

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAS DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA
**DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES ACTUALES DE FÓSFORO EN EL
LAGO DE ATITLÁN**

Informe final de Tesis

Presentado por

Silvia Marlene Soto del Cid



Previo a obtener el título de
Química Farmacéutica

Guatemala, Marzo 2,004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y FARMACIA

“Determinación de los niveles actuales de fósforo en el Lago de Atitlán”

(Informe Final)

Silvia Marlene Soto del Cid

(Previo a obtener el título de)

Química Farmacéutica

Guatemala, Marzo 2,004

JUNTA DIRECTIVA

M.Sc. Gerardo Leonel Arroyo Catalán	Decano
Licda. Jannette Sandoval Madrid de Cardona	Secretaria
Licda Gloria Elizabeth Navas Escobedo	Vocal I
Lic. Juan Francisco Pérez Sabino	Vocal II
Dr. Federico Adolfo Richter Martínez	Vocal III
Br. Carlos Enrique Serrano	Vocal IV
Br. Claudia Lucía Roca Berreondo	Vocal V

DEDICATORIA

A DIOS: Quien es la luz de mi vida y a quien le debo lo que soy.

A LA VIRGEN MARIA: Por sus bendiciones y ejemplo.

A MIS PADRES: Carlos y Emilia; por el amor que me tienen y por la ayuda incondicional que siempre me dan.

A MI ESPOSO: Carlos Rodolfo, a quien amo y esta siempre conmigo en las buenas y en las malas.

A MIS HIJOS: Carlos Rodolfo, Andrea y Karla María, a quienes amo y que son lo mas maravilloso que Dios me ha dado y por quienes doy mi vida.

A MIS HERMANOS: Carlos Enrique y Hany Mabel; por su cariño y apoyo.

A MI SUEGRA⁺: Que desde el cielo se alegra por mí.

AGRADECIMIENTOS

Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno: a todo su personal y en especial a su director el Dr. Juan Skinner Alvarado, por toda la asistencia técnica y financiera proporcionada al estudio.

Laboratorio ECOQUIMSA: a todo su personal, por su apoyo económico y técnico en la parte práctica de laboratorio.

INDICE

CONTENIDO	No. De Página
Resumen	1
Introducción	2
Antecedentes	4
Justificación	9
Objetivos	10
Hipótesis	11
Materiales y Métodos	12
Resultados	22
Discusión de Resultados	29
Conclusiones	35
Recomendaciones	36
Referencias	37
Anexos	40

1. RESUMEN

El Lago de Atitlán se encuentra ubicado en el departamento de Sololá y constituye un valioso recurso natural para los habitantes de varios pueblos que se encuentran ubicados a su alrededor; además, es uno de los lagos más hermosos del mundo por sus paisajes y su clima especial.

Según la investigación realizada, el Lago de Atitlán se encuentra fuera de peligro de eutroficación. Se define como eutroficación el enriquecimiento natural o artificial de los sistemas acuáticos con nutrientes, dando como resultado un substancial incremento en la productividad y un aumento desmesurado de nutrientes esenciales para la vida como lo son nitrógeno (N) y fósforo (P).

La hipótesis planteada se basa en el contenido de fósforo total y transparencia del lago. Los resultados obtenidos demuestran que el contenido de fósforo total, en los estratos analizados del lago (superficial, 5 metros y 10 metros de profundidad), en las dos épocas del año (invierno y verano); son mayores de 0.05 mg/L, por lo que según la Junta de Calidad Ambiental de Puerto Rico el lago es eutrófico. También se evaluó el contenido de fosfatos, que es el fósforo que se encuentra disponible para ser utilizado como parte de la cadena alimenticia y se determinó que los niveles de éstos son en su mayoría menores a 0.01 mg/L y por los niveles elevados de transparencia tanto en invierno como en verano se puede concluir que la mayoría del cuerpo de lago es oligotrófico.

La discusión se centra en los resultados obtenidos de las características físico-químicas del agua del Lago de Atitlán a las diferentes profundidades evaluadas, adicionalmente se hace referencia a los resultados obtenidos de los afluentes del

lago, con el objetivo de evaluar su incidencia en las propiedades físico-químicas del lago y su efecto en su estado de eutroficación.

Asimismo, se determina la validez de la hipótesis planteada, con la salvedad de que el estado de eutroficación no es concluyente de la forma en que se planteó, puesto que Sawyer postula que para que un lago se considere eutrófico deben evaluarse los niveles de ortofosfatos, y Clarson plantea que debe de ser evaluada la característica que sea más representativa del lago ya sea transparencia, clorofila A ó fósforo total, para evaluar el nivel eutrófico de un lago.

1. INTRODUCCIÓN

La investigación que se presenta a continuación tuvo como propósito determinar los niveles actuales de fósforo, y otros parámetros como pH, transparencia, temperatura, y oxígeno disuelto; los cuales en conjunto son indicadores fisicoquímicos del Lago de Atitlán, para la determinación de sus niveles de eutroficación.

El Lago de Atitlán se encuentra localizado en el departamento de Sololá. Es de origen volcánico. La superficie del lago se encuentra a 1,562 metros sobre el nivel del mar y el fondo del lago se sumerge a una profundidad de 342 metros. Interesantemente, el lago no tiene efluentes superficiales y únicamente tiene dos afluentes superficiales permanentes (ríos). Por lo tanto sus aguas provienen de la lluvia que cae directamente sobre el lago, de los manantiales subterráneos, de los pequeños arroyos y de los afluentes de su cuenca. Las desembocaduras a Atitlán son todas fisuras subterráneas y rezumaderos. Esto permite que el agua salga a borbotones por las faldas porosas del lado sur de los volcanes y que desemboque en el Océano Pacífico (1). El lago es también llamado Laguna de Panajachel y constituye un atractivo turístico de primer orden. En sus orillas, cortadas a tajo, se asientan trece pueblos de artesanos habitantes (Santa Cruz, San Marcos, San Juan, San Pedro, San Antonio Palopó, Santa Catarina Palopó, Panajachel, San Jorge, Jinibalito, Tzununa, San Pablo, Santiago Atitlán, San Lucas Tolimán) que se dedican a la pesca y a la agricultura. Por las tardes es azotado por un fuerte viento llamado "Xocomil" (2).

Guatemala es un país muy rico en su naturaleza y belleza natural, pero lamentablemente en los últimos años ha habido un deterioro de todos los recursos naturales en general, siendo los más notables la depredación y tala de árboles en el departamento del Petén y la casi pérdida irremediable del Lago de Amatitlán; dichos lugares han sido fuente rica de turismo nacional e internacional y así mismo fuente de ingresos de mucha gente. Otros lugares también se han deteriorado, aunque no tan notoriamente como los mencionados. Por eso actualmente la preservación del Lago de Atitlán ha ido tomando mayor relevancia en los últimos años, a tal magnitud que es muy frecuente observar en los noticieros tanto escritos como televisivos artículos que hablan de la contaminación en dicho lago.

Por todo lo anterior es necesario determinar si existe o no una alta concentración de fósforo en el lago que sirva como indicador de contaminación.

Se evaluó in-situ el pH, temperatura, oxígeno disuelto y transparencia. Además se tomaron muestras para análisis en el laboratorio de ortofosfatos y fósforo total.

El fósforo es uno de los nutrientes más comunes responsables de la eutroficación (3).

Eutroficación se define como el enriquecimiento natural o artificial de los sistemas acuáticos con nutrientes, dando como resultado un substancial incremento en la productividad y un aumento desmesurado de nutrientes esenciales para la vida como lo son nitrógeno (N) y fósforo (P) (4).

En este estudio se abarcó solo el fósforo, ya que para poder controlar la eutroficación derivada de la contaminación, el fósforo reviste mayor importancia debido a que éste es un nutriente limitante; y aunque el suministro de nitrógeno sea deficiente, este elemento puede obtenerse del aire atmosférico (3).

El incremento de la concentración de fósforo aumenta directamente el número de organismos, de tal forma que la sobre - producción elimina a otros organismos más débiles útiles en el ciclo ecológico normal del cuerpo de agua, causando un deterioro de sus aguas.

Las concentraciones de fósforo son determinantes en los seres que lo utilizan, como los organismos fitoplanctónicos (4).

Los niveles normales de fósforo se ven afectados por la contaminación de aguas negras y por otros agentes externos al sistema del lago como lo son: detergentes, pinturas, fertilizantes, insecticidas y todo material hecho a base de fósforo.

2. ANTECEDENTES

Varios científicos se han dedicado a estudiar lagos (estudios limnológicos) para saber cuáles son las condiciones óptimas que deben tener para poder contribuir de alguna manera con la preservación de este tipo de recurso hídrico tan importante.

Existen condiciones físicas y químicas que definen un lago no contaminado, entre estos están: temperatura, transparencia, turbidez, pH, oxígeno disuelto, fósforo y nitrógeno .

3.1 Temperatura de los lagos:

Aunque unos cuantos organismos pueden vivir en el agua caliente, la mayoría prefieren una temperatura moderada. Puesto que existen tantas variedades de vida acuática, es imposible generalizar acerca de cuál es la temperatura óptima para que exista un ambiente acuático saludable. Algunas bacterias prefieren el agua tibia, otras el agua fría y otras crecen mejor en temperaturas intermedias, la mayoría de los organismos acuáticos se han aclimatado a los rangos predominantes de temperaturas de las aguas superficiales y de los mantos acuíferos subterráneos.

Las poblaciones de peces de agua dulce se clasifican en forma amplia como peces de cacería y peces cerriles, dependiendo de su preferencia por el agua fría o tibia, respectivamente.(5) Este es el grado al cual se pueden hacer generalizaciones acerca de la temperatura del agua sin hacer hincapié en organismos específicos (6).

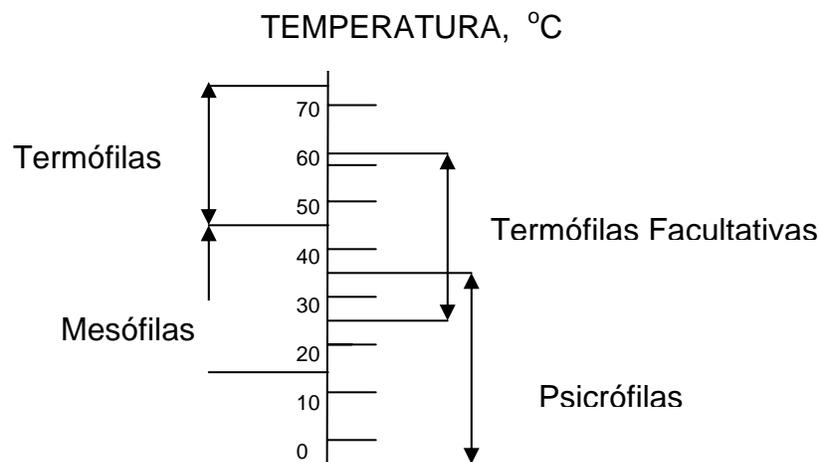


Figura 1. Regímenes aproximados de temperatura de algunas bacterias comunes.

