



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL LAGO DEL
PARQUE ALAMEDA ORIENTE

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN INGENIERÍA

AMBIENTAL - AGUA

PRESENTA:

DIANA NADXELII CASAS GUTIÉRREZ

TUTORA:

DRA. GEORGINA FERNÁNDEZ VILLAGÓMEZ



2012



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. Jorge Luis de Victorica Almeida

Secretario: Dr. Óscar González Barceló

Vocal: Dra. Georgina Fernández Villagómez

1^{er.} Suplente: Dr. Víctor Manuel Luna Pabello

2^{do.} Suplente: M en C. Pedro Magaña Melgoza

Lugares donde se realizó la tesis:

- Facultad de Ingeniería
- Lago Alameda Oriente

TUTOR DE TESIS:

Dra. Georgina Fernández Villagómez

FIRMA



ÍNDICE

Lista de Figuras	2
Lista de Tablas	4
Resumen	5
Capítulo 1. Introducción	6
1.1 Justificación	8
1.2 Objetivos	8
1.2.1 Objetivo general	8
1.2.2 Objetivos particulares	8
1.3 Alcances	8
Capítulo 2. Marco de referencia	9
2.1 Lagos Artificiales	9
2.2 Nutrientes	10
2.3 Grasas-Aceites	17
2.4 Potencial de Hidrógeno	19
2.5 Conductividad	20
2.6 Temperatura	20
2.7 Oxígeno disuelto	22
Capítulo 3. Normatividad ambiental	24
3.1 Normatividad Nacional	24
3.2 Normatividad Internacional	27
Capítulo 4. Área de estudio	29
4.1 Descripción del parque Alameda Oriente	29
4.2 Lago Alameda Oriente	38
Capítulo 5. Material y métodos	42
5.1 Trabajo de Laboratorio	42
5.2 Trabajo de Campo	47
Capítulo 6. Resultados y su evaluación	50
6.1 Laboratorio	50
6.2 Campo	57
Capítulo 7. Conclusiones	63
Recomendaciones	63
Capítulo 8. Referencias Bibliográficas	68
Anexo 1 (Normatividad)	75
Anexo 2 (Resultados)	89



LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Ciclo del Nitrógeno	12
Figura 2.2. Ciclo del Fósforo en lagos	15
Figura 2.3. Esquema de los procesos que ocurren en un lago	16
Figura 2.4. Esquema con las principales consecuencias del proceso de eutroficación en los sistemas acuáticos	17
Figura 2.5. Estratificación térmica	22
Figura 4.1. Presentación de la Alameda Oriente	30
Figura 4.2. Ubicación del Parque Alameda Oriente	31
Figura 4.3. Árboles del Parque Alameda Oriente	31
Figura 4.4. Áreas verdes del Parque Alameda Oriente y lago	32
Figura 4.5. Áreas verdes	32
Figura 4.6. Canchas de baloncesto	33
Figura 4.7. Jardinerías de plantas cactáceas	33
Figura 4.8. Canchas de fútbol	34
Figura 4.9. Palapas en el Parque Alameda Oriente	34
Figura 4.10. Lago y áreas verdes	35
Figura 4.11. Poca cobertura arbórea	35
Figura 4.12. Ubicación de zonas en el Parque Alameda Oriente	36
Figura 4.13. Estado fitosanitario actual del arbolado	38
Figura 4.14. Fotografía aérea del lago del Parque Alameda Oriente	38
Figura 4.15. Fotografías del lago del Parque Alameda Oriente	39
Figura 4.16. Especies habitantes en el lago del Parque Alameda Oriente	41
Figura 5.1. Curva de calibración de nitrógeno amoniacal	42
Figura 5.2. Método de colorimetría para nitrógeno amoniacal	42
Figura 5.3. Curva de calibración de nitritos	43
Figura 5.4. Método de colorimetría para nitritos	43



Figura 5.5. Curva de calibración de nitratos	44
Figura 5.6. Método de colorimetría para nitratos	44
Figura 5.7. Curva de calibración de fósforo	45
Figura 5.8. Método de colorimetría para fósforo	45
Figura 5.9. Determinación de grasas y aceites	46
Figura 5.10. Puntos de muestreo en el lago del Parque Alameda Oriente	48
Figura 5.11. Conductronic pH 120	49
Figura 5.12. Dissolved Oxygen Meter YSI Model 58	49
Figura 6.1. Gráfica de resultados de nitrógeno amoniacal	50
Figura 6.2. Gráfica de resultados de nitrógeno de nitritos	52
Figura 6.3. Gráfica de resultados de nitrógeno de nitratos	53
Figura 6.4. Gráfica de resultados de fosfatos	54
Figura 6.5. Presencia de espuma en el lago	54
Figura 6.6. Gráfica de resultados de grasas y aceites	55
Figura 6.7. Gráfica de resultados de pH	57
Figura 6.8. Gráfica de resultados de conductividad	59
Figura 6.9. Gráfica de resultados de temperatura	60
Figura 6.10. Gráfica de resultados de oxígeno disuelto	61
Figura 7.1. Imágenes de la geomembrana	64



LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1. Nivel de productividad de los lagos de acuerdo a la cantidad de Fósforo total	14
Tabla 2.2. Concentraciones típicas de fósforo total en agua y aguas residuales	14
Tabla 2.3. Concentración de fosfatos en aguas domésticas sin tratar	15
Tabla 2.4. Espesor de la película de aceites	18
Tabla 3.1. Normas Oficiales Mexicanas	24
Tabla 3.2. NOM-001-SEMARNAT-1996	25
Tabla 3.3. NOM-003-SEMARNAT-1997	25
Tabla 3.4. Normas Mexicanas	26
Tabla 3.5. Criterios Ecológicos de Calidad del Agua	26
Tabla 3.6. Límites máximos permisibles de la normatividad nacional e internacional para la calidad del agua	27
Tabla 3.7. Criterios para el amoníaco total (NH_3) a fin de proteger la vida acuática en aguas de diferente temperatura	28
Tabla 4.1. Especies arbóreas existentes dentro del Parque Alameda Oriente	37
Tabla 4.2. Distribución de la superficie total del Lago de Alameda Oriente	38
Tabla 4.3. Características generales de los lagos oligotróficos y eutróficos	40



RESUMEN

El Lago del Parque Alameda Oriente fue construido en un sitio que previamente fue utilizado como destino final de las aguas residuales de Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México; como basurero a cielo abierto y como sitio de disposición final de los materiales de desecho que resultaron del terremoto ocurrido en la Ciudad de México en 1985.

En 1987 este sitio fue clausurado oficialmente como basurero, pretendiéndose sanear y rehabilitar 90 Ha y de esta manera, restablecer el desarrollo de la flora y fauna en forma inducida o natural.

Actualmente el Lago del Parque Alameda Oriente es utilizado con fines recreativos de contacto indirecto. Es por ello que la calidad del agua debe ser adecuada para no afectar la salud humana. Por otro lado el Lago del Parque Alameda Oriente es un sitio en donde diferentes especies de aves migratorias llegan ahí buscando refugio.

Es por lo anterior que la importancia de la determinación de la calidad del agua actual en el Lago del Parque Alameda Oriente es significativa. En este trabajo de tesis se determinó la calidad del agua en el lago en cuanto a nutrientes (nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y fósforos) y grasas y aceites; pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto. También, se determinaron tales características en el agua que descarga el lago de San Juan Aragón y que constituye el influente al lago que se estudia. Las determinaciones se realizaron tanto en las épocas de estiaje como de lluvia, incluyendo las correspondientes a la obra de toma del agua utilizada para el riego de las áreas verdes del Parque.

En total, se llevaron a cabo 12 muestreos con un intervalo de entre 2 y 3 semanas cada uno, iniciando en el mes de febrero del 2011 y concluyendo en el mes de septiembre del mismo año. Las muestras obtenidas fueron puntuales.

Se consultó la normatividad nacional (NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-003-SEMARNAT-1997, CE-CCA-001/89); así como la internacional (Ecuador, Venezuela, Colombia, Brasil, Australia y Nueva Zelanda, OMS, Estándares Europeos), como criterio base en los límites máximos permisibles para los parámetros de calidad de agua medidos. De acuerdo con los resultados obtenidos en campo y en laboratorio, se encontró que el pH, nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos; así como las grasas y aceites exceden considerablemente los límites máximos permitidos en la normatividad arriba señalada.

Con base en los resultados obtenidos, se puede establecer que el Lago del Parque Alameda Oriente se encuentra eutroficado, y dado que se piensa que esta situación puede deberse al contenido de nutrientes en el agua influente y a las posibles disposiciones de aguas contaminadas vertidas directamente al lago y de aquellas provenientes del material de desecho depositado previamente a la construcción del lago, para su restauración se recomienda cambiar la geomembrana, ya que se encuentra rota; la implantación de humedales artificiales para disminuir el aporte de nutrientes externos y proporcionar la información necesaria a los usuarios del lago para evitar el vertimiento de aquellos productos que puedan llevar al lago nuevamente a una condición de eutroficación.



CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

Los lagos forman parte del paisaje global, constituyen un valioso recurso natural, y son componentes importantes del ciclo hidrológico; proporcionan sustento para los seres humanos, mantienen actividades económicas, proveen de hábitat para la biodiversidad y ofrecen importantes valores estéticos (ILEC, 2005).

Actualmente en los grandes lagos, aquellos con superficie mayor a 500 km² se almacena 68% del recurso líquido de agua dulce del planeta (Beeton, 2002).

La mayoría de los lagos reciben sus aguas de ríos, lluvia, subsuelo y de plantas de tratamiento. La composición química del agua de los lagos no solo se debe al tipo de agua que lo alimenta, sino también a los cambios de composición que ocurren durante el período de residencia del agua, tiempo en el cual se puede producir la decantación de sólidos suspendidos, la aglomeración de partículas finas de carácter orgánico y otros fenómenos. Debido a que los lagos suelen ser más profundos que los ríos, se hace más difícil la restitución del oxígeno disuelto desde la atmósfera. La mezcla del agua lacustre se debe a la energía proporcionada por el viento, de la cual también depende la incorporación del oxígeno en el agua superficial hacia el interior de la masa hídrica (PUC, 2006).

Los lagos se pueden clasificar como oligotróficos, mesotróficos y eutróficos. Los primeros que generalmente tienen su origen a partir de los glaciares, presentan baja productividad, gran profundidad y alta concentración de oxígeno en sus capas inferiores. Por su parte, los lagos mesotróficos tienen un nivel intermedio de productividad, mayor que la de un lago oligotrófico, pero menor que el de un lago eutrófico, estos lagos tienen comúnmente aguas claras y mantienen lechos de plantas acuáticas sumergidas, y niveles medios de nutrientes. Finalmente, los lagos eutróficos son más productivos, ricos en flora y fauna, con bajas concentraciones de oxígeno en sus capas profundas (IMAC, 2006).

En los lagos someros es más rápida la dinámica de resuspensión de sedimentos y liberación de nutrientes (carga interna) y sus consecuencias sobre la condición trófica (Van de Bund *et al.*, 2004; Spears *et al.*, 2006). Esto es debido a que la masa de agua tiende a estar completamente mezclada como consecuencia del efecto del viento. Esta mezcla constante (polimixis) puede estar amortiguada en función de la cobertura, tipo de vegetación del lago o protección frente al viento. El estrecho contacto entre el sedimento y el agua en los lagos someros provoca un rápido reciclaje de nutrientes y una mayor productividad (Jeppesen *et al.* 1997b). Por ello los lagos someros son, de forma natural, más eutróficos que los lagos profundos.

Los lagos someros localizados en las regiones tropicales y subtropicales se encuentran en mayores condiciones de vulnerabilidad cuando están sujetas a cargas externas de nutrientes y materia orgánica, ya que al contar con un mayor fotoperíodo y temperaturas cálidas se favorece una mayor producción de fitoplancton, proliferación de cianobacterias y macrófitas, alterando así el balance hídrico, la cadena alimenticia y poniendo en riesgo al ecosistema (Lewis, 2000; Arfi *et al.*, 2001; Settacharnwit *et al.*, 2003; Romo *et al.*, 2004; Wu *et al.*, 2006).



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

Por ello es importante conocer si un lago o embalse somero que recibe una importante carga de nutrientes tiene un régimen hidrológico que le permite remover dichos nutrientes, o si éstos se acumulan paulatinamente en los sedimentos y columna de agua, incrementando su grado trófico (Royle and King, 1996; Spears *et al.*, 2006; Jin *et al.*, 2006).

La importancia de realizar estudios en éste lago es debido a que el sitio donde se encuentra la Alameda Oriente fue utilizado por muchos años como receptor de aguas residuales del aeropuerto y como depósito de basura, llantas, animales muertos y escombros generados por el terremoto de 1985 en la Cd. de México. El sitio fue clausurado como tiradero clandestino por el DDF en agosto de 1987 y adquirió el nombre de "Alameda Oriente", integrándose al programa de dotación de áreas verdes establecido por el gobierno del DF y pretendió sanear y rehabilitar 90 Ha.

En 1985 la Delegación Venustiano Carranza del D.F. extendió una invitación al Instituto de Ingeniería de la UNAM para participar en la creación del "Parque Ecológico Xochiaca". Se planteó un programa de estudio tendiente a la "Rehabilitación de la Laguna de Xochiaca". Dicho estudio contempla el análisis de las características ecológicas del cuerpo de agua así como de los factores bióticos y abióticos que las originan (Treviño *et al.*, 1985).

Se han realizado estudios en el lago Alameda Oriente para la determinación de diferentes contaminantes, por ejemplo la "Determinación de metales pesados en el lago del Parque Alameda Oriente D.F. México", en el cuál se identificó la problemática ambiental en el lago presentando el fenómeno de eutrofización y de contaminación por metales pesados (arsénico, cromo, níquel y plomo), originados por los visitantes ya que suelen arrojar pilas al lago, así mismo desechos orgánicos que estos también son provenientes de la planta de tratamiento, de tal manera que se acelera el enriquecimiento de nutrientes y de la concentración presentando un grave problema de contaminación (Velazquez, 2010).

En el área de estudio se presenta una problemática de contaminación en cuanto a nutrientes y grasas y aceites. Se sabe que el lago de Alameda Oriente es un lago eutrófico por lo que es un lago rico en nutrientes ya que es poco profundo y mantiene abundante vida vegetal microscópica (algas), el agua es turbia y de aspecto verdoso. Por otro lado en el agua del lago se observan grasas y aceites presentes.



1.1 Justificación

El trabajo de tesis "Evaluación de la calidad del agua en el Lago del Parque Alameda Oriente" es la continuación de otros estudios que se han llevado a cabo en éste sitio para la determinación de la calidad del agua que actualmente se encuentra en el lago.

El Lago del Parque Alameda Oriente actualmente es utilizado con fines recreativos de contacto indirecto. Es por lo anterior que la calidad del agua debe ser adecuada para no afectar la salud humana, por otro lado el lago es un sitio en donde diferentes especies de aves migratorias llegan ahí buscando refugio.

El sitio donde se encuentra este lago artificial anteriormente fue un basurero a cielo abierto donde se dispusieron los materiales recolectados del terremoto de 1985 en la Cd. de México, por lo tanto esto puede estar interviniendo en la calidad del agua debido a que la geomembrana ha sufrido alteraciones.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Establecer un diagnóstico actual de la calidad del agua en el lago del Parque Alameda Oriente tomando en cuenta la normatividad oficial mexicana.

1.2.2 Objetivos Particulares

- Evaluar las condiciones actuales de calidad del agua del lago del parque Alameda Oriente considerando los límites máximos permisibles de la normatividad para nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos, fosfatos, así como grasas y aceites.
- Determinar otros parámetros de calidad del agua como pH, temperatura, conductividad y oxígeno disuelto para la complementación de la evaluación.
- Proponer alternativas de solución para el mejoramiento de la calidad del agua del lago del Parque Alameda Oriente.

1.3 Alcances

El estudio se enfocará a la determinación de nutrientes, así como grasas y aceites existentes en las seis esclusas del lago tomando en cuenta las dimensiones de cada esclusa, así como de la descarga de agua proveniente del lago de San Juan de Aragón y la toma que la utilizan para riego del mismo parque considerando las épocas de estiaje y lluvia.



CAPÍTULO 2

MARCO DE REFERENCIA

2.1 Lagos Artificiales

Un lago artificial es un tanque de grandes dimensiones utilizados para la recogida y almacenamiento de agua, especialmente para los suministros de agua de la comunidad o el riego. En la construcción de lagos artificiales para un suministro de agua municipal, es necesario considerar todos los aspectos de un área de captación incluyendo la cantidad y distribución de la precipitación, evaporación, escorrentía, el suelo o condiciones de la roca, y la elevación (por su efecto sobre las precipitaciones y de la presión en las tuberías de conducción). El suelo de la reserva puede ser naturalmente resistente como para prevenir la filtración excesiva, o contener algún revestimiento de arcilla. La contención de los lagos pueden ser muros de mampostería, piedra suelta o terraplenes. Estos últimos son adecuados siempre y cuando estén sellados por un núcleo de arcilla y su cara esté cubierta con mampostería o una sustancia similar para prevenir la erosión. La construcción de los embalses en los pueblos a veces es de mampostería o de hormigón armado. Sirven para hacer frente a las fluctuaciones de la demanda y las interrupciones del suministro de la fuente. Los embalses se construyen también en las cabeceras o lo largo de los cursos de los ríos para ayudar en el control de inundaciones, en los canales para mantener el nivel de agua para la navegación, y para asegurar el suministro de agua para plantas hidroeléctricas. Algunos embalses se construyen en los afluentes de los grandes ríos para actuar como sumideros de limo. Además de la filtración, la mayor pérdida de agua de un embalse es por evaporación, los productos químicos que forman una película sobre una superficie de agua se usan para reducir al mínimo esas pérdidas. Los tanques de cubierta de hormigón pretensado se utilizan para el suministro limitado de agua local.

El desarrollo histórico de la humanidad, en especial de las grandes civilizaciones, ha guardado estrecha dependencia con los sistemas acuáticos denominados humedales. La cultura azteca, por ejemplo, floreció bajo un manejo adecuado del lago de la Cuenca del Valle de México, y los mayas por su parte utilizaron los cenotes (SEMARNAT, 2005).

El lago artificial más importante de la Ciudad de México es el Nabor Carrillo, el cual cubre 1000 Ha, con un diámetro de 12 km y una capacidad de 36 millones de m³. Le sigue en extensión el Lago de Regulación horaria ubicado en el Estado de México, con una capacidad de 4.5 millones de m³. Por otro lado, la laguna de Xalapango está destinada a acaparar el agua de lluvia que baja de la zona alta, teniendo una área de 240 Ha y una capacidad de 3.6 millones de m³ (Álvarez y Duran, 2005).

Por su parte, el lago Churubusco cuenta con una área de 270 Ha y es utilizado sólo como vaso de almacenamiento de las obras de toma. El lago del Bosque de San Juan de Aragón, tiene una extensión de 11.88 Ha, y se utiliza actualmente para actividades recreativas; y finalmente el lago del Parque Alameda Oriente en el Distrito Federal, que cuenta con una extensión de 11.7729 Ha, el cual es utilizado como lago recreativo y a su vez de reserva ecológica de la zona Oriente de la ciudad (Álvarez y Duran, 2005).



2.2 Nutrientes

Dentro de los compuestos químicos que se encuentran en el agua, se consideran nutrientes a aquellos que provocan el desarrollo de algas y plantas acuáticas, estos se encuentran de forma natural en el medio, pero un exceso de concentración provoca una excesiva fertilidad del mismo (Universidad de Sevilla, 2004).

La proliferación de fitoplancton (así como del resto de algas y plantas) provocan una cantidad elevada de materia orgánica, la cual, al morir los individuos se descomponen consumiendo el oxígeno del medio, éste fenómeno se conoce como eutrofización y tras la explosión de vida vegetal, puede dar lugar a la desaparición de especies, olores desagradables, etc. (Universidad de Sevilla, 2004).

Los nutrientes fundamentales en el medio acuático son el nitrógeno, fósforo, hierro y azufre, teniendo en cuenta que el azufre y el hierro no son limitantes en el medio (Universidad de Sevilla, 2004).

Fernández (1992) ha concluido que cualquier lago estratificado que tenga más de 0.3 ppm de nitrógeno orgánico y 0.1 mg/l de fósforo inorgánico en el tiempo de la inversión de primavera, producirá florecimientos de algas.

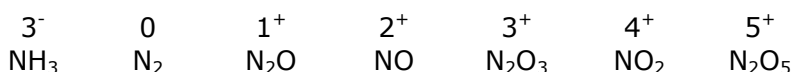
La correlación entre el ciclo de los nutrientes en los lagos y los valores críticos presentados por Sawyer y McCarty (1994) es como sigue:

- 1.- Las algas toman y almacenan fósforo y nitrógeno.
- 2.- Al morir se sedimentan en el fondo de los lagos.
- 3.- Los depósitos sépticos del fondo desprenden nuevamente fósforo y nitrógeno a las algas.
- 4.- La inversión primaveral arrastra fósforo y nitrógeno hacia la superficie en donde éstos promueven el crecimiento de nuevas cosechas de algas.

2.2.1 Nitrógeno

Los compuestos de nitrógeno son de gran interés para los ingenieros ambientales debido a la importancia del nitrógeno en los procesos de vida de todas las plantas y animales. La química del nitrógeno es compleja debido a los diferentes estados de oxidación que toma, y en los cambios de oxidación que puede provocar en los organismos vivos. Los cambios de oxidación en las bacterias pueden ser positivos o negativos, según las condiciones aerobias o anaerobias que prevalezcan (Sawyer y McCarty, 1994).

Desde el punto de vista de la química inorgánica, el nitrógeno puede existir en siete estados de oxidación (Sawyer y McCarty, 1994).



Las formas de nitrógeno de mayor interés en las aguas naturales y residuales, son, por orden decreciente de su estado de oxidación, nitrato, nitrito, amoníaco y nitrógeno orgánico. Todas esas formas del nitrógeno, al igual que el nitrógeno gaseoso (N₂), son interconvertibles bioquímicamente y forman parte del ciclo del nitrógeno. La eliminación de nitrógeno se hace en varias fases. Durante el tratamiento biológico, la



mayor parte de los compuestos orgánicos de nitrógeno se convierten en amoníaco (amonificación), posteriormente, el amoníaco se convierte en nitratos (nitrificación) por la acción de bacterias nitrificantes (Nitrosomas y Nitrobacter) que son aerobias, la eliminación de los nitratos se lleva a cabo con el proceso de desnitrificación con ayuda de bacterias anóxicas que hacen reaccionar el nitrato con parte del carbono que contiene el agua que está siendo tratada. Como resultado de ésta reacción se forma CO_2 y N_2 que se desprenden a la atmósfera.

