

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA
PROGRAMA DE EXPERIENCIAS DOCENTES CON LA COMUNIDAD
SUBPROGRAMA EDC-BIOLOGÍA

INFORME FINAL DE DOCENCIA Y SERVICIO
LABORATORIO DE CALIDAD DEL AGUA Y LIMNOLOGÍA DEL CEMA
ENERO 2010 – ENERO 2011

MÓNICA MARÍA MARTÍNEZ FAUSTO
PROFESORA SUPERVISORA: LICDA. GABRIELA ARMAS
ASESORA DE LA UNIDAD DE PRÁCTICA: MSc. NORMA GIL DE CASTILLO
Vo.Bo. ASESORA INSTITUCIONAL

ÍNDICE

1. Introducción	2
2. Cuadro resumen de las actividades de EDC	3
3. Actividades realizadas durante la práctica de EDC	3
3.1 Actividades de Servicio	4
3.2 Actividades de Docencia	7
3.3 Actividades no Planificadas	8
4. Referencias bibliográficas	12
5. Anexos	12

1. INTRODUCCIÓN

El programa de EDC contribuye a la formación profesional de estudiante de Biología al inducirlo a la práctica de las Ciencias Biológicas a través del servicio, docencia e investigación; lo prepara para realizar su EPS, además contribuye a su desarrollo humano.

Las funciones del estudiante comprenden la divulgación de la realidad ambiental, apoyar las funciones de su unidad de práctica, plantear soluciones a un problema de interés nacional, impartir y recibir docencia

El programa está basado en tres Programas Universitarios:

Docencia Universitaria: Es toda actividad orientada a la búsqueda, comprensión, interpretación, aplicación y divulgación del conocimiento científico, tecnológico humanístico. El estudiante debe realizar actividades tanto de docencia recibida como de docencia impartida.

Investigación Universitaria: Es la actividad sistemática y creadora, tendiente a descubrir, comprender, describir, analizar, sintetizar, interpretar y/o evaluar relaciones y la esencia de fenómenos con el fin de establecer principios, conceptos, teorías y leyes que orienten fundamentalmente y planteen soluciones a un problema de interés nacional.

Servicio Universitario: Es la actividad orientada a la aplicación del servicio científico, tecnológico y humanístico en la solución de los problemas y satisfacción de las necesidades de la sociedad guatemalteca.

Los objetivos generales son:

- Proporcionar servicios de docencia, investigación, y/o extensión a instituciones relacionadas con el campo de las ciencias biológicas.
- Ejecutar proyectos de investigación básica, aplicada y biotecnología.
- Proporcionar herramientas teórico-metodológicas propias del área socio biológica.
- Consolidar en el estudiante la conciencia conservacionista de las especies y sus hábitats.

El Informe Final de Docencia y Servicio presenta las actividades de servicio, docencia realizadas durante la primera parte del EDC. Indica el procedimiento realizado, los objetivos alcanzados, los resultados parciales y las limitaciones que se presentaron durante cada actividad. Además incluye actividades no propuestas en el plan de trabajo y un cuadro donde se resumen todas las actividades realizadas hasta la fecha, con las horas de EDC realizadas.

2. CUADRO RESUMEN DE LAS ACTIVIDADES DE EDC

Programa Universitario	Actividad	Fecha actividad	Horas EDC asignadas	Horas EDC acumuladas	% de horas de EDC acumuladas
Servicio	Horas de herbario	18/01 a 1/02	40	40	4.00
	Antecedentes	Febrero	16	20	2.00
	Reunión RUMCLA	03/02/10	1	2	0.20
	Claves dicotómicas	Enero	6	4	0.40
	Sedgwick-Rafter	Febrero	2	3	0.30
	Acondicionamiento de laboratorio	05/02/10	2	6	0.60
	Preparación de reactivos	Febrero	4	20	2.00
	Protocolo	Febrero	12	24	2.40
	Primera gira de campo	17/02/10	6	6	0.60
	Análisis fisicoquímico	24/02/10	8	4.5	0.45
	Análisis de fitoplancton	Marzo	36	80	8.00
	Coordinación con MARN	19/03/10	2	2	0.20
	Análisis microbiológico	24/03/10	4	13.5	1.35
	Conferencia de cianobacterias en lagos	25/03/10	2	2	0.20
	Manejo de colección	Junio	20	37.5	3.75
Docencia	Estudios ecológicos	09/02/10	2	1.5	0.15
	Simposio del lago	18/02/10	5	5	0.50
	Capacitación	25/02/10	3	3	0.30
	Curso microbiológico	08 - 12/04/10	21	21	2.10
	Expedición Científica	11 - 23/04/10	118	118	11.80
	Práctica de laboratorio y clase de fitoplancton	10, 11 y 14/05/10	4	13.5	1.35

3. ACTIVIDADES REALIZADAS DURANTE LA PRÁCTICA DE EDC

3.1. ACTIVIDADES DE SERVICIO

Nombre: Antecedentes de estudios sobre el lago de Atitlán.

Objetivos: Obtener información acerca de estudios previos sobre el lago de Atitlán.

Descripción: Se buscó información acerca de estudios previos sobre el lago de Atitlán en el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYT), se entrevistó a la Dra. Margareth Dix acerca de los análisis que ha realizado en el lago, para presentarlos como antecedentes un protocolo de proyecto de investigación a DIGI.

Resultados: Se encontró un análisis ecológico realizado en 2003 en DIGI:

- Dix, M., O. Medinilla y E. Castellanos. 2003. Diagnóstico Ecológico-Social en la Cuenca de Atitlán. Universidad del Valle de Guatemala/The Nature Conservancy, Guatemala.

Se encontraron tesis realizadas en la Universidad de San Carlos:

- Soto, S. 2004. Determinación de los niveles actuales de fósforo en el Lago de Atitlán. Tesis de Licenciatura en Química Farmacéutica, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Herdocia, M. 1999. Detección y cuantificación de sustancias químicas para establecer índices de contaminación en aguas superficiales del lago de Atitlán. Tesis de Licenciatura en Biología, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Girón, E. 2003. Interpretación ambiental de Cerro San Marcos (CSM). Reserva de Usos Múltiples de la Cuenca del Lago de Atitlán (RUMCLA): municipio de San Marcos La Laguna, Sololá. Tesis de Licenciatura en Biología, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Mogollón, R. 2001. Importancia de legislar para la conservación del Lago de Atitlán. Tesis de Abogado y Notario, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Barreno, V. 2009. Identificación de áreas de recarga hídrica en la Subcuenca del Río Quiscab, Cuenca del Lago de Atitlán. Tesis de Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Montúfar, E. 1990. Priorización de subcuencas de la cuenca del lago de Atitlán. Tesis de Ingeniero Agrónomo, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- López, M. 1998. Legislación que regula el uso de las aguas, navegación y otros aspectos en el lago de Atitlán. Tesis de Abogado y Notario, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

Limitaciones presentadas: No se presentó ninguna limitación.

Nombre: Claves dicotómicas de microalgas de agua dulce.

Objetivos: Encontrar claves dicotómicas de microalgas de agua dulce.

Descripción: Se entrevistó a personas que se hayan dedicado al estudio de microalgas dulceacuícolas para encontrar las claves dicotómicas necesarias.

Resultados: Se encontró 4 claves dicotómicas de microalgas de agua dulce. Una hasta género y tres hasta especie.

- Freshwater Algae of North America. Wehr, J. y Sheath, R.
- Identifying Marine Phytoplankton. Thomas, C.
- How to Know the Freshwater Algae. Prescott, G.
- Algae and Water Pollution. Palmer, C.

Limitaciones presentadas: No se presentó ninguna limitación.

Nombre: Cámara de Sedgwick-Rafter.

Objetivos: Obtener al menos dos cámaras de Sedgwick-Rafter para análisis cuantitativo del agua.

Descripción: Se cotizó mandar a hacer las cámaras de Sedgwick-Rafter a lugares de grabado de vidrio.

Resultados: No se pudo mandar a hacer las cámaras al no haber suficientes recursos.

Limitaciones presentadas: Recursos monetarios no suficientes para cubrir los gastos del grabado. En su lugar se utilizarán cámaras de Neubauer.

Nombre: Preparación de reactivos de calidad de agua.

Objetivos: Obtener los reactivos necesarios para los análisis que se realizarán en la gira al lago de Atitlán.

Descripción: Se prepararon los reactivos necesarios para las pruebas de CO₂ y alcalinidad, el lugol para fijar el fitoplancton y la sonda multiparamétrica para medir el oxígeno disuelto, el pH y la temperatura.

Resultados: Se preparó la mayoría de los reactivos a utilizar, pero hizo falta los reactivos para dureza.

Limitaciones presentadas: No había reactivos disponibles para realizar todas las pruebas en el lugar.

Nombre: Gira de campo al lago de Atitlán.

Objetivos: Realizar un monitoreo del agua del lago de Atitlán y del río San Francisco.

Descripción: Se realizó una gira al lago de Atitlán, donde se tomó muestras para análisis fisicoquímico, microbiológico y de fitoplancton en tres puntos del río San Francisco, el cual desemboca en el lago, y una muestra en un muelle del lago.

Resultados:

Gira 1. 17/II/2010

7:00 Salida del CEMA hacia el lago de Atitlán.

11:00 Llegada al punto no. 1 en el río Panajachel, debajo del puente de la amistad.

Parámetros in situ:

Oxígeno: 88.8%, 6.95mg/L. Temperatura: 21.6°C. pH: 6.5. CO₂: 0.2497mg/L

11:29 Muestra no. 1: análisis de nutrientes

11:36 Muestra no. 2: macroalga Chlorophyta

11:50 Muestra no. 4: análisis microbiológico

11:55 Muestra no. 5: análisis de nutrientes

12:45 Llegada al punto no. 2 en el río Panajachel, debajo del puente Panajachel.

Parámetros in situ:

Oxígeno: 81.4%, 6.31mg/L. Temperatura: 24.6°C. pH: 6.5. CO₂: 0.2497mg/L

12:50 Muestra no. 6: análisis de fitoplancton

12:55 Muestra no. 7: análisis de nutrientes.

13:40 Llegada al punto no. 3 en la desembocadura del río Panajachel.

Parámetros in situ:

Oxígeno 11.2%, 0.83mg/L. Temperatura: 4.3°C. CO₂: 8.74mg/L

13:48 Muestra no. 8: análisis microbiológico

13:48 Muestra no. 9: análisis de nutrientes

13:50 Llegada al muelle del Lago de Atitlán

13:50 Muestra no. 10: análisis de fitoplancton

15:52 Muestra no. 11: análisis de nutrientes

Se obtuvo los parámetros fisicoquímicos y los análisis microbiológicos de las muestras obtenidas de la gira.

Limitaciones presentadas: No había lancha ni disponibilidad de tiempo para tomar todas muestras del lago. Se realizó una gira debido a problemas presentados durante las fechas planificadas.

Nombre: Análisis cualitativo de fitoplancton.

Objetivos: Determinar el fitoplancton presente en el lago de Atitlán y en el río San Francisco.

Descripción: Se utilizaron claves dicotómicas de algas microscópicas de agua dulce para determinar las que se encuentran en el río San Francisco y el lago de Atitlán.

Resultados: Se determinaron los géneros de las algas presentes en el río.

Análisis de fitoplancton			
Localidad	Géneros encontrados	Localidad	Géneros encontrados
Río San Francisco, puente Panajachel	<i>Characium</i>	Lago de Atitlán	<i>Aulacoseira</i>
	<i>Zyngbya</i>		<i>Melosira</i>
	<i>Hantzschia</i>		<i>Microcystis</i>
	<i>Diatoma</i>		<i>Oocystis</i>
	<i>Synedra</i>		<i>Fragilaria</i>
	<i>Mougeotiopsis</i>		<i>Trichodesmium</i>
	<i>Rhoicosphenia</i>		<i>Lyngbya</i>
	<i>curvata</i>		<i>Cimbella</i>
	<i>Amphipleura</i>		<i>Botriococcus</i>
	<i>pellucida</i>		<i>Dinobryon</i>
Río San Francisco, puente de la amistad	<i>Synedra ulna</i>	<i>Epithemia</i>	
	<i>Cocconeis</i>	<i>Synedra</i>	
	<i>Zygnema</i>	<i>Cocconeis</i>	
	<i>Gomphonema</i>	<i>Nitzschia</i>	
	<i>Diatoma</i>	<i>Gomphonema</i>	
	<i>Hantzschia</i>		
	<i>Navicula</i>		

Objetivos alcanzados: Se determinó el fitoplancton presente en el río San Francisco y el Lago de Atitlán.