3.2 Oxígeno de los lagos:

El oxígeno afecta tanto a la vida microscópica como a las formas más grandes de vida. Las bacterias que requieren oxígeno y que producen dióxido de carbono como subproducto, se conocen como organismos aeróbicos. Aquellas que pueden vivir sin oxígeno se llaman anaeróbicas. Algunos, llamados organismos facultativos, se pueden adaptar a cualquier situación. En un lago profundo, el oxígeno en la superficie mantendrá a los organismos aeróbicos y las capas del fondo con poca cantidad de oxígeno tendrán una población de bacterias anaeróbicas. La acción de las bacterias anaeróbicas se llama fermentación y los subproductos son dióxido de carbono, metano, hidrógeno, amoníaco y sulfuro de hidrógeno.(7)

En la mayor parte de las aguas superficiales, existe una relación simbiótica entre las algas productoras de oxígeno y las bacterias utilizadoras de oxígeno que aparecen juntas en la lama, aunque pueden existir colonias individuales de estos microorganismos por separado. La cantidad de oxígeno producido por las algas se ve directamente afectada por la luz solar, de forma que el contenido en oxígeno de la mayoría de las aguas superficiales aumenta durante el día y disminuye durante la noche (8).

Aunque la presencia de algas puede ser benéfica en la producción de oxígeno disuelto, su exceso produce el florecimiento, que resulta muy problemático y puede llevar a la eutroficación (muerte lenta) del cuerpo de agua. Cuando las algas han alcanzado el final de su época de crecimiento, mueren y proporcionan una fuente rica en materia orgánica por las bacterias. Con un abastecimiento amplio de alimentación, las bacterias pueden inicialmente crecer a una velocidad exponencial, consumiendo el oxígeno disuelto en el proceso. El proceso se frena conforme el alimento se va agotando y se acumulan los materiales de desecho, y las grandes extensiones de agua pueden terminar sin oxígeno disuelto en ciertas áreas donde este proceso ha ocurrido.(9) Puesto que el crecimiento de las algas que inicia el proceso de eutroficación depende del nitrógeno y fósforo como fertilizantes, la concentración que entra de estos nutrientes en el cuerpo de agua tiene una influencia en la velocidad de eutroficación. Se ha propuesto como hipótesis una relación entre el suministro de estos nutrientes y la geometría del lago. Aún los lagos clasificados como oligotróficos (abundantes de oxígeno, deficientes en nutrientes vegetales) están destinados a llenarse de residuos en cierto momento, aún cuando la rapidez de producción orgánica sea muy lenta (10).

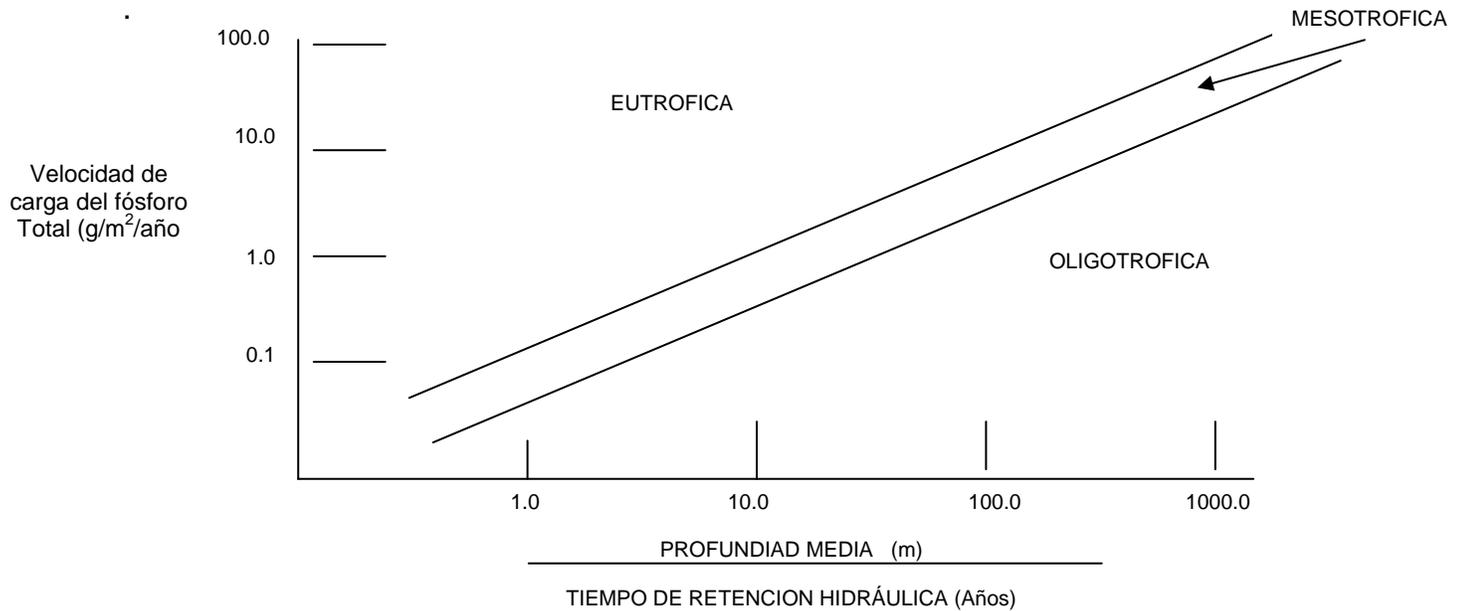


Fig 2. Cómo afecta el fósforo la eutroficación de un lago, determinado mediante su geometría.

3.3 El pH de los lagos:

El pH bajo en el agua tiene un efecto importante sobre los organismos acuáticos debido a que inhibe la actividad enzimática. Algunas bacterias pueden vivir en condiciones ácidas, como se demuestra mediante la actividad de las bacterias responsables de la acidez en el desagüe de las minas de carbón. Otros organismos prefieren las condiciones alcalinas y pueden existir en niveles relativamente altos de pH; las algas enfrentadas con la necesidad de obtener dióxido de carbono transforman el bicarbonato en carbonato, en ausencia del dióxido de carbono gaseoso, produciendo con frecuencia un pH mayor a 9.0. Sin embargo, la mayor parte de los organismos se aclimatan de mejor manera en un rango de pH de 6.5 a 8.5.

El pH del ambiente acuático puede tener efectos secundarios indirectos, por ejemplo, si hay amoníaco, el pH determina la relación entre la parte ionizada y la parte presente en forma de gas. Puesto que el amoníaco no ionizado puede ser tóxico para ciertos organismos acuáticos, el pH puede tener una influencia indirecta en la salud de la población acuática

3.4 fósforo y nitrógeno en lagos:

Al encontrarse en abundancia causan el fenómeno de eutroficación. La eutroficación se define como el envejecimiento de un cuerpo de agua en el que existe la sobre producción de organismos naturales en el mismo debido a un aumento desmesurado de nutrientes esenciales para la vida como lo son el fósforo y nitrógeno (5).

Sawyer sugiere que 0.015 mg/L de fósforo inorgánico, da origen a niveles críticos para la producción de florecimiento de algas (4).

Otros científicos se han dedicado a estudios limnológicos de lagos contaminados. Existen varios estudios sobre el fenómeno de eutroficación en lagos; en Guatemala uno de los lagos más estudiados es el Lago de Amatitlán ya que es el que más problemas presenta, por su cercanía a la capital. A través de muchos años ha despertado el interés científico de muchos profesionales extranjeros y nacionales.

Las primeras investigaciones de las que se tiene conocimiento, generalmente se efectuaban durante los meses de noviembre a mayo. El primero que informó sobre estudios de plancton, fue H.W. Clark (6) y sobre algas J.E. Tilden (7) en el año 1908, Juday (8) captó muestras con objeto de efectuar estudios limnológicos en febrero de 1910, haciendo la publicación de sus estudios en 1915, GE. Deevy Jr. quien efectuó captación de muestras para investigaciones limnológicas dos días en agosto y otro en septiembre de 1950, efectuando la publicación de su trabajo en 1957; R.S. Peckman y CF. Dineen (9) efectuaron observaciones muy concisas sobre el plancton de Amatitlán en 1953.

En los años 1968 – 1969 la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de San Carlos de Guatemala en Convenio con la Escuela de Salud Pública de Carolina del Norte, EEUU, efectuó una serie de investigaciones sobre la calidad de agua culminando con una publicación de C.M. Weiss y colaboradores (7) en septiembre de 1971 y otra a través de los “Programas de Investigación de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria” de L. E. García y A.T. de Abreu en febrero de 1972 (10).

Para el Seminario de IDIS celebrado en San Salvador, El Salvador, se presentó entre los programas de Investigación de ERIS la publicación del informe Preliminar de la eutroficación del Lago de Amatitlán, agosto del 1975 de A. Tabarini de Abreu y colaboradores, en los cuales consideran al lago ya en un problema de contaminación debido a los nutrientes determinados en este (11).

En 1981 R. Madriz hace el estudio “Determinación cuantitativa de nitrógeno total, fósforo como P_2O_5 , carbonato de calcio, porcentaje de materia orgánica total, pH en el cieno del Lago de Amatitlán” (4). Concluyendo que la desadsorción de nutrientes del cieno por sus condiciones anaeróbicas causa un aumento en la concentración de los mismos en el agua, aumentando así el grado de eutroficación y que el oxígeno es un factor indispensable para el intercambio de nutrientes.

En los últimos años no se ha realizado una caracterización completa de los niveles de fósforo en el Lago de Atitlán pero en 1968 a 1970 el Dr. Charles Weiss realizó un estudio sobre los puntos para muestreo en el Lago de Atitlán, los cuales están identificados completamente en el mapa que se presenta en el anexo No. 2.

En 1994 a 1995 el Dr. Juan Skinner, Director de Autoridad del Lago de Atitlán (AMSCCLAE), basado en el estudio hecho por Dr. Weiss (12) seleccionó los puntos importantes (ver el mapa en anexo (No. 2) para hacer un monitoreo de calidad de agua en donde se hicieron estudios de pH, temperatura, oxígeno disuelto, conductividad y fósforo, obteniendo un marco de resultados generales tanto en bahías como en el cuerpo del lago que den un entorno completo de las condiciones fisicoquímicas del mismo. En estos se baso el muestreo para realizar este estudio.

4. JUSTIFICACIÓN

Este trabajo surgió por la necesidad de obtener información actualizada sobre los niveles de nutrientes presentes en el Lago de Atitlán, acompañada de la preocupación de la Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Atitlán y su Entorno (AMSCCLAE) por evaluar los niveles actuales de fósforo presentes en dicho lago, con el propósito de establecer si en el mismo hay un riesgo inminente de eutroficación. Adicionalmente al fósforo se evalúan también otros parámetros que pueden favorecer dicho proceso de eutroficación. La información obtenida puede ser utilizada para tomar las medidas que se consideren necesarias, para evitar un daño mayor al cuerpo de agua.

5. OBJETIVOS

5.1 General:

5.1.1 Evaluar los niveles de eutroficación en el Lago de Atitlán, por medio de la determinación del contenido de fósforo total, ortofosfatos, oxígeno disuelto, temperatura y la transparencia del lago.

5.2 Específicos:

5.2.1 Determinar cuantitativamente el contenido de fósforo de ortofosfatos en muestras de tres profundidades diferentes y en varios puntos del Lago de Atitlán

5.2.2 Determinar cuantitativamente el contenido de fósforo total en muestras de tres profundidades diferentes y en varios puntos del Lago de Atitlán.

5.2.3 Realizar análisis in-situ a tres diferentes profundidades y en varios puntos del lago, para determinar pH, conductividad, temperatura, transparencia y oxígeno disuelto en el Lago de Atitlán.

5.2.4 Analizar los datos obtenidos de los dos diferentes monitoreos efectuados (invierno – verano).

6. HIPÓTESIS

El Lago de Atitlán presenta niveles elevados de fósforo y transparencia limitada lo que acompañado de otras características físico-químicas se considera que se encuentra en estado eutrófico. (21).