2.2.2.1 Ciclo del Nitrógeno

Las relaciones que existen entre las diferentes formas de compuestos nitrogenados y los cambios que presentan en la naturaleza. En el ciclo del nitrógeno que se presenta en la Figura 2.1 se observa que la atmósfera sirve como reservorio, de donde se puede extraer el nitrógeno constantemente por la acción de una descarga eléctrica y de las bacterias que fijan el nitrógeno. Durante las tormentas eléctricas, grandes cantidades de nitrógeno son oxigenadas a N_2O_5 y su unión con el agua produce HNO_3 , que es transportado a la tierra por la lluvia. En la producción comercial de fertilizantes, los nitratos también son producidos por oxidación directa del nitrógeno o del amoníaco. Los nitratos sirven para fertilizar la vida vegetal y son convertidos a proteínas (Sawyer y McCarty, 1994):



El nitrógeno de la atmósfera también es convertido a proteína por las bacterias fijadoras de nitrógeno (Sawyer y McCarty, 1994):



Además de los compuestos de amoníaco y de amonio se suministran al suelo para producir más proteínas (Sawyer y McCarty, 1994):



El nitrógeno puede ser obtenido del agua a través de la incorporación activa como NH_4^+ , NO_2^- y NO_3^- (o nitrógeno inorgánico disuelto, NID). Dependiendo de la fuente de N, la asimilación requiere de varias etapas para reducirlo (nitrato reductasa y nitrito reductasa, para formar finalmente amonio). Por lo tanto, el NH_4^+ es la fuente de N energéticamente menos costosa de asimilar. En diferencia con el ciclo biogeoquímico del P, el N puede escapar del ecosistema hacia la atmósfera como óxido nitroso o nitrógeno molecular (N_2O , N_2), como resultado de la desnitrificación bacteriana producida en ambientes con zonas anóxicas. Este proceso puede resultar en la limitación del crecimiento fitoplanctónico por N (Arrigo, 2005).

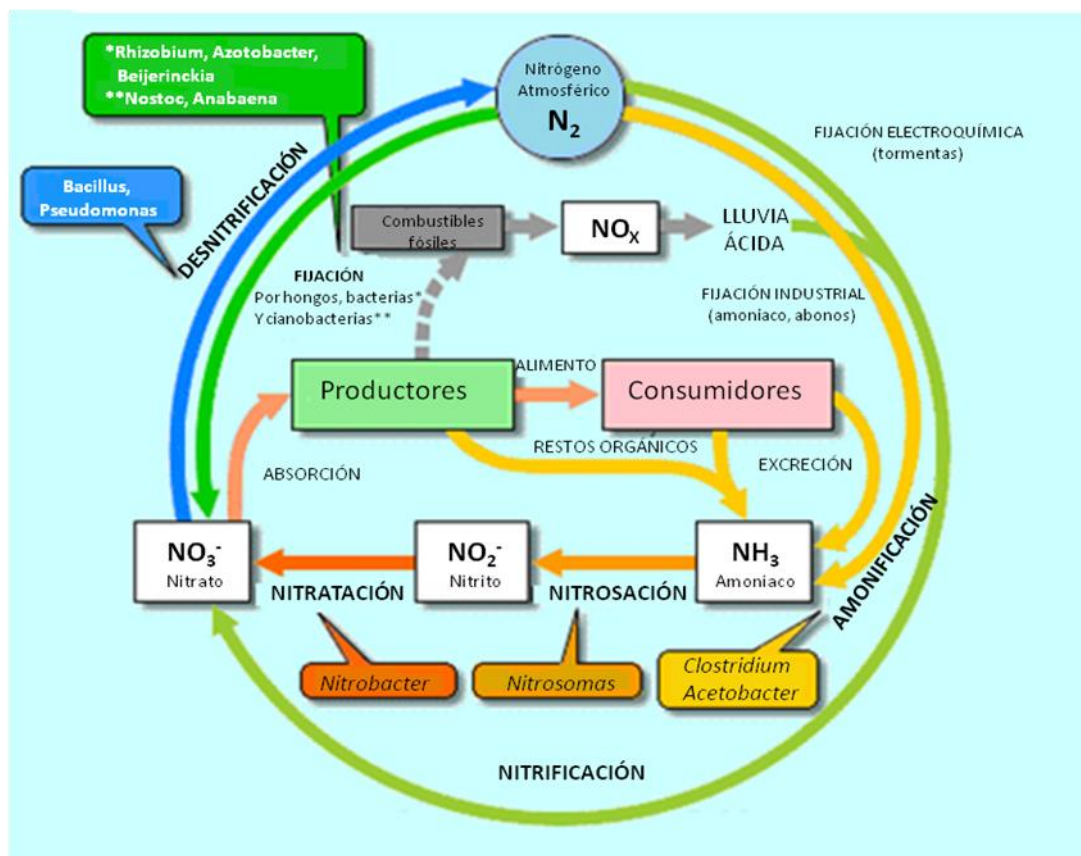


Figura 2.1. Ciclo del Nitrógeno (González, 2010)

La actividad de la vida biológica en las aguas residuales produce muchos cambios en la composición química de sus sólidos. Estos cambios bioquímicos no solamente indican las actividades de los microorganismos sino que miden, así mismo, el grado de descomposición de los sólidos y por ende la eficiencia en cualquier proceso de tratamiento en particular (Fernández, 1992).

2.2.2 Fosfatos

El fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento de organismos, por lo que la descarga de fosfatos en cuerpos de agua pueden estimular el crecimiento de micro y macroorganismos acuáticos fotosintéticos en cantidades nocivas (APHA, 2005).

La información del fósforo es de gran importancia para la ingeniería ambiental, ya que se valora su importancia como un factor vital en procesos de la vida. Las determinaciones de fósforo son sumamente importantes para evaluar el potencial biológico de las aguas y en algunos casos establecer límites en la cantidad de fósforo que puede ser desechada a los cuerpos de agua (Sawyer y McCarty, 1994).

La única forma significativa de fósforo inorgánico es el ortofosfato (PO₄⁻³). Una proporción elevada (>90%) del fósforo en lagos está unida a materia orgánica formando fosfatos orgánicos y constituyentes celulares en la materia particulada viva del seston (mezcla heterogénea de organismos vivos y no vivos que flotan sobre las aguas) o asociado en varias formas a materiales inorgánicos y materia orgánica particulada muerta.



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

El fósforo inorgánico y orgánico ha sido separado en varias formas o fracciones. Dichas fracciones no guardan relación con el metabolismo del fósforo. La fracción más importante, a la luz de las actividades metabólicas que se producen en un lago, es el contenido de fósforo total en agua no filtrada, que consiste en el fósforo en suspensión en materia particulada y el fósforo en forma disuelta. Ambas fracciones se subdividen, a su vez, en varias fracciones.

I - Fósforo particulado

1. Fósforo en organismos

- a. ácidos nucleicos (ADN y ARN) - éstos no están envueltos en un reciclaje rápido de fósforo
- b. fosfo - proteínas
- c. nucleótidos fosfatados - ADP y ATP ligados a los procesos de respiración y asimilación de CO_2

2. Fase mineral de rocas y suelos

- a. Apatita $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3^+ \text{X}^-$ (ej. Hidroxy Apatita y Fluoro Apatita, esta última es la principal fuente mineral en material ígneo). Estas representan fases mixtas en la cual el fósforo se absorbe a complejos inorgánicos, tales como:
 - (i) arcillas
 - (ii) carbonatos
 - (iii) hidróxidos férricos

3. Fósforo absorbido a materia orgánica particulada muerta o asociaciones macroorgánicas

II - Fósforo inorgánico disuelto

1. Ortofosfato

2. Polifosfatos - principalmente originados de detergentes sintéticos
3. Coloides orgánicos o fósforo combinado a coloides adsorbidos

El fósforo particulado o detrito representa al grupo de materia sin vida, es también fuente de alimento para el zooplancton y es generado por la excreta particulada de animales acuáticos y la muerte de organismos planctónicos. La descomposición de plantas y animales muertos, liberan fósforo orgánico disuelto y fosfatos (Chapra, 1983).

El fósforo inorgánico en el agua proviene de diversas fuentes. procesos de tratamiento de aguas que utilizan pequeñas cantidades de fosfatos condensados como agentes floculantes; procesos de lavado con detergentes a nivel industrial y/o doméstico; aguas residuales de los procesos agrícolas en donde los ortofosfatos constituyen uno de los principales productos fertilizantes.

El fósforo orgánico deriva fundamentalmente de la descomposición de la materia orgánica, abundante en las aguas residuales domésticas, agroindustriales (porquerizas, criaderos, plantas de sacrificio, etc) y en algunas industrias alimenticias. Pese a ello, la principal fuente de fósforo en el agua deriva de las aguas residuales agrícolas y del uso de detergentes en el lavado doméstico.



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

Estudios detallados de la productividad de lagos y su relación con fósforo y nitrógeno (Vollenweider y Kerekes 1981), han demostrado, por varios criterios, que la cantidad de fósforo total aumenta en productividad del lago. Aunque hay sus excepciones, esto demuestra un principio general que es útil cuando se aplica a estudios de eutroficación (Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Nivel de productividad de los lagos de acuerdo a la cantidad de fósforo total

NIVEL DE PRODUCTIVIDAD	FOSFORO TOTAL ($\mu\text{g/L}$)
ULTRA - OLIGOTROFICO	< 5
OLIGO - MESOTROFICO	5 - 10
MESO - EUTROFICO	10 - 30
EUTROFICO	30 - 100
HIPER - EUTROFICO	> 100

Fuente: Wetzel, 1992

El fósforo está presente en varias formas de fosfato que son de interés en la amplia variedad de procesos biológicos y químicos en aguas naturales, aguas residuales y aguas tratadas, por ejemplo, el fósforo puede ser elemento escaso que limita el crecimiento de plantas acuáticas fotosintéticas. Los fosfatos se utilizan como un nutriente por organismos en procesos de tratamiento biológico de residuos así como en la industria en los procesos de ablandamiento de agua por su habilidad para formar sales de calcio de solubilidad limitada (Snoeyink y Jenkins, 1995).

También los fosfatos condensados (polifosfatos) se emplean como agentes para formar complejos de Ca^{2+} y Fe^{2+} en aguas de calderas como "agentes de tratamiento de entrada", por ejemplo, el uso de tripolifosfato de sodio el cual absorbe en la superficie de cristales de calcita y así previene la precipitación del carbonato de calcio o como constituyente en formulaciones de detergentes sintéticos (el tripolifosfato estabiliza las partículas sucias donde forma complejos con Ca^{2+} y Mg^{2+} para prevenirlos de combinarse con las moléculas de detergente) (Snoeyink y Jenkins, 1995).

Las concentraciones típicas de fósforo que se encuentran en diversas aguas se muestran en la Tabla 2.2:

Tabla 2.2. Concentraciones típicas de fósforo total en agua y aguas residuales

Tipo de Agua	Concentración en mg/l como P
Aguas residuales domésticas	3 - 15
Drenajes agrícolas	0.05 - 1
Agua superficial de lagos	0.01 - 0.04

Fuente: Apuntes de Química Sanitaria y Ambiental (Fernández, 1992).

En los drenajes domésticos sin tratar el fosfato se distribuye aproximadamente como se muestra en la Tabla 2.3:



Tabla 2.3. Concentración de fósforo en aguas domésticas sin tratar

Formas de Fósforo	Concentración en mg/l como P
Ortofosfatos	5
Tripolifosfato	3
Pirofosfato	1
Fosfatos orgánicos	< 1

Fuente: Apuntes de Química Sanitaria y Ambiental (Fernández, 1992).

2.2.2.1 Ciclo del Fósforo

En la Figura 2.2 se muestra las trayectorias principales del ciclo del fósforo en los lagos. En el centro está el fósforo soluble biológicamente asimilable (PO_4^{-3}). Las líneas verdes indican las cargas externas, las líneas moradas indican cargas internas y las líneas amarillas indican reciclos internos. Los cuadros indican las mayores cantidades de fósforo y los valores varían de acuerdo a la estación (Home, 1994).

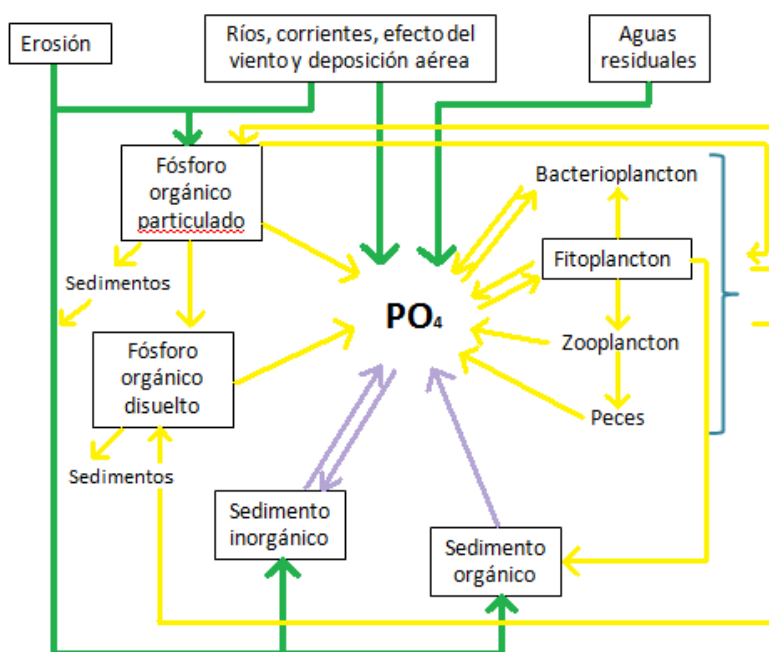


Figura 2.2. Ciclo del Fósforo en lagos (Modificado de Astorga, 2004)

El fitoplancton es el grupo funcional principal que remueve fosfato soluble PO_4^{-3}

2.2.3 Interacción de nutrientes en lagos

En la Figura 2.3 se muestra un esquema de los procesos que comúnmente ocurren en un lago. Principalmente muestra la cadena alimenticia y los procesos en donde interviene el oxígeno en los lagos.



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

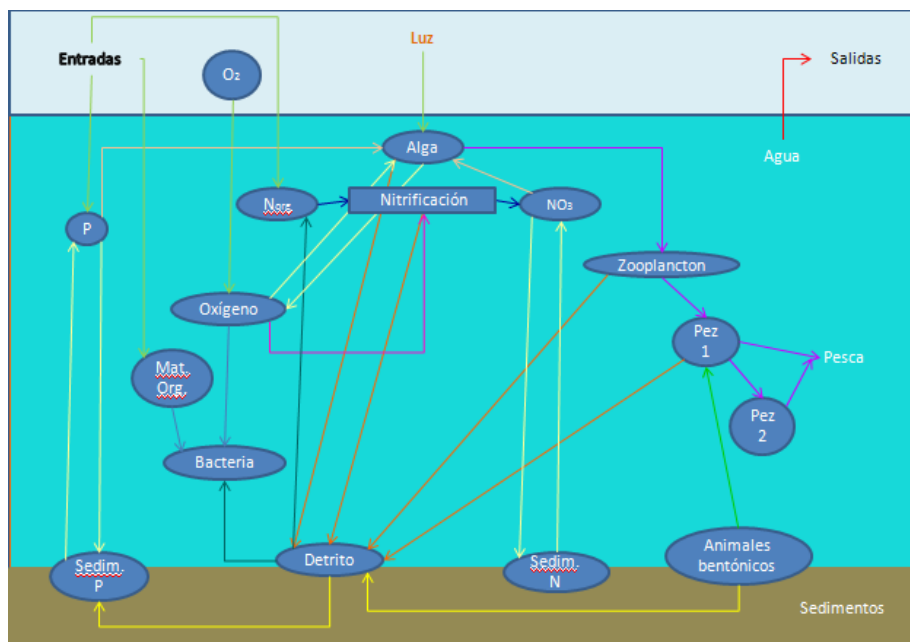


Figura 2.3. Esquema de los procesos que ocurren en un lago (Modificado de Jolánkai, 1992)

Los procesos que se muestran en el esquema son los que a continuación se describen:

1. El crecimiento de las algas (fitoplancton) está limitado por la disponibilidad de dos nutrientes principales, nitrógeno y fósforo, así como la penetración de la luz y temperatura.
2. Las algas son consumidas por zooplancton herbívoro u omnívoro, el cuál es el alimento del zooplancton carnívoro y de los peces que no son depredadores, que a la vez éste último es la presa de los peces depredadores.
3. Todos los organismos vivos se transforman en materia orgánica muerta, denominada "detrito", que forma el sustrato para las bacterias. La materia orgánica también se forma de fuentes externas.
4. La descomposición de la materia orgánica por bacterias incluye la etapa carbonacea y la etapa nitrogenada. Esta última se le conoce como proceso de nitrificación en donde los compuestos de amoníaco son oxidados a nitritos y después a nitratos por las bacterias nitrificantes (Nitrosomas y Nitrobacter), así el alimento nitrogenado es reciclado para las algas (NO_3^-) a partir de la materia orgánica muerta.
5. Mientras que la descomposición de la materia orgánica agota el contenido del oxígeno disuelto, las plantas acuáticas (fitoplancton y macrofitas) contribuyen con la actividad fotosintética. Sin embargo, fuera de éste periodo (durante la noche) su respiración también agota el contenido de oxígeno en el agua.
6. Varios factores naturales o de influencia humana como el pH, temperatura, profundidad, sólidos suspendidos, viento, diferencia de temperatura entre corrientes o la turbulencia producida por el viento afectan estos tipos de procesos.



En un lago eutrófico la carga de nutrientes (fósforo y nitrógeno) es elevada. Al aumentar la fijación fotosintética y la productividad, aumentan las interacciones cíclicas de regeneración de nutrientes inorgánicos y compuestos orgánicos. Como consecuencia de la descomposición del exceso de materia orgánica producida, la concentración de oxígeno en aguas profundas (hipolimnion) disminuye drásticamente (condiciones anaeróbicas) favoreciendo la liberación de nutrientes a partir del sedimento (Martino, 1989).

El aporte de nutrientes estimula el crecimiento de fitoplancton, lo que disminuye la luz que llega al sedimento limitando de este modo el crecimiento de macrófitas sumergidas. Se inicia así un proceso de autoperpetuación donde se produce la desaparición gradual de la vegetación sumergida y la comunidad de productores primarios queda dominada totalmente por el fitoplancton (Jeppesen 1998).

La eutroficación se asocia entonces con *blooms* fitoplanctónicos (frecuentemente tóxicos), mortandades masivas de peces, generación de malos olores, disminución de la diversidad biológica e interferencias significativas con diversos usos de los recursos acuáticos (Hallegraeff 1992, Ryding and Rast 1992, Meybeck *et al.* 1996, Moss *et al.* 1996, Vezjak *et al.* 1998) (Figura 2.4).

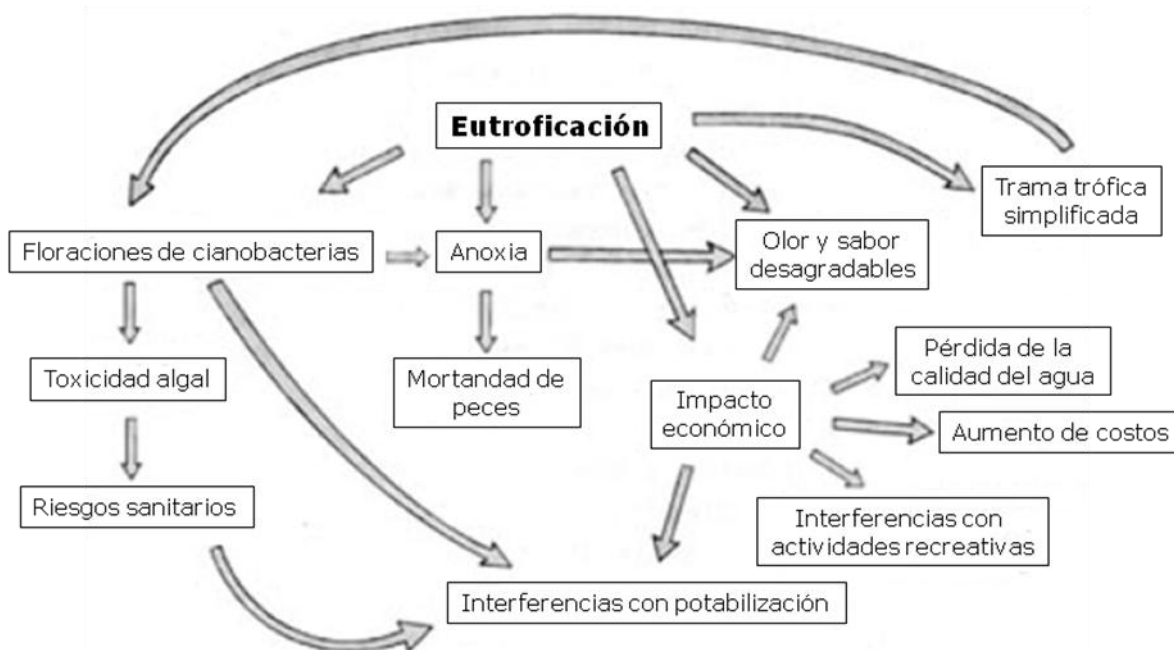


Figura 2.4. Esquema con las principales consecuencias del proceso de eutroficación en los sistemas acuáticos (modificado de Mazzeo *et al.* 2002).

2.3 Grasas – Aceites

Las grasas y aceites son compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal, así como los hidrocarburos del petróleo. Algunas de sus características más representativas son baja densidad, poca solubilidad en agua, baja o nula biodegradabilidad. Por ello, si no son controladas se acumulan en el agua formando natas en la superficie del líquido (Arce, 2010).



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

Su efecto en los sistemas de tratamiento de aguas residuales o en las aguas naturales se debe a que interfieren con el intercambio de gases entre el agua y la atmósfera. No permiten el libre paso del oxígeno hacia el agua, ni la salida del CO₂ del agua hacia la atmósfera; en casos extremos pueden llegar a producir la acidificación del agua junto con bajos niveles de oxígeno disuelto, además de interferir con la penetración de la luz solar (Arce, 2010).

Las principales fuentes aportadoras de grasas y aceites son los usos domésticos, talleres automotrices y de motores de lanchas y barcos, industria del petróleo, rastros, procesadoras de carnes y embutidos e industria cosmética (Arce, 2010).

La determinación analítica de grasas y aceites no mide una sustancia específica sino un grupo de sustancias susceptibles de disolverse en hexano, incluyendo ácidos grasos, jabones, grasas, ceras, hidrocarburos, aceites y cualquier otra sustancia que se pueda extraer con hexano (Arce, 2010).