Limitaciones presentadas: No se presentó ninguna limitación.

Nombre: Análisis cuantitativo de fitoplancton.

Objetivos: Determinar la concentración de fitoplancton del lago de Atitlán y del río San

Francisco.

Descripción: Se haría un recuento de microalgas de las muestras obtenidas y se expresarían los resultados en Unidad Estándar de Área (UEA) por mL y No. de organismos por mL.

Resultados: No se realizó esta actividad.

Limitaciones presentadas: No se tenía el equipo adecuado para obtener la muestra (botella de Van Dorn) ni para realizar el conteo (cámara de Sedgwick-Rafter).

Nombre: Manejo de la colección de peces, moluscos y crustáceos del laboratorio.

Objetivos: Tener los especímenes en buenas condiciones para su conservación.

Descripción: Se cambió el alcohol a los especímenes, se etiquetaron correctamente los frascos con los datos de: Identificación, fecha de colecta, lugar de colecta, coordenadas, colector y se ordenó la colección.

Resultados: La colección se encuentra ordenada y en buenas condiciones.

Limitaciones presentadas: La disponibilidad de preservante y de material para realizar etiquetas retrasó la actividad.

Nombre: Elaboración de protocolo de investigación.

Objetivos: Aprobar el proyecto de investigación.

Descripción: Se presentó un protocolo de investigación de un monitoreo del río San Francisco y su impacto en el fitoplancton del Lago de Atitlán para realizarse el siguiente año.

Resultados: Se presentó el protocolo de investigación en DIGI, pero no fue aprobado.

Limitaciones presentadas: No se presentó ninguna limitación.

3.2. ACTIVIDADES DE DOCENCIA

Nombre: Simposio Lago de Atitlán, análisis y propuesta técnica.

Objetivos: Enterarse acerca de la situación actual del lago de Atitlán y escuchar las propuestas.

Descripción: Se asistió al simposio que tuvo lugar en el centro cultural universitario Paraninfo, en donde se presentaron investigaciones realizadas en el lago y propuestas de profesionales de cada área (ver programa en anexos).

Resultados: Se amplió el conocimiento acerca de la situación del lago, se escucharon las propuestas y se formó el grupo Atitlán con las personas que asistieron (ver diploma de participación en anexos).

Limitaciones presentadas: No se pudo asistir en la fecha programada debido a que no se pudo ingresar a la universidad, pero se reprogramó y realizó el 18 de febrero.

Nombre: Conferencia de Estudios ecológicos: el lago de Atitlán antes y después.

Objetivos: Ampliar los conocimientos acerca del desarrollo de la problemática actual del lago de Atitlán.

Descripción: Se asistió a la conferencia que impartió la Dra. Margareth Dix en la Universidad del Valle de Guatemala.

Resultados: Se obtuvo información acerca de la investigación realizada por la Dra. Margareth Dix acerca del lago y la problemática actual.

Limitaciones presentadas: No se presentó ninguna limitación.

Nombre: Manejo del agua contaminada y el impacto de las algas del lago de Atitlán.
Objetivos: Impartir pláticas sobre la contaminación del lago de Atitlán a poblados cercanos.
Descripción: Se impartirían pláticas sobre la contaminación del lago de Atitlán a personas interesadas en poblados cercanos al lago de Atitlán.
Resultados: No se realizó esta actividad por la falta de recursos.
Limitaciones presentadas: Falta de recursos.

Nombre: Seminario sobre el Manejo de la Calidad del agua.
Objetivos: Aprender la determinación de diferentes parámetros de la calidad del agua.
Procedimiento: Se asistiría al seminario sobre el Manejo de calidad del agua para aprender a determinar los diferentes parámetros de la calidad del agua.
Resultados parciales: No se realizó la actividad.
Objetivos alcanzados: Ninguno.
Limitaciones presentadas: No se pudo realizar el Seminario por falta de tiempo.

Nombre: Práctica de laboratorio: Análisis cualitativo y cuantitativo de fitoplancton a los estudiantes de limnología del CEMA.
Objetivos: Transmitir los conocimientos aprendidos acerca del análisis cualitativo y cuantitativo de fitoplancton.
Descripción: Se preparó la práctica de laboratorio y se realizó. Además, se impartieron las clases sobre algas y su importancia en la acuicultura a los estudiantes de microbiología del CEMA (ver anexos). Preparar la práctica de laboratorio y realizarla.
Resultados: Se transmitió los conocimientos aprendidos acerca de los análisis de fitoplancton.
Limitaciones presentadas: La práctica y la clase se retrasaron una semana debido a que la USAC estuvo cerrada por 10 días.

3.3 ACTIVIDADES NO PLANIFICADAS

Nombre: Reunión con Juan Mendoza, de parte de la Reserva de Usos Múltiples de la Cuenca del Lago de Atitlán RUMCLA.
Objetivos: Presentar el plan maestro del monitoreo ecológico y presentar propuestas.
Descripción: Se expuso el plan maestro para presentar propuestas a entidades que podrían realizarlas, se presentó la propuesta de parte del Laboratorio de Calidad del Agua y Limnología del CEMA.
Resultados: Se repartieron tareas entre los representantes de las entidades.
Limitaciones presentadas: No se presentó ninguna limitación.

Nombre: Acondicionamiento de laboratorio.
Objetivos: Acondicionar las instalaciones para unas buenas prácticas de laboratorio.
Descripción: Se pintará y se ordenará el laboratorio, se colocará el equipo en el lugar apropiado.
Resultados: El laboratorio está acondicionado para trabajar los análisis de calidad del agua y limnología.
Limitaciones presentadas: No se presentó ninguna limitación.

Nombre: Análisis fisicoquímico.

Objetivos: Conocer las características fisicoquímicas del Lago de Atitlán y el Río San Francisco para establecer la calidad del agua.

Descripción: Se analizaron las muestras obtenidas en la gira para obtener los parámetros fisicoquímicos; turbidez, fosfatos, nitritos, nitratos, sulfitos y amonio.

Resultados parciales: Se determinó la calidad del agua de las muestras del río San Francisco y el lago de Atitlán.

Prueba de nitrógeno: amonio	
Número de muestra	Concentración (mg/L)
1	0.13
7	0.06
9	5.40
11	0.05

Prueba de nitrógeno: nitrato	
Número de muestra	Concentración (mg/L)
1	0.37
7	0.17
9	0.24
11	0.19

Prueba de nitrógeno: nitrito	
Número de muestra	Concentración (mg/L)
1	0.155
7	0.079
9	1.050
11	0.000

Prueba de azufre: sulfito	
Número de muestra	Concentración (mg/L)
1	0.21
7	0.11
9	2.25
11	0.03

Prueba de turbidez	
Número de muestra	FAU
1	0.13
7	0.06
9	5.4
11	0.05

Prueba de fósforo: fosfatos	
Número de muestra	Concentración (mg/L)
1	0.58
7	0.32
9	2.90
11	0.12

Limitaciones presentadas: No se presentó ninguna limitación.

Nombre: Capacitación en técnicas de laboratorio.

Objetivos: Capacitar al personal de laboratorio en el manejo adecuado del equipo de electroquímica, potenciometría y conductividad.

Descripción: Se realizó una capacitación al personal de laboratorio en la teoría básica, criterios de aplicación y el manejo adecuado del equipo de electroquímica.

Resultados: Se recibió capacitación acerca de los análisis de potenciometría.

Limitaciones presentadas: Debido a la falta de tiempo para cubrir el equipo de conductividad, se realizará una segunda parte de la capacitación.

Nombre: Curso de análisis microbiológico y calidad del agua.

Objetivos: Obtener información básica acerca de los análisis microbiológicos para determinar la calidad del agua.

Descripción: Se asistió a las presentaciones impartidas por el ingeniero Xenon Much del laboratorio de aguas de Ingeniería sobre introducción a microbiología, normas de COGUANOR, la importancia de la microbiología en los análisis de agua, microbiología del agua, examen bacteriológico y el método de Colilert. El último día se realizó una visita a la planta de tratamiento de agua de la colonia Aurora II.

Resultados: Se obtuvo información acerca de los análisis microbiológicos necesarios para determinar la calidad del agua (ver diploma de participación en anexos).

Limitaciones presentadas: No se presentó ninguna limitación.

Nombre: Coordinación de monitoreo del Lago de Atitlán con la Unidad de Recursos Hidrobiológicos y Cuencas del MARN.

Objetivos: Repartir los puntos de muestreo y las fechas de monitoreo para evitar la duplicación de esfuerzos.

Descripción: Se asistió a una reunión con la ingeniera Nadia Mijangos y su equipo de trabajo para coordinar las giras de monitoreo.

Resultados parciales: Se repartieron los puntos de muestreo y se coordinaron las fechas. Se propuso realizar colaboraciones para obtener mejores resultados.

Limitaciones presentadas: No se presentó ninguna limitación.

Nombre: Análisis microbiológico de muestras de agua.

Objetivos: Determinar la calidad del agua en base a análisis microbiológicos.

Descripción: Se realizaron cultivos del agua en busca de coliformes totales y coliformes fecales para determinar si el agua es potable o no.

Resultados: Se realizaron los cultivos y se determinó que la calidad del agua con análisis microbiológicos.

Limitaciones presentadas: No se presentó ninguna limitación.

Nombre: Conferencia: Cianobacteria en los Lagos de Guatemala.

Objetivos: Conocer los problemas relacionados a las cianobacterias en los lagos de Guatemala.

Descripción: Se asistió a la conferencia organizada por SENACYT en el Hotel Westin Camino Real.

Resultados: Se conocieron los problemas relacionados a las cianobacterias en los lagos de Guatemala.

Limitaciones presentadas: No se presentó ninguna limitación.

Nombre: Expedición Científica del Lago Atitlán.

Objetivos: Capacitar a estudiantes universitarios guatemaltecos en el monitoreo de lagos.

Descripción: Se realizó un monitoreo del Lago de Atitlán con análisis fisicoquímicos, fitoplancton, macroinvertebrados, sedimentos, núcleos del fondo del lago, bioensayos de limitación de nutrientes, de productividad del perifiton. Para esto se formaron 4 grupos de trabajo al azar con los estudiantes de forma equitativa:

Grupos de trabajo			
Grupo	Atribuciones	Grupo	Atribuciones
Del lago	Reunir la información de todos los grupos y tomar muestras	De biología	Tomar muestras y analizarlas para fitoplancton
Grupo	Atribuciones	Grupo	Atribuciones
De química	Preparar el laboratorio, reactivos y analizar muestras	Cuencas	Realizar una exploración a sitios de importancia

A los dos o tres días, se rotaban los estudiantes para que todos participaran en todos los grupos.

Además, se asistió a conferencias impartidas por algunos de los científicos extranjeros:

“Molecular and phenotypic evaluation of cyanobacterial diversity” por Dr. Jiri Komárek.

“Restoring Ecological Function: Hidrologic Function” por Mark Grismer.

“El Lago Atitlán y su Cuenca: Un Ente Dinámico” por MSc. Nancy Girón.

Se dieron conferencias a las personas de los pueblos alrededor del lago y se presentaron resultados preliminares en el Centro de estudios Atitlán, UVG y en la URL (ver programa en anexos).

Resultados: Se asistió a la Expedición Científica y se recibió la capacitación del monitoreo de lagos en los diferentes análisis necesarios (ver diploma de participación en anexos).

Limitaciones presentadas: No se presentó ninguna limitación.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Programa Analítico de la Práctica de Experiencias Docentes con la Comunidad-EDC de la Carrera de Biología.


