

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

EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA AIREACION ARTIFICIAL PARA MEJORAR
LA CALIDAD DEL AGUA EN EL LAGO DE AMATITLAN

INFORME DE TESIS

Presentado por

DUNIA BEATRIZ PEREZ GUDIEL

PARA OPTAR AL TITULO DE

QUÍMICA BIÓLOGA

Guatemala, Agosto del 2007

INDICE

1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCION	2
3. ANTECEDENTES	4
3.1 Descripción de la cuenca y de lago de Amatitlán	4
3.1.1 Características del lago de Amatitlán	4
3.1.2 Geomorfología y geología	5
3.1.3 Hidrología	5
3.1.4 Clima	6
3.1.5 Aguas subterráneas	6
3.2 Los lagos y sus propiedades	6
3.2.1 Formación de la termoclina	7
3.2.2 Lagos en países tropicales	7
3.2.3 Estratificación	7
3.2.4 Oxígeno	8
3.2.5 Nutrientes	8
3.2.6 Algas	9
3.2.7 Eutrofización	9
3.2.8 Sedimentación	9
3.3 Factores que influyen en el deterioro del lago	10
3.3.1 Producción industrial	10
3.3.2 Residuos sólidos	10
3.3.3 Residuos líquidos	11
3.3.4 Uso del suelo	12
3.3.5 Desestabilización de los ríos	12
3.3.6 Crecimiento urbano	13
3.4 Impacto de la contaminación del agua del lago de Amatitlán	13
3.4.1 En salud	14
3.4.2 En la economía	15
3.5 Características para evaluar la calidad del agua	15
3.5.1 Características físicas	19
3.5.2 Características químicas	21
3.6 Aireación artificial	25
3.6.1 Aireador de flujo vertical	27

3.6.2 Operación básica de la aireación de un cuerpo de agua	27
3.6.3 Oxigenación del agua del lago de Amatitlán	29
3.7 Componentes del Megaproyecto de rescate del lago de Amatitlán	29
3.7.1 Canalización del río Villalobos	30
3.7.2 Filtros verdes	30
3.7.3 Aireadores	31
3.7.4 Maquina cosechadora de ninfa	31
3.7.5 Colectorización	31
3.7.6 Megaplanta de tratamiento	31
3.7.7 Manejo de residuos sólidos	32
4. JUSTIFICACION	33
5. OBJETIVOS	34
6. HIPOTESIS	35
7. MATERIALES Y METODOS	36
7.1 Universo de trabajo	36
7.2 Muestra	36
7.3 Equipo y material	36
7.4 Metodología	38
7.5 Diseño Estadístico	43
8. RESULTADOS	44
9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	62
10. CONCLUSIONES	66
11. RECOMENDACIONES	67
12. REFERENCIAS	68
13. ANEXOS	71

1. RESUMEN

El lago de Amatitlán es importante desde el punto de vista agrícola, económico, social, deportivo, pesca y turismo para las comunidades ubicadas en la región y es uno de los recursos naturales más importantes del sistema hidrológico de Guatemala por lo que es necesario su rescate y conservación.

Se consideró importante llevar a cabo esta investigación ya que la calidad del agua del lago de Amatitlán se ha monitoreado a través del tiempo (inicialmente 1969), sin embargo, no se contaba con un análisis del comportamiento de los parámetros de calidad del agua, utilizando la aireación artificial, como herramienta de tratamiento del lago.

Para conocer el efecto de la aireación artificial sobre los parámetros fisicoquímicos en el agua del lago de Amatitlán se analizaron 104 muestras tomadas en el lago, de las cuales 53 corresponden al centro del lado Este y 51 al centro del lado Oeste del lago, en un período de treinta y cuatro meses, durante el cual se evaluó el proceso de aireación artificial implementado por AMSA, para mejorar la calidad del agua del lago.

Para llevar a cabo esta evaluación se realizaron mediciones de potencial de hidrógeno, oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno en forma de nitratos, fósforo en forma de fosfatos, conductividad y turbiedad al inicio y durante el proceso de aireación.

Los resultados de los parámetros medidos fueron comparados con datos anteriores a la aireación proporcionados por AMSA, demostrándose que existe diferencia significativa con la aplicación de este proceso como herramienta de tratamiento. Dichos resultados fueron también analizados y comparados con parámetros y valores de referencia de calidad de aguas naturales según la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y las normas sobre requisitos de calidad del agua de los cuerpos receptores de aguas negras y residuos industriales según sus usos; para establecer si el agua del lago de Amatitlán se encuentra dentro de los límites aceptables por estas normas.

Con los resultados obtenidos se demostró que el efecto de la aireación artificial en el lago de Amatitlán es eficaz y aumenta la concentración de oxígeno disuelto en el agua, contribuyendo a mejorar los parámetros de contaminación, disminuyendo el pH, demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO); el oxígeno disuelto en el agua es un elemento esencial para todos los organismos acuáticos que respiran y dependen del mismo para mantener los procesos metabólicos que producen energía para crecer y reproducirse (Basterrechea 1997).

2. INTRODUCCION

En el lago de Amatitlán los efectos de la contaminación acelerada de sus aguas son numerosos y visibles, con una acumulación de nutrientes que hace que el lago por sí mismo no pueda recuperarse, esto se ve reflejado con la proliferación abundante de algas, mal olor y la proliferación de plantas acuáticas flotantes (1).

El crecimiento acelerado de las áreas urbana e industrial de la ciudad de Guatemala y las cabeceras municipales de Mixco, Villa Nueva, San Miguel Petapa, Villa Canales, Amatitlán y parte de Santa Catarina Pinula, ha provocado la eutrofización del lago de Amatitlán, enriqueciendo este cuerpo de agua con contaminantes como fosfatos, nitratos y materia orgánica; dichas ciudades no cuentan con el tratamiento mínimo de las aguas servidas ni de los desechos sólidos domésticos. Por lo que las aguas residuales domésticas que constituyen un 86% de las aguas superficiales que ingresan al lago, y las aguas industriales, que constituyen un 14%, son vertidas inicialmente a los barrancos, ríos, riachuelos y al suelo sin ningún tratamiento, teniendo como consecuencia la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales, en niveles tan elevados que el lago de Amatitlán presenta un estado hipertrófico, así como una elevada producción de plantas acuáticas y microscópicas (1). Así mismo, las descargas de aguas negras y agroquímicas aceleran el proceso de crecimiento de las algas que al estar depositadas sobre la superficie del lago impiden la penetración de los rayos solares y la circulación del agua para su oxigenación (2).

El principal problema que sufre el lago al recibir diariamente descargas de aguas residuales se traduce en tres impactos considerables de diferente naturaleza: La contaminación química, la proliferación de agentes patógenos para el hombre y otras especies, la eutrofización de las aguas. Estos efectos de contaminación se ven reflejados sobre la salud de la población, la pérdida del patrimonio ecológico del lago; así como sobre la posibilidad de desarrollo de determinadas actividades económicas, deportivas, pesca y turismo, entre otras (1).

El presente trabajo de tesis evaluó el efecto y eficacia del proceso de aireación artificial como una estrategia para mejorar la calidad del agua en el lago de Amatitlán. Para lo cual se midieron los siguientes parámetros fisicoquímicos: potencial de hidrógeno (pH), oxígeno disuelto (OD), demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), nitrógeno en forma de nitratos, fósforo en forma de fosfatos, conductividad y turbiedad, a partir de la instalación de los aireadores artificiales para determinar en que medida esta técnica utilizada como herramienta de tratamiento, mejora los parámetros en la contaminación del agua del lago de Amatitlán.

El estudio abarcó dos sitios de muestreo ubicados en el lago de Amatitlán (centro del lado Este y centro del lado Oeste, los cuales fueron seleccionados a través de la evaluación de factores

hidrográficos y cartográficos). Se realizaron monitoreos a partir de la instalación de los aireadores y se utilizó como control datos de monitoreo antes de la instalación de los aireadores (a partir del año 2000, proporcionados por la división de Control, calidad ambiental y manejo de lagos de AMSA) para establecer si hay diferencia en los parámetros antes y durante el proceso de aireación artificial; y así poder determinar el efecto de dicha aireación en la calidad del agua del lago, ya que esta forma parte del “Megaproyecto de rescate del lago de Amatitlán” y se siguen colocando más aireadores en el mismo.

3. ANTECEDENTES

3.1 Descripción de la cuenca y del lago de Amatitlán

La cuenca posee una extensión de 381.31 Km², ubicada en la zona de la provincia fisiográfica de la Sierra Madre. Esta cuenca es una subcuenca del río María Linda, o sea, una parte de la cuenca del mencionado río y se ubica dentro de las coordenadas 14°42' a 14°22'75" latitudes norte y 90° 42' a 90°16'86" longitud Oeste del Meridiano Greenwich. Los límites de la cuenca son los siguientes: al Norte con la divisoria continental de aguas (Calzada Roosevelt) y Boulevard Liberación hasta los Arcos en la Ciudad de Guatemala) y la cuenca del río Motagua de la Vertiente del Océano Atlántico; al Oeste con la cuenca del río Achiguate; al Este con la cuenca del río los Esclavos; al Sur con el río Michatoya y parte media del río María Linda, que constituye una de las cuencas de la Vertiente del Pacífico. La parte alta de la cuenca del lago de Amatitlán es escarpada con mesetas plana; la parte media es de escarpada a ondulada y la parte baja es de ondulada a plana (5, 6).

La cuenca está formada por catorce municipios, algunos del departamento de Guatemala y otros de Sacatepéquez. De éstos, siete tienen influencia directa en el lago debido al impacto producido por la degradación de los recursos naturales, siendo: Villa Nueva, Villa Canales, Santa Catarina Pinula, San Miguel Petapa, Mixco, Amatitlán y Guatemala (parte sur de la Ciudad Capital zona 7, 11, 12, 13 y 21). La población de la cuenca es aproximadamente 2,000, 000 de habitantes; siendo Villa Nueva el municipio más poblado (5).

En la cuenca se ubican diversos accidentes geográficos tales como: lago, ríos, cerros, quebradas y montañas. También en ella se encuentra ubicada la mayor parte de la industria nacional y numerosas áreas de vivienda (6).

3.1.1 Características del lago de Amatitlán

El lago de Amatitlán es uno de los recursos naturales más importantes del sistema hidrológico de Guatemala. Es el Amatitlán es el cuarto cuerpo de agua más grande en Guatemala, está localizado al sur de la capital a una altura de 1,186 metros sobre el nivel del mar, posee un área de 15.2 Km²., profundidad máxima de 33 metros, profundidad media de 18 metros, área de recolección de 368 Km²., el nivel del agua es irregular, rango normal de fluctuación del nivel del agua entre 1.5 a 2.3 metros, volumen de 0.286 Km³.

Consiste en dos cuerpos de agua, conectados por un pequeño canal donde fue construido el relleno para que pasara el tren. Esto separó el lago en dos cuerpos de agua con diferentes características físicas, químicas y biológicas. La parte oeste, donde está la playa pública de Amatitlán, recibe toda la contaminación que viene de la región sur de la capital y de la cuenca del Río Villalobos. El agua de la misma porción del lago es drenada al Río Michatoya y se usa para generar energía eléctrica en la planta Jurún Marinalá (1). El lago es afectado directa y negativamente por el crecimiento acelerado de la capital y las poblaciones cercanas, por el crecimiento poblacional, el consumo de los bosques para uso energéticos, uso inadecuado de la tierra, desarrollo industrial en el área de la cuenca del lago, falta de conciencia y educación ambiental de los habitantes. No hay control administrativo ni legal de protección ambiental, ausencia de un programa efectivo de manejo y sustento del lago (1, 5).

El lago sufre cambios evolutivos que son un reflejo de los cambios que ocurren a su alrededor. Los restos de plantas, peces y algas del lago, los sedimentos y la tierra arrastrada por lluvias y ríos, junto con los contaminantes provenientes de la ciudad y los pueblos aledaños, provocan cambios graduales en los componentes físicos y químicos del lago que afectan el desarrollo y la sucesión del ecosistema. Las actividades humanas cambian los lagos dramáticamente en cuestión de unos pocos años (2, 3, 11).

3.1.2 Geomorfología y geología

La cuenca del lago de Amatitlán constituye una parte del altiplano de Guatemala, formando un terreno de relieve moderado, al norte de una cadena volcánica de la época cuaternaria, cuyas alturas llegan hasta los 4000 msnm que se extienden en dirección ONO-ESE (oriente norte – Este) paralela a la costa pacífica. Las elevaciones máximas de la cuenca son de 2300 msnm y va disminuyendo progresivamente hasta llegar al valle de Guatemala a 1500 msnm y en el lago que se localizan alturas de 1200 msnm (7). La morfología cuneiforme del terreno, se debe a que el mismo se encuentra bisectado por una serie de fallas generadas por los afluentes del río Michatoya por el norte y al río Villalobos por el sur. Este sistema de fallas tiene orientación Oeste – Este desde Chimaltenango, hasta El Progreso con rumbo noreste (8).

3.1.3 Hidrología

El lago recibe agua proveniente en su mayor parte de la lluvia y la que es recolectada por el Río Villalobos, que lleva agua de la parte sur de la ciudad y de todos los poblados que encuentra en su camino; los ríos tributarios del río Villalobos son: Platanitos, Pinula, las Minas, Tulujá, el Bosque, Molino, San Lucas, Parrameño; los principales afluentes son: el río Villalobos, donde convergen todas las subcuencas por el lado noreste, y los ríos Pumpumay y Chanquín, por el lado

noreste. El río Michatoya es el desagüe del lago y drena hacia el río Maria Linda, que desemboca en el Océano Pacífico (8).

Los niveles de agua varían dependiendo de la estación climática del año el caudal máximo que se ha obtenido en el río Villalobos es de 45 metros cúbicos por segundo y mínimo de 0.75 metros cúbicos por segundo. Las aguas del lago de Amatitlán son fuente de energía, ya que se utilizan como embalse de la hidroeléctrica Jurun Marinalá, que genera alrededor de 11% (60 MW) de la energía total del país (7,9, 21).

3.1.4 Clima

El aspecto de bioclima fue analizado partiendo del sistema de clasificación de Holdridge de 1979 (7, 9, 10). Los vientos predominantes son noreste sureste, las temperaturas promedio son de 21°C.; la baja de 16° C.; y la máxima de 30° C. La precipitación pluvial es variable, identificando en el lago precipitaciones hasta de 1100 mm por año, la que ha disminuido considerablemente en la última década. El clima esta marcado por dos estaciones: la seca que va de noviembre a abril y la lluviosa entre mayo a octubre (7).

3.1.5 Aguas subterráneas

El caudal subterráneo en la cuenca se ha determinado en dos secciones, la que ingresa al lago de Amatitlán por su margen norte, hacia donde llega toda el agua subterránea de la cuenca. La cantidad de agua que ingresa al lago determinada en el año 1972 fue de 57.43 millones de m³ por año, además del caudal subterráneo que recibe del río Villalobos que es de 10.08 millones de m³ por año (7). El caudal de agua que deja de recibir sólo por los pozos de la planta Ojo de Agua es de 14.43 millones de m³ por año. La cantidad de agua subterránea que drena del lago hacia el río Michatoya es de 1.92 millones de m³ por año. Además existen 395 pozos de agua perforados hasta esa fecha, con profundidades que varían entre 3 y 396.24 metros, de donde extraen anualmente aproximadamente 15 millones de m³ por año (7).

3.2 Los lagos y sus propiedades

En zonas templadas los lagos son elementos positivos de valoración de paisajes, y a su elemento estético se une su papel de acumulador de calor. En el curso del año, el lago templado unas veces está estratificado térmicamente y otras veces circula verticalmente. Esta alternación es un elemento básico de su biología y, desde un punto de vista ecológico muy general, se pueden interpretar en el sentido que la producción del sistema es potenciada por un importante cambio de energía externa. La temperatura es probablemente el parámetro ambiental que se mide con mayor

asiduidad y que posee una documentación abundante sobre la evolución de los perfiles térmicos verticales en buen número de lagos (4).

3.2.1 Formación de la termoclina

El término termoclina se refiere al lugar de máximo gradiente vertical de temperatura. La termoclina separa un volumen superior, o epilimnion, del volumen inferior o hipolimnion, aislando efectivamente el uno del otro o dificultando en medida diversa su interacción recíproca (4). Los volúmenes de agua cuya temperatura se aproxima más a 4°C tienden a hundirse. La densidad es prácticamente la misma en todo el espesor del agua, la estabilidad, nula y cada pequeño volumen de agua está en posición inestable, pudiéndose mover fácilmente hacia arriba y hacia abajo. La fuerza del viento se ejerce sobre el agua donde no hay hielo y forma una turbulencia que se propaga fácilmente hasta el fondo, sin encontrar mayor resistencia que la de la viscosidad molecular. Al avanzar la estación, las capas superiores se calientan por radiación y conducción, lo que reduce su densidad. De esta forma aparece una estabilidad positiva, pues dichas capas flotan sobre el agua profunda que permanece a temperatura más baja. Cuando las capas superiores se enfrían, principalmente por la noche el agua de mayor densidad se hunde a la profundidad (4).

3.2.2 Lagos en países tropicales

En los países tropicales la temperatura superficial de los lagos es constantemente muy elevada, por encima de los 20 °C. En los grandes lagos tropicales las diferencias verticales de temperatura son muy pequeñas y el lago circula verticalmente en un espesor limitado, cerca de la superficie, a veces cada noche. La estabilidad, más que a diferencias de temperatura, puede deberse a la presencia de material disuelto u orgánico en profundidad. La temperatura de las aguas profundas de los lagos tropicales es alrededor de 25 °C en los que circulan, aunque sea irregularmente, se puede creer que tiene una estratificación estable, particularmente cuando son profundos (4).

3.2.3 Estratificación: las capas de los lagos

El agua de los lagos tiende a formar capas o estratos dependiendo de la temperatura y la profundidad a que se encuentre. Generalmente el agua de la superficie se encuentra a una temperatura mayor que el agua del fondo. Se puede decir que hay tres capas, la superficial, una intermedia y la del fondo. Cuando el clima cambia y entra el invierno el agua que está en la superficie se enfría y se hunde, haciendo que el agua caliente que estaba en el fondo salga a la superficie. Al mezclarse el agua ocurre una inversión térmica (2, 3, 4).

3.2.4 Oxígeno

La presencia de oxígeno en el agua del lago determina donde se pueden encontrar los peces y el plancton. Cuando el oxígeno está presente en todas las profundidades los seres vivos se encuentran distribuidos en todo el lago. Durante el verano, cuando los estratos están más marcados se encuentra poco o nada de oxígeno en la capa del fondo, y los seres vivos deben subir para poder sobrevivir. Cuando ocurre la inversión térmica el recambio de agua hace que se vuelva a oxigenar el agua del fondo. Cuando los niveles de oxígeno son muy bajos los peces y otros organismos acuáticos, morirán (3).

Cada lago tiene su demanda bioquímica de oxígeno que, sin quererlo, puede causar que los peces se vuelvan vulnerables a enfermedades y se mueran. La demanda bioquímica de oxígeno cambia como consecuencia de:

- Contaminación
- Sobreabundancia de alga, que limita el paso de luz a través del agua.
- Desechos orgánicos de algas, plantas y peces muertos.
- Crecimiento de bacterias anaeróbicas que liberan gases tóxicos.

3.2.5 Nutrientes

Los compuestos nutritivos esenciales para el crecimiento de algas y otros microorganismos vivos, son el nitrógeno y el fósforo. El aporte artificial de éstos nutrientes en la cuenca es debido a la actividad agrícola, urbana e industrial. El aumento del nitrógeno total es debido a la incorporación de las descargas de proteínas animales y vegetales, el aumento de las descargas de fósforo es debido al rápido crecimiento demográfico (desechos, pérdida de los bosques y pavimentación); la industrialización (procesos alimenticios y preparación de ácido fosfórico) y la intensificación de la agricultura (33).

Las plantas y las algas requieren de fósforo y nitrógeno para su crecimiento. La concentración de estas sustancias en el agua y los sedimentos regulan la cantidad total de plantas y algas que pueden crecer. En la mayoría de los lagos el fósforo es escaso y cuando se encuentra en abundancia provoca un crecimiento acelerado de las algas. Este exceso de fósforo proviene de tanques de tratamiento de aguas negras, aguas residuales de cultivos, fertilizantes de cultivos y otras fuentes. Bajo ciertas condiciones, especialmente cuando hay poco oxígeno en el agua del fondo, se libera fósforo de los sedimentos al agua superior. Como resultado las algas abundan, reduciendo la claridad del agua y la penetración de la luz (3,4).

3.2.6 Algas

Las algas son organismos microscópicos parecidos a las bacterias, son autótrofas y contienen clorofila. Cuando son muy numerosas le dan un color, olor y sabor desagradable al agua. Las algas microscópicas se encuentran diluidas en toda el agua donde hay luz y se denominan en su conjunto plancton y no suelen ser visibles, a menos que estén en abundantes cantidades, en cuyo caso le dan al agua un color verdoso. Son una fuente de alimento y energía para los peces y otros organismos que habitan en el lago. Sin embargo, inhiben el crecimiento de otras plantas, vuelven turbia el agua, tapan la luz del sol y contribuyen a la falta de oxígeno y muerte de los peces, provocando problemas en el sabor y olor del agua y los peces (4, 21). Las algas verde-azules son la causa primaria del desagradable sabor y olor del agua. Esto se puede reducir disminuyendo los nutrientes que producen el sobre-crecimiento del alga. Para esto se utiliza el sulfato de aluminio y la aireación que produce un recambio en las capas del agua y lleva las algas verde-azules al fondo del lago, donde ya no reciben luz y mueren. El exceso de algas produce grandes masas de residuos desagradables de color verde que flotan en la superficie y producen mal olor. La frecuente aparición de brotes de algas indica que los niveles de nutrientes, especialmente de fósforo, están muy altos (22, 35).

3.2.7 Eutrofización

El agua del lago ha ido cambiando de ser pobre en nutrientes a ser muy rica en nutrientes, a este enriquecimiento de nutrientes se le llama eutrofización. Cuando algunos nutrientes como el fósforo y el nitrógeno se lavan al lago por la lluvia o erosión, fertilizan el agua y promueven el crecimiento de algas y plantas. Cuando las plantas y animales que se alimentan de estos nutrientes se mueren y descomponen, se van acumulando en el fondo como sedimentos (3, 4,14).

Un lago eutrófico tiende a ser turbio o verde con algas y tiene muy poco oxígeno en el fondo. El lago también obtiene nutrientes de otras fuentes donde intervienen actividades humanas, que aceleran el envejecimiento del lago antes de tiempo. A esta transición acelerada se le llama eutrofización cultural (11).

3.2.8 Sedimentación

El aire y el agua mueven la tierra de la cuenca hacia el lago. La tierra se va al fondo, sedimentándose, y se reduce la profundidad como parte del llenado natural del lago. Sin embargo, la sedimentación es acelerada grandemente por las actividades humanas que dejan la tierra expuesta sin vegetación por períodos prolongados. La tierra se torna vulnerable a la erosión cuando quedan pendientes deforestadas como resultado del desarrollo urbanístico y las

actividades agrícolas cerca del lago o de los ríos de la cuenca. La sedimentación está íntimamente asociada con la eutrofización (14).

3.3 Factores que influyen en el deterioro del lago

3.3.1 Producción industrial

La industria es una de las principales fuentes de contaminación de los ríos y del lago de Amatitlán. En esta cuenca se concentra una gran cantidad de empresas de diferentes ramas de actividad registrándose en el 2,000 más de 800 industrias (2,13). En Guatemala la industria inició, como en Europa, a nivel artesanal. En la actualidad, Guatemala cuenta con más de 3,193 industrias reportadas por el Instituto Nacional de Estadística (INE) en 1996, 900 se encuentran ubicadas en la cuenca del lago de Amatitlán distribuidas en varias ramas como: textiles, alimenticias (que ocupan el 29.8% de la mano de obra de los habitantes), metalúrgicas, galvanoplásticas, químicas, agroquímicas, curtiembres, jabones y cosméticos, yeso y cerámica entre otras. Estas se distribuyen principalmente en las zonas 11 y 12 de la ciudad capital y en el municipio de Villa Nueva (5).

El principal problema radica en la falta de tratamiento de sus residuos líquidos, sólidos y gaseosos. Por tal razón en Guatemala el sector industrial, hasta el momento, no funciona de acuerdo a las características del ecodesarrollo. Es importante considerar la modernización en el sector, mejorando su eficiencia, reduciendo o eliminando la producción de dichos residuos. Al hablar del tipo de contaminación que produce el sector industrial, se hace necesaria la identificación de parámetros de contaminación para compararlos entre ellos, siendo estos: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), sólidos sedimentables, metales, potencial de hidrógeno (2, 5).

3.3.2 Residuos sólidos

Debido a la concentración poblacional en la cuenca del lago, los residuos sólidos (basura) se constituyen en uno de los más graves problemas de deterioro ambiental dentro del área. Se estima que una persona produce 1.5 lb/día de basura que multiplicado por los 2 millones de habitantes del área de la cuenca, la producción de residuos es de 3 millones de libras diarias (2).

Los residuos sólidos son materiales con formas definidas como papel, botes, latas, cáscaras de frutas, muebles viejos, botellas, frascos, baterías de todo tipo, recipientes plásticos, entre otros. De acuerdo a su procedencia, los residuos sólidos pueden clasificarse en: agrícolas,

comerciales (hoteles, restaurantes, mercados, oficinas, imprentas, talleres, gasolineras, tiendas), industriales, institucionales (escuelas, colegios, hospitales, cárceles, universidades, gobierno), domésticos (viviendas, condominios, apartamentos), municipales (limpieza de calles y parques, demoliciones y construcciones). Dentro de cada una de las clasificaciones pueden establecerse categorías: Residuos tóxicos, peligrosos y no tóxicos. Los residuos tóxicos y peligrosos son aquellos que contienen sustancias que exigen un manejo especial (2).

Si consideramos que todo este tipo de basura llega al lago de Amatitlán a través del río Villalobos, por fuertes vientos y lluvia, podremos medir la magnitud del problema que ésta ocasiona. Se estima que en un año llegan al lago aproximadamente 75 mil toneladas de basura proveniente de los barrancos, zanjones, cunetas y sitios baldíos (5).

3.3.3 Residuos líquidos

El crecimiento acelerado de las áreas urbanas e industriales de la ciudad de Guatemala y las cabeceras municipales de Mixco, Villa Nueva, San Miguel Petapa, Villa Canales, Amatitlán y parte de Santa Catarina Pinula ha provocado la eutrofización del lago de Amatitlán, enriqueciendo éste cuerpo de agua con contaminantes como fosfatos, nitratos y materia orgánica; dichas poblaciones no cuentan con el tratamiento mínimo de aguas residuales ni de desechos sólidos domésticos. Por lo tanto, las aguas residuales domésticas, que constituyen un 86% de las aguas superficiales que ingresan al lago, y las aguas industriales, que constituyen un 14%, son vertidas a los barrancos, ríos y al suelo sin ningún tratamiento, teniendo como consecuencia la contaminación de las aguas subterráneas y superficiales, en niveles tan elevados que el lago de Amatitlán presenta un estado hipertrófico, así como una elevada producción de microfitas y macrofitas (5). Así también las descargas de aguas negras y agroquímicas aceleran el crecimiento de las algas que al estar depositadas sobre la superficie del lago impiden la penetración de los rayos solares y la circulación del agua para su oxigenación (2, 3).

El principal problema que sufre el lago al recibir diariamente descargas de aguas residuales se traduce en tres impactos considerables de diferente naturaleza:

- a) La acumulación de compuestos tóxicos a través de contaminación química.
- b) La proliferación de agentes patógenos para el hombre y otras especies.
- c) La eutrofización de sus aguas.

3.3.3.1 Aguas residuales domésticas

Debido a que una fuente grande de contaminación de la cuenca y del lago de Amatitlán la constituye el agua de uso doméstico no tratada, como la utilizada en el lavado de ropa, la higiene personal y uso de sanitarios, es necesario construir y/o rehabilitar plantas de tratamiento para evitar que ésta llegue en precarias condiciones al cuerpo hídrico (2).

3.3.4 Uso del suelo

Por ser el punto de mayor concentración poblacional y el lugar donde se genera la mayor actividad de intercambio, gestión y consumo, su crecimiento es cada vez más acelerado. Sin embargo, las limitantes físicas que tiene el valle son muy grandes debido a las características geomorfológicas de la región, por lo que éstas se han extendido en forma espontánea y desordenada bajo un control poco eficiente, principalmente hacia el sur y nororiente. Es por ello que el uso del suelo se modifica en forma constante, pasando de áreas de uso agrícola y forestal a áreas urbanas, ya que por la misma demanda de vivienda, la especulación del suelo en las áreas urbanas es mayor por ende la conveniencia de lotificar es más rentable. Sumado a ello, la conveniencia de obtener servicios con facilidad dio origen a un proceso de instalación industrial en la parte sur de la ciudad, generándose la mayor concentración de industria en jurisdicción de los municipios de Villa Nueva, San Miguel Petapa y parte de Amatitlán y Mixco (1,5). Por las características de la cuenca, se puede decir que el uso del suelo no se da en forma apropiada ya que en la cuenca predomina el área correspondiente al proceso de urbanización e industrialización con 228.78 K m² o sea el 60% del área de la cuenca. El área agrícola ocupa 83.88 Km² equivalente al 22%, el área destinada a pastos naturales es de 38.13 Km² que constituye el 10%. Al área de bosque le corresponden 15.25 Km² o sea el 4% y el lago de Amatitlán ocupa el 4%. Por lo que las áreas de recarga de acuíferos constituyen el 36%, y son las áreas agrícolas, de bosque y pastos naturales (1, 10).

Dado al crecimiento explosivo de la urbanización, a la instalación industrial sobre la cuenca, la actividad agrícola con uso de agroquímicos, los rastros, las descargas de aguas negras sin tratamiento y la deforestación, entre otros, se ha generado una carga de contaminación a los cuerpos de agua, tanto superficiales como subterráneos siendo el lago de Amatitlán su punto de concentración, sobrepasando su capacidad de amortiguamiento (5).

3.3.5 Desestabilización de los ríos

La deforestación en las cabeceras de la cuenca y en las riberas de los ríos, la explotación descontrolada de materiales para la construcción, el crecimiento urbano desordenado y no planificado han provocado un desequilibrio ecológico que ha incidido en el deterioro de los ríos de

la cuenca y por tanto del lago de Amatitlán. Los ríos San Lucas, El Molino, El Frutal, Platanitos, Pinula y las Minas se ven diariamente explotados por empresas que se dedican a la comercialización de arena y piedra; esta actividad ha venido a alterar la pendiente de los ríos provocando la formación de cárcavas en época de verano y alterando el cauce hasta en cuatro metros de profundidad (5). En época de lluvia los ríos acarrear grandes cantidades de sedimentos provenientes de las partes altas de sus cuencas y de las áreas explotadas. Estos sedimentos son depositados en las zonas bajas y planas de los ríos incrementando su altura en el lecho del río, y derramando el agua por los laterales (9).

3.3.6 Crecimiento urbano

La cuenca del lago de Amatitlán contiene por lo menos al 26.6% de la población del país, con una tasa de crecimiento anual del 3.6%, con aproximadamente tres millones de habitantes. Esta población se localiza en un 70% en áreas urbanizadas y el resto en áreas rurales. El ritmo de crecimiento de esta población es mayor que el del resto del país por las facilidades de servicios y trabajo que existe en el área. Este crecimiento ha sido totalmente desordenado y anárquico, existiendo algún tipo de regulación únicamente en la ciudad de Guatemala, mientras que en el resto de municipios que le conforman, solo algunos aplican los reglamentos de la capital. Los demás municipios, Villa Nueva, San Miguel Petapa, Villa Canales, Amatitlán, Santa Catarina Pinula y parte de San Lucas y Santa Lucía Milpas Altas, no cuentan ni con un esquema de ordenamiento del uso del suelo. Estos factores conllevan una serie de implicaciones ambientales negativas e irreversibles (7, 15).

Dentro de la cuenca viven más de un millón doscientas mil personas y esa población se duplicará para el año 2010. Esta población utiliza para propósitos habitacionales el 45% de la superficie de la cuenca y produce un metro cúbico de aguas residuales por segundo (12).

3.4 Impacto de la contaminación del agua del lago de Amatitlán

Las leyes sobre cuencas ahora en vigencia tienen como principal objetivo, preservar el agua y el balance hídrico a través del manejo integrado de las respectivas cuencas. Para 1998, el día Interamericano del Agua volvió a enfocar la problemática de la calidad, reiterando la importancia que tiene el agua potable microbiológicamente (12).

El agua contaminada constituye un grave problema para la salud pública y afecta a una gran parte de las poblaciones de Latinoamérica y la región caribeña. Debido a que los organismos patógenos pueden ingresar a un sistema por cualquier parte del circuito en la misma fuente, durante los procesos de producción o distribución y hasta nivel doméstico, en los depósitos o tanques de almacenamiento, se enfatizó la importancia de que la población conozca los múltiples

riesgos que todo ello implica y también el papel que cada persona deberá jugar para protegerse y preservar su comunidad del flagelo que representan las diferentes infecciones y enfermedades (12).

La Organización Panamericana de la Salud (OPS/OMS), en coordinación con la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS) y la Asociación Caribeña de Agua y Aguas Residuales (CW-WA), a través de el doctor George A. O. Alleyne, director de la Organización Panamericana de la Salud, enfatiza que el objetivo es ayudar a las instituciones, comunidades e individuos a reconocer la importancia de la desinfección y potabilización del agua de consumo humano, la práctica de buenos hábitos sanitarios e higiénicos y la participación comunitaria para la protección de los sistemas de agua (12).