Debido a sus propiedades, la presencia de grasas y aceites en aguas residuales pueden causar muchos problemas en tanques sépticos, en sistemas de recolección y en el tratamiento de aguas residuales (Crites y Tchobanoglous, 2000), ya que al ser inmiscibles con el agua, van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas. Estas natas y espumas entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico o químico, por lo que deben eliminarse en los primeros pasos del tratamiento de un agua residual.

Su efecto en los sistemas de tratamiento de aguas residuales o en las aguas naturales se debe a que interfieren con el intercambio de gases entre el agua y la atmósfera. No permiten el libre paso del oxígeno hacia el agua, ni la salida del CO₂ del agua hacia la atmósfera; en casos extremos pueden llegar a producir la acidificación del agua junto con bajos niveles del oxígeno disuelto, además de interferir con la penetración de la luz solar ya que incrementa su dispersión.

Si las grasas no se remueven antes de descargar las aguas residuales tratadas, podrían interferir con la vida biológica en la superficie de las fuentes receptoras creando películas. El espesor de aceite requerido para formar una película translúcida en la superficie de un cuerpo de agua es alrededor de 0.0000120 in, como se observa en la Tabla 2.4:

Tabla 2.4. Espesor de la película de aceites

Apariencia	Espesor de la película (in)	Cantidad preparada (gal/mi ²)
Pobremente visible	0.000015	25
Plateada	0.000030	50
Trazas de color	0.000060	100
Bandas brillantes de color	0.000120	200
Aparición de colores	0.000400	666
Colores mucho más oscuros	0.000800	1332

Fuente: (Crites y Tchobanoglous, 2000).

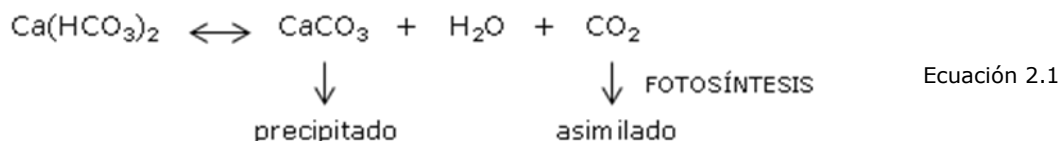


2.4 Potencial de Hidrógeno

La principal fuente del ión hidronio en cuerpos de agua es el ácido carbónico (H_2CO_3) y sus varias formas disociadas. El ión hidronio produce valores de pH menores a 6.0, cercanos a 5.0 en aguas no contaminadas. No obstante, el rango de pH en la mayoría de los cuerpos de agua interiores se extiende de 6.0 a 9.0, siendo controlado por el sistema de ácido carbónico.

Por lo que las fuentes de CO_2 (difusión de CO_2 atmosférico, procesos catabólicos, mineralización de CaCO_3) tienen un impacto sobre el pH en los cuerpos de aguas.

El proceso de fotosíntesis puede tener un efecto marcado sobre el pH del agua. En aguas con contenido alto de bicarbonato de calcio [$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$], la remoción de CO_2 del sistema por actividad fotosintética ocasiona un aumento en el pH del agua como se muestra en la Ecuación 2.1:



La remoción de CO_2 como consecuencia de la actividad fotosintética provoca que el equilibrio se desplace hacia la derecha, generándose así un aumento en pH. Esta situación se hace evidente por la presencia de incrustaciones calcáreas en la superficie de plantas acuáticas y en otros objetos sumergidos.

2.4.1 Factores que afectan el pH de un cuerpo de agua

En el caso de aguas oceánicas, donde el sistema de amortiguación de carbonato – bicarbonato opera efectivamente, el pH varía dentro de unos límites estrechos (8.1 ~ 8.3). En aguas cercanas a la costa, el pH de agua de mar se puede alejar del valor promedio indicado por efecto de la actividad fotosintética, la respiración celular y el efecto de descargas de origen antropogénico. En aguas interiores las variaciones en pH son grandes. El pH de lagos alcalinos puede tener valores mayores a 10 ó 11 unidades, mientras que el pH en algunas ciénagas o pantanos puede ser menores de 4.0. El pH de un cuerpo de agua puede variar dependiendo de factores intrínsecos y extrínsecos (Massol-Deyá, 2002):

Factores intrínsecos

- ✓ Capacidad amortiguadora del sistema de alcalinidad carbonato-bicarbonato.
- ✓ Estratificación y mezcla del sistema acuático.
- ✓ Evaporación.
- ✓ Intensidad de procesos biológicos tales como fotosíntesis, respiración y actividades de descomposición de materia orgánica.
- ✓ Interacción de los factores arriba mencionados con el sistema de alcalinidad.

Factores extrínsecos

- ✓ Composición de: suelos adyacentes, depósitos superficiales y lecho rocoso.
- ✓ Fuentes de contaminación: drenaje ácido de minas, precipitación ácida.



- ✓ Presión parcial de CO₂ en la atmósfera.
- ✓ Temperatura

2.5 Conductividad

Al determinar la conductividad se evalúa la capacidad del agua para conducir la corriente eléctrica, es una medida indirecta la cantidad de iones en solución (fundamentalmente cloruro, nitrato, sulfato, fosfato, sodio, magnesio y calcio) (Goyenola, 2007).

La conductividad en los cuerpos de agua dulce se encuentra primariamente determinada por la geología del área a través de la cual fluye el agua (cuenca). Por ejemplo, aguas que corren en sustrato graníticos tienden a tener menor conductividad, ya que ese sustrato está compuesto por materiales que no se ionizan. Descargas de aguas residuales suelen aumentar la conductividad debido al aumento de la concentración de Cl⁻, NO³⁻ y SO⁴⁻², u otros iones. Debe tenerse en cuenta que derrames de hidrocarburos (aceites, petróleo), compuestos orgánicos como aceites, fenol, alcohol, azúcar y otros compuestos no ionizables (aunque contaminantes), no modifican mayormente la conductividad (Goyenola, 2007).

El agua destilada tiene una conductividad en el rango de 0.5 a 3 μS/cm. La conductividad de nuestros sistemas continentales generalmente es baja, variando entre 50 y 1,500 μS/cm. En sistemas dulceacuícolas, conductividades por fuera de este rango pueden indicar que el agua no es adecuada para la vida de ciertas especies de peces o invertebrados. Algunos efluentes industriales pueden llegar a tener más de 10,000 μS/cm (Goyenola, 2007).

Es por esto que la conductividad es una medida útil como indicador de la calidad de aguas dulces. Cada cuerpo de agua tiene un rango constante de conductividad, que una vez conocido, puede ser utilizado como línea de base para comparaciones con otras determinaciones puntuales. Cambios significativos pueden ser indicadores eventos puntuales de contaminación (Goyenola, 2007).

2.6 Temperatura

La temperatura es el factor que más influencia tiene en los lagos, pues determina la densidad, viscosidad y movimiento del agua. La temperatura desempeña un papel importante en la distribución, periodicidad y reproducción de los organismos.

2.6.1 Factores que influyen en la temperatura de un cuerpo de agua

- *Profundidad*: Mientras menor sea la profundidad de un cuerpo de agua mayor será su temperatura y no presentará diferencias entre la superficie y el fondo.
- *Color del fondo*: El color del fondo de un cuerpo de agua es de gran importancia principalmente para cuerpos poco profundos y con fondos oscuros, pues absorben mayor cantidad de la radiación solar incidente, la cual a su vez hace que se eleve la temperatura del agua.



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

- Corrientes: Estas facilitan la mezcla de las capas superficiales de agua con las del fondo del cuerpo de agua, lo cual permite que se homogenice la temperatura en todo el cuerpo. Caso contrario sucede en los de aguas quietas, donde la temperatura de la capa superficial será mayor que la de las capas más profundas.
- Concentración de materia orgánica: Su descomposición genera calor, el cual hace que se incremente la temperatura del fondo del cuerpo de agua.
- Vegetación alledaña: La cual produce sombrero y evita que los rayos solares lleguen directamente a los cuerpos de agua, manteniendo una menor temperatura.

En las masas de agua como mares y lagos el calor procedente del sol en forma de radiación de onda larga se absorbe en los primeros centímetros de espesor, el calor acumulado en esta delgada capa superficial se transmite a las inferiores mediante advección (mezcla turbulenta generada por el viento). La acción del viento sobre la superficie del agua tiende a unificar verticalmente la temperatura y el espesor de agua superficial mezclada es directamente proporcional a la fuerza del viento y a su persistencia.

En los lagos que presentan estratificación térmica se diferencian tres zonas o capas, basado en una propiedad física del agua, que es que su densidad máxima es alcanzada aproximadamente a los 4 ° C (en realidad 3.94 ° C). En la Figura 2.5 se muestra la estratificación térmica que a continuación se describe: en la capa superior, o epilimnion (capa productiva o trofogénica), la circulación del agua es relativamente libre y hay un variable desarrollo de temperatura. Por debajo se superpone una capa con una discontinuidad térmica, metalimnion, en donde la temperatura cambia rápidamente, la termoclina se puede distinguir como la pendiente más pronunciada en el cambio de temperatura. La capa más profunda, hipolimnion, se mantiene a 4 ° C o ligeramente por encima ese valor y no se ve afectada por la turbulencia. Esta estratificación térmica es presentada en los lagos de zonas templadas durante el verano y en las zonas tropicales persiste todo el año (O´Sullivan y Reynolds, 2004).

En los lagos de zonas templadas durante el otoño, el epilimnion se enfría, y llega un momento en que la temperatura a lo largo de la columna de agua se iguala. En este punto, la estratificación se rompe, este periodo de mezcla es importante para la biología del lago, porque uniformiza la distribución de nutrientes, oxígeno y organismos (O´Sullivan y Reynolds, 2004).

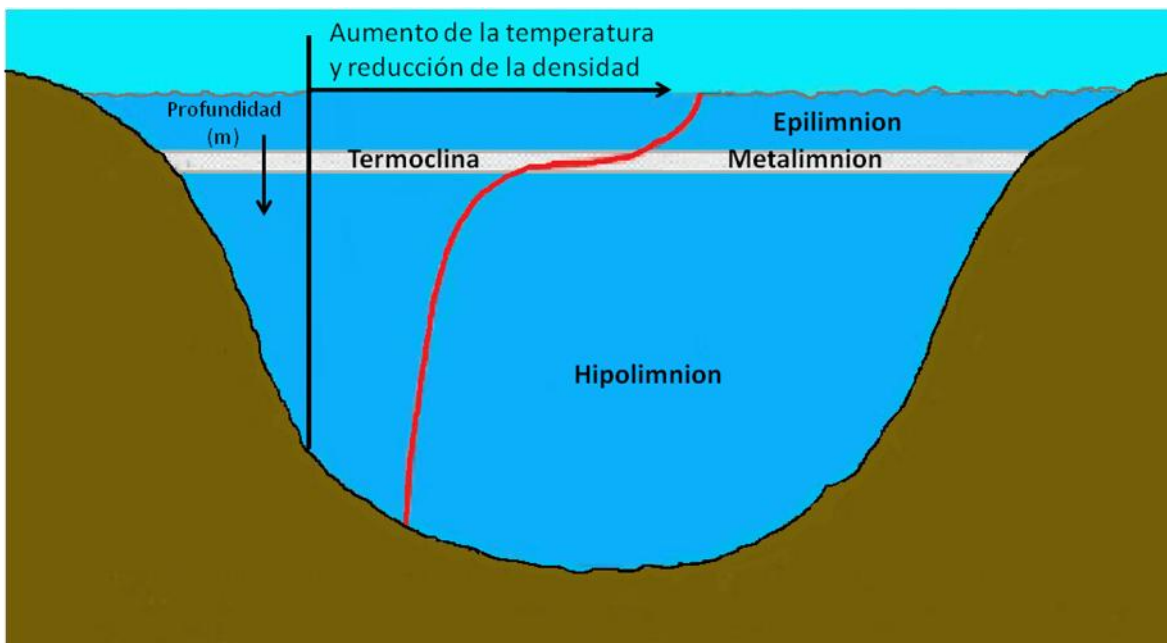


Figura 2.5. Estratificación térmica (modificado de Dias y Barroso, 1995)

2.7 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es esencial para el desarrollo de vida en los riachuelos y lagos saludables. El nivel de oxígeno disuelto puede ser indicador de cuán contaminado está el agua y cuán bien puede dar soporte esta agua a la vida vegetal y animal. En general, un nivel alto de oxígeno disuelto indica agua de mejor calidad, si los niveles de oxígeno disuelto son bajos, algunos peces y microorganismos no pueden sobrevivir.

Gran parte del oxígeno disuelto en el agua proviene del oxígeno del aire, también es el resultado de la fotosíntesis de las plantas acuáticas (Martínez, 2008). Como esta actividad fotosintética es mayor en las capas superiores bien iluminadas, su concentración es mayor a este nivel. En los niveles próximos al fondo, su concentración es mínima debido a los procesos de oxidación de la materia orgánica (Marcano, 2009).

Además la cantidad de oxígeno disuelto que puede disolverse en el agua depende de la temperatura, por lo tanto, la concentración de oxígeno disuelto es mayor en agua fría que en agua caliente (Martínez, 2008).

2.7.1 Principales fuentes de oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto aumenta en el agua debido a la reaireación y a la fotosíntesis (State Water Resources Control Board, 2010).

- **Reaireación:** El oxígeno del aire se disuelve en la superficie del agua, principalmente por mezclado.



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

- Fotosíntesis: En donde las plantas producen oxígeno a través de fotosíntesis. El nivel de oxígeno disuelto (OD) es generalmente más elevado a medio día, y más bajo en las horas de la madrugada antes de la salida del sol.

El oxígeno disuelto disminuye en el agua debido a la respiración y a la oxidación química (State Water Resources Control Board, 2010).

- Respiración: Los organismos acuáticos respiran y usan oxígeno. Grandes cantidades de oxígeno son consumidas por las algas y plantas acuáticas de noche (cuando las masas de plantas están presentes). Grandes cantidades de oxígeno son consumidas por descomposición de bacterias (cuando haya grandes cantidades de materia muerta para descomponerse, habrá un número significativo de bacterias). Ejemplos. materia orgánica muerta (algas), aguas residuales, residuos de jardines, aceites y grasas.
- Oxidación química: Algunos materiales se oxidan de forma natural (sin el consumo de microorganismos) y este proceso químico utiliza oxígeno.



CAPÍTULO 3

NORMATIVIDAD AMBIENTAL

La legislación ambiental o derecho ambiental es un complejo conjunto de tratados, convenios, estatutos, reglamentos, y el derecho común que, de manera muy amplia, funcionan para regular la interacción de la humanidad y el resto de los componentes biofísicos o el medio ambiente natural, hacia el fin de reducir los impactos de la actividad humana, tanto en el medio natural y en la humanidad misma (Escobedo, 2011).

El derecho ambiental se nutre de la influencia de los principios del ambientalismo, ecología, conservación, administración, responsabilidad y sostenibilidad. Respecto al control de la contaminación en general, las leyes tienen por objeto proteger y preservar el ambiente natural y la salud humana. La conservación de los recursos y las leyes de equilibrio general de gestión tienen como beneficios la conservación y la explotación económica de los recursos. Desde una perspectiva económica legislación ambiental puede ser entendida como interesada en la prevención de las externalidades presentes y futuras, y la preservación de los recursos comunes del agotamiento individual. Las limitaciones y los gastos que tales leyes pueden imponer sobre el comercio y los beneficios no cuantificables a menudo (no monetarios) de la protección del medio ambiente, han generado y siguen generando gran controversia (Escobedo, 2011).

3.1 Normatividad Nacional

La Tabla 3.1 menciona las Normas Oficiales Mexicanas en las cuales se establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales.

Tabla 3.1. Normas Oficiales Mexicanas

<i>NOM-001-SEMARNAT-1996</i>	Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
<i>NOM-003-SEMARNAT-1997</i>	Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público.

La Tabla 3.2 muestra los límites máximos permisibles de la ***NOM-001-SEMARNAT-1996*** de algunos parámetros que fueron determinados en el muestreo y que son aplicables para ésta norma. Para mayor detalle véase **Anexo 1**.



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

Tabla 3.2. NOM-001-SEMARNAT-1996

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS																						
PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO		HUMEDALES NATURALES (B)			
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)					
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.			P.M.	P.D.
Temperatura °C (1)	N.A	N.A	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40	
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

Fuente: NOM-001-SEMARNAT-1996

La Tabla 3.3 muestra los límites máximos permisibles de la **NOM-003-SEMARNAT-1997** que solo el parámetro de grasas y aceites es el que se refiere a ésta norma.

Tabla 3.3. NOM-003-SEMARNAT-1997

TIPOS DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes fecales NMP/100 ml	Huevos de Helminto (h/l)	Grasas y aceites m/l	DBO ₅ mg/l	SST/mg/l
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	≤ 1	15	20	20
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1,000	≤ 5	15	30	30

Fuente: NOM-003-SEMARNAT-1997

La Tabla 3.4 menciona las normas mexicanas que fueron consideradas para la determinación de nutrientes y grasas y aceites en el lago (análisis de agua).



Tabla 3.4. Normas Mexicanas

NMX-AA-005-SCFI-2000	Determinación de Grasas y Aceites recuperables en Aguas naturales, Residuales y Residuales tratadas.
NMX-AA-026-SCFI-2001	Determinación de nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.
NMX-AA-029-SCFI-2001	Determinación de fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.
NMX-AA-079-SCFI-2001	Determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas.
NMX-AA-082-1986	Determinación de nitrógeno de nitrato-método espectrofotométrico ultravioleta.
NMX-AA-099-SCFI-2006	Determinación de nitrógeno de nitritos en aguas naturales y residuales.

Dentro de la Legislación Ambiental, también se consideran los Criterios Ecológicos de Calidad del **Agua CE-CCA-001/89**, publicados en el Diario Oficial de la Federación el miércoles 13 de diciembre de 1989.

Tabla 3.5. Criterios Ecológicos de la Calidad de Agua

Parámetro	Recreativo con contacto primario	Riego agrícola
<i>Nitratos (como N)</i>	No hay criterio ecológico	No hay criterio ecológico
<i>Nitrógeno amoniacal</i>	No hay criterio ecológico	No hay criterio ecológico
<i>Oxígeno disuelto²</i>	No hay criterio ecológico	No hay criterio ecológico
<i>Fosfatos (como PO₄)</i>	No hay criterio ecológico	No hay criterio ecológico

En la Tabla 3.5 sólo se indican los parámetros que fueron determinados. Esta tabla se muestra completa en el **Anexo 1**.

Los criterios de calidad del agua recreativa se usan para evaluar la inocuidad del agua para la natación y otras actividades acuáticas. La inquietud primaria es proteger la salud humana al prevenir la contaminación del agua con material fecal o microorganismos que podrían causar infecciones gastrointestinales y afecciones al oído, ojo o piel. Por ello, generalmente los criterios se fijan para indicadores de contaminación fecal, tales como coliformes fecales y agentes patógenos (CEPAL, 1989).

Dentro de la región de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe de las Naciones Unidas (CEPAL) no se da mucha importancia al agua de recreación, varias áreas turísticas tienen diversos grados de contaminación del agua. Los olores fuertes, materia flotante y otros contaminantes pueden crear condiciones repelentes estéticamente para los usos recreativos del agua y reducir el atractivo visual. La elevada contaminación bacteriológica y otros tipos de contaminación hacen que las masas de agua no sean apropiadas para la recreación (CEPAL, 1989).



3.2 Normatividad Internacional

La Tabla 3.6 muestra los límites máximos permisibles de la normatividad nacional, así como la internacional. Esto es debido a que en México no existe normatividad para algunos de los parámetros que fueron determinados en el muestreo por lo que se consultaron las normas de calidad del agua para otros países. Para observar estos valores con mayor detalle ver **Anexo 1**.

Tabla 3.6. Límites máximos permisibles de la normatividad nacional e internacional para la calidad del agua

	NOM-001-SEMARNAT-1996				NOM-003-SEMARNAT-1997		CE-CCA-001/89		ECUADOR		VENEZUELA		COLOMBIA		BRASIL		AUSTRALIA Y NUEVA ZELANDA	O.M.S	E. EUROPEOS	
	Riego agrícola	Público urbano			Servicio al público		Recreativo cont. primario	Riego agrícola	Recreativo cont. secundario	Descarga a un cuerpo de agua dulce	Riego	Cont. humano parcial	Descarga a un cuerpo de agua dulce	Fines recreativos		Recreación	Poluentes en aguas superficiales	Recreación y usos estéticos	Valores normales en aguas dulces	
	PM	PD	PM	PD	Cont. Direct.	Cont. Indirect							Contacto primario	Contacto secundario				Superficial / subterránea		
pH	-	-	-	-	-	-	-	-	6.5 – 8.5	5 - 9	-	-	5-9	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5	6 – 9	6 - 9	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5	-
Temp (°C)	40	40	40	40	-	-	-	-	-	< 35	-	-	< 35	-	-	-	-	-	-	-
Cond. (µS/cm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	250	250
Oxígeno disuelto (mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	No menor al 80% de concentración de saturación	-	≥ 3	≥ 3	10	No menor al 80% de concentración de saturación y no menor a 6 mg/l	No menor al 80% de concentración de saturación	> 6	> 4	-	Menos del 75% de la concentración de saturación	-
Nitrógeno Total (mg/l)	40	60	15	25	-	-	-	-	-	15	-	-	15	-	-	-	-	-	50	-
Amoniaco (mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.75	-	< 0.2 (hasta 0.3 en aguas anaeróbicas)	-
Nitritos (mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.50
Nitratos (mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	-	-	50
Nitritos + Nitratos (mg/l)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fósforo Total (mg/l)	20	30	5	10	-	-	-	-	-	10	-	-	10	-	-	-	-	-	-	-
Fosfatos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Grasas y aceites (mg/l)	15	25	15	25	15	15	-	-	0.3	0.3	-	Ausente	0.3	0.3	0.3	Ausente	0.3	-	-	-

Fuente: NOM-001-SEMARNAT-1996; NOM-003-SEMARNAT-1997; CE-CCA-001/89; Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes (Ecuador), 2003; Norma ecuatoriana, 1983; Gaceta Oficial No. 5305, 1999; Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality, 2000; Arteaga CV, 2000.



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

La Tabla 3.7 muestra los límites de la concentración de nitrógeno amoniacal para la protección de la vida acuática con diferentes pH's y temperaturas de acuerdo a la EPA.