7. MATERIALES Y METODOS

7.1 Universo de trabajo:

Agua del Lago de Atitlán.

7.2 Medios:

7.2.1 Recursos Humanos:

Br. Silvia Marlene Soto Del Cid (Autora)

Lic. Gerardo Pirir (Asesor)

Licda. Smirna Velásquez R. (Asesor)

7.2.2 Recursos Materiales:

7.2.2.1 Instalaciones:

Laboratorio ECOQUIMSA

7.2.2.2 Equipo:

- Espectrofotómetro UV-VIS
- Estufa graduada
- Disco Secchi
- Multi-Parameter Water Quality Monitoring System Serie U - 20 (22).
- Lancha
- Equipo para tomar muestras
- Sistema de Posicionamiento Geográfico (GPS)

7.2.2.3 Cristalería:

- Celdas de vidrio de 1 cm
- Balones aforados de 50 mL
- Pipetas volumétricas de 1 y 100 mL
- Pipetas serológicas de 10 mL
- Bureta de 50 mL
- Tubos de ensayo de 15 mL

- Beakers de 250 mL
- Gradillas para tubos de ensayo
- Goteros

7.2.2.4 Reactivos:

- Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) (18).
- Ácido nítrico concentrado (HNO_3) (18).
- Hidróxido de sodio al 10% (NaOH): Pesar 20 gramos de hidróxido de sodio con pureza del 99%. Disolver con 150 mL de agua desmineralizada y aforar a 200 mL (23).
- Fenolftaleína al 0.1%: Pesar 0.1g de fenolftaleína y disolver en 100 mL de Alcohol al 95 % (23).
- Solución de heptamolibdato de amonio: En un beaker de 1000 mL, disolver 0.6g de Tartrato de Antimonio y Potasio en 25 mL de agua desmineralizada. Añadir 25.0 g de heptamolibdato de amonio, agitando con agitador magnético. Agregar agua poco a poco cuidando que no sobrepasen los 125 mL. Cuando las sales estén disueltas, llevar el beaker a una campana de extracción de gases. Añadir lenta y cuidadosamente 350 mL ácido sulfúrico concentrado. Ayudarse con una varilla de vidrio (23).
- Solución de ácido ascórbico 0.1M: Pesar 8.9 g de ácido ascórbico, disolver en agua desmineralizada, transferir a un balón volumétrico de 100 mL y aforar (23).
- Reactivo combinado o solución de trabajo: Para preparar 250 ml de solución de trabajo, a 125 mL de agua añadir 5 mL de la solución de heptamolibdato de amonio

y 2.5 mL de solución de ácido ascórbico. Aforar a 250 mL con agua desmineralizada. Dejar reposar una hora antes de utilizarla. La solución es estable durante 24 horas (23).

- Solución madre de fósforo de 1000 ppm a partir de fosfato diácido de amonio: Pesar exactamente 0.9379 g de Fosfato diácido de Amonio ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) en un beaker de 150 mL y disolver con agua desmineralizada. Transferir cuantitativamente a un balón de 250 ml y aforar con agua desmineralizada (23).

- Solución estándar de 10 ppm de fósforo: De la solución de 1000 ppm tomar una alícuota de 2 mL y aforar en un balón aforado de 200 ml con agua desmineralizada.

- Soluciones de fósforo de 0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5 , 1.0 y 1.5 ppm para curva de calibración:

• mL de Std de 1 ppm	• Volumen final	• Conc. ppm
• 0.00	• 50 mL	• 0.00
• 0.25	• 50 mL	• 0.05
• 0.50	• 50 mL	• 0.10
• 1.00	• 50 mL	• 0.20
• 1.50	• 50 mL	• 0.30
• 2.00	• 50 mL	• 0.40
• 2.50	• 50 mL	• 0.50
• 5.00	• 50 mL	• 0.10
• 7.50	• 50 mL	• 1.50

- Controles:

- Sal de fosfato ácido de potasio (K_2HPO_4). de 0.05 ppm de fósforo total
- Titrisol[®] Merck de 0.05 ppm fósforo.

7.3 Métodos

7.3.1 Análisis In-situ:

7.3.1.1 pH:

7.3.1.1.1 Principio del Método:

El pH se define como el logaritmo negativo, base 10, de la concentración del ion hidronio (H^+). La determinación del pH se realiza por potenciometría directa.

7.3.1.1.2 Procedimiento:

- Calibración: sumergir el censor en el estándar de pH 7, presionar la tecla pH, luego presione CAL, en el modo MAN presionar el cero en el modo de calibración, luego presionar la tecla ENT y STAR (22).
- Lectura: Luego de verificar la calibración del equipo proceder a leer el pH del lago de los puntos escogidos es sus tres diferentes profundidades (0, 5 y 10 metros). Encender el equipo, sumergir el censor y presionar la tecla ENT, el equipo graba las lecturas, presionar la tecla DATA y buscar el dato requerido (22).
- Cálculos: Lectura directa. (no necesita cálculos)

7.3.1.2 Oxígeno Disuelto:

7.3.1.2.1 Principio del método:

Este es un método potenciométrico que utiliza un oxímetro como instrumento para medir el oxígeno disuelto, que se compone de un medidor digital conectado a un electrodo (22).

7.3.1.2.2 Procedimiento:

- Calibración:

Calibrar el equipo en agua destilada, sumergir el censor en el agua destilada (usar un beaker), con el cero de calibración, utilizar el DO censor inmerso en la solución.

Presionar CAL y la tecla de calibración Cero cuando ya este estabilizado usar UP/DOWN , cuando ya esté en 0.0 presionar ENT y START (22).

-Lectura:

Determinar simultáneamente con el pH a las mismas profundidades ya que es el mismo equipo, por lo que es importante que la lectura se tome luego del tiempo prudente para que la misma se estabilice (22).

7.3.1.2.3 Cálculos: Lectura directa.

7.3.1.3 **Temperatura:**

7.3.1.3.1 Principio del método:

Comúnmente se utilizan termómetros de mercurio los cuales se basan en la dilatación de dicho metal dependiendo de la temperatura. Para mediciones de campo los termómetros más usados y precisos son los de termistores y estos tienen una variación de 0.01°C (22).

7.3.1.3.2 Equipo: Multi-Parameter Water Quality Monitoring System U-22.23

7.3.1.3.3 Procedimiento:

- Calibración: Entrar al modo TEMP , sumergir el sensor en agua presionar la tecla UP/DOWN y luego ENT (22).
- Lectura: Determinar simultáneamente con el pH ya que es el mismo equipo, por lo que es importante que la lectura se tome luego del tiempo prudente para que la misma se estabilice (22).
- Cálculos: Lectura directa.

7.3.1.4 **Conductividad**

7.3.1.4.1 Principio del método:

La conductividad es una medida del agua la cual es proporcional al contenido de iones o sales presentes. Los

resultados reflejan la concentración de sales en el agua (22).

7.3.1.4.2 Procedimiento:

- Calibración: Entrar al modo Q COND, presionar la tecla CAL y colocar cero de calibración luego presione ENT y START (22).
- Lectura: Se determina simultáneamente con el pH ya que es el mismo equipo, por lo que es importante que la lectura se tome luego del tiempo prudente para que la misma se estabilice (22).

7.3.1.5 **Transparencia:**

7.3.1.5.1 Principio del método:

La transparencia nos indica la profundidad a la que puede llegar la luz solar, la cual va a depender del grado de turbidez del agua.

7.3.1.5.2 Procedimiento:

El procedimiento consiste en introducir dentro del agua un disco de color blanco de 20 cm de diámetro y un peso de 24 onzas amarrado con una pita sintética graduada en metros, la cual es sumergida en el agua. Se dice que la claridad es equivalente a los metros sumergidos del disco visualizado dentro del agua hasta donde se puede ver claramente definido.

7.3.2 **Análisis en el laboratorio**

7.3.2.1 Análisis de fósforo:

7.3.2.1.1 Método: Ácido ascórbico,

Aplica para fósforo de ortofosfatos y fósforo total.

7.3.2.1.2 Principio del método:

El fósforo aparece en aguas naturales y de descarga la mayor parte de veces como fosfatos. Estos son clasificados como ortofosfatos, fosfatos condensados (piro, meta y otros

poli fosfatos). Ocurren en solución en partículas o en los cuerpos de organismos acuáticos. Estas formas de fosfatos aparecen de varias fuentes. Pequeñas cantidades de ciertos fosfatos condensados son añadidas a algunas aguas durante el tratamiento. Cantidades mayores de los mismos compuestos pueden ser agregados cuando el agua es usada para lavanderías u otra limpieza, debido a los materiales utilizados en las preparaciones de limpiadores comerciales. El análisis de fósforo abarca los siguientes pasos: a) conversión de las formas de fósforo inertes a Ortofosfatos disueltos y b) determinación colorimétrica del ortofosfato disuelto. La separación de fósforo de sus varias formas es definida analíticamente, pero las diferencias analíticas han sido seleccionadas para que puedan ser usados en objetivos de interpretación. La filtración a través de una membrana con poros de $0.45\ \mu\text{m}$ de diámetro separa el fósforo disuelto del suspendido. Las membranas de filtración son elegidas de todas las otras debido a que se obtienen separaciones consistentes de tamaño de partículas. Puede hacerse una pre-filtración a través de lana de vidrio para incrementar la velocidad de filtración. Los fosfatos que responden a ensayos colorimétricos sin hidrólisis preliminar o digestión oxidativa de la muestra son llamados "fósforo reactivo". Mientras que el fósforo reactivo es muchas veces una medición de ortofosfato, una pequeña porción de un fosfato reactivo es muchas veces medición de fosfato condensado presente usualmente es hidrolizada inevitablemente en el procedimiento. El fósforo reactivo se presenta tanto disuelto como suspendido. Una hidrólisis ácida en agua hirviendo convierte las formas disueltas y particularmente los fosfatos condensados en ortofosfato disuelto. La hidrólisis libera inevitablemente algunos fosfatos de compuestos orgánicos, pero esto puede ser reducido a un mínimo por una elección juiciosa de la fuerza del ácido y el tiempo de hidrólisis y temperatura. El término de fósforo hidrolizable por ácido es preferido a fosfato

condensado para esta fracción. Las fracciones de fosfato que son convertidas a ortofosfato sólo por destrucción oxidativa de la materia orgánica son consideradas como fosfato orgánico o asociado a la materia orgánica. La severidad de la oxidación requerida para esta conversión depende de la forma y cantidad de fósforo orgánico presente. Como este fósforo reactivo y fósforo hidrolizable en ácido, el fósforo orgánico se presenta tanto en la fracción disuelta como en la suspendida. El fósforo total tanto como el suelto y el fósforo suspendido son divididos analíticamente en los tres tipos químicos que se han descrito: reactivo, hidrolizable en ácido y fósforo orgánico (23).

7.3.2.1.3 Interferentes:

El arsenato reacciona con el reactivo de molibdato para producir un color azul similar al formado por el fósforo. Concentraciones tan bajas como 0.1mg/L interfieren en la determinación de fosfato. El cromo hexavalente y el nitrito interfieren para dar resultados mayores a un 3% en concentraciones de 1 mg/L y de 10 a un 15% en concentraciones de 10 mg/L. El sulfuro y silicato no interfieren a concentraciones de 1 y 10 mg/L (23).