Los impactos sobre la salud pública, el turismo internacional, la potabilización y la pesca son graves y representan un riesgo mayor para el país. La creciente contaminación de las aguas causa enormes daños ambientales, económicos y sociales, constituyéndose en un pesado lastre que frena el desarrollo económico y social de Guatemala. Los impactos al abastecimiento de agua potable y producción agrícola se acrecientan por la contaminación generalizada: los costos de potabilización aumentan y las fuentes de agua se corrompen, mientras que la producción de alimentos se ve severamente afectada por la contaminación de aguas usadas para riego, con impactos colaterales en la salud por el consumo de alimentos contaminados (13).

3.4.1 En salud

En Guatemala la población sufre los efectos de la contaminación de la cuenca y del lago de Amatitlán, esto es debido a que los drenajes están conectados con los afluentes y con el lago mismo, provocando de esta manera que las aguas pluviales se mezclen con las aguas servidas y arrastren por toda la cuenca desechos sólidos, agroquímicos, microorganismos patógenos, colorantes, entre otros (16).

Según el Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, las enfermedades relacionadas con el agua contaminada y la disposición inadecuada de las aguas servidas son las que encabezan, junto con las infecciones respiratorias agudas, las causas de morbilidad y mortalidad en el país, teniendo mayor susceptibilidad el grupo etario comprendido ente los 0-4 años. Entre las enfermedades se encuentran las diarreas infecciosas y parasitarias, el cólera, enfermedades por falta de higiene, por vectores de hábitats acuáticos (paludismo, dengue) y otros como fiebre tifoidea y hepatitis. Según la Comisión Económica para América Latina de las Naciones Unidas, en el período 1991 a 1996 en Guatemala se produjeron 76,663 casos de cólera, de los cuales 848 terminaron con la muerte de los enfermos. Incluso en el período más reciente entre 1996 y el año

2000, se registraron 11,410 casos de esa enfermedad, lo que indica que el peligro potencial sigue siendo importante (13, 17).

Investigaciones realizadas por la Dirección General de Energía nuclear (DGEN) en el año 1994 han demostrado que las descargas de aguas negras de las municipalidades del área norte y del área sur contienen un alto grado de contaminación bacteriana, incluyendo *Vibrio cholerae* y otros microorganismos patógenos (18).

3.4.2 En la economía

La mala calidad del agua en el lago de Amatitlán, afecta directamente la economía de la pesca por la contaminación, afectando a muchas de las familias que dependen de esa actividad y que consumen los productos capturados en las aguas del lago. Estudios realizados sobre parásitos en los peces señalan que las condiciones del lago favorecen la presencia de sanguijuela en las branquias de los peces y tripanoplasma y haemogragasrinas en la sangre, lo cual presenta un riesgo potencial para los consumidores de las especies del lago (19).

3.5 Características para evaluar la calidad del agua

El concepto de calidad de las aguas naturales está ligado a su uso. Numerosos países (EUA, Canadá, Chile, India, entre otros) han incorporado el concepto de “usos designados” para establecer los criterios de evaluación y protección de la calidad de las aguas naturales. En efecto, para evaluar la calidad de las aguas, estos países comparan sus resultados de monitoreo con estándares de calidad; los cuales combinan los usos designados (tales como natación y pesca), con criterios para proteger esos usos (tales como umbrales específicos para sustancias químicas, los cuales no pueden ser excedidos) y una política antidegradación con el propósito de que las aguas que cumplen los estándares no sean degradadas de su condición actual (2).

De acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency, EPA USA) los estándares de calidad de agua son reglas que especifican la calidad que un determinado Estado desea alcanzar o mantener en sus aguas superficiales (lagos, arroyos, ríos, humedales), para proteger la calidad de los recursos acuáticos existentes de su degradación, y reglamentar las descargas puntuales y no puntuales. El acta de agua limpia (Clean Water Act) requiere que los estados adopten estándares de calidad para proteger a los peces y otra vida acuática (meta pesquera) así como a los humanos que utilizan el agua para bebida y recreación (meta natatoria). Los estándares constan de tres componentes: Usos designados, criterios, Políticas anti-degradación (26).

Para evaluar la calidad del agua es necesario conocer los parámetros y sus valores para establecer el desequilibrio ecológico existente. Los parámetros bacteriológicos, físicos y químicos son utilizados para monitorear cambios en el ambiente, conocer su comportamiento y el grado de disturbios a que está expuesto el lago. Debido a que Guatemala no cuenta con un reglamento de estándares de calidad del agua de cuerpos naturales, los resultados de monitoreo de este estudio se compararán con los requisitos de calidad del agua de los cuerpos receptores de aguas negras y de residuos industriales, según sus usos, que se indican en la tabla No. 1 y tabla No. 2.

TABLA No. 1

Normas sobre requisitos de calidad del agua de los cuerpos receptores de aguas negras y residuos industriales.

USOS/ CARACTERISTICAS	Abast. De Agua potable (sujetos a Tratamiento)	Recreo, baño y natación		Navegación deportiva y pesca	Vida Acuática			Multi- cultura y simi- lares	Riego			Abastecimiento industrial				
		Agua dulce	Agua salada		Peces		Aves		Verduras y simi- lares	Cítricos	otros cultivos	Elaboración de		Refrigeración y otros usos		
					Agua Dulce	Agua salada						Alimentos		Agua dulce	Agua salada	
												Agua dulce	Agua salada			Agua dulce
1. Bacterias (B/100ml)																
Coliformes (*)	100	0	100	1,000	1,000	1,000	10,000	0	100	1,000	10,000	(D)	100	100	1,000	
Coliformes (+)	10,000	500	1,000	10,000	10,000	10,000	100,000	100	1,000	10,000	50,000	(D)	300	1,000	10,000	
2. Orgánicas (p.p.m)																
DBO (5 d. 20 C) (*)	1	5	5	10	10	10	10	5				0	1	5	5	
DBO (5 d. 20 C) (+)	2	10	10	30	30	30	50	20				2	2	10	20	
OD (min acept.)	6	6	5	5												
OD (min toler.)	2	2	2	5	5	5								3	3	
Oxigenación relativa (%)	70								50		50					
Aceite (*)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	
Aceite (+)	0	1	1	3	5	5	5	1	3	3	3	1	3	10	10	
3. Reacción																
pH (minimo)	5	5.5	6		5.5	6.5	6.5	6.6	5.5	5.5	5.5	5.5	6	5	4	
pH (maximo)	8.5	8.5	8.5		9	8.5	8.5	8	9	9	9	9	9	10	10	
4. Físicas (p.p.m)																
Turbiedad (*)	5	5	5	10	5	5	10	5				0	5			
Turbiedad (+)	2,000	30	30	50	50	20	100	50				10	10			
Color (*)	0	10	10	10	5	5	10	10				10	10			
Color (+)	30	30	30	50	10	20	100	50				30	50			
Sólidos suspendidos (+)		50	50		10	10	50	10				5	10	50	50	
Sólidos suspendidos (*)		100	100		70	50	250	100				20	100	150	150	
5. Químicos (p.p.m)																
Sólidos totales(*)	500				1,000				500	1,500	500	500		1,000		
Sólidos totales(+)	1,500				5,000				1,500		2,000	1,500		1,500		
Sólidos disueltos	1,000															
Cl' (*)	(D)				1,000				200	500	250	250				
Cl' (+)	(D)				2,500				750		750	1,000				
F' (*)									1							
F' (+)	1.5								5							
Metales tóxicos (*)		0.1	0.5		0.5	0.5		0	0.1			(D)	0			
Metales tóxicos (+)	(1) (D)	5	5		10	10		0.1	2.5				0.5			
Fenol (*)		5 (A)	50 (A)	1	0.1	0.5	5	1 (A)	5 (A)			1 (A)	5 (A)			
Fenol (+)	(1) (A)	50 (A)	1	10	1	5	25	10 (A)	20 (A)			10 (A)	50 (A)			
Boro (*)										0.5	1					
Boro (+)										1	5					
Na, % (*) (2)										35	35	35				
Na, % (+) (2)										80	75	80			90	
6. Temperatura (C.)	^ =3 (B)			20	20			21							30	
7. Olor (max.) (3)	P	P	P	M	M	M	M	P	F	F	F	P	P	F	F	

Committee on Water Quality Criteria of California Water Pollution Control Boards-Progress Report on Water Quality Criteria. J.A.W.W.A., Vol. 42, No. 12 (1950),
 Norma Chilena de Agua Potable, INDITECNOR 2.61 - 11; Normas del Estado de Nueva York. J.A.W.W.A., VOL. 42 1950;
 Normas de Checoslovaquia, Nueva Zelandia, Rusia, Belgica, Carolina del Norte, Yugoslavia -International of Health Legislation-, OMS, vol. 17 No.4 (1966)

- (1): Ver maximos admisibles de sustancias toxicas en el agua de cuerpos receptores. (A): partes por billon.
 (2): El Na % (sodio porcentual) es la expresion porcentual existente entre el Na y la suma de los iones Na, Ca, Mg, y K, expresados como miliequivalentes. (B): la temperatura del cuerpo de agua, solo puede ser aumentada en 3 C., por efecto de una descarga de residuos industriales líquidos. (3): Clave : D: desagradable; M: marcada; P: perceptible; F: ofensivo (D): debe cumplir con lo dispuesto en la Norma de agua potable vigente. (*): Máximo Aceptable; (+): Máximo tolerable

TABLA No. 2

PARAMETROS INDICADORES Y VALORES DE REFERENCIA
DE CALIDAD DE AGUAS NATURALES

Uso	Parámetro	Valor aceptable	Efecto
Bebidas	Turbiedad	Menor de 1 NTU	Mal sabor
	Coliformes fecales	Ausentes	Producción de enfermedades gastrointestinales.
	Nitritos	Menor de 10 mg/l	Producen meta-hemoglobina que afecta la capacidad de la sangre para transportar el oxígeno.
		Menor de 50 mg/l	Pueden reducirse a nitritos en intestino humano.
Contacto directo	Coliformes fecales		Se asocia con la producción de enfermedades gastrointestinales
	DBO ₅ a 20 °C	Menor de 3 mg/l	Indica contaminación de las aguas por desechos orgánicos
	Turbiedad	Menor de 50 NTU	Interferencia con la penetración de la luz solar que inhibe la actividad fotosintética y reduce la producción de oxígeno para peces y vida Acuática. Grandes cantidades de materia suspendida pueden obstruir las agallas de los peces. Los peces pueden tener dificultad para ver y encontrar alimento.
Vida acuática	Nitritos	Menor de 0.6 mg/l	Producen serias enfermedades en peces
	Nitratos	Menor de 200 mg/l	Estimula el crecimiento de algas y plantas acuáticas que pueden ocasionar una disminución del nivel de oxígeno. También puede afectar la salud de los peces.
	pH	5.0 a 9.0	Fuera del rango indicado puede afectar a los peces dependiendo de la especie.
	OD	Mayor de 5 mg/l	Mortandad en peces.
	Amoníaco	Menor de 1.2 mg/l	Es tóxico para los peces dependiendo de la temperatura y el pH.
	Riego	Conductividad eléctrica	Menor de 2,250.00 µmhos/cm

¹Environmental Protection Agency, USA. Water Quality Standards (WQS)

²Clean Water Act (Acta de Aguas Limpias)

3.5.1 Características físicas

Las características físicas son las que más impresionan al consumidor; sin embargo, tienen menor importancia desde el punto de vista sanitario. Ellas son: color, turbiedad olor, sabor y temperatura (2).

3.5.1.1 Color

El color es la impresión ocular producida por las materias en el agua. Precisa distinguir el color aparente del color verdadero. El primero resulta ligado a la turbiedad. El color verdadero depende de las sustancias minerales disueltas, especialmente sales de hierro y manganeso y materias coloidales de naturaleza orgánica. El agua debe ser incolora, a pesar de que en grandes masas toma una coloración azulada, a veces verdosa. En la coloración influyen, además de la presencia de sales minerales en disolución y materias coloidales, las algas microscópicas, tierras arcillosas, residuos industriales y putrefacción de materias orgánicas (2).

El color verdadero del agua se acostumbra medir conjuntamente con el pH, pues la intensidad del color depende del pH; normalmente el color aumenta con el aumento del pH. Se determina el color por comparación con colores patrones según la escala de platino-cobalto, que toma como unidad de color la producido por 1 mg de platino (en la forma de ion cloroplatinado) por litro de agua (2).

3.5.1.2 Turbiedad

La turbiedad es una expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan de una muestra de agua; en otras palabras, la turbiedad es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea reemitida a través de la suspensión (2).

La turbiedad en el agua puede ser causada por una gran variedad de materiales en suspensión, que varía en tamaño desde dispersiones coloidales, hasta partículas gruesas, entre otras, arcillas, limo materia orgánica e inorgánica finamente dividida, organismos planctónicos, microorganismos, etc. El método más utilizado para determinar la turbiedad es el método nefelométrico en el cual se mide la turbiedad mediante un nefelómetro y se expresa los resultados en unidades de turbiedad nefelométrica, UTN (28).

También existen otros métodos menos reusables que el nefelométrico como el método visual del turbidímetro de Jackson y el método instrumental de medida de comparación de la intensidad del rayo de luz transmitida como la intensidad del rayo de luz incidente (2).

Los valores de turbiedad sirven para determinar el grado de tratamiento requerido por una fuente de agua cruda, su filtrabilidad y consecuentemente, la tasa de filtración más adecuada, la efectividad de los procesos de coagulación, sedimentación y filtración, así como para determinar la potabilidad del agua. La turbiedad principalmente reduce la penetración de la luz. Esto reduce la tasa de producción y disminuye la comida para los peces (28).

3.5.1.3 Temperatura

La temperatura del agua en verano debe ser inferior a la temperatura ambiente, y en invierno debe ocurrir lo contrario. “Las mejores aguas –decía Hipócrates- son aquellas templadas en invierno y frías en verano.” La temperatura desempeña un papel en el ciclo hidrológico y en ciertos procesos de tratamiento. Por debajo de los 15 metros de profundidad de la superficie, la temperatura deja de ser influida por las oscilaciones estacionales y diurnas de la superficie, manteniéndose una temperatura media del lugar, y por consiguiente las aguas captadas a esa profundidad tienen la temperatura correspondiente a esa temperatura media (2).

Para tener buenos resultados, la temperatura debe tomarse en el sitio de muestreo. Normalmente, la determinación de la temperatura puede hacerse con un termómetro de mercurio de buena calidad. El termómetro debe sumergirse en el agua, preferiblemente con el agua en movimiento, y la lectura debe hacerse después de un período de tiempo suficiente que permita la estabilización del nivel del mercurio (28).

3.5.1.4 Olor

El olor es una impresión producida por el olfato por las materias volátiles contenidas en el agua. Los olores de las aguas naturales se clasifican en cuatro grupos:

- Olores producidos por materias orgánicas naturales descompuestas: Estos olores se dividen en olor vegetal u olor producido por la putrefacción de materia orgánica. La mayor parte del olor vegetal del agua superficial lo causa la vegetación coloidal. El olor a tierra es originado por partículas muy finas de materia orgánica y barro. Las aguas contaminadas pueden tener olor muy desagradable, dependiendo del estado y avance de la descomposición de la materia.
- Olores causados por organismos vivos: La producción de este olor se debe en gran parte a las algas y otros microorganismos, y afecta a grandes masas de agua. En muchos casos se debe al aceite y sustancias que ellas producen.
- Olores causados por gases o combinación de ellos: La presencia de gases, tales como amoníaco, que se forma en la descomposición de la proteína; el hidrógeno sulfuroso que

resulta de la descomposición de los compuestos orgánicos con azufre y otros gases, añaden al agua sabor y olor desagradables.

- Olores causados por residuos industriales: Ciertas sales y residuos industriales pueden dar al agua olor y sabor desagradable, en especial los fenoles o compuestos fenólicos, que le dan olor y sabor a yodoformo (2).

3.5.2 Características químicas

El análisis químico desde el punto de vista de calidad del agua se hace por dos razones:

- a) Para determinar si la concentración de los constituyentes químicos está conforme a las normas.
- b) Para determinar la presencia de varios productos del nitrógeno y relacionarlo con la contaminación de materia orgánica. Incluye la determinación del amoníaco, nitritos (indica oxidación bacteriana de la materia orgánica) y nitratos (la materia orgánica ha sido mineralizada).

3.5.2.1 Potencial de hidrógeno (pH)

El potencial de hidrógeno es una medida de la actividad del ion hidrógeno. En las aguas naturales es una medida del equilibrio ácido – base, dado por los diferentes compuestos disueltos, sales y gases. El principal sistema para regular el pH en los sistemas naturales es el compuesto por carbonatos, bicarbonatos y ácido carbónico (2, 26). El pH es influenciado por las condiciones climáticas, hidrológicas y por las actividades de organismos acuáticos. Es un parámetro importante de la calidad del agua porque el intervalo de concentración idóneo para la existencia de la mayoría de vida biológica es muy estrecho y crítico. Es un factor clave en el crecimiento de organismos, debido a que la mayoría no toleran niveles de pH por encima de 9.5 o por debajo de 4 (29).

La determinación del pH se basa en la capacidad de respuesta del electrodo de vidrio ante soluciones de diferente actividad de iones H^+ . La fuerza electromotriz producida por el electrodo de vidrio varía linealmente con el pH del medio (32).

3.5.2.2 Oxígeno disuelto (OD)

La cantidad de oxígeno disuelto es uno de los indicadores más importantes de contaminación. Este depende de la temperatura del agua y de la presión atmosférica; la concentración de oxígeno disuelto disminuye a medida que la temperatura del agua aumenta (24). Si el oxígeno disuelto no se recupera en un ecosistema, se favorecen los procesos anaerobios los cuales son responsables de la descomposición de la materia orgánica y la formación de malos

olores (25). Si los nutrientes disueltos entran en el agua a una tasa tal que el oxígeno disuelto se gaste más rápido de lo que se puede reponer, el agua se desoxigena. Al cesar los rápidos procesos de purificación, los contaminantes orgánicos se acumulan en el agua, produciéndose por procesos anaeróbicos sustancias mal olientes (30,31).

3.5.2.3 Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno es un parámetro analítico de contaminación que mide el material orgánico contenido en una muestra líquida mediante oxidación química. La determinación de DQO es una medida de la cantidad de oxígeno consumido por la porción de materia orgánica existente en la muestra y oxidable por un agente químico oxidante fuerte (24, 31). La DQO es usada a menudo como una medida de contaminación en aguas residuales y aguas naturales. Otros valores analíticos relacionados son DBO, carbón orgánico total (TOC) y la demanda de oxígeno total (24).

3.5.2.4 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad de oxígeno necesaria para la degradación bioquímica de los componentes orgánicos por la acción de microorganismos, en condiciones aeróbicas. La determinación de la DBO es una prueba empírica en la que se utilizan procedimientos estandarizados de laboratorio para determinar los requerimientos relativos de oxígeno de aguas residuales y contaminadas. La prueba tiene su aplicación más extendida en la determinación de las cargas residuales en las instalaciones de tratamiento y en la evaluación de la eficacia de extracción de la DBO de tales sistemas de tratamiento (28).

La prueba mide el oxígeno utilizado, durante un período de incubación especificado, para la degradación bioquímica de materia orgánica y el oxígeno utilizado para oxidar materia orgánica así como los sulfuros y el ion ferroso (24).

La DBO representa la cantidad de oxígeno disuelto que se consume en un agua residual durante 5 días a 20°C por efecto de la oxidación biológica de la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual. La oxidación se efectúa por los propios microorganismos presentes en el agua. Es decir, reproduce el consumo de oxígeno que se ocasionará con ese vertido en el medio natural. Las aguas residuales urbanas presentan valores de DBO que oscilan entre 100 y 300 mg/l (32).

3.5.2.5 Fosfato

El fósforo es un elemento esencial en el crecimiento de plantas y animales; actualmente es considerado como uno de los nutrientes que controla el crecimiento de algas. Las algas requieren

para su crecimiento de fósforo y consecuentemente, un exceso de fósforo produce un desarrollo exorbitante de algas, el cual es causa de condiciones inadecuadas para ciertos usos benéficos del agua. El fósforo existe en el agua de varias formas; dichas formas se han clasificado de distintas maneras, de acuerdo con los métodos de su determinación. Las formas de importancia del fósforo en aguas con las siguientes: ortofosfatos, polifosfatos, pirofosfatos, tripolifosfatos y metafosfatos (28).

La diversidad de formas de fosfatos se introduce en los ríos por una gran variedad de fuentes. Las causas más frecuentes las constituyen las descargas fecales, los detergentes con aditivos de fosfatos y los fertilizantes agrícolas. Cuando se producen descargas de fósforo que superan la capacidad amortiguadora, la cantidad de fosfato disuelta disponible constituye generalmente el nutriente que inicia el proceso de eutrofización. La Organización Mundial de la Salud ha establecido un límite máximo permisible en agua potable de 1300 mg/l (34). El fósforo como fosfato es un nutriente de los microorganismos en el tratamiento biológico de aguas residuales (32).

3.5.2.6 Fósforo total

El fósforo total es un indicativo de la reserva de combustible eutrófico. Su medición conjuntamente con los fosfatos permite predecir un aumento de la eutrofización o el inicio de un proceso de depuración. Para que un cuerpo de agua sea clasificado como eutrófico debe tener una concentración de fósforo total dentro del siguiente rango: 20-100mg/l (34).

El lago de Amatitlán posee una concentración de 0.64 mg/l. de fósforo total, de acuerdo a un estudio realizado en el año 1996 sobre las características de la cuenca del lago de Amatitlán (33).

Se conocen tres métodos para determinación de ortofostato, la elección depende considerablemente de la concentración de ortofosfato. El método del ácido vanadomolibdofosfórico es más útil para análisis de rutina en el rango de 1 a 20 mg/l. El del cloro estannoso o el del ácido ascórbico son más adecuados para el rango de 0.01 a 6 mg/l.

El molibdato amónico y el tartrato antimonílico potásico reaccionan en medio ácido con ortofosfato para formar ácido heteropoliácido-fosfomolibdico que se reduce a azul de molibdeno, de color intenso por el ácido ascórbico. Los arseniatos reaccionan con el reactivo de molibdato y producen un color azul similar al formado por el fosfato. Concentraciones de arseniato tan bajas como 0.1 mg As/l. interfieren en la determinación de fosfato (24).

3.5.2.7 Nitrato

El nitrato se presenta generalmente como trazas en el agua de superficie, pero puede alcanzar niveles elevados en las subterráneas. En cantidades excesivas contribuye a una enfermedad infantil denominada metahemoglobinemia. Para evitarlo, se ha establecido un límite de 10 miligramos de nitrato como N/l para el agua de bebida. El nitrato se encuentra sólo en pequeñas cantidades en las aguas residuales domésticas recientes, pero en las plantas de tratamiento biológico nitrificante, el nitrato puede encontrarse en concentraciones de hasta 30 mg de nitrato como N/l. Es un nutriente esencial para muchos autótrofos fotosintéticos y en algunos casos ha sido identificado como el determinante del crecimiento (32, 35).

3.5.2.8 Nitrógeno total

La química del nitrógeno es compleja debido a los varios estados de valencia que pueden asumir este elemento y al hecho de que los cambios en la valencia pueden ser afectados por organismos vivos. Las formas de mayor interés son: nitrógeno amoniacal, nitrógeno de nitritos, nitrógeno de nitratos y nitrógeno orgánico. En el tratamiento biológico de aguas residuales, los datos de nitrógeno amoniacal y orgánico son importantes para determinar si el residuo contiene suficiente nitrógeno para nutrir los organismos. Además los datos de nitrógeno son usados para controlar el proceso de aireación en plantas de lodos activos (32, 35).

En programas de control de contaminación de ríos, es necesario conocer los valores de las formas de nitrógeno en forma de nitratos. El nitrógeno en forma de nitratos, por una parte, es uno de los elementos esenciales para el crecimiento de algas y por otra parte, en forma de nitrógeno orgánico, causa una demanda de oxígeno al ser oxidado por las bacterias nitrificantes, reduciendo los niveles de oxígeno disuelto. En aguas residuales el contenido de nitrógeno total es de 20-70 mg/l mientras que en ríos y en aguas sin contaminación fuerte es de 0.1- 3 mg/l (2, 28).

Un estudio realizado en el año 1996 sobre las características del lago de Amatitlán, reporta concentraciones de nitrógeno en forma de nitratos de 0.24 mg/l. y 40 mg/l de nitrógeno total (33).

3.5.2.9 Conductividad

La conductividad del agua es una expresión de su habilidad para transportar una corriente eléctrica. La conductividad del agua depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación. Por lo que cualquier cambio en la cantidad de sustancias disueltas, en la movilidad de los iones disueltos y en su valencia, implica un cambio en la conductividad (2, 28).

La medición se basa en el principio del puente de Wheatstone, utilizándose un aparato diseñado a tal efecto, el conductímetro. Se debe tener en cuenta la temperatura de la muestra ya que la conductividad está estrechamente relacionada con la temperatura (32).

3.5.2.10 Sólidos totales

Es la expresión que se aplica a los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra y su consecutivo secado en estufa a temperatura definida. Los sólidos totales incluyen los sólidos totales suspendidos o porción de sólidos totales retenidos por un filtro y los sólidos disueltos totales o porción que atraviesa el filtro.

Los sólidos pueden afectar negativamente la calidad del agua o su suministro de varias maneras. Las aguas con abundantes sólidos disueltos suelen ser de inferior potabilidad y pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor ocasional. Los análisis de sólidos son importantes en el control de procesos de tratamiento biológico y físico de aguas residuales y para evaluar el cumplimiento de las limitaciones que regulan su vertido (2, 28).

3.5.2.11 Sólidos totales secados 103 – 105°C

Se evapora una muestra correctamente homogenizada en una placa pesada y secada a peso constante en un horno a 103 – 105 ° C. El aumento de peso sobre el de la placa vacía representa los sólidos totales (24).

3.5.2.12 Sólidos suspendidos secados a 103 – 105 °C

Se filtra una muestra bien mezclada por un filtro estándar de fibra de vidrio y el residuo retenido en el mismo se seca a un peso constante a 103 – 105 ° C, el aumento de peso del filtro representa los sólidos totales en suspensión (24).

3.6 Aireación artificial

La aireación artificial consiste en aplicarle oxígeno al agua mediante el uso de equipos mecánicos como bombas ó compresores de aire, produciendo microburbujas, ó haciendo fluir verticalmente el agua. La aireación aumenta los niveles de oxígeno, reduciendo la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), mejora la calidad del agua, reduce significativamente el fósforo, nitrógeno, la clorofila A, e incrementa la claridad del agua (23, 35).

La aireación ayuda al ecosistema a reducir el stress producido por procesos que degradan el agua y mantienen altos los niveles del oxígeno disuelto. Las burbujas emergentes de la

aireación llevan el agua del fondo a la superficie, donde intercambia grandes cantidades de gas por más oxígeno (25). Algunos de los beneficios documentados incluyen:

- Incremento de la expectativa de vida de los peces y de su crecimiento.
- Aumento en la efectividad de la reducción de los nutrientes bacterianos.
- Disminución de olores, oxida el sulfuro de hidrógeno, metano y otros olores desagradables.
- Reduce los nutrientes en el agua: N, P, C
- Reduce la concentración de algas verde azules (*Microcystis*)
- Aumenta la vida aeróbica
- Precipitan los compuestos pesados
- Aumenta la transparencia del agua
- Ayuda a prevenir la intoxicación de peces por bacterias patógenas y algas verde-azules.
- Estabiliza la química del agua al descomponer niveles peligrosos de amonio- nitrógeno, nitrito y nitratos (36).

Algunos estudios indican que la aireación produce una mejora sustancial en la calidad del agua al reducir los niveles de fósforo y nitrógeno, incrementa los niveles de oxígeno disuelto y estabiliza el pH. El grosor promedio del sedimento orgánico se reduce gracias a la biodegradación aeróbica, compactación física, (14, 23) etc.

3.6.1 Aireador de flujo vertical

El aireador de flujo vertical, es una maquina de circulación flotante para estanques o lagos. Este saca el agua de la profundidad del lago, la lleva a la superficie y la expande a manera de un flujo laminar por todo el cuerpo de agua. La velocidad del flujo hacia arriba y hacia los lados es de 2000 galones por minuto incluyendo ambas direcciones e induciendo el flujo vertical. Esta elevada velocidad de flujo acelera la ocurrencia de los procesos biológicos dentro del cuerpo de agua (38).

El aireador de flujo vertical reduce o elimina el florecimiento de algas, el mal olor y la estratificación en un cuerpo de agua. Mejora la absorción de oxígeno, al exponer una nueva capa de agua a la atmósfera constantemente, disminuyendo los nutrientes y aumentando la actividad biológica en general.

La figura No. 1 muestra un ejemplar de los aireadores de flujo vertical colocados en el lago de Amatitlán.

Aireador de flujo vertical en el lago de Amatitlán



Fig. No. 1 (Aireador Solar Bee en el Lago de Amatitlán durante el año 2003; por el Comité del Lago de Amatitlán) (38).

3.6.2 Operación básica de la aireación en un cuerpo de agua

La aireación incrementa el flujo del proceso de mezclado, acelerando el proceso normal de purificación dentro del cuerpo de agua (lago). El proceso de inversión se lleva a cabo gradualmente de un lado a otro, produciéndose una mezcla completa y re-aireándose en la superficie (38). La figura No. 2 muestra como se lleva a cabo el proceso de inversión por los aireadores.

Operación básica

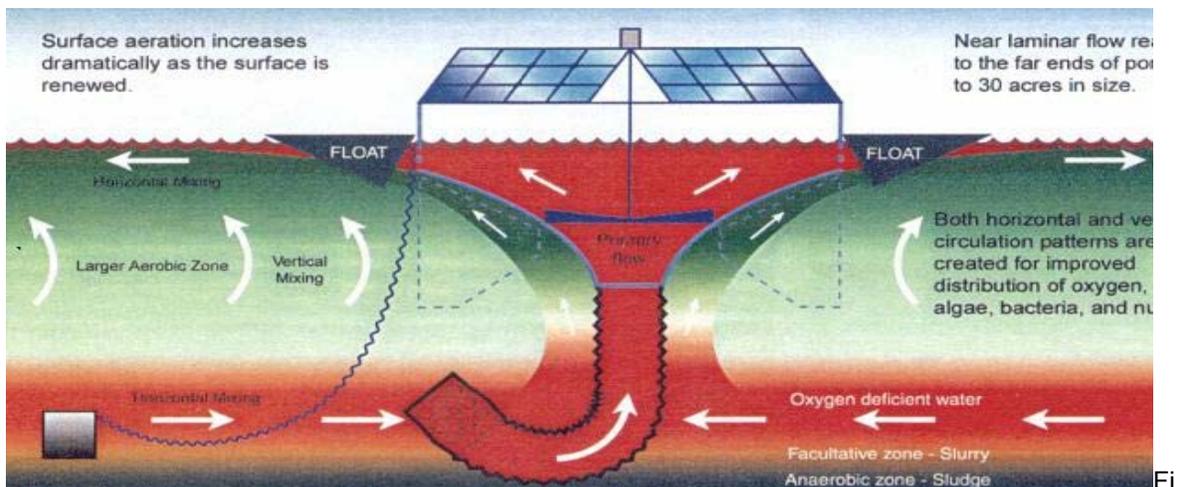


Fig. No. 2 (Basic Operation, Solar Bee) PUMP SYSTEM, INC., 2001 (38).

El funcionamiento del proceso de aireación consta de varios pasos que se describen a continuación:

1. Inversión vertical: por medio de un tubo de diez metros de largo que posee cada aireador se crea un patrón de circulación vertical, el cual extrae el agua del fondo deficiente en oxígeno y la lleva hacia la superficie para que se incremente la distribución de este elemento.
2. Renueva la superficie y mezcla el oxígeno: el lago entero es puesto en circulación hacia la superficie para exponerlo a la atmósfera donde se produce absorción de oxígeno. El aireador produce un flujo laminar en un área aproximada de 12 hectáreas.
3. Mezcla vertical: el oxígeno disuelto (OD) y el pH son incrementados en toda la zona de influencia del aireador.
4. Circulación vertical y horizontal: ambos patrones de circulación son creados para mejorar la distribución de oxígeno.
5. El agua llevada a la superficie por medio de los patrones de circulación, contiene concentraciones elevadas de nutrientes, controlando el crecimiento de las algas verde-azules, el agua se ve mas suelta y se incrementa la claridad.
6. Difusión: la difusión constante que se mantiene en el fondo del lago por medio de los patrones de circulación provee más oxígeno disuelto y mejorará el pH, haciendo que el fósforo se precipite junto al calcio y al hierro. Las figuras No. 3 y No. 4 esquematizan el proceso (38).