Tabla 3.7. Criterios para el amoniaco total (NH₃) a fin de proteger la vida acuática en aguas de diferente temperatura

pH	Concentración de amoniaco (mg l ⁻¹)						
	0 °C	5 °C	10 °C	15 °C	20 °C	25 °C	30 °C
6,50	2,50	2,40	2,20	2,20	1,49	1,04	0,73
6,75	2,50	2,40	2,20	2,20	1,49	1,04	0,73
7,00	2,50	2,40	2,20	2,20	1,49	1,04	0,74
7,25	2,50	2,40	2,20	2,20	1,50	1,04	0,74
7,50	2,50	2,40	2,20	2,20	1,50	1,05	0,74
7,75	2,30	2,20	2,10	2,00	1,40	0,99	0,71
8,00	1,53	1,44	1,37	1,33	0,93	0,66	0,47
8,25	0,87	0,82	0,78	0,76	0,54	0,39	0,28
8,50	0,49	0,47	0,45	0,44	0,32	0,23	0,17
8,75	0,28	0,27	0,26	0,27	0,19	0,16	0,11
9,00	0,16	0,16	0,16	0,16	0,13	0,10	0,08

Fuente: EPA, 1995



CAPÍTULO 4

ÁREA DE ESTUDIO

4.1 Descripción del Parque Alameda Oriente

El Parque Alameda Oriente se ubica en lo que anteriormente constituía el llamado Lago Xochiaca, el cual se encontraba adjunto al gran Lago Salado de Texcoco. Al ser ésta región lacustre la más baja del Valle de México, propició que los escurrimientos de las partes más elevadas, como Xochimilco, Zumpango y Chalco entre otros; desembocaran en ésta zona (Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal; 2005).

La Laguna de Xochiaca, fue un cuerpo estancado localizado al nor-poniente de la delegación Venustiano Carranza, limitado por el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, Ciudad Nezahualcóyotl y la colonia Ampliación Arenal (Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal; 2005).

Su origen y evolución es similar al ex - lago de Texcoco, razón por la cual se considera como uno de los últimos reductos lagunares característicos de la cuenca del Valle de México (Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal; 2005).

Fue utilizado por muchos años como receptor de las aguas de desechos del aeropuerto internacional de la Ciudad de México, adquiriendo características propias de una laguna de estabilización para materia orgánica alterando con esto la calidad del agua, lo que agregado al constante depósito de basura, llantas, animales muertos y en los últimos años escombros y distintos materiales provocó el rompimiento del equilibrio ecológico de la zona (Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal; 2005).

Xochiaca es un caso típico de un ecosistema que se encuentra bajo condiciones de severa contaminación afectando el entorno por la reproducción descontrolada de fauna nociva, olores fétidos y una deplorable imagen, así como un lugar propicio para la participación de delitos (Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal; 2005).

El Proyecto Xochiaca adquirió el nombre de "Alameda Oriente", cuando se integró al programa de dotación de áreas verdes establecido por el Gobierno de la Ciudad de México y pretendió sanear y rehabilitar 90 Ha, donde se propició el establecimiento y desarrollo de flora y fauna en forma inducida o natural, compatible con las necesidades de los habitantes del entorno. Asimismo se pretendió que en invierno recupere su función de refugio natural de fauna silvestre (Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal; 2005).

El sitio Bordo Xochiaca oficialmente fue clausurado como tiradero clandestino por las autoridades del Departamento del Distrito federal el 24 de agosto de 1987, haciéndose la reubicación de los pepenadores que habitaban en ese sitio (Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal; 2005).

Este proyecto representó retos técnicos que ha sido sorteados con imaginación y trabajo constante para lograr su completa rehabilitación en beneficio de la ciudadanía (Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal; 2005).



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

El Parque Alameda Oriente, cuenta con una superficie total de 82.9 Ha divididas en nueve zonas con instalaciones deportivas, recreativas y administrativas, áreas verdes y de jardín, que poseen diferentes especies de árboles y setos, un vivero y un lago artificial (Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal; 2005).

La Figura 4.1 presenta el parque Alameda Oriente.



Figura 4.1. Presentación de la Alameda Oriente (Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal (2005).

4.1.1 Ubicación

El ecológico Parque Alameda Oriente se ubica en Av. Bordo de Xochiaca S/N, esq. Prolongación Periférico, Col. Arenal 4ª sección, Delegación Venustiano Carranza, C.P. 15600 (Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal; 2005).

Localizado a $19^{\circ}26'00''$ de latitud norte y $99^{\circ}05'00''$ de longitud oeste a una altura de 2234 msnm (Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal; 2005). La Figura 4.2 muestra la ubicación del Parque Alameda Oriente.



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente



Figura 4.2. Ubicación del Parque Alameda Oriente (Google Maps, 2010)

4.1.2 Descripción zonal del Parque Alameda Oriente, D.F., México

El Parque Alameda Oriente está dividido en 9 zonas, de acuerdo a las actividades de mantenimiento, con las siguientes características:

Zona 1

Esta zona comprende el perímetro sur, sobre la Avenida Bordo Xochiaca, la cual corresponde a las puertas 1 y 2. En esta área hay un total de 2,000 árboles; presentes en 860 metros lineales de cortina rompevientos la cual consiste en 9 columnas de árboles; las primeras 3 se conforman por la especie *Acacia retinoides*, las siguientes 3 por *Casuarina esquisetifolia* y las últimas 3 por *Eucalyptus camaldulensis*.



Figura 4.3. Árboles del Parque Alameda Oriente (Fotografía propia)



Zona 2

Se localiza en el oeste y noroeste del perímetro de cortina rompevientos comprende 1.5 kilómetros de área verde siguiendo con la disposición de nueve columnas, pero de manera menos uniforme la columna de acacias, habiendo solo unos pocos árboles de esta especie. Se encuentran aquí un total de 2,821 árboles.



Figura 4.4. Áreas verdes del Parque Alameda Oriente y lago (Fotografía propia)

Zona 3

Se ubica al norte del parque, aun costado de la DGCOH., sobre la antigua Avenida Vía Tapo. Tiene una superficie aproximada de 4.7 Ha, siendo casi en su totalidad área verde, debido a que esta superficie es de conservación. Posee alrededor de 1,204 árboles.



Figura 4.5. Áreas verdes (Fotografía propia)



Zona 4

Se ubica al oeste del parque, a un costado del Aeropuerto Internacional Benito Juárez. Su superficie total aproximada es de 10 Ha, dentro de las cuales se encuentran áreas de recreación, además de presentar una amplia superficie empastada. Cuenta también con canchas de fútbol rápido, estacionamiento, una amplia superficie de arbolado y se encuentra un área de reforestación, el número de individuos adultos censados es 1,844 habiendo una gran variedad de especies entre estos.



Figura 4.6. Canchas de baloncesto (Fotografía propia)

Zona 5

Se localiza al suroeste del parque, a un costado de la Av. Bordo Xochiaca y Vía Exprés Tapo. La zona comprende jardinerías de plantas cactáceas, un anfiteatro, una cancha de soccer, estacionamiento, canchas de fútbol llanero, básquetbol, voleibol y frontón, además de oficinas administrativas; su superficie total es de 14.6 Ha aproximadamente, y un total de 1,491 individuos.



Figura 4.7. Jardinerías de plantas cactáceas (Fotografía propia)



Zona 6

Se encuentra al sur del parque, con una superficie de 3.4 Ha, hay un total de 539 árboles sin contarse los pertenecientes al interior del lago, en ella se hallan canchas de fútbol llanero, un área de juegos infantiles, una estación de "trenecito", una zona de comercio alimenticio y una de videojuegos.



Figura 4.8. Canchas de fútbol (Fotografía propia)

Zona 7

En esta área se encuentran caballerizas, una cancha de fútbol, pista de go-cars, palapas, juegos mecánicos y areneros; cuenta con una superficie de 9.7 Ha dentro de las cuales se hallan 982 árboles.



Figura 4.9. Palapas en el Parque AO (Fotografía propia)



Zona 8

Se encuentra en la parte central del parque, esta zona se distingue por amplias áreas de pastizal y poca cobertura arbórea cuenta con canchas de frontón, una playa artificial y un vivero, suma en su totalidad 11.4 Ha dentro de las cuales se hallan 584 organismos arbóreos mayormente representados por las especies *Casuarina equisetifolia* y *Acacia retinoides*.



Figura 4.10. Lago y áreas verdes (Fotografía propia)

Zona 9

Se ubica al este del parque, a un lado de la Avenida Prolongación Anillo Periférico. Su área total mide 7.6 Ha, presenta alrededor de 970 metros lineales de cortina rompevientos y suelo empastado, la cortina la conforman en su primer tramo *Casuarina equisetifolia*. El segundo tramo de esta zona la conforman en su mayoría *Eucalyptus camaldulensis* y *globulus* algunas acacias y *Fraxinus uhdei*, en este tramo de la cortina la columna no es uniforme ni densa. Cuenta con un total de 1,726 individuos.



Figura 4.11. Poca cobertura arbórea (Fotografía propia)



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

La Figura 4.12 muestra las 9 zonas en las que se compone el Parque Alameda Oriente descritas anteriormente.



Figura 4.12. Ubicación de zonas en el Parque Alameda Oriente (Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F., 2011).

En la Tabla 4.1 se encuentran enlistadas las especies arbóreas existentes en el parque Alameda Oriente



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

Tabla 4.1. Especies arbóreas existentes dentro del Parque Alameda Oriente

Especie	N° de Individuos
<i>Acacia retinoides</i>	866
<i>Acacia sp.</i>	1
<i>Callistemon citrinus</i>	56
<i>Casuarina equisetifolia</i>	8035
<i>Cupressus sp.</i>	501
<i>Cupressus sempervirens</i>	140
<i>Cupressus lusitanica</i>	2
<i>Erythrina americana</i>	129
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	2086
<i>Eucalyptus globulus</i>	20
<i>Fraxinus uhdei</i>	328
<i>Grevillea robusta</i>	66
<i>Jacaranda mimosifolia</i>	86
<i>Ligustrum japonicum</i>	2
<i>Citrus sp.</i>	1
<i>Pinus radiata</i>	17
<i>Salix babylonica</i>	1
<i>Schinus molle</i>	14
<i>Schinus terebinthifolius</i>	67
<i>Senna multiglandulosa</i>	1
<i>Tamarix gallica</i>	91
<i>Thuja sp.</i>	15
<i>Ulmus parvifolia</i>	63
Total General	12,588

Fuente: Procuraduría Ambiental y del ordenamiento territorial del D.F., 2011

En el cuadro anterior se observan 23 campos de especies; *sp* hace referencia a especies que no se identificaron al momento del censo. Es importante mencionar que se encontraron 576 individuos muertos y 27 especies que no se identificaron al momento del censo.

Del total de los individuos censados.

- 1172 se encuentran muertos lo que corresponde a un 9%
- 10420 son arboles con un estado fitosanitario bueno corresponde al 79%
- 1240 árboles con un estado fitosanitario regular correspondiente al 9%
- 293 se encuentran en estado fitosanitario malo representa el 2%.
- 66 árboles corresponden a arboles encontrados en áreas inaccesibles, esto quiere decir que se tomaron encuentra en un conteo rápido, pero no se tomó sus medidas de altura, DAP, Copa y el estado fitosanitario, representando el 1%.



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

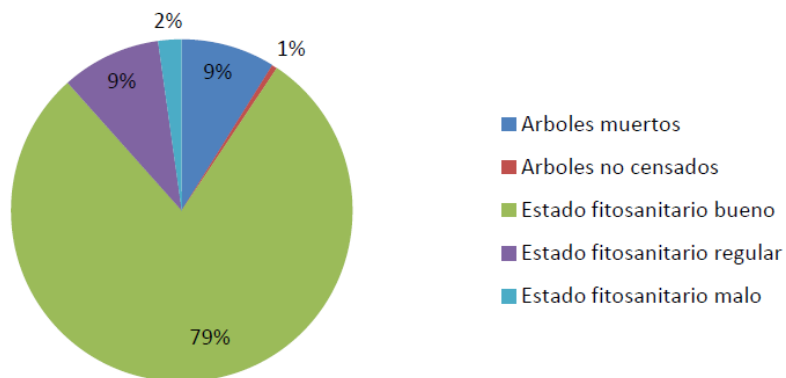


Figura 4.13. Estado fitosanitario actual del arbolado (Procuraduría Ambiental y del ordenamiento territorial del D.F., 2011)

4.2 Lago de Alameda Oriente

El lago cuenta con 117,729 m² (11.7729 Ha) y se localiza en la porción central de la Alameda Oriente (Secretaría de Obras y Servicios del Distrito Federal; 2005).

El lago cuenta con 6 esclusas, 2 descargas provenientes del lago de San Juan Aragón y una toma que la utilizan para riego del mismo parque, como se indica en la Figura 4.14



Figura 4.14. Fotografía aérea del Lago del Parque Alameda Oriente (Google Maps, 2010)

La Tabla 4.2 muestra la distribución de la superficie total del Lago de AO.

Tabla 4.2. Distribución de la superficie total del Lago de Alameda Oriente

Área	Superficie (m ²)
Espejo de agua	80,560
Vialidad	8,137
Áreas verdes	26,955
Fuentes	53
Área engravada	2,024

Fuente: Área de apoyo técnica del parque, 1989.



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente



Figura 4.15. Fotografías del lago del Parque Alameda Oriente (Fotografías propias)

En la Figura 4.15 se aprecian algunas fotografías del Lago del Parque Alameda Oriente.

Para su construcción se llevaron a cabo actividades de dragado, estabilización, impermeabilización y llenado del vaso receptor, el cual tiene una profundidad de 1.60 m en su máximo nivel.

El lago se considera eutrófico lo cual quiere decir que hay un aumento de la entrada de nutrientes que puede ser artificial si se debe a actividades del hombre o natural si el aumento es debido a procesos ajenos al hombre, esto se puede notar ya que el agua del lago del Parque Alameda Oriente se torna oscura con coloración verdosa, en caso contrario de los lagos oligotróficos (Mason, 1987).

En la Tabla 4.3 se presentan las características generales de los lagos oligotróficos y eutróficos según Ryding y Rast (1992).



Tabla 4.3. Características generales de los lagos oligotróficos y eutróficos

Característica	Oligotróficos	Eutróficos
Abióticas		
Contenido de oxígeno en el fondo	Alto todo el año	Bajo o ausente en verano
Fósforo total ($\mu\text{g l}^{-1}$)	4.9 - 13.3 [*]	48 - 189 [*]
Nitrógeno total ($\mu\text{g l}^{-1}$)	371 - 1180 [*]	861 - 4081 [*]
Transparencia (Disco de Secchi, m)	5.9 - 16.5 [*]	1.5 - 4.0 [*]
Biológicas		
Productividad de algas y plantas	Baja	Alta
Biomasa fitoplanctónica (Clorofila a, $\mu\text{g l}^{-1}$)	0.8 - 3.4 [*]	6.7 - 31 [*]
Diversidad de especies	Alta	Media a baja
Floraciones algales	Rara	Frecuente
Cantidad relativa de cianobacterias	Baja	Alta
Grupos de fitoplancton característicos	Eucariotas (Algas verdes, Diatomeas, otros)	Cianobacterias
Vegetación litoral	Macrófitas sumergidas	Algas filamentosas
Biodiversidad del ecosistema	Baja a Alta	Baja
Uso humano del recurso		
Calidad de agua para recreación	Buena	Mala
Potabilización	Sencilla	Costosa; Compleja

Fuente: Ryding & Rast 1992.

4.2.1 Factores que afectan el volumen del lago

Precipitación

La precipitación media anual en la zona donde se ubica el lago es de 600 mm (Gaceta Oficial del GDF; 2006).

Evaporación

En la zona, los valores de temperatura, viento, insolación, cubierta vegetal, etc., determina una media de evaporación de 2,000 mm anuales, siendo los meses de febrero, marzo, abril y mayo los de mayor evaporación (Gaceta Oficial del GDF; 2006).

En el periodo de enero a mayo, la media mensual aproximadamente es de 166 mm y la total de 830 mm (Gaceta Oficial del GDF; 2006).

Extracción de agua para riego

En época de estiaje el riego se ha realizado al máximo, bombeando del lago un promedio de 73000 litros en los meses de enero a mayo (Gaceta Oficial del GDF; 2006).



4.2.2 Especies habitantes en el lago

El lago Alameda Oriente alberga a 22 especies de aves acuáticas migratorias como la cigüeñela, gallareta, pato cucharón, garza dedos dorados, pato real, chorloto tildio, ganso y patos domésticos, etc., eligen el lago para pasar el invierno (Gaceta Oficial del GDF; 2006). En la Figura 4.16 se muestran algunas especies habitantes en el lago.



Figura 4.16. Especies habitantes en el lago del Parque Alameda Oriente (Fotografía propia)

Actualmente las actividades realizadas en el lago son de recreación y de investigación. Sin embargo, es fundamental diagnosticar las condiciones del cuerpo de agua, con el fin de que se tenga la información necesaria y así realizar un Programa de Manejo Integral del lago.



CAPÍTULO 5

MATERIAL Y MÉTODOS

5.1 Trabajo de Laboratorio

En el laboratorio se determinaron los parámetros fisicoquímicos como fósforo (ortofosfatos) y nitrógeno en sus tres formas; nitritos (NO_2), nitratos (NO_3) y amoniacal (NH_3), así como las grasas y aceites.

5.1.1 Nitrógeno Amoniacal (NH_3)

El Nitrógeno amoniacal se determinó por colorimetría (APHA, 2005). La curva de calibración se muestra en la Figura 5.1.

<i>Transmitancia</i>	<i>Principio</i>
410 nm	Reactivo de Nessler

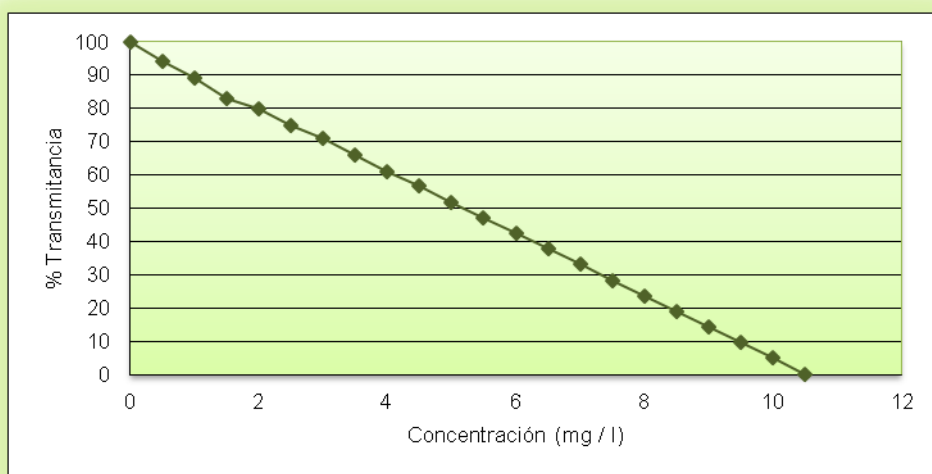


Figura 5.1. Curva de calibración de nitrógeno amoniacal



Figura 5.2. Método de colorimetría para nitrógeno amoniacal



5.1.2 Nitritos (NO_2)

Su determinación fue realizada conforme a la **NMX-AA-099-SCFI-2006** y al método colorimétrico para medir dicho parámetro (APHA, 2005). La curva de calibración se muestra en la Figura 5.3.

<i>Transmitancia</i>	<i>Principio</i>
520 nm	Ácido sulfanílico Clorhidrato de Naftilamina

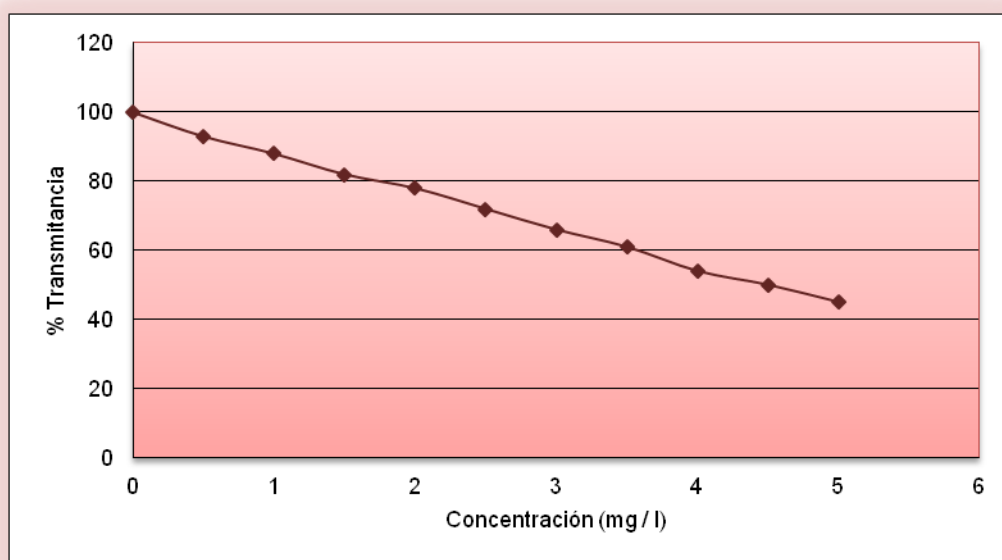


Figura 5.3. Curva de calibración de nitritos

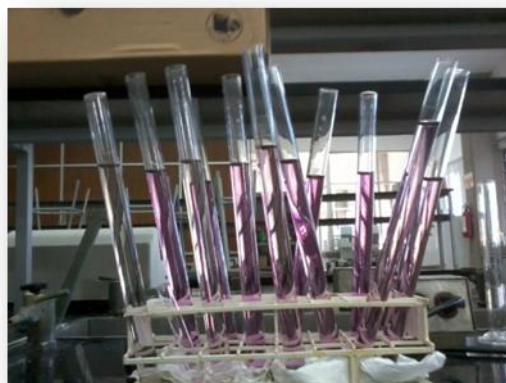


Figura 5.4. Método de colorimetría para nitritos



5.1.3 Nitratos (NO_3)

Su determinación fue realizada conforme a la **NMX-AA-079-SCFI-2001** y al método colorimétrico para medir dicho parámetro (APHA, 2005). La curva de calibración se muestra en la Figura 5.5.