5. ANEXOS

Se adjuntan las clases impartidas y la hoja de trabajo realizada con los estudiantes de microbiología del Centro de Estudios del Mar y Acuicultura CEMA También se adjuntan los programas, diplomas o constancias de participación de algunas de las actividades a las que se asistió.

Clase 1. Las algas.

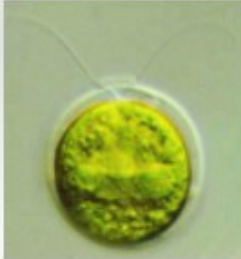
1

Las Algas



2

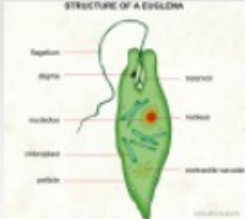
Generalidades



- También se les conoce como fitoplancton
- Pertenecen al grupo de los protistas
- Son predominantemente acuáticas
- Son organismos fotosintéticos
- La mayoría son microscópicas

3

Clasificación

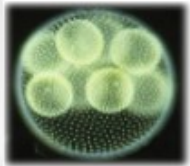


- Morfología
- Pigmentos
- Material de reserva
- Flagelos
- Pared celular

4

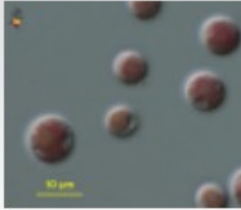
Morfología

- Son de formas variadas.
- Esféricas, bacilares, puntiagudas, filamentosas.
- Hay coloniales y cenobios.



7

Rhodophyta



- Mayoritariamente tropicales
- Pueden vivir hasta 200m de profundidad
- Se adhieren al sustrato por rizoides

8

Rhodophyta



- 3 géneros unicelulares
- Clorofilas a y d, carotenoides y ficobilinas
- Sustancia de reserva: almidón de florídeas y floridósido.
- Sin flagelos
- Pared celular interna de celulosa y externa de agar y carragenina

9

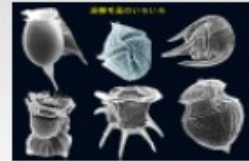
Dinophyta

- La mayoría es parte del fitoplancton marino, pero también hay dulceacuícolas
- La teca tiene un surco transversal (sínulo) con flagelo perctinado y otro perpendicular (sulcus) liso

10

Dinophyta

- Mayoría unicelulares, algunos coloniales
- Clorofilas a y c, xantofilas
- Sustancia de reserva: almidón y aceites
- Teca formada por placas de celulosa



11

Mareas rojas

- Son causadas por aumento excesivo de concentración de dinoflagelados.
- Pueden llegar a cambiar la coloración del agua.
- La mayoría son rojizas, por eso el nombre de mareas rojas.



12

Mareas rojas

- Más o menos 20% de dinoflagelados producen toxinas
- Muchas mareas rojas son tóxicas
- Las mareas rojas tóxicas pueden causar daños ecológicos y económicos graves.



13

Toxinas de los dinoflagelados

- Toxina Paralizante de los Moluscos (Paralytic Shellfish Poisoning - PSP): saxitoxina
- Producida por *Alexandrium*, *Gymnodinium catenatum* y *Pyrodinium bahamense* var. *Compressum*



14

Toxinas de los dinoflagelados

- En casos leves, los síntomas incluyen una sensación de hormigueo o entumecimiento alrededor de los labios y se extiende progresivamente por el rostro y el cuello. Sensación de picazón en las puntas de los dedos de las manos y de los pies, mareos, náuseas, vómitos y diarrea y, ocasionalmente, también ceguera temporal. Estos síntomas preceden una debilidad muscular característica.

15

Toxinas de los dinoflagelados

- En intoxicaciones moderadamente graves, la parestesia se extiende a los brazos y las piernas, que presentan también debilidad motriz; vahídos y articulación incoherente. Las primeras dificultades respiratorias se manifiestan con una sensación de ahogo alrededor de la garganta. En casos de intoxicación grave, la parálisis muscular se extiende y se agrava. En algunos casos, entre dos y 24 horas luego de la ingestión el paciente presenta dificultades respiratorias graves y muere por parálisis respiratoria.

16

Toxinas de los dinoflagelados

- Toxina Diarreica de los Moluscos (Diarrhetic Shellfish Poisoning - DSP): ácido okadaico
- Producida por *Prorocentrum* y *Dinophysis*.



17

Toxinas de los dinoflagelados

- Los síntomas principales en el ser humano incluyen diarrea, náuseas, vómitos y dolores abdominales. Los síntomas, que nunca son letales, comienzan a aparecer entre 30 minutos y un par de horas luego de la ingestión de los mariscos contaminados, y se observa una recuperación completa en un lapso de tres días. La intensidad de los síntomas varía según la cantidad de toxinas ingerida y generalmente no es necesario hospitalizar al paciente.

18

Toxinas de los dinoflagelados

- Toxina Neurotóxica de los Moluscos (Neurotoxic Shellfish Poisoning - NSP): brevetoxina
- Producida por *Gymnodinium breve* (*Ptychodiscus breve*, y desde 2000 llamado *Karenia brevis*)



19

Toxinas de los dinoflagelados

- Su consumo puede causar un síndrome tóxico algo similar a las intoxicaciones PSP y ciguatera, aunque menos severo. Los síntomas aparecen entre los 30 minutos y las tres horas, duran unos pocos días presentando náuseas, vómitos, diarrea, escalofrío, sudoraciones, cambios de temperatura, hipotensión, arritmias, entumecimientos, hormigueo, parestesia labial, de la cara y de las extremidades, calambres, broncoconstricción, parálisis, ataques y coma. No se han informado síntomas crónicos o mortalidad.

20

Toxinas de los dinoflagelados

- Ciguatera: Ciguatoxina
- Producida por *Gambierdiscus toxicus*



21

Toxinas de los dinoflagelados

- La ciguatera es una enfermedad conocida en el Caribe desde la época de la conquista española. Se trata de una intoxicación debida a la ingestión de peces que han acumulado esta fitotoxina a través de la cadena alimenticia. Este tipo de intoxicación es típico de áreas tropicales y subtropicales con arrecifes coralinos, donde vive una variedad de dinoflagelados tóxicos que son consumidos por los peces herbívoros que acumulan las toxinas para luego transmitir las al ser humano directamente o a través de otros peces.

22

Haptophyta



- Unicelulares, a veces coloniales
- Clorofilas a y c, fucoxantina
- Tienen 2 flagelos lisos y un haptoneuma
- Algunas tienen cocolitos de carbonato de calcio (cocolitóforos)

23

Haptophyta

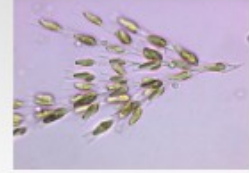


- Absorben el carbono orgánico disuelto y transportan carbonato de calcio
- Chrysochromulina* y *Prymnesium* son causantes de mareas tóxicas que matan peces y otros animales marinos.

24

Chrysophyta

- Unicelulares o coloniales
- Fucoxantina
- Mayoría flageladas
- Sustancia de reserva: Crisolaminarina
- Algunos causan "mareas pardas" dañinas para industrias de moluscos y salmón



25

Bacillariophyta



- Incluye las diatomeas
- Son marinas y dulceacuícolas
- Hay plantónicas y bentónicas
- Son unicelulares o coloniales, no presentan flagelos
- Tienen simetría radial o bilateral

26

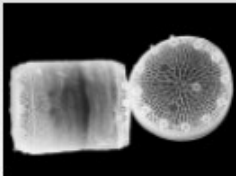
Bacillariophyta



- Clorofilas a y c, fucoxantina y diatoxantina
- Pared celular de sílica en dos partes que encajan como caja de petri
- Sustancia de reserva: crisolaminarina

27

Bacillariophyta



- Algunas especies, como *Thalassiosira pseudonana*, son utilizadas como alimento de ostras y otros animales
- Proveen de carbohidratos esenciales, ácidos grasos y vitaminas a animales acuáticos

28

Phaeophyta

- Casi todas son marinas
- En lugares templados son más abundantes y más grandes
- No hay ni unicelulares ni coloniales, sólo filamentosas



29

Phaeophyta

- Clorofilas a y c, fucoxantina
- Sustancias de reserva: laminarina y manitol
- Células reproductivas móviles, un flagelo pinnado y el otro liso
- Pared celular externa de algina e interna de celulosa



30

Phaeophyta

- Son alimento en China y Japón
- Se utiliza la algina como agente emulsificante y estabilizador
- Muchas algas tienen actividades antitumorales o antimicrobianas



31

Chlorophyta



- Mayoría dulceacuícolas
- Pueden ser unicelulares, coloniales, filamentosas; móviles o inmóviles
- Crecen en el suelo, corteza de árboles y en la nieve

32

Chlorophyta



- Clorofilas a y b, carotenoides
- Sustancia de reserva: almidón
- Dos flagelos, si están presentes, son lisos
- Pared celular de celulosa

33

Chlorophyta



- Son fuente de oxígeno y alimento para animales acuáticos
- Se cree que pudieron haber dado origen a las plantas
- Favorecen la descomposición de materia orgánica

Clase 2. Aplicaciones de las algas.

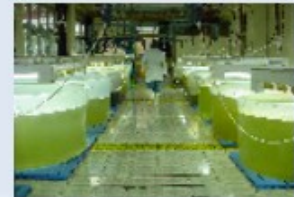
1

Aplicaciones de las algas

2

Alimento para acuicultura

- El fitoplancton es esencial durante el desarrollo larvario de peces, crustáceos y moluscos.
- Las dietas artificiales presentan deficiencias al no estar balanceadas.



3

Optimización de un cultivo



- Conocer concentración adecuada de nutrientes.
- Relación entre el crecimiento y el uso de los nutrientes.
- Estandarizar cosecha óptima (tasa de dilución y tiempo).

4

Optimización de un cultivo

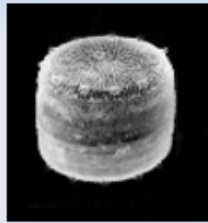


- El conocimiento y control de los parámetros ambientales óptimos permiten la supervivencia y desarrollo de los organismos; también regulan la concentración y calidad de nutrientes.

5

Especies de mayor uso en la acuicultura

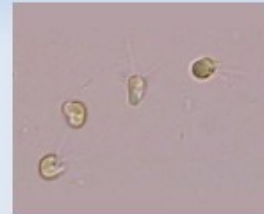
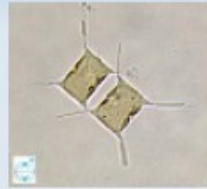
- *Skeletonema costatum*
- *Thalassiosira pseudonana*



6

Especies de mayor uso en la acuicultura

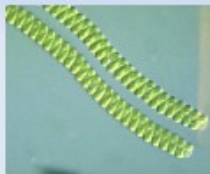
- *Chaetoceros calcitrans*
- *Isochrysis galbana*



7

Especies de mayor uso en la acuicultura

- *Spirulina*
- *Tetraselmis chuii*



8

Especies de mayor uso en la acuicultura

- *Chlorella*
- *Chroomonas*



9

Cultivo de microalgas

Aireación:

- La aireación permite la homogenización de los nutrientes.
- Evita que las algas sedimenten.



10

Cultivo de microalgas



Penetración de la luz:

- La luz en cultivos masivos no es suficiente en el fondo.
- En cultivos masivos a la interperie se debe reducir con malla.

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO DE ESTUDIOS DEL MAR Y ACUICULTURA
Licda. NORMA GIL DE CASTILLO**

HOJA DE TRABAJO "ALGAS"

FECHA DE ENTREGA:

INSTRUCCIONES: Consultar la presentación de Algas y el libro Microbiología Básica del libro de Pelczar, capítulo 18.