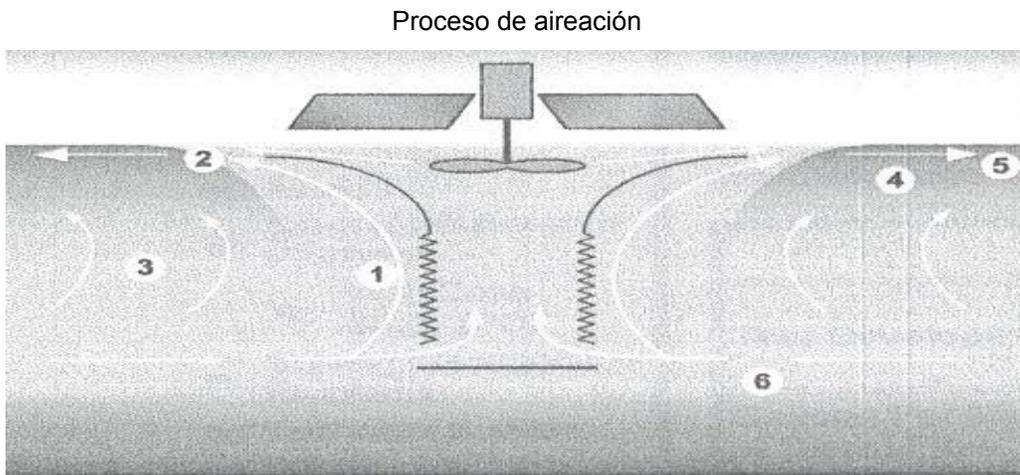


Fig. No. 3 Esquema del proceso de aireación (Solar Bee). PUMP SYSTEM, INC., 2002

Proceso de aireación

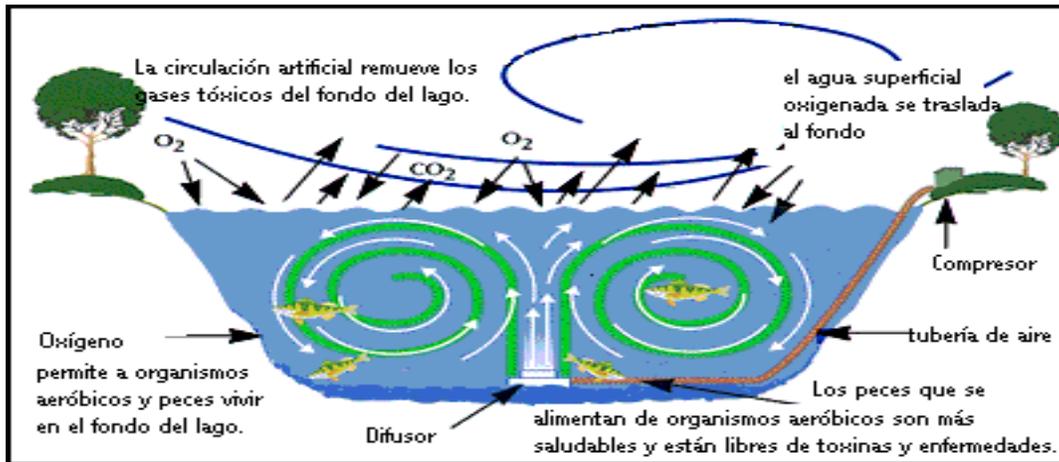


Fig. No. 4 (1999 Robert L. Laing; Clean-Flo International, THE CLEAN-FLO process of restoration)

3.6.3 Oxigenación del agua del lago de Amatitlán

El comité del Lago de Amatitlán inició en septiembre del año 2,003 la instalación de un aireador, colocado en el centro del lado Este del lago. Para el año 2004 La Autoridad para el Manejo Sustentable de la cuenca y del lago de Amatitlán (AMSA) propone la instalación de 28 aireadores de flujo vertical distribuidos de acuerdo al plano adjunto (Anexo No. 1) para efectuar una aireación en todo el lago, como una medida de tratamiento para ayudar al rescate del lago de Amatitlán.

3.7 Componentes del megaproyecto de rescate del lago de Amatitlán

Debido al grado de contaminación que presenta el agua del lago de Amatitlán, la Presidencia de la República de Guatemala a instancias del comité del Lago de Amatitlán, propuso el "Megaproyecto de rescate del lago de Amatitlán". A través de este proyecto se pretende brindar una solución concreta para resolver a nivel macro la problemática de contaminación de la cuenca y del lago de Amatitlán. La integración de los componentes a desarrollar del megaproyecto son:

- Canalización del río Villalobos desde el complejo de puentes Villalobos hasta el puente el Cementerio en Villa Canales (18.3 Km.).
- Filtros Verdes paralelos al río Villalobos a la altura de los municipios de Villa Nueva, Villa Canales y San Miguel Petapa.
- Aireadores: se ha propuesto iniciar un proceso de aireación artificial ubicando la colocación de 28 aireadores eléctricos en todo el lago a través de la evaluación de factores hidrográficos y cartográficos, para mejorar la calidad del agua del lago de Amatitlán.

- Maquina cosechadora de ninfa.
- Colectorización que inicia en el lugar denominado EL Frutal entre San Miguel Petapa y Villa Nueva pasando por el Relleno del lago de Amatitlán litoral suroeste.
- Mega planta de tratamiento de aguas residuales, domésticas, agroindustriales, industriales y municipales en el municipio de Palín, Escuintla.
- Manejo de residuos sólidos (37).

3.7.1 Canalización de 18.3 Kms. del río Villalobos

Inicia en el Kms. 12.5 CA-09 Sur, municipio de Villa Nueva hasta el puente el Cementerio del municipio de Villa Canales, consiste en revestir taludes laterales, el lecho del río y las confluencias de los tributarios hasta en 100 metros. Se evitará el deterioro de los taludes por saturación y socavación minimizando el arrastre de sedimentos al lago; asimismo se evita el cambio en su geometría, continúe el proceso de profundización del cauce, se ponga en riesgo la infraestructura vial de servicios y vivienda, en los procesos de mantenimiento y limpieza se podrá aprovechar y comercializar la arena y otros materiales pétreos racionalmente (37).

3.7.2 Filtros verdes

Los sistemas que utilizan plantas acuáticas se basan en un cultivo de plantas superiores dispuestas en lagunas, tanques o canales poco profundos, las cuales degradan, absorben y asimilan en sus tejidos los contaminantes, y también proporcionan una extensa superficie donde se posibilita el crecimiento bacteriano y se filtran los elementos sólidos en suspensión. En los sistemas de flujo superficial la eliminación de contaminantes se produce por reacciones que tienen lugar en el agua y en la zona superior de contacto, ya que por las raíces circula una escasa cantidad de agua residual, lo que restringe su potencial de depuración. Al crecer flotando, estas especies forman una densa esponja de raíces y rizomas que ocupan todo el volumen del vaso (laguna o canal), y obligan a que toda el agua circule por esta maraña de vegetación, que actúa a su vez de soporte de los microorganismos que degradan la materia orgánica. Las hojas, paralelamente, bombean oxígeno a las raíces, lo que favorece el proceso de degradación de los contaminantes (32, 37).

Estos filtros estarán ubicados paralelamente al río Villalobos desde el complejo de puentes del Km. 12.5 del municipio de Villa Nueva hasta el cementerio municipal de Villa Canales, de donde se derivarán pequeños caudales para su tratamiento (37).

3.7.3 Aireadores

Devolver oxígeno a las aguas del lago, con lo cual se propiciará que haya gran biodiversidad de especies en flora y fauna, se recupera la fotosíntesis, se reducen los nutrientes como nitrógeno y fósforo permitiendo el intercambio de oxígeno entre la superficie y el fondo, rompiendo las capas tensoactivas que actualmente no permiten el ingreso y evacuación de los carbonos por los que los lagos eutróficos son altamente alcalinos (35, 38).

Los aireadores son estructuras metálicas que trabajan con energía solar o bien con electricidad para enriquecer con oxígeno las aguas que se encuentran bajo la superficie del lago. Por medio de una bomba que produce un Flujo Vertical; extraen el agua del fondo hacia la superficie donde se oxigena, mejorando los niveles de Oxígeno y la calidad del agua. Se tiene contemplada la colocación de 28 aireadores, dispuestos en todo el lago (37, 38).

3.7.4 Máquina cosechadora de ninfa

Su función es cosechar a través de una banda transportadora las plantas acuáticas así como los desechos sólidos flotantes, los cuales son dispuestos en una zona de almacenamiento en ella, para ser transportados y evacuados a la orilla del lago y su posterior disposición final. Debido a la carga de nutrientes que el lago de Amatitlán presenta, se incrementa constantemente la cantidad de plantas acuáticas, principalmente la ninfa, la cual duplica su volumen cada quince días, por lo que es necesario establecer un plan de limpieza permanente, el cual equivale a la evacuación anual de 160,000 m³. entre plantas acuáticas y sólidos flotantes. En época de lluvia a través del río Villalobos ingresan aproximadamente 75,000 m³. de sólidos flotantes (basura) (37).

3.7.5 Colectorización

Con este proyecto se pretende colectar las aguas del río Villalobos que se conducen a través de la canalización iniciando su colectorización en el lugar denominado El Frutal entre los municipios de San Miguel Petapa y Villa Nueva, pasando por el relleno del lago de Amatitlán litoral suroeste, siguiendo la trayectoria de la línea férrea hasta el puente de Anís, río Michatoya en el municipio de Amatitlán (37).

3.7.6 Mega planta de tratamiento

Con este proyecto se pretende tratar las aguas residuales, domésticas agroindustriales, industriales y municipales provenientes de la colectorización y transportadas al río Michatoya y en su fase final tratadas a la altura del municipio de Palín, Escuintla (37).

3.7.7 Manejo de residuos sólidos

Este componente contempla resolver problemas sanitarios generados por la disposición inapropiada de los residuos sólidos en los municipios de la cuenca del lago de Amatitlán. Para darle sostenibilidad ambiental a la fase de disposición final de los residuos sólidos (38).

4. JUSTIFICACIÓN

El lago de Amatitlán es uno de los recursos naturales de mayor importancia del sistema hidrológico de Guatemala, por lo que se considera necesario su rescate y conservación. Debido al grado de contaminación que presentan las aguas del lago, la administración del actual gobierno dentro de sus programas y políticas ambientales evaluó alternativas de solución a la problemática de contaminación del lago de Amatitlán, a través de la ejecución del “Megaproyecto de rescate del lago de Amatitlán”; En conjunto con la dirección ejecutiva y personal de AMSA se proyectó iniciar la instalación de veintiocho aireadores en todo el lago para mejorar la calidad del agua. Ya que de acuerdo a los informes presentados del Panorama de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la escasez de agua es cada día mayor lo que obliga el rescate del agua del lago (12).

Existen reportes de la contaminación del agua en el lago de Amatitlán (39), pero no se cuenta hasta el momento con un análisis del comportamiento que puedan tener los parámetros de calidad del agua en el lago, utilizando la aireación artificial como herramienta de tratamiento, por lo que es importante llevar a cabo el estudio de la Evaluación del efecto de la aireación artificial para mejorar la calidad del agua en el lago de Amatitlán y su posterior análisis e interpretación para poder tomar decisiones y acciones que tengan como fin el mejorar, minimizar o reducir los contaminantes y nutrientes ya existentes en el lago de Amatitlán.

El efecto y eficacia en el proceso de aireación artificial como tratamiento de las aguas que se encuentran en el lago de Amatitlán fue monitoreado y cuantificado para tener parámetros fisicoquímicos, que permitieran conocer como fluctúan las condiciones de calidad del agua en el lago con la aplicación de ésta herramienta de tratamiento y del trabajo realizado por instituciones como AMSA.

5. OBJETIVOS

A. Objetivo General

Evaluar el efecto y eficacia del proceso de aireación artificial en el centro del lado Este y Oeste en el lago de Amatitlán.

B. Objetivo Específico

Evaluar la eficacia del proceso de aireación artificial a través de la medición del potencial de hidrógeno (pH), oxígeno disuelto (OD), demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), nitrógeno en forma de nitrato, fósforo en forma de fosfato, conductividad y turbiedad, a partir de iniciada la aireación artificial para determinar en que medida ésta técnica mejora los parámetros de calidad del agua del lago en los sitios de muestreo.

6. HIPOTESIS

La aireación artificial reduce al menos uno de los siguientes parámetros fisicoquímicos: potencial de hidrógeno, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno de nitratos, fósforo en forma de fosfatos, conductividad, turbiedad. Aumenta los niveles de oxígeno disuelto e incrementa la claridad del agua en el lago de Amatitlán.

7. MATERIALES Y METODOS

7.1 Universo de trabajo: Agua del lago de Amatitlán

El estudio estuvo constituido por muestras de agua recolectadas durante un período de treinta y cuatro meses, comprendido a partir de la instalación de los aireadores en el centro del lado Este (Estación No. 1) y centro del lado Oeste (Estación No. 2) del lago de Amatitlán.

7.2 Muestra

Cada muestra estuvo constituida por un litro de agua del lago de Amatitlán de las siguientes estaciones:

Estación No. 1, centro del lado Este del lago de Amatitlán y

Estación No. 2, centro del lado Oeste del lago de Amatitlán.

7.3 Equipo y materiales:

7.3.1 Equipo:

Espectrofotómetro (Espectroquant SQ 118)

Espectroquant NOVA 60 (MERCK)

Espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 20 UV/Vis

Equipo de profundidad para medir potencial de hidrógeno, conductividad, y oxígeno disuelto

Potenciómetro

Termorreactor

Incubadora OXITOP

Refrigeradora

Digestor

7.3.2 Suministros:

Cubetas de 50 mm para espectrofotómetro

Tubos de ensayo con tapón de rosca de 20 ml de capacidad

Gradillas

Espátulas

Probetas de 25, 50, 250, 1000 ml.

Beakers 100 y 250 ml.

Erlenmeyer de 250 y 500 ml

Pipetas automáticas de 100 – 1000 μ l

Balones aforados de 50, 100 ml

Pipetas Pasteur

Pipetas volumétricas de 1, 5 y 10 ml.

Bulbos

Pipetas serológicas graduadas

Masking tape

Envases plásticos de 1 litro de capacidad

Hieleras

Guantes

Puntas plásticas para pipetas automáticas

Agitadores magnéticos

Frascos de vidrio color ámbar

Botellas de vidrio color ámbar

Frascos plásticos estériles

7.3.3 Reactivos

Agua destilada

Cubetas con ácido sulfúrico y dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$)

Hidróxido de sodio 6N

Acido sulfúrico 5N

Acido ascórbico 0.1 M

Solución madre de fosfatos (KH_2PO_4 anhidro)

Molibdato de Amonio: $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$

Tartrato antimonílico potásico: $K(Sb)C_4H_4O_6 \cdot 1H_2O$

Ácido fosfórico al 85%

Sulfanilamida

Diclorohidrato de N-(1-naftil)-etilendiamina

Kit de reactivos para nitratos Merck código 14773

7.4 Metodología

7.4.1 Reconocimiento de los puntos de muestreo

7.4.1.1 Obtención y recolección de muestras de agua

- Se realizó la recolección de muestras de agua en la estación No. 1 y la estación No. 2 del lago de Amatitlán (Anexo No. 1).
- Se midió la profundidad, transparencia, temperatura, pH, conductividad, salinidad, oxígeno disuelto (OD), oxígeno disponible, potencial de oxidorreducción (POR), y sólidos totales disueltos (TDS) en cada sitio de muestreo.
- Se recolectó las muestras para análisis químicos en recipientes de plástico de boca ancha de un litro de capacidad.
- Se identificó cada recipiente con fecha, procedencia, profundidad y hora a que se tomó la muestra de agua. Las muestras se colocaron en una hielera, incorporándoles baterías de hielo para conservarlas en refrigeración hasta su transporte al laboratorio.
- Se registró las muestras tomadas en un cuaderno con su correspondiente número e información. Las muestras se manejaron asépticamente y se agitaron vigorosamente para su homogenización. Luego de la agitación se tomaron las respectivas alícuotas de las muestras para su correspondiente análisis.
- Se contó con un equipo electrónico previamente calibrado para la medición de la temperatura, conductividad, pH, salinidad, oxígeno disuelto, oxígeno disponible y potencial de oxidorreducción. Dicho equipo está provisto de un electrodo unido a un cable que está marcado a cada metro para medir la profundidad (los resultados obtenidos de los parámetros de campo se registraron en un formato de AMSA, Anexo No. 4). Este equipo se hace descender en el cuerpo de agua para tomar las mediciones a partir de la superficie y luego a cada metro de profundidad hasta llegar al fondo del lago (28).

7.4.2 Determinación de pH

- Se calibró el electrodo con disoluciones patrón (tampones) de pH conocido.
- Se introdujo el electrodo en el agua.
- Se procedió a leer el valor del pH cuando la lectura se estabilizó en el potenciómetro con compensación de temperatura (28).

7.4.3 Transparencia

Para medir la transparencia se utilizó el Disco de Secchi, el cual consiste en un disco de plástico de color blanco, unido a un peso y a una cuerda que tiene marcada la longitud cada 10 centímetros.

- Se sumergió el disco en el cuerpo de agua.
- Se midió la distancia desde la superficie hasta donde el disco desapareció y a continuación se midió la distancia cuando reapareció.
- Este proceso da la medida de la profundidad a la que la luz penetra en el cuerpo de agua (zona fótica), que es donde ocurre la mayoría de los procesos biológicos que utilizan luz solar como fuente de energía (2, 34).

7.4.4 Demanda Química de Oxígeno (Método DQO 1.14895.0001)

Oxidación de la muestra de agua con solución caliente de dicromato potásico y sulfato de plata como catalizador. La determinación de la demanda química de oxígeno se realizó por medio de una medición fotométrica. El procedimiento es análogo a EPA 410.4, US Standard Methods 5220 D e ISO 15705.

- Se analizó la muestra inmediatamente después de tomada.
- Se homogenizó bien las muestras.
- Se agitó por balanceo el contenido de la cubeta con reactivo.
- Se midió con pipeta volumétrica 3 ml de la muestra bien homogenizada, se agregó con cuidado por la pared interna de la cubeta con el reactivo, por qué reacciona inmediatamente.
- Se cerró firmemente la cubeta con su tapadera de rosca, mezclando vigorosamente el contenido.
- Se calentó la cubeta 120 minutos a 148 °C en el termorreactor precalentado.
- Se sacó del termo-reactor la cubeta caliente y se colocó en la gradilla para que se enfriara.
- Se agitó la cubeta por balanceo al cabo de 10 minutos y se enfrió a temperatura ambiente en la gradilla (tiempo aproximado de enfriamiento 30 minutos).
- Se realizó la medición fotométrica en el Spectroquant SQ118 o en Spectroquant NOVA 60 (Merck) (28).

7.4.5 Demanda Bioquímica de Oxígeno (Método DBO₅ B5210 (31).)

El método consistió en llenar con muestra, hasta rebasar, un frasco hermético del tamaño especificado e incubarlo a la temperatura establecida durante 5 días. El oxígeno disuelto se mide inicialmente y la DBO₅ se calcula para diferenciar entre el oxígeno disuelto (OD) inicial y el OD final (24).

- Se homogenizó la muestra.
- Se ajustó el pH de la muestra a un valor de 6.8 – 7.2 con ácido sulfúrico.
- Se tomó como guía el valor de la DQO correspondiente, si no se conoce el valor aproximado de la DBO. Normalmente y en términos muy generales la DBO = DQO X 0.5; pero si el efluente tiene una carga orgánica muy alta el factor puede ascender a 0.7, 0.8, 0.9 según el caso. Se definió el volumen de muestra a tomar según la tabla (con el valor de DBO estimado):

Tabla No 3.

Volumen de muestra a tomar para la determinación de DBO

DBO	Volumen ml	Factor
0 - 40	432	1
0 - 80	365	2
0 - 200	250	5
0 - 400	164	10
0 - 800	97	20
0 - 200	43.5	50

Merck: Análisis del Agua

- Se colocó el volumen de muestra seleccionada en una botella de vidrio color ámbar y se colocó un agitador magnético dentro de la botella.
- Se adicionó 2 – 5 lentejas de hidróxido de sodio en el vaso de caucho y se colocó el vaso cuidadosamente en la boca de la botella.
- Se tapó la botella con el OXITOP verificando el correcto cierre de las mismas y se colocó sobre el sistema de agitación.
- Se conectó el instrumento y se accionan simultáneamente las teclas “S y M” para activar el registro que se iniciará automáticamente a las tres horas.
- Se registró los valores obtenidos cada 24 horas en forma automática por medio de un censor.
- Se obtuvo el resultado directamente de la pantalla del OXITOP. Dicho valor se debe multiplicar por el factor de la escala de la tabla y por el factor de dilución si lo hubo. El resultado se reportó como mg/L de O₂ (28).

7.4.6 Determinación de nitrato (Método NO_3^- 1.14773.0001 (31).)

En ácido sulfúrico concentrado los iones forman con un derivado del ácido benzoico un nitrocompuesto rojo que se determina fotométricamente.

- Se midió en tubo de ensayo seco 1 micro-cuchara azul rasa de reactivo NO_3^- .
- Se añadió con pipeta 5.00 ml. de reactivo NO_3^- y se agitó vigorosamente durante 1 minuto hasta que el reactivo se haya disuelto completamente.
- Se vertió muy lenta y cuidadosamente 1.50 ml de la muestra, mediante una pipeta sobre el reactivo en la pared interna del tubo de ensayo mantenido inclinado. Se agitó inmediata y vigorosamente, agarrando el tubo solo por la parte superior.
- Se dejó en reposo la solución de reacción caliente durante 10 minutos (tiempo de reacción).
- Se introdujo la muestra de medición en la cubeta y se midió en el fotómetro (31).

7.4.7 Determinación de fósforo en forma de fosfatos (Método de ácido ascórbico 4500-PE (24).)

- Se filtró la muestra directamente por una membrana de filtro de 0.45 μm para determinar el fósforo disuelto, el ácido fosfórico hidrolizable y el fósforo total disuelto.
- Se midió una muestra que contenga la cantidad deseable de fósforo (Digestión: en un frasco de vidrio micro-Kjeldahl, se determina por el método colorimétrico).
- Se adicionó 1 ml de H_2SO_4 concentrado y 5 ml de HNO_3 concentrado.
- Se digirió hasta un volumen de 1 ml y después continuar hasta que se convierta en una solución incolora para remover el HNO_3 .
- Se adicionó aproximadamente 20 ml de agua destilada, 0.05 ml de indicador de fenoftaleína, y se adicionó NaOH 1N para producir un color rosado débil. Se transfirió la solución neutralizada, se filtra si es necesario para remover las partículas de material o turbidez, a un balón de 100 ml y se aforó con agua destilada. Se determinó el fósforo por el método elegido.
- Se midió 4 ml del reactivo combinado en un balón de 25 ml de capacidad y se aforó con la muestra a evaluar. Se agitó y dejó reaccionar 10 minutos (no más de 30 minutos).
- Se midió la absorbancia de cada muestra a 880 nm con blanco de reactivos como referencia.
- Se realizó la corrección de la turbidez o color interferente. El color natural del agua no suele interferir a la elevada longitud de onda empleada. Con aguas turbias o muy coloreadas, preparar un blanco por adición a la muestra de todos los reactivos, excepto el

ácido ascórbico y el tartrato antimonílico potásico. Se resta la absorbancia del blanco de cada muestra.

- Se preparó la curva de calibración. Se preparan curvas de calibración individuales de calibrado a partir de una serie de 5 patrones a partir de la solución patrón de 10 mg/L de fósforo, con las siguientes concentraciones 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, y 1.0 mg/L de fósforo. Se utiliza un blanco de agua destilada con el reactivo combinado para realizar las lecturas de la curva de calibración (24, 28).

7.4.8 Conductividad (conductímetro de lectura digital)

- Se introdujo la célula de conductividad en la muestra.
- Se esperó hasta que la lectura se estabilizó (pocos segundos).
- Se procedió a leer el valor en la pantalla del conductímetro.
- Se recomienda utilizar equipo que tenga compensación de temperatura, en el caso contrario habría que efectuar dicha compensación manualmente (28).

7.4.9 Turbiedad

El método utilizado para la determinación de la turbiedad es espectrofotométrico y se reporta en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).

- Se seleccionó el método en el espectrocuant SQ118, luego en la cubeta se agregó agua destilada para medición del blanco, presionar enter para obtener el valor del blanco.
- Se agregó la muestra en la cubeta y procedió a leerla en el espectro, presionar enter y se obtiene la lectura de la muestra en UNT (28).

7.5 Diseño Estadístico

La investigación consistió en evaluar si existen cambios significativos en los parámetros físicos y químicos para mejorar la calidad del agua en el lago de Amatitlán con la aplicación de la aireación artificial. Para ello se establecieron dos unidades de muestreo, una en el centro del lado Este del lago de Amatitlán (Est. No. 1) y la otra en el centro del lado Oeste del lago (Est. No. 2). Los muestreos se realizaron estacionalmente en cada punto durante un período de treinta y cuatro meses, comparándolos con datos anteriores a la aireación (a partir de Enero del 2000 a Septiembre del 2003), proporcionados por la división de control, calidad ambiental y manejo de lagos de AMSA.

Para el estudio se planteó un diseño de medidas repetidas (con dos tratamientos: lugares) a través de treinta y cuatro meses.

El análisis estadístico e interpretación de resultados se realizó mediante el programa SAS (Statistical Analytical System), aplicando un análisis de varianza de medidas repetidas y utilizando como variable la condición (antes y después) en las estaciones de muestreo 1 y 2, se realizó una comparación de medias de los parámetros obtenidos a partir del inicio de la aireación con datos de monitoreo previos a la colocación de los aireadores. Se realizó un análisis gráfico de los resultados.

8. RESULTADOS

Se presentan los datos obtenidos luego del análisis de las muestras para determinación de potencial de hidrógeno, oxígeno disuelto, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, nitrógeno de nitratos, fósforo de fosfatos, conductividad y turbiedad una vez iniciado el proceso de aireación artificial. La información se resume en la tabla No. 3 adjunta al final de esta sección, en la que se muestran las medias obtenidas y el valor de probabilidad (P) para cada parámetro, obtenido por el análisis de varianza de medidas repetidas.

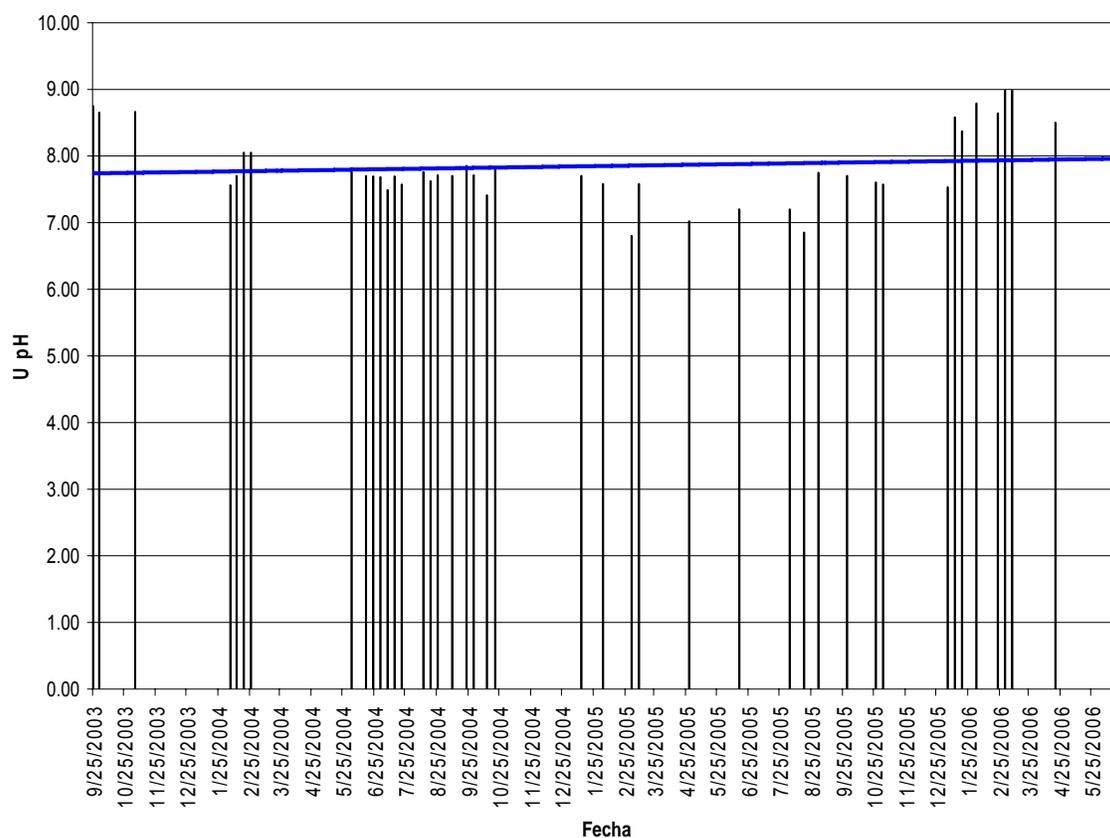
Los resultados que se exponen se basan en la información generada durante un período de treinta y cuatro meses a partir de la instalación de los aireadores (octubre del año 2003 a Junio del año 2006). Se realizó un total de 104 muestreos después de la aireación, de los cuales 53 corresponden al lado Este y 51 al lado Oeste, los parámetros reportados antes de la aireación fueron proporcionados por la división de control, calidad ambiental y manejo de lagos de AMSA (anexo No. 6). Las gráficas presentan datos obtenidos de los muestreos realizados a partir de la aplicación de la aireación artificial para mostrar como fluctuaron dichos parámetros en el tiempo.

Para cada sitio de muestreo, se calculó el valor promedio de concentración por analito, con el fin de comparar este valor con los límites máximos permisibles con parámetros indicadores y valores de referencia de calidad de aguas naturales según la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y las normas sobre requisitos de calidad del agua de los cuerpos receptores de aguas negras y residuos industriales según sus usos.

A continuación se presentan las gráficas comparativas de los análisis fisicoquímicos realizados en el estudio. En el eje "X" se muestran las fechas que corresponden al orden cronológico del muestreo. El eje "Y" presenta el valor de concentración del analito.

La gráfica No.1 muestra las variaciones en el potencial de hidrógeno en las muestras tomadas en la superficie del centro lado Este del lago de Amatitlán (Anexo No. 5. Datos obtenidos de cada muestreo por estación). A partir del inicio de la aireación artificial (septiembre del año 2003), los valores de pH mostraron una variación de 6.80 a 8.98 unidades de pH, con un promedio de 7.9084615 ($P < 0.00001$).

**Potencial de hidrógeno a partir de la aireación artificial
Centro lado Este del lago de Amatitlán**



I Dato obtenido en cada muestreo

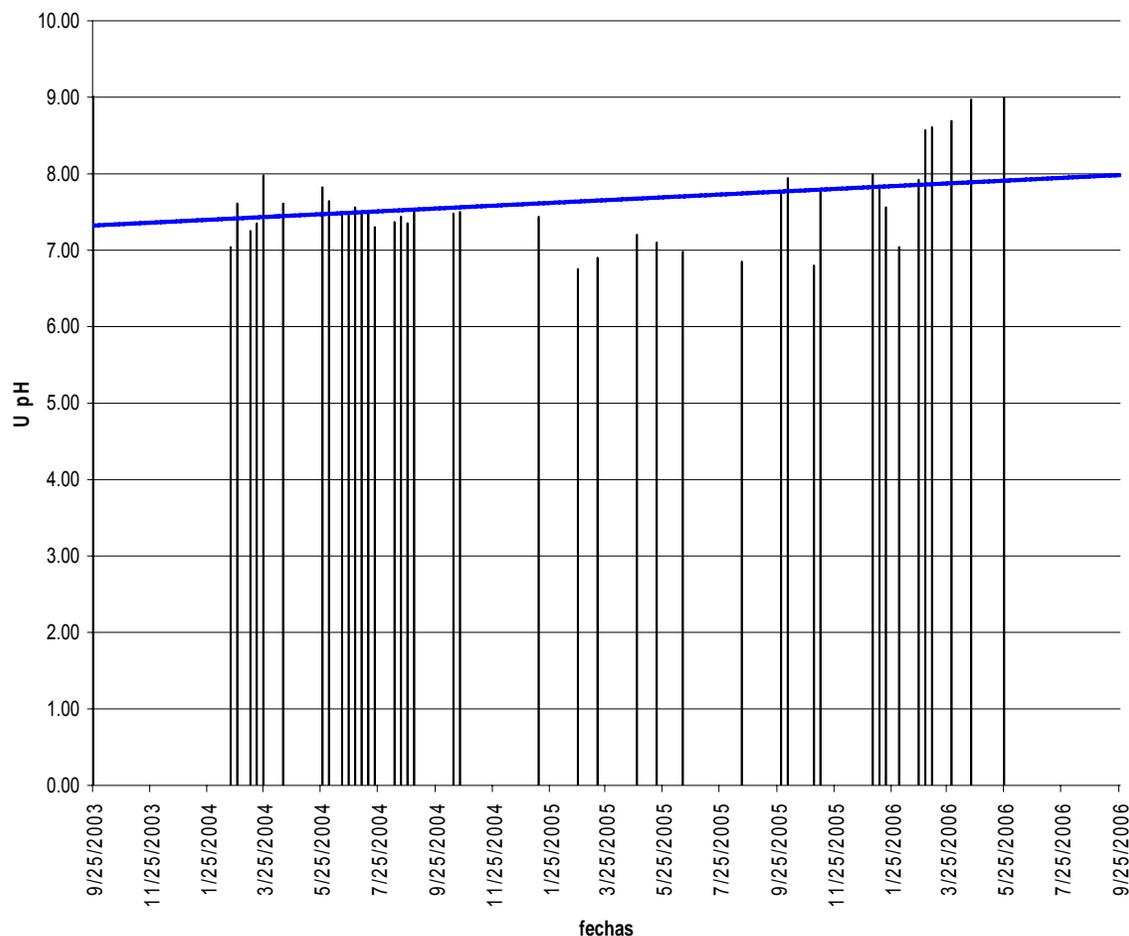
— Línea de tendencia para cada gráfica

U pH: Unidades de potencial de hidrógeno

Gráfica No. 1. Determinación de potencial de hidrógeno (pH) en el centro Este del lago de Amatitlán.

Gráfica No. 2 presenta los datos de potencial de hidrógeno en el centro lado Oeste del lago de Amatitlán. Los valores más bajos se registraron a partir del mes de septiembre del año 2003 luego de iniciado el proceso de aireación artificial, con valores que van desde 6.75 a 8.99 unidades de pH, con una media de 7.75.