<i>Transmitancia</i>	<i>Principio</i>
410 nm	Ácido fenildisulfónico

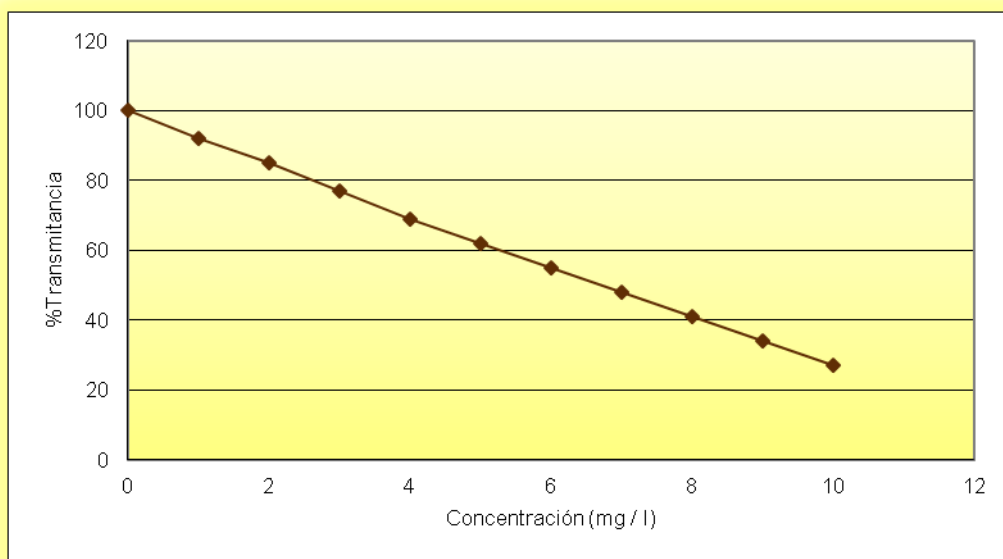


Figura 5.5. Curva de calibración de nitratos

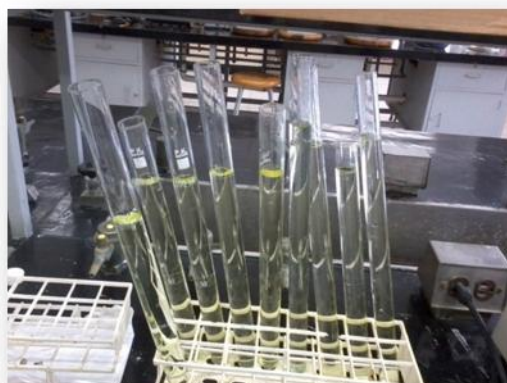


Figura 5.6. Método de colorimetría para nitratos



5.1.4 Fósforo

Conforme a la **NMX-AA-029-SCFI-2001** y al método colorimétrico (APHA, 2005) se llevó a cabo la determinación de fósforo total. La curva de calibración se muestra en la Figura 5.7.

<i>Transmitancia</i>	<i>Principio</i>
690 nm	Cloruro estannoso

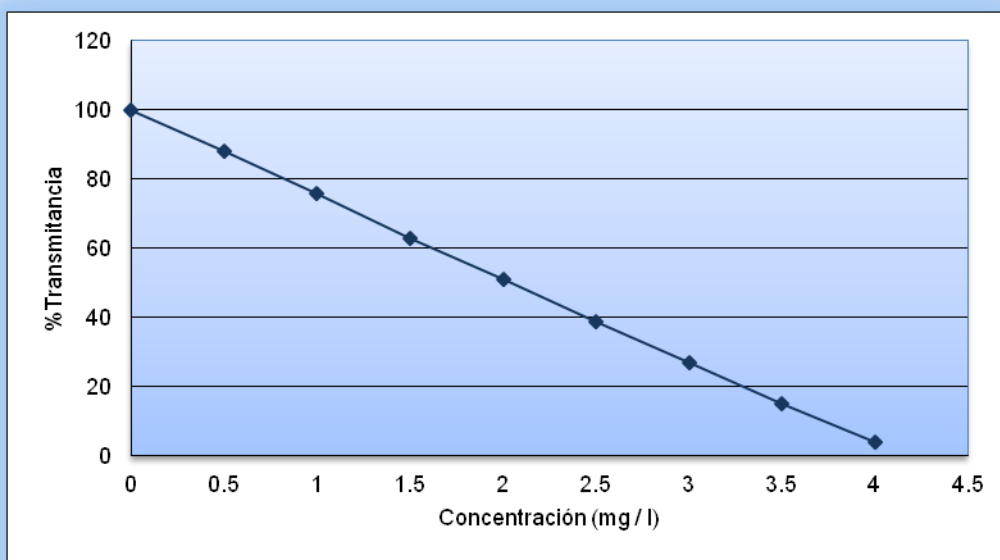


Figura 5.7. Curva de Calibración de Fósforo



Figura 5.8. Método de colorimetría para Fósforo

Para todas las muestras de nutrientes, fue necesario ajustar las muestras de agua a la curva de calibración para poder calcular la concentración en cada parámetro.



5.1.5 Grasas y Aceites

La determinación de grasas y aceites se llevó a cabo conforme a la metodología indicada en la **NMX-AA-005-SCFI-2000** utilizando un equipo Soxhlet y un rotavapor, como se muestra en la Figura 5.9.



Figura 5.9. Determinación de grasas y aceites



5.2 Trabajo de campo

En éste proyecto se determinaron diferentes nutrientes presentes en el Lago del Parque Alameda Oriente principalmente Nitrógeno y Fósforo, así como las grasas y los aceites en las seis esclusas así como la toma de agua y la descarga proveniente de la planta de San Juan de Aragón presentes en el lago de acuerdo a la normatividad mexicana, abarcando la temporada de estiaje y de lluvias.

Se llevaron a cabo 12 muestreos con un intervalo de entre dos y tres semanas cada muestreo, del mes de febrero del 2011 al mes de septiembre del mismo año abarcando las épocas de estiaje y de lluvias. Todos los muestreos se realizaron a medio día.

5.2.1 Muestreo

El objetivo de la toma de muestra fue la obtención de una porción de material cuyo volumen fuera lo suficientemente pequeño como para que pudiera ser transportado con facilidad y manipulado en el laboratorio sin que por ello dejara de representar con exactitud al material de donde procede (Rodieret *al.*, 1992).

Para determinar los puntos de muestreo cada esclusa se dividió en cuatro partes y se tomó una muestra de cada una de las partes (puntos amarillos), como se muestra en la Figura 5.10, se midieron diferentes parámetros pero en los resultados no hubo diferencia por lo que se decidió muestrear en las coordenadas centrales de cada esclusa (puntos rojos), por lo que se tomaron muestras simples (puntuales) para la determinación y el análisis de nutrientes (para éste tipo de muestras se utilizaran envases de polietileno previamente lavados con jabón libre de fósforo).

Las grasas y los aceites por diferencia de densidades flotan por lo que todas las muestras analizadas fueron superficiales para tener el mismo punto de referencia.

El muestreo para la determinación de grasas y aceites se llevó a cabo en los sitios donde se encontraron presentes (Estas muestras se realizaron en un frasco de vidrio de boca ancha de 1 litro y tapa de cubierta de politetrafluoroetileno, poliamida, PVC polietileno o metálica previamente lavados con HCl 1:1)

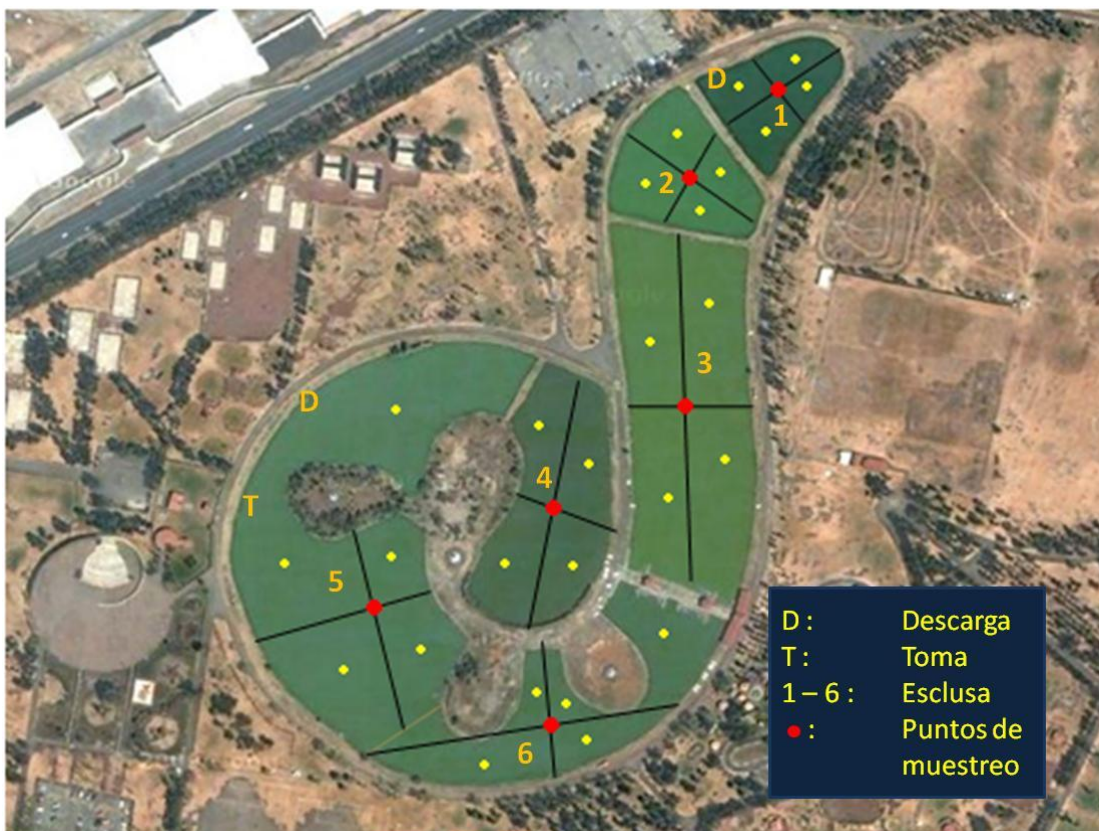


Figura 5.10. Puntos de muestreo en el lago del Parque Alameda Oriente

5.2.2 Identificación de las muestras

Todas las muestras se marcaron con etiquetas para poder identificarlas posteriormente, las cuales contuvieron; número de esclusa y fecha de muestreo. Toda información generada en el muestreo fue registrada en una bitácora de campo la cual contuvo; fecha de muestreo, número de esclusa, temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad y observaciones.

5.2.3 Preservación de las muestras

A la muestra de grasas y los aceites, se le agregó 1 ml de HCl 1:1 para preservarla y se tuvo un tiempo límite de 28 días para su análisis en laboratorio aunque su determinación se llevó a cabo 7 días posteriores a la toma de la muestra.

Todas las muestras se conservaron a una temperatura de 4°C, hasta su posterior análisis.

5.2.4 Potencial de hidrógeno y Conductividad

El pH y la conductividad fueron medidos en cada punto de muestreo con el equipo "Conductronic pH 120". En la Figura 5.11 se muestra el equipo.



Figura 5.11. Conductronic pH 120

El equipo fue calibrado con distintos estándares de calibración correspondientes a cada parámetro. El equipo siempre fue calibrado un día anterior al muestreo para asegurar que los datos obtenidos fueran los más precisos posibles.

5.2.5 Temperatura y Oxígeno disuelto

La temperatura y el oxígeno disuelto fueron determinados en cada punto de muestreo con el equipo "Dissolved Oxygen Meter YSI Model 58". En la Figura 5.12 se muestra el equipo.



Figura 5.12. Dissolved Oxygen Meter YSI Model 58

En cuanto al oxígeno disuelto el equipo fue calibrado con agua destilada (El valor de saturación del oxígeno disuelto en el D.F. a 20°C es de 7.167 mg/l) que se usó como referencia. El equipo siempre fue calibrado el mismo día del muestreo en laboratorio y en campo para asegurar que los datos obtenidos fueran los más precisos posibles.

En cuanto a la temperatura el equipo fue sometido a mantenimiento y calibración por el laboratorio constantemente.



CAPÍTULO 6 RESULTADOS Y SU EVALUACIÓN

6.1 Laboratorio

Con el primer muestreo del 4 de febrero de 2011 se probaron las técnicas analíticas para la determinación de nutrientes, por lo que en éste muestreo no se obtuvieron resultados de nutrientes, sólo de grasas y aceites.

6.1.1 Nitrógeno

6.1.1.1 Nitrógeno Amoniacal

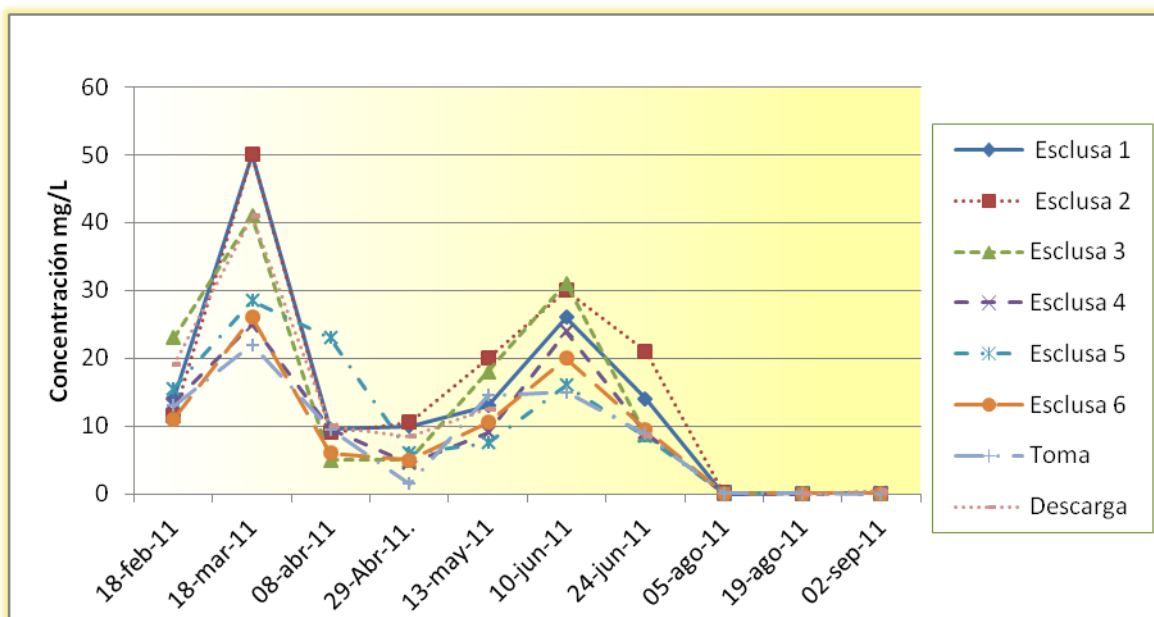


Figura 6.1. Gráfica de resultados de nitrógeno amoniacal

En el **Anexo 2** se muestra la tabla de los resultados que conforman la Figura 6.1.

La Figura 6.1 muestra una variación de la concentración de nitrógeno amoniacal. La alta concentración se debe a que hay una acumulación de nutrientes debido al bajo movimiento del agua y el agua en esa zona aún no ha pasado por el proceso de oxidación para convertirse en nitritos y después en nitratos.

Las grandes cantidades de nitrógeno amoniacal se deben a la descomposición de la materia orgánica de carácter proteínico y de la urea, que es probablemente lo que haya sucedido en el muestreo del 18 de marzo y del 10 de junio ocasionado por una descarga ya que los resultados aumentaron significativamente.

La presencia de concentraciones superiores a 0.5 mg/l en cualquier tipo de agua indica generalmente la presencia de contaminación orgánica.



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

A partir del muestreo del 5 de agosto la concentración de nitrógeno amoniacal bajó considerablemente, esto se debe a que el tirante del lago se encuentra en su máximo nivel y hay una dilución significativa de este nutriente.

La presencia de nitrógeno amoniacal en el agua es el resultado de la descomposición biológica y la estabilización del nitrógeno orgánico (Ellis, 1993).

Un alto contenido nitrógeno amoniacal indica gran actividad biológica y es indicativo de contaminación cloacal.

Normatividad

El nitrógeno inorgánico total es la suma del nitrógeno amoniacal más nitrógeno de nitrito más nitrógeno de nitratos, la norma **NOM-001-SEMARNAT-1996**, establece un máximo permisible para un embalse natural o artificial de uso público urbano de 25 mg/l de nitrógeno total en la descarga.

De acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-1996, la descarga rebasa éste límite máximo permisible en el muestreo del 18 de febrero. La alta concentración de nitrógeno amoniacal se debe a que hay una acumulación de nutrientes debido al bajo movimiento del agua

La Guía Canadiense de la Calidad del Agua, establece una concentración de nitrógeno amoniacal de 2.2 mg/l a un pH de 6.5 y a una temperatura de 10°C para aguas adecuadas a preservación de la vida acuática en aguas dulces y 1.37 mg/l de nitrógeno amoniacal (total) a un pH 8.0 y a una temperatura de 10°C, para aguas destinadas a la preservación de las comunidades acuáticas (Dirección General de Salud Ambiental, 2006).

El Anteproyecto de Norma de Calidad para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de Chile, establece una concentración de 1.6 mg/l de nitrógeno total para aguas continentales superficiales de calidad adecuada para la preservación de comunidades acuáticas (Dirección General de Salud Ambiental, 2006).

La Norma Técnica Nacional para Agua de Honduras, establece una concentración de 2 mg/l de Nitrógeno Amoniacal para la preservación de la flora y fauna (Dirección General de Salud Ambiental, 2006).

La Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de efluentes. Recurso Agua de Ecuador, establece una concentración de 0.02 mg/l de amoniaco para la preservación de la flora y fauna en aguas dulces y 0.4 mg/l para la preservación de la flora y fauna en cuerpos estuarinos (Dirección General de Salud Ambiental, 2006).

La Norma para prevenir la Contaminación Ambiental de Uruguay, establece una concentración máxima de 0.02 mg/l de amoniaco libre para aguas destinadas a la preservación de los peces en general y de otros integrantes de la flora y fauna acuática (Dirección General de Salud Ambiental, 2006).

En Perú se establece una concentración de 0.1 mg/l de Nitrógeno en lagunas oligotróficas, 0.4 mg/l en lagunas eutróficas, 1.6 en ríos de la Costa y Sierra del Perú y 2 mg/l en ríos de la Selva (Dirección General de Salud Ambiental, 2006).



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

En comparación con las normas internacionales, los resultados mostrados en la Figura 6.1 de los muestreos del 18 de febrero al 24 de junio los parámetros obtenidos rebasan los límites máximos permisibles pero después del muestreo realizado el 5 de agosto los límites máximos permisibles si están dentro de la normatividad. Esto es porque el tirante del lago se encuentra en su máximo nivel y hay una dilución significativa de éste nutriente.

6.1.1.2 Nitrógeno de Nitritos

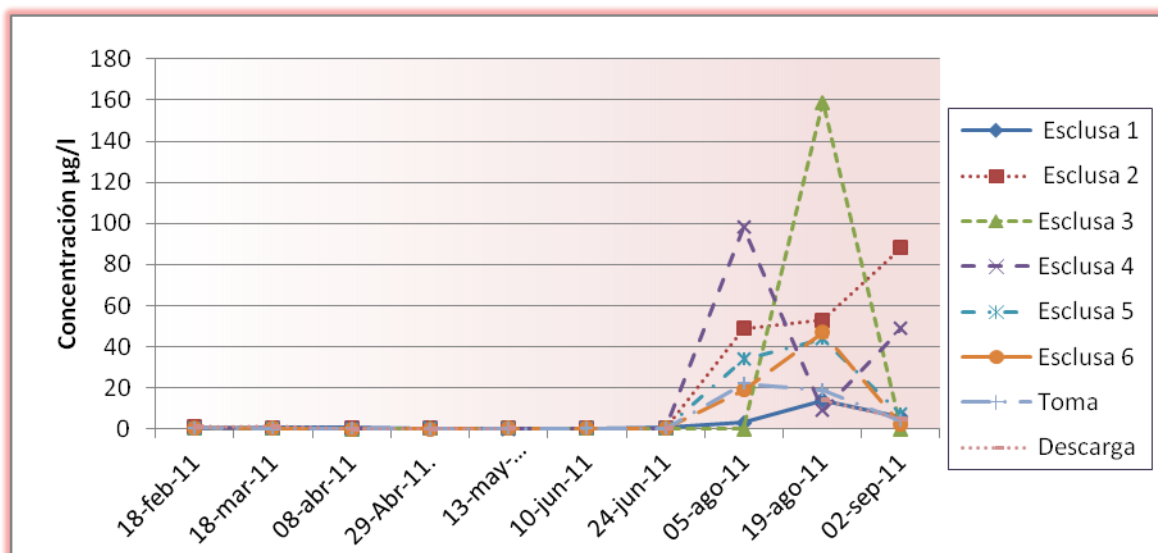


Figura 6.2. Gráfica de resultados de nitrógeno de nitritos

En el **Anexo 2** se muestra la tabla de los resultados que conforman la Figura 6.2.

La baja concentración de nitritos se debe a que ocurre una oxidación (química o por microorganismos) del amonio al contacto con el aire. En la Figura 6.2 se muestra que partir del muestreo del 5 de agosto hubo un aumento significativo de los nitritos alcanzando su valor más alto de 159 $\mu\text{g/l}$ en la esclusa 3 del 19 de agosto.

La presencia de nitritos en el agua es indicativo de contaminación de carácter fecal reciente. En aguas superficiales, bien oxigenadas, el nivel del nitrito no suele superar 0.1 $\mu\text{g/l}$.

Los nitritos en concentraciones elevadas reaccionan dentro el organismo con aminas y amidas secundarias y terciarias formando nitrosamidas de alto poder cancerígeno y tóxico.

Valores por encima de 1.0 $\mu\text{g/l}$ son totalmente tóxicos y representan un impedimento para el desarrollo de la vida piscícola y el establecimiento de un ecosistema fluvial en buenas condiciones.

En general, la concentración de nitritos en el agua superficial es muy baja, pero puede aparecer ocasionalmente en concentraciones inesperadamente altas debido a la contaminación industrial y de aguas residuales domésticas.



6.1.1.3 Nitrógeno de Nitratos

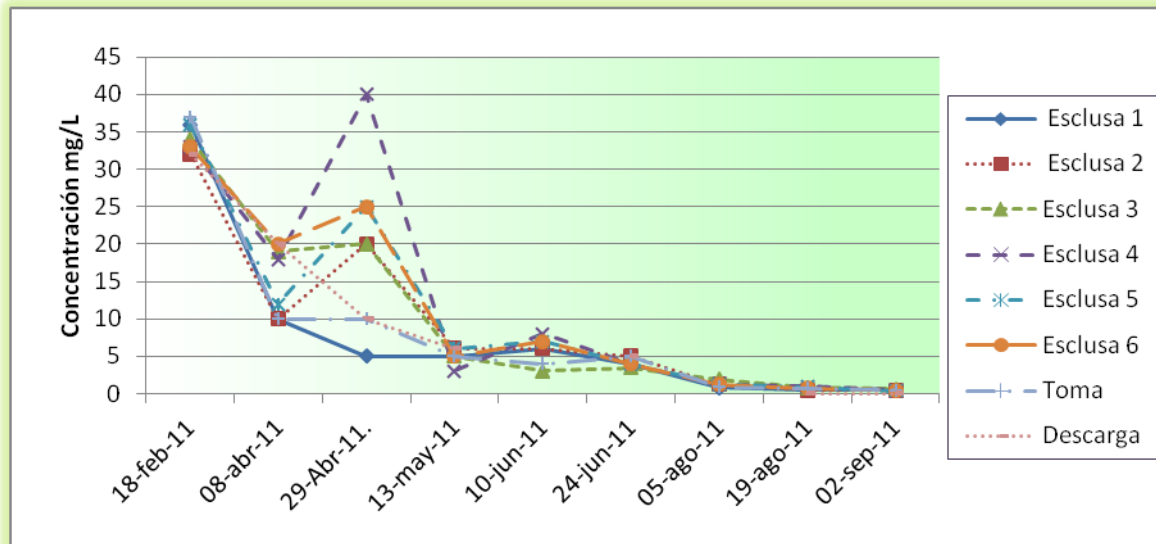


Figura 6.3. Gráfica de resultados de nitrógeno de nitratos

En el **Anexo 2** se muestra la tabla de los resultados que conforman la Figura 6.3.