1. Mencione los habitats en los que se puede encontrar a la algas.
2. Explique porque las algas son importantes en la cadena alimenticia.
3. ¿Qué criterios se toman en cuenta para la clasificación de las algas?
4. ¿Que fuente de energia y de carbono utilizan las algas para sintetizar sus macromoléculas?
5. Enumere los efectos nocivos de las algas en el medio ambiente.
6. Explique a que se le llama "Marea roja? Que tipos de algas la produce? Explique: ¿son las algas las que directamente causan los sintomas de intoxicación en los seres humanos? ¿Cuál es el efecto que produce en los seres humanos? ¿A que especies marinas afecta la marea roja? ¿Cuales serían las principales recomendaciones que usted daría para evitar una intoxicación cuando se advierte que hay marea roja?

Actividades

201



Programa

Simposio "Lago de Atitlán"

Análisis y Propuestas Técnicas

Día: 18 de febrero de 2010

Hora: 8:00 a 13:00 horas

Lugar: Auditorium Centro Cultural Universitario (antiguo paraninfo)

- | | |
|---------------|---|
| 8:00 a 8:15 | Registro de Participantes |
| 8:15 a 8:30 | Bienvenida e Inauguración |
| 8:30 a 9:00 | GEOLOGIA DEL LAGO DE ATITLAN.
Ing. Carlos Tobar - Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas, CESEM. |
| 9:00 a 9:30 | LAS CIANOBACTERIAS, ORIGEN Y REPRODUCCION.
Licda. Roselvira Barrillas - Facultad Ciencias Químicas y Farmacia, USAC. |
| 9:30 a 10:00 | ESTUDIOS LIMNOLOGICOS DEL LAGO DE ATITLAN
PROPUESTA DE LA EPA, ENFOQUE ERIS.
MSc. Adán Pocasangre - Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, USAC |
| 10:00 a 10:30 | Pausa - Café |
| 10:30 a 11:00 | ESTIMACION DE CARGAS CONTAMINANTES VERTIDAS AL LAGO DE ATITLAN.
Ing. Sergio López, - Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, USAC |
| 11:00 a 11:30 | DIAGNOSTICO DE LA SITUACION DE LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN SAN PEDRO LA LAGUNA.
Ing. Telma Cano - Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC. |
| 11:30 a 13:00 | FORO: "ANALISIS SITUACIONAL DEL LAGO DE ATITLAN"
CONCLUSIONES y RECOMENDACIONES |

CESEM

Ciudad Universitaria Zona 12,
Edificio T1, oficina 2, Guatemala.

Tel. (502) 2418-9139
usacesem@usac.edu.gt

CONSTANCIA

EL CENTRO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE ENERGÍA Y MINAS
-CESEM-
FACULTAD DE INGENIERÍA
UNIVERSIDAD SAN CARLOS DE GUATEMALA

HACEN CONSTAR QUE:

Mónica María Martínez Fausto

PARTICIPÓ EN EL

Simposio “Lago de Atitlán” Análisis y Propuestas Técnicas

El cual se realizó el día 18 de febrero de 2010, en un horario de 08:00 a 13:00, en el
Auditórium del Centro Cultural Universitario – USAC.

Se extiende la presente constancia por su participación, para los usos que considere
convenientes.

Guatemala, 18 de febrero de 2010.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”



Ing. Julio Roberto Luna Aroche
DIRECTOR

CENTRO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE ENERGÍA Y MINAS -CESEM-



Facultad de Ingeniería Universidad de San Carlos de Guatemala



Otorga el presente
diploma a:

Monica Maria Martinez Fausto


por haber participado en el curso:


**Exámen Bacteriológico del Agua
"Calidad del Agua"**

"Id y enseñad a todos"

Dado en la Ciudad de Guatemala, a los once dias del mes de marzo de dos mil diez.




MSc. Murphy Olmpo Pais Recinos
Decano


MSc. Zenon Aluc Santos
Jefe de Laboratorio Calificado

Expedición científica 2010

FECHA DE REVISION: 10 DE ABRIL

Coordinador Logística:

Alberto Rivera / Todos por el Lago

Coordinadores de medios de comunicación:

María Isabel Quezada y Alberto Rivera / Todos por el Lago

Coordinadores Académico:

Nancy Girón / Tereso Joj / Maria Marta Ramos

Coordinara Transporte Lacustre y refacciones:

Guggi Sandoval / Amigos del Lago

Cámara Oficial:

Ana Carlos / Coordinar

Abril 11

9:00 a.m. HOTEL ATITLAN – VIAJE EN CATAMARAN

Presentación Alberto Rivera de los grupo

Nancy lleva name-tags.

9:30 a.m. *Gira del Lago en Catamarán*

Agua Pura – Encargada Guggi

Participan invitados, estudiantes y siguiente listado:

2 – María Marta Ramos y Tereso Joj de la UVG Altiplano

2 - Ana Carlos, camarógrafo y auxiliares quienes estarán documentando lo más relevante de la Expedición.

6 - Todos por el Lago (Quezo, Chesley, Jary, Alfred, Juan S., Alberto)

4 - Periodistas de la ciudad (Prensa Libre, el Periódico)

2 – Periodistas y canales locales de cable (Coordinado por Tereso Joj)

3 - TV Guatemala ¿?

1 – Sid

13:00 – ALMUERZO

Exclusivo para Expedición Científica en Reserva Natural Atitlán

15:00 - Prueba y armado de equipos, suministros, solución de necesidades para cada grupo, discusión en la noche.

19:00 - Noche libre, cena en los hoteles o fuera

Abril 12 al 20 (Plan general de trabajo)

Abril 12: 6:30 am – SALIDA AL LAGO – DOS EMBARCACIONES:

Embarcación grande zarpa de Naviera Santa Fe frente a Hotel Porta Lago Dirige Sudeep Chandra

Tiburonera zarpa de Naviera Santa Fe frente a Hotel Porta /
Pendiente de definir viajes y responsable del Barco
Transporte: Vivamos Mejor / Resp. Luis Iván Girón / 5000-2807 /

12:30 pm Regreso a Pana, traslado a Reserva
Traslado en Tuc Tuc, cada uno costea.

1:00 pm - Almuerzo

3:00 pm – Tarde de trabajo en Reserva

Fechas de tiburonerías:

Abril 12, 15, 18 y 21 por Vivamos Mejor

Abril 13, 16 y 19 Amsclae / Resp.: Nery Paz 7762-1280 o Marvin Romero: 5510-3782

Abril 14, 17 y 20 Conap / Juan Mendoza 7762-4048 y 5752-8232

7:00 pm Cenas y desayunos: Los hoteles ponen esto para cada persona que está allí.

Abril 14 LLEGADA DE CUATRO PERSONAS MAS
Mierc.

12:46 pm Tina Hammel / Vuelo Spiritit 243
Shuttle a Pana – Melvin Urizar – (Jary coordina / Quezo revisa).
Recepción por Cristina Bailey,

20:53 pm: Marrion Witman / Alan y Helen Heyvaert
Recepción: Cristina Bailey URL

Abril 15: Transporte para Pana para 3 personas: Marrion Whitmann, Alan y Helen Heyvaert
Transportista Melvin Urizar (llamar para ver donde los recogen)
Hoteles: Marrion Hotel Atitlán / Esposos Heyvaer Posada de Dn Rod.

Abril 16: **8:30 a.m.** - Reunión con grupo de maestros
Lugar UVG – Altiplano
Transporte de Pana a Sololá UVG se encarga

1:00 pm – Almuerzo en Reserva
Reunión de AID (San Marcos en la tarde)

3:30 pm – Reunión con grupo de científicos y Ana de Méndez

Tema: Importancia de basar decisiones en estudios científicos,
discusión sobre opciones de trabajo para continuar intercambio.
Lugar: Reserva / Coordina: Quezo

Abril 17: 3:00 p.m. Transporte de Pana a Guate para Mark Grismer y Robert Collison

Abril 18 EN GUATE:

Mark y Robert Collison - Dos Luna ellos se van al aeropuerto.

Llega Charles Goldman

Transporte Melvin Urizar - o alguien más.

EN PANA:

Día libre, dos opciones:

A – Chichicastenango – Se habla con Melvin Urizar, cada uno paga

B – Giras culturales que organiza Tereso Joj ellos pagan

O lo que ellos quieran hacer.

ABRIL 19 AL 22

**CONTINUA TRABAJO Y EMPEZAMOS CON REUNIONES DE INFORMACION
A LA POBLACION / COORDINA TERESO JOJ**

Abril 19 3:00 a 5:30 pm - San Lucas Tolimán /
Lancha para grupo Gugi
Identificar participantes

Abril 20 3:00 a 5:30 pm - San Pedro /
Lancha para grupo Gugi
Identificar participantes

Abril 21 3:00 a 5:30 pm – Panajachel – Auditorio de la Reserva

Abril 22 Sololá - UVG

11:00 – Recoge Bus en Pana – UVG se encarga del Bus

12:00 – Reunión de Rector Roberto Moreno

13:00 – Almuerzo

14:30 – Reunión con la comunidad

Objetivo: Presentación de Universidad a nivel local

Se invita a Primera Dama a reunión de la UVG en la tarde.

Abril 23 8:00 a.m. Salida para Ciudad de Guatemala, presentación del trabajo y de resultados preliminares.

Transporte: STP para 18 científicos
Mélvin Urizar para grupo de estudiantes.

Panel?

Almuerzo algo ligero en el camino, cada uno paga.

14:00 Universidad Rafael Landívar
Presentación final y algunos de los resultados preliminares.
IARNA y Fac. de Ciencias Ambientales y Agrícolas coordina

16:00 – Traslado de visitantes a Bed and Breakfast del aeropuerto

Abril 24 Salida para los EEUU

LISTA DE CONTACTOS:

ELISKA

NANCY – 5522-3303

MARIA MARTA: 5318-0259

TERESO: 4008-0510

DR.DIX: 5222-0080

ALBERTO: 5407-4493

QUEZO: 5204-4905

GUGGI – 5900-2000

TRANSPORTES TERRESTES

STP Alejandro Valladares Tel.: 2223-5000 ó 5529-7559, (email:
alejandro_valladares@stpquatemala.com)

Melvin Urizar, Transportes Turisticos de Atitlan 5698-0030 ó 7762-0150

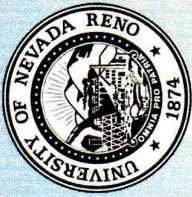
TRANSPORTE DE LANCHA POR TIBURONERAS:

- Abril 12, 15, 18 y 21
 - o Vivamos Mejor
 - o Resp.Luis Iván Girón / 5000-2807
- Abril 13,16 y 19
 - o Amsclae /
 - o Resp.: Nery Paz 7762-1280 o Marvin Romero: 5510-3782
- Abril 14,17 y 20

- Conap / Juan Mendoza 7762-4048 y 5752-8232

ALOJAMIENTOS EN PANAJACHEL:

Alojamientos	participantes
Posada de Don Rodrigo / Doña Yoli Cel Hotel:	Cristina Ruiz y Regina Juárez - Guate Pamela Camarero y Monica Martinez - Guate Annie Caires y Clint Davis - USA Alan Heyvaert y Helen Levy - USA Maria Luz Sandoval y María Isabel Quezada – Guate
San Buenaventura de Atitlán / Natalia Cordero Hotel:	Emily Carlson y Tina Hammell, - USA Jessica Corman y Jana Vesela – USA
Reserva Natural Atitlán / Alberto Rivera Celular: 5407-4493	Eliska Rejmankova y Nancy Girón, Amber Roegner, Erin Symonds y Brenda Noriega
Hotel Atitlán / Edgar Recinos Cel. 5651-8053 Hotel:	Charles Goldman y Jiri Komarek (cuarto Goldman sólo?) Sudeep Chandra y Bob Richards Margaret Dix, Marion Whittman y Christine Schmidt
Porta Hotel del Lago / Cel: Hotel:	Javier Ajuy Hugo Villavicencio Violeta Ramirez y Krista Bocanegra Robert Collison Mark Grismer Wellington García y David Cabrera Melissa Orozco y Alicia Toledo



Los coordinadores académicos de la

Expedición Científica Atitlán 2010

otorgan el presente certificado a:

Mónica Martínez

Por su participación en el seminario y taller en enfoques integrados para el monitoreo y conservación del Lago Atitlán y su cuenca del 11 al 22 de abril del 2010 en Panajachel, Sololá.



Dr. Eliska Rejmanikova
Universidad de California
en Davis, EEUU



Dr. Sudeep Chandra
Universidad de Nevada
en Reno, EEUU



Dr. Margaret Dix
Universidad del Valle
de Guatemala



Nancy Gibson, M.Sc.
Universidad Rafael Landívar
Guatemala

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA
PROGRAMA DE EXPERIENCIAS DOCENTES CON LA COMUNIDAD
SUBPROGRAMA DE EDC-BIOLOGÍA

INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN
“EVALUACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN LIMITANTE DE FOSFATOS PARA EL
CRECIMIENTO DEL FITOPLANCTON DEL LAGO DE ATITLÁN”

MÓNICA MARÍA MARTÍNEZ FAUSTO
PROFESORA SUPERVISORA: LICDA. GABRIELA ARMAS
ASESORA DE LA UNIDAD DE PRÁCTICA: MSc. NORMA GIL DE CASTILLO
Vo.Bo. ASESORA INSTITUCIONAL

ÍNDICE

1. Resumen	2
2. Introducción	3
3. Referente teórico	4
4. Planteamiento del problema	7
5. Justificación	7
6. Objetivos	7
7. Hipótesis	8
8. Metodología	8
8.1. Diseño	9
8.1.1. Población	9
8.1.2. Muestra	9
8.2. Técnicas a usar en el proceso de investigación	9
8.2.1. Recolección de datos	9
8.2.2. Análisis de datos	10
8.3. Instrumentos para registro y medición de las observaciones	10
9. Resultados	11
10. Discusión de resultados	16
11. Conclusiones	18
12. Recomendaciones	18
13. Referencias bibliográficas	19
14. Anexos	20

1. RESUMEN

En los meses de octubre, noviembre y diciembre del año 2009 ocurrió un florecimiento de la cianobacteria *Lyngbya robusta* en el Lago de Atitlán. El problema de la eutrofización en el Lago de Atitlán afecta a la ecología del cuerpo de agua, a la composición de los organismos que ahí habitan y a la población humana que se beneficia de ella a través de la pesca y del turismo.

Actualmente no existe información acerca de los requerimientos de nutrientes del fitoplancton del Lago de Atitlán, por lo que se evaluó el efecto de la concentración del fósforo en el crecimiento del fitoplancton para delimitar el rango en donde puede crecer y proporcionar información para la regulación de las descargas al lago.

Para esto se realizó un bioensayo donde se estimó la curva de crecimiento del fitoplancton evaluando el crecimiento diario por 11 días utilizando el método de clorofila A por espectrofotometría. Además se evaluó la respuesta de 6 diferentes concentraciones de fósforo en el crecimiento usando el mismo método de clorofila A. Se identificaron las fases del crecimiento en la curva y en el bioensayo no se encontró relación entre la concentración de fósforo para el crecimiento del fitoplancton.

Es muy importante que se realicen más estudios para evaluar cuál es el reactivo limitante para el crecimiento del fitoplancton del Lago de Atitlán, y evaluar la respuesta a diferentes concentraciones para proporcionar información para crear programas de tratamiento de aguas viables. También se recomienda evaluar los requerimientos nutricionales de la *Lyngbya robusta* para evitar un florecimiento como el ocurrido en el 2009.

2. INTRODUCCIÓN

El Lago de Atitlán se encuentra en el departamento de Sololá, Guatemala. Es considerado de los lagos más bellos del mundo, sin embargo, actualmente está sufriendo por la excesiva contaminación antropogénica, clasificándose ahora como un lago eutrófico. Durante los meses de octubre, noviembre y diciembre del año 2009 ocurrió un florecimiento de fitoplancton, específicamente de *Lyngbya robusta*, que tuvo un efecto significativo en la biota del lago, así como también en las personas que dependían directamente de turismo al lago.

Eutroficación es el proceso donde ocurre un aumento del fitoplancton de un cuerpo de agua debido al aumento de los nutrientes disponibles, la mayoría de estos nutrientes son de origen antropogénico. Esto puede causar problemas en el ecosistema ya que aumenta la turbidez del agua, puede causar mal olor y reduce el oxígeno disuelto durante la noche, provocando la muerte de otros organismos (Salas, 2001). Generalmente hay un nutriente que limita el crecimiento máximo del fitoplancton, esto se basa en la ley del mínimo de Leibig: el crecimiento depende de los nutrientes disponibles sólo en cantidades mínimas.

Se conoce poco acerca de los requerimientos de nutrientes del fitoplancton, por lo que no se pueden plantear soluciones puntuales para evitar un florecimiento en el futuro. Para evaluar el efecto de los nutrientes en el crecimiento del fitoplancton pueden realizarse bioensayos acerca de la productividad y evaluar la respuesta de los cultivos con la condición nutricional del agua. Los resultados pueden utilizarse para realizar cambios en el tratamiento de aguas y restaurar el Lago de Atitlán a largo plazo.

Debido a la importancia de este cuerpo de agua, esta investigación presenta los efectos de las concentraciones de fosfatos en el crecimiento del fitoplancton presente en el Lago de Atitlán, para proveer información que podrá ser utilizada en estudios de toxicidad o para establecer los límites de descargas al lago.

La mayor parte de esta investigación se desarrolló en el laboratorio, a excepción de la toma de muestras, las cuales fueron tomadas durante un florecimiento. Estas se transportaron al laboratorio, donde se realizaron cultivos para luego evaluar la curva de crecimiento, para determinar el tiempo óptimo de crecimiento a diferentes concentraciones de fosfatos. El crecimiento se calculó por medio de la biomasa producida utilizando la metodología de la clorofila A por espectrofotometría.

3. REFERENTE TEÓRICO

El Lago de Atitlán se encuentra en el departamento de Sololá, Guatemala a 1562 msnm, está rodeado por tres volcanes: Atitlán, Tolimán y San Pedro. Es un lago de origen volcánico que se formó con la explosión de Los Chocoyos, la cual formó una caldera que se llenó con los afluentes de los ríos San Francisco y Quiscab, surgiendo el lago hace unos 84,000 años.

El lago tiene una superficie de 130km², un volumen de 24km³, tiene más de 350m de profundidad. Es endorréico, no tiene salida obvia, por lo que su tiempo de residencia es de 120 años, su forma y tamaño promueven vientos y corrientes hacia el centro.

Para el Lago de Atitlán se reportan 34 géneros de fitoplancton, en donde las Chrysophyta representan 41%, las Chlorophyta 30% y las Cyanophyta el 23%.

Cuadro No. 1
Phyla y Especies de Fitoplancton Reportado para el Lago de Atitlán

Phylum	Género	Phylum	Género
Chrysophyta	<i>Amphora</i>	Chlorophyta	<i>Ulothrix</i>
	<i>Dinobryon</i>		<i>Botryococcus</i>
	<i>Neidium</i>		<i>Chlorococcus</i>
	<i>Pinnularia</i>		<i>Cosmarium</i>
	<i>Navicula</i>		<i>Oocystis</i>
	<i>Suriella</i>		<i>Chodatella</i>
	<i>Synedra</i>		<i>Acanthosphaera</i>
	<i>Closteriopsis</i>		<i>Melosira</i>
	<i>Tabellaria</i>		<i>Sphaerocystis</i>
	<i>Achananthes</i>		<i>Asterococcus</i>
	<i>Nitzschia</i>		
	<i>Hantzschia</i>		
	<i>Gyrosigma</i>		
Pyrrhophyta	<i>Peridinium</i>	Cyanophyta	<i>Aphanizomenon</i>
	<i>Ceratium</i>		<i>Chroococcus</i>
			<i>Lyngbya</i>
			<i>Merismopedia</i>
			<i>Oscillatoria</i>
			<i>Microcystis/Anacystis</i>
			<i>Anabaena</i>
			<i>Gleotheca</i>

Fuente: Dix, M. et al, 2003.

En octubre, noviembre y diciembre del año 2009 ocurrió un florecimiento de la cianobacteria *Lyngbya robusta*, por lo que la transparencia del lago fue de 5m en octubre, la temperatura a un metro era de 24°C en octubre y 22.5°C en noviembre, el oxígeno disuelto fue de 6.5mg/L, el fósforo estaba en exceso (Dix, M. et al, 2003).

El fitoplancton es el productor primario en las comunidades acuáticas, por lo que son la base de las cadenas tróficas. Este requiere de cierta cantidad de nutrientes en su medio

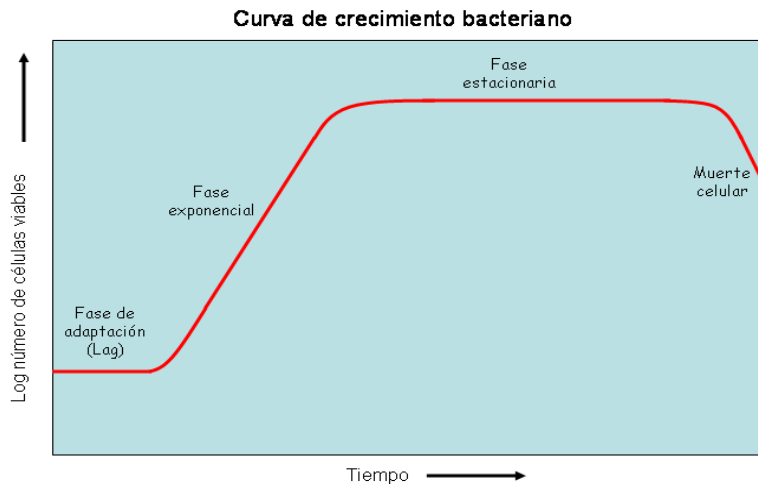
para poder reproducirse. A pesar de las diferencias entre las especies, se puede considerar que los requerimientos son muy parecidos por la similitud de metabolismo un elemento como el limitante general del crecimiento del fitoplancton (Hecky y Kilham, 1988). Sin embargo, altas concentraciones de estos nutrientes han producido grandes cambios en la diversidad de los ecosistemas acuáticos. En las aguas continentales tropicales es muy común que el fósforo sea el nutriente limitante.

La bioestimulación o productividad algal evalúa la respuesta de las especies cultivadas con la condición nutricional del agua. Estos bioensayos permiten un análisis de los efectos de las descargas puntuales y no puntuales en los cuerpos de agua en relación a las floraciones de algas. Determinar su sensibilidad potencial al cambio, efecto de los constituyentes químicos, los cambios en el proceso de tratamiento de aguas; y la integración de todos los resultados se pueden utilizar para la restauración del cuerpo de agua y en programas de tratamiento de aguas (Greenberg et al 2005).

La cantidad de células producidas en un medio (natural o artificial) está limitada por la concentración del nutriente requerida por el organismo. Si se agrega más nutriente, se potencializa la respuesta en el crecimiento de la población, por lo que se puede evaluar el efecto de la adición del nutriente contra un medio control. La cosecha máxima son respuestas de los organismos que pueden estimarse con medidas de crecimiento. Esta está relacionada proporcionalmente con la concentración inicial del nutriente limitante disponible (Greenberg et al 2005).