**Potencial de hidrógeno a partir de la aireación artificial
Centro la Oeste del lago de Amatitlán**



| Dato obtenido en cada muestreo

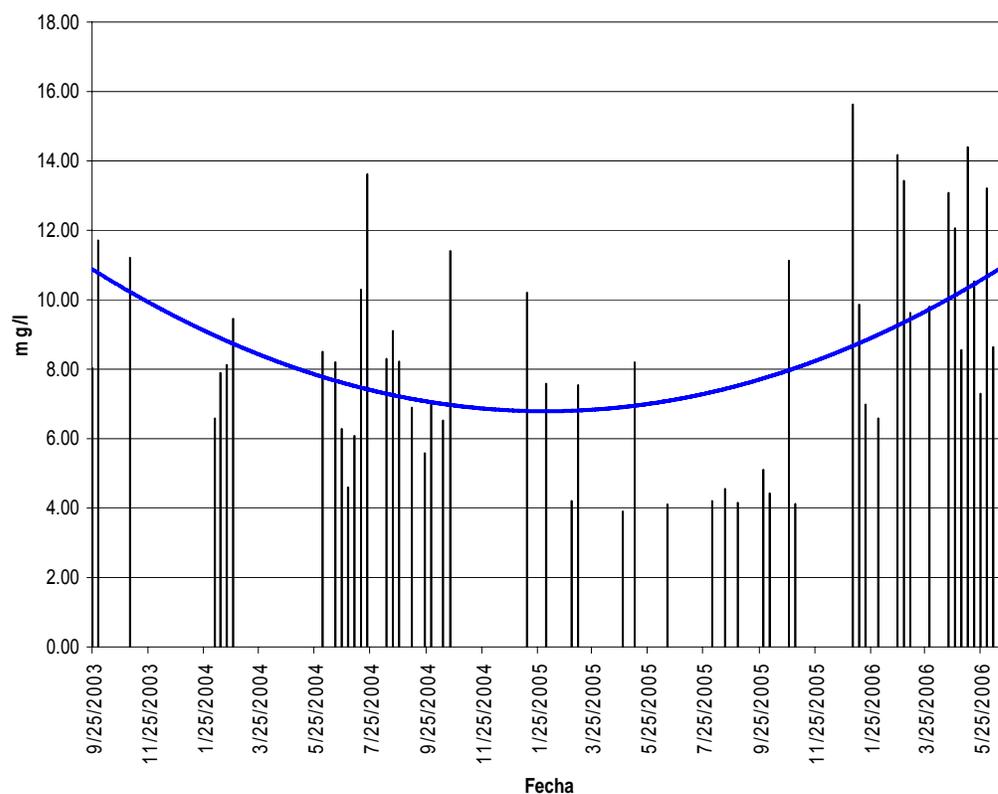
— Línea de tendencia para cada gráfica

U pH: Unidades de potencial de hidrógeno

Gráfica No.2. Determinación de potencial de hidrógeno (pH) en el centro Oeste del lago de Amatitlán.

La gráfica No. 3 muestra las variaciones en el oxígeno disuelto en las muestras tomadas en el centro del lado Este del lago. A partir del inicio de la aireación artificial los valores variaron de 4.10 a 15.62 mg/l con un valor promedio estadístico de 8.382. Los valores más altos de oxígeno disuelto se obtuvieron a partir de iniciado el proceso de aireación en el lago de Amatitlán.

**Oxígeno disuelto a partir de la aireación artificial
Centro lado Este del lago de Amatitlán**



┆ Dato obtenido en cada muestreo

— Línea de tendencia para cada gráfica

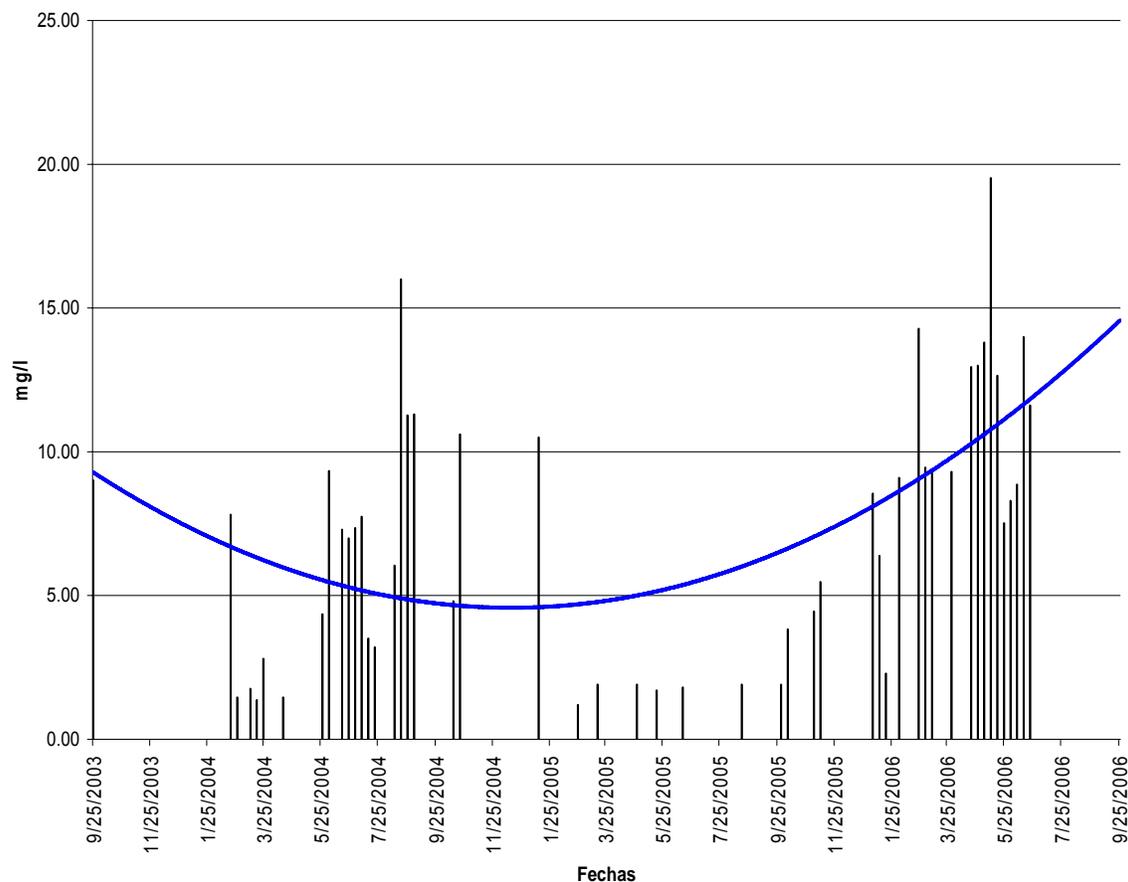
mg/l: concentración en miligramos por litro

Gráfica No. 3. Valores de oxígeno disuelto en el centro del lado Este del lago de Amatitlán.

La gráfica No. 4 presenta las concentraciones de oxígeno disuelto obtenidas en el centro Oeste del lago de Amatitlán. Se puede observar que a partir de la aplicación de la aireación artificial existe

una variación de 1.20 a 19.52 miligramos por litro, con un valor promedio de 6.7307843 (P = 0.3342).

**Oxígeno disuelto a partir de la aireación artificial
Centro lado Oeste del lago de Amatitlán**



| Dato obtenido en cada muestreo.

— Línea de tendencia para cada gráfica.

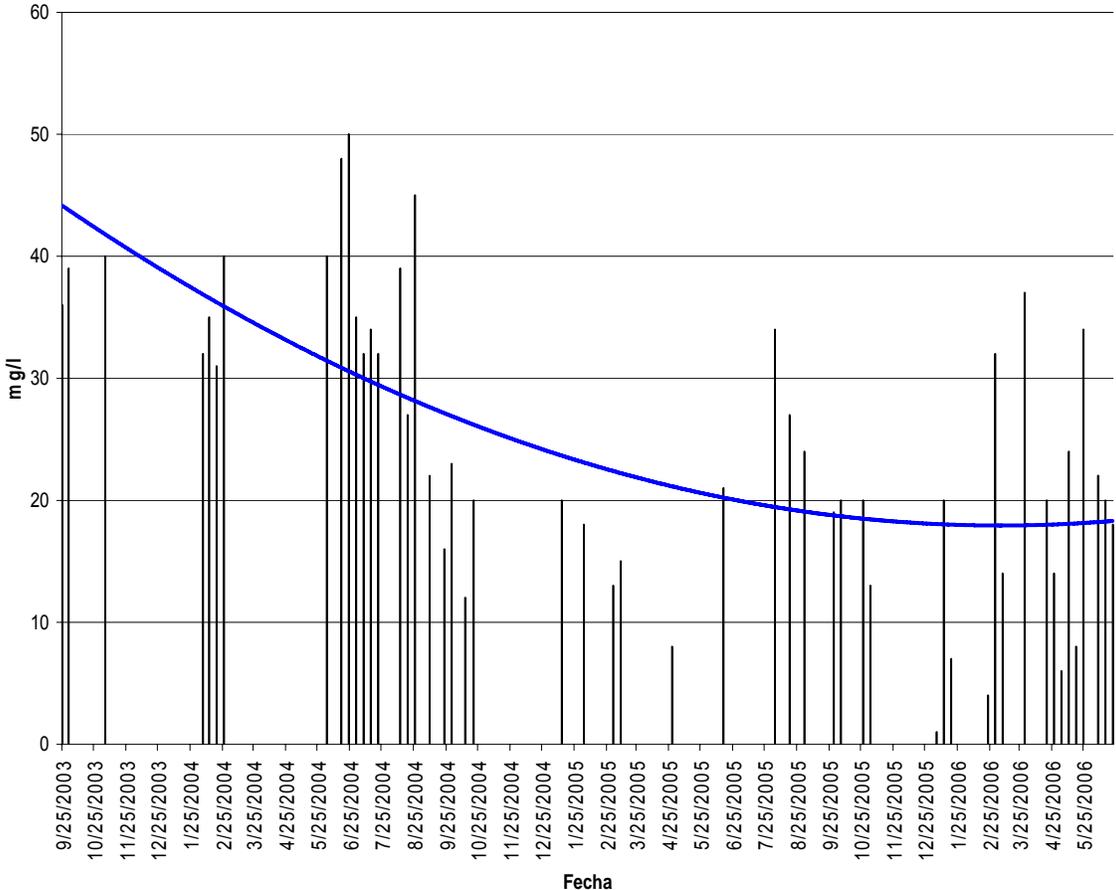
mg/l: concentración en miligramos por litro

Gráfica No. 4. Valores de oxígeno disuelto en el centro del lado Oeste del lago de Amatitlán.

La gráfica No. 5 muestra las concentraciones de demanda química de oxígeno (DQO) en el centro del lado Este del lago de Amatitlán. Con la aplicación de la aireación se observó una variación en

las concentraciones de DQO. El mayor valor de DQO obtenido fue de 50 miligramos por litro y el menor de 1 miligramos por litro, con una media de 30.48. Los valores más bajos se registraron a partir de la aplicación de la aireación artificial y presentan una tendencia a disminuir.

**Demanda química de oxígeno a partir de la aireación artificial
Centro lado Este del lago de Amatitlán**



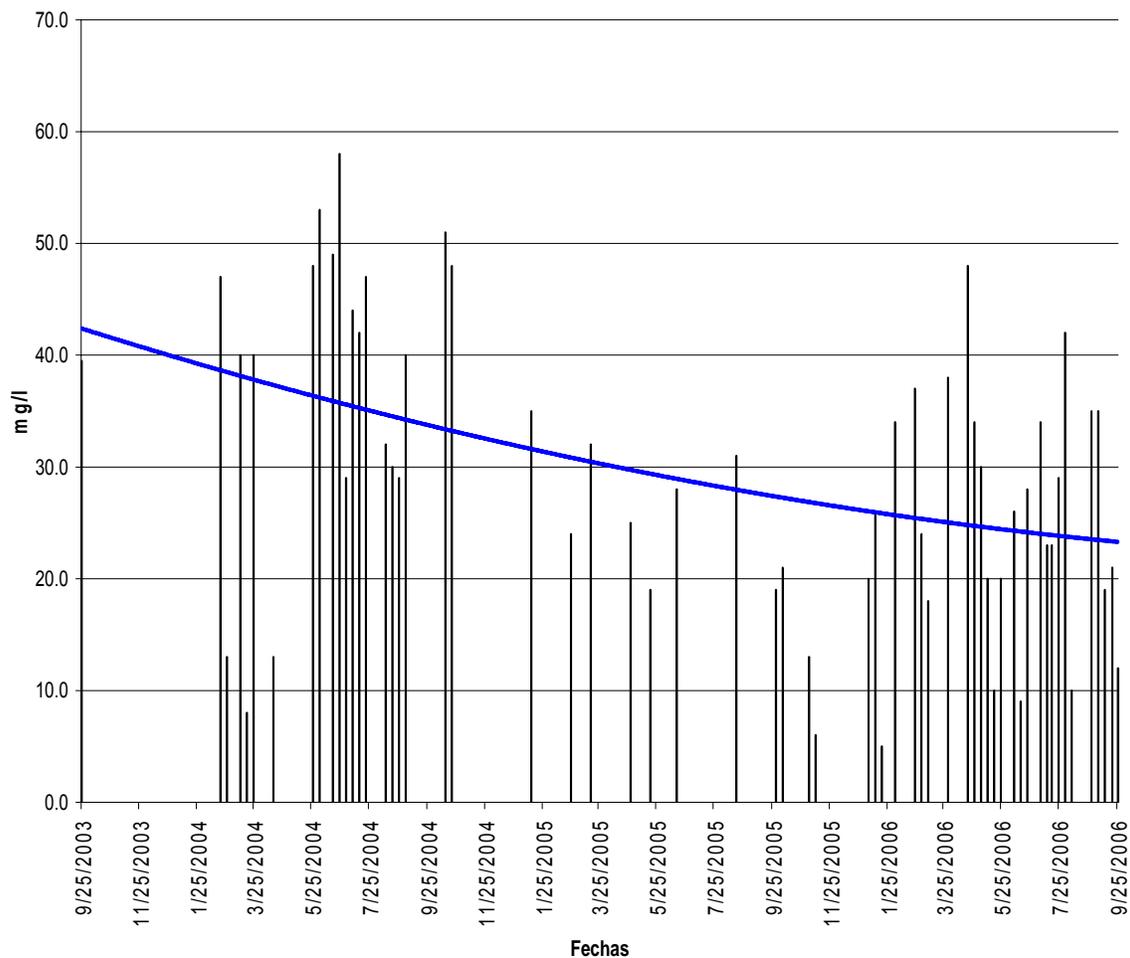
- | Dato obtenido en cada muestreo
 - Línea de tendencia para cada gráfica
- mg/l: concentración en miligramos por litro

Gráfica No. 5. Demanda química de oxígeno centro lado Este del lago de Amatitlán.

La gráfica No. 6 presenta las variaciones de demanda química de oxígeno (DQO) para el centro del lado Oeste del lago de Amatitlán. Los valores más bajos de demanda química de oxígeno se registraron a partir de la aplicación de la aireación artificial, llegando hasta 5 miligramos de DQO.

Demanda química de oxígeno a partir de la aireación artificial

Centro lado Oeste del lago de Amatitlán



I Dato obtenido en cada muestreo

— Línea de tendencia para cada gráfica.

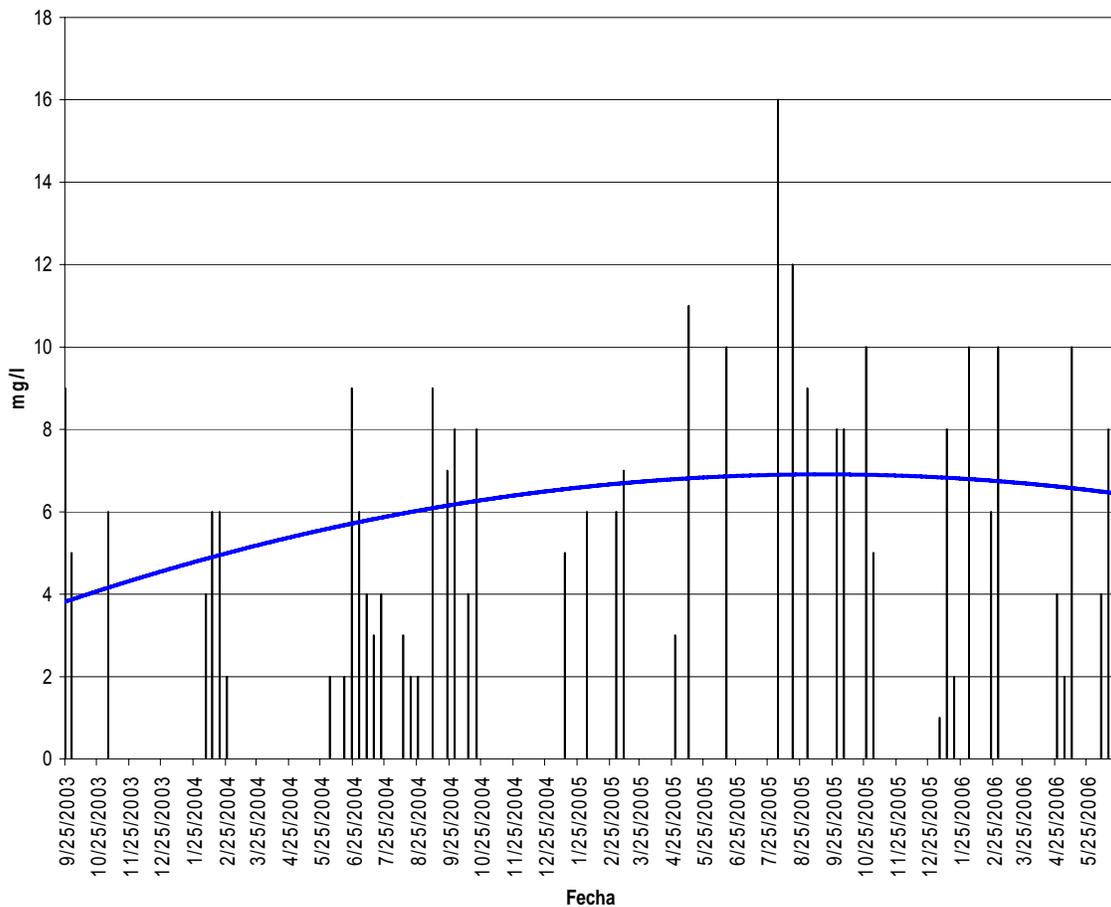
mg/l: concentración en miligramos por litro

Gráfica No. 6. Datos de demanda química de oxígeno centro lado Oeste del lago de Amatitlán.

La gráfica No. 7 muestra los datos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) obtenidos para el centro del lado Este del lago de Amatitlán. A partir de la aireación artificial la concentración más

alta reportada fue de 15 mg/l y la más baja de 1 mg/l, con una media de 6.46. Los valores más bajos de DBO se registraron durante la aireación artificial.

**Demanda bioquímica de oxígeno a partir de la aireación artificial
Centro lado Este del lago de Amatitlán**



I Dato obtenido en cada muestreo

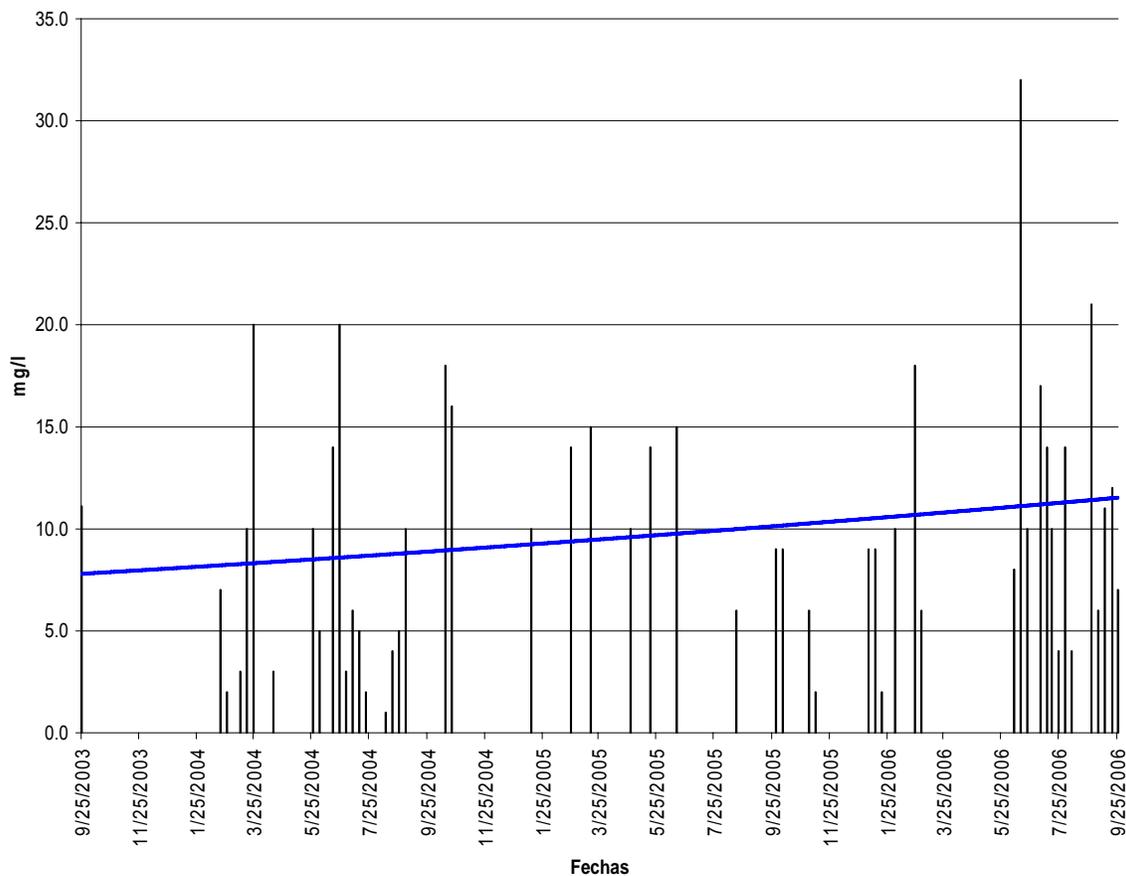
— Línea de tendencia para cada gráfica

mg/l: concentración en miligramos por litro.

Gráfica No. 7. Datos de demanda bioquímica de oxígeno centro lado Este del lago de Amatitlán. La gráfica No. 8 presenta los datos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) obtenidos en el centro lado Oeste del lago de Amatitlán. A partir de la aplicación de la aireación se registraron

valores de 32 mg/l el valor más alto y 1 mg/l el más bajo, con una media estadística de 9.23. Los valores más bajos se registraron durante la aireación artificial.

**Demanda bioquímica de oxígeno a partir de la aireación artificial
Centro lado Oeste del lago de Amatitlán**



| Dato obtenido en cada muestreo.

— Línea de tendencia para cada gráfica.

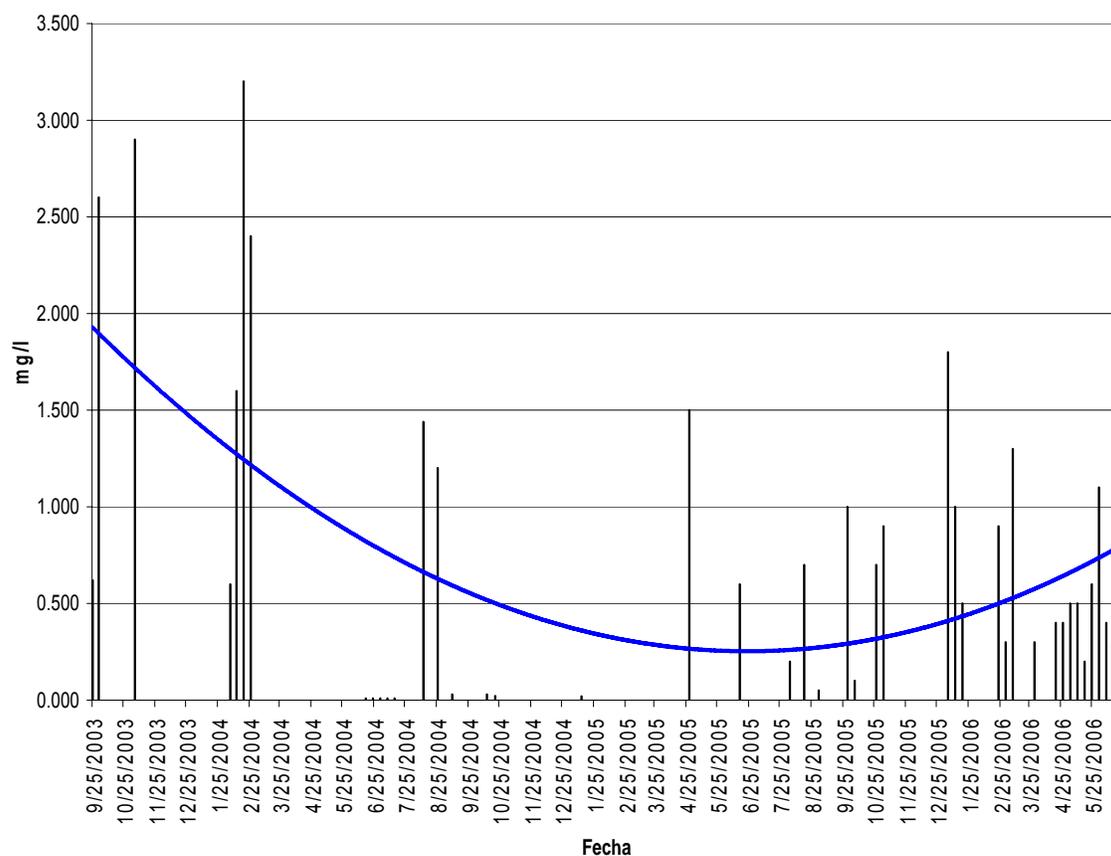
mg/l: concentración en miligramos por litro.

Gráfica No. 8. Datos de demanda bioquímica de oxígeno en el centro lado Oeste del lago de Amatitlán.

La gráfica No. 9 muestra las concentraciones obtenidas para el nitrógeno de nitratos en el centro Este del lago de Amatitlán. Con el inicio de la aireación se registraron valores altos (3.200 mg/l) de

nitrito que luego tienden a disminuir (hasta 0.021 mg/l). Los valores más bajos se registraron después de iniciado el proceso de la aireación artificial.

**Nitrógeno de Nitratos a partir de la aireación artificial
Centro lado Este del lago de Amatitlán**

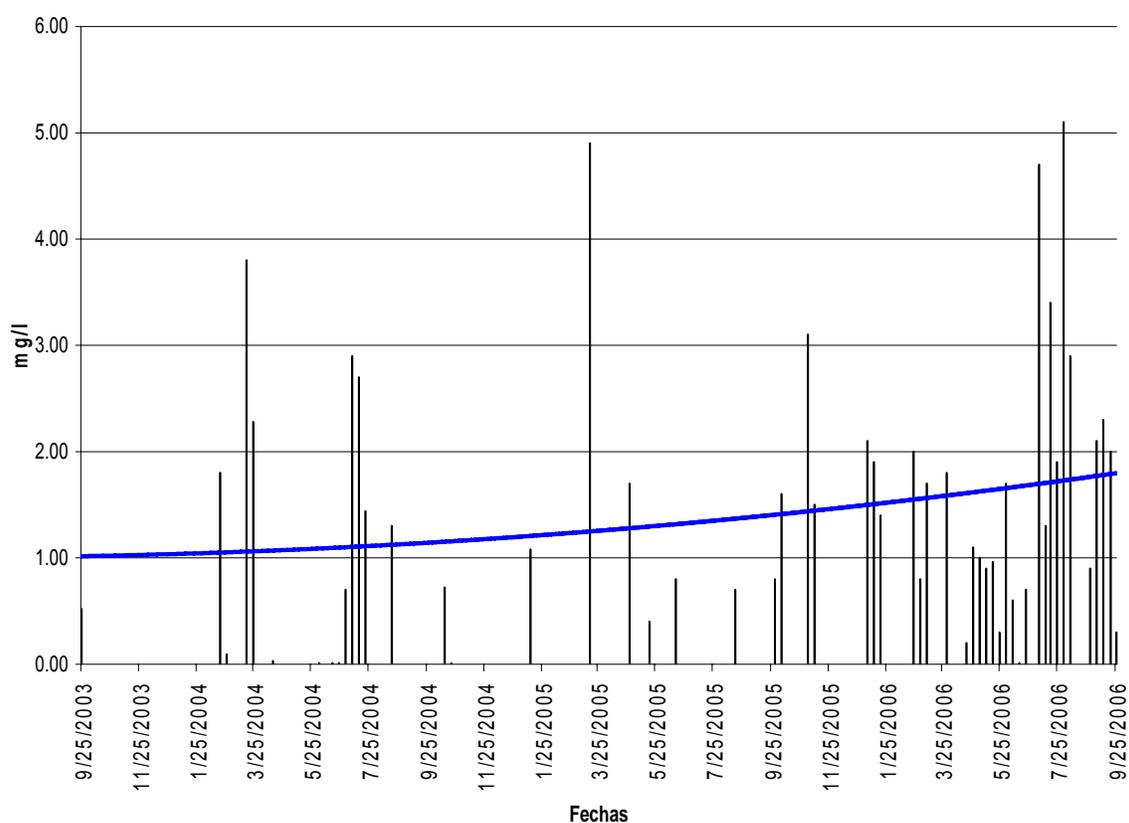


- | Dato obtenido en cada muestreo
 - Línea de tendencia para cada gráfica
- mg/l: concentración en miligramos por litro.

Gráfica No. 9. Concentraciones de nitrógeno de nitratos en el centro Este del lago de Amatitlán. La gráfica No. 10 presenta las concentraciones obtenidas para el nitrógeno de nitratos en el centro del lado Oeste del lago de Amatitlán. A partir de la aireación artificial se registró variaciones de

5.10 miligramos por litro la concentración más alta y 0.01 miligramos por litro la concentración más baja.

Nitrógeno de Nitratos a partir de la aireación artificial Centro lado Oeste del lago de Amatitlán



I Dato obtenido en cada muestreo.

— Línea de tendencia para cada gráfica.

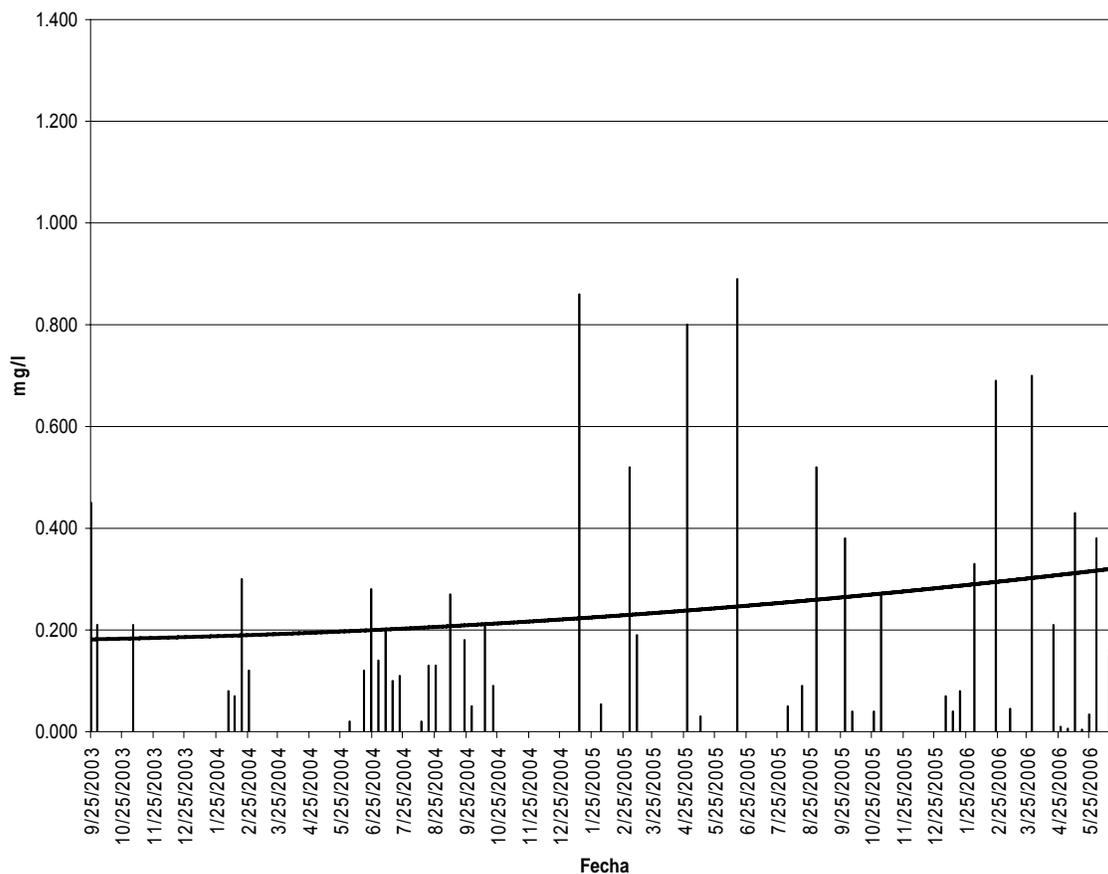
mg/l: concentración en miligramos por litro.

Gráfica No. 10. Datos de nitrógeno de nitratos en el centro lado Oeste del lago de Amatitlán.

La gráfica No. 11 muestra las variaciones de fósforo total en el centro del lado Este del lago de Amatitlán. Las concentraciones más bajas de fósforo se registraron a partir de la aplicación de la

aireación artificial en el lago con valores de 0.004 miligramos por litro. En los meses de marzo y junio del año 2006 se registró las concentraciones más altas, alcanzando niveles de 1.920 a 2.300 miligramos por litro.