En la Figura 6.3 se observa que el valor más alto fue de 40 mg/l en el muestreo del 29 de abril la esclusa 4, este valor disminuye considerablemente hasta el valor de 0.0 mg/l registrado en la descarga.

La disminución de nitratos posiblemente se deba al aumento de microorganismos, por lo que se incrementa la tasa de asimilación de los nitratos para síntesis de aminoácidos y proteínas, así como el consumo de oxígeno por los microorganismos, esto torna el medio más reductor, lo que a su vez puede aumentar las pérdidas de nitratos por desnitrificación, si existe en el agua materia orgánica disponible como fuente de energía.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) fija el límite de nitrato en el agua de consumo humano en 50 mg/l de nitrato (como N). En cambio, la Agencia para la Protección del Medio Ambiente Norteamérica (EPA) sitúa este límite en 10 mg/l de nitrato. Por su parte, la Comunidad Europea y siguiendo sus directrices, el Ministerio de Sanidad español fijan los niveles máximos permitidos de nitratos en 50 mg/l de N (Directiva 91/676/CEE, 1991).

De acuerdo con la normatividad consultada, los resultados obtenidos en la Figura 6.3 exceden con los límites máximos permisibles.



6.1.2 Fosfatos

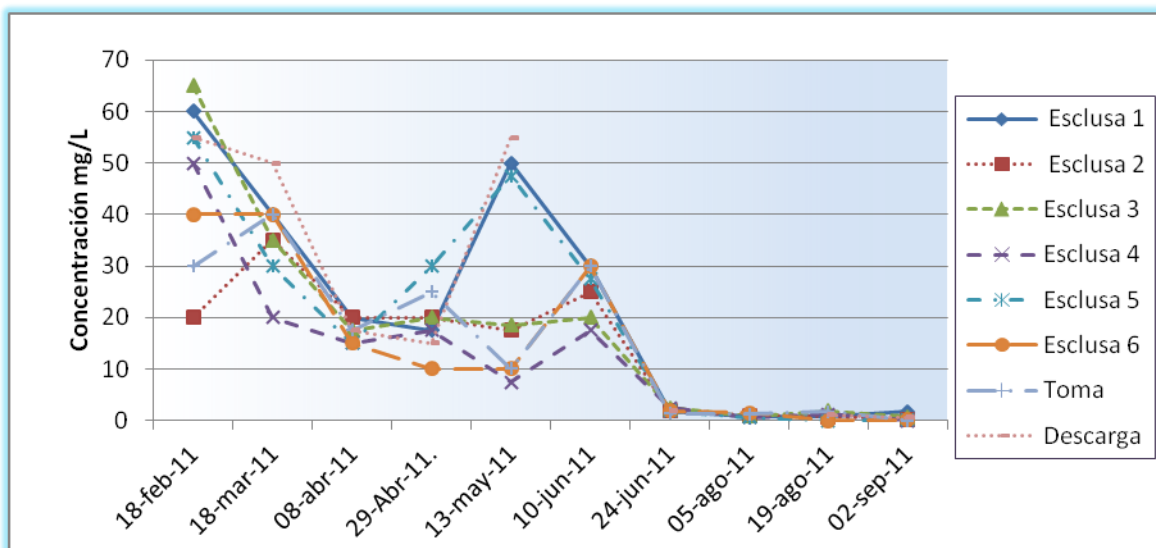


Figura 6.4. Gráfica de resultados de fosfatos

En el **Anexo 2** se muestra la tabla de los resultados que conforman la Figura 6.4.



Figura 6.5. Presencia de espuma en el lago

En la Figura 6.4 se muestra el valor máximo registrado de 65 mg/l del muestreo del 18 de febrero y se observa que la curva tiende a disminuir, esto es porque los fosfatos en la estación de primavera disminuyen por el incremento de la actividad fitoplanctónica y este nutriente es consumido, mientras que en invierno se acumula. Hay 3 puntos del muestreo del 13 de mayo que son la descarga, la esclusa 1 y la esclusa 5 las cuales aumentan significativamente, es probable que haya sido un error en la determinación de éste parámetro ya que la curva en general tiende a disminuir.

Los excesos de fosfatos causan desarrollo excesivo de las algas y la eutrofización de las aguas. Todos los compuestos del fósforo son reciclados continuamente mediante



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

diferentes procesos. Durante el verano y el otoño, el reciclaje es la fuente principal de fósforo para el fitoplancton en los lagos eutróficos (Astorga, 2004).

Normatividad

La norma oficial mexicana **NOM-001-SEMARNAT-1996**, establece que para embalses naturales y artificiales de uso público urbano, el fósforo total se encuentra en 5 mg/l (promedio mensual) y 10 mg/l (promedio diario). En los resultados obtenidos de la descarga se observa que no cumple con esta norma, y en algunos muestreos realizados se apreció en las orillas de las esclusas espuma, lo que indica presencia de detergentes.

La Norma para el Control de la Calidad de los cuerpos de Agua de Venezuela, establece una concentración máxima de 0.025 mg/l de Fósforo Total para la protección de las comunidades hidrobiológicas (Dirección General de Salud Ambiental, 2006).

La dirección de calidad de agua de ambiente en Japón establece una concentración de 0.005 mg/l ó menos de Fósforo Total en lagos naturales y depósitos artificiales y una concentración de ≤ 0.02 mg/l en aguas costeras para la conservación del ambiente acuático (Dirección General de Salud Ambiental, 2006).

En Perú se establece una concentración de 0.005 mg/l de Fósforo Total para aguas destinada a la conservación del ambiente de los lagos oligotróficos, 0.02 mg/l para lagos eutróficos, 0.75 mg/l para Ríos y 0.45 mg/l para aguas estuarinas (Dirección General de Salud Ambiental, 2006).

De acuerdo con la normatividad consultada, los resultados obtenidos en la Figura 6.4 exceden con los límites máximos permisibles.

6.1.3 Grasas y Aceites

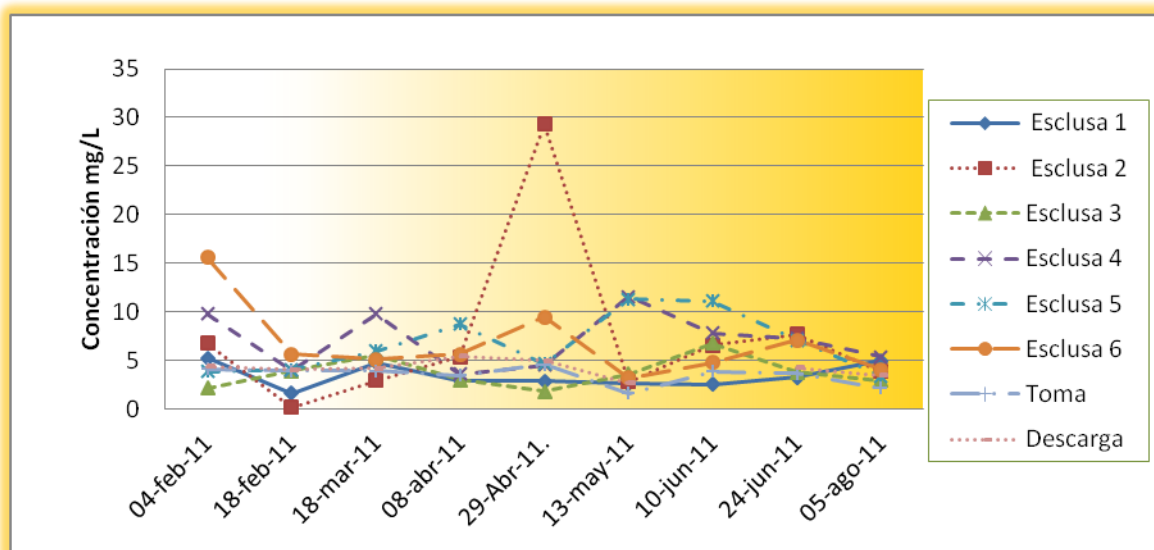


Figura 6.6. Gráfica de resultados de grasas y aceites



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

En el **Anexo 2** se muestra la tabla de los resultados que conforman la Figura 6.6.

Como se observa en la Figura 6.6, los valores permanecen constantes en un intervalo de 0.206 – 15.61 mg/l sólo en un punto del muestreo del 29 de abril de la esclusa 2, el resultado excede los demás puntos obtenidos con un valor de 29.3 mg/l y excede el valor que indica la NOM-001-SEMARNAT-1996 que se tomó como referencia para el resto de las esclusas lo que hace que éste dato sea irrelevante debido al número de muestras obtenidas y posiblemente se debió a que en la esclusa 2 se haya hecho una descarga con anterioridad al muestreo de grasas y aceites, aunque no se sabría su procedencia, lo que reflejaría este aumento significativo de la concentración.

Normatividad

La norma **NOM-001-SEMARNAT-1996**, establece un máximo permisible para un embalse natural o artificial de uso público urbano de 15 mg/l de promedio mensual de grasas y aceites así como, esto aplica sólo a la descarga, la cual se observa que no rebasa de éste límite.

La Norma para prevenir la Contaminación Ambiental de Paraguay, indica ausencia de grasas y aceites en aguas destinadas a la preservación de los peces en general y otros integrantes de la flora y fauna hídrica (Dirección General de Salud Ambiental, 2006).

El Anteproyecto de Norma de Calidad para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de Chile, establece una concentración de 4 mg/l para aceites y grasas en aguas destinadas a la conservación de las comunidades acuáticas (Dirección General de Salud Ambiental, 2006).



6.2 Campo

6.2.1 Potencial de Hidrógeno (pH)

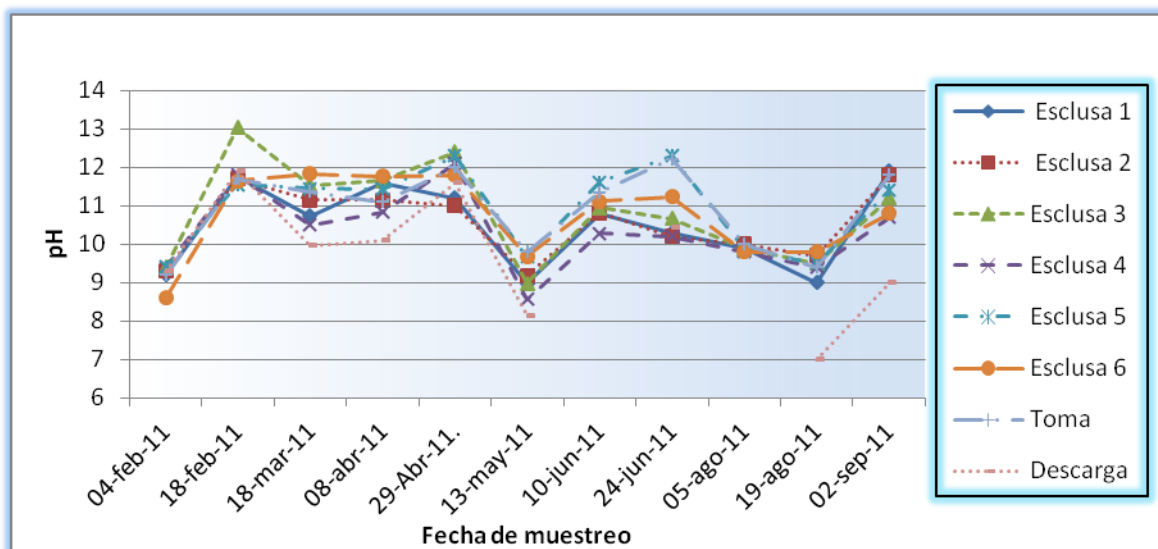
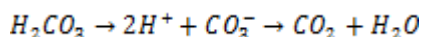


Figura 6.7. Gráfica de resultados de pH

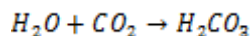
En el **Anexo 2** se muestra la tabla de los resultados que conforman la Figura 6.7.

En dos de los muestreos que se llevaron a cabo, la descarga no tuvo agua por lo que los datos del 10 de junio y el 5 de agosto del 2011 no fueron registrados.

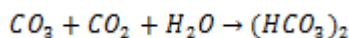
En todos los muestreos el pH fue alcalino con un intervalo de 7 – 12.5, esto es debido a que en el proceso de la fotosíntesis hay un consumo de CO_2 y éste hace que el pH se desplace y sea alcalino, es decir el fitoplancton toma el CO_2 del ácido carbónico (H_2CO_3) que se encuentra en el lago produciendo un desequilibrio en el sistema carbonatos – bicarbonatos como se muestra a continuación.



Este ácido carbónico es formado por el agua de la lluvia o por la humedad que se encuentra en la atmósfera y se une con algunos gases de la atmósfera originándose el ácido carbónico.



Esta disminución de CO_2 en el agua, incrementa el gradiente de concentración que existe entre la concentración de saturación en el agua de CO_2 y el disponible por lo que hay un intercambio de CO_2 de la atmósfera al agua, mismo que es consumido por el fitoplancton más rápidamente que el que es transportado por mecanismos de difusión, lo que hace que haya una mayor formación de carbonatos durante la fotosíntesis e incremente el pH. Es importante mencionar que durante el tiempo que no hay fotosíntesis no hay consumo de CO_2 por lo que el CO_2 se disuelve con los carbonatos (CO_3) llevándose a cabo la formación de bicarbonatos y disminuyendo el pH del agua.





Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

El suelo en las costas del lago en algunas zonas presenta calizas (CaCO_3) que con el escurrimiento del agua hacia el lago se aumenta el pH.

Por otro lado puede existir un intercambio de material del agua con el fondo del lago debido a que la geomembrana se encuentra rota y el incremento del pH puede atribuirse a esto.

El 99% es dióxido de carbono libre que se comporta como un gas, pero a pH 6.5 la mitad es bicarbonato y el resto carbónico. Hacia pH 8.46 deja de haber carbónico y a pH 10.5 la mitad es carbonato y la otra mitad bicarbonato. Este sistema amortigua la concentración de hidrogeniones. La respiración aumenta la concentración de dióxido de carbono y hace que parte del carbonato pase a bicarbonato. En el caso del agua dulce, hasta un pH de 8 no hay cantidad apreciable de carbonato, de manera que se puede suponer que la alcalinidad está neutralizada totalmente por bicarbonato (Ciencia y Biología, 2011).

Normatividad

La norma oficial mexicana **NOM-001-SEMARNAT-1996**, no establece un intervalo para dicho parámetro, pero se tomó en cuenta porque este parámetro indica la cantidad relativa de acidez en agua. El pH del agua potable natural debe estar entre 6.5 y 8.5 (Martínez, 2008). Las aguas dulces tienen el pH entre 6.5 y 8.7 (Ciencia y Biología, 2011).

Es importante recalcar que la NOM-001-SEMARNAT-1996 sólo es aplicable en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales.

La Guía Canadiense de la Calidad del Agua, establece un rango de 6.5 -9.0 de pH para aguas destinadas a la preservación de la vida acuática en aguas dulces (Dirección General de Salud Ambiental, 2006).

El Anteproyecto de Norma de Calidad para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de Chile, establece un rango de pH de 6.5 a 8.5 para aguas continentales superficiales de calidad adecuada para la preservación de comunidades acuáticas (Dirección General de Salud Ambiental, 2006).

La Norma para el Control de la Calidad de los cuerpos de Agua de Venezuela, establece un rango de pH de 6.5 a 8.5 para aguas destinadas a la protección de las comunidades hidrobiológicas (Dirección General de Salud Ambiental, 2006).

La Norma Técnica Nacional para Agua de Honduras, establece un rango de pH de 4.5 a 9.5 aguas destinadas a la preservación de la flora y fauna (Dirección General de Salud Ambiental, 2006).

La Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes. Recurso Agua de Ecuador, establece un rango de 6.5 a 9.0 de pH para aguas destinadas a la preservación de flora y fauna en aguas dulces, frías o cálidas y un pH de 6 a 9 para aguas de uso agrícola (Dirección General de Salud Ambiental, 2006).

La Norma para prevenir la Contaminación Ambiental de Uruguay, establece un rango de pH de 6.5 a 8.5 para aguas destinadas a la preservación de los peces en general y



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

otros integrantes de la flora y fauna hídrica (Dirección General de Salud Ambiental, 2006).

En Perú se establece un rango de pH de 6.5 a 8.5 para aguas destinadas a la Conservación del Ambiente, este valor guarda concordancia con lo que establece el Anteproyecto de Norma de Calidad para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de Chile, establece un rango de pH de 6.5 a 8.5 para aguas continentales superficiales de calidad adecuada para la preservación de comunidades acuáticas (Dirección General de Salud Ambiental, 2006).

En los resultados obtenidos en la Figura 6.7 se observa que se rebasa los límites máximos permisibles de las normas, tanto nacionales como las de algunos países latinoamericanos.

6.2.2 Conductividad

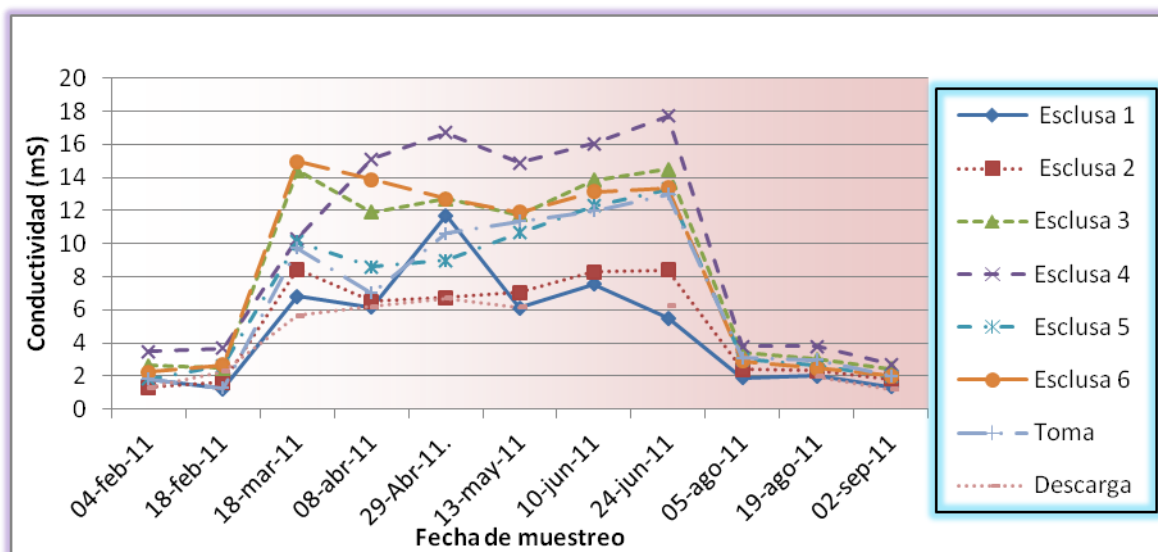


Figura 6.8. Gráfica de resultados de conductividad

En el **Anexo 2** se muestra la tabla de los resultados que conforman la Figura 6.8.

Los valores de la Figura 6.8 muestran como mínimo 1.9 mS y como máximo 17.7 mS. Se observa el aumento de la conductividad en época de lluvias, esto es debido a que el suelo de esta zona presenta la característica de contener sales y esto provoca que en los escurrimientos provocados por las lluvias se disuelvan en el agua del lago generando una alta conductividad y después se notó una disminución de la conductividad considerablemente ya que a partir del muestreo del 5 de agosto las lluvias cesaron y debido al clima donde la temperatura disminuyó y el tirante se encontraba en su máximo nivel, el contenido de sales disueltas es baja por lo que la conductividad con éstas condiciones disminuyó.



6.2.3 Temperatura

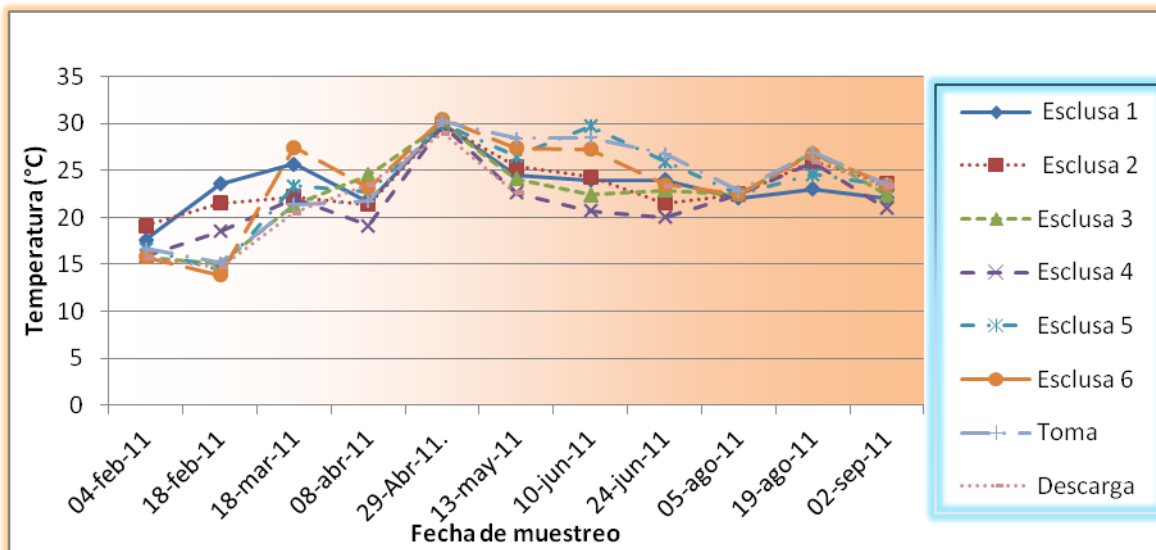


Figura 6.9. Gráfica de resultados de temperatura

En el **Anexo 2** se muestra la tabla de los resultados que conforman la Figura 6.9.

En el primer muestreo la temperatura está entre 15.7 – 19.1°C y posteriormente aumenta debido a la época del año (primavera – verano), inclusive en época de lluvias la temperatura alcanza su máximo nivel en la Figura 6.9 que es de 30°C. Los valores de la temperatura son altos debido a que la materia orgánica (biomasa) absorbe más calor y está determinada por la época del año.