7.3.2.1.4 Procedimiento de cuantificación:

- Preparación de la muestra para la determinación de fósforo de ortofosfatos: Para la determinación no se requiere digerir la muestra y para su cuantificación se hace por colorimetría de la misma forma que se hace en fósforo total (23).
- Preparación de la muestra para determinación de fósforo total: Digestión de la muestra: Agregar a una cápsula de porcelana 100 mL de la muestra con una pipeta volumétrica de 100 mL. Agregar 1 mL de ácido sulfúrico y 5mL de ácido nítrico. Digerir a un volumen aproximadamente de 1mL y luego continuar hasta que la solución esté incolora. Enfriar y agregar agua desmineralizada, una gota de indicador de fenolftaleina y

tanto de Hidróxido de Sodio al 10% como sea necesario para producir un tinte rosado pálido. Transferir cuantitativamente la solución neutralizada, filtrar si es necesario para remover partículas o material que cause turbidez, a un balón de 50 mL.

- Determinación colorimétrica: Pipetear 1 mL de la muestra en un tubo de ensayo y agregar 8 mL del reactivo combinado (o solución de trabajo). Mezclar y dejar estar durante 10 minutos, pero no más de 30 minutos. Leer la absorbancia de las muestras a 880 nm.

7.3.2.1.5 Preparación de la curva de calibración:

Preparar la solución de 1000 ppm de fósforo según indicaciones de preparación del Titrisol y hacer diluciones para obtener soluciones de 0.0, 0.01, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.10, 0.30, 0.50. ppm de fósforo (23); determinar colorimétricamente al igual que la muestra.

7.3.2.1.6 Para control de la sal de fosfato ácido de sodio

($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) hacer una solución de 0.05 ppm. Seguir el mismo procedimiento para preparación de muestras de fósforo total y su determinación.

7.3.2.1.7 Muestras y controles: Graficar absorbancia en función de la concentración de fósforo para las soluciones patrón, incluyendo el punto 0,0 ppm y obtener la recta de regresión lineal.

Determinar la concentración de fósforo en las muestra y los controles.

Formula: $y = xm+b$

Donde:

y = absorbancia

x = concentración

m = pendiente

b = intercepto

7.4 Diseño de la Investigación:

7.4.1 Muestreo:

7.4.1.1 Forma de muestreo:

Por intención

7.4.1.2 Tamaño de la muestra:

Se tomaron 18 puntos del Lago de Atitlán a tres diferentes profundidades (si fue posible) 0, 5 y 10 metros, cada una se analizó en duplicado; y en tres afluentes que en el desembocan (Río Panajachel, Río Kisqab y Drenaje Tzanjuyu), se tomaron muestras de cada uno y se analizaron en duplicado, en dos épocas diferentes (invierno y verano).

7.4.1.3 Variables de Interés:

7.4.1.3.1 Análisis In-Situ:

- pH
- conductividad
- temperatura
- transparencia
- oxígeno disuelto

7.4.1.3.2 Análisis de Laboratorio:

- fósforo (de ortofosfatos y total)

8. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el estudio tanto in-situ como de laboratorio.

8.1 Datos In-Situ:

8.1.1 pH:

Cuadro No. 1

Resultados de pH obtenidos de muestras del Lago de Atitlán en el 2002.

Referencia	Superficial Invierno	5 m Invierno	10 m Invierno	Superficial Verano	5 m Verano	10 m Verano
Máximo	9.28	9.09	8.99	8.74	8.67	8.61
Promedio	9.10	8.94	8.93	8.61	8.56	8.50
Mínimo	8.94	8.79	8.82	8.47	8.41	8.29

Datos generales en Anexo No. 3

Cuadro No. 2

Resultados de pH en agua de los afluentes del Lago de Atitlán durante el 2002.

Referencia	Invierno	Verano
Río Panajachel	8.41	7.85
Río Kisqab	8.69	8.90
Drenaje San Tzanjuyu	8.36	8.57

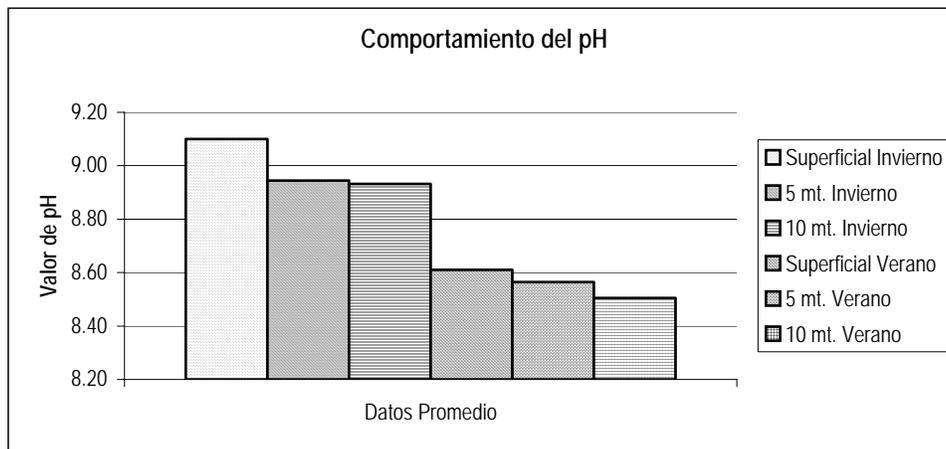


Figura 1. pH, según profundidad en la columna de agua, durante el periodo de invierno y verano 2002

8.1.2 Oxígeno Disuelto:

Cuadro No. 3

Resultados de Oxígeno disuelto de muestras del Lago de Atitlán 2002, reportadas en mg/L.

Referencia	Superficial Invierno	5 m. Invierno	10 m. Invierno	Superficial Verano	5 m. Verano	10 m. Verano
Promedio	8.20	7.92	7.37	8.54	7.79	7.56
Máximo	8.60	8.58	8.49	8.83	8.44	8.50
Mínimo	7.79	7.23	6.53	8.08	6.35	6.00

Resultados completos en anexo No. 4

Cuadro No. 4

Resultados de oxígeno disuelto en los afluentes del Lago de Atitlán en el 2002, reportadas en mg/L.

Referencia	Invierno	Verano
Río Panajachel	8.34	5.23
Río Kisqab	8.90	6.48
Drenaje San Tzanjuyu	5.00	5.10

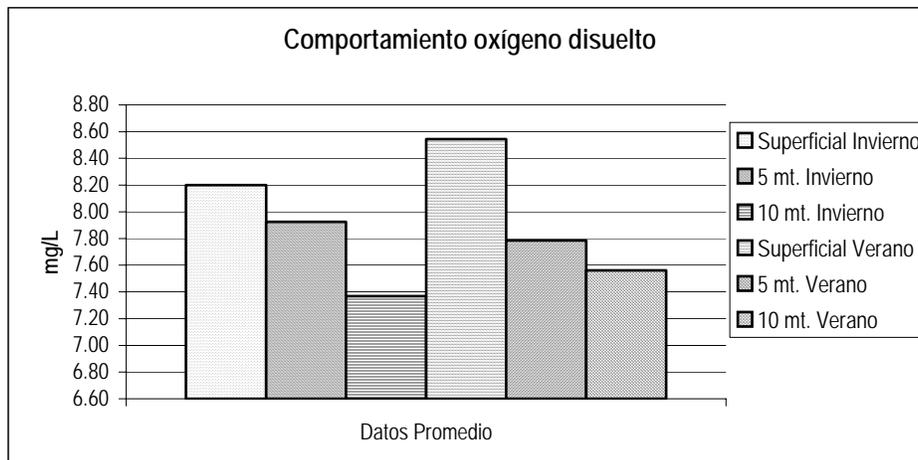


Figura 2. Oxígeno disuelto, según profundidad en la columna de agua, durante el periodo de invierno y verano 2002

8.1.3 Temperatura:

Cuadro No. 5

Resultados de temperatura de muestras del Lago de Atitlán 2002, reportadas en grados centígrados.

Referencia	INVIERNO SUPERFICIAL	INVIERNO 5 m.	INVIERNO 10 m.	VERANO SUPERFICIAL	VERANO 5 m.	VERANO 10 m.
Promedio	23.19	22.88	22.75	21.28	21.10	20.97
Máximo	23.90	23.10	23.00	22.10	21.80	21.40
Mínimo	22.90	22.70	22.50	21.00	20.80	20.80

Resultados completos en anexo No. 5

Cuadro No. 6

Resultados de temperatura en los afluentes del Lago de Atitlán en el 2002, reportadas en grados centígrados.

Referencia	°C	°C
Río Panajachel	21.1	25.0
Río Kisqab	16.2	13.5
Drenaje San Tzanjuyu	23.9	15.2

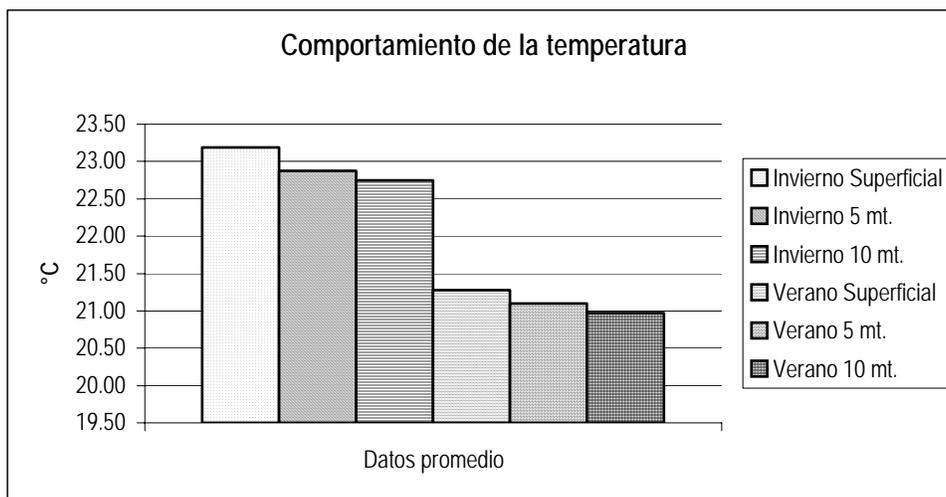


Figura 3. Temperatura, según profundidad en la columna de agua, durante el periodo de invierno y verano 2002

8.1.4 Conductividad.

Cuadro No. 7

Resultados de conductividad obtenidos de muestras del Lago de Atitlán en el 2002, reportadas en mS/m.

Referencia	Superficial Invierno	5 m. Invierno	10 m. Invierno	Superficial Verano	5 m. Verano	10 m. Verano
Datos promedio	48.84	48.85	48.53	48.46	48.58	48.12
Máximo	50.00	49.30	48.90	49.00	48.90	49.30
Mínimo	48.00	48.10	48.40	48.00	48.40	40.00

Resultados completos en anexo No. 6

Cuadro No. 8

Resultados de conductividad en los afluentes del Lago de Atitlán en el 2002, reportadas en mS/m.