Fósforo en forma de fosfatos a partir de la aireación artificial Centro lado Este del lago de Amatlán



I Dato obtenido en cada muestreo.

— Línea de tendencia para cada gráfica.

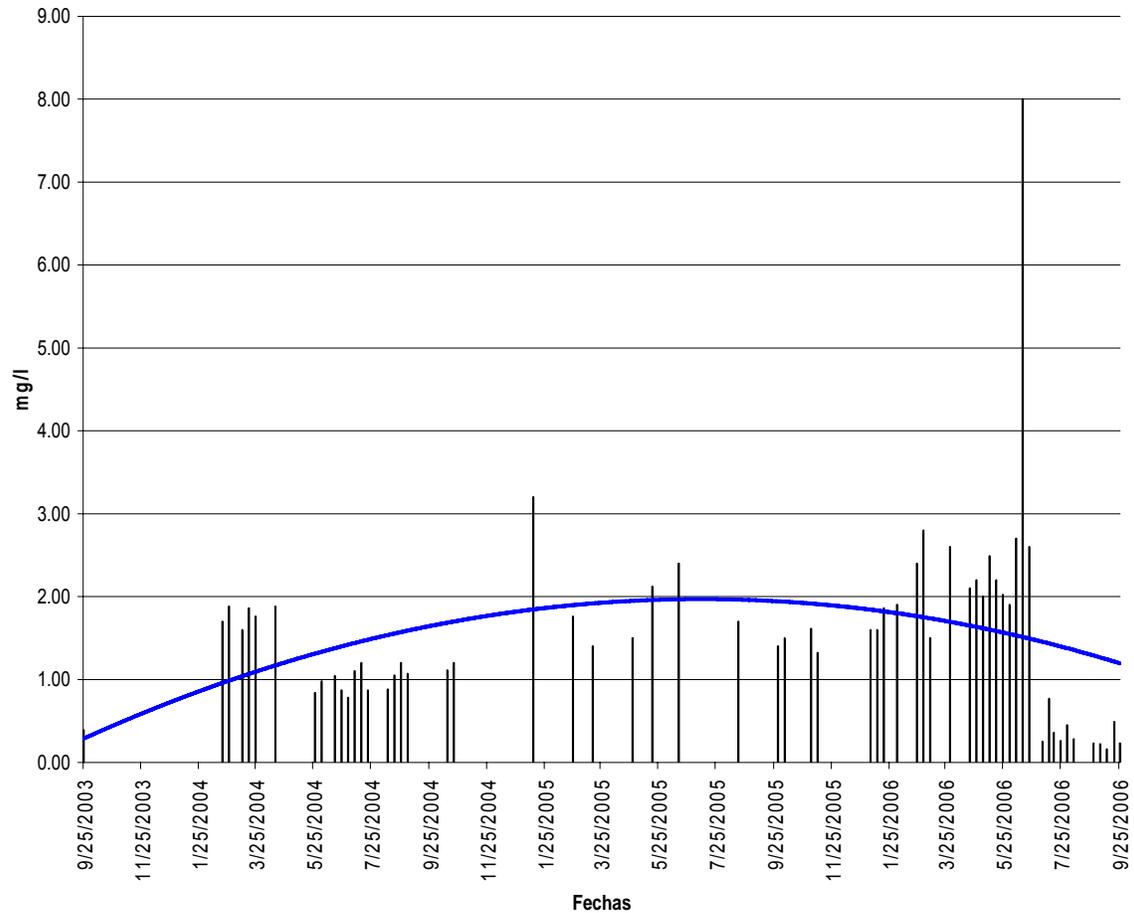
mg/l: concentración en miligramos por litro

Gráfica No. 11. Datos de fósforo en el centro lado Este del lago de Amatlán.

La gráfica No. 12 presenta los datos de fósforo obtenidos para el centro lado Oeste del lago de Amatlán. Con la aplicación de la aireación artificial se obtuvieron los datos más altos de fósforo

en esta estación de muestreo, las concentraciones registradas fueron de 0.16 mg/l. el valor más bajo y 8.00 mg/l el valor más alto.

Fósforo en forma de fosfatos a partir de la aireación artificial Centro lado Oeste del lago de Amatitlán



| Dato obtenido en cada muestreo

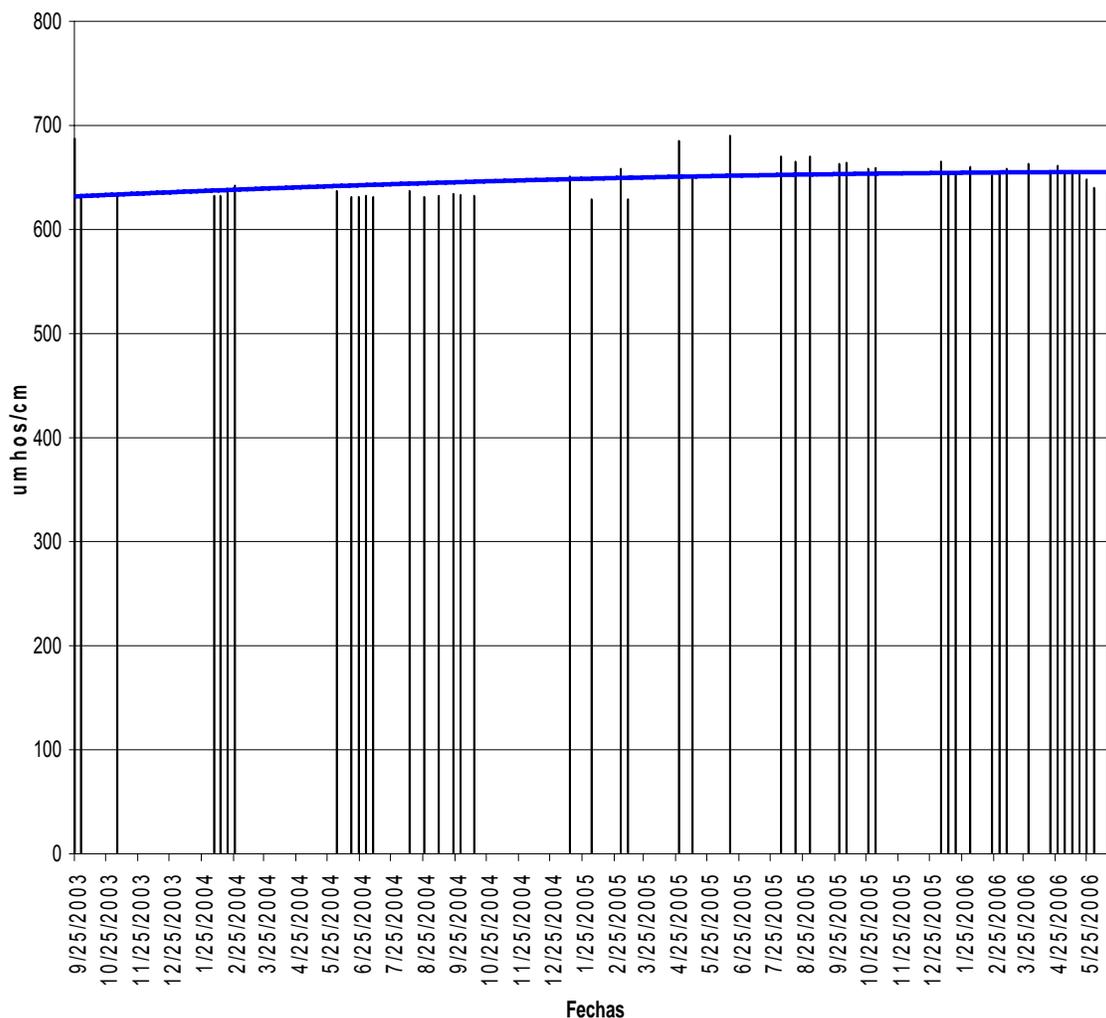
— Línea de tendencia para cada gráfica

mg/l: concentración en miligramos por litro.

Gráfica No. 12. Concentraciones de fósforo obtenidos para el centro lado Oeste del lago de Amatitlán.

La gráfica No. 13 muestra los datos de conductividad obtenidos para el centro lado Este del lago de Amatitlán. A partir de septiembre del año 2003 con el inicio de la aireación se registró valores entre 685 a 626 micro-ohmnios.

Conductividad a partir de la aireación artificial
Centro lado Este del lago de Amatitlán



I Dato obtenido en cada muestreo.

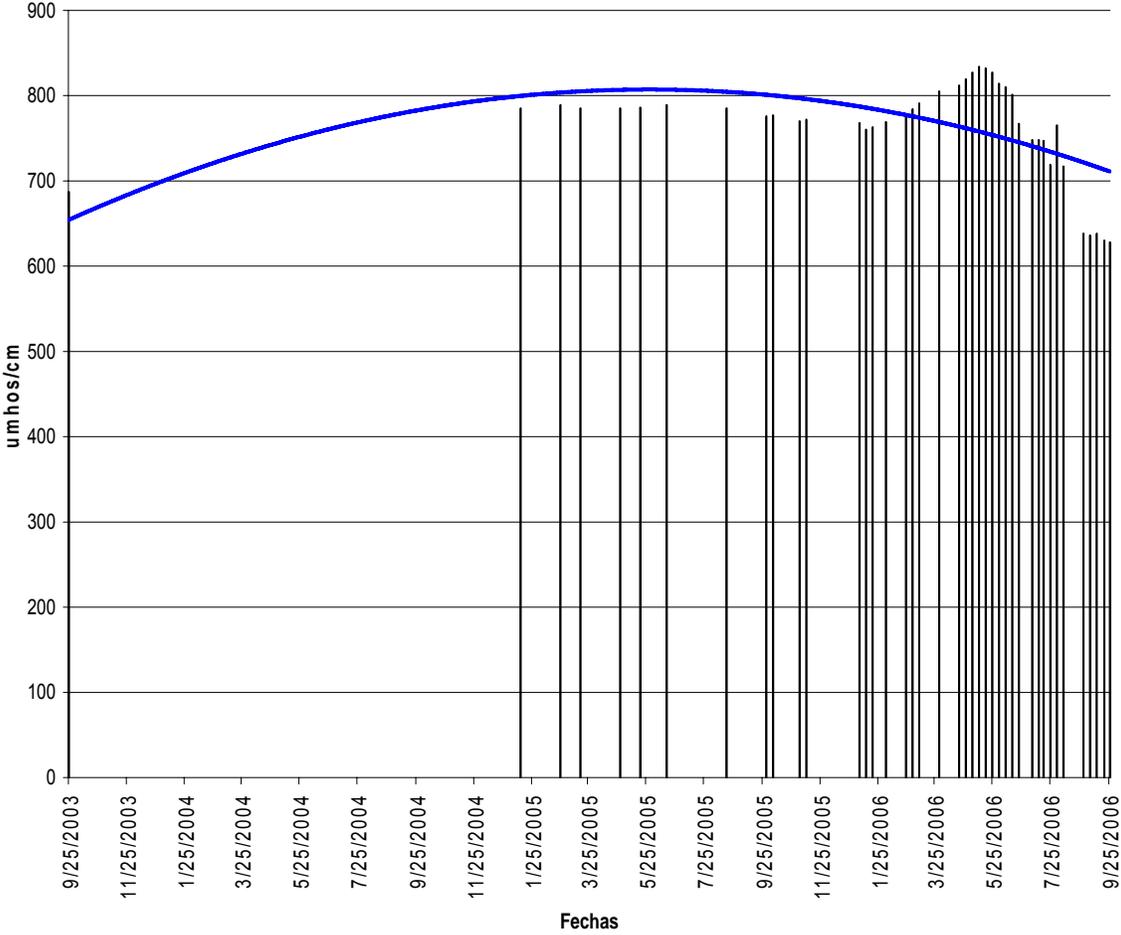
— Línea de tendencia para cada gráfica.

umhos /cm: dato en micro ohmnios por centímetro

Gráfica No. 13. Datos de conductividad obtenidos para el centro lado Este del lago de Amatitlán.

La gráfica No. 14 presenta los datos de conductividad obtenidos para el centro lado Oeste del lago. Con la aireación artificial los valores más altos se registraron de marzo a junio del año 2006 con valores de hasta 832 el más alto y 628 micro ohmios el más bajo.

**Conductividad a partir de la aireación artificial
Centro lado Oeste del lago de Amatitlán**



I Dato obtenido en cada muestreo.

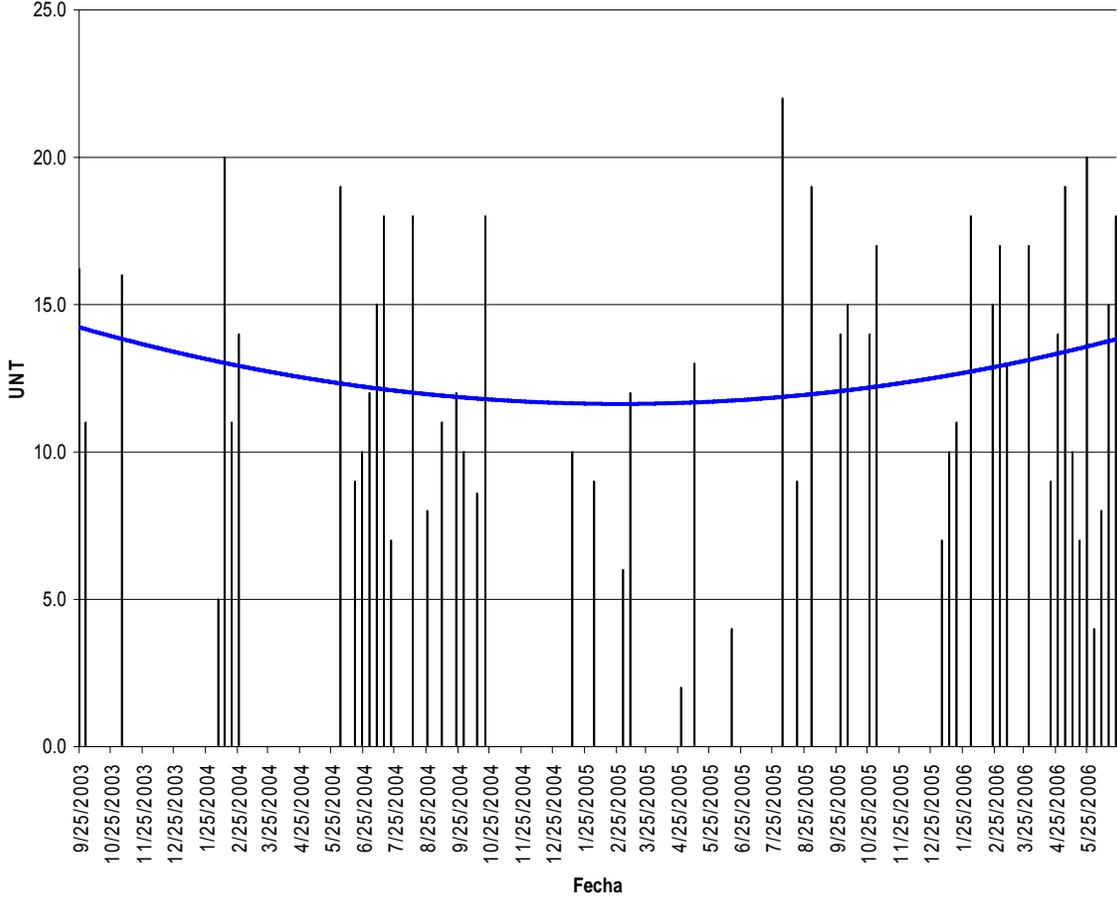
— Línea de tendencia para cada gráfica.

µmhos/cm.: micro ohmios por centímetro.

Gráfica No. 14. Datos de conductividad obtenidos para el centro lado Oeste del lago de Amatitlán.

La gráfica No. 15 muestra las variaciones de turbiedad en el centro lado Este del lago de Amatitlán durante la aireación. A partir de septiembre del 2003 con el inicio de la aireación se observó una variación no constante en los resultados obtenidos; ya que se registró valores de 2.5 UNT el más bajo y 22.0 UNT el valor más alto registrado.

**Turbiedad a partir de la aireación artificial
Centro lado Este del lago de Amatitlán**



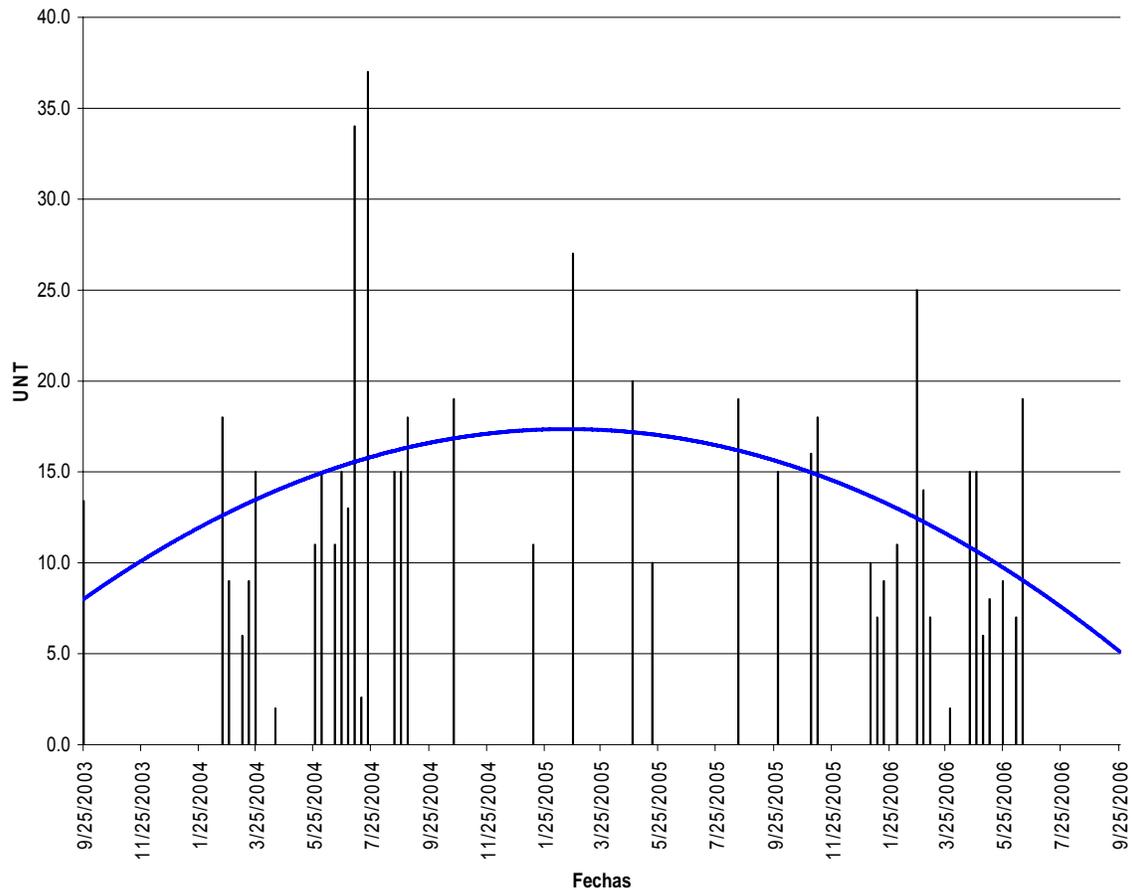
I Dato obtenido en cada muestreo
 — Línea de tendencia para cada gráfica

UNT: unidades nefelométricas de turbiedad.

Gráfica No. 15. Datos de turbiedad para el centro lado Este del lago de Amatitlán.

La gráfica No. 16 presenta la turbiedad registrada para el centro lado Oeste del lago. Con el inicio de la aireación artificial los niveles variaron de 2.00 a 45.00 UNT, los valores más altos corresponden a los meses de julio 2004, junio 2005 y julio 2006. Los niveles más bajos se registraron a partir de la aplicación de la aireación artificial en el lago.

Turbiedad a partir de la aireación artificial Centro lado Oeste del lago de Amatitlán



I Dato obtenido en cada muestreo

— Línea de tendencia para cada gráfica

UNT: unidades nefelométricas de turbiedad.

Gráfica No. 16. Datos de turbiedad del centro lado Oeste del lago de Amatitlán.

Tabla No. 3: Parámetros fisicoquímicos monitoreados en el lago de Amatitlán a partir del inicio de la aireación artificial y su respectivo análisis estadístico

Parámetro	Estadística	Estación				Número total de obs.	P
		Centro lado Este		Centro lado Oeste			
		Antes	Después	Antes	Después		
pH	Media Des. est. Obs.	8.5751163 0.35067536 43	8.0607547 0.7611905 53	8.6253488 0.34137919 43	7.7501961 0.7990081 51	190	<0.00001
Oxígeno disuelto mg/L O ₂	Media Des. est. Obs.	7.7148837 1.5002656 43	8.382 3.13419 53	8.2832558 1.1022936 43	6.7307843 4.5737599 51	190	0.3342
Demanda química De oxígeno mg/L	Media Des. est. Obs.	30.0372093 4.7057374 43	30.480769 12.799342 52	34.304651 6.6133684 43	30.44 13.331197 50	188	0.2234
Demanda Bioquímica De oxígeno mg/L	Media Des. est. Obs.	12.511628 3.8258027 43	6.4680851 3.7291511 47	14.018605 2.6531433 43	9.2380952 5.5559659 42	175	<0.00001
Nitrógeno de nitrato mg/L	Media Des. est. Obs.	0.33953488 0.13840853 43	0.7676905 0.8279667 42	0.43604651 0.23688294 43	1.2474419 1.0827107 43	171	<0.00001
Fosfatos mg/L	Media Des. est. Obs.	0.27558139 0.12313953 43	0.290717 0.4303421 53	0.38604651 0.17289054 43	1.6586275 1.6586275 51	190	<0.00001
Conductividad µmhos/cm	Media Des. est. Obs.	621.62791 47.562001 43	653.5102 37.060268 49	685.27907 35.076329 43	791.03226 21.007116 31	166	<0.00001
Turbiedad UNT	Media Des. est. Obs.	11.944186 4.0763722 43	12.357692 4.7545786 52	11.751163 3.3053616 43	14.991304 9.1697044 46	184	0.0401

Media = Media aritmética

Des. Est. = Desviación estándar

Obs. = Número de observaciones

La tabla No. 3 muestra los resultados de los parámetros evaluados a partir de la aireación artificial, se realizaron 104 muestreos dentro de los cuales los parámetros que presentaron mayor diferencia significativa por efecto de la aireación artificial son: el oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno y el potencial de hidrógeno.

9. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El objetivo de la investigación era evaluar el efecto y eficacia del proceso de aireación artificial en el centro del lado Este y Oeste del lago de Amatitlán. En este estudio se recolectaron 104 muestras a lo largo de treinta y cuatro meses, a partir de la instalación de los aireadores (septiembre 2003 – junio del 2006) para determinar en que medida esta técnica utilizada como herramienta de tratamiento, mejoraba los parámetros de calidad del agua en el lago.

Se demostró que los analitos cuantificados a partir de la aireación artificial en los sitios de muestreo presentaron tendencias de concentraciones diferentes, respecto a los registrados antes de la instalación de los aireadores (ver Anexos 5 y 6), demostrando que sí es un método efectivo para mejorar la calidad del agua del lago. Los resultados obtenidos en este estudio se compararon con estándares de calidad de aguas naturales de acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental (EPA), ya que Guatemala no cuenta con normas estándares de calidad del agua de lagos (26).

Las graficas 1 y 2 esquematizan la variación del pH en el tiempo, durante la condición después de airear el lago. Promediando los valores en el centro del lado Este se registró una variación de 8.60 a 7.90 antes y después, respectivamente; para el centro lado Oeste también se apreció una disminución de 8.62 a 7.75 con un valor $P < 0.00001$ lo que indica que existe diferencia significativa en relación a la condición antes y después, siendo menores los niveles de pH después de la aireación artificial. Antes de iniciar el proceso de aireación los valores de pH se registraban por arriba de 8 unidades de potencial de hidrógeno (Anexos 5 y 6), sin embargo a partir de la aplicación de la aireación artificial los valores registrados oscilaron entre 7 y 8 unidades de potencial de hidrógeno, indicando que el agua del lago esta alcanzando los límites permisibles según la norma sobre requisitos de calidad y la EPA (pH mínimo = 5.5, pH máximo = 8.5), mostrando que ha mejorado la calidad del agua.

Las gráficas 3 y 4 muestran las variaciones en el oxígeno disuelto en los centros Este y Oeste del lago. Las medias estadísticas para el centro del lado Este manifestaron valores de 7.71 a 8.38 antes y durante el proceso de aireación respectivamente; para el centro Oeste se registraron valores de 8.28 a 6.73, con un valor $P = 0.3342$ lo que indica que no hay diferencia significativa respecto a la condición antes y durante la aireación. Sin embargo los valores más altos de oxígeno disuelto se apreciaron a partir de la instalación de aireadores en el lago de Amatitlán. La concentración más alta registrada en el centro del lado Este antes de airear fue de 9.81 mg/l. y a partir de la aireación varió a 15.62 mg/l. El centro del lado Oeste antes de airear presentó valores de 9.85 mg/l de oxígeno disuelto; mientras que a partir de la aireación presentó valores de 19.52 mg/l (ver Anexos 5 y 6). Aplicando una línea de tendencia se aprecia que la concentración de

oxígeno disuelto tiende a aumentar con la aplicación de la aireación artificial. Las normas sobre requisitos de calidad del agua de cuerpos receptores establece niveles de oxígeno disuelto de 2 mg/l como mínimo tolerable y 6 mg/l como mínimo aceptable (2); los valores obtenidos en el lago a partir de la aireación muestran mejoras en las concentraciones de oxígeno disuelto. El proceso de aireación artificial implementado para mejorar la calidad del agua en el lago es eficaz y aumenta el oxígeno disuelto, que es el elemento más importante en los lagos para mantener los organismos que respiran y para mantener los procesos metabólicos. La eutrofización del lago se puede revertir incrementando el oxígeno disuelto, no solo en la superficie sino en toda la columna de agua (3).

Las gráficas 5 y 6 presentan los valores de demanda química de oxígeno en las dos estaciones muestreadas, la evaluación registró valores de DQO estadísticamente similares. El centro Este reportó medias que van de 30.37 a 30.48 que corresponden a las condiciones antes y a partir de la de aireación respectivamente, el centro Oeste reportó medias de 34.30 antes y 30.44 a partir de la aireación, con un valor $P = 0.22$. Los datos estadísticos muestran que no existe diferencia significativa entre las condiciones antes y durante la aireación y los valores para ambos lados se encuentran por encima de los valores máximos permisibles (DQO = 10 mg/l) según el estándar métodos (24).

Sin embargo el análisis gráfico muestra valores de DQO que alcanzan concentraciones de 5 y hasta 1 mg/l en ambos lados a partir de la aireación artificial, a diferencia de los valores más bajos reportados antes de la aireación que oscilaban entre 25 y 21 mg/l. La tendencia a disminuir de la demanda química de oxígeno observada en las estaciones 1 y 2 solo puede deberse a que el contenido de materia orgánica oxidable a disminuido como consecuencia de la aplicación de aireación artificial en el lago y porque hay más oxígeno disuelto en el agua (29).

Las gráficas 7 y 8 representan los valores de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) en los centros del lago, la DBO disminuyó significativamente a partir de la aireación según el análisis estadístico, mostrando el centro del lado Este una variación promedio de 12.51 antes y 6.46 a partir de la aireación respectivamente. El centro del lado Oeste registró valores promedio de 14.01 a 9.23, un valor $P < 0.00001$ y con tendencia a disminuir. Los datos obtenidos muestran que existe diferencia significativa en cuanto a la condición antes y a partir de la aireación del lago, siendo menor la demanda bioquímica de oxígeno a partir de la aplicación de la aireación artificial. La evolución de la DBO en el tiempo fue variable y en constante disminución. A partir de la aireación se registraron DBO de 32 mg/l para el centro del lado Oeste y 16 mg/l para el centro del lado Este como valores más altos, los valores más bajos registraron una DBO de 1 mg/l para ambos centros del lago (ver Anexo 5 y 6). Según la norma el máximo aceptable de DBO es 5 mg/l y el máximo tolerable de 10 mg/l (26). Según los datos obtenidos, la de DBO ha disminuido significativamente lo que indica que la aireación artificial sí es eficaz.

En el año 1993 Basterrechea M. (39) realizó un estudio sobre nutrientes y parámetros de calidad para evaluar procesos de eutrofización en el lago de Amatitlán, este estudio reportó parámetros de DBO de 59 mg/l para el río Villalobos, los otros tributarios reportan una DBO de 4 mg/l, mientras que la medida reportada para un sector del lago es de 22 mg/l de DBO y que era significativamente diferente a otro sector que reportó una DBO de 3 mg/l. La DBO es el parámetro de contaminación orgánico más utilizado y aplicable a las aguas residuales y superficiales, con este dato se puede calcular la velocidad a la que se requerirá el oxígeno. Es necesario indicar que la renovación de oxígeno disuelto es un proceso continuo, por lo que su disminución puede sugerir una demanda bioquímica alta, por lo tanto es necesario que la aireación artificial sea continua para poder elevar los niveles de oxígeno disuelto y disminuir la demanda bioquímica de oxígeno (29).

Las gráficas 9 y 10 representan los valores de nitrógeno de nitratos a lo largo del estudio en las estaciones muestreadas, los resultados indicaron que sí existe diferencia significativa, manifestándose medias de 0.33 antes y 0.76 mg/l a partir de la aireación respectivamente para el centro del lado Este y 0.43 a 1.24 mg/l para el centro lado Oeste, el valor $P < 0.00001$, lo que sugirió que los valores de nitrógeno de nitrato se elevan considerablemente con respecto a los muestreos realizados antes de la instalación de los aireadores (ver Anexo 5 y 6). Comparando las medias estadísticas observamos un incremento en los niveles de nitrógeno de nitrato, pero analizando los resultados por separado se observa que los valores más bajos se registraron después de la aireación artificial. La elevación de este parámetro debe relacionarse con factores como temperatura, proceso de volteo en lagos, época del año y el inicio del proceso de aireación artificial ya que de acuerdo con la literatura revisada sobre procesos de aireación artificial, se indica que al inicio del proceso de aireación ciertos parámetros como nitrógeno, fósforo, turbiedad, conductividad y sólidos suspendidos se aumentan debido a que estos equipos extraen el agua del fondo a la superficie. Los valores registrados en el lago se encuentran por debajo del valor máximo aceptable según EPA y Estándar métodos (24, 26).

Las gráficas 11 y 12 esquematizan los valores registrados en la evaluación de fósforo para el centro del lado Este y Oeste. Promediando las concentraciones de fósforo, obtenemos concentraciones aproximadamente altas a partir de la aireación artificial para ambos centros del lago. El comportamiento por estación de muestreo registró medias de 0.27 antes y 0.29 mg/l a partir de la aireación para el centro del lado Este y de 0.38 a 1.65 mg/l para el centro del lado Oeste, con un valor $P < 0.00001$, indicando que existe una diferencia significativa, observándose que la concentración es mayor a partir del proceso de aireación artificial. Sin embargo el análisis gráfico (Anexo 6 gráficas 27 y 28) muestra concentraciones de 0.080 mg/l antes de la instalación de los aireadores (concentración más baja registrada), mientras que la menor concentración registrada a partir de la aireación es de 0.006 mg/l y con tendencia a disminuir (Ver Anexo 5 y 6). El

fósforo es el nutriente principal para la proliferación de algas por lo que es necesario disminuir sus niveles (3). El aporte artificial de nitrógeno y fósforo a la cuenca del lago de Amatitlán es debida al tipo de uso del suelo, como son la actividad agrícola, urbana e industrial (40).

En las gráficas 13 y 14 la conductividad muestra una tendencia a aumentar alcanzando valores de 703 $\mu\text{mhos/cm}$. Estadísticamente la conductividad del centro del lado Este aumentó en promedio de 621.62 a 653.51 y el Oeste de 685.27 a 791.03, con un valor $P < 0.00001$ lo cual sugiere que existe diferencia significativa en cuanto a la aplicación de la aireación, observándose que la conductividad aumenta con la aplicación de la aireación artificial. La conductividad es más elevada en el centro del lado Oeste que en el Este. De esta manera se puede decir que hay una descarga considerable de materiales iónicos en el lado Oeste del lago por el afluente del río Villalobos, debido a las descargas de aguas negras e industriales que desembocan en dicho río. La conductividad no debe ser mayor de 2,250.00 $\mu\text{mhos/cm}$ (26).

Las gráficas 15 y 16 presentan los resultados de la evaluación de la turbiedad en ambos centros del lago. El centro del lado Este del lago de Amatitlán registró una media de 11.94 antes de airear y 12.35 a partir de la aireación y el centro del lado Oeste registró medias de 11.75 antes y 14.99 a partir de la aireación respectivamente, con un valor $P = 0.0401$ indicando que estadísticamente existe diferencia significativa con relación a condición antes y a partir de la aireación, observándose que la turbiedad es mayor a partir del proceso de aireación artificial. Analizando la grafica No. 31 observamos que el centro del lado Este del lago antes de la aireación artificial presentaba una tendencia a aumentar (Ver Anexo 6 gráfica 31), mientras que con la aplicación de la aireación artificial los valores de turbiedad alcanzaron niveles de 2 unidades nefelométricas de turbiedad (UNT) y presentan una línea de tendencia a disminuir. La disminución de la turbiedad nos indica que se ha reducido la sobrepoblación de algas y sólidos disueltos mejorando la calidad del agua del lago de Amatitlán.

Todos los analitos evaluados a partir de la aireación artificial han alcanzado los rangos permisibles según las normas de requisitos de calidad de cuerpos receptores aguas naturales y EPA (26). Lo que demuestra que la calidad del agua del lago ha mejorado con la aplicación de la aireación artificial y que se debe continuar con este proceso, para lograr la meta de rescatar el lago de Amatitlán en un corto plazo.

10. CONCLUSIONES

- 10.1 La aireación artificial, contribuye a aumentar los niveles de oxígeno disuelto en el agua del lago de Amatitlán, además contribuye a la disminución del potencial de hidrógeno (pH), demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO).
- 10.2 La demanda bioquímica de oxígeno es el parámetro sobre el que causó mayor efecto el proceso de aireación artificial, contribuyendo a disminuir sus niveles.
- 10.3 En el centro del lado Este del lago de Amatitlán se observó una mejor calidad del agua de acuerdo a los resultados de los analitos estudiados con el tratamiento de aireación artificial, que en el centro del lado Oeste, debido a que el lado Oeste continúa recibiendo toda la contaminación proveniente del río Villalobos.
- 10.4 Se registró un incremento en las concentraciones de fósforo de fosfato y nitrógeno de nitratos, a partir de la aplicación de la aireación artificial como resultado de la recirculación del agua del fondo a la superficie producida por los aireadores.
- 10.5 Existe diferencia significativa entre las concentraciones de los analitos: potencial de hidrógeno, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), nitrógeno de nitratos (NO_3^-) fosfato (PO_4^{3-}), conductividad y turbiedad evaluados a partir de la aplicación de la aireación artificial respecto a los evaluados antes de la aireación artificial.
- 10.6 Todos los analitos evaluados a partir de la aireación artificial se encuentran dentro de los rangos permisibles según las normas de requisitos de calidad de cuerpos receptores aguas naturales y EPA (26).

11. RECOMENDACIONES

- 11.1 Debido a su importancia agrícola, económico, social, deportivo y turístico, es necesario continuar los monitoreos en ambos centros del lago de Amatitlán para conocer como fluctúan los parámetros de calidad a través del tiempo con la aplicación de la aireación artificial, debido a que esta investigación es solo sobre una parte de lo que comprende el “Megaproyecto de rescate del lago de Amatitlán”.
- 11.2 Efectuar monitoreos y cuantificar el grado de contaminación proveniente del río Villalobos antes de ingresar al lago, con el fin de implementar medidas correctivas y desarrollar normativas que regulen la contaminación en las descargas.
- 11.3 Combinar la determinación de nutrientes: especialmente fósforo y nitrógeno e implementar las técnicas para la determinación de concentraciones de clorofila A y B; por ser los elementos que más influyen en la producción de algas en el lago.
- 11.4 Evaluar el funcionamiento y eficacia de las nuevas plantas de tratamiento construidas en el río Villalobos, a través de la determinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, con el fin de determinar en que medida estas contribuyen a reducir el grado de contaminación que ingresa al lago.
- 11.5 Agilizar el proyecto de canalización y tratamiento de las aguas negras que desembocan al río Villalobos para evitar que el lago reciba toda la contaminación proveniente de la región sur de la capital y de la cuenca del río Villalobos, y de esta manera contribuir a la recuperación del lago.
- 11.6 Combinar la determinación de coliformes con el aislamiento e identificación de microorganismos patógenos tales como: *Salmonella sp.*, *Vibrio cholerae*, *Shigella sp.* y parásitos.
- 11.7 Implementar normas guatemaltecas, que determinen los límites permisibles en aguas naturales, para los parámetros físicos y químicos.

12. REFERENCIAS

1. Autoridad para el Manejo Sustentable de la cuenca y del lago de Amatitlán, Presidencia de la República. Boletín Informativo. Guatemala: AMSA 2002. 12p.
2. Unda F. Ingeniería sanitaria aplicada a saneamiento y salud pública. México: ed. Hispano-Americana, 1969. 870p. (p.58-311, 389 – 459)
3. The Washington lake book; lake Characteristics. Disponible en www.ecy.wa.gov/programs/wq/plants/lakes/characteristics.html
4. Margalef R. Limnología, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, Centro de consulta del Agua. Edición Omega, S.A., Barcelona 1983. 1001p. (p.667 – 701)
5. Hilton AC. La cuenca y el lago de Amatitlán. Guatemala: Autoridad para el Manejo Sustentable y la cuenca del lago de Amatitlán, 2002. 32p. (p.3 – 20)
6. Padilla A. Caracterización limnológica del lago de Amatitlán. Guatemala: Autoridad para el Manejo Sustentable y la cuenca del lago de Amatitlán, Do. Tec., 1996 (p. 9 – 13).
7. Asturias JF. Programa de recuperación ambiental del lago de Amatitlán. Guatemala: Autoridad para el Manejo Sustentable y la cuenca del lago de Amatitlán, 1998. 132p. (p. 3 – 12)
8. Autoridad para el Manejo Sustentable y la cuenca del lago de Amatitlán, Presidencia de la República. Caracterización Físico – Biótica. ed. Guatemala: AMSA, 1998. VI+18p. (p. 7 – 14)
9. Comité del Lago de Amatitlán. Amatitlán y YO. ed. Guatemala: Comité del Lago de Amatitlán, 1998. VII+77p. (p. 11 – 37).
10. De la Cruz R. Clasificación de la zona de vida de Guatemala basada en el sistema Holdridge. Guatemala: Instituto Nacional Forestal (INAFOR). 1982
11. Rodríguez C. “et al”. Calidad del agua de una laguna recreacional del centro – oeste de la provincia de Córdoba, Argentina. 2003.
12. Autoridad para el Manejo Sustentable y la cuenca del lago de Amatitlán. La Revista Hídrica. ed. Guatemala: AMSA, 1999. Vol. IV+20p. (p. 8 – 11)
13. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales. El canon ambiental por vertidos; Un instrumento económico para el control y prevención de la contaminación hídrica en Guatemala. ed. Guatemala: 2003. 32p. (p. 4 – 11)
14. CLEAN-FLO. Improve water quality improve water quality in lakes, ponds, rivers and reservoirs us inversion, oxygenation and aeration with buffered alum phosphate precipitant. Disponible en <http://www.clean-flo.com/restoration/lakes.htm>
15. Quiroz J. Análisis económico de la contaminación de aguas en América Latina, Chile: Centro Internacional para el Desarrollo Económico (CINDE), 1995. 446p. (p. 384 – 426).
16. Basterrechea M. Década de estudios limnológicos 1985 – 1995. Guatemala: Academia de Ciencias Médicas, Físicas y Naturales de Guatemala, 1997. 42p. (p.1 – 20)

17. CEPAL. Instrumentos económicos para el control de la contaminación hídrica: Condiciones y casos de aplicación. 2000. (p. 11 – 12)
18. Krishnamurthy K. Radiation disinfection of waste waters in Guatemala city and It's environs. Guatemala: Technical cooperation expert mission report, Do. Tec. 1994. 16p. (p. 3 – 8)
19. Cajas N. Identificación de endo y ecto - parásitos en jaulas de peces del lago de Amatitlán. CEMA, 1998.
20. Cajas N. Aislamiento de *Escherichia coli* y *coliformes totales* en branquias, músculo y piel de peces que habitan el lago de Amatitlán. Ed. Guatemala: 1998.
21. Oxygenating ing. 2002; 7p. Disponible en <http://www.ilec.or.jp/database/nam/nam-41.htm>.
22. Malibu Water Resources, Pond aeration project. 800 490-9170 Koenders pond aeration Windmills & Electric aerators. 2003; 17p. (p. 1 – 12). Disponible en <http://www.malibuwater.com/Aeration.html>
23. Laing RL. Control disease bacteria in lakes, ponds and rivers for swimming, and in reservoirs for potable water treatment plants. CLEAN-FLO INTERNATIONAL: 1999; 14p. (p. 1 – 14)
24. APHA (American Public Health Association), Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th Edition; 1999. 1134p.
25. Metcalf & Hedí, INC. WASTEWATER ENGINEERING; Treatment, disposal, and reuse. 3ra. ed. McGraw-Hill, Inc. 1991. 1334p. (p. 91-95, 590-600).
26. Agencia de Protección Ambiental (EPA). Condiciones de calidad de agua en Estados Unidos. EPA: 1998. disponible en: <http://www.epa.gov/305b/>
27. Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR). Normalización en Guatemala; Ministerio de Economía de Guatemala.
28. Manual de laboratorio de análisis de aguas de Autoridad para el Manejo Sustentable de la cuenca y del lago de Amatitlán.
29. Hurtarte DP. Comparación de algunos parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos de las micro-cuencas Pansalic y Pancocha en época seca y lluviosa. Guatemala: USAC, (Tesis de graduación, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 1995. 67p.
30. Schwoerbel J. Métodos de hidrobiología. Haering FJ, trad. España: Blume, 1975 (p. 14 – 30)
31. MERCK. Aquamerck laboratory, for water analysis. Alemania: Merck, 1991. (p. 1 – 37)
32. Fernandez J. "et al". Manual de fito-depuración. España: Edita, 2005. 143p. (p. 13 – 22)
33. Gil IP. Comparación y cuantificación de *coliformes totales*, *coliformes fecales* y *Escherichia coli*, en siete microcuencas del lago de Amatitlán: Chanquin, El Frutal, Guadrón, San Lucas, Zacatal y Zanjón la Palín. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, (tesis de graduación Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia) 2001. 53p.

34. Herrera KL. Indicadores biológicos de la calidad del agua del Río Polochic y de la integridad biológica del lago de Izabal. Guatemala: Universidad del Valle Guatemala, (tesis de graduación, Facultad de Ciencias y Humanidades Departamento de Biología) 1999. 96p.
35. Eutrophic lake & drinking water reservoirs 2003. Disponible en www.keetonaquatics.com/aerationhtml.htm.
36. <http://aceis.agr.cap/pfra/water/facts/h2aerate.pdf>.
37. Autoridad para el Manejo Sustentable y la cuenca del lago de Amatitlán, Presidencia de la República de Guatemala. Megaproyecto rescate del lago de Amatitlán. Guatemala: 2006. 6p.
38. Solar Bee. Information on improving the water quality in your wastewater pond, lake, or reservoir. USA: Pump System, INC., 2002. disponible en <http://www.solarbee.com/picts.tpl>
39. Basterrechea M, "et al". Determinación de nutrientes y otros parámetros de calidad de agua para evaluar el proceso de eutrofización en el lago de Amatitlán, Guatemala 1993. (p. 13-21)
40. Basterrechea M. Comparative limnology and the eutrophication of a warm lake: Lake Amatitlan. Estados Unidos: University Iowa, PhD. Dissertation, 1984. (p. 3-7)

13. ANEXOS

ANEXO No. 1

FOTO SATELITAL DEL LAGO DE AMATITLAN

LOCALIZACION DE AIREADORES Y ESTACIONES DE MUESTREO



Foto satelital del Lago de Amatitlan (Extraído de Google earth).



ANEXO No. 2
AUTORIDAD PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE LA
CUENCA Y DEL LAGO DE AMATITLÁN -AMSA-

LOCALIZACIÓN DE LOS OXIGENADORES DEL LAGO DE AMATITLÁN

No. de Oxigenador	Localización	Georeferencia
1	Villa Canales (Fam. Escamilla)	N 14°26´44.6″ W 090°32´00.2″
2	Finca Belén	N 14°25´18.9″ W 090°32´27.0″
3	Tacatón (Fam. García Granados)	N 14°26´42.5″ W 090°33´41.6″
4	Frente Club de Remo	N 14°29´23.9″ W 090°36´35.5″
5	Finca el Zapote	N 14°26´43.2″ W 090°32´49.9″
6	Finca Zapote (Flores Asturias)	N 14°27´59.4″ W 090°34´03.9″
7	Los Sauces (Frente Club de Vela)	N 14°25´45.9″ W 090°33´06.3″
8	Villa Canales	N 14°26´33.9″ W 090°32´07.5″
9	Aldea El Salitre	N 14°28´26.8″ W 090°36´15.3″
10	La Barca (Fam. Cohen)	N 14°29´07.7″ W 090°35´56.5″
11	Belén	N 14°25´27.8″ W 090°32´36.6″
12	Frente a Club El Morlon	N 14°29´05.8″ W 090´36´30.3″
13	Después del Relleno Oeste-Este	N 14°27´06.8″ W 090°33´56.0″
14	El Zapote II	N 14°26´55.7″

		W 090° 33´25.7´´
15	EL Zapote III (Frente al Club Guatemala)	N 14°27´04.3´´ W 090° 33´28.5´´
16	El Zapote IV (Frente a la aldea Cerritos)	N 14° 27´23.1´´ W 090°33´53.8´´
17	El Zapote (a la par de Oxigenador de Flores Asturias)	N 14°27´53.3´´ W 090°34´04.3´´
18	Frente a Playa Pública	N 14°29´18.7´´ W 090°36´36.9´´

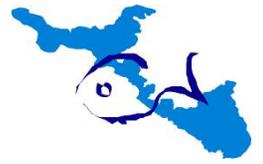
FUENTE: Monitoreo 2005, División Control, Calidad Ambiental y Manejo de Lagos

ANEXO No. 3

MAPA DEL LAGO DE AMATITLÁN



Fig. No. 1. Mapa del Lago de Amatitlán (Hoja No. 1:50,000 Instituto Geográfico Militar)



ANEXO No. 4
AUTORIDAD PARA EL MANEJO SUSTENTABLE DE LA
CUENCA Y DEL LAGO DE AMATITLÁN -AMSA-

División de Control, Calidad Ambiental y Manejo de los Lagos

Análisis de Campo, Monitoreo de Plantas de Tratamiento, Ríos, Industrias y Lagos.

Fecha: _____ Latitud: _____

Lugar: _____ Longitud: _____

Hora: _____

Personal que Realiza Análisis de Campo: _____

Transparencia: _____ mt.

Prof. (mts.)	Temperatura (°C)	Conductividad (µmhos/cm)	Salinidad (%)	T.D.S (mg/l)	Oxígeno Disuelto (mg/l)	Oxígeno Disponible (%)	P.O.R (mv)	pH (U)
0								
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								

ANEXO No. 5

PARAMETROS FISICOQUIMICOS MONITOREADOS ANTES Y DESPUES DE LA AIREACION CENTRO LADO ESTE DEL LAGO DE AMATITLAN

Condición	FECHA	pH	T°C	O2 DIS.	DQO	DBO5	P Total	Conduc.	TURB.	NO3
		U		mg/lt	mg/lt	mg/lt	mg/lt	µmhos/cm	UTN	mg/l
1	1/27/2000	7.75	N.D.	8.89	26	12	0.100	610	4.5	0.180
1	2/10/2000	7.81	N.D.	8.86	21	11	0.100	585	6.8	0.130
1	2/24/2000	8.01	N.D.	8.91	23	13	0.090	591	6.1	0.100
1	3/9/2000	8.11	N.D.	8.79	22	10	0.090	589	6.8	0.100
1	3/23/2000	8.91	N.D.	8.97	24	11	0.080	591	6.8	0.180
1	4/13/2000	8.94	N.D.	8.90	23	15	0.090	587	6.4	0.160
1	4/27/2000	8.97	N.D.	8.79	29	16	0.120	582	5.9	0.140
1	5/7/2000	8.94	N.D.	9.01	29	18	0.190	549	5.9	0.260
1	6/14/2000	8.58	N.D.	5.45	32	16	0.210	605	7.8	0.280
1	7/18/2000	8.57	N.D.	4.21	28	15	0.240	599	8.6	0.360
1	8/17/2000	8.53	N.D.	6.98	34	14	0.190	609	9.2	0.250
1	9/13/2000	8.61	N.D.	7.89	29	13	0.200	589	8.7	0.210
1	10/18/2000	8.61	N.D.	8.21	31	18	0.230	571	6.9	0.250
1	11/22/2000	9.05	N.D.	9.81	34	11	0.220	546	7.9	0.230
1	1/17/2001	8.85	N.D.	4.56	36	17	0.260	584	8.9	0.300
1	2/14/2001	8.69	N.D.	5.32	35	18	0.310	523	9.8	0.350
1	3/21/2001	8.84	N.D.	8.94	34	19	0.210	587	10.2	0.280
1	4/18/2001	8.74	N.D.	9.06	29	21	0.350	598	11.2	0.380
1	5/16/2001	8.86	N.D.	8.97	28	12	0.230	601	9.8	0.270
1	6/13/2001	8.56	N.D.	8.21	26	13	0.320	689	12.2	0.330
1	7/18/2001	8.54	N.D.	9.65	24	12	0.210	701	15.1	0.240
1	8/14/2001	8.32	N.D.	8.65	34	15	0.360	689	13.5	0.390
1	9/12/2001	8.61	N.D.	8.32	33	12	0.350	589	14.2	0.380
1	10/18/2001	8.62	N.D.	4.32	32	16	0.350	602	15.4	0.380
1	11/12/2001	8.63	N.D.	5.06	38	19	0.210	600	15.4	0.310
1	11/14/2001	8.59	N.D.	5.02	36	15	0.510	599	13.5	0.610
1	12/12/2001	9.00	N.D.	7.85	32	15	0.210	623	13.5	0.320
1	1/24/2002	8.25	N.D.	7.59	28	9	0.230	656	13.5	0.450
1	2/14/2002	8.96	N.D.	8.06	35	8	0.510	589	14.5	0.610
1	3/13/2002	9.01	N.D.	8.99	29	10	0.360	658	18.9	0.420
1	5/8/2002	8.59	N.D.	6.59	36	11	0.250	702	16.3	0.350
1	8/14/2002	8.12	N.D.	7.06	35	6	0.310	698	14.2	0.410
1	9/11/2002	8.26	N.D.	8.03	24	11	0.260	589	16.2	0.350
1	10/3/2002	8.25	N.D.	7.98	26	9	0.240	659	15.4	0.320
1	11/7/2002	7.99	N.D.	5.98	35	8	0.360	684	17.8	0.410
1	1/16/2003	8.06	N.D.	6.87	38	6	0.280	703	16.5	0.320
1	2/5/2003	8.26	N.D.	7.85	34	8	0.390	639	17.1	0.460
1	4/10/2003	9.06	N.D.	8.69	30	9	0.520	687	16.3	0.550
1	4/12/2003	8.54	N.D.	8.26	29	7	0.360	658	15.2	0.450
1	6/11/2003	8.89	N.D.	7.95	28	10	0.390	626	14.1	0.450
1	8/10/2003	8.54	N.D.	8.32	26	12	0.540	659	16.2	0.650
1	9/11/2003	8.96	N.D.	7.89	35	8	0.370	648	14.2	0.410
1	9/25/2003	8.75	N.D.	8.03	36	9	0.450	687	16.2	0.620
2	10/1/2003	8.65	26.40	11.71	39	5	0.210	631	11.0	2.600
2	11/5/2003	8.66	24.30	11.21	40	6	0.210	632	16.0	2.900

2	7/15/2004	7.69	24.7	10.29	34	3	0.100	N.D.	18.0	0.010
2	7/22/2004	7.57	26.1	13.62	32	4	0.110	N.D.	7.0	N.D.
2	8/12/2004	7.76	25.60	8.30	39	3	0.020	637	18.0	1.440
2	8/19/2004	7.62	25.2	9.10	27	2	0.130	N.D.	N.D.	N.D.
2	8/26/2004	7.71	25.30	8.22	45	2	0.130	631	8.0	1.200
2	9/9/2004	7.70	25.20	6.89	22	9	0.270	632	11.0	0.030
2	9/23/2004	7.85	24.40	5.58	16	7	0.180	634	12.0	N.D.
2	9/30/2004	7.71	25.10	7.05	23	8	0.050	633	10.0	N.D.
2	10/13/2004	7.41	24.20	6.52	12	4	0.210	632	8.6	0.030
2	10/21/2004	7.80	24.8	11.40	20	8	0.090	N.D.	18.0	0.022
2	1/13/2005	7.70	22.1	10.20	20	5	0.860	651	10.0	0.021
2	2/3/2005	7.58	22.40	7.58	18	6	0.054	629	9.0	N.D.
2	3/3/2005	6.80	29.8	4.20	13	6	0.520	658	6.0	N.D.
2	3/10/2005	7.58	22.30	7.54	15	7	0.190	629	12.0	N.D.
2	4/28/2005	7.02	24.00	3.90	8	3	0.800	685	2.0	1.500
2	5/11/2005	8.58	25.00	8.20	50	11	0.030	649	13.0	N.D.
2	6/16/2005	7.20	28.2	4.10	21	10	0.890	690	4.0	0.600
2	8/4/2005	7.2	29.4	4.20	34	16	0.050	670	22.0	0.200
2	8/18/2005	6.85	19.7	4.55	27	12	0.090	665	9.0	0.700
2	9/1/2005	7.75	20.5	4.15	24	9	0.520	670	19.0	0.050
2	9/29/2005	7.7	23	5.10	19	8	0.380	663	14.0	1.000
2	10/6/2005	8.56	23.9	4.42	20	8	0.040	664	15.0	0.100
2	10/27/2005	7.6	23.8	11.13	20	10	0.040	658	14.0	0.700
2	11/3/2005	7.57	23.1	4.12	13	5	0.270	659	17.0	0.900
2	1/5/2006	7.53	22.6	15.62	1	1	0.070	665	7.0	1.800
2	1/12/2006	8.58	22.1	9.86	20	8	0.040	655	10.0	1.000
2	1/19/2006	8.37	21.3	6.98	7	2	0.080	654	11.0	0.500
2	2/2/2006	8.79	22.5	6.58	48	10	0.330	660	18.0	N.D.
2	2/23/2006	8.64	23.2	14.17	4	6	0.690	652	15.0	0.900
2	3/2/2006	8.98	24.4	13.43	32	10	1.920	654	17.0	0.300
2	3/9/2006	8.98	22.5	9.62	14	N.D.	0.045	658	13.0	1.300
2	3/30/2006	9.04	25.5	9.80	37	N.D.	0.700	663	17.0	0.300
2	4/20/2006	8.5	24.6	13.08	20	N.D.	0.210	654	9.0	0.400
2	4/27/2006	9.51	25.7	12.06	14	4	0.010	661	14.0	0.400
2	5/4/2006	9.76	27.9	8.55	6	2	0.006	655	19.0	0.500
2	5/11/2006	9.54	27.6	14.39	24	10	0.430	656	10.0	0.500
2	5/18/2006	9.43	27.4	10.53	8	N.D.	0.004	655	7.0	0.200
2	5/25/2006	8.49	25.0	7.29	34	N.D.	0.034	648	20.0	0.600
2	6/1/2006	9.64	26.0	13.21	N.D.	N.D.	0.380	640	4.0	1.100
2	6/8/2006	9.41	24.9	8.64	22	4	2.300	883	8.0	0.400
2	6/15/2006	9.34	25.50	8.90	20	8	0.160	636	15.0	0.300
2	6/22/2006	9.45	25.30	7.72	18	4	1.300	628	18.0	0.100

Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos.

Autoridad del lago de Amatitlán, 2000 - 2006

Condición 1 = antes de la aplicación de aireación artificial

Condición 2 = después de la aplicación de aireación artificial

N.D. = NO HAY DATOS

PARAMETROS FISICOQUIMICOS MONITOREADOS ANTES Y DESPUES DE LA AIREACION
EN EL CENTRO LADO OESTE DEL LAGO DE AMATITLAN

Condición	FECHA	pH	T°C	O2 DIS.	DQO	DBO5	P Total	Conduc.	TURB.	NO3
		U		mg/lt	ml/lt	mg/lt	mg/lt	µmhos/cm	UTN	mg/l
1	1/27/2000	7.91	N.D.	8.85	25.0	13.0	0.12	689	8.5	0.19
1	2/10/2000	8.06	N.D.	8.81	26.0	10.0	0.11	679	7.8	0.18
1	2/24/2000	7.99	N.D.	8.90	35.0	17.0	0.14	706	7.6	0.19
1	3/9/2000	8.03	N.D.	7.98	27.0	16.0	0.13	709	7.9	0.14
1	3/23/2000	8.09	N.D.	8.96	30.0	14.0	0.13	735	8.1	0.17
1	4/13/2000	8.62	N.D.	8.97	29.0	16.0	0.15	761	8.6	0.18
1	4/27/2000	8.87	N.D.	8.85	27.0	15.0	0.13	770	7.4	0.15
1	5/10/2000	8.85	N.D.	8.32	32.1	17.4	0.18	751	8.9	0.16
1	6/14/2000	7.84	N.D.	8.54	35.1	15.0	0.23	698	9.8	0.21
1	7/18/2000	8.98	N.D.	5.21	29.5	18.0	0.25	712	7.9	0.21
1	8/17/2000	8.62	N.D.	5.64	28.1	17.0	0.35	700	8.9	0.30
1	9/13/2000	8.32	N.D.	6.66	26.5	16.0	0.36	696	10.5	0.31
1	10/18/2000	8.51	N.D.	7.54	28.7	19.0	0.51	695	13.5	0.48
1	11/22/2000	9.02	N.D.	7.06	35.0	20.0	0.25	621	8.9	0.20
1	1/17/2001	8.05	N.D.	8.06	32.0	12.0	0.36	645	9.8	0.32
1	2/14/2001	8.62	N.D.	8.54	31.0	12.0	0.54	652	9.0	0.52
1	3/21/2001	8.95	N.D.	6.98	29.8	13.0	0.35	641	8.7	0.31
1	4/18/2001	8.75	N.D.	7.98	31.2	15.1	0.38	623	8.8	0.34
1	5/16/2001	8.75	N.D.	8.54	25.4	13.2	0.27	651	11.2	0.21
1	6/13/2001	8.92	N.D.	6.87	35.2	15.1	0.39	632	13.2	0.31
1	7/16/2001	8.76	N.D.	5.58	29.8	13.5	0.65	702	15.4	0.58
1	8/14/2001	8.61	N.D.	7.85	31.2	12.4	0.58	703	16.2	0.46
1	9/12/2001	9.01	N.D.	8.32	33.5	16.2	0.36	703	15.2	0.32
1	10/18/2001	8.91	N.D.	8.01	36.2	15.4	0.25	699	12.3	0.34
1	11/12/2001	8.98	N.D.	7.58	25.8	15.4	0.42	698	8.7	0.32
1	11/14/2001	8.63	N.D.	7.95	32.1	13.2	0.32	654	8.9	0.31
1	12/12/2001	8.99	N.D.	7.02	29.1	13.5	0.29	654	8.0	0.64
1	1/24/2002	8.59	N.D.	8.97	32.1	12.4	0.52	676	12.1	0.58
1	2/14/2002	8.75	N.D.	9.85	35.0	15.4	0.44	698	16.4	0.89
1	3/13/2002	9.05	N.D.	9.36	41.1	12.1	0.68	625	15.4	0.92
1	5/8/2002	8.26	N.D.	8.97	45.6	11.1	0.55	701	13.5	0.93
1	8/14/2002	8.68	N.D.	9.32	45.0	10.4	0.45	702	12.4	0.58
1	9/11/2002	8.49	N.D.	9.54	41.5	13.5	0.65	698	16.5	0.98
1	10/3/2002	8.69	N.D.	9.58	45.6	15.4	0.62	687	14.5	0.74
1	11/7/2002	8.79	N.D.	9.32	44.1	13.5	0.43	685	16.5	0.56
1	1/16/2003	8.39	N.D.	8.94	49.5	14.4	0.36	701	18.1	0.46
1	2/5/2003	8.76	N.D.	8.65	44.1	16.5	0.54	695	15.4	0.65
1	4/10/2003	8.69	N.D.	9.05	38.2	14.4	0.65	689	15.4	0.75
1	4/12/2003	8.59	N.D.	8.97	46.2	13.2	0.62	623	16.2	0.69
1	6/11/2003	8.97	N.D.	9.09	37.1	9.0	0.62	658	16.3	0.51
1	8/10/2003	8.58	N.D.	8.99	36.8	8.0	0.54	674	11.1	0.55
1	9/11/2003	8.96	N.D.	9.00	37.4	9.0	0.34	689	12.4	0.39
1	9/25/2003	9.01	N.D.	9.01	39.5	11.1	0.39	687	13.4	0.52
2	2/19/2004	7.04	22.0	7.81	47.0	7	1.7	N.D.	18	1.80
2	2/26/2004	7.61	23.5	1.46	13.0	2	1.88	N.D.	9	0.09

2	3/11/2004	7.25	23.5	1.76	40.0	3	1.6	N.D.	6	N.D
2	3/18/2004	7.35	22.9	1.37	8.0	10	1.86	N.D.	9	3.80
2	3/25/2004	7.98	24.4	2.80	40.0	20	1.76	N.D.	15	2.28
2	4/15/2004	7.61	23.5	1.46	13.0	3	1.88	N.D.	2	0.03
2	5/27/2004	7.82	26.1	4.35	48.0	10	0.84	N.D.	11	N.D
2	6/3/2004	7.64	25.8	9.33	53.0	5	0.98	N.D.	15	0.01
2	6/17/2004	7.47	25.4	7.29	49.0	14	1.04	N.D.	11	0.01
2	6/24/2004	7.50	24.9	6.99	58.0	20	0.87	N.D.	15	0.01
2	7/1/2004	7.56	25.3	7.35	29.0	3	0.78	N.D.	13	0.70
2	7/8/2004	7.48	25.0	7.74	44.0	6	1.1	N.D.	34	2.90
2	7/15/2004	7.50	27.1	3.50	42.0	5	1.2	N.D.	2.6	2.70
2	7/22/2004	7.30	26.5	3.20	47.0	2	0.87	N.D.	37	1.44
2	8/12/2004	7.37	25.5	6.04	32.0	1	0.88	N.D.	N.D.	N.D.
2	8/19/2004	7.44	25.5	16.00	30.0	4	1.05	N.D.	15	1.30
2	8/26/2004	7.35	24.8	11.26	29.0	5	1.2	N.D.	15	N.D.
2	9/2/2004	7.53	25.3	11.30	40.0	10	1.07	N.D.	18	N.D.
2	10/14/2004	7.48	26.7	4.80	51.0	18	1.11	N.D.	N.D.	0.72
2	10/21/2004	7.50	25.9	10.60	48.0	16	1.2	N.D.	19	0.01
2	1/13/2005	7.44	22.9	10.50	35.0	10	3.2	785	11	1.08
2	2/24/2005	6.75	22.5	1.20	24.0	14	1.76	789	27	N.D
2	3/17/2005	6.90	21.9	1.90	32.0	15	1.4	785	N.D.	4.90
2	4/28/2005	7.20	22.8	1.90	25.0	10	1.5	785	20	1.70
2	5/19/2005	7.10	21.0	1.70	19.0	14	2.12	786	10	0.40
2	6/16/2005	6.98	21.9	1.80	28.0	15	2.4	789	45	0.80
2	8/18/2005	6.85	21.8	1.90	31.0	6	1.7	785	19	0.70
2	9/29/2005	7.75	23.0	1.90	19.0	9	1.4	776	15	0.80
2	10/6/2005	7.94	24.1	3.82	21.0	9	1.5	777	34	1.60
2	11/3/2005	6.80	23.6	4.44	13.0	6	1.61	770	16	3.10
2	11/10/2005	7.79	23.6	5.47	6.0	2	1.32	772	18	1.50
2	1/5/2006	7.99	22.7	8.55	20.0	9	1.6	768	10	2.10
2	1/12/2006	7.80	22.1	6.38	26.0	9	1.6	760	7	1.90
2	1/19/2006	7.56	21.7	2.29	5.0	2	1.86	763	9	1.40
2	2/2/2006	7.04	24.4	9.09	34.0	10	1.9	769	11	N.D
2	2/23/2006	7.92	23.5	14.28	37.0	18	2.4	777	25	2.00
2	3/2/2006	8.57	23.4	9.45	24.0	6	2.8	784	14	0.80
2	3/9/2006	8.61	23.0	9.27	18.0	N.D.	1.5	791	7	1.70
2	3/30/2006	8.69	24.0	9.30	38.0	N.D.	2.6	805	2	1.80
2	4/20/2006	8.97	24.9	12.95	48.0	N.D.	2.1	812	15	0.20
2	4/27/2006	9.34	26.0	13.00	34.0	N.D.	2.2	819	15	1.10
2	5/4/2006	9.53	27.6	13.80	30.0	N.D.	2	827	6	1.00
2	5/11/2006	9.50	28.0	19.52	20.0	N.D.	2.49	834	8	0.90
2	5/18/2006	9.23	27.5	12.65	10.0	N.D.	2.2	832	N.D.	0.96
2	5/25/2006	8.99	25.5	7.52	20.0	N.D.	2.02	827	9	0.30
2	6/1/2006	9.33	26.4	8.30	N.D.	N.D.	1.9	814	N.D.	1.70
2	6/8/2006	9.17	25.1	8.86	26.0	8	2.7	810	7	0.60
2	6/15/2006	9.10	26.2	14.00	9	32	8.00	801	19	0.01
2	6/22/2006	9.36	25.0	11.61	28	10	2.60	767	27	0.70

Fuente: División de control, calidad ambiental y manejo de lagos.

Autoridad del lago de Amatitlán, 2000 - 2006

Condición 1 = antes de la aplicación de aireación artificial

Condición 2 = despues de la aplicación de aireación artificial

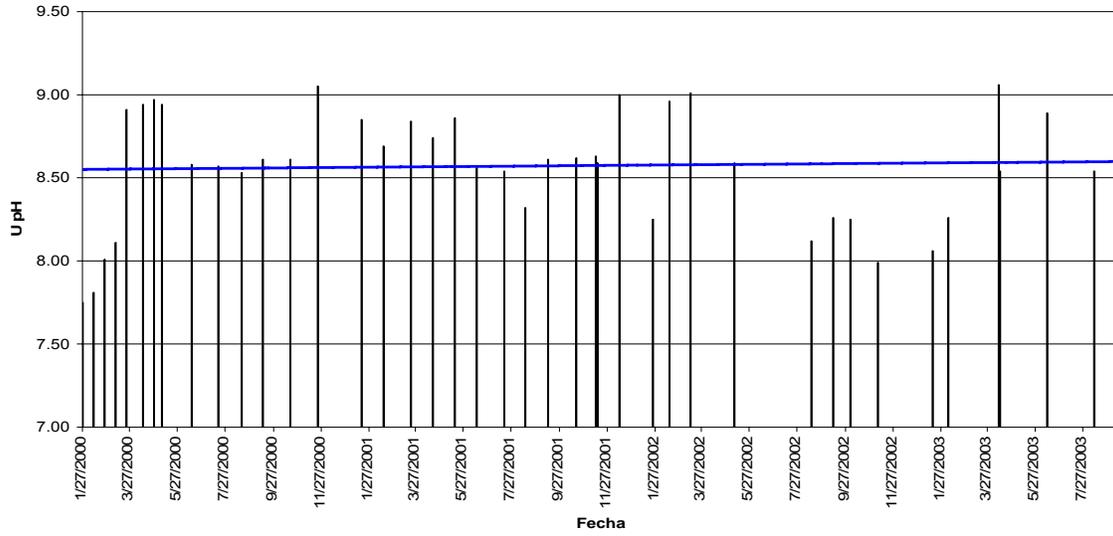
N.D. = NO HAY DATOS

ANEXO No. 6

Gráficas de analitos analizados antes de aplicar aireación artificial al lago de Amatitlán

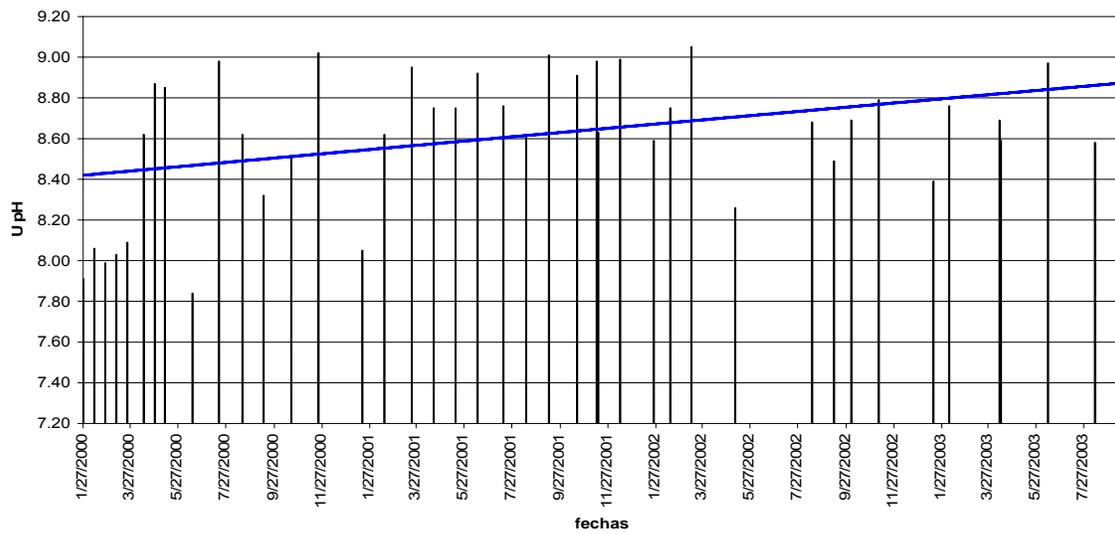
Gráfica No. 17

Potencial de hidrógeno antes de airear centro lado Este del lago de Amatitlán

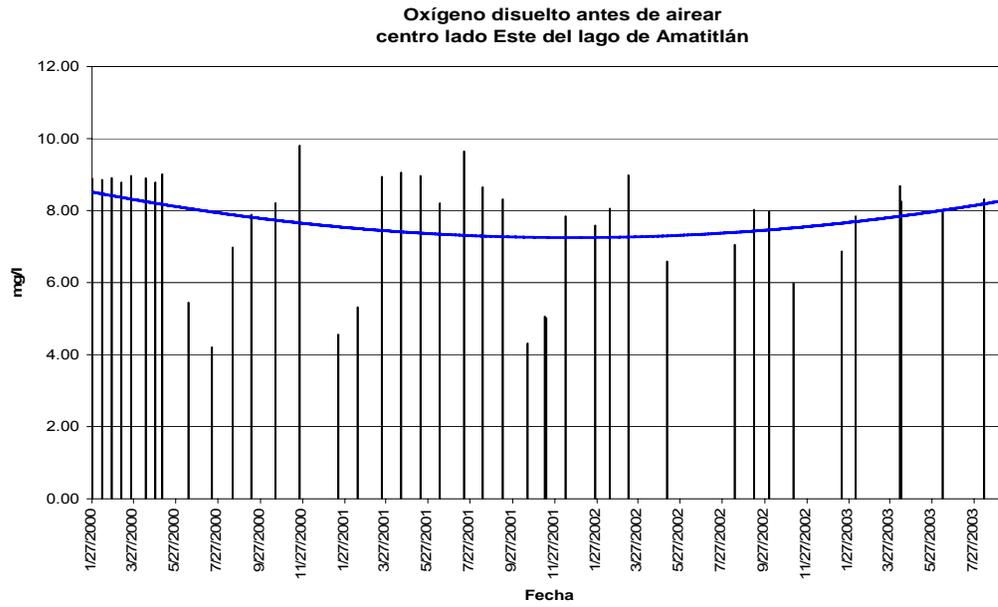


Gráfica No. 18

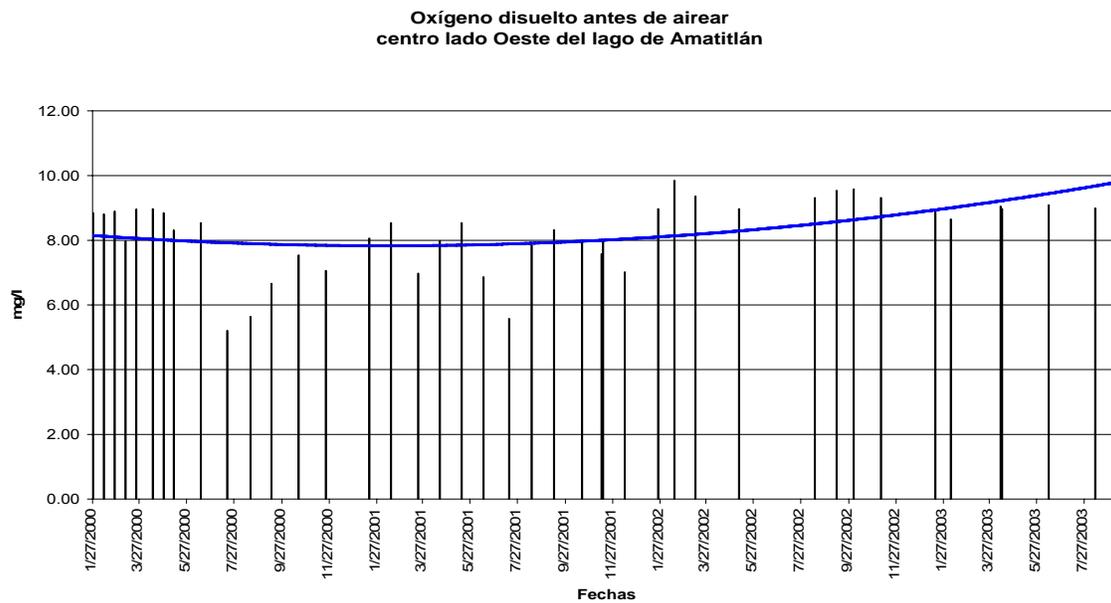
Potencial de hidrógeno antes de airear centro lado Oeste del lago de Amatitlán



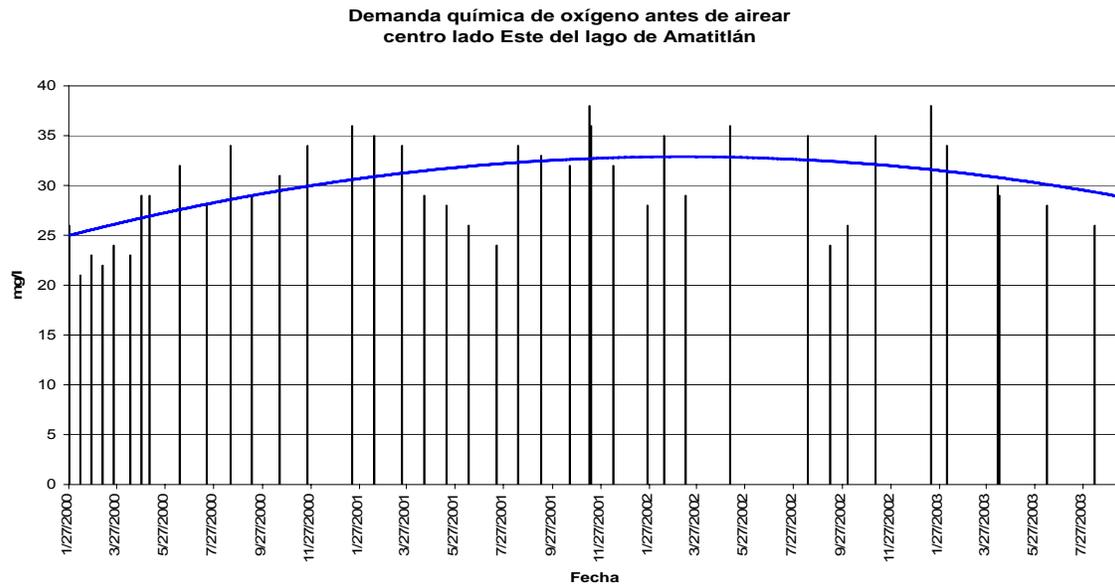
Gráfica No. 19



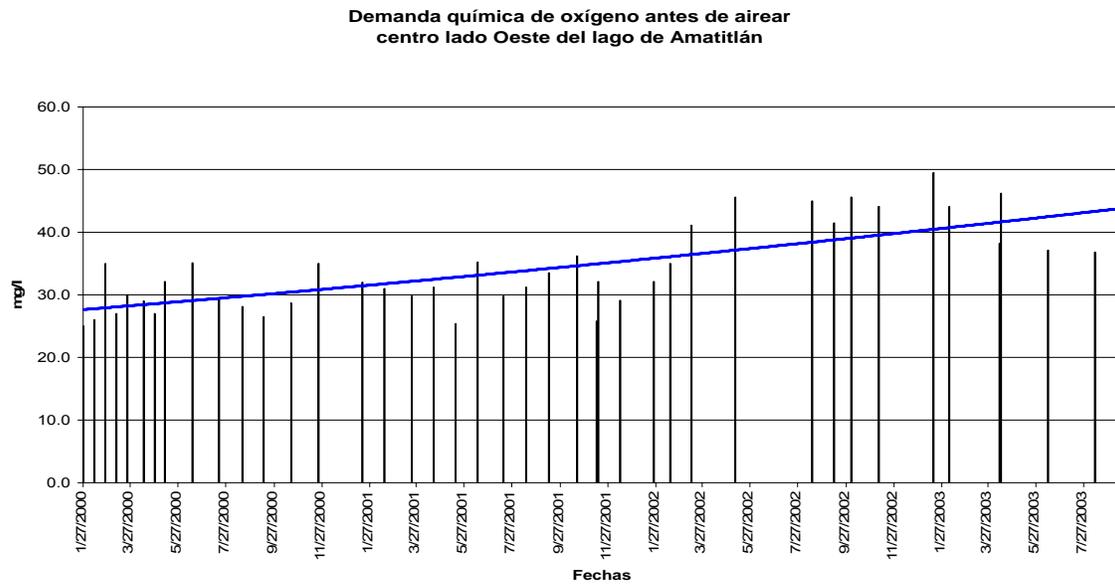
Gráfica No. 20



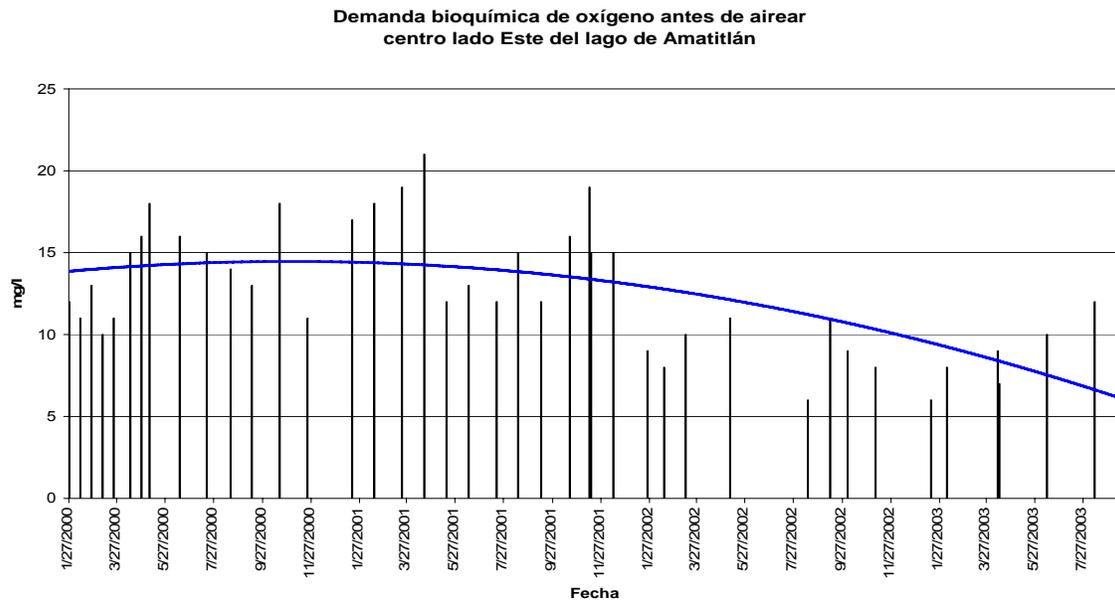
Gráfica No. 21



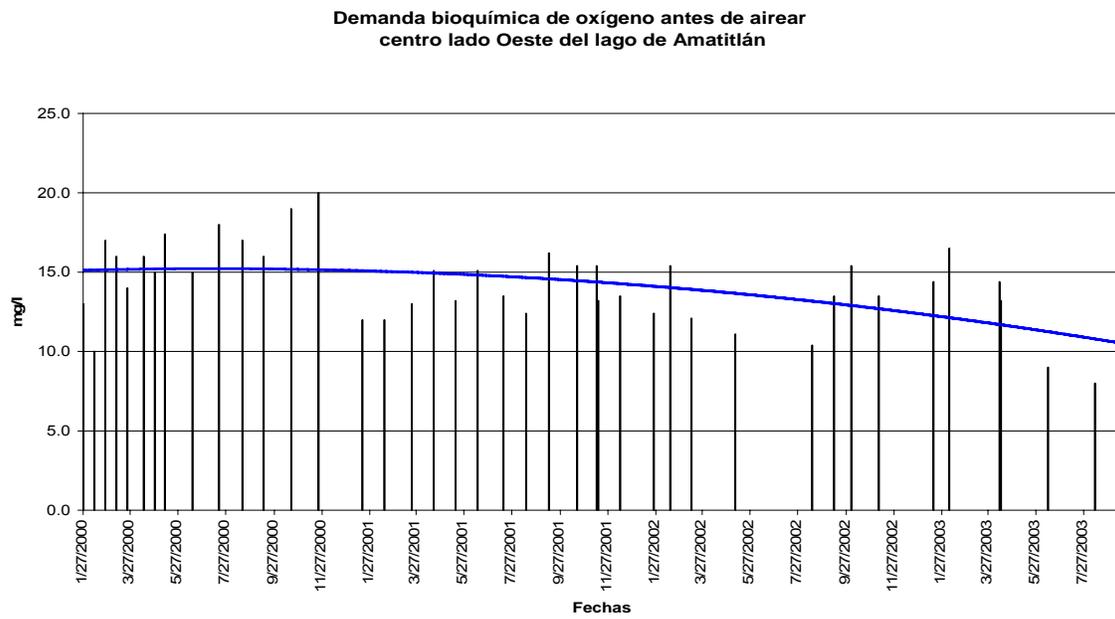
Gráfica No. 22



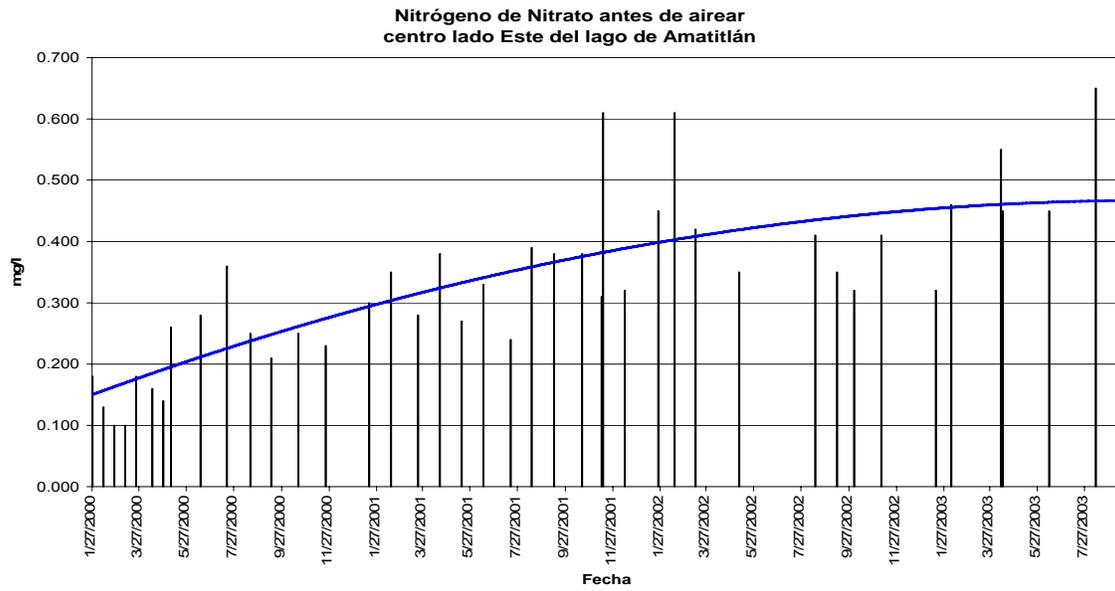
Gráfica No. 23



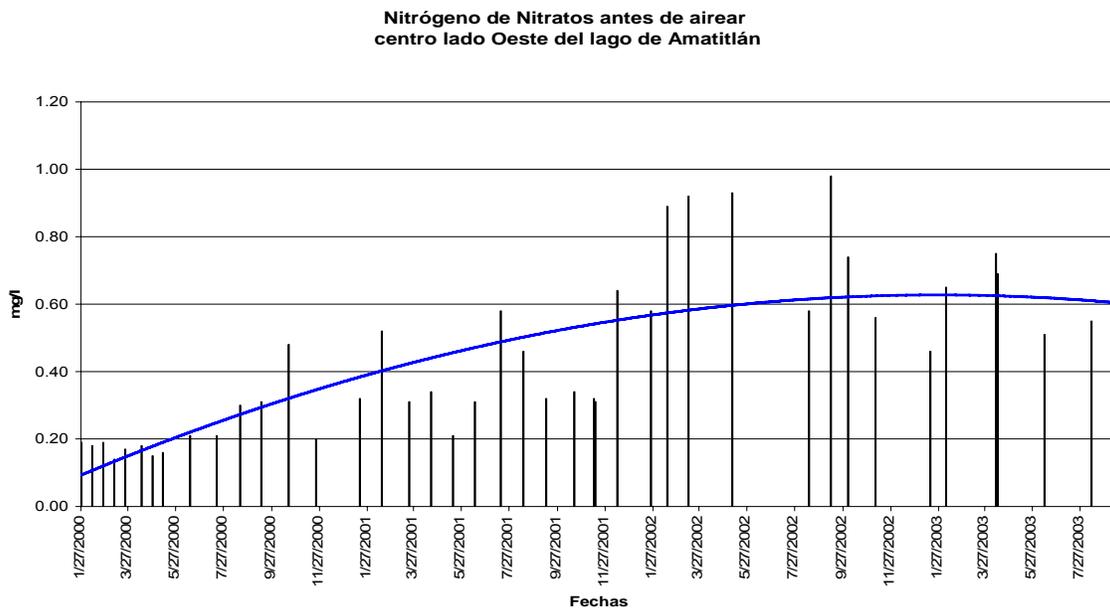
Gráfica No. 24



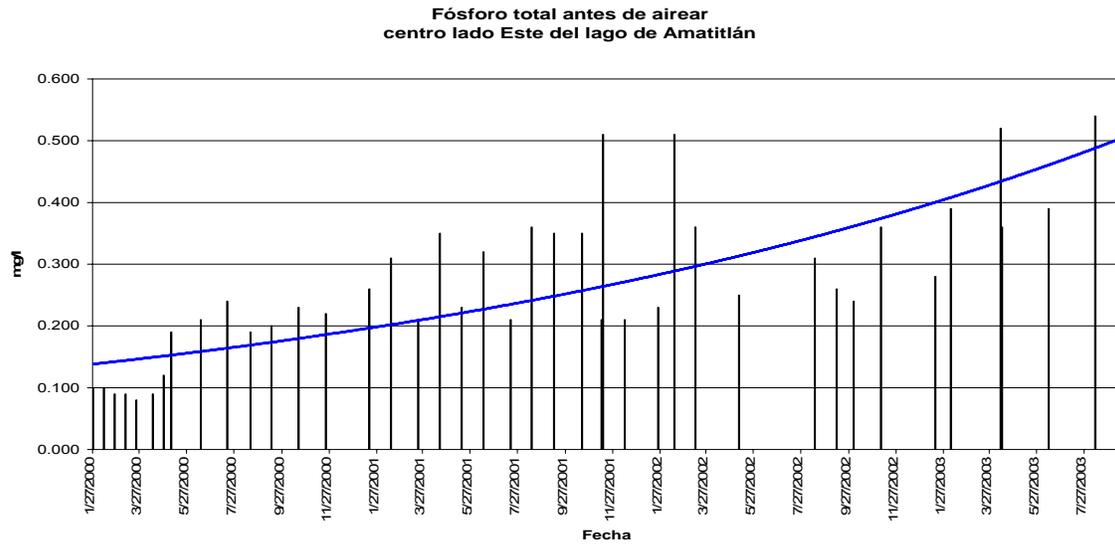
Gráfica No. 25



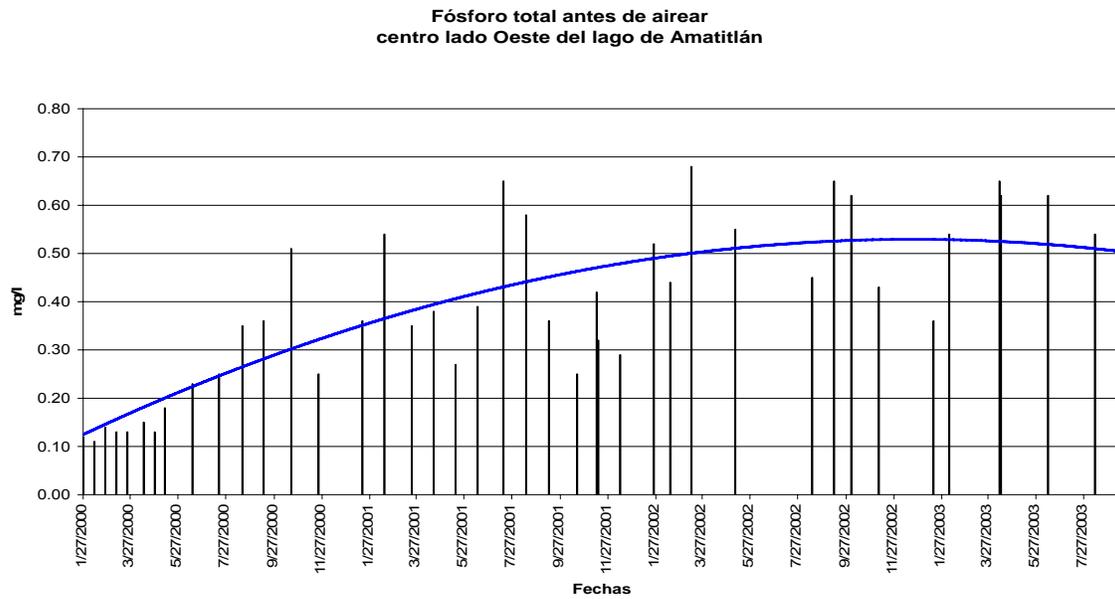
Gráfica No. 26



Gráfica No. 27

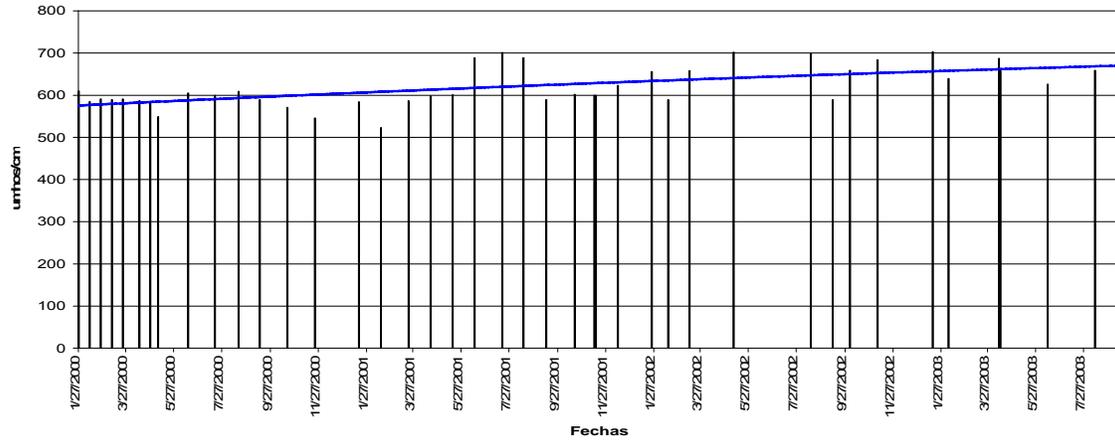


Gráfica No. 28



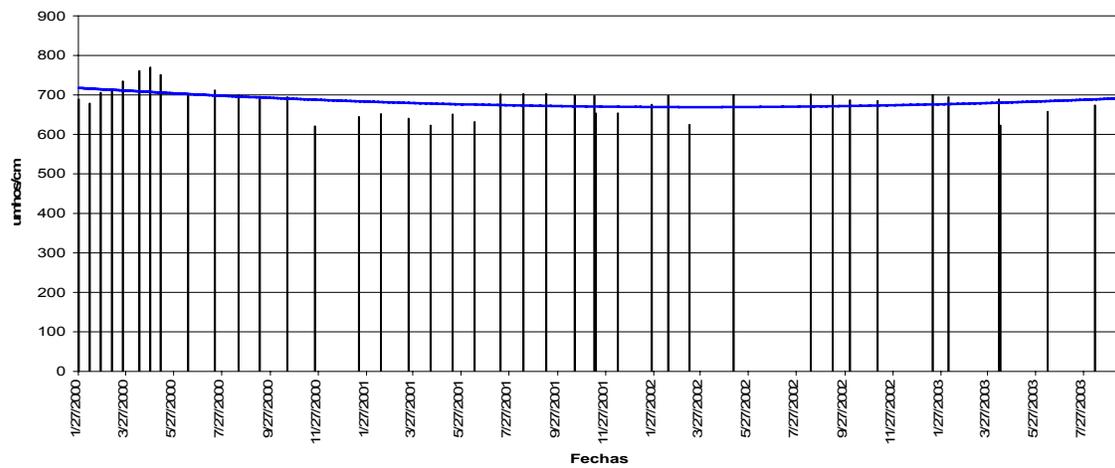
Gráfica No. 29

Conductividad antes de airear
centro lado Este del lago de Amatitlán

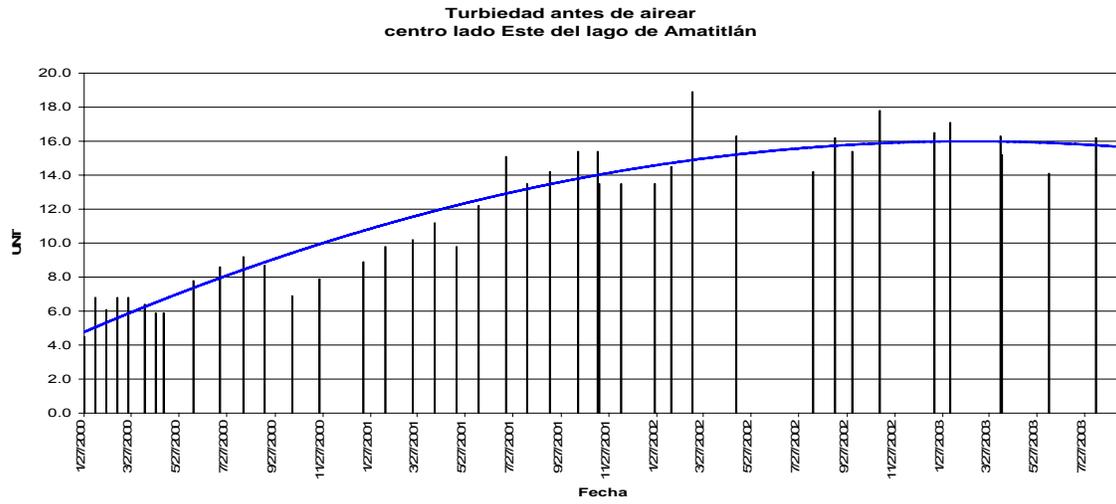


Gráfica No. 30

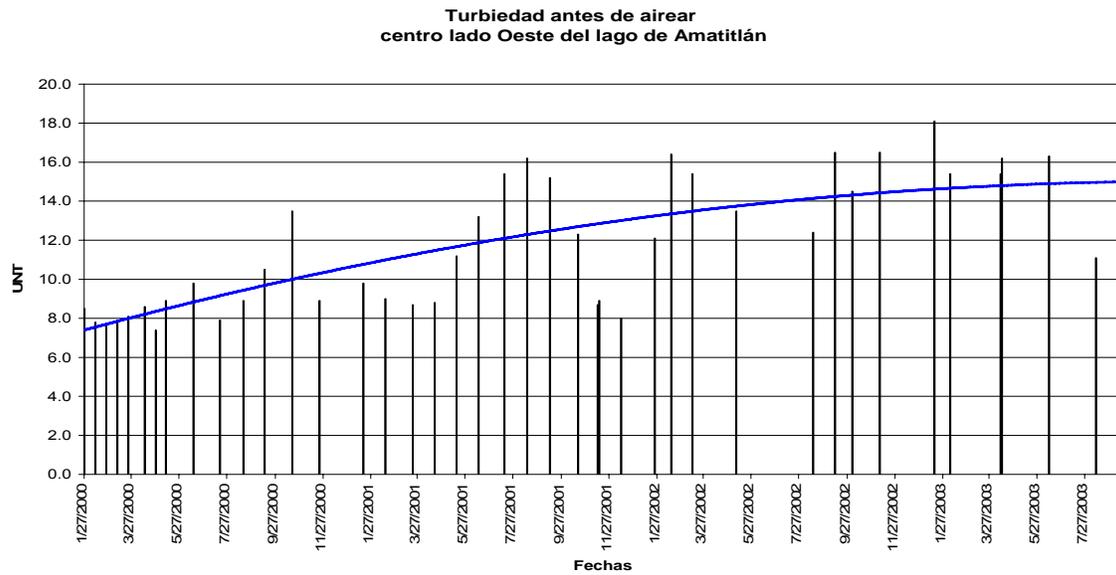
Conductividad antes de airear
centro lado Oeste del lago de Amatitlán



Gráfica No. 31



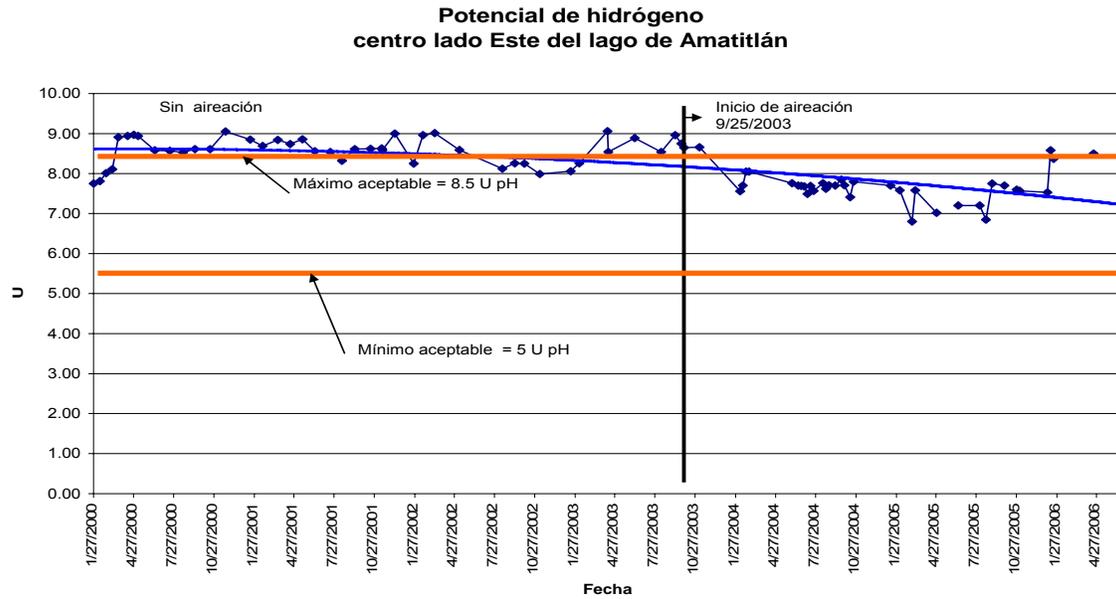
Gráfica No. 32



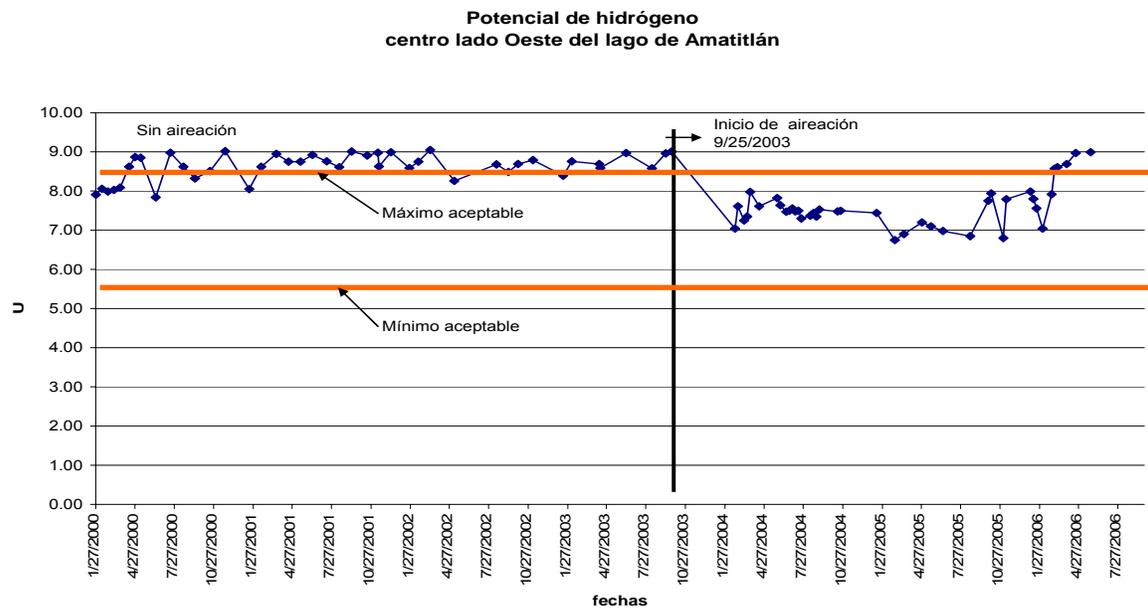
ANEXO No. 7

Gráficas comparativas antes y a partir del inicio de la aireación artificial en el lago de Amatitlán

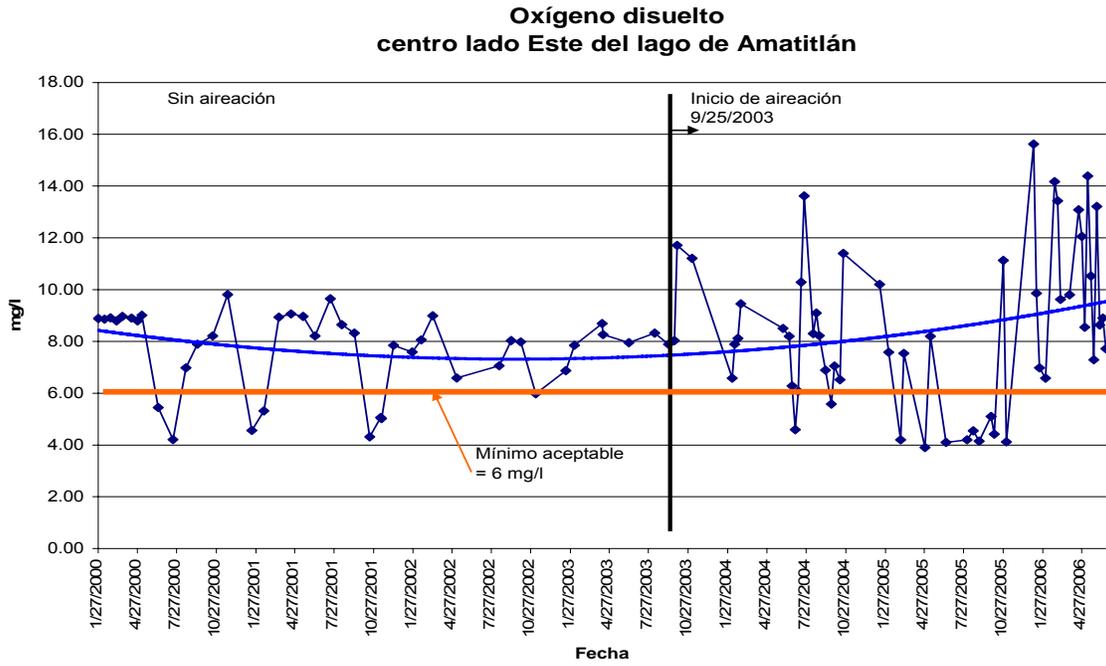
Grafica No. 33



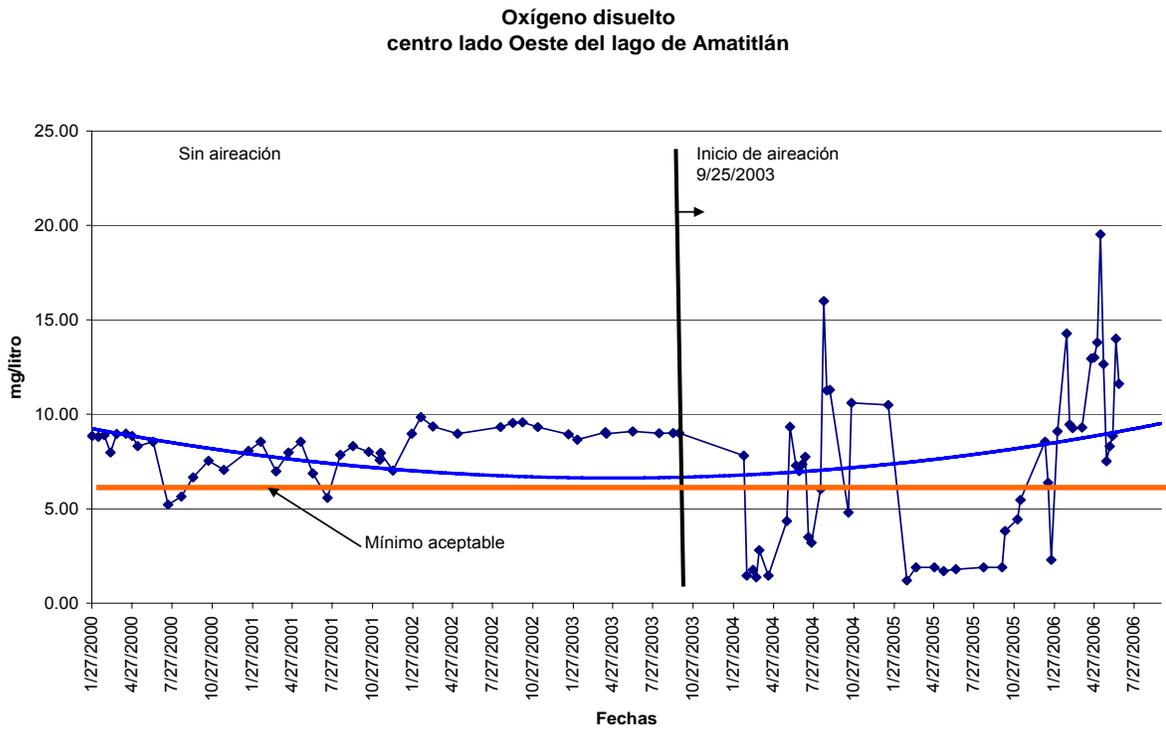
Grafica No. 34



Grafica No. 35

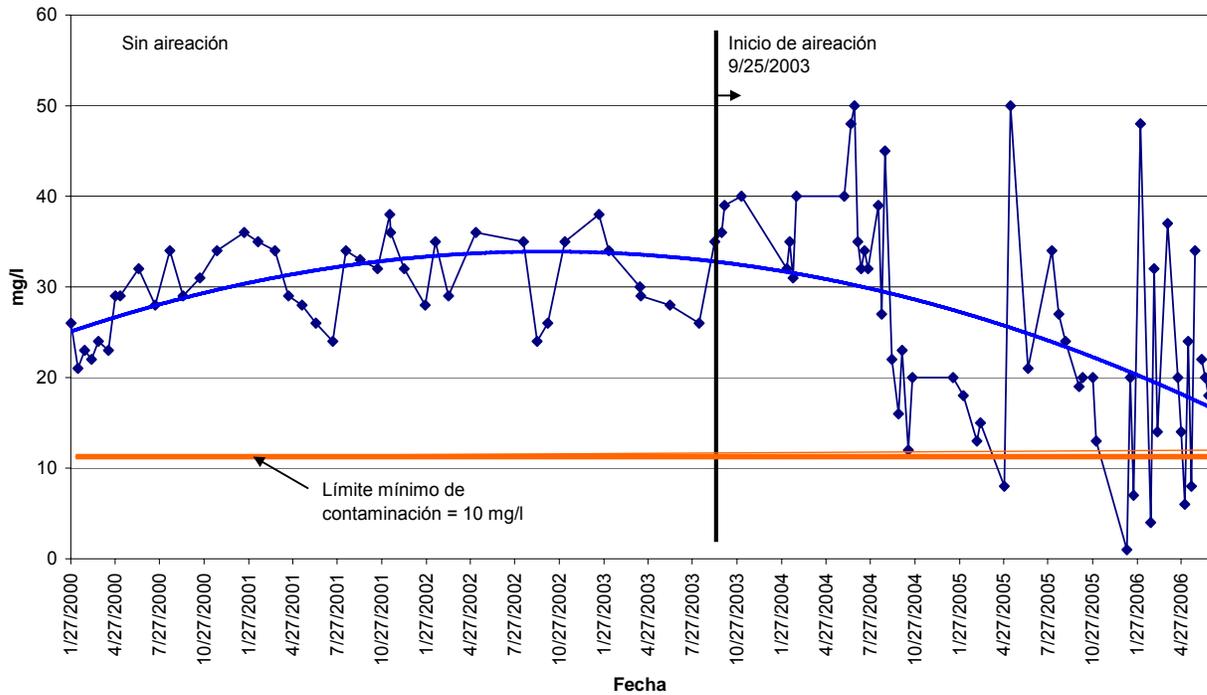


Grafica No. 36



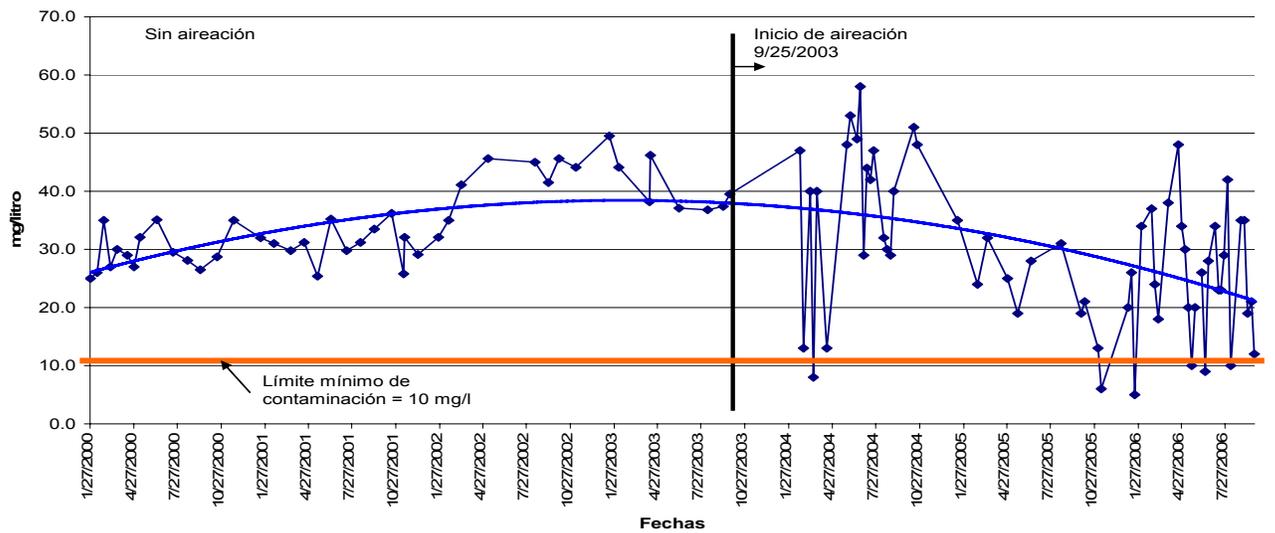
Grafica No. 37

**Demanda química de oxígeno
centro lado Este del lago de Amatitlán**



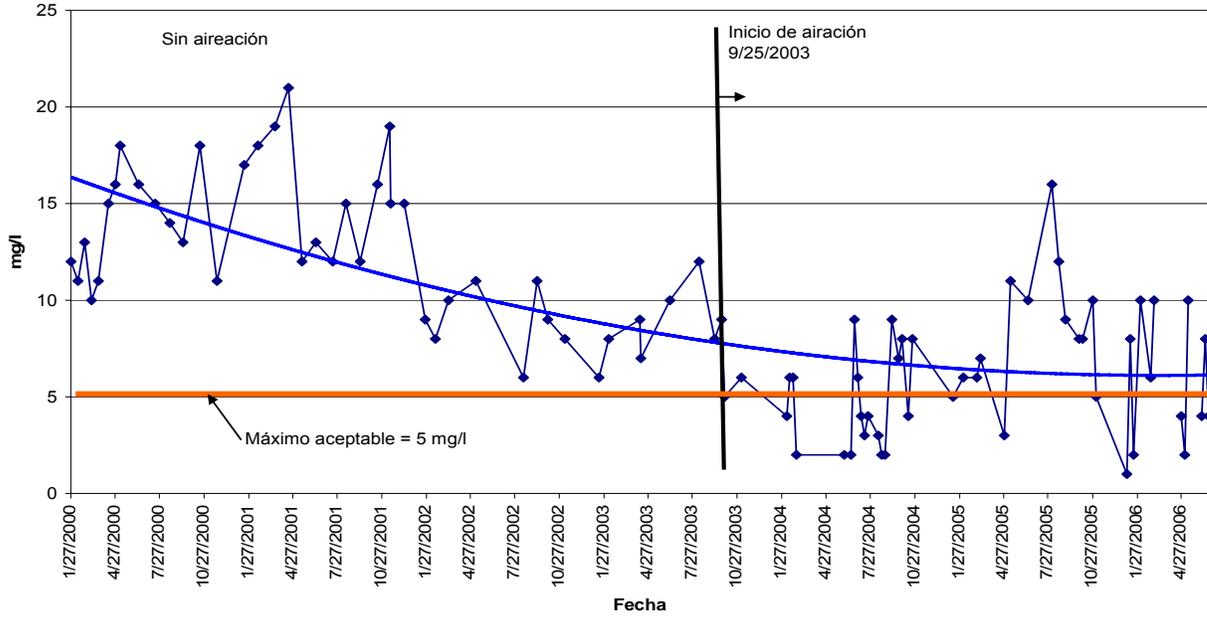
Grafica No. 38

**Demanda química de oxígeno
centro lado Oeste del lago de Amatitlán**



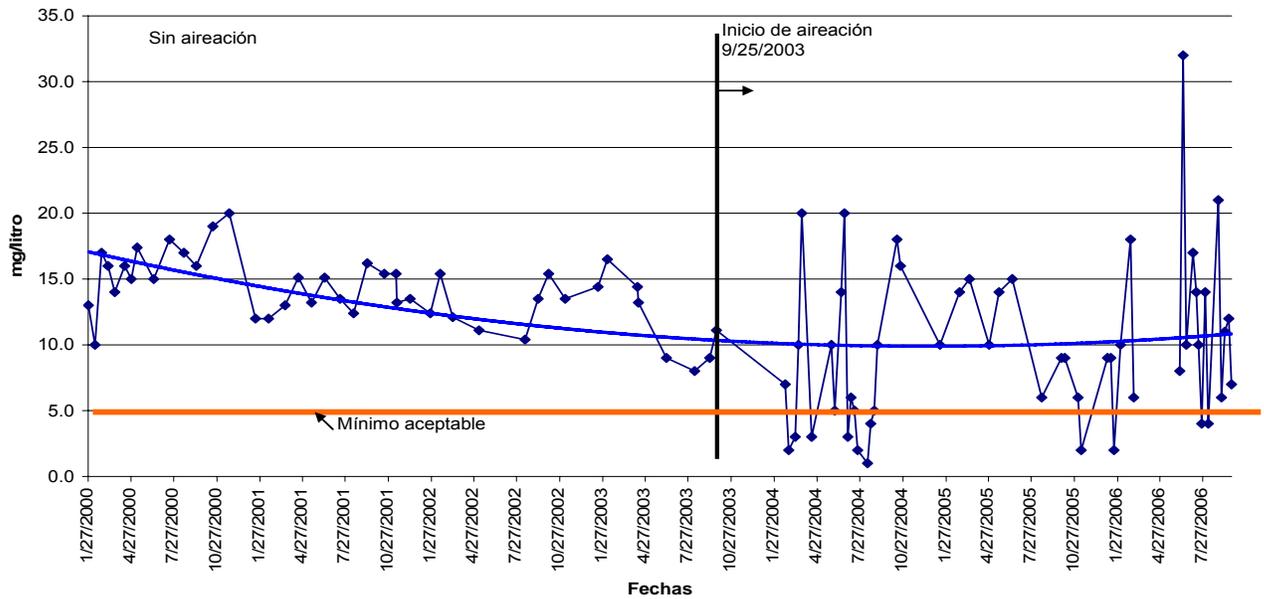
Grafica No. 39

**Demanda bioquímica de oxígeno
centro lado Este del lago de Amatitlán**

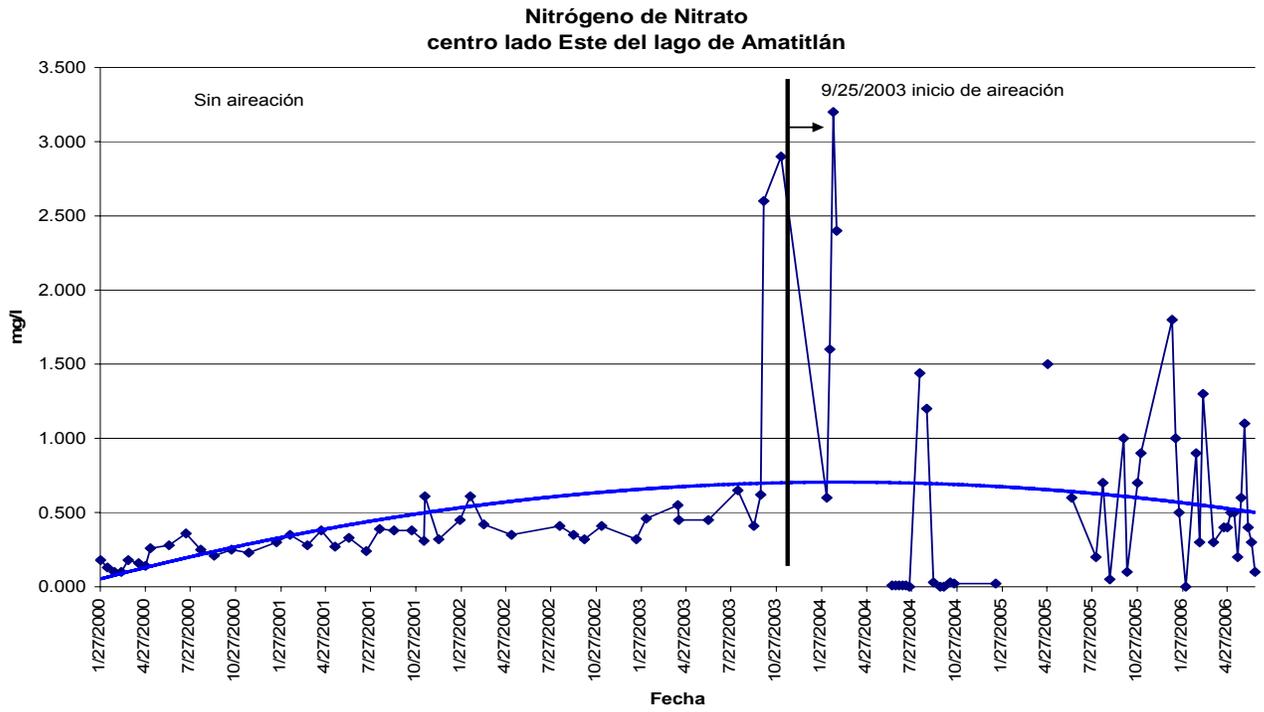


Grafica No. 40

**Demanda bioquímica de oxígeno
centro lado Oeste del lago de Amatitlán**



Grafica No. 41

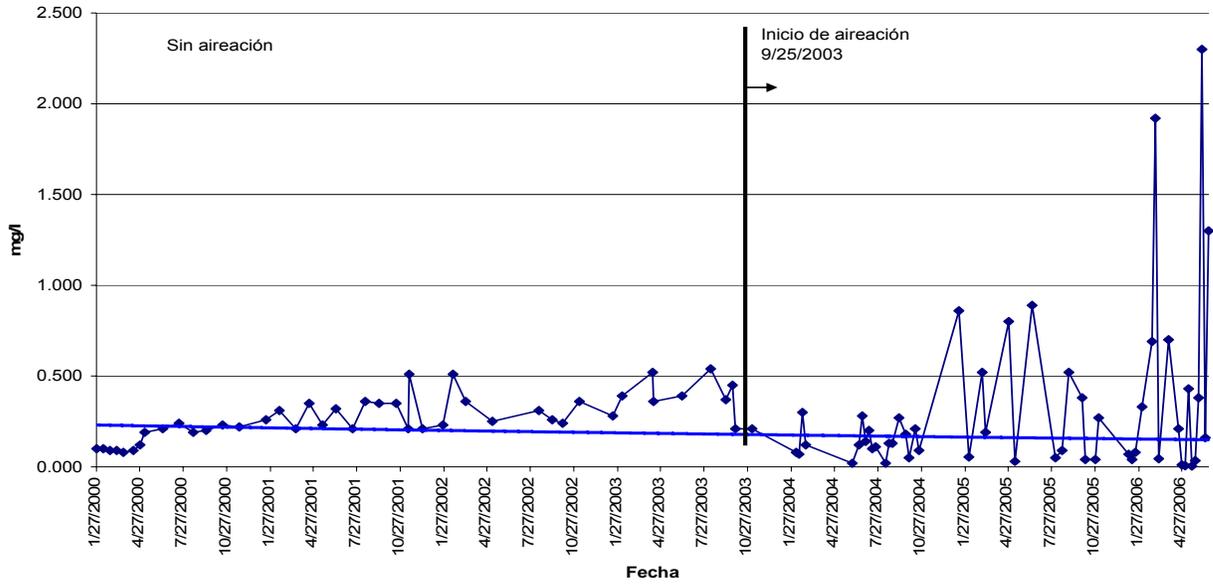


Grafica No. 42



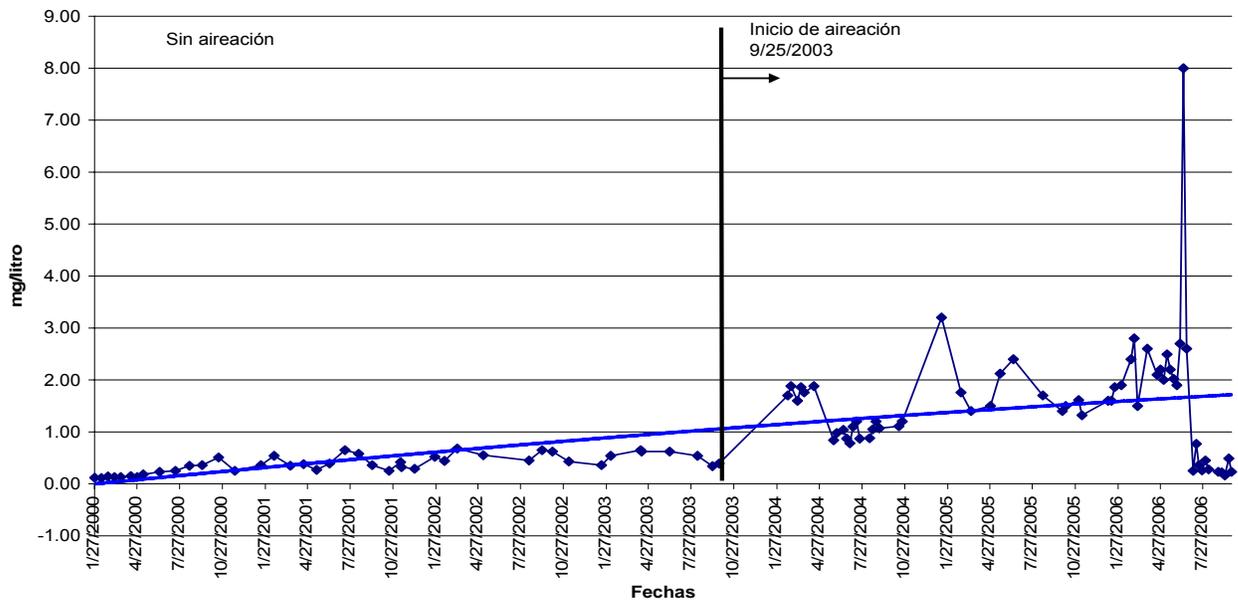
Grafica No. 43

**Fósforo en forma de fosfatos
centro lado Este del lago de Amatitlán**



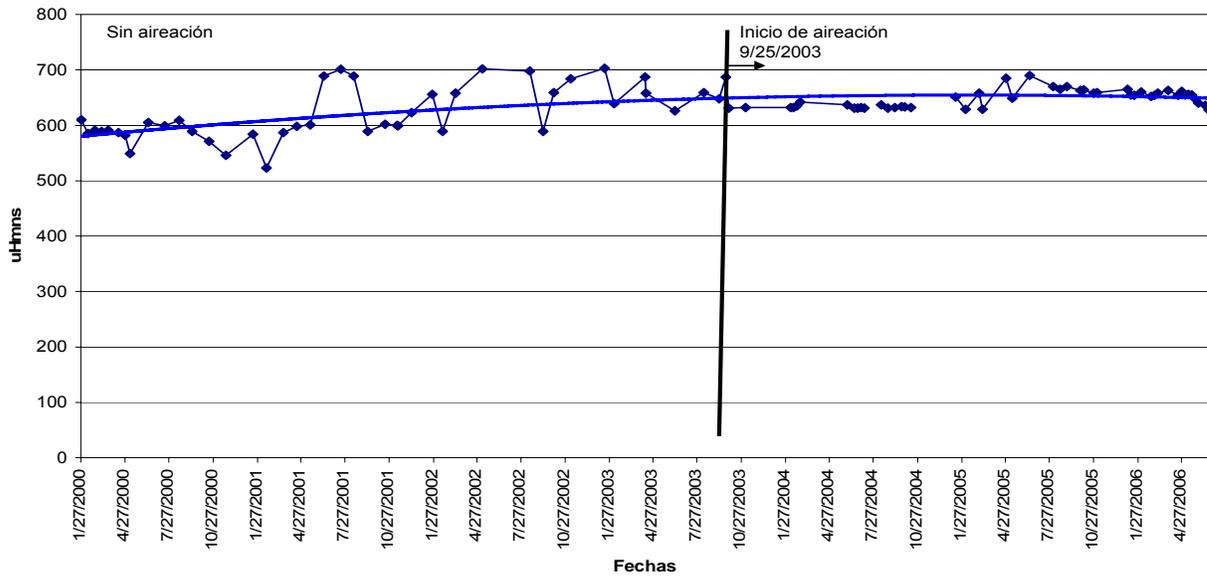
Grafica No. 44

**Fósforo en forma de fosfatos
centro lado Oeste del lago de Amatitlán**



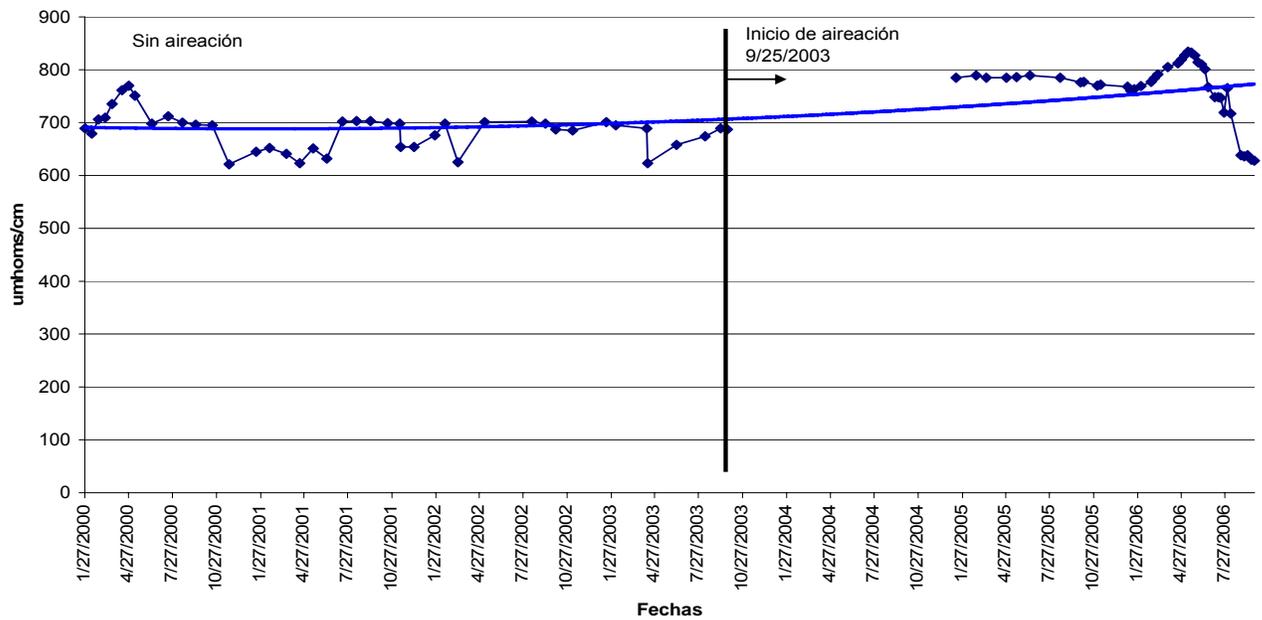
Grafica No. 45

**Conductividad
centro lado Este del lago de Amatitlán**

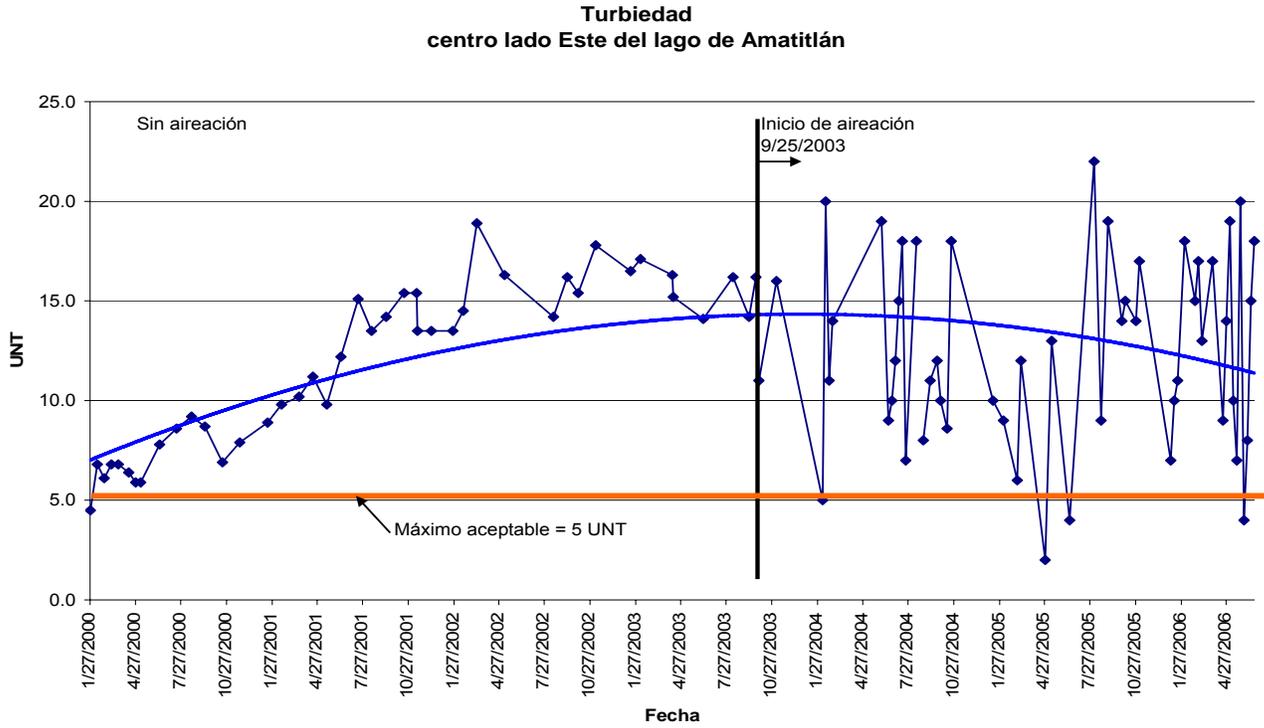


Grafica No. 46

**Conductividad
centro lado Oeste del lago de Amatitlán**



Grafica No. 47



Grafica No. 48