La norma oficial mexicana **NOM-001-SEMARNAT-1996**, establece que para un embalse natural y/o artificial para uso en riego agrícola y para uso público urbano no debe de exceder la temperatura máxima de 40°C. Estos límites no exceden ésta norma (descargas residuales en aguas y bienes nacionales).



6.2.4 Oxígeno Disuelto

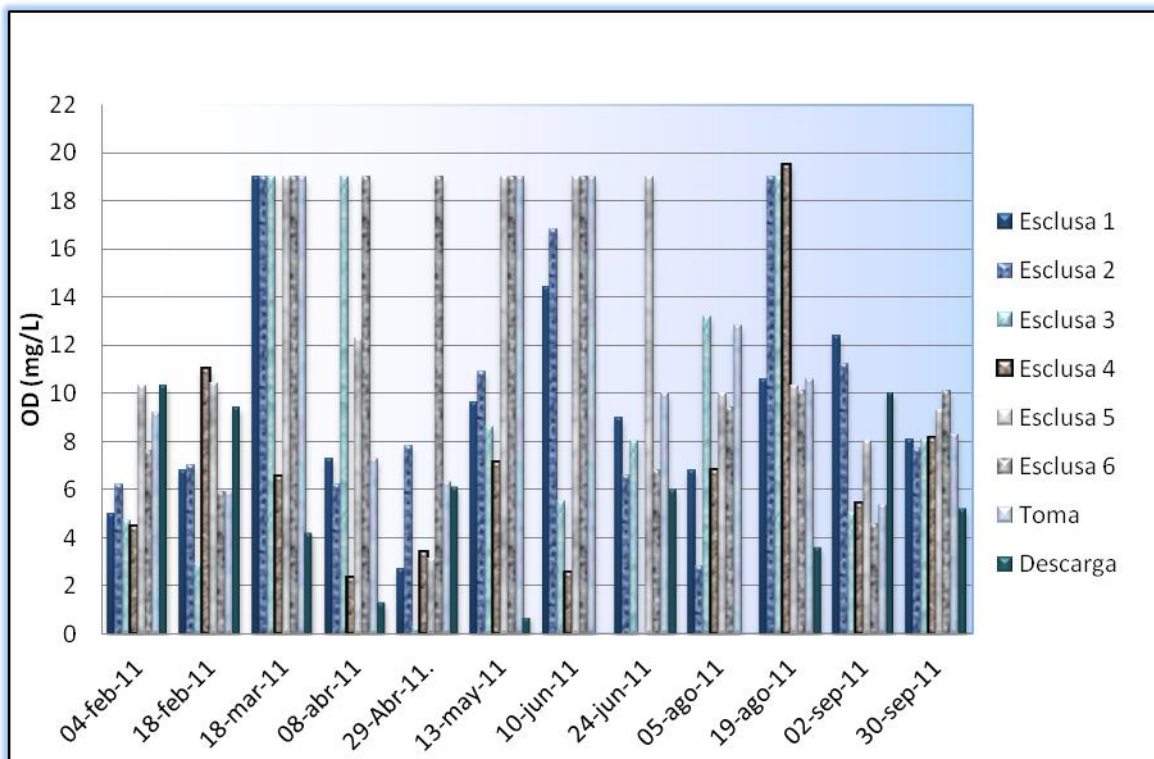


Figura 6.10. Gráfica de resultados de oxígeno disuelto

En el **Anexo 2** se muestra la tabla de los resultados que conforman la Figura 6.10.

Los valores de oxígeno disuelto que se registraron son muy variables, van desde 0 – 19.5 mg/l que es el máximo que se registro en el equipo de medición.

En varios puntos de la Figura 6.10 se observa que el oxígeno disuelto está sobresaturado (El valor de saturación de oxígeno disuelto en el D.F. del agua destilada a 20°C es de 7.167 mg/l).

El oxígeno disuelto sobresaturado se debe a que las algas crecen y producen oxígeno más rápidamente del que puede ser usado o liberado a la atmósfera (State Water Resources Control Board, 2010) esto es debido a que el tirante en el lago es relativamente corto, de 1.60 m en su máximo nivel, y los muestreos se llevaron a cabo a medio día, lo que provoca que la intensidad de la luz y la actividad fotosintética esté en su máximo nivel y produzca un exceso de oxígeno.

Normatividad

Se consultaron los criterios ecológicos de la calidad del agua para éste parámetro pero se encontró que no hay criterio ecológico.

La Guía Canadiense de la Calidad del Agua, establece una concentración de Oxígeno disuelto de 9.5 mg/l para aguas destinadas a la preservación de la vida acuática en aguas dulces (Dirección General de Salud Ambiental, 2006).



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

El Anteproyecto de Norma de Calidad para la Protección de las Aguas Continentales Superficiales de Chile, establece una concentración de 10 mg/l para aguas continentales superficiales de calidad adecuada para la preservación de comunidades acuáticas (Dirección General de Salud Ambiental, 2006).

La Ley General de Aguas establece una concentración de 4 mg/l para aguas destinadas a la preservación de la fauna acuática y pesca recreativa o comercial (Dirección General de Salud Ambiental, 2006).

La Norma para el Control de la Calidad de los cuerpos de Agua de Venezuela, establece una concentración mayor a 5 mg/l Oxígeno Disuelto para aguas destinadas a la protección de las comunidades hidrobiológicas así como para el contacto humano parcial (recreación) (Dirección General de Salud Ambiental, 2006).

La Norma Técnica Nacional para Agua de Honduras, establece una concentración de oxígeno disuelto de 3 mg/l aguas destinadas a la preservación de la flora y fauna (Dirección General de Salud Ambiental, 2006).

La Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de efluentes. Recurso Agua de Ecuador, establece una concentración menor a 6 mg/l de Oxígeno Disuelto en aguas frías, menor a 5 mg/l de Oxígeno Disuelto en aguas cálidas y aguas estuarinas (Dirección General de Salud Ambiental, 2006).

La Norma para prevenir la Contaminación Ambiental de Uruguay, establece una concentración menor de 5 mg/l de Oxígeno Disuelto para aguas destinadas a la preservación de los peces en general y otros integrantes de la flora y fauna hídrica (Dirección General de Salud Ambiental, 2006).

La EPA (Agencia para la Protección del Medio Ambiente), establece una concentración de oxígeno disuelto, no menor de 5 mg/l como promedio mínimo para 7 días.

En Perú se establece una concentración de oxígeno disuelto de 7.5 mg/l en lagos oligotróficos, 5 mg/l en lagos eutróficos, menor a 7 mg/l en ríos y menor a 7 mg/l en aguas estuarinas (Dirección General de Salud Ambiental, 2006).



CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES

Se estableció un diagnóstico actual de la calidad del agua en el lago del parque Alameda Oriente y del análisis de los resultados, se concluye que este se encuentra eutroficado. También, se concluye que el origen de esta condición, está tanto en el exceso de nutrientes contenido en el agua que alimenta al lago, como a la poca profundidad de éste, lo cual favorece el proceso de eutroficación.

Para los propósitos de la calidad de agua en este trabajo se debería de considerar únicamente la normatividad mexicana (como se menciona en los objetivos del trabajo), sin embargo, se consideró que la normatividad mexicana no proporciona la información suficiente de los diferentes parámetros determinados para poder establecer un criterio de calidad del agua en el Lago del Parque Alameda Oriente por lo que se buscaron los mismos parámetros que se determinaron en la normatividad internacional para así tener una visión más amplia de la calidad del agua del lago.

Se evaluaron las condiciones actuales de la calidad del agua del lago del parque Alameda Oriente enfocándose en los límites máximos permisibles de la normatividad oficial mexicana; así como la normatividad internacional para nitrógeno y fósforo; así como de grasas y aceites y como se encontró que los parámetros determinados exceden estos límites se considera que el lago está en condiciones de eutroficación.

En cuanto al análisis de la normatividad se concluye que no todos los países en los que se consultó la normatividad consideran dentro de sus límites máximos permisibles los mismos parámetros de calidad del agua que se determinaron, por lo que no se pudo llevar a cabo una comparación entre las diferentes normas que se consultaron.

Del contraste de la normatividad nacional y la internacional se concluye que es necesario trabajar en el campo de la normatividad mexicana para incluir aquellos parámetros que ésta no considera y que se considera son de relevancia para determinar la calidad del agua para uso recreativo de lagos en nuestro país.



RECOMENDACIONES

Para la restauración del Lago del Parque Alameda Oriente se proponen algunas recomendaciones:

➤ **Técnicas de manejo del lago**

▪ **Drenaje**

Es importante llevar a cabo la identificación de todas las entradas de nutrientes que hay alrededor del lago (fuentes difusas) para evitar la llegada a su interior, desviando su entrada por medio de barreras o tratando la entrada por medio de un dispositivo de tratamiento previamente a su entrada al lago. Para evitar la entrada de nutrientes al lago también debe de haber aplicación de regulaciones específicas para el uso del territorio del parque (Quirós, 2007).

▪ **Manejo Interno**

Una medida que se considera conveniente en el lago del Parque Alameda Oriente es la renovación de la geomembrana ya que la que se encuentra actualmente está rota y esto puede permitir el intercambio de material con el fondo del lago contaminando el agua.



Figura 7.1. Imágenes de la geomembrana

▪ **Control**

La solución al problema de la eutrofización es el uso de métodos de prevención para reducir la afluencia de nutrientes a cuerpos de agua; así como métodos de control de la contaminación para limpiar las aguas con eutrofización excesiva.

➤ **Métodos preventivos**

Tyler (1994) propone los siguientes métodos preventivos:

- Emplear el tratamiento avanzado de los desechos para remover el 90% de los fosfatos provenientes de los efluentes de las plantas industriales y de tratamiento de aguas negras, antes de que lleguen a un cuerpo de agua.



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

- Prohibir o establecer estrictos límites bajos de fosfatos para los detergentes caseros y otros agentes limpiadores, con el objeto de reducir la cantidad de fosfatos que llegan a las plantas de tratamiento de aguas negras.
- Controlar el uso de la tierra y usar prácticas de conservación del suelo para reducir el ingreso de fertilizantes, abono y suelo desde fuentes no puntuales. A los agricultores se les puede solicitar que planten en áreas de separación árboles u otra vegetación entre sus campos y cerca de lagos u otras aguas superficiales.
- Proteger las zonas acuáticas cerca de las costas e internas que filtran y retienen nutrientes que fluyen desde la tierra.

➤ **Métodos de limpieza**

Tyler (1994) sugiere los siguientes métodos de limpieza:

- Remover los sedimentos del fondo para eliminar el exceso de acumulación de nutrientes. El material removido del fondo debe colocarse en algún sitio, pero muy a menudo es arrojado al mar y cambia los hábitats de la vida silvestre. Este método no es práctico ya que reduce la calidad del agua por la suspensión de contaminantes tóxicos y puede aumentar la salinidad del agua.

Remoción del sedimento. Existen diversos métodos de remoción del sedimento del lago. El principal problema es la localización de un lugar adecuado para el depósito del material. Estos mecanismos son altamente efectivos, sin embargo ocurren una serie de impactos negativos en el agua (aumento de la turbidez y disminución de la concentración de oxígeno, entre otros) y en las áreas circundantes. Algunos de ellos tienen corta duración y pueden ser minimizados con un plan adecuado (Jeppesen et al., 2007).

Remoción previo vaciado. Este procedimiento requiere el vaciado del lago y la utilización de maquinaria pesada para la extracción del sedimento.

Existen dos formas de remoción del sedimento sin vaciar el lago: dragado húmedo y seco. El primero de los métodos se realiza mediante succión del sedimento desde el fondo y posterior deposición en una balsa flotante. El sedimento se deposita rápidamente, mientras que el agua sobrante escurre directamente al lago. Durante el proceso de dragado seco en cambio, el material removido es transportado a una planta de lavado donde el lixiviado se deposita en lagunas de sedimentación. El método de dragado seco otorga mejores resultados, ya que el lago no permanece turbio (Jeppesen et al, 2007).

A través del manejo de las entradas de agua, es posible variar el tiempo de residencia del lago, lo cual representa una medida efectiva para el "lavado" de microalgas del sistema y reducir el impacto de liberación de nutrientes desde el sedimento. Sin embargo, la renovación tiene que ser equivalente al 10 o 15 % del volumen del lago por día para ser efectiva. En algunos casos, la disminución del tiempo de residencia se puede llevar a cabo disminuyendo o no la concentración de nutrientes al mismo tiempo. Para conseguir esto último, es



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

necesario contar con una fuente de agua pobre en nutrientes que provoque un efecto de dilución de las concentraciones actuales (Jeppesen et al, 2007).

Aislamiento físico del sedimento. En lagos pequeños se han desarrollado diferentes estrategias para cubrir el fondo con sedimentos externos pobres en nutrientes (por ej. arena) o con materiales plásticos aislantes (Jeppesen et al, 2007).

- Retirar o eliminar el exceso de malezas. Es necesario considerar que esto altera algunas formas de vida acuática, además de ser difícil y caro en lagos extensos.
- Controlar el crecimiento de plantas nocivas con herbicidas y plaguicidas. Es necesario tomar en cuenta que puede contaminar el agua y matar animales y otras formas de vida.
- Bombear aire a través de lagos y rebalses para evitar el agotamiento de oxígeno. La gran desventaja de este método es que es muy caro.

Oxigenación del sedimento. La introducción de oxígeno disuelto al sedimento permite la descomposición de la materia orgánica acumulada. Por otra parte, en presencia de oxígeno la mayoría de los compuestos que contienen fósforo son insolubles. Por esta razón, este es un método muy efectivo para el aislamiento químico del sedimento. En lagos profundos la oxigenación del sedimento se logra mediante la instalación de equipos de circulación de agua que previenen los procesos de estratificación (Jeppesen et al, 2007).

- Método Riplox de oxidación del sedimento. El objetivo de este método es reducir la carga interna de fósforo mediante la oxidación de la superficie del sedimento, provocando que el fosfato precipite en complejos metálicos. Se bombea directamente en el sedimento $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ y FeCl_3 , lo que provoca el incremento de la concentración de oxígeno y hierro, aumentando la retención del fósforo. El pH es estabilizado con la adición de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, en un pH cercano a la neutralidad las bacterias desnitrificadores provocan el cambio de nitrato a nitrógeno gaseoso (Jeppesen et al, 2007).
- La implementación de humedales artificiales para reducir el aporte externo de nutrientes. Estos sistemas artificiales cumplen las funciones de las plantas de tratamientos primarios, secundarios y terciarios.

Como sucede con otras formas de contaminación, los métodos de prevención son los más efectivos y generalmente los más baratos a largo plazo, pero tales métodos tienen que ser diseñados para cada situación, tomando como base el factor limitante. Por ejemplo, debido a que el fósforo es el factor limitante en la mayoría de los lagos de agua dulce, se debe hacer énfasis en su control. También es más fácil de controlar que el nitrógeno. Afortunadamente, si se detienen las entradas excesivas de nutrientes vegetales limitantes, en general el cuerpo de agua regresará a su estado previo. De cualquier manera, es mucho más difícil controlar el nitrógeno que el fósforo, porque los nitratos son más solubles en agua y escurren desde grandes extensiones de tierra (Nebel y Wright, 1996). Sin embargo, existen desacuerdos sobre si los ingresos de fósforo deberían de ser disminuidos por la prohibición o la reducción de los fosfatos en



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

los detergentes para lavar ropa y otros agentes limpiadores, por la eliminación de los fosfatos de las aguas de desecho en las plantas de tratamiento o aguas negras.

Algunos estudios de más de 400 cuerpos de agua indican que una reducción del 20% de la carga de fosfatos total debe lograrse para producir un efecto detectable sobre la calidad del agua (Tyler, 1994).

Hoy en día, en los Estados Unidos, ocho estados (Indiana, Maryland, Michigan, Minnesota, Nueva York, Vermont, Virginia y Wisconsin), además de muchas ciudades y algunas partes de Canadá, han prohibido el uso de detergentes fosfatados. Dichas prohibiciones han contribuido a reducir la eutrofización por cultivos en los Grandes Lagos y en otros lugares; además, han ahorrado dinero de los consumidores. Estas medidas pueden seguirse en América Latina.

La educación del público usuario del lago acerca de su funcionamiento, y que es lo que se tiene permitido y prohibido dentro del parque recreativo para conservarlo en un buen estado ambiental debe ser un componente central en todo plan de manejo integral.

El manejo de los estanques artificiales, implica la limpieza casi permanente de sus aguas y el vaciado periódico para su limpieza.

Todos estos métodos de limpieza se pueden aplicar a la remediación de la eutrofización en el lago del Parque Alameda Oriente exceptuando la remoción de los sedimentos del fondo para una eliminación en el exceso de acumulación de nutrientes por que éste método no es práctico, pues a menudo reduce la calidad del agua por la suspensión de contaminantes tóxicos y puede aumentar la salinidad del agua.

Es recomendable realizar un estudio técnico-económico al Lago del Parque Alameda Oriente ya que su restauración implica el reemplazo de la geomembrana, instalar venteos debajo de la geomembrana para que los gases del basurero que anteriormente se encontraba a cielo abierto puedan salir y no generen presión evitando el rompimiento de la geomembrana, etc. y con base en esto tener en consideración cuál (o cuáles) de los métodos propuestos es el más económico y ambientalmente viable para disminuir hasta donde sea posible la contaminación que afecte la actividad recreativa en el lago.

Finalmente, se recomienda determinar otros parámetros, como clorofila, para afirmar con mayor certeza el grado de eutrofización además de su cuantificación.



CAPÍTULO 8

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca FJ, Cervantes M (1996). Manual para el Manejo y Conservación de Humedales en México. *Definición y Clasificación de Humedales*. INE-SEMARNAP, Arizona Game & Fish Department.
- Álvarez YPI, Durán VG (2005). Tesis de licenciatura. *Simulación de los contaminantes en el Lago del Bosque de San Juan de Aragón, México D.F.* Facultad de Ingeniería, UNAM.
- APHA, AWWA, WEF (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st ed. American Public Health Association, Washington, D.C.
- Arce AL [citado 13 Noviembre 2010]. Serie autodidáctica de medición de la Calidad del Agua. *Muestreo y preservación de grasas y aceites, y determinación en campo de pH, temperatura y materia flotante*. CNA, IMTA. Disponible en: http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/Parametros_en_campo.pdf
- Área de apoyo técnico (1989). *Proyecto de Experimentos en el Lago de la Alameda Oriente*. Alameda Oriente.
- Arfi R, Bouvy M, Cecchi P, Pagnao M, Thomas S (2001) Factors limiting phytoplankton productivity in 49 shallow reservoirs of North Cote d'Ivoire (West Africa). *Aquat. Ecosyst. Health Manag.* 4. 123-138.
- Arrigo RK (2005). Review Marine microorganisms and global nutrient cycles. *Nature* 437: 349-355.
- Arteaga CV (2010). Tesis de maestría. Calidad de las Aguas Residuales de la Cuenca Lerma – Chapala. Texcoco, Edo. de México. pp: 8 – 10.
- Astorga GC (2004). Tesis de maestría. Modelo matemático para analizar la dinámica del fósforo asimilable en los lagos. México, D.F. pp: 1-9.
- Beeton AM (2002). Large freshwater lakes: present state, trends, and future. *Environmental Conservation* 29.
- Bonilla S (Editora) (2009). *Cianobacterias Planctónicas del Uruguay*. Manual para la Identificación y medidas de gestión. Unesco.
- Cañón JE (2011). Tesis de maestría. Modelos de lagos. Posgrado en Recursos Hidráulicos. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia. Disponible en: <http://ingenieria.udea.edu.co/~jecanon/cursos/lagos/ensayolagos.html>
- CEPAL (1989). *The Water Resources of Latin America and the Caribbean; Water Pollution*. LC/L.499, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, Naciones Unidas, Santiago.



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

- Chapra SC, Reckhow KH (1983). Engineering Approaches for lakes management. Vol 2. Butterworth Publishers, An Ann Arbor Science Book.
- Ciencia y Biología (2011). El pH. Disponible en: <http://www.cienciaybiologia.com/ecologia/ph.htm> [citado 7 Noviembre 2011]
- Comisión Nacional para el Conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO) (2000). Aguas Continentales y Diversidad Biológica de México. Disponible en: <http://www.geocities.com/jalarab/>
- Crites R, Tchobanoglous G (2000). Tratamiento biológico y remoción de nutrientes. Tratamiento de Aguas Residuales en pequeñas poblaciones, Mc. Graw-Hill. Colombia. pp. 776.
- De Anda J, Maniak U (2007). Modificaciones en el régimen hidrológico y sus efectos en la acumulación de fósforo y fosfatos en el Lago de Chapala, México. INCI. Vol. 32(2), pp. 100-107.
Disponible en: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-18442007000200007&lng=es&nrm=iso. ISSN 0378-1844.
- De Lorenz F (2008). Proyecto de Investigación de la Estudio de la Calidad del agua en el lago Alameda Oriente. UNAM.
- Dias C, Barroso GF (1998). Limnological studies of coastal lagoons at the south of Espírito Santo State (Brazil). Verhandlungen Internationale Vereinigung Limnologie, 26: 1433-1437.
- Dirección General de salud ambiental (2006). Estandares de calidad ambiental del agua. Perú.
- Directiva del consejo 91/676/CEE, (1991). Relativa a la protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura. Doce 375/L, de 31-12-91
- Ellis KV (1993). Surface water pollution and its control. MacMillan. London.
- EPA (1995). Ambient Water Quality Criteria for Ammonia. EPA-440/5-85-001, Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, Washington, D.C.
- Escobedo V (2011). Un blog verde. Medio Ambiente y Calentamiento global. Copyright. Web: <http://www.dforceblog.com/quienes-somos/>
- Fernández VG (1992). Apuntes de Química Sanitaria y Ambiental. DEPFI. Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Fernández VG (2007). Manual de Laboratorio de Química del Agua. DEPFI. Facultad de Ingeniería, UNAM.
- Gaceta Oficial del GDF (2006). Decimo sexta época No.16. Alameda Oriente, D.F.