El crecimiento de la población se estudia bajo el análisis de la curva de crecimiento en un cultivo cerrado. Como no se agrega más medio de cultivo, la concentración de los nutrientes disminuye y la concentración de desechos aumenta. El crecimiento de los organismos presenta cuatro fases distintas:

- Fase de aclimatación: cuando los organismos se introducen en un medio de cultivo, no ocurre un aumento significativo en la población. Aunque no ocurra división celular, los organismos sintetizan nuevos componentes. Esta fase es necesaria para que ocurran las reacciones del crecimiento. Su duración varía dependiendo de la condición de los organismos y la naturaleza del medio.
- Fase exponencial: los organismos crecen y se dividen a la tasa máxima posible dependiendo de su potencial genético, la naturaleza del medio y las condiciones a las que se mantiene el cultivo. Es una fase de crecimiento constante, por lo que se utilizan cultivos en esta etapa para estudios bioquímicos y fisiológicos.
- Fase estacionaria: eventualmente, el crecimiento de la población se detiene y la curva casi no presenta cambios, la cantidad de organismos se mantiene constante. Esto puede deberse por un balance entre la división celular y la muerte celular, o porque la población simplemente ya no se divide aunque se mantiene metabólicamente activa. Esta fase puede ocurrir por diferentes razones, la más obvia es la limitación de nutrientes; otra puede ser la falta de aireación del cultivo o también por la acumulación de productos metabólicos tóxicos.
- Fase de muerte: cambios en la disponibilidad de nutrientes y/o en la acumulación de productos metabólicos tóxicos pueden llevar a un declive en el número de células viables de forma logarítmica (Prescott, 2002).



Fuente: Prescott, 2002

Estudios previos:

Los experimentos que evalúan la respuesta a diferentes concentraciones son básicos para establecer parámetros de crecimiento de microbiota, un experimento similar a este se realizó en Florida, EEUU; en el cual se evaluó la respuesta de la adición de nitrógeno y fósforo a cultivos de plancton del agua de un lago subtropical, en donde se incluía a *Lyngbya* spp. Este experimento tendrá la diferencia en que se realizará un cultivo unialgal, por lo que no habrá interferencias con otros organismos. Además, no se realizó con la especie de la cianobacteria de interés (Havens y East 2006). Un estudio previo indica que la tasa del crecimiento específico *Lyngbya majuscula* y la tasa de fijación de N_2 subían con la concentración de fosfatos (Elmetri y Bell 2004).

Se realizó un estudio similar con *Rhodomonas* sp. en el cuál se estudió la cantidad de biomasa producida, la absorción de nitratos y fosfatos, clorofila A y la tasa de fijación de CO_2 . En este estudio se encontró que durante la fase exponencial, había una correlación directa con la irradiación y las concentraciones iniciales de fosfatos (Lafarga-De la Cruz et al 2006). En otro estudio realizado se evaluó la influencia de las concentraciones de nutrientes en la tasa de crecimiento, la composición celular y la concentración de clorofila de *Isochrysis* aff. *galbana* (Valenzuela-Espinoza et al 1999).

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Durante los meses de octubre, noviembre y diciembre se presentó un aumento del crecimiento de la cianobacteria *Lyngbya robusta* en el Lago de Atitlán. Este crecimiento desmedido causa mal olor y mal aspecto, lo que afecta en el turismo interno y externo. Además provoca un desequilibrio en el ecosistema del lago, principalmente el aumento del oxígeno disuelto en el día y la disminución del mismo durante la noche. Esto actúa desfavorablemente en los animales que habitan en el lago, ya que al limitar la concentración de oxígeno disponible, grandes cantidades de principalmente de peces pueden morir. (Roldán 1992) Esto plantea la necesidad de conocer cómo es la relación entre la concentración de nutrientes (en este caso, el fósforo) en el crecimiento del fitoplancton presente en el Lago de Atitlán.

5. JUSTIFICACIÓN

Se conoce poco acerca de la relación entre la concentración de fosfato y el crecimiento del fitoplancton del Lago de Atitlán, menos aún de respuesta de la cianobacteria *Lyngbya robusta*, la causante del florecimiento del Lago de Atitlán los meses de octubre, noviembre y diciembre de 2009. No se sabe cuáles fueron las condiciones que permitieron que *L. robusta* se desarrollara profusamente, por lo que es necesario conocer más acerca de los requerimientos de nutrientes del fitoplancton del Lago de Atitlán y aplicar una medida que evite otro florecimiento de igual magnitud que la ocurrida. Esta investigación evaluará el efecto de las distintas concentraciones de fosfatos en el crecimiento del fitoplancton del Lago de Atitlán.

6. OBJETIVOS

General:

Determinar el rango de la concentración limitante de fosfatos para el crecimiento del fitoplancton del Lago de Atitlán en sistemas artificiales de cultivo.

Específicos:

- Establecer el límite mínimo de la concentración de fosfatos para el crecimiento del fitoplancton del Lago de Atitlán.
- Establecer el límite máximo de la concentración de fosfatos para el crecimiento del fitoplancton del Lago de Atitlán.
- Proporcionar información para establecer el límite máximo de descargas de desechos al Lago de Atitlán.

7. HIPÓTESIS

Debido a que el Lago de Atitlán se encuentra clasificado como oligomesotrófico, el fitoplancton crece favorablemente en un rango de concentración de fosfatos entre 5 y 10 μ g/L.

8. METODOLOGÍA

Primera fase: cultivos primarios del fitoplancton del Lago de Atitlán y curva de crecimiento.

Se tomó una muestra de 500mL del agua superficial del Lago de Atitlán en un muelle de Panajachel, Sololá los días 3 y 10 de diciembre. Se mezclaron las dos muestras y se trabajó con todo el fitoplancton encontrado en la muestra. En el laboratorio, se tomó una sub-muestra de 50mL y se colocó en un erlenmeyer de 500mL con 350 mL de solución del cultivo estándar para fitoplancton de agua dulce propuesta en el libro de los métodos estándar (Greenberg et al 2005). Este recipiente se cubrió con papel aluminio, permitiendo el intercambio gaseoso y se colocó en un estante con iluminación artificial de lámparas de halógeno. Se eligió el fotoperíodo de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad, el utilizado en experimentación con organismos del área tropical.

Para la realización de la curva de crecimiento, se tomó una muestra de 10 mL cada día a la misma hora por 11 días, hasta que se alcanzó la cosecha máxima. La biomasa se obtuvo por el método de clorofila A. Para este procedimiento se centrifugó la muestra por 20 minutos, se decantó y se agregó 10mL de acetona para la extracción de la clorofila de las células; por último se colocó en un refrigerador a 4°C y en la oscuridad por aproximadamente 24 horas.

Finalizada la extracción, se centrifugó nuevamente la muestra por 20 minutos para eliminar las partículas suspendidas. El extracto se trasladó a una cubeta del espectrofotómetro y se midió las densidades ópticas a las longitudes de onda de: A664, A647 y A630 utilizando como blanco la solución de acetona. Es importante mantener las muestras debidamente protegidas de la luz y trabajar rápidamente para evitar la evaporación de la acetona y obtener datos erróneos (Greenberg et al, 2005 y Vicente et al, 2005).

Se asume que la cosecha máxima se alcanza cuando el incremento de biomasa es menor al 5% por día, esto generalmente ocurre en los días 12 y 14. Con los datos de la biomasa al día se realizó la curva de crecimiento del fitoplancton; este análisis permitirá encontrar el período óptimo para la duración de las siguientes fases del experimento.

Segunda fase: bioensayo.

En la segunda fase se inocularon 30 cultivos de 250mL en botellas plásticas de 1L de capacidad, se cubrieron con papel aluminio (permitiendo el paso del aire) y se mantuvieron en las mismas condiciones de los cultivos primarios. Estos nuevos cultivos fueron sometidos a 6 diferentes concentraciones de fosfatos agregadas de la concentra-

ción de fosfatos del cultivo estándar (+0%, +25%, +50%, +75%, +100%, +150%). Se mantuvieron los cultivos durante 11 días y al finalizar esta fase se tomó una muestra de 10mL de cada recipiente para calcular por el método de clorofila A el total de biomasa producida para encontrar los resultados preliminares. Esta fase se realizó 2 veces.

8.1. DISEÑO

8.1.1. POBLACIÓN

Fitoplancton presente en el Lago de Atitlán.

8.1.2. MUESTRA

Se tomaron 2 muestras de 500mL del agua superficial del Lago de Atitlán en un muelle en Panajachel, Sololá. Se trasladaron al laboratorio donde se mezclaron ambas y se tomó una sub-muestra de 50mL para realizar la curva de crecimiento. También se tomaron las muestras para inocular los recipientes con cultivo.

8.2. TÉCNICAS A USAR EN EL PROCESO DE INVESTIGACIÓN

8.2.1. RECOLECCIÓN DE DATOS

Para la recolección de datos de la curva de crecimiento del fitoplancton del Lago de Atitlán se mide la biomasa producida por el método de la clorofila A obteniendo una muestra cada día a la misma hora, hasta cuando se alcance la cosecha máxima. Se asume que se alcanza la cosecha máxima cuando el incremento de biomasa es menor al 5% por día. Se debe extraer la clorofila A de la muestra y se lee la absorbancia en un espectrofotómetro.

Se debe utilizar una fórmula para obtener la cantidad de biomasa por litro utilizando las absorbancias a las diferentes longitudes de onda. Se utilizó la fórmula propuesta en el libro de los Métodos Estándar:

$$\text{Clorofila "A"} (\mu\text{g/L}) = \frac{[11.85(A664) - 1.54(A647) - 0.08(A630)] * v}{V}$$

En donde:

A630, A647, A664 = absorbancia a las longitudes de onda indicadas (nm)

V = volumen del extracto (mL)

v = volumen de la muestra de agua (L)

8.2.2. ANÁLISIS DE DATOS

Para la curva de crecimiento se realizó una gráfica con la cantidad de biomasa producida por día y se determinaron las diferentes etapas del crecimiento. Para conocer la cosecha máxima, se debe calcular el crecimiento cada día, hasta que el crecimiento de la biomasa sea menor al 5% por día. Esto se puede hacer con la siguiente fórmula, indicada en el libro de los Métodos Estándar:

$$\text{Tasa de crecimiento } (\mu) = \frac{\ln (X_2/X_1)}{t_2 - t_1}$$

En donde:

X_2 = concentración de biomasa al final del intervalo de tiempo seleccionado

X_1 = concentración de biomasa al inicio del intervalo de tiempo

$t_2 - t_1$ = intervalo de tiempo del período de tiempo seleccionado en días

Para la parte del bioensayo se obtiene la biomasa de cada cultivo por el método de clorofila A. Con los resultados obtenidos, se realizó un análisis de varianzas con un intervalo de confianza del 95% para determinar si hay diferencias significativas entre el efecto de la concentración de fosfatos sobre el crecimiento del fitoplancton del Lago de Atitlán. Como no se encontró diferencias significativas, se realizó otro bioensayo y se compararon los resultados.

8.3 INSTRUMENTOS PARA REGISTRO Y MEDICIÓN DE LAS OBSERVACIONES

Para determinar la biomasa por clorofila A se requiere de tubos de ensayo con tapón, gradilla para tubos de ensayo, maskin tape, rotulador, una pipeta de 10mL, un pipetor, papel aluminio, un refrigerador, una centrifugadora, un espectrofotómetro y cubetas para el espectrofotómetro. Se utilizó una boleta para la toma de datos de la curva de crecimiento y del bioensayo.