Referencia	Invierno	Verano
Río Panajachel	15.3	19.8
Río Kisqab	12.2	17.8
Drenaje San Tzanjuyu	56.9	26.5

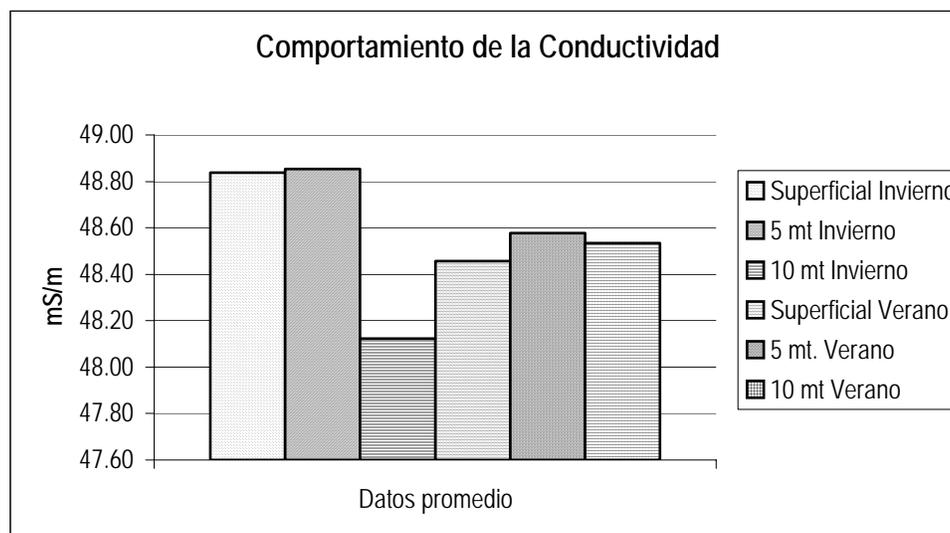


Figura 4. Conductividad, según profundidad en la columna de agua, durante el periodo de invierno y verano 2002

8.1.5 Transparencia:

Cuadro No. 9

Resultados de transparencia obtenidos de muestras del Lago de Atitlán en el 2002, reportadas en metros.

	Invierno	Verano
Promedio	7.33	8.90
Máximo	10.50	11.00
Mínimo	4.60	5.00

Resultados completos en anexo No. 7

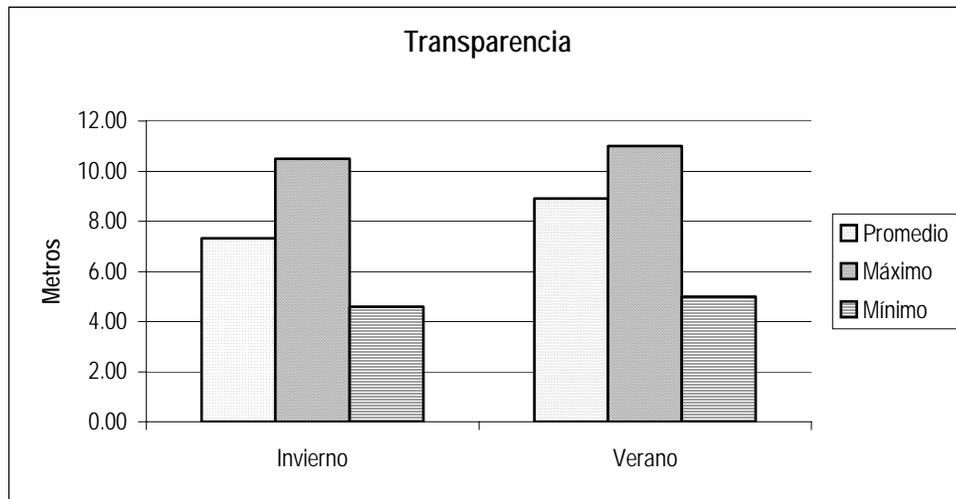


Figura 5. Transparencia, de acuerdo a la época del año, analizadas en el 2002.

8.1.6 Fósforo Total:

Cuadro No. 10

Resultados de fósforo total obtenidos de muestras del Lago de Atitlán en el 2002, reportadas en mg/L.

Referencia	Superficial Invierno	5 m. Invierno	10 m. Invierno	Superficial Verano	5 m. Verano	10 m. Verano
Promedio	0.15	0.14	0.124	0.07	0.06	0.046
Máximo	0.28	0.17	0.152	0.09	0.08	0.075
Mínimo	0.11	0.12	0.105	0.05	0.03	0.030

Resultados completos en anexo No. 8

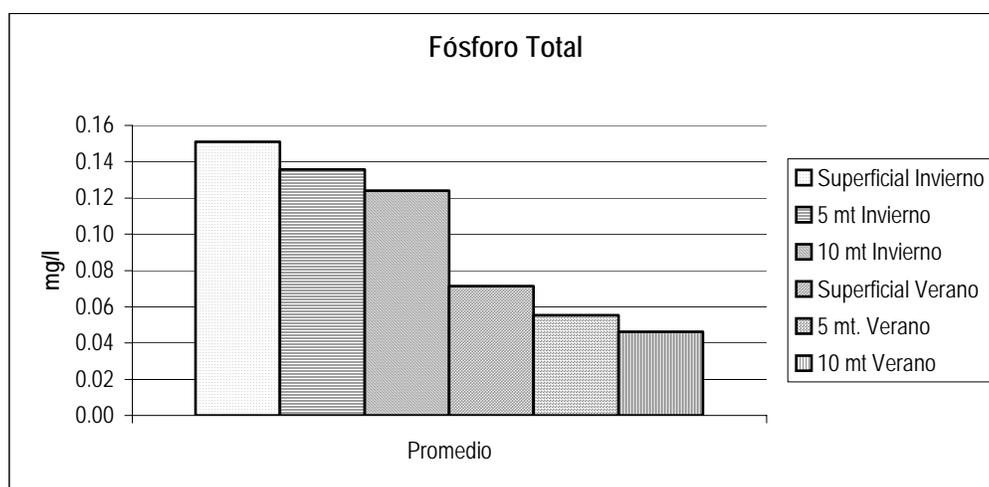


Figura 7. fósforo total, de acuerdo a la época del año, analizadas en el 2002

Cuadro No.11

Referencia	Invierno	Verano
Río Panajachel	1.760	0.774
Río Kisqab	0.789	0.475
Drenaje San Tzanjuyu	3.264	1.084

Resultados de fósforo total en aguas superficiales, "Afluentes del lago"

8.1.7 Ortofosfatos (mg/L):

Cuadro No.12

Resultados de ortofosfatos obtenidos de muestras del Lago de Atitlán en el 2002, reportadas en mg/L.

Referencia	Superficial Invierno	5 m. Invierno	10 m. Invierno	Superficial Verano	5 m. Verano	10 m. Verano
Generales	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050	< 0.050

Resultados completos en anexo No. 8

Cuadro No.13

Resultados de los ortofosfatos obtenidos en las aguas superficiales “Afluentes del lago”

Referencia	Invierno	Verano
Río Panajachel	1.486	0.612
Río Kisqab	0.461	0.373
Drenaje San Tzanjuyu	2.661	0.778

8.1.8 Fósforo Orgánico:

Cuadro No. 14

Resultados de fósforo orgánico obtenidos de muestras del Lago de Atitlán en el 2002, reportadas en mg/L.

Referencia	Invierno	Verano
Río Panajachel	0.274	0.162
Río Kisqab	0.328	0.102
Drenaje San Tzanjuyu	0.603	0.306

9. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La discusión de resultados se basó en la evaluación de las concentraciones de fósforo para el análisis de la hipótesis planteada, y el análisis de todos los parámetros evaluados para determinar el nivel trófico del lago.

9.1 pH:

Los resultados obtenidos se pueden resumir de la siguiente forma: valores extremos de 9.24 superficialmente en invierno y valor mínimo de 8.29 a 10 metros en verano y con una tendencia marcada a ser mas bajos en la época de verano, esto puede ser a causa de que en invierno existe un mayor arrastre de material agrícola en los ríos, siendo estos de un pH alcalino.

La importancia de evaluar este aspecto se basaba en observar las variaciones de este parámetro durante la época de invierno y verano, sin embargo durante el transcurso de la parte experimental la determinación del mismo fue tomando mayor relevancia ya que el objetivo y la hipótesis del estudio, que giran alrededor de los valores que se obtendrían de fósforo en sus diferentes formas, dependen del pH. Lo interesante y relevante de los resultados obtenidos es que en el cuerpo del lago (a las profundidades evaluadas) los valores son superiores a 8.00, lo cual causa que los ortofosfatos a ese pH precipiten al fondo del lago. Por lo que se debe de considerar a esta característica del lago una defensa natural que lo protege, con un efecto buffer, de una eutroficación acelerada.

Es importante mencionar que el estudio únicamente abarcó una profundidad máxima de 10 metros y con la tendencia que a mayor profundidad el valor de pH disminuye, puesto que este lago es muy profundo es probable que a determinada profundidad los valores sean menores a 8.00. En estas profundidades el efecto precipitador del pH hacia el fósforo sea mucho menor por lo que las concentraciones de ortofosfatos podrían elevarse dependiendo de la profundidad.

El pH es una variable muy importante de considerar al evaluar un cuerpo de agua ya que éste delimita en determinado momento si ésta puede ser usada

como agua potable siendo los límites máximos permitidos: 6.5 el límite inferior y 8.5 el superior, según los estándares permisibles de la Norma COGUANOR NGO 29 001:99. Por lo tanto se puede concluir que los datos promedio se encuentran por encima de los límites superiores propuestos, por lo que su utilización directa sin ningún tratamiento (para ajustar este parámetro) debe de ser considerada para poder utilizarla como agua potable.

9.2 Temperatura:

La importancia de la evaluación de este parámetro radica en ver las tendencias y la posible utilización de este parámetro combinado con otros para la determinación del estado eutrófico del lago.

Los resultados obtenidos oscilan entre un rango de 23.9 °C como máximo y 20.8 °C como mínimo. La tendencia marcada a obtener resultados levemente más altos en la época de invierno, es consecuencia de que la temperatura ambiente promedio en los meses de invierno es mayor a la de verano. Además de que debe de existir una contribución por la actividad microbiana y enzimática mayor en la época de invierno, provocada por la mayor cantidad de materia orgánica proveniente del arrastre de los ríos.

Este parámetro también es importante ya que dependiendo de los valores que se obtienen son el tipo de especies predominantes en el agua, aunque muchas especies se adaptan a las diferentes temperaturas. Por los resultados evaluados las bacterias que deben predominar son mesófilas y psicrófilas.

9.3 Oxígeno disuelto:

La importancia de la evaluación de este parámetro es que es un indicador de contaminación en cualquier cuerpo de agua superficial, y en este caso que se evalúa un lago, la combinación de este parámetro con otros dan la idea del estado eutrófico del lago.

Los resultados obtenidos son muy alentadores ya que se obtienen resultados superficiales con un valor máximo de 8.83 mg/L en la superficie en invierno y un valor mínimo de 6.00 mg/L lo que representa valores de saturación de oxígeno de 98.0 - 66.7%, en el cuerpo del lago, incluyendo las bahías. La tendencia es a disminuir a mayor profundidad y a ser menores en la época de

invierno. Se puede observar en la tabla de resultados que a 10 metros de profundidad los cambios no son sustanciales y mantienen niveles considerados de buena calidad para un lago lo que da una idea de que las corrientes que se encuentran en el lago son muy importantes para mantener dichos niveles, así como que la actividad metabólica es baja ya que este proceso utiliza este elemento en la degradación de la materia orgánica.

Este parámetro es muy importante para los organismos del lago, por lo que es de suma importancia dar seguimiento a los planes de monitoreo que permitan visualizar el comportamiento de este parámetro al paso de los años.

Se puede observar claramente que durante el verano los resultados promedio son mayores que en invierno, esto es consecuencia que durante invierno ingresa por arrastre de los ríos una mayor carga orgánica la cual en su estabilización utiliza el oxígeno disuelto en el lago, sin embargo el cambio de concentración de oxígeno disuelto entre las dos épocas es de únicamente 0.2 mg/L debido al gran volumen del lago (23 kilómetros cúbicos).

9.4 Transparencia:

Este es uno de los parámetros mas importantes para poder determinar el grado eutrófico del Lago de Atitlán ya que existen tablas y cálculos que se basan en este parámetro para la determinación de este grado.

La medida que se utiliza para evaluar este parámetro es el Índice de Carlson el cual se basa en la profundidad en metros determinada con el disco de Secchi.

El cálculo es el siguiente:

$$IT: 60 - 14.41 (\ln SD)$$

Donde:

IT: Índice de eutroficación.

SD: el valor medido con el disco de Secchi en metros.

Los resultados promedio de transparencia determinados en el Lago de Atitlán son de 7.33 metros en invierno y de 8.90 metros en verano; cabe recalcar que para la obtención de estos resultados se utilizan todas las mediciones incluyendo bahías. Por lo que se realizó el cálculo también para los valores mínimos y máximos.

Para los datos de invierno los índices de Carlson varían entre 26 y 38, valores que según dicho científico indica que el lago se encuentra en un estado

oligotrófico. El criterio de Clarson indica que de 0-40 los resultados son indicadores de un lago oligotrófico, de 40-60 son mesotróficos y de 60-100 son eutróficos (en el Anexo No. 9 se explican los términos oligotrófico, mesotrófico y eutrófico).

Para los datos de verano, que son mucho más bajos, un máximo de 37 y un mínimo de 28 en el índice de Clarson también indican un estado oligotrófico. Cabe mencionar que para determinar el estado trófico del lago este es el parámetro que se considera de más utilidad, ya que la medida de fósforo, como se verá más adelante, dependerá en gran medida de que dato se utilice (fósforo total ó fósforo inorgánico) ya que el fósforo total disponible es en su mayoría orgánico en el ensayo realizado, por lo que al utilizar dicho valor no será representativo.

La diferencia entre invierno y verano radica en que durante la época de invierno existe un mayor arrastre de los ríos por lo que existe una mayor cantidad de material disponible para la cadena alimenticia y por lo tanto existe una mayor actividad biológica causando un crecimiento de fitoplancton, zooplancton en la parte superior del lago provocando una disminución en su transparencia, a la vez que el material flotante derivado del arrastre se suma a causar dicho efecto.

9.5 Ortofosfatos:

Los resultados obtenidos en el cuerpo del lago, a las profundidades evaluadas, nos indican que debido a su alcalinidad no se encuentran presentes en valores cuantificables con el método empleado, debido a que estos precipitan al pH superior a 8.00. Es importante nuevamente recalcar que a diferentes profundidades pueden variar estos valores, por lo que de mantenerse la tendencia de disminución del valor de pH a mayor profundidad, éstos se encontrarán en cantidades mas elevadas y por ende contribuyen en el ciclo de la cadena alimenticia.

Otro factor importante a recalcar es que a mayor profundidad existen otros factores como la ausencia de luz, temperatura, presión, niveles inferiores de oxígeno, etc., que limitan la presencia de actividad metabólica y por ende su contribución al ciclo de la cadena alimenticia.

Es importante mencionar que los resultados de ortofosfatos en los afluentes del lago varían entre 0.37 mg/L y 2.66 mg/L. Sin embargo el pH de éstos también es superior a 8.00, por lo que son los sólidos en suspensión de dichos afluentes los que proporcionan los ortofosfatos que son básicos en la cadena alimenticia.

9.6 Fósforo Total:

Los valores de fósforo total oscilan entre 0.28 mg/L como máximo en invierno hasta valores de 0.03 mg/L en invierno (en los estratos del lago evaluados). Dichos valores son mayoritariamente provenientes de fósforo orgánico y del que se presente como parte de células o material vegetal.

El Índice de Clarson también tiene tablas que consideran los niveles de fósforo total para determinar el estado eutrófico de un lago, según los valores obtenidos se considera al lago como mesotrófico según los estratos evaluados.

$$\text{Índice de Clarson} : 14.42 - (\ln \text{TP}) + 4.15$$

Los resultados obtenidos dan un máximo de 85 en la época de invierno superficialmente y un mínimo de 53 en verano a 10 metros de profundidad. Para estos resultados se podría concluir que el Lago de Atitlán se encuentra en un estado mesotrófico-eutrófico ya que el rango de estos son Mesotrófico de 40^a <70 y Eutrófico de 70 a 100. (ver cuadro 23).

Si no se considerara que este elemento es en su gran mayoría inorgánico cabe resaltar que el lago se consideraría ya en niveles eutróficos, consideración que se descarta al considerar otros aspectos como la transparencia.

9.7 General:

La combinación de los diferentes elementos físico-químicos evaluados sugieren que el lago tiene un sistema de protección natural que es el pH, que tiene valores elevados y por el tamaño (23 Km²) y profundidades en su mayoría mayores a 100 metros y valores máximos de 320 metros. Es muy poco probable que exista un cambio muy drástico de dichos valores, por lo que el lago debe de mantenerse en niveles de eutróficos bajos (oligotrófico).

El nivel oligotrófico del lago nos sugiere que este no es productivo en su gran masa por lo que su producción se limita en su mayoría a las bahías, que por ser de una profundidad relativamente bajas utilizan los nutrientes que se encuentran depositados en el suelo y son fácilmente transportados al ciclo de la cadena alimenticia.

10. CONCLUSIONES

10.1 En base a los resultados de pH, Oxígeno disuelto, transparencia y ortofosfatos se puede determinar que el Lago de Atitlán es oligotrófico.

10.2 El pH en el cuerpo del lago (sustratos evaluados) es superior a 8.00, este es un mecanismo natural de protección del lago, ya que los fosfatos disponibles para su consumo en la cadena alimenticia precipitan al fondo a este valor de pH; esto limita los niveles de eutroficación.

10.3 El fósforo encontrado en el lago (superficial, 5 metros y 10 metros de profundidad) es en su mayoría fósforo orgánico, por lo que su aporte en la cadena alimenticia es limitado; por esta razón el fósforo utilizado en dicha cadena es del suelo de las bahías o de profundidades que tengan pH inferiores a 8.00.

10.4 El nivel oligotrófico del lago lo hace ser poco productor, por lo que la pesca es limitada.

10.5 En el estudio realizado, la determinación de los niveles de los diferentes parámetros evaluados no es mas que una pauta para determinar el estado actual del Lago de Atitlán; es de mucha más utilidad realizar un programa de monitoreo continuo en el cual se pueda visualizar los cambios que ocurren en el lago a través de los años y así tomar las medidas que se consideren necesarias para mitigar el impacto ocasionado por el hombre.

10.6 Los resultados obtenidos de la evaluación de los afluentes nos indican que estos tienen un aporte importante de nutrientes hacia el lago como lo es el fósforo, lo cual se puede observar al comparar los resultados de los diferentes parámetros analizados como transparencia y oxígeno disuelto de valores inferiores en las bahías.

11. RECOMENDACIONES

11.1 Aunque el lago no presenta actualmente niveles de eutroficación alarmantes y que puedan variar drásticamente, es importante que estrategias de inversión ya sean privadas o gubernamentales para la protección del Lago de Atitlán, sean encausadas a prevenir la eutroficación del lago, como:

11.1.1 La utilización en la cuenca del lago de fertilizantes orgánicos en lugar de fertilizantes químicos ya que la fijación al sustrato de los nutrientes es mejor.

11.1.2 Controlar que no se dirijan directamente al lago aguas residuales domésticas de las diferentes comunidades existentes alrededor del Lago de Atitlán, sin un tratamiento previo.

11.1.3 Mantener la política de monitoreo y control de lago, plantas de tratamiento y afluentes del lago, que permitan visualizar cualquier acción necesaria, en el momento oportuno.

11.2 Debe de cuidarse además de sus características eutróficas, otras que lo hacen un recurso natural preciado. Entre estas cabe mencionar : su belleza, que lo hace ser un centro turístico de relevancia en Guatemala y, el uso como fuente de agua potable de algunos municipios del departamento de Sololá que se encuentran alrededor del Lago de Atitlán.

12. REFERENCIAS

1. LABASTILLE, ANNE. 1988 "Lago de Atitlán" Nueva York, pp 24-76.
2. PIEDRA SANTA, J. 2002 "Geografía Visualizada" Editorial Piedra Santa. Guatemala, pp 30.
3. MURGEL, BLANCO. 1984. "Limnología Sanitaria, Estudio de la Polución de Aguas Continentales. Washington OGA. pp 26-32.
4. MADRIZ, C.R. 1981."Determinación Cuantitativa de Nitrógeno Total, fósforo como P_2O_5 , Carbonato de calcio, porcentaje de Materia Orgánica Total, pH en el cieno de Lago de Amatitlán. Tesis de la Fac. de C.C.Q.Q. y Farmacia. pp 1-15 Guatemala.
5. KEMMER, F. et al: 1989. Manual de Agua, su Naturaleza, Tratamiento y Aplicaciones. Nalco Chemical Company. pp 5:1-13.
6. Programmatic Environmental Impact Statement, U.S. Department of transportation may 1992.
<http://ast.faa.gov/irra/envronmetal/envc/PEISRV5-28-92.PDF>
7. American society of limnography and oceanography; Victoria, BC.
<http://aslo.org./victoria2002/>
8. Lakes. Chapter 7.
http://www.who.int/docstore/water_sanitation_health/wqassess/ch12.htm
9. Selección of water quality variables.Chapter3.
http://www.who.int/docstore/water_sanitation_health/wqassess/ch08.htm
10. Michael D. LaGrega Gestión de Residuos Toxicos Tratamiento, eliminación y recuperación de suelos Vol IIMcGraw Hill 1196.

11. JGlynn Henry, Heinke, Gary "Ingienieria ambiental" 2º. Edición Pretice Hall México 1996 pp278-290.
12. August 2002
14 –17: World Congress on Aquatic Protected Areas, cairns, Queensland, Australian,
<http://www.0.zaccomm.com.au/upa2002/index.htm>.
13. Weekly report for the Nacional Marine Protected Areas Center
<http://www.nos.n099.gov/inpap/an/pdfs/center-pdfs/-057202-cener/pdf>
14. CLARK, H.W. 1906 "The Holophytic Plankton of Lakes Atitlán and Amatitlán", pp21:91-106. Guatemala. Proc. Biol. Soc. Wash.
15. TILDEN J.E 1908 "Notes on A Collection of Algae from Guatemala", Proc.Biol.Soc.Wash.,pp21:153-156.
16. JUDAY C. 1957. "Limnologic Studies in Middle America with a Chapter on Astec Limnology". Pp 39-213-328. Trans., Connecticut Acad. Arts Sci.,
17. PECKMAN, R.S. y DINEEN C.F. 1953 "Summer Plankton of Lake Amatitlán, Guatemala", the American Miland Naturalist, pp50 (2):377-381
18. GARCIA M., L.E. Y TABARINI D ABREU., 1972, Procedimientos y resultados preliminares de un Reconocimiento Limnológico del Lago de Atitlán y Amatitlán. pp 1-20. Progr. De Invest. , Esc. Reg. De Ing. Sanit., Fac. Ing. Universidad de San Carlos, Guatemala
19. ABREU, A. TABARINI DE, et al: 1981. Eutroficación del Lago de Amatitlán. 64p. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, Centro de Investigaciones. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala.
20. WEISS, C.M. 1971. "Amatitlán Lake". pp125-127. Esc. Reg. Sanit. Y Envir.Scienc. and Eng., S.P.N. Univ. North Carolina, Chspel Hill ESE, pub No. 281.

21. RIOS, RAFAEL. 2002 "Estudio sobre las Concentraciones de Nitrógeno y fósforo en los embalses de Puerto Rico. Puerto Rico . pag2
22. MANUAL DE 1999. "Multi-Parameter Water Quality Monitoring System. U-20 Series. U-22.23 1-110 pp.
23. STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, APHA, AWWA, WEF. 1995 . 19th Edition. Washington
24. ABREU, A. TABARINI DE, et al: 1975. Informe preliminar sobre el proceso de eutroficación del Lago de Amatitlán. 57 p. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria, Centro de Investigaciones. Facultad de Ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala.
25. National ambient Air Quality Estándar NAAQS)
<http://www.epa.gov/airs/criteria.html>

13. ANEXOS

13.1 ANEXO No. 1

EUTROFICACION:

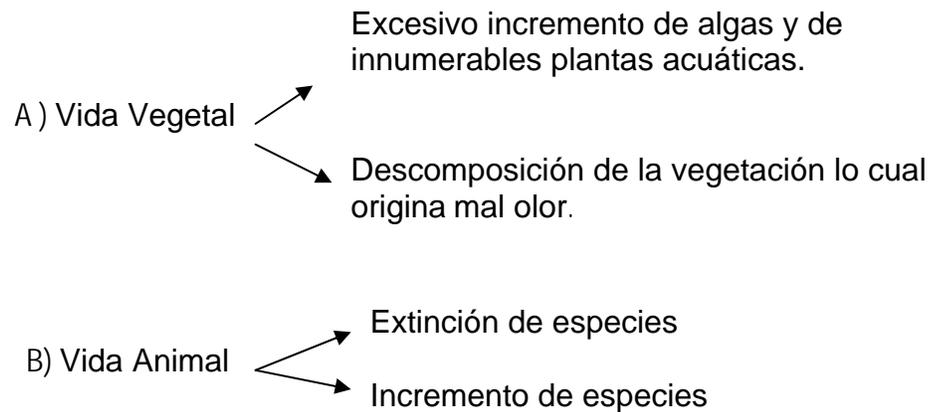
Se define como el enriquecimiento natural o artificial de los sistemas acuáticos con nutrientes, dando como resultado un substancial incremento en la productividad y en el contenido de materia orgánica del cuerpo de agua (principalmente bajo la forma de células de algas) (4).

CAUSAS DE LA EUTROFICACIÓN:

- Desechos sólidos (basura) del sector domiciliar
- Descargas de desechos líquidos industriales:
 - o Con detergentes a base de Fosfatos
 - o Con vitaminas
 - o Con hormonas de crecimiento
 - o Con aminoácidos
 - o Con trazos de elementos líquidos inorgánicos, etc.
- Descargas de desechos líquidos domésticos
- Descargas de desechos orgánicos, beneficios, granjas agrícolas, etc.
 - Pozos sépticos habitacionales en mal estado (filtraciones)
 - Uso incorrecto de los fertilizantes, del área agrícola
 - Uso inmoderado de plaguicidas fosforados, etc (16).

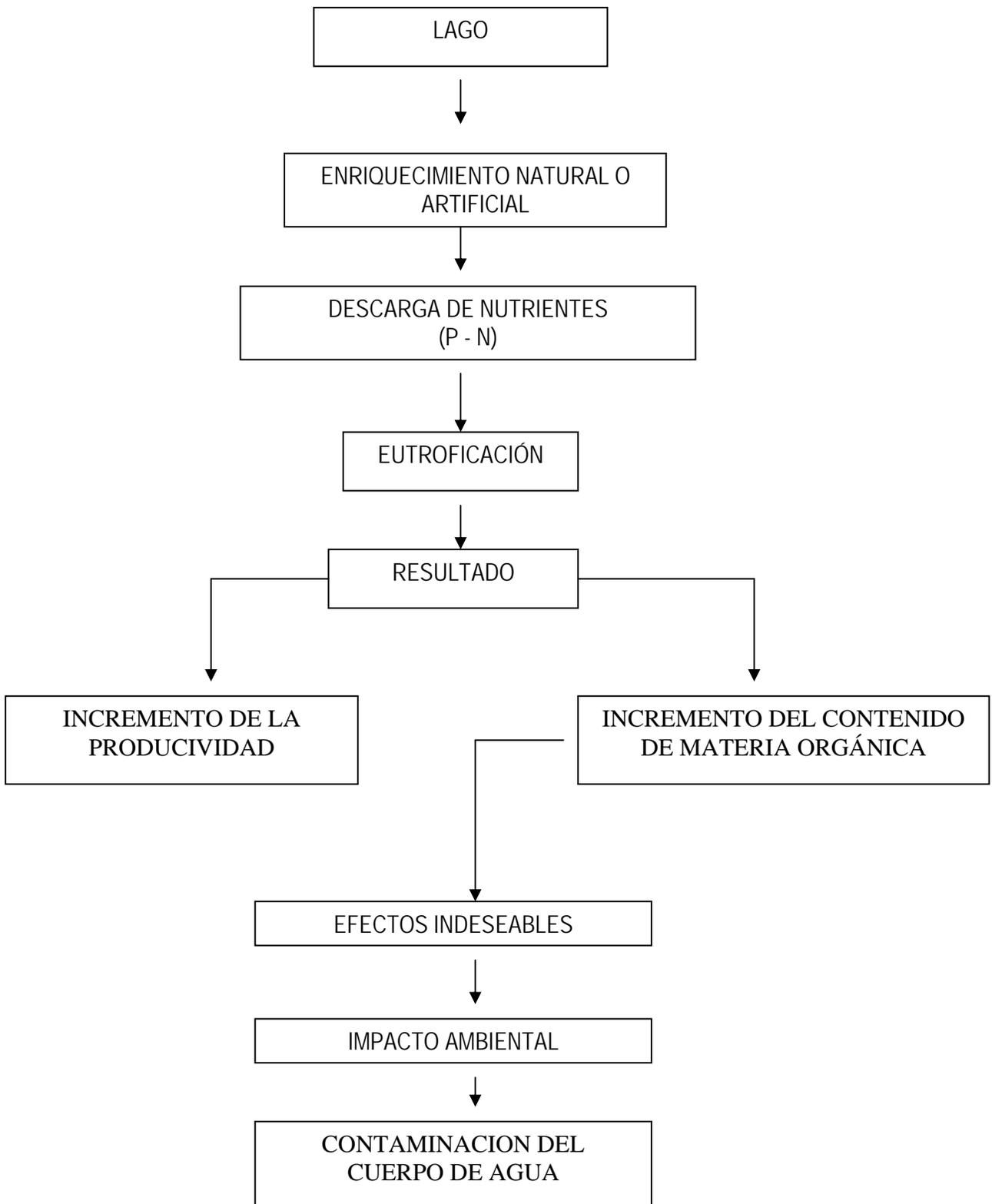
CAMBIOS QUE PRODUCE LA EUTROFICACIÓN

1. Cambios en la vida vegetal y animal:

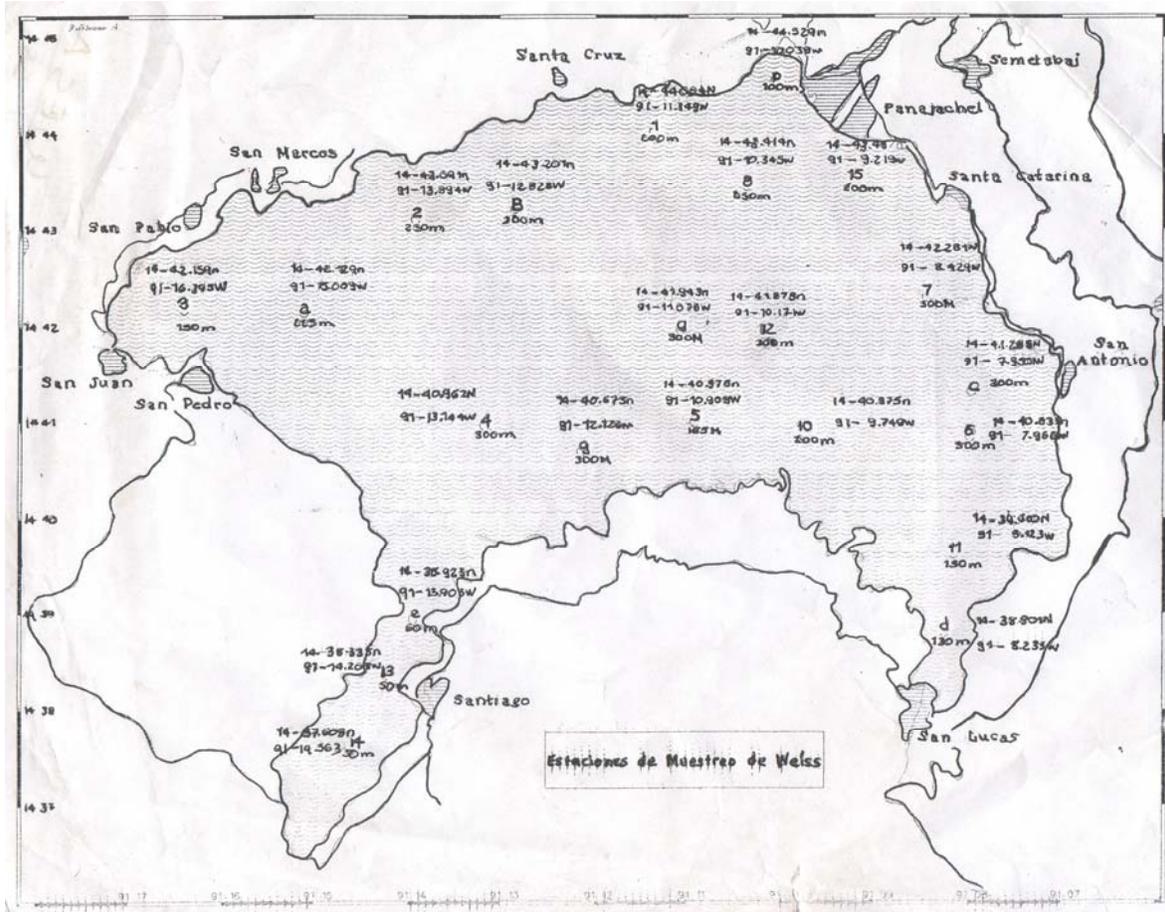


2. En el desequilibrio en el ciclo biológico (cadenas alimenticias).
3. En los beneficios de consumo humano: recreación.
4. Estéticos: deterioro del paisaje.
5. Amenaza la destrucción de recursos hidricos (degradación o muerte a los cuerpos de agua) (16).

ESQUEMA DEL IMPACTO AMBIENTAL DEL FENOMENO DE EUTROFICACIÓN



13.2 ANEXO No. 2



13.3 ANEXO No. 3

Cuadro No. 15

Resultados generales de pH obtenidos de muestras del Lago de Atitlán en el 2002.

Referencia	Superficial Invierno	Superficial Verano	5 m. Invierno	5 m. Verano	10 m. Invierno	10 m. Verano
Weis 1	9.00	8.62	8.79	8.57	8.96	8.58
Weis 2	9.15	8.63	8.97	8.62	8.95	8.55
Weis 5	9.09	8.56	9.02	8.56	8.94	8.54
Weis 13	9.05	8.55	8.92	8.48	8.82	8.42
Weis 14	9.08	8.55	8.99	8.48	8.92	8.41
Weis 15	9.07	8.71	8.97	8.63	8.85	8.59
Weis A	9.15	8.71	8.93	8.67	8.87	8.51
Weis B	9.03	8.71	8.85	8.58	8.99	8.48
Weis C	9.09	8.62	8.98	8.61	8.97	8.56
Weis E	9.05	8.49	8.89	8.41	8.93	8.49
Weis G	9.17	8.6	8.99	8.5	8.99	8.53
Weis P	9.08	8.64	8.89	8.62	8.93	8.61
100 m. desembocadura. Río Panajachel	9.28	8.59	9.09	8.61	8.99	8.29
San Buena Bentura	9.22	8.48				
Bahia de San Marcos	9.14	8.74				
Bahia de San Juan	9.14	8.64				
Bahia de San Pedro	9.06	8.68				
Bahía de Santiago	8.94	8.47				
Máximo	9.28	9.09	8.99	8.74	8.67	8.61
Promedio	9.10	8.94	8.93	8.61	8.56	8.50
Mínimo	8.94	8.79	8.82	8.47	8.41	8.29

Cuadro No. 16

Resultados de los afluentes del Lago de Atitlán evaluados en el 2002.

Referencia	Invierno	Verano
Río panajachel	8.41	7.85
Río Kisqab	8.69	8.9
Drenaje San Tzanjuyu	8.36	8.57

13.4 ANEXO No. 4

Cuadro No. 17

Resultados generales de oxígeno disuelto obtenidos en muestras de lago durante el 2002.

Referencia	OD (mg/L) Superficial Invierno	OD (mg/L) Superficial Verano	OD (mg/L) 5 m. Invierno	OD (mg/L) 5 m. Verano	OD (mg/L) 10 m. Invierno	OD (mg/L) 10 m. Verano
Weis 1	8.15	8.43	8.3	7.77	7.32	7.66
Weis 2	8.15	8.75	8.26	7.58	7.82	7.36
Weis 5	8.27	8.35	8.37	6.35	7.48	6
Weis 13	8.44	8.67	8.11	7.98	7.41	7.73
Weis 14	8.03	8.83	7.63	8.42	7.01	7.96
Weis 15	7.9	8.08	7.37	7.78	6.7	7.54
Weis A	7.8	8.64	7.3	8.44	6.9	7.96
Weis B	8.57	8.75	8.05	7.58	7.8	7.08
Weis C	8.19	8.67	7.89	8.01	7.6	8.5
Weis E	8.37	8.72	8.04	8.09	7.23	7.89
Weis G	8.48	8.61	8.58	8.1	8.49	7.89
Weis P	8.28	8.17	7.89	7.68	7.5	7.46
100 m. desembocadura. Río Panajachel	8.12	8.52	7.23	7.43	6.53	7.27
San Buena Bentura	7.79	8.11				
Bahía de San Marcos	8.1	8.7				
Bahía de San Juan	8.1	8.73				
Bahía de San Pedro	8.6	8.32				
Bahía de Santiago	8.27	8.73				
Datos Promedio	8.20	7.92	7.37	8.54	7.79	7.56
Máximo	8.60	8.58	8.49	8.83	8.44	8.50
Mínimo	7.79	7.23	6.53	8.08	6.35	6.00

13.5 ANEXO No. 5

Cuadro No. 18

Resultados generales de temperatura obtenidos de muestras del Lago de Atitlán en el 2002., reportados en °C.

Referencia	Superficiales		5 metros		10 metros	
	INVIERNO	VERANO	INVIERNO	VERANO	INVIERNO	VERANO
Weis 1	23.0	21.1	22.8	21.1	22.7	21.1
Weis 2	23.1	21.0	22.8	20.9	22.7	20.9
Weis 5	23.6	21.9	22.9	21.1	22.8	21.0
Weis 13	22.9	21.1	22.8	20.9	22.8	20.8
Weis 14	22.9	21.1	22.7	20.9	22.6	20.8
Weis 15	23.1	22.1	23	21.8	22.7	21.4
Weis A	23.2	21.1	22.9	20.8	22.8	20.8
Weis B	23.1	21.0	22.8	21.0	22.8	21.0
Weis C	23.7	22.1	23	21.5	22.9	21.0
Weis E	22.9	21.1	22.9	21.0	22.6	20.8
Weis G	23.9	21.8	22.9	21.1	22.8	21.0
Weis P	23.2	21.0	22.8	21.1	22.5	21.1
100 m. desembocadura. Río Panajachel	23.1	21.0	23.1	21.1	23	20.9
San Buena Bentura	23	21.0	—	—	—	—
Bahia de San Marcos	23.1	21.0	—	—	—	—
Bahia de San Juan	23.1	21.0	—	—	—	—
Bahia de San Pedro	23.4	21.0	—	—	—	—
Bahía de Santiago	23.1	21.6	—	—	—	—
Promedio	23.19	22.88	22.75	21.28	21.10	20.97
Máximo	23.90	23.10	23.00	22.10	21.80	21.40
Mínimo	22.90	22.70	22.50	21.00	20.80	20.80

13.6 ANEXO No. 6

Cuadro No. 19

Resultados generales de conductividad obtenidos de muestras del Lago de Atitlán en el 2002., reportados en mS/m.

Referencia	Superficial Invierno	Superficial Verano	5 m. Invierno	5 m. Verano	10 m. Invierno	10 m. Verano
Weis 1	48.4	48.4	48.6	48.5	48.6	48.5
Weis 2	48.8	48.4	48.8	48.8	48.8	48.4
Weis 5	49.2	48.1	49.1	48.4	49.1	48.4
Weis 13	49.2	48.8	49.2	48.8	49.3	48.8
Weis 14	49.3	48.9	49.3	48.9	49.2	48.9
Weis 15	48.8	48.5	48.6	48.5	47.9	48.5
Weis A	48.8	48.4	48.9	48.5	48.9	48.4
Weis B	48.6	48.4	48.8	48.4	48.8	48.4
Weis C	49.1	48.5	49.0	48.5	49	48.5
Weis E	49.1	48.7	49.2	48.9	40	48.6
Weis G	49.3	48.1	49.2	48.4	49.2	48.4
Weis P	48.6	48.4	48.3	48.4	48.6	48.5
100 m. desembocadura. Río Panajachel	48.1	48	48.1	48.5	48.2	48.5
San Buena Bentura	48.1	48.4	–	–	–	–
Bahia de San Marcos	48.8	48.2	–	–	–	–
Bahia de San Juan	48	48.5	–	–	–	–
Bahia de San Pedro	48.9	48.5	–	–	–	–
Bahía de Santiago	50	49	–	–	–	–
Datos promedio	48.84	48.85	48.12	48.46	48.58	48.53
Máximo	50.00	49.30	49.30	49.00	48.90	48.90
Mínimo	48.00	48.10	40.00	48.00	48.40	48.40

Cuadro No. 20

Resultados de conductividad los afluentes del Lago de Atitlán evaluados en el 2002.

Referencia	Invierno	Verano
Río Panajachel	15.3	19.8
Río Kisqab	12.2	17.8
Drenaje San Tzanjuyu	56.9	26.5

13.7 ANEXO NO. 7

Cuadro No. 21

Resultados generales de transparencias obtenidos de muestras del Lago de Atitlán en el 2002., reportados en metros.

Referencia	Transparencia (m)	Transparencia (m)
Weis 1	8.5	10
Weis 2	10.5	10.1
Weis 5	5.1	---
Weis 13	7.5	---
Weis 14	5.4	---
Weis 15	7	---
Weis A	8	9.5
Weis B	9.95	11
Weis C	5.3	9.1
Weis E	10.5	8.5
Weis G	6.1	---
Weis P	8.1	10.3
100 m. desembocadura. Río Panajachel	4.6	8.3
San Buena Bentura		
Bahía de San Marcos	6	10.15
Bahía de San Juan	---	6
Bahía de San Pedro	---	---
Bahía de Santiago	---	5

	Invierno Secchi en Metros.	Indice Clarson
Promedio	7.325	31
Máximo	10.5	26
Mínimo	4.6	38

	Verano Secchi en Metros.	Indice Clarson
Promedio	8.90	28
Máximo	11	25
Mínimo	5	37

13.8 ANEXO No. 8

Cuadro No. 22

Resultados generales de fósforo total obtenidos de muestras del Lago de Atitlán en el 2002., reportados en mg/L.

Referencia	Superficial Invierno	Superficial Verano	5 m. Invierno	5 m. Verano	10 m. Invierno	10 m. Verano
Weis 1	0.135	0.091	0.129	0.078	0.121	0.075
Weis 2	0.157	0.078	0.140	0.067	0.135	0.063
Weis 5	0.162	0.077	0.117	0.069	0.109	0.066
Weis 13	0.138	0.063	0.126	0.059	0.105	0.041
Weis 14	0.138	0.067	0.133	0.048	0.124	0.044
Weis 15	0.276	0.089	0.174	0.039	0.152	0.030
Weis A	0.135	0.067	0.121	0.034	0.114	0.030
Weis B	0.141	0.061	0.138	0.048	0.122	0.036
Weis C	0.157	0.070	0.128	0.050	0.117	0.037
Weis E	0.150	0.072	0.140	0.061	0.124	0.044
Weis G	0.145	0.063	0.136	0.052	0.135	0.039
Weis P	0.159	0.089	0.152	0.074	0.133	0.063
100 m. desembocadura. Río Panajachel	0.136	0.046	0.129	0.039	0.122	0.037
San Buena Bentura	0.131	0.072	---	---	---	---
Bahía de San Marcos	0.114	0.058	---	---	---	---
Bahía de San Juan	0.147	0.058	---	---	---	---
Bahía de San Pedro	0.138	0.080	---	---	---	---
Bahía de Santiago	0.160	0.083	---	---	---	---
Promedio	0.15	0.14	0.124	0.07	0.06	0.046
Máximo	0.28	0.17	0.152	0.09	0.08	0.075
Mínimo	0.11	0.12	0.105	0.05	0.03	0.030

Cuadro No. 23

Índice de Clarson:

Referencia	Superficial Invierno	5 mt Invierno	10 mt Invierno	Superficial Verano	5 mt. Verano	10 mt Verano
Promedio	77	75	74	66	62	59
Máximo	85	79	77	69	67	66
Mínimo	72	73	71	59	55	53

Cuadro No.24

Resultados generales de fósforo total obtenidos de muestras del Lago de Atitlán en el 2002., reportados en mg/L.

Referencia	fósforo Total	
	Invierno	Verano
Río Panajachel	1.760	0.774
Río Kisqab	0.789	0.475
Drenaje San Tzanjuyu	3.264	1.084

Referencia	Invierno Orto-fosfato	Verano Orto-fosfato
Río Panajachel	1.486	0.612
Río Kisqab	0.461	0.373
Drenaje San Tzanjuyu	2.661	0.778

13.9 ANEXO No. 9

Lago Eutrófico: Lago con un aporte grande ó excesivo de nutrientes vegetales.

Lago Mesotrófico: Lago que tiene un aporte moderado de nutrientes vegetales.

Lago Oligotrófico: Lago con un aporte bajo de nutrientes vegetales (8).

Niveles de Nutrientes (8)

Categoría Trófica	Promedio total de fósforo (mg/m³)	Promedio anual de clorofila (mg/m³)	Clorofila máxima (mg/m³)	Promedio anual transparencia Disco Secchi (m)	Transparencia mínima Disco Secchi (m)	% de saturación de oxígeno
Ultra-oligotrófico	4.0	1.0	2.5	12.0	6.0	< 90
Oligotrófico	10.0	2.5	8.0	6.0	3.0	< 80
Mesotrófico	10-35	2.5-8	8-25	6-3	3-1.5	40-89
Eutrófico	35-100	8-25	25-75	3-1.5	1.5-0.7	40-0
Hyper-eutrófico	100.0	25.0	75.0	1.5	0.7	10-0