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

- Gaceta Oficial No. 5305 Extraordinario (1999). Normas para la clasificación y el control de la calidad de las aguas de la cuenca del lago de Valencia, Venezuela. pp. 13-17.
- González M (2010). Química en la guía 2000. Importancia del Nitrógeno.
- Google maps (2010). Alameda Oriente, Ciudad Nezahualcóyotl, DF. Disponible en: <http://maps.google.es/>
- Goyenola G (2007). Guía para la utilización de las valijas viajeras. Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos.
- Hallegraeff G (1992). A review of harmful algal blooms and their apparent global increase. *Phycologia* 32:79-99.
- Harper D, Zalewski M, Pacini N (eds) (2008). *Ecohydrology. Processes, Models and Case Studies*. CAB International. pp. 139.
- Home AJ, Goldman CR (1994). *Limnology. Chapter 1, Second Edition*. McGraww-Hill Co. New York, USA.
- Ibáñez JJ (2008). Un lugar para la ciencia y la tecnología. Cambio Climático y Ciclos de Nutrientes en los Ecosistemas Mediterráneos. Madrid. Disponible en: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/02/20/84917>
- IMAC MEXICO (Iniciativa Mexicana de Aprendizaje para la Conservación) (2006). Aguas Continentales. lagos, humedales y ríos. Disponible en: http://www.imacmexico.org/ez_es.php?ID=24763_208&ID2=DO_TOPIC
- Jeppesen E (1998). The ecology of shallow lakes. Trophic interactions in the pelagial. Doctor's dissertation (DSc). Silkeborg.
- Jeppesen E, Meerhoff M, Jakobsen B, Hansen RS, Søndergaard M, Jensen JP, Lauridsen TL, Mazzeo N, Branco C (2007). Hydrobiology 2007 Data supply by Quintans F Restoration of shallow lakes by nutrient control and biomanipulation – the successful strategy varies with lake size and climate.
- Jeppesen E, Søndergaard M, Jensen JP *et al.* (2005). Lake responses to reduced nutrient loading - an analysis of contemporary long-term data from 35 case studies. *Freshwater Biol.* 50: 1747–1771.
- Jin XC, Wang SR, Zhao HC, Bu QY, Chu JZ, Cui Z, Zhou XN, Wu FC (2006). Lake sediments alkaline phosphatase effect of lake sediments of different trophic states on alkaline phosphatase activity. *Lakes Reserv. Res. Manag.* 11: 169–176.
- Jiménez CB (2001). La contaminación ambiental en México. causas, efectos y tecnología apropiada, Editorial Limusa y Colegio de Ingenieros Ambientales, México. Disponible en: <http://www.ciceana.org.mx/recursos/Eutrofizacion.pdf>
- Jolánkai G (1992). Hydrological, chemical and biological processes of contaminant transformation and transport in river and lake systems. A state-of-the-art Report. Technical Documents in Hydrology. UNESCO. París. Francia



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

- Kalff J (2002). *Limnology: inland water ecosystems*. Upper Saddle River, N.J. Prentice Hall.
- Lee GF, Jones R, Saleh F, Mariani G, Homer D, Butler J, Bandyopadhyay P (1978). Evaluation of the Elutriate Test as a Method of Predicting Contaminant Release during Open Water Disposal of Dredged Sediment and Environmental Impact of Open Water Dredged Material Disposal, Vol. II. Data Report. Technical Report D-78-45, US Army Corps of Engineers WES, Vicksburg, MS.
- Lee GF, Rast W, Jones RA (1978). Eutrophication of water bodies. Insights for an age-old problem. *Envir. Sci. Technol.* 12: 900-908
- Lewis WM (2000). Basis for the protection and management of tropical lakes. *Lakes Reserv. Res. Manag* 5: 35-48.
- Marcano JE (2009). Elementos de ecología. Recuperado el 05 de Noviembre de 2011, de Ecología de las aguas dulces. Disponible en: <http://www.jmarcano.com/nociones/fresh1.html>
- Martínez LD (2008). Tesis de licenciatura. Evaluación de nutrientes en el Lago de San Juan de Aragón, México, D.F. Facultad de Estudios Superiores Aragón, UNAM.
- Martíno P (1989). Curso básico sobre eutroficación. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS.
- Mason CF (1987). *Biología de la contaminación del agua dulce*. Alhambra, Barcelona. pp. 289.
- Massol-Deyá A (2002). *Manual de laboratorios. Ecología de microorganismos*. Universidad de Puerto Rico. pp: 2-15.
- Mazzeo N, Clemente J, García-Rodríguez F, Gorga J, Kruk C, Larrea D, Meerhoff M, Quintans F, Rodríguez-Gallego L, Scasso F (2002). Eutrofización: Causas, consecuencias y manejo. Domínguez A, Prieto RG (editors). *Perfil ambiental del Uruguay*. Nordan, Montevideo. pp. 39-55.
- Medio Ambiente (2011). Enfoque químico. Física Química. Disponible en: <http://www.temas-estudio.com/ambiente-enfoque-quimico/>
- Meybeck M, Kuusisto E, Mäkelä A, Mälkki E (1996). Water quality. Bartram J, Balance R (editors). *Water Quality Monitoring*. E and FN Spon, London. pp 9–33.
- Moss B, Madgwick J, Phillips G (1996). A guide to the restoration of nutrient-enriched shallow lakes. Environment Agency (CE), Norwich.
- Nebel BJ, Wright RT (1996). *Environmental Science. The Way the World Works*. 5a Edición, Prentice Hall. Estados Unidos.



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

- Norma ecuatoriana INEN 982 - 1983 - 6. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Calidad_del_agua#Calidad_del_Agua_para_uso_Recreacional
- Norma Oficial Mexicana NOM-SEMARNAT-001-1996. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 23 de abril de 2003.
- Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997. Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 23 de abril de 2003.
- Norma Mexicana NMX-AA-005-SCFI-2000. Determinación de Grasas y Aceites recuperables en Aguas naturales, Residuales y Residuales tratadas. Método de prueba (cancela a la NMX-AA-005-1980).
- Norma Mexicana NMX-AA-026-SCFI-2001. Determinación de nitrógeno total Kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba (cancela a la NMX-AA-026-1980).
- Norma Mexicana NMX-AA-029-SCFI-2001 Determinación de fósforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba (cancela a la NMX-AA-029-1981).
- Norma Mexicana NMX-AA-079-SCFI-2001. Determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales y residuales. Método de prueba (cancela a la NMX-AA-079-1986).
- Norma Mexicana NMX-AA-099-SCFI-2006. Determinación de nitrógeno de nitritos en aguas naturales y residuales. Método de prueba (cancela a la NMX-AA-099-1987).
- O'Sullivan PE, Reynolds CS (editores) (2004). The lakes Handbook. Limnology and Limnetic Ecology, Vol. I. Blackwell Publishing. pp. 47-49.
- Porter SK (editor) (1975). Nitrogen and Phosphorus; Food Production, Waste and the Environment. Ann Arbor Science Publishers. pp. 372.
- Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del D.F. (2011). Diagnóstico Fitosanitario del Arbolado del Parque Alameda Oriente. Disponible en: http://www.paot.mx/transparencia/2012/primer_trimestre/Fraccion_10/estudios_2011_spa/EsPA_03_2011_Alameda_Oriente.pdf
- PUC (Pontificia Universidad Católica de Chile) (2006), Aguas continentales superficiales. Web. http://www.puc.cl/quimica/agua/a_lagos.htm
- Rodier J, Geoffray Ch, Kovascsik G, Laporte J, Plissier M, Scheidhaver J, Verneaux J, Vial J y Rodi L (1992). Análisis de Aguas. Aguas Naturales, Aguas Residuales, Aguas de Mar, Edición Omega, S.A.



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

- Romo S, Miracle MR, Villena MJ, Rueda J, Ferriol C, Vicente E (2004). Mesocosm experiments on nutrient and fish effects on shallow lake food webs in a Mediterranean climate. *Freshwater Biol.* 49: 1593-1607.
- Royle RN, King RJ (1996) Nutrient status of Lake Liddel, New South Wales. Mass loadings of nitrogen and phosphorus, industrial modification, and trophic state. *Aust. J. Marine Freshwater Res.* 43: 443-455
- Ryding SO, Rast W (1992). El control de la eutrofización en lagos y pantanos. Madrid. Pirámide.
- Sawyer CN, McCarty PI (1994). Chemistry for Sanitary Engineers, 4th Ed. McGraw-Hill Book Company.
- Schindler DW, Donahue WF (2006). An impending water crisis in Canada's western prairie provinces. *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)*. 103.19:7210-7216
- Secretaria del Medio Ambiente (2006). Disponible en: <http://www.sma.df.gob.mx/sma/modules.php?name=News&file=article&sid=42>
- Secretaria de Obras y Servicios del Distrito Federal (2005). Disponible en: <http://www.alamedaoriente.df.gob.mx/historia/index.html>
- Settacharnwit S, Buckney RT, Lim RP (2003). The nutrient status of Nong Han, a shallow tropical lake in north-eastern Thailand. Spatial and temporal variations. *Lakes Reserv. Res. Manag.* 8: 189-200.
- Snoeyink VI, Jenkins D (1995). Química del Agua. Ed. Limusa. México.
- Semarnat (1989). Comisión Nacional del Agua, con base en: Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología. Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89, Diario Oficial de la Federación.
- Spears BM, Lesack LFW (2006). Bacterioplankton production, abundance, and nutrient limitation among lakes of the Mackenzie Delta (Western Canadian arctic). 63, 845-857.
- Spears BM, Carvalho L, Paterson DM (2006). Phosphorus partitioning in a shallow lake. Implications for water quality management. *Water and Environment Journal*. 0(0). 1-7
- State Water Resources Control Board (2010). Oxígeno Disuelto. Disponible en: http://www.swrcb.ca.gov/water_issues/programs/swamp/docs/cwt/guidance/3110sp.pdf
- The Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality (2000). Department of the Environment and Heritage. Australian Government.
- Treviño AL, Magaña MP, Manzano CR, Pérez-Sandi R, Acevedo FM (1985). Rehabilitación de la Laguna de Xochiaca. Instituto de Ingeniería, UNAM.



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

- Tyler MG (1994). *Ecología y Medio Ambiente. Introducción a la ciencia ambiental, el desarrollo sustentable y la conciencia de conservación del planeta Tierra*. 7a Edición, Grupo Editorial Iberoamérica. México.
- Universidad de Sevilla (2004), *Aguas residuales urbanas*. Disponible: <http://tar5.eup.us.es/tar/ebliblioteca/documentacion/biomasa.htm>
- Van de Bund W, Cardoso AC, Heiskanen AS, Noges P (2004). *Common Impementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Overview of Common Intercalibration types. Final version 5.1. Ecological status Working Group 2.A*.
- Velazquez AO (2010). Tesis de licenciatura. *Determinación de metales pesados en el Lago del Parque Alameda Oriente, México, D.F. Facultad de Química, UNAM*.
- Vezjak M, Savsek T, Stuhler EA (1998). *System dynamics of eutrophication processes in lakes*. *European Journal of Operational Research* 109:442-451.
- Vollenweider RA, Kerekes J (1981). *Eutrophication Programme. Synthesis Report*. Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), Paris.
- Wetzel RG (1992). *Gradient-dominated ecosystems: sources and regulatory functions of dissolved organic matter in freshwater ecosystems*. *Hidrobiología* 229. 181-198.
- Wu SK, Xie P, Liang GD, Wang SB, Liang XM (2006). *Relationships between microcystins and environmental parameters in 30 subtropical shallow lakes along the Yangtze River, China*. *Freshwater Biol.* 51. 2309-2319.



ANEXO 1

(Normatividad)



NORMATIVIDAD NACIONAL

NOM-001-SEMARNAT-1996

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS																				
PARÁMETROS	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS				SUELO		HUMEDALES NATURALES (B)			
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)				Uso en riego agrícola (A)	
(miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura °C (1)	N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
Materia Flotante (3)	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
Sólidos Sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A.	N.A.	1	2
Sólidos Suspensivos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A.	N.A.	75	125
Demanda Bioquímica de Oxígeno	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A.	N.A.	75	150
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

(1) Instantáneo

(2) Muestra Simple Promedio Ponderado

(3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006.

P.D.= Promedio Diario; P.M. = Promedio Mensual;

N.A. = No es aplicable.

(A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

Criterios de calidad del agua: Niveles máximos en miligramos por litro (excepto que se indique otra unidad)

Parámetro	Fuente de abastecimiento de agua potable	Recreativo con contacto primario	Riego agrícola	Pecuario	Protección de la vida acuática	
					Agua dulce	Agua marina (áreas costeras)
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	1 000	1	1 000	6	1	1
DBO	6	6	6	6	6	6
DQO	6	6	6	6	6	6
Nitratos (como N)	5	6	6	90	6	0.04
Nitrógeno amoniacal	6	6	6	6	0.06	0.01
Oxígeno disuelto ²	4	6	6	6	5	5
Sólidos disueltos totales	500	6	500 ³	1 000	6	6
Sólidos suspendidos totales	500	6	50	6	4	4
Fosfatos (como PO ₄)	0.1	6	6	6	5	0.002

¹ Los organismos no deben exceder de 200 como número más probable en 100 mililitros (NMP/100 ml) en agua dulce o marina, y no más del 10% de las muestras mensuales deberá exceder de 400 NMP/100 ml.

² Para oxígeno disuelto, los niveles establecidos deben considerarse como mínimos.

³ La concentración de sólidos disueltos que no tienen efectos nocivos en ningún cultivo es de 500 mg/l, en cultivos sensibles es de entre 500 y 1000 mg/l, en muchas cosechas que requieren de manejo especial es de entre 1000 y 2000 mg/l, y para cultivos de plantas tolerantes en suelos permeables es de entre 2000 y 5000 mg/l requiriendo de un manejo especial.

⁴ Los sólidos suspendidos (incluyendo sedimentables) en combinación con el color, no deben reducir la profundidad del nivel de compensación de luz para la actividad fotosintética en más del 10% a partir del valor natural.

⁵ Los fosfatos totales, medidos como fósforo, no deberán exceder de 0.05 mg/l en afluentes a lagos o embalses ni de 0.025 mg/l dentro del lago o embalse, para prevenir el desarrollo de especies biológicas indeseables y para controlar la eutrofización acelerada.

⁶ No hay criterio ecológico.

Nota: Se incluyen sólo los parámetros utilizados en los cuadros de Calidad del Agua de ríos y lagos seleccionados presentados en esta publicación.
Fuente: Elaborado por Semarnap, Comisión Nacional del Agua, con base en: Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, "Criterios Ecológicos de Calidad del Agua CE-CCA-001/89", Diario Oficial de la Federación, Miércoles 13 de diciembre de 1989.

Fuente: CE-CCA-001/89



NORMATIVIDAD INTERNACIONAL

Ecuador

Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua

Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Sólidos disueltos totales		mg/l	3 000
Transparencia de las aguas medidas con el disco secchi			mínimo 2 m
Vanadio	V	mg/l	0.1
Aceites y grasa	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0.3
Coliformes Totales	NMP/100 ml		1 000
Huevos de parásitos		Huevos por litro	Cero
Zinc	Zn	mg/l	2.0

Fuente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes (Ecuador), 2003

Además de los criterios indicados, la Entidad Ambiental de Control utilizará también las siguientes guías para la interpretación de la calidad del agua para riego y deberá autorizar o no el uso de agua con grado de restricción severo o moderado.



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

Parámetros de los niveles guía de la calidad del agua para riego

PROBLEMA POTENCIAL	UNIDADES	*GRADO DE RESTRICCIÓN.			
		Ninguno	Ligero	Moderado	Severo
Salinidad (1):					
CE (2)	Milimhos/cm	0.7	0.7	3.0	>3.0
SDT (3)	mg/l	450	450	2000	>2000
Infiltración (4):					
RAS = 0 - 3 y CE		0.7	0.7	0.2	< 0.2
RAS = 3 - 6 y CE		1.2	1.2	0.3	< 0.3
RAS = 6 - 12 y CE		1.9	1.9	0.5	< 0.5
RAS = 12 - 20 y CE		2.9	2.9	1.3	<1.3
RAS = 20 - 40 y CE		5.0	5.0	2.9	<2.9
Toxicidad por ión específico (5):					
- Sodio:					
Irrigación superficial RAS (6)		3.0	3.0	9	> 9.0
Aspersión	meq/l	3.0	3.0		
- Cloruros					
Irrigación superficial	meq/l	4.0	4.0	10.0	>10.0
Aspersión	meq/l	3.0	3.0		
- Boro	mg/l	0.7	0.7	3.0	> 3.0
Efectos misceláneos (7):					
- Nitrógeno (N-NO ₃)	mg/l	5.0	5.0	30.0	>30.0
- Bicarbonato (HCO ₃)	meq/l	1.5	1.5	8.5	> 8.5
pH	Rango normal	6.5 -8.4			

*Es un grado de limitación, que indica el rango de factibilidad para el uso del agua en riego.

- (1) Afecta a la disponibilidad de agua para los cultivos.
- (2) Conductividad eléctrica del agua: regadío (1 milimhos/cm = 1000 micromhos/cm).
- (3) Sólidos disueltos totales.
- (4) Afecta a la tasa de infiltración del agua en el suelo.
- (5) Afecta a la sensibilidad de los cultivos.
- (6) RAS, relación de absorción de sodio ajustada.
- (7) Afecta a los cultivos susceptibles

Fuente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes (Ecuador), 2003



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

Los criterios de calidad para aguas destinadas a fines recreativos mediante contacto secundario se presentan en la siguiente tabla.

Criterios de calidad de aguas para fines recreativos mediante contacto secundario			
PARÁMETROS	Expresado como	UNIDAD	Valor máximo permisible
Coliformes totales	NMP/100 ml		4 000
Coliformes fecales	NMP/100 ml		1 000
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0.002
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% de Concentración de saturación
Potencial de hidrógeno	pH		6.5 – 8.5
Metales y otras *sustancias tóxicas		mg/l	Cero
Organofosforados y carbamatos (totales)	Concentración de organofosforados y carbamatos totales.	mg/l	0.1
Organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales.	mg/l	0.2
Residuos de petróleo Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno.	mg/l	<i>AUSENCIA</i> 0.5
Grasas y aceites	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0.3
Sólidos flotantes	<i>VISIBLE</i>		<i>AUSENCIA</i>
Relación hidrógeno, fósforo orgánico			15.1

Fuente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes (Ecuador), 2003

*Sustancias Tóxicas, aquellas establecidas en el Listado de Desechos Peligrosos y Normas Técnicas aprobadas por la Autoridad Competente en el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación por Desechos Peligrosos.



Criterios generales para la descarga de efluentes

Límites de descarga a un cuerpo de Agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0.3
Alkil mercurio		mg/l	NO DETECTABLE
Aldehídos		mg/l	2.0
Aluminio	Al	mg/l	5.0
Arsénico total	As	mg/l	0.1
Bario	Ba	mg/l	2.0
Boro total	B	mg/l	2.0
Cadmio	Cd	mg/l	0.02
Cianuro total	CN ⁻	mg/l	0.1
Cloro Activo	Cl	mg/l	0.5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0.1
Cloruros	Cl ⁻	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1.0
Cobalto	Co	mg/l	0.5
Coliformes Fecales	NMP/100 ml		¹ Remoción > al 99.9 %
Color real	Color real	unidades de color	* Inapreciable en dilución. 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0.2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅ .	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1.0
Estaño	Sn	mg/l	5.0
Fluoruros	F	mg/l	5.0
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10.0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20.0
Manganeso total	Mn	mg/l	2.0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0.005
Níquel	Ni	mg/l	2.0
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10.0

Fuente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes (Ecuador), 2003

¹Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o iguales a 3 000, quedan exentos de tratamiento.



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

Límites de descarga a un cuerpo de Agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	15
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0.05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales.	mg/l	0.1
Plata	Ag	mg/l	0.1
Plomo	Pb	mg/l	0.2
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Selenio	Se	mg/l	0.1
Sólidos Sedimentables		ml/l	1.0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	100
Sólidos totales		mg/l	1 600
Sulfatos	SO ₄ ⁼	mg/l	1000
Sulfitos	SO ₃	mg/l	2.0
Sulfuros	S	mg/l	0.5
Temperatura	°C		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0.5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1.0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1.0
Vanadio		mg/l	5.0
Zinc	Zn	mg/l	5.0

Fuente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes (Ecuador), 2003



Calidad del agua para uso recreacional

Criterios de calidad del agua admisibles para el uso recreacional.

Contacto primario

La tabla siguiente muestra los criterios de calidad admisibles para el uso recreacional mediante contacto primario, ya que la gente está expuesta a este lugar de estudio que es de actividad recreacional, además, es de gran importancia tener en cuenta estos parámetros y hacerlos saber para no exponerse.

Criterios de calidad admisibles para uso recreacional mediante contacto primario

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Coliformes Totales	NMP/100 ml	microorg./100 ml	2000
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	microorg./100 ml	1.000
Compuestos Fenólicos	Fenol	mg/l	0.002
Oxígeno disuelto	O.D.	% de saturación	70% de la temperatura media
Potencial de hidrógeno	pH		5.0 – 9.0
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0.5

Fuente: Norma ecuatoriana, 1983

Notas:

- No se acepta en el recurso película visible de grasas y aceites flotantes, presencia de material flotante proveniente de actividad humana; sustancias tóxicas o irritantes cuya acción por contacto, ingestión o inhalación, produzcan reacciones adversas sobre la salud humana.
- El nitrógeno y el fósforo deberán estar en proporciones que no ocasionen eutroficación. La proliferación de algas se produce cuando las concentraciones de nitrógeno y fósforo inorgánicos superan los 0.3 mg/l y 0.01 mg/l, respectivamente.



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

Contacto secundario

La siguiente tabla muestra los criterios de calidad admisibles para el uso recreacional mediante contacto secundario, ya que la gente está expuesta a este lugar de estudio que es de actividad recreacional, además, es de gran importancia tener en cuenta estos parámetros y hacerlos saber para no exponerse.

Criterios de calidad admisibles para uso recreacional mediante contacto secundario

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Coliformes Totales	NMP/100 ml	microorg./100 ml	5.000
Oxígeno disuelto	O.D.	% de saturación	70% de la temperatura media
Potencial de hidrógeno	pH		5.0 - 9.0
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0.5

Fuente: Norma ecuatoriana, 1983

Notas:

- No se acepta en el recurso película visible de grasas y aceites flotantes, presencia de material flotante proveniente de actividad humana; sustancias tóxicas o irritantes cuya acción por contacto, ingestión o inhalación, produzcan reacciones adversas sobre la salud humana.
- El nitrógeno y el fósforo deberán estar en proporciones que no ocasionen eutroficación. La proliferación de algas se produce cuando las concentraciones de nitrógeno y fósforo inorgánicos superan los 0.3 mg/l y 0.01 mg/l.



Venezuela

Normas para la clasificación y el control de la Calidad de las Aguas de la Cuenca del Lago de Valencia

En la tabla siguiente se muestran los parámetros para aguas para riego de cualquier tipo de cultivo que no sean vegetales de consumo en crudo y para uso pecuario.

Parámetros para aguas para riego

Parámetro	Límite o intervalo máximo
Oxígeno Disuelto (OD)	3.0 mg/l mínimo.
Organismos coliformes totales	Promedio mensual menor a 5000 NMP por cada 100 ml.
Organismos coliformes fecales	menor a 1000 NMP por cada 100 ml.
Nemátodos intestinales (Ascