII. **Algas de la laguna El Pino que pueden modificar características físicas del agua**

Algas sápidas y olorosas presentes en la laguna El Pino	
Cianofitas	<i>Closterium Dianae</i>
	<i>Closterium Acutum</i>
Clorofitas	<i>Scenedesmus</i>
	<i>Volvox</i>
Dinoflageladas	<i>Ceratium</i>
	<i>Perinidium</i>

Fuente: elaboración propia.

4.5.2. Obstrucción de tuberías

En la tabla XXVIII se enlistan algunas especies presentes en la laguna El Pino de fitoplancton que pudieran dar problemas en un sistema de potabilización principalmente es sus tuberías. Como se ha mencionado con anterioridad esto sucedería si las especies de fitoplancton tuvieran poblaciones altas y las condiciones ambientales beneficiaran el crecimiento de las clases.

“Las algas que mayor probabilidad tiene de subsistir indemnes en las tuberías serán las formas resistentes al cloro”.²¹

El taponamiento a consecuencia de algas se puede suscitar en la redes de captación donde se lleva el agua cruda, pero como un tratamiento para consumo como mínimo debe pasar un proceso de cloración, la presencia de estas especies de algas en la laguna El Pino, para un sistema de tratamiento no representa una amenaza.

²¹ SALAS, D. *Métodos empleados en ingeniería sanitaria para la remoción de algas de una fuente de abastecimiento de agua.* p. 38.

Tabla XXVIII. **Algas de la laguna El Pino que pueden obstruir tuberías**

Algas que pueden obstruir tuberías presentes en la laguna El Pino	
Cianofitas	<i>Closterium Dianae</i>
	<i>Closterium Acutum</i>
Clorofitas	<i>Cosmarium</i>
	<i>Elaktotherik Gelatinosa</i>
	<i>Scenedesmus</i>

Fuente: elaboración propia.

4.5.3. Obstrucción de filtros

En la tabla V (p. 29) se presenta algas que pueden causar taponamientos en filtros de arena en sistemas de abastecimiento de agua potable, en la laguna El Pino no se presenta ninguna de las especies correspondientes a dicha tabla por lo cual, si se utilizara un sistema de tratamiento por filtros no existirá ningún problema.

4.5.4. Toxicidad

La toxicidad de las algas se manifiesta solo en ciertos tipos, específicamente en las cianofitas o verde-azules, las toxinas pueden ser microcistina o anatoxina, esta liberación de toxinas se da cuando las algas tienen un dominio del fitoplancton, produciéndose floraciones y consecuentemente periodos de anoxia, que afectan al ecosistema en el que se desarrollan.

La tabla XXIX posee el mismo contenido que la tabla VI (p. 30), la diferencia radica en que esta ya fue comparada con las especies de algas presentes en la laguna El Pino y ninguna tiene contenido de toxina.

Dentro de la composición de fitoplancton se tienen especies de cianofitas que representan solo el 10,52 % del total de las clases, la presencia no indica dominio por lo que estas no representan un riesgo por toxicidad.

Tabla XXIX. **Algas tóxicas de la laguna El Pino**

Algas tóxicas de la laguna El Pino		
<i>Anabaena circinalis, flosaquae</i>	Cianofíceas o Verde – azules	Ausentes completamente
<i>Anacystis Cynea</i>		
<i>Aphanizonemos flosaquae</i>		
<i>Cylindrospermum</i>		
<i>Lyngbya Cortorta</i>		
<i>Microcystis spp y Aeroginosa</i>		
<i>Nodularia spumigena</i>		

Fuente: elaboración propia.

4.6. Comunidades planctónicas procedentes de aguas residuales

Las algas son poco comunes en aguas residuales, debido a que tienen ciertas necesidades ambientales para reproducirse, una de las principales es la presencia de la energía solar para realizar sus procesos de fotosíntesis; es más frecuente observar la presencia de algas en sistemas de tratamiento como las lagunas de estabilización, debido a que estas cubren grandes áreas y tienen una exposición a la radiación solar.

4.6.1. Fitoplancton

En la tabla XXX se realiza una comparación de la algas presentes en la laguna El Pino que pueden desarrollarse en aguas residuales, la información fue tomada de la tabla XVII (p. 31).

Tabla XXX. **Algas de la laguna El Pino que pueden presentarse en aguas residuales**

Clase	Organismo	Agua residual	Laguna El Pino
Cianofitas	<i>Oscillatoria</i>	Presentes en aguas residuales en distintas etapas	Ausente
	<i>Spirulina</i>		Ausente
Crisofitas	<i>Dynobryon</i>		Ausente
Diatomeas	<i>Navícula</i>		Presente
Clorofitas	<i>Oocystis</i>		Presente
	<i>Pediastrum</i>		Ausente
	<i>Scenedsams</i>		Presente

Fuente: elaboración propia.

De las comunidades fitoplanctónicas que se pueden desarrollar en aguas residuales se tiene tres especies, *Oocystis*, *Navicula* y *Scenedesmus*. Estas especies de fitoplancton se desarrollan en aguas ricas en materia orgánica; en el caso de la laguna El Pino estas especies tienen un número reducido de organismos debido a que el cuerpo de agua no cubre sus necesidades de hábitat.

Tabla XXXI. **Algas de la laguna El Pino que pueden presentarse en lagunas de estabilización**

Clase	Organismo	Agua residual	Laguna El Pino
Cianofitas	<i>Anacystis</i>	Presentes en lagunas de estabilización	Ausente
	<i>Anabaena</i>		Ausente
	<i>Oscillatoria</i>		Ausente
Clorofitas	<i>Ankistrodesmus</i>		Ausente
	<i>Chlorella</i>		Ausente
	<i>Scenedesmus</i>		Presente
Diatomeas	<i>Cyclotella</i>		Presente
	<i>Gomphonema</i>		Ausente
	<i>Nitzschia</i>		Presente

Continuación de tabla XXXI.

Clase	Especie	Agua residual	Laguna El Pino
Flageladas	<i>Chlamydomonas</i>		Ausente
	<i>Euglena</i>		Ausente
	<i>Cryptomonas</i>		Presente

Fuente: elaboración propia.

Las lagunas de estabilización es un sistema empleado para el tratamiento de aguas residuales, utilizando el oxígeno que las algas generan en el proceso de fotosíntesis para la degradación de la materia orgánica, de esta forma se mejora la calidad del agua que ingresa a los sistemas de lagunas. Las algas que están presentes y se mantienen en lagunas de estabilización deben soportar o adaptarse a la cantidad de materia orgánica que ingresa al sistema, en la tabla IX (p. 33) se presentan especies de algas utilizadas en lagunas de estabilización y en la tabla XXXI se realiza una comparación de los especies habituales en lagunas de estabilización y si estas están presentes en la laguna El Pino.

En la laguna El Pino se tiene 4 especies que se pueden desarrollar en lagunas de estabilización, adaptándose al medio y realizando sus procesos de reproducción, con capacidad de soportar las condiciones de materia orgánica que ofrece un sistema de lagunas de estabilización.

La laguna El Pino tiene un aporte de nutrientes de bajo a moderado con condiciones muy distintas a una laguna de estabilización de aguas residuales, por lo que estas 4 especies de algas tiene una cantidad baja de organismos, el cuerpo de agua en estudio al parecer no brinda las condiciones para que estas especies puedan alcanzar un buen número de organismos.

Si bien es cierto en la tabla IX (p. 33) el grupo más utilizado son las clorofitas con un 50 % de aplicación en lagunas de estabilización y la composición del cuerpo de agua en estudio, el grupo más dominante son las clorofitas, las especies presentes y pertenecientes a dicho grupo no poseen la capacidad de adaptarse a condiciones de sistemas como el de lagunas de estabilización, según lo expuesto en la tabla IX (p. 33).

4.6.2. Zooplancton

En la tabla X (p. 34) se enlistan algunos protozoos que se han observado en distintos sistemas de tratamientos de aguas residuales y tabla XI (p. 35) presenta los rotíferos que se han encontrado en tratamientos de aguas residuales, ninguno de los mencionados en las listas están presentes en la laguna El Pino, si hay presencia de rotíferos y protozoos pero no los mencionados por dichas tablas.

Tabla XXXII. **Zooplancton de la laguna El Pino que pueden presentarse en aguas residuales**

Zooplancton presente en aguas residuales	
Protozoos	<i>Strobilidium</i> (ciliado)
Rotíferos	Ninguno
Microcrustáceos(copépodos y cladóceros)	Ninguno

Fuente: elaboración propia.

En el caso de los protozoos solo el *Strobilidium* puede desarrollarse en medios con abundante materia orgánica, no está dentro de los mencionados por la tabla X (p. 35), pero dentro de las características del organismo indica su capacidad de adaptación y soporte a medios con abundante materia orgánica algo distintivo de las aguas residuales.

Al tener copépodos como una de las clases dominantes del zooplancton, se afirma que hay bajo aporte de aguas residuales, ya que estos microcrustáceos son indicativos de aguas con baja fertilidad.

CONCLUSIONES

1. Las 8 clases conformadas por 57 especies de fitoplancton y 4 clases conformadas por 13 especies de zooplancton que describen a la laguna El Pino en un estado mesotrófico, con una inclinación al deterioro del mismo, comprobando positivamente la hipótesis vertida.
2. La identificación taxonómica estableció que el fitoplancton de la laguna El Pino está formado por clorofitas, cianofíceas, diatomeas, xantofíceas, eustigmatophyta, criptofíceas, dinoflageladas, crisofíceas, y el zooplancton está conformado por protozoos, rotíferos, cladóceros y copépodos.
3. El plancton en la laguna El Pino está formado por el 80 % de fitoplancton, el otro 20 % corresponde a zooplancton y especies no identificadas, el fitoplancton en su composición está dominado por clorofitas con un 65 % y el 35 % restante se distribuye entre las clases mencionadas anteriormente, el zooplancton está dominado por los copépodos con un 50 % y el otro 50 % se distribuye entre las 3 clases restantes.
4. Los valores de nutrientes son menores a 10 mg/l para nitratos y menores a 1 mg/l para fosfatos, consolidado en un claro dominio de las clorofitas en la composición del fitoplancton. Se identificó al fósforo como factor limitante para el crecimiento de organismos plantónicos a causa de valores inferiores a 1mg/l.

5. En la laguna El pino se encuentran 7 especies de plancton representando un 10 % del total de su composición que también se desarrollan en aguas residuales o en sistemas de tratamiento de aguas residuales, la presencia de estas especies indica que la laguna tiene aporte de materia orgánica, pero es insuficiente para que estas especies tengan florecimientos excesivos y se conviertan en especies dominantes como lo son en aguas residuales o sistemas de tratamientos de aguas residuales.

RECOMENDACIONES

1. A la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, especialmente al área de limnología realizar periódicamente estudios cualitativos y cuantitativos de las comunidades planctónicas, para registrar cambios en la laguna El Pino fortaleciendo la información del área biológica.
2. A las autoridades que tiene a cargo la administración del parque nacional, utilizar los recursos disponibles para velar por el manejo adecuado de la laguna El Pino, con la finalidad de evitar un aceleramiento en la degradación.
3. Efectuar una extracción de la planta acuática (*hydrilla verticillata*) la cual está invadiendo y acelerando la degradación de la laguna El Pino, dificultando la realización de estudios limnológicos y representando un alto riesgo para los seres vivos que hacen uso del cuerpo de agua.

BIBLIOGRAFÍA

1. APHA, AWWA and WPCF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 18 ed. USA: APHA, AWWA, WEF. 1992. 400 p. ISBN: 0-875553-207-1.
2. ARGUETA, Dennis. *Caracterización fisicoquímica de la laguna de Ayarza ubicada entre los municipios de Casillas y San Rafael Las Flores del departamento de Santa Rosa de la República de Guatemala*. Estudio especial de Maestría en Ciencias de Ingeniería Sanitaria. Universidad de San Carlos de Guatemala, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), 2011. 219 p.
3. AROCENA, Rafael; CONDE, Daniel. *Métodos en ecología de aguas continentales con ejemplos en limnología en Uruguay*. Montevideo: Instituto de Biología sección Limnología, 1999. 235 p.
4. BASTERRECHEA, Manuel. Caracterización limnológica preliminar de 32 lagunas de Guatemala. *Revista Biológica, Tropical*. 1988, 36(1), p. 115-122.
5. CLARK, Walton. The holophytic plankton of lakes Atitlan and Amatitlan, Guatemala. *Biological Society of Washington*. 1908, XXI, p 91-106.
6. Centro EULA-Chile. *Análisis de fitoplancton en muestras de agua*. Chile: Universidad de Concepción. 2011. 95 p.

7. Confederación Hidrográfica del Ebro. *Protocolo de muestreo y análisis para fitoplancton*. Ministerio de Ambiente, España : Ministerio de Ambiente, 2005. 37 p.
8. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Concyt) y Fundación Defensores de la Naturaleza. *El impacto de la cuenca del río Polochic sobre la Integridad Biológica del lago de Izabal*. Guatemala: UVG ,1999. 60 p.
9. Departamento de Ecología, Genética y Evolución. *Limnología*. Buenos Aires, Argentina: Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. 2006. 251 p.
10. DUARTE, José. *Caracterización fisicoquímica del agua de la laguna El Pino, ubicada entre los municipios de Barberena y Santa Cruz Naranjo del departamento de Santa Rosa, de la República de Guatemala*. Estudio especial de Maestría en Ciencias de Ingeniería Sanitaria. Universidad de San Carlos de Guatemala, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). 2014. 189 p.
11. FONTÚRBEL, Francisco; MOLINA, Carlos; RICHARD, Enrique. *Evaluación rápida de la diversidad de fitoplancton en aguas eutróficas del lago Titikaka (Bolivia) y su uso como indicador del grado de contaminación*. Universidad de Chile, Chile, 2006. 12 p.
12. GALINDO, Carlos, et al. Estudio limnológico del agua y plancton Laguna El Pino. *Revista Agua, Saneamiento & Ambiente*, ERIS-USAC. 2013, Vol. 8. núm. 1, p. 63-70.

13. GARCIA, Susana. *Cianobacterias y Cianotoxinas: Impactos sobre la salud humana*. Asociación Toxicológica de Argentina. Argentina, 2005. 34 p.
14. Guatemala. *Ley de Áreas Protegidas del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. Decreto 4-89 y sus reformas. Decreto 18-89, Decreto 110-96*. Reglamento de Ley de Áreas Protegidas. 1990, No. 759-90, 33 p.
15. HIDALGO, Marco. *Propuesta de manejo de las áreas críticas de la cuenca Laguna del Pino, Barberena, Santa Rosa*. Trabajo de graduación de Licenciatura de Ciencias Agrícolas. Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 1993. 122 p.
16. JUDAY, C. Limnological studies on some lakes in Central America. *Wisconsin Academy of Sciences, Arts, and Letters*. 1910, Vol.18 (1), p. 214-250.
17. LÓPEZ, Luis. *Estudio limnológico del lago de Guija, determinación de su estado de eutrofización*. Tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente. Universidad de San Carlos de Guatemala, Escuela de Estudios de Postgrado, Facultad de Ingeniería. 2008. 89 p.

18. LONGO RANGEL, Julio F. *Influencia de variables fisicoquímicas en la dinámica de las comunidades planctónicas en las diferentes épocas del año en estanques de cultivo de camarón *Penaeus spp.* en condiciones salobres y marinas.* Tesis de Licenciatura en Acuicultura. Universidad de San Carlos de Guatemala. Centro de Estudios del Mar y Acuicultura. 1999. 84 p.
19. MARGALEF, Ramón. *Limnología.* Barcelona: Omega, 1983. 1008 p. ISBN 84-282-0714-3.
20. MUCH SANTOS, Zenón. *Manual de prácticas de laboratorio química y microbiología sanitaria.* Guatemala: ERIS- USAC, 2013. 11 p.
21. ODUM, Eugene. *Ecología.* 3a ed. México : Interamericana. 1972. 653 p.
22. PECKHAM, R. & DINNEN, C. Summer plankton of lake Amatitlan, Guatemala. *University of Notre Dame, Notre Dame, Indiana.* 1951. 10 p.
23. PELCZAR, M; REID, R; CHAN, E. *Microbiología.* 2a ed. México : McGraw-Hill, 1995. 826 p. ISBN 968-6046-65-8.
24. QUIJIVIX, Erick. *Propuesta de rescate ecológico, ampliación y remodelación parque nacional recreativo, laguna El Pino, Barberena, Santa Rosa.* Tesis de Licenciatura en Arquitectura. Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Arquitectura, 2002. 127 p.

25. RAMIREZ, Alberto; VIÑA, Gerardo. *Limnología colombiana*. Colombia : Panamericana. 1998. 279 p. ISBN 958-9029-06-X.
26. RIVERA, César. *Estudio preliminar de la eutroficación y su influencia en la sucesión ecológica acuática de la laguna El Pino, Barberena, Santa Rosa*. Tesis de Licenciatura en Ciencias Agrícolas. Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad Agronomía. 1984. 131 p.
27. RODAS, Andrea. *Evaluación del estado trófico del lago de Ayarza utilizando el modelo de simulación WASP*. Estudio especial en Maestría en Ciencias de Ingeniería Sanitaria. Universidad de San Carlos de Guatemala, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS). 2012. 167 p.
28. RODRÍGUEZ, Eva, et al. *Manual práctico para el estudio de grupos bioindicadores en fangos activos*. España: Grupo de Bioindicación de Sevilla. 2008. 220 p.
29. ROSENMEIER, Michel, et al. *Limnología y Paleolimnología de Petén, Guatemala*. *Revista de la Universidad del Valle de Guatemala*. 2002, Vol. 12, p 2-9.
30. SALAS, Denis. *Métodos empleados en ingeniería sanitaria para la remoción de algas en una fuente de abastecimiento de agua*. Estudio especial en Maestría en Ciencias de Ingeniería Sanitaria. Universidad de San Carlos de Guatemala, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), 1976. 92 p.

31. TABARINI DE ABREU, Alba. *Eutrofización del lago de Amatitlán*. Guatemala : ERIS-USAC, 1981. 64 p.
32. TILDEN, Josephine. Notes on a collection of algae from Guatemala. *Biological Society of Washington*. 1908, Vol. XXI, p. 153-156.
33. VALENZUELA, Roger. *Caracterización ecológica de la cuenca laguna El Pino*. Tesis de Licenciatura en Ciencias Agrícolas. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 1982. 87 p.
34. VIGNATI, Alicia; ECHANIZ, Santiago; MARTIN, María. *Zooplankton de tres lagos someros de diferente salinidad y estado trófico en la región semiárida Pampeana (Argentina)*. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad Nacional de la Pampa, Argentina 2007. 15 p.
35. WEISS, Charles M. *Water Quality Investigations Guatemala*. University of North Carolina, USA : 1971. 175 p.
36. WETZEL, Robert G. *Limnología*. Barcelona, España : Omega. 1981. 679 p. ISBN 84- 282- 0601-5.

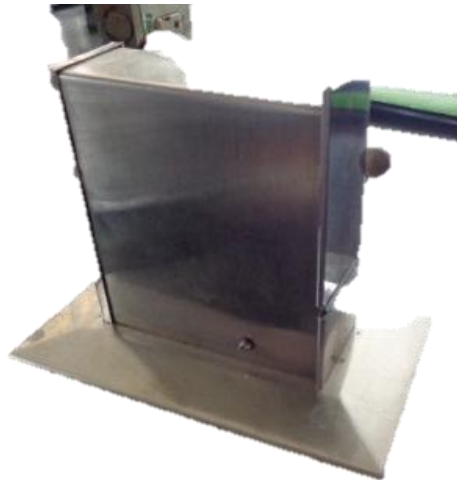
APÉNDICES

APÉNDICE 1

Equipo utilizado en los análisis de laboratorio de plancton (cualitativo) de laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini Molina” de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

1. Cualitativo

a. Porta objetos y cubre objetos



b. Mechero



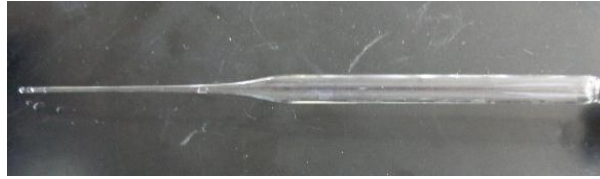
c. Microscopio



d. Perilla



e. Micro - pipeta



2. Cuatitativo

El microscopio y la pipeta se utilizan tanto en análisis cuantitativo como cualitativo. Este equipo pertenece al laboratorio de la División de Control Ambiental de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del lago de Amatitlán (AMSA).

a. Bulbo



b. Cámara de conteo



APÉNDICE 2

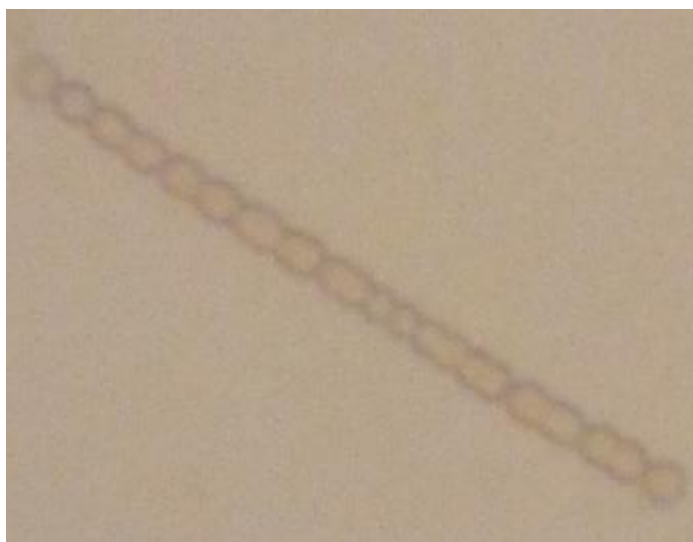
Grupos taxonómicos encontrados en la laguna El Pino, muestras analizadas en laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini Molina” de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, y en el laboratorio de la División de Control Ambiental de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del lago de Amatitlán (AMSA).

FITOPLANCTON

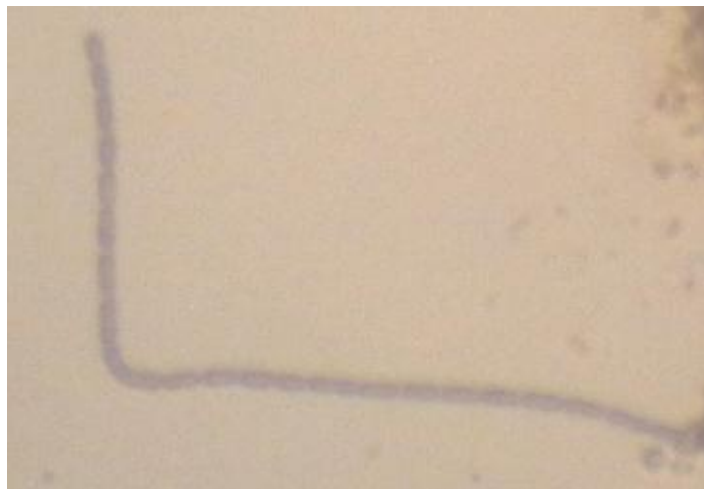
Cianofitas

1. *Anabaena*

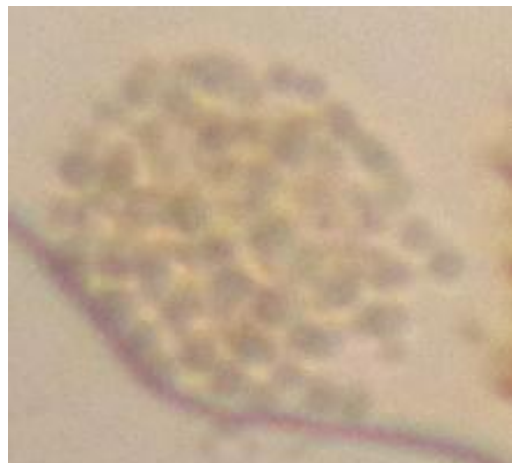
a. *Anabaena Azollae*



b. *Anabaena torulosa*



2. *Coelosphaerium*





3. *Closterium*

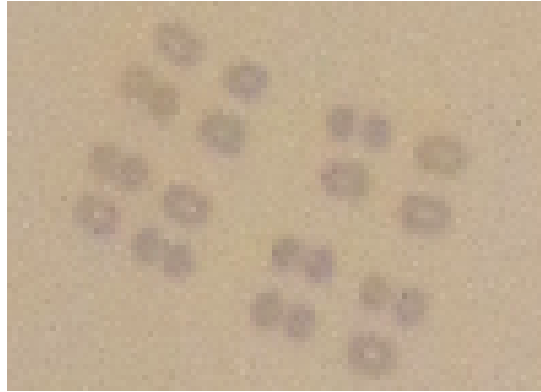
a. *Closterium Dianae*



b. *Closterium acutum*



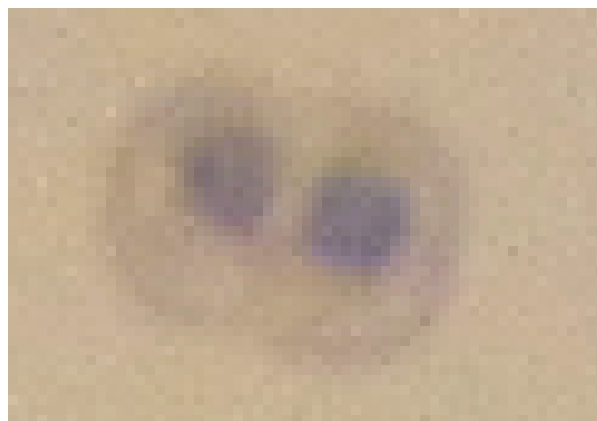
4. *Merismopedia*



Clorofitas

5. *Actinotaenium*

a. *Actinotaenium perminutum*

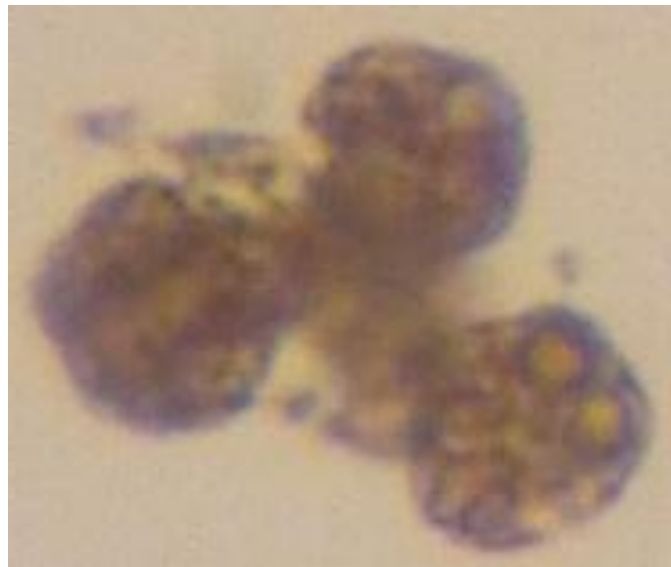


6. *Chroococcus*

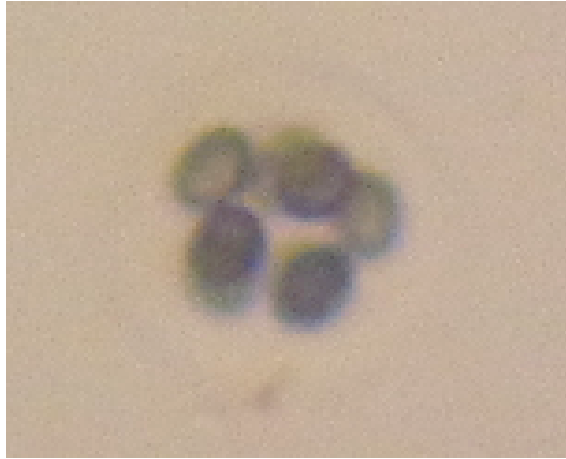


7. *Coelastrum*

a. *Coelastrum reticulatum*

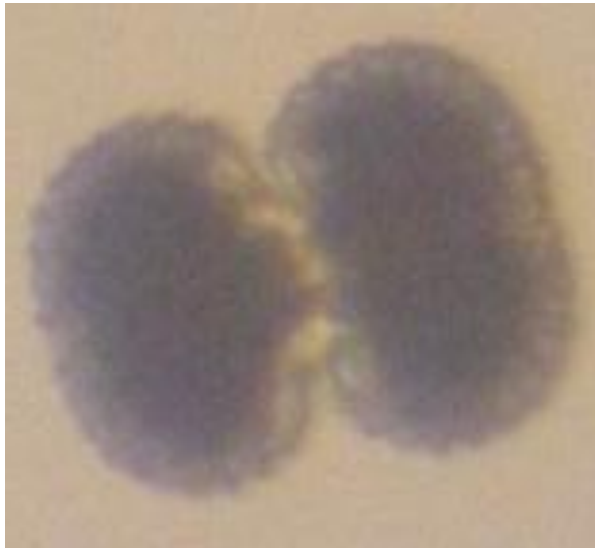


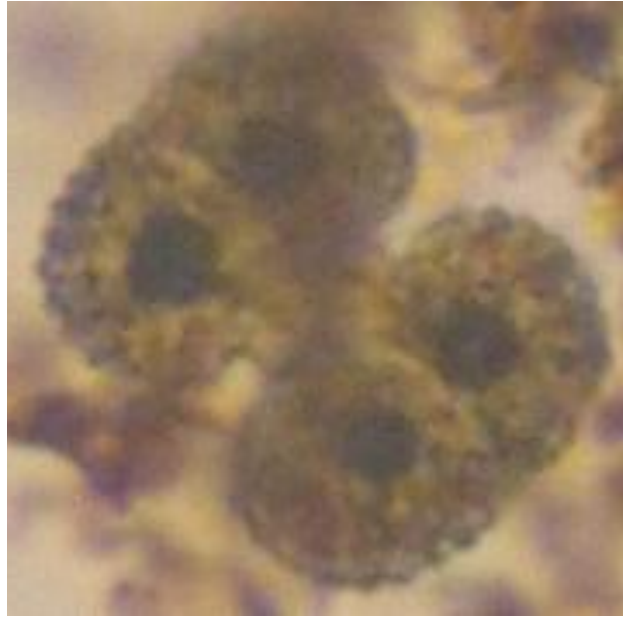
8. Coenochloris



9. Cosmarium

a. *Cosmarium margaritatum*

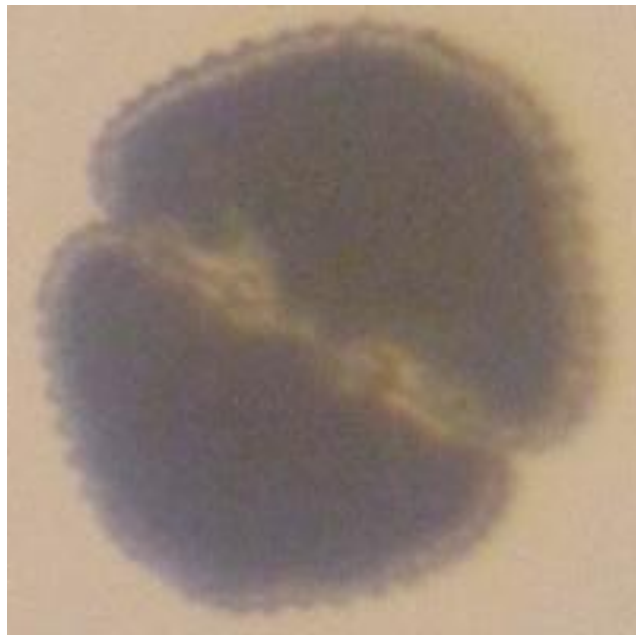


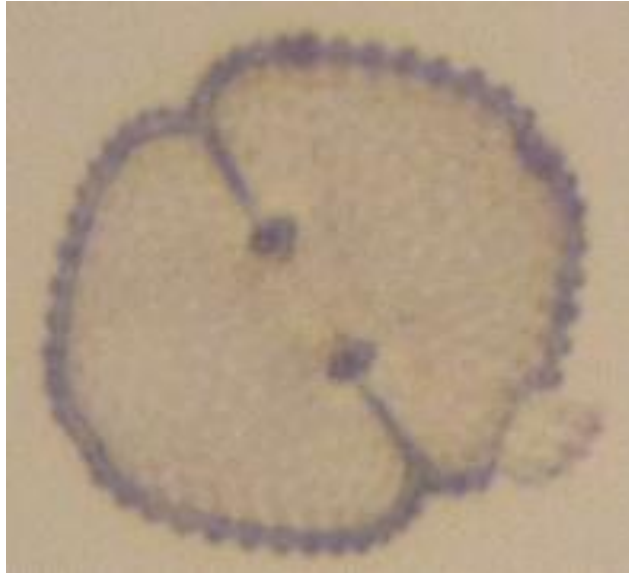


b. *Cosmarium moliforme*



c. *Cosmarium botrytis*





d. *Cosmariun contractum*



10. *Elakatothrix gelatinosa*

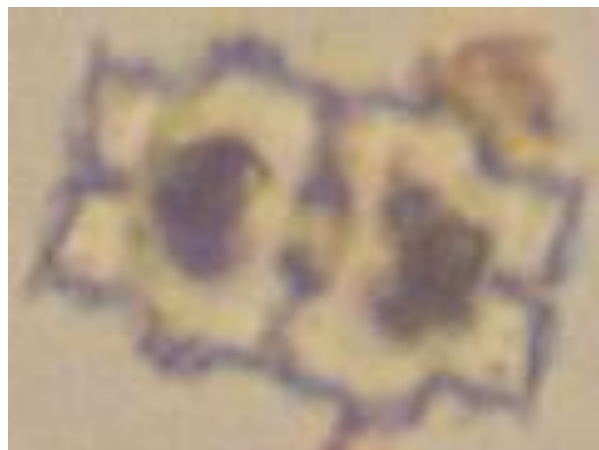


11. *Euastrum*

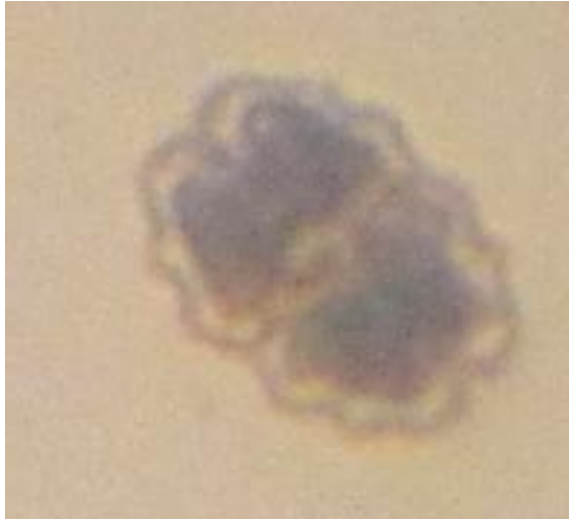
a. *Euastrum binale*



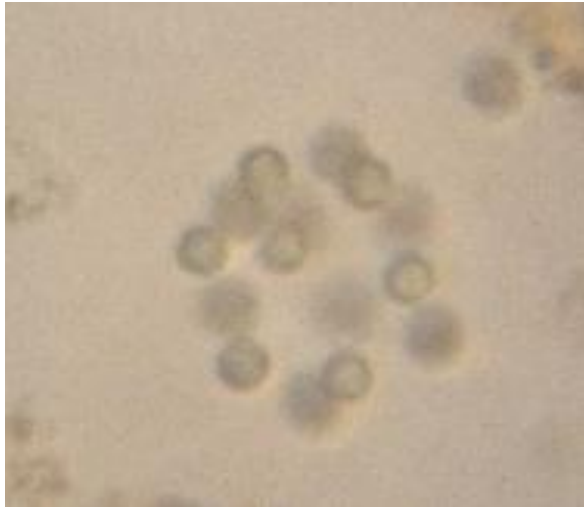
b. *Euastrum denticulatum*

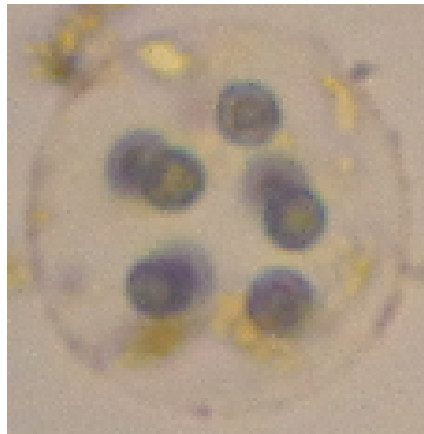


c. *Euastrum elegans*



12. *Gloeocystis*



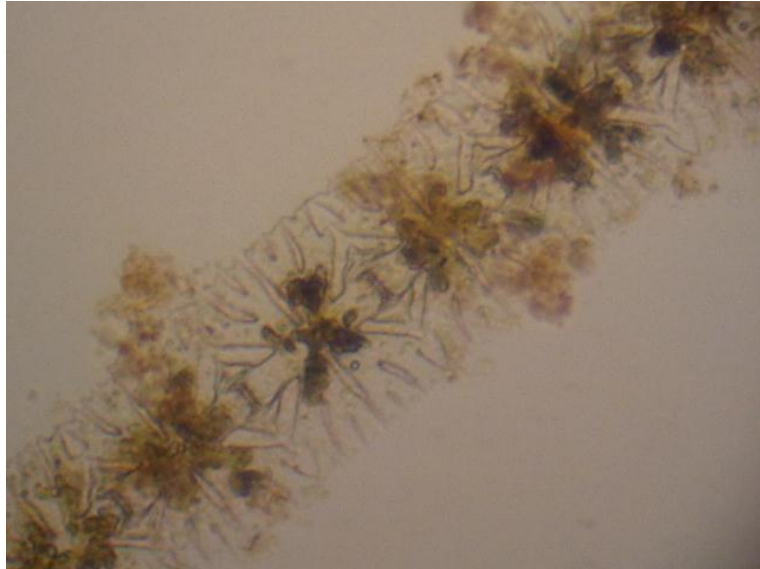


13. *Micrasteria*

a. *Micrasteria Rotata*

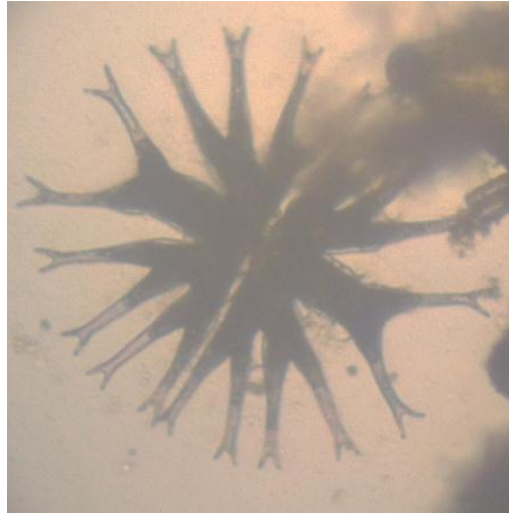


b. *Micrasteria Foliacea*

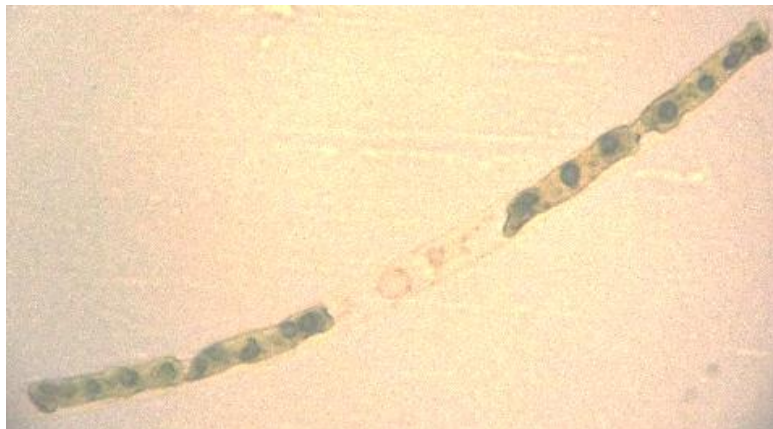


c. *Micrasteria furcata*





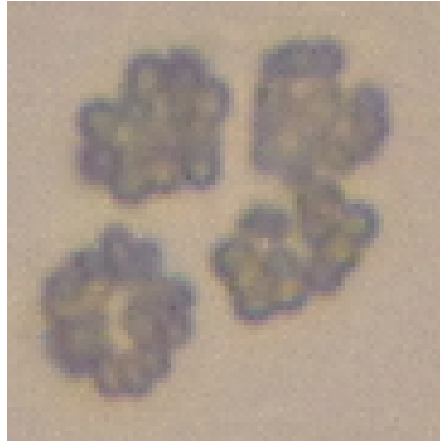
14. *Mougeotia*



15. *Oocystis*



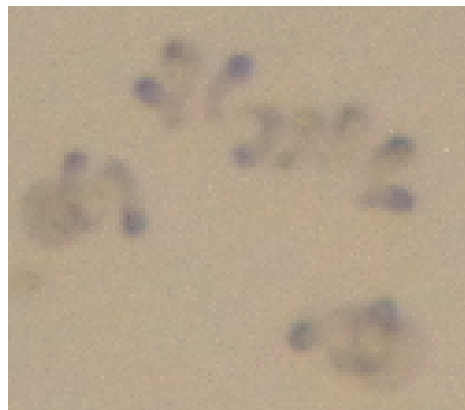
16. *Planktosphaeria*



17. *Scenedesmus*

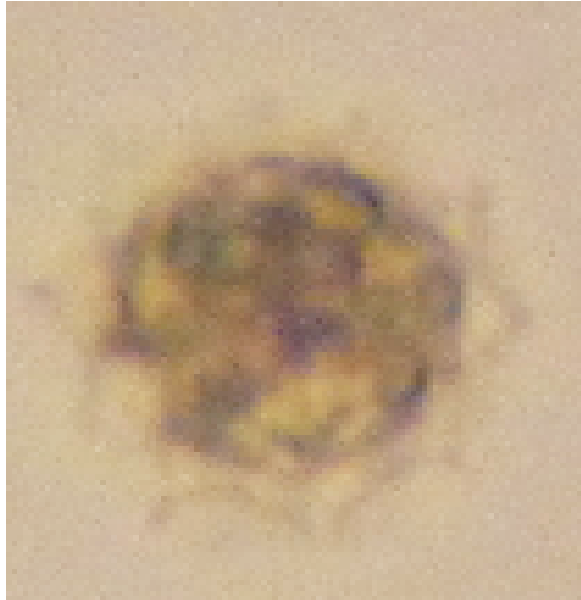


18. *Selenastrum*



19. *Stauradesmus*

a. *Stauradesmus cuspidatus*



20. *Staurastrum*

a. *Staurastrum alternans*



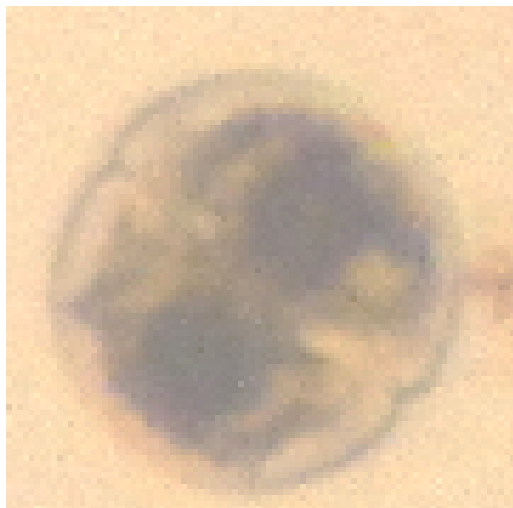
b. *Staurastrum dispar*



c. *Staurastrum gracile*



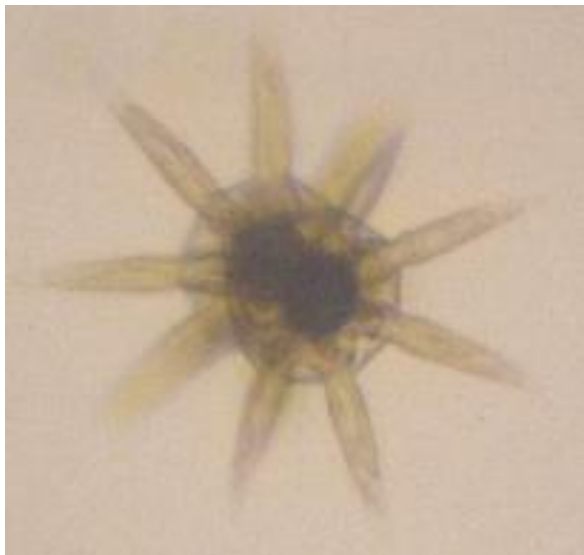
d. *Staurastrum orbiculare*



e. *Staurastrum planctonicum*



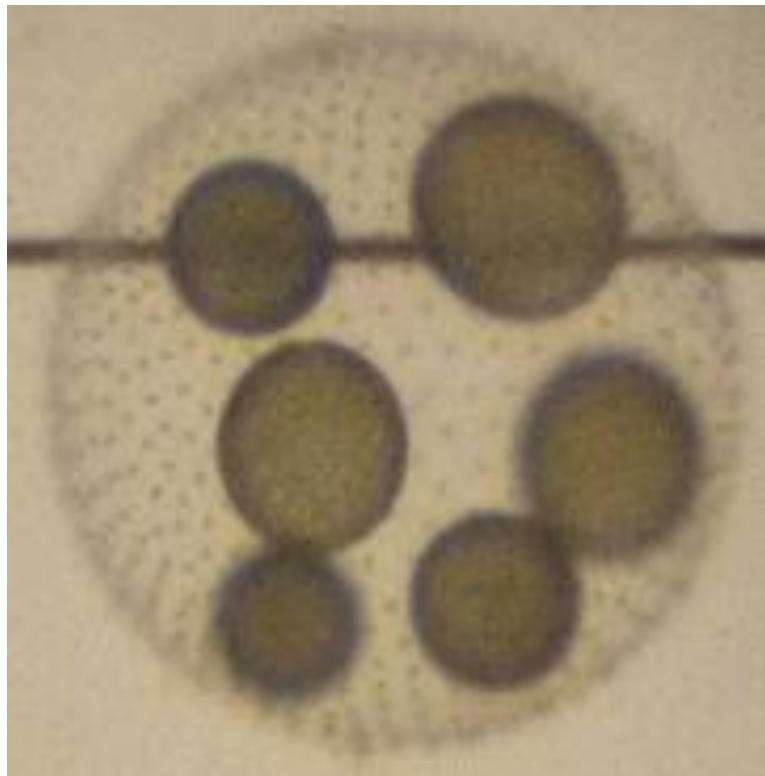
f. *Staurastrum Victoriense*



21. *Ulothrix*

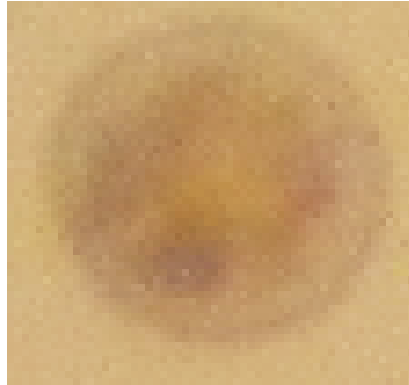


22. *Volvox*



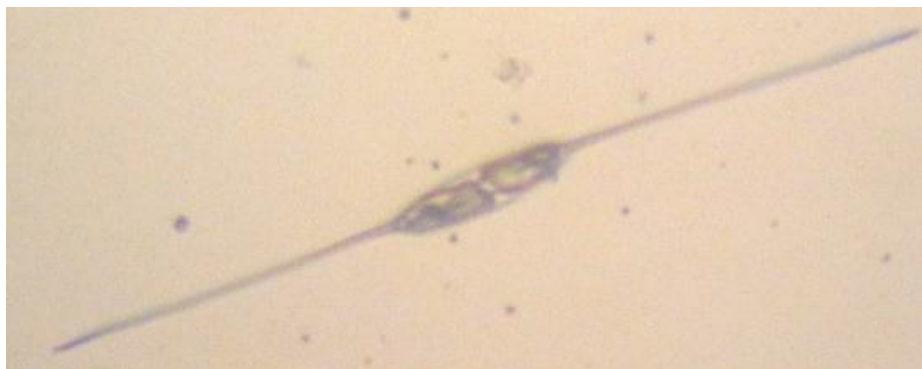
Diatomeas

23. Cyclotella



24. Cylindrotheca

a. Cylindrotheca closterium



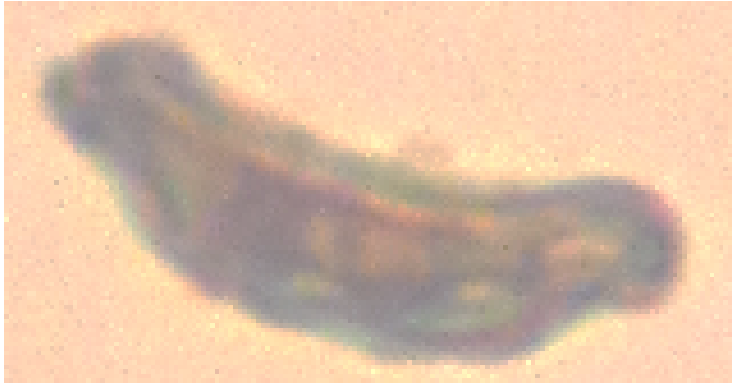


25. *Cymbella*



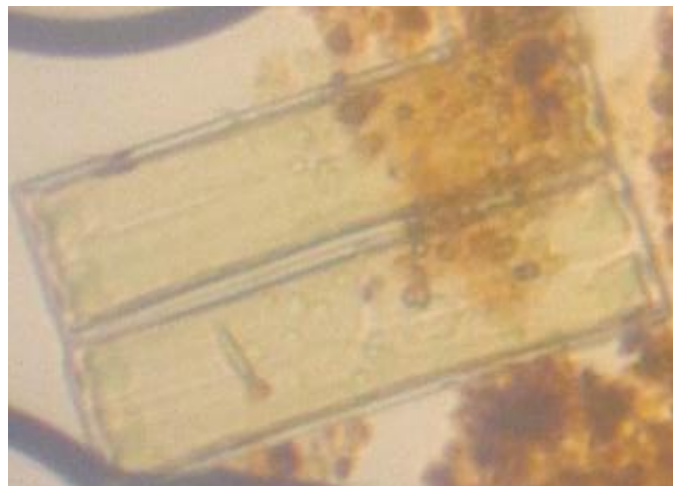
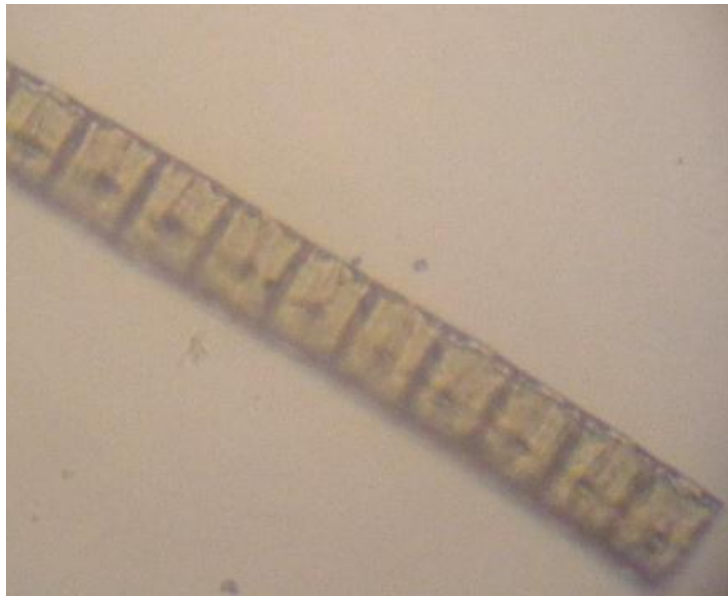
26. *Epithemia*



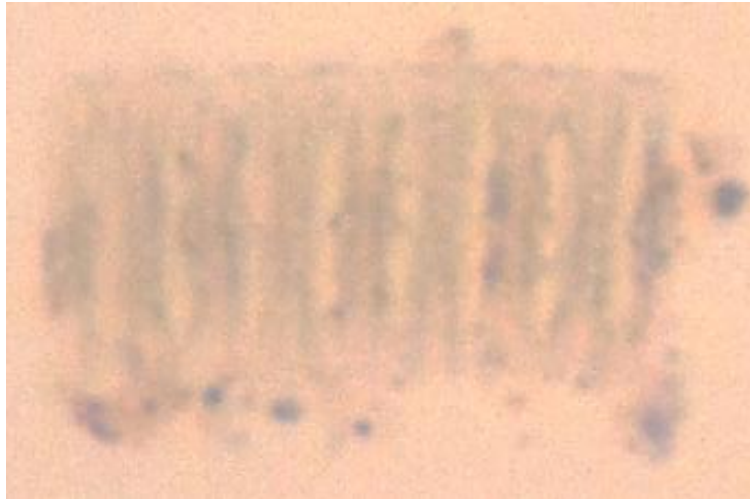


27. *Fragilaria*

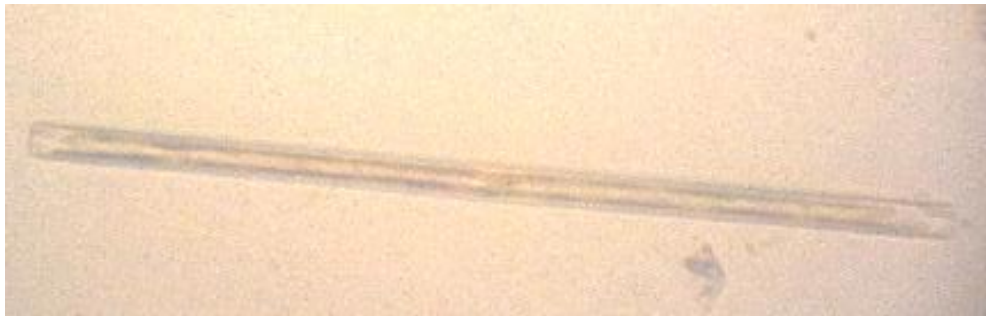
a. *Fragilaria A*



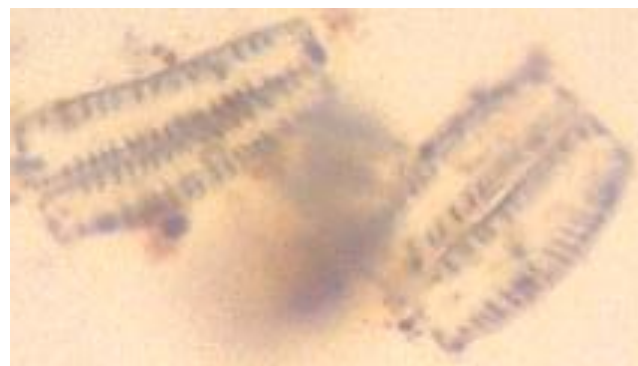
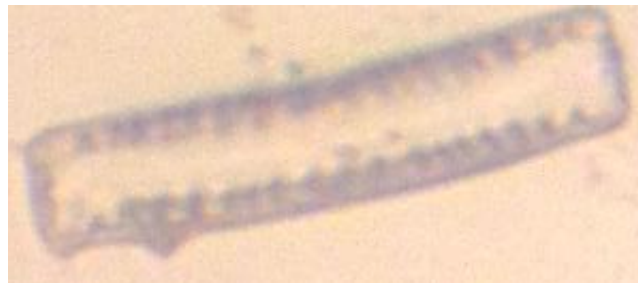
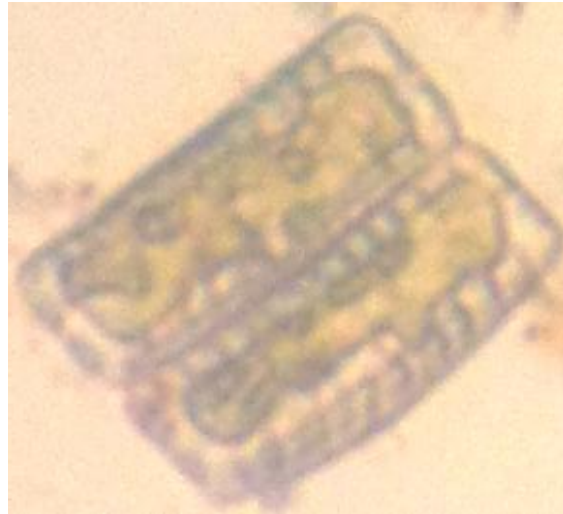
b. *Fragilaria B*



c. *Fragilaria sp*



d. *Fragilaria pinnata*



e. *Fragilaria vaucheriae*

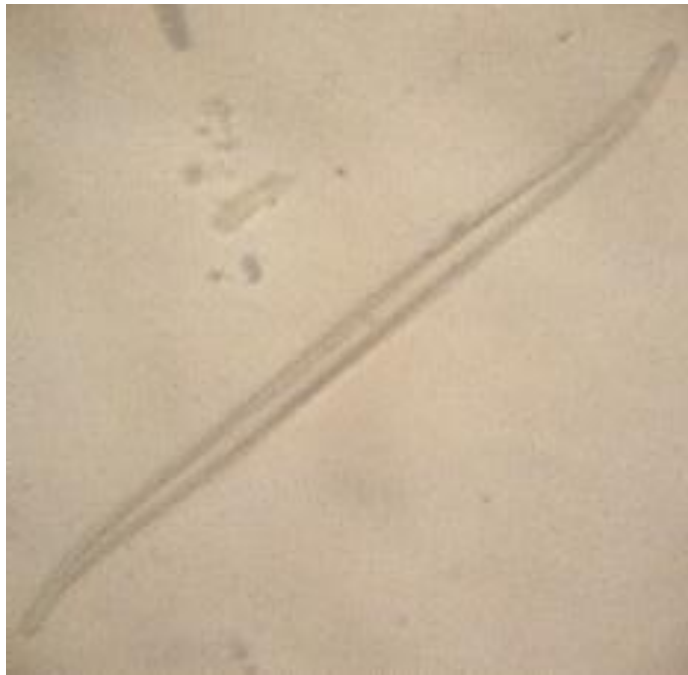


28. *Navicula*

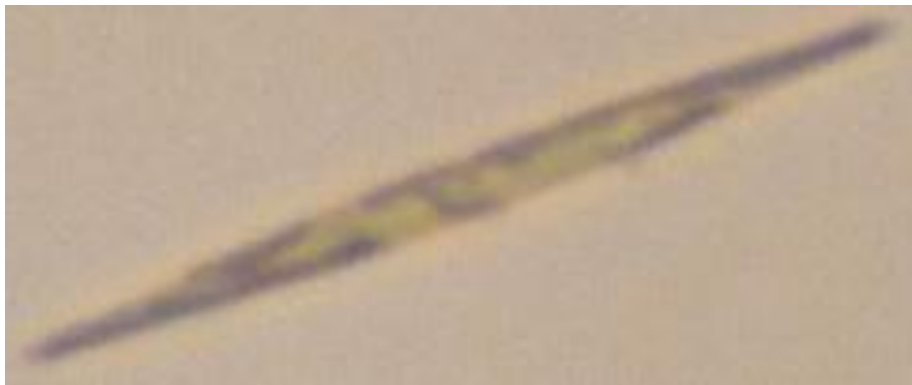


29. *Nitzchia*

a. *Nitzchia*



b. *Nitzschia acicularis*





30. *Pinnularia*

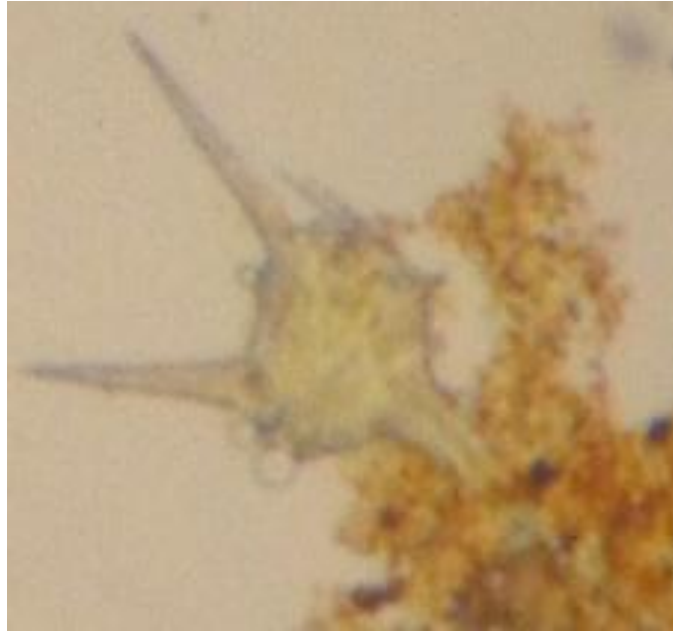




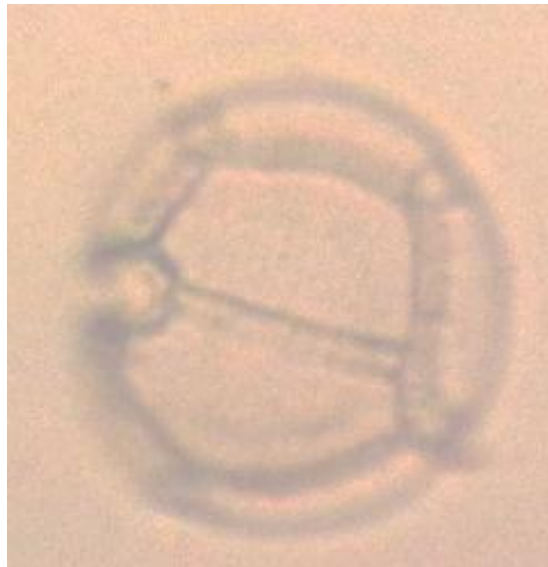
Dinoflageladas

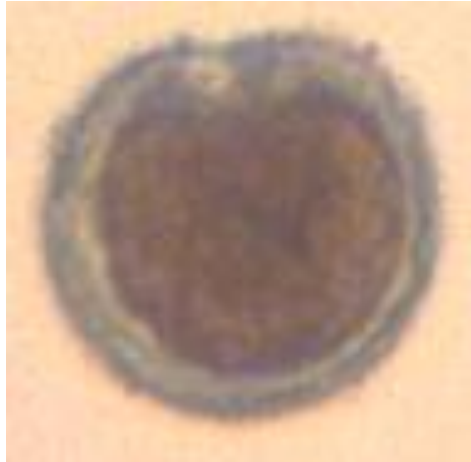
31. Ceratium





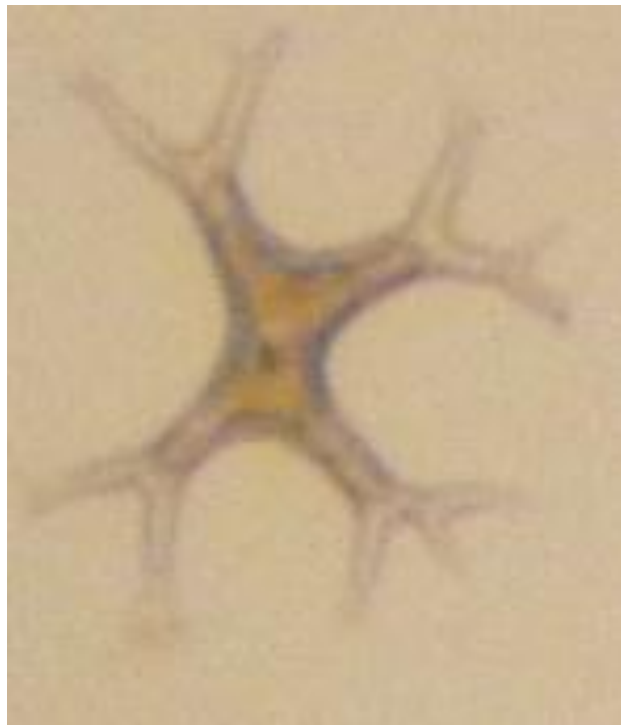
32. *Perinidium* sp





Eustigmatophyta (Eustigmatophyceae)

33. Pseudostaurastrum limneticum



Xantophyceae (verde amarillas)

34. Tribonema

a. Tribonema

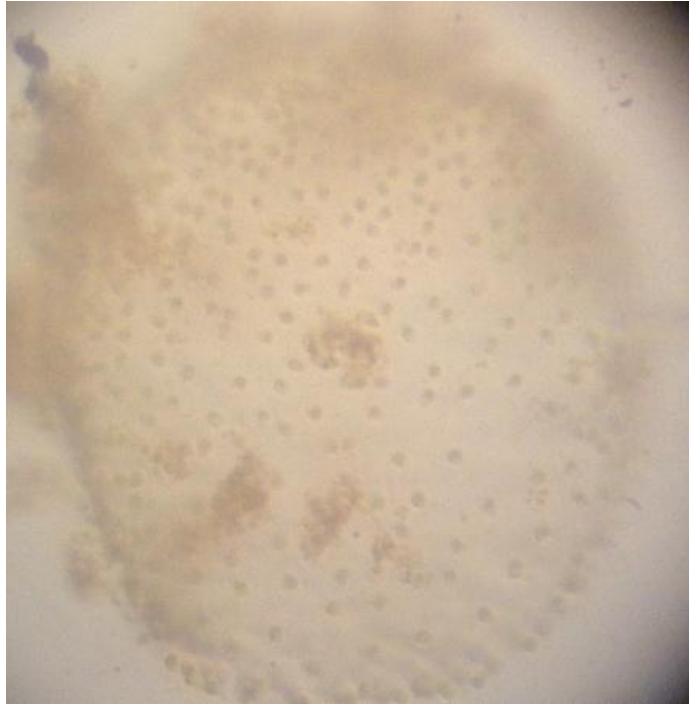


b. Tribonema utriculosum



Crisofíceas (algas pardas)

35. *Uroglenopsis*



Cryptophyceae

36. *Cryptomonas*



ZOOPLANCTON

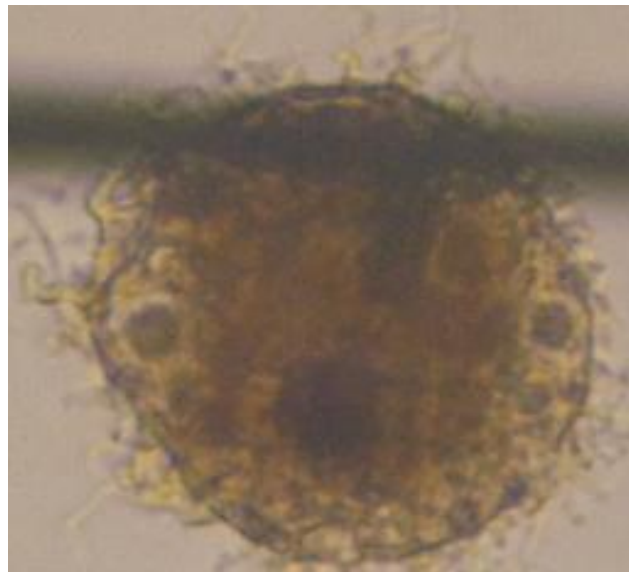
Protozoos

37. Ciliados

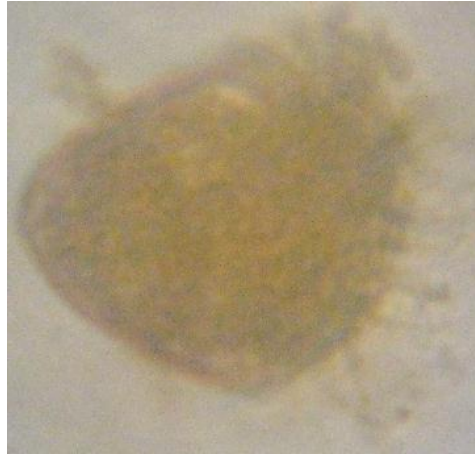
a. Halteria



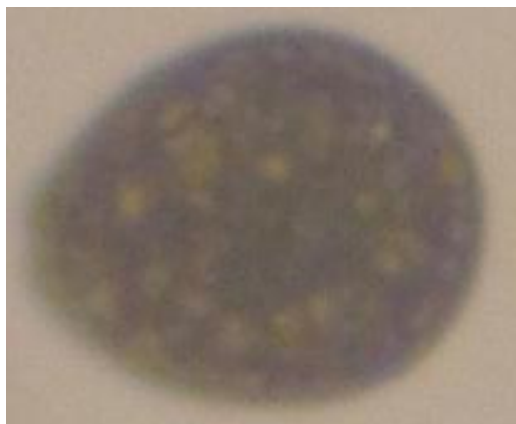
b. Holophrya



c. *Strobilidium*



38. *Lepocinclis salina*

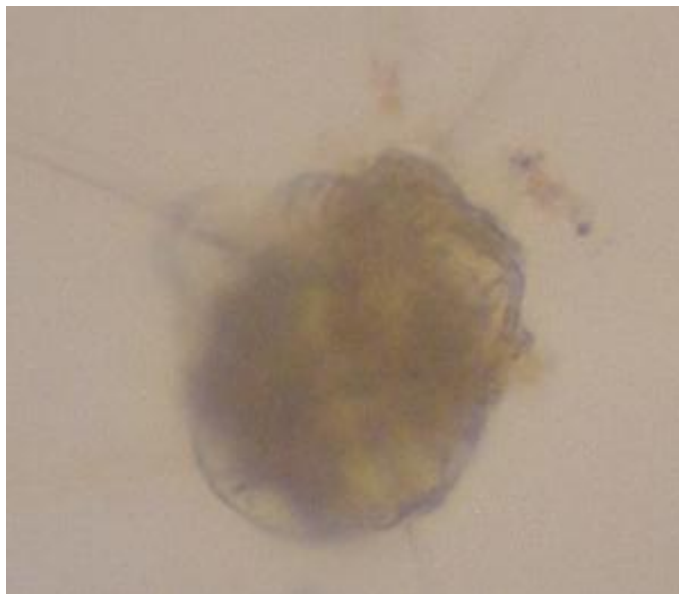


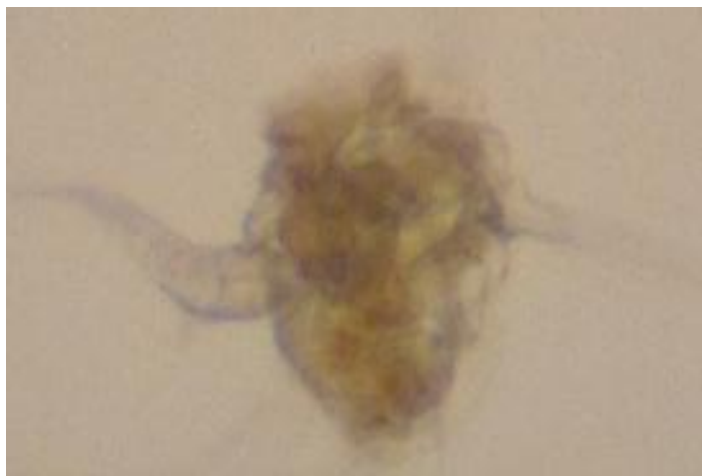
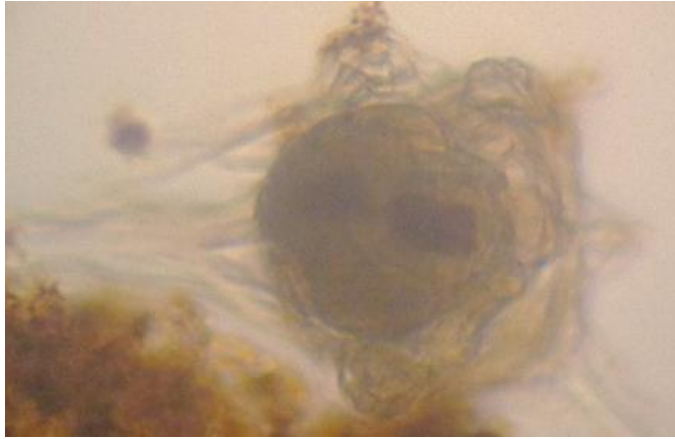
Rotíferos

39. Filinia

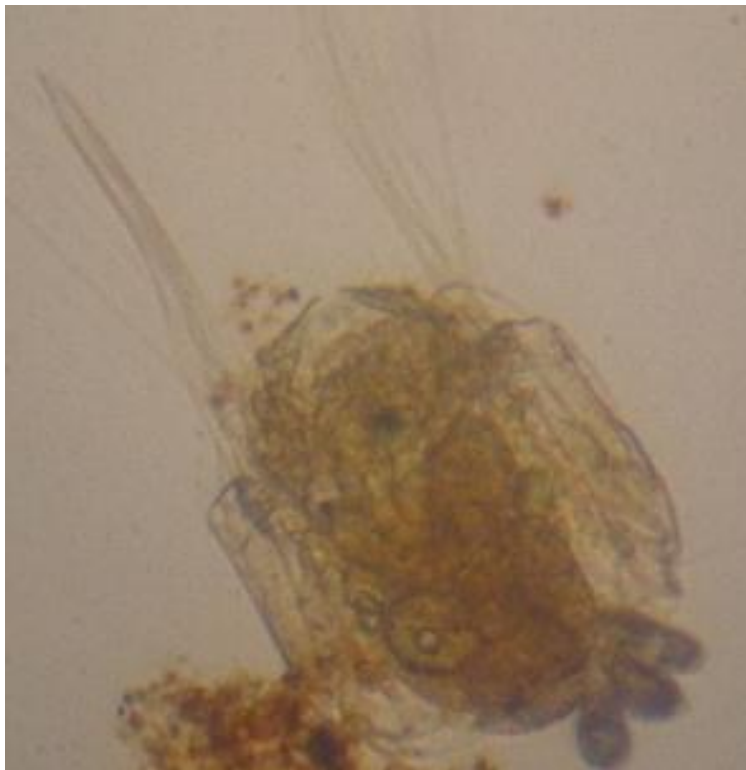


40. Hexarthra





41. *Polyarthra*



Cladóceros

42. Daphnia



43. Diaphanosoma





Copéodos

44. Cyclopoida



45. Calanoida

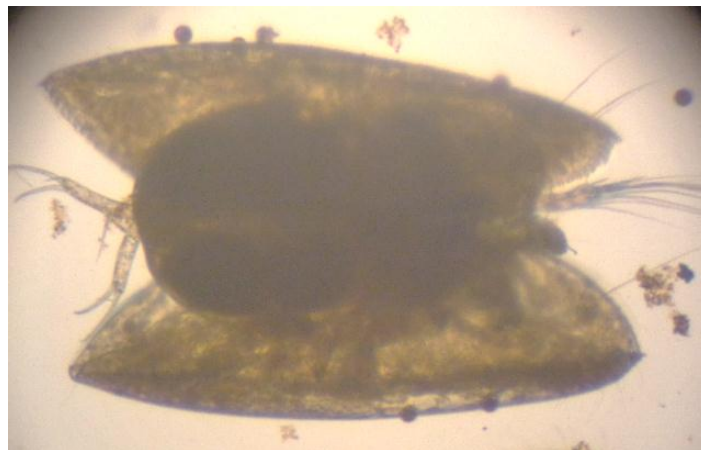
a. *Diaptomus*



b. *Larva nauplius*



46. Ostrácodo



APÉNDICE 3

Especies no confirmadas encontradas en la Laguna El Pino, las muestras fueron analizadas en el laboratorio Unificado de Química y Microbiología Sanitaria “Dra. Alba Tabarini Molina” de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, y en el laboratorio de la División de Control Ambiental de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del lago de Amatitlán (AMSA).

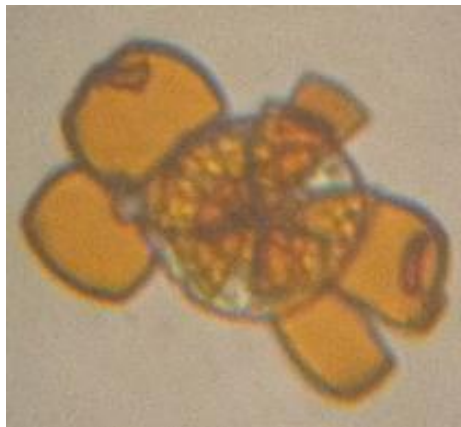
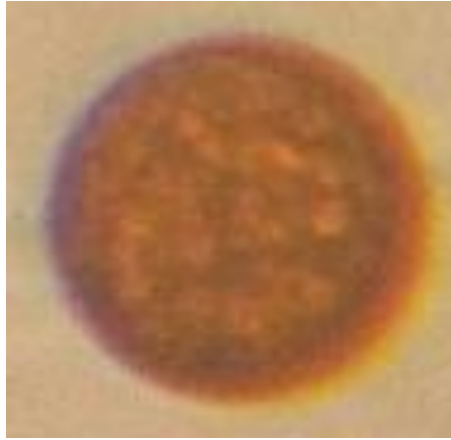
1. Especie 1



2. Especie 2



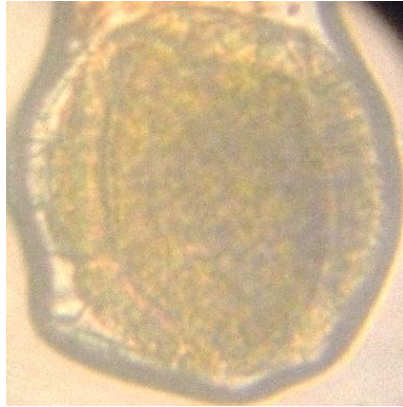
3. Especie 3



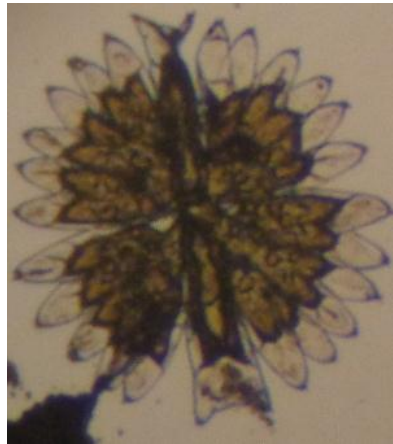
4. Especie 4



5. Especie 5



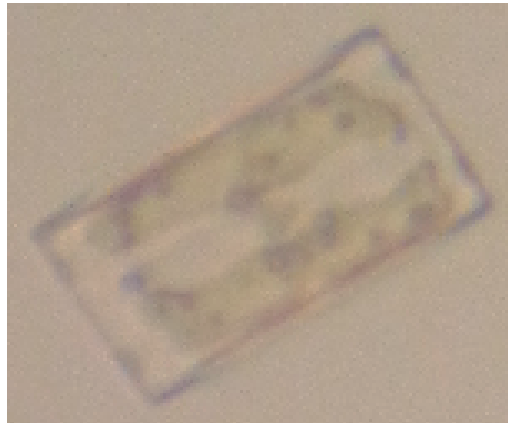
6. Especie 6



7. Especie 7



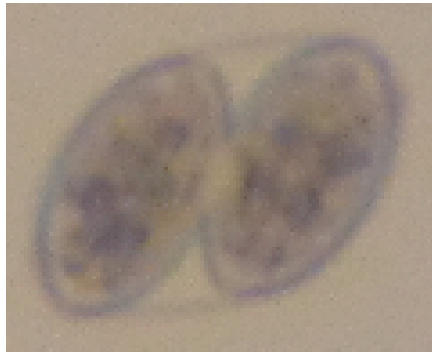
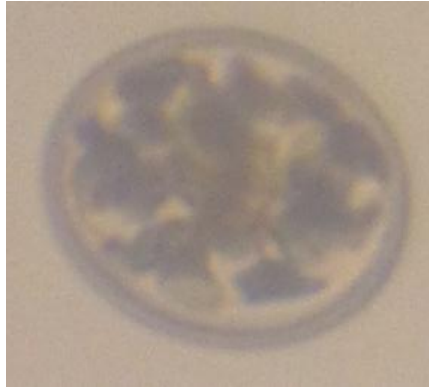
8. Especie 8



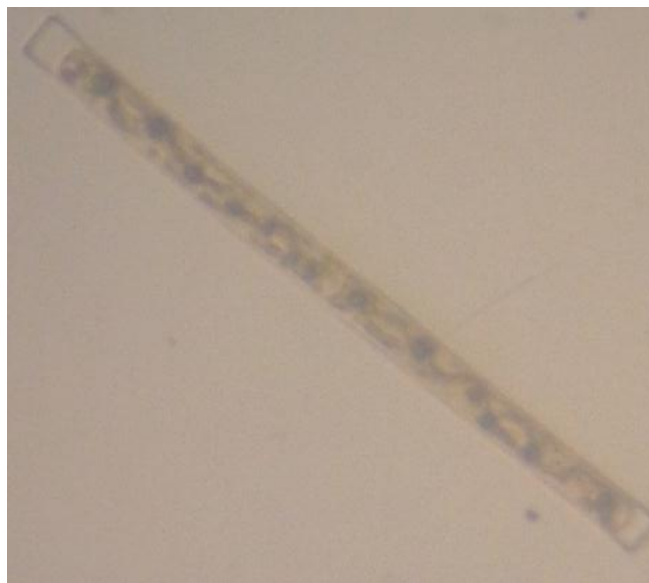
9. Especie 9



10. Especie 10



11. Especie 11



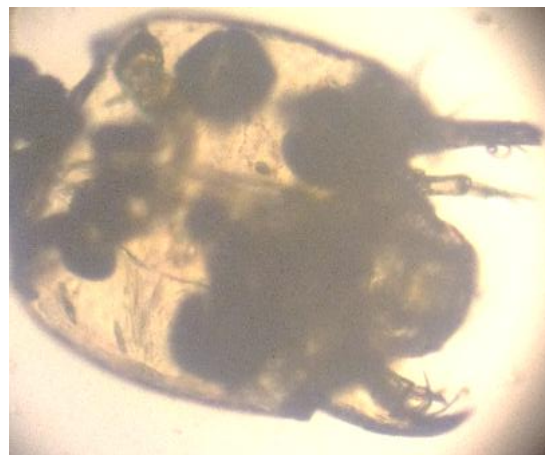
12. Especie 12



13. Especie 13



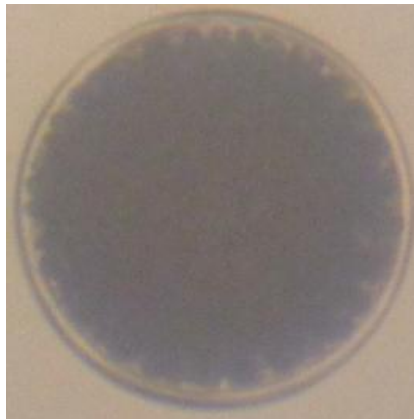
14. Especie 14



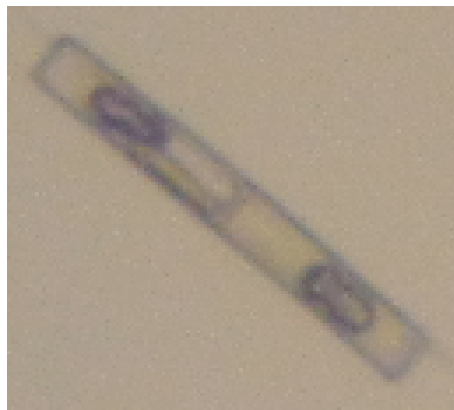
15. Especie 15



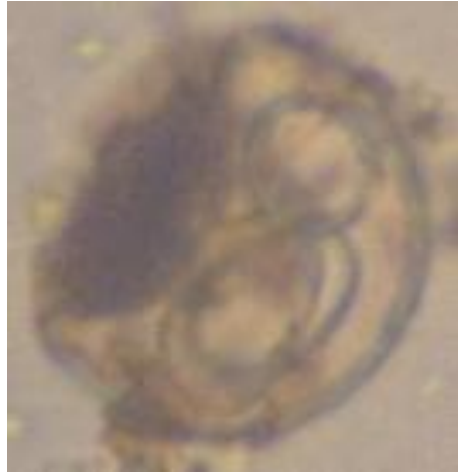
16. Especie 16



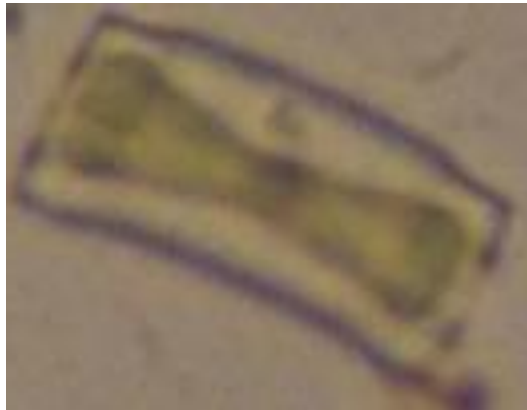
17. Especie 17



18. Especie 18




19. Especie 19



APÉNDICE 4

Formato para conteo de organismos planctónicos

	Universidad De San Carlos De Guatemala Escuela de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos Estudio Especial "Determinación de Plancton, Laguna el Pino" Realizado por: Inga. Mariela Yulissa Rodríguez García	Hoja
-----------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------

Lugar			Fecha			Hora		
Profundidad M			Vol			N. M x		
Clasificación	Numero de organismos	R ₁	R ₂	Cel/ml	% del conteo	Porcentaje total del conteo *fam.		
Cianofitas								
Anabaena sp.								
Cylindrospermum sp								
Oscillatoria sp.								
Clorofitas								
scenedesmus sp								
Volvox sp								
Chorococcus								
Staurastrum 1								
staurastrum 2								
micrasterias								
Oocystis								
Cosmarium								
Closterium								
Diatomeas								
Fragilaria sp								
Navicula sp								
Dinoflageladas								
perinidium								
ceratium								
Zooplancton								
Copepodo								
Daphnia								
Otros								

Observaciones