TOMA DE DATOS DE LA CURVA DE CRECIMIENTO							
# de tubo	Fecha	# de día	mL muestra	mL acetona	A630	A647	A664

TOMA DE DATOS DEL BIOENSAYO						
# de recipiente	% P agregado	mL muestra	mL acetona	A630	A647	A664

9. RESULTADOS

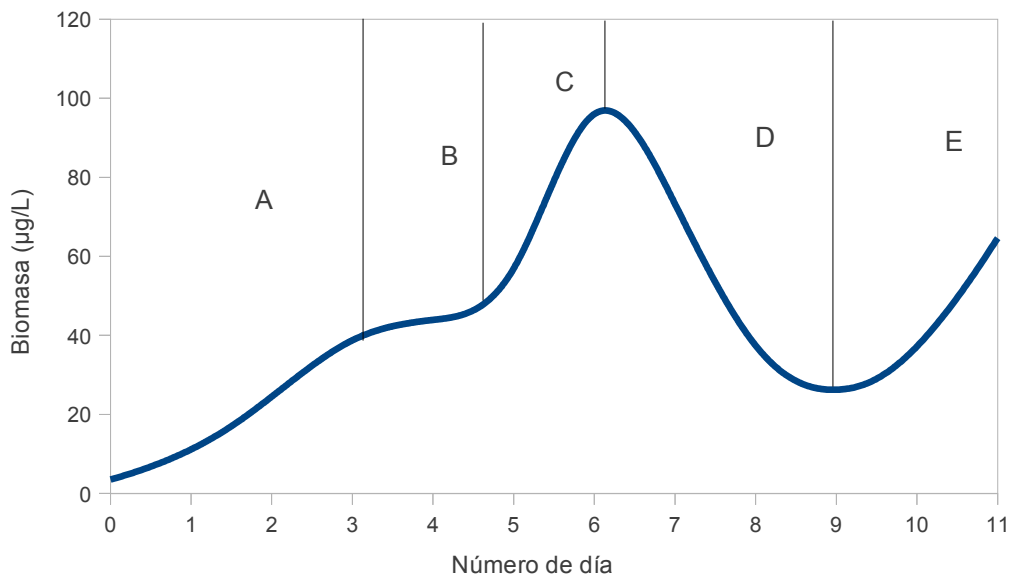
Cuadro No. 1
Biomasa producida del fitoplancton por día (en $\mu\text{g/L}$)

Número de día	Biomasa producida
0	3.50
1	9.23
2	24.05
3	41.08
4	44.16
5	45.78
6	114.23
8	32.31
9	22.08
10	32.39
11	64.62

Fuente: datos experimentales

Cuadro No. 1. Presenta la biomasa producida cada día en $\mu\text{g/L}$. Los datos se obtuvieron de una muestra de 10 mL tomada durante 11 días a la misma hora. A excepción del día 7, donde no se pudo obtener una muestra.

Gráfica No. 1
Curva de Crecimiento del fitoplancton del Lago de Atitlán
Biomasa en términos de clorofila A



Fuente: datos experimentales

Gráfica No. 1 Se identifican las siguientes etapas: A) Fase de aclimatación (días 0 a 3), B) Fase estacionaria (días 3 a 5), C) Fase exponencial (días 5 a 6), D) Fase de muerte (días 6 a 9), E) Fase exponencial (días 9 a 11) (Prescott, 2002).

Cuadro No. 2
Porcentaje de crecimiento del fitoplancton por día

Número de día	% De crecimiento por día
1	97.04
2	95.80
3	53.54
4	7.23
5	3.60
6	91.44
7	-63.14
9	-38.07
10	38.32
11	69.07

Fuente: datos experimentales

Cuadro No. 2. Se obtuvo el porcentaje de crecimiento de biomasa por día por el método de clorofila A. Esta se obtuvo con la fórmula de la tasa de crecimiento.

Cuadro No. 3
Biomasa del fitoplancton (en $\mu\text{g/L}$) obtenido del bioensayo 1 con las diferentes concentraciones de fósforo añadidas

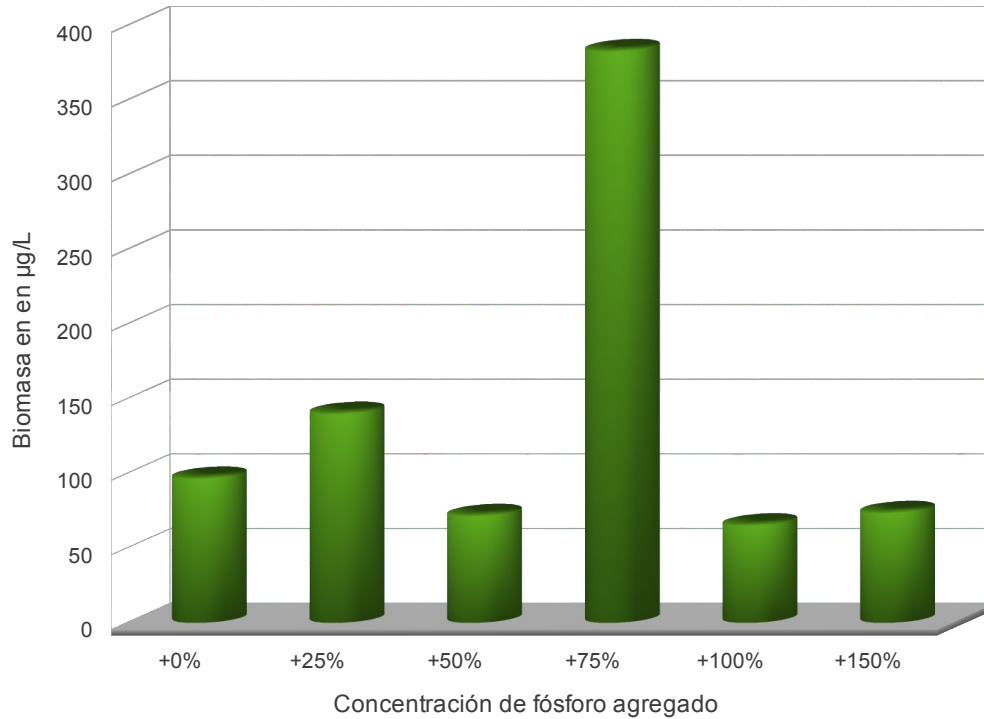
Rep	+0%	+25%	+50%	+75%	+100%	+150%
1	40.92	52.85	112.69	1519.76	23.54	132.99
2	240.31	236.88	23.54	234.86f	29.08	28.91
3	156.69	100.17	42.62	28.91	139.71	65.45
4	28.91	234.86	64.46	76.31	67.38	121.41
5	14.14	73.39	112.53	52.85	64.46	17.38

Fuente: datos experimentales

Cuadro No. 3 Biomasa del fitoplancton del bioensayo 1. Se indica la biomasa en $\mu\text{g/L}$ obtenida en cada una de las concentraciones de fósforo añadidas a la concentración indicada en el cultivo estándar para organismos de agua dulce.

Gráfica No. 2

Medias del crecimiento de biomasa en $\mu\text{g/L}$ del bioensayo 1



Fuente: datos experimentales

Gráfica No. 2 En las medias se puede notar que hubo mayor producción cuando se agregó al cultivo un 75% de fósforo. El resto presenta un comportamiento similar.

Cuadro No. 4

Análisis estadístico de los resultados del bioensayo 1
(Anova)

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de f calculado	Valor de f teórico
Tratamiento	5	377822.85	75567.57	1.0425	2.62
Error	24	1739548.31	72481.18		
Total	29	2117371.16			

Fuente: datos experimentales

Cuadro No. 4 Se presenta el análisis de varianzas realizado a los resultados obtenidos del primer bioensayo. Como se calculó un valor de f menor al valor teórico, la hipótesis nula no se rechaza y no hay diferencia significativa entre la adición de cada una de las concentraciones de fósforo.

Cuadro No. 5
Biomasa del fitoplancton (en $\mu\text{g/L}$) obtenido del bioensayo 2
por las diferentes concentraciones de fósforo añadidas

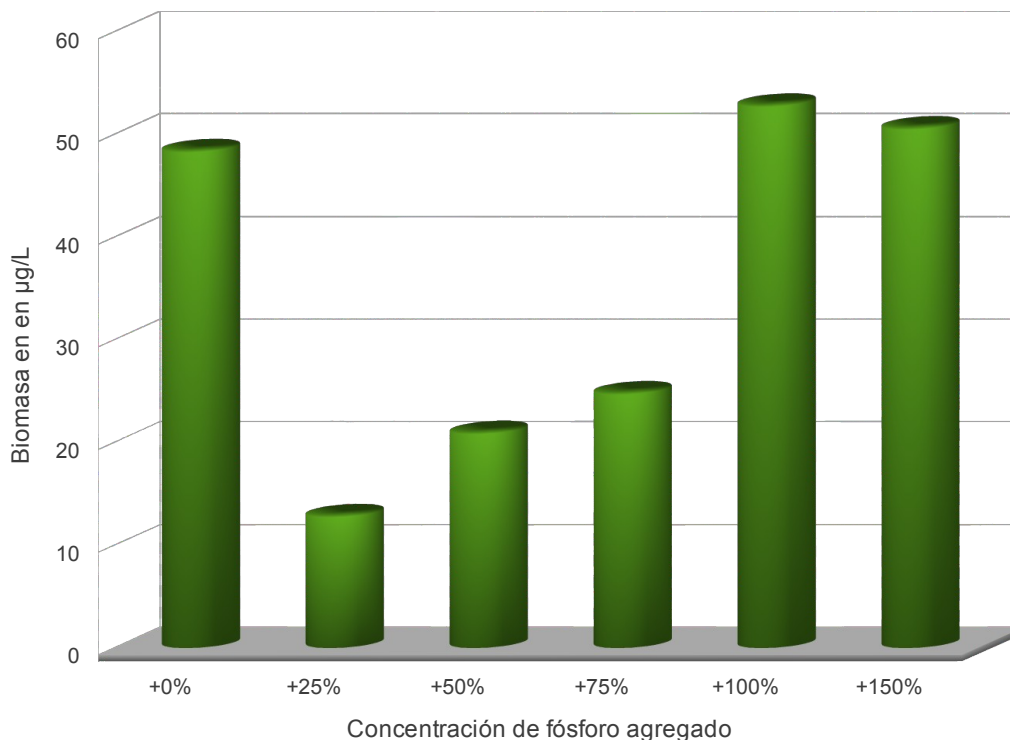
Rep	+0%	+25%	+50%	+75%	+100%	+150%
1	10.15	22.00	20.54	18.76	37.68	115.77
2	74.77	15.68	20.54	20.56	84.68	56.36
3	52.77	12.72	18.92	3.91	59.6	39.38
4	9.99	18.84	32.31	69.91	40.52	30.61
5	93.61	7.07	11.77	10.23	40.92	10.23

Fuente: datos experimentales

Cuadro No. 5 Biomasa del fitoplancton del bioensayo 2. Se indica la biomasa en $\mu\text{g/L}$ obtenida en cada una de las concentraciones de fósforo añadidas a la concentración indicada en el cultivo estándar para organismos de agua dulce.

Gráfica No. 3

Medias del crecimiento de biomasa en $\mu\text{g/L}$ del bioensayo 2



Fuente: datos experimentales

Gráfica No. 3 En las medias se puede notar que hubo mayor producción cuando se agregó al cultivo un 0%, 100% y 150% de fósforo; el resto presentó una menor producción. Entre los dos comportamientos, se ve poca diferencia.

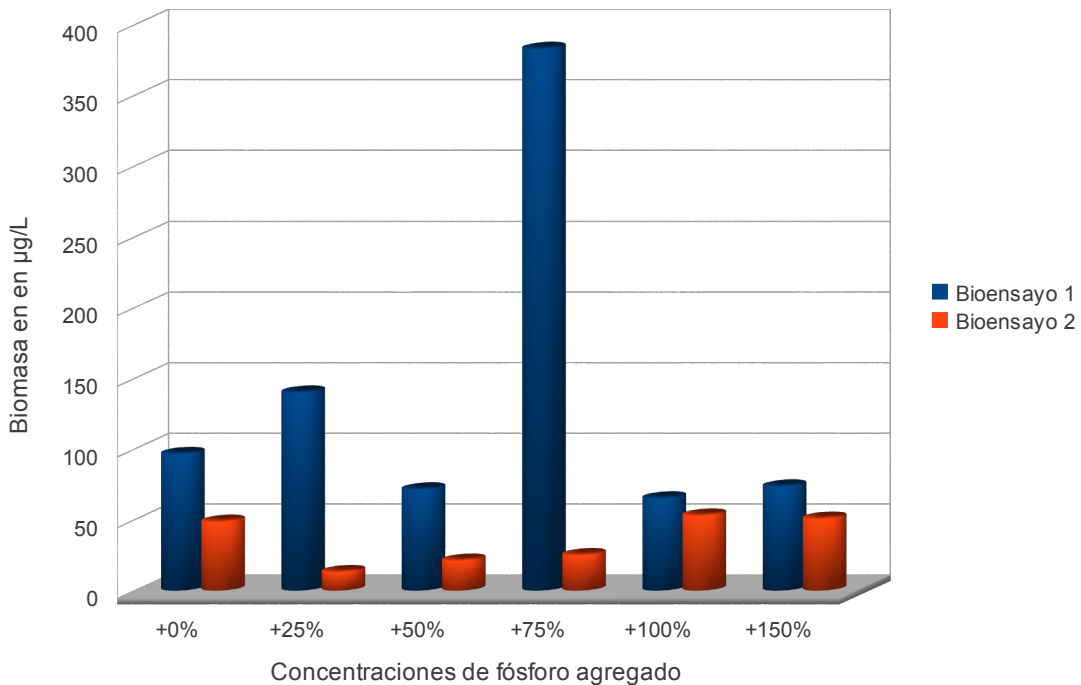
Cuadro No. 6
Análisis estadístico de los resultados del bioensayo 2
(Anova)

Fuentes de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de f calculado	Valor de f empírico
Tratamiento	5	6398.63	1279.73	1.9976	2.62
Error	24	15374.81	640.62		
Total	29	21773.44			

Fuente: datos experimentales

Cuadro No. 6 Se presenta el análisis de varianzas realizado a los resultados obtenidos el segundo bioensayo. Como se calculó un valor de f menor al valor teórico, la hipótesis nula no se rechaza y no hay diferencia significativa entre la adición de cada una de las concentraciones de fósforo.

Gráfica No. 4
Comparación del efecto de la adición de fósforo en la producción de biomasa en los dos bioensayos



Fuente: datos experimentales

Gráfica No. 4 Se compara el efecto de la adición de fósforo en la producción de biomasa en los dos bioensayos. Se hace notar que el comportamiento no fue el mismo, aunque se presenta una ligera similitud en las adición del 100% y del 150% de fósforo a la concentración estándar del cultivo.

10. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Primera fase: cultivos primarios del fitoplancton del Lago de Atitlán y curva de crecimiento.

Se evaluó la curva de crecimiento del fitoplancton para conocer cuánto debían durar los bioensayos. En la gráfica No. 1 se observa que el crecimiento no fue como el esperado. La fase de aclimatación fue muy corta y muy poco marcada. Esto ocurrió porque el cultivo se inició con un cultivo que ya se encontraba en la fase exponencial (días 0 a 3), las células ya tenían las condiciones bioquímicas para dividirse (Prescott, 2002). Después de esta fase ocurrió una fase estacionaria (días 3 a 5), ya que no hubo cambios en las condiciones en que se mantuvo el cultivo, esto pudo deberse a que las células agotaron sus reservas energéticas y de componentes necesarios para la división, por lo que durante este tiempo las células se reorganizaron y sintetizaron lo necesario antes de poder dividirse exponencialmente. Cabe mencionar que el cultivo incluía diatomeas, las cuales se adhieren a las paredes del recipiente donde son contenidas, por lo que parte de la población no fue tomada en cuenta al momento de tomar la muestra para determinar el crecimiento del día.

Luego se observa la fase exponencial del cultivo (días 5 a 6), con un crecimiento del 91% en un corto período de tiempo (1 día), en donde las células se dividieron hasta alcanzar la fase de muerte (días 6 a 9) sin alcanzar una fase estacionaria. En esta fase se muestra una rápida disminución de la cantidad de biomasa en el cultivo, pero inmediatamente después comienza una fase exponencial, donde la cantidad de biomasa crece. Este comportamiento descarta la probabilidad de que la fase de muerte haya ocurrido tan rápidamente por acumulación de metabolitos secundarios tóxicos y por limitación de nutrientes. Sin embargo, no se descarta la posibilidad de que la interacción entre las diferentes poblaciones haya causado el incremento de diatomeas y disminución de algas con clorofila A, mostrando un fenómeno anormal en la curva.

En una visión general de la curva de crecimiento, claramente se observa que el fitoplancton no presenta el comportamiento general del resto de los organismos. Esto no se puede confirmar ya que se cometió errores al momento de toma de la muestra, almacenamiento y preparación del cultivo para realizar la curva. La muestra debía ser una homogeneización de varias muestras tomadas en todo el lago para asegurar que la muestra fuera representativa. Luego de tomar la muestra, esta debía ser transportada en completa oscuridad y a 4°C para evitar que la relación entre las poblaciones no cambiara para el momento de tomar la muestra y evaluar la curva de crecimiento.

Segunda fase: bioensayo

En esta fase de la investigación se le añadió diferentes concentraciones de fósforo a los cultivos del fitoplancton del Lago de Atitlán. En la primera prueba, se pudo observar (Cuadro No. 3 y Gráfica No. 2) que hubo una mayor producción de biomasa en los recipientes que tenían un 75% de agregado de fósforo. Pero el análisis estadístico (Cuadro No. 4) muestra que no es relevante, por lo que la hipótesis que enunciaba que había una diferencia en el crecimiento del fitoplancton cuando se agregaban diferentes concentraciones de fósforo no fue aceptada. Se decidió repetir el experimento y se obtu-

vo un comportamiento diferente (Cuadro No. 5 y Gráfica No. 3), hubo mayor crecimiento en el control y cuando se agregó el 100% y 150% de fósforo. El análisis estadístico (Cuadro No. 6) muestra también que la diferencia no es relevante, por que es más sólida la hipótesis que no hay diferencia entre las concentraciones de fósforo en función de la biomasa.

Cuando se comparan ambos experimentos (Gráfica No. 4), se puede observar que el comportamiento cuando se añade el 100% y el 150% de fosfatos la producción de biomasa se mantiene relativamente igual, mientras que en las otras concentraciones se obtienen resultados diferentes. Los resultados sugieren que el fósforo no es el nutriente o el único que limita el crecimiento del fitoplancton del Lago de Atitlán.

Es posible que no se haya encontrado diferencia en las diferentes concentraciones de fósforo debido a que la dinámica de las especies que componen al fitoplancton cambian a diferentes concentraciones, porque no tienen los mismos requerimientos nutricionales, lo que causa una diferencia en la composición porcentual de las especies en el fitoplancton. Esto también puede afectar los resultados al momento de obtener la biomasa producida por la metodología escogida porque no se toma en cuenta otros pigmentos presentes en el fitoplancton como la clorofila B y C.

Debe tomarse en cuenta que la metodología utilizada para medir la biomasa producida no fue la más recomendada. Otra metodología es la filtración en lugar de centrifugación para la separación de las células. También se puede utilizar una mezcla de acetona y dimetilsulfóxido para a extracción de la clorofila, ya que puede ayudar a una mejor extracción cuando hay células con paredes celulares gruesas. Por último, puede utilizarse un fluorómetro para medir la absorbancia en lugar de un espectrofotómetro, porque es más exacto.

Como no se encontró diferencia entre los diferentes tratamientos en el crecimiento del fitoplancton, no se pudo determinar el rango de concentraciones en las que ocurre el crecimiento profuso.

11. CONCLUSIONES

No hay una relación entre el crecimiento del fitoplancton de Panajachel en el Lago de Atitlán y las diferentes concentraciones de fósforo.

El fósforo no es el nutriente limitante en el crecimiento del fitoplancton de Panajachel en el Lago de Atitlán.

El fitoplancton de Panajachel en el Lago de Atitlán no presenta el crecimiento común de los microorganismos.

12. RECOMENDACIONES

Realizar el mismo experimento con diferente metodología en el análisis de clorofila A o por otra metodología para obtener la biomasa producida.

Realizar estudios in situ para que las muestras estén sometidas las condiciones naturales del lugar y utilizar la misma agua del lago para realizar los cultivos en lugar del medio de cultivo estándar, para mantener las mismas concentraciones de los demás nutrientes y obtener resultados aplicables.

Evaluar el efecto de las diferentes concentraciones de fósforo en el crecimiento de *Lyngbya robusta*, la cianobacteria que causó el florecimiento en los meses de octubre, noviembre y diciembre en el Lago de Atitlán.

Realizar un muestreo donde se refleje la población de fitoplancton del Lago de Atitlán y realizar este procedimiento para evaluar su respuesta a las diferentes concentraciones de fósforo.

Evaluar el efecto del cambio de concentraciones en la composición porcentual de las especies en el fitoplancton.

Realizar este experimento tomando en cuenta concentraciones menores de fósforo (-25%, -50%, -75%) para establecer la concentración de fósforo mínima para su crecimiento.

13. REFERENCIAS

Dix, M., O. Medinilla y E. Castellanos. 2003 . Descripción Física en Dix, M., I. Fortin, O. Medinilla y L. Ríos (editores). Diagnóstico Ecológico-Social en la Cuenca de Atitlán. Universidad del Valle de Guatemala/The Nature Conservancy. Guatemala. 13p.

Elmetri, I. y P. Bell. 2004. Effects of phosphorus on the growth and nitrogen fixation rates of *Lyngbya majuscula*: implications for management in Moreton Bay, Queensland. Marine Ecology Progress Series. 281:27-35.

Elser, J., M. Bracken, E. Cleland, D. Gruner, W. Stanley, H. Hillebrand, J. Ngai, E. Seabloom, J. Shurin y J. Smith. 2007. Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems. Ecology Letters. 10:1-8.

Greenberg, A., et al. 2005. Standard Methods: "For the examination of water & wastewater". 21st Edition. American Public Health Association, American Water works Association, Water Environment Federation. Estados Unidos. 1368pp.

Havens, E. y T. East. 2006. Plankton food web responses to experimental nutrient additions in a subtropical lake. The Scientific World Journal. 6:827-833.

Hecky, R. y P. Kilham. 1988. Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments: A review of recent evidence on the effects of enrichment. Limnology and Oceanography. 33 (4) parte 2:796-822.

Lafarga-De la Cruz F, E. Valenzuela Espinoza, R. Millan-Nunez, E. Santamaría-del-Ángel, F. Núñez-Cebrero. 2006. Nutrient uptake, chlorophyll a and carbon fixation by *Rhodomonas* sp. (Cryptophyceae) cultured at different irradiance and nutrient concentrations. Aquacultural Engineering. 35 (1):51-61.

Prescott, L. 2002. Microbiology. 5th edition. McGraw-Hill. 1026pp.

Roldán, G. 1992. Fundamentos de limnología neotropical. Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 529pp.

Salas, H. y P. Martino. 2001. Metodologías Simplificadas para la Evaluación de Eutroficación en Lagos Cálidos Tropicales. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima, Perú. 60pp.

Valenzuela-Espinoza, E.; R. Millán Núñez, y F. Núñez-Cebrero. 1999. Biomass production and nutrient uptake by *Isochrysis* aff. *galbana* (Clone T-ISO) cultured with a low cost alternative to the f/2 medium. Aquacultural Engineering. 20:135-147.

Vicente, E., C. De Hoyos, P. Sánchez, J. Cambra. 2005. Protocolos de muestreo y análisis para fitoplancton. Confederación Hidrográfica del Ebro. Ministerio de Medio Ambiente. Zaragoza, España. 36pp.

14. ANEXOS

Cuadro No. 1
Soluciones de macronutrientes para cultivo de agua dulce

Compuesto	Concentración mg/L	Elemento	Concentración resultante mg/L
NaNO ₃	25.50	N	4.200
		Na	11.000
NaHCO ₃	15.00	C	2.140
K ₂ HPO ₄	1.04	K	0.469
		P	0.186
MgSO ₄ ·7H ₂ O	14.70	S	1.910
		Mg	2.900
MgCl ₂	5.70		
CaCl ₂ ·2H ₂ O	4.41	Ca	1.200

Fuente: Greenberg et al, 2005

Cuadro No. 2
Soluciones de micronutrientes para cultivo de agua dulce

Compuesto	Concentración µg/L	Elemento	Concentración resultante µg/L
H ₃ BO ₃	186.000	B	32.500
MnCl ₂	264.000	Mn	115.000
ZnCl ₂	3.270	Zn	1.570
CoCl ₂	0.780	Co	0.354
CuCl ₂	0.009	Cu	0.004
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	7.260	Mo	2.880
FeCl ₃	96.000	Fe	33.000
Na ₂ EDTA·2H ₂ O	300.000	-	-

Fuente: Greenberg et al, 2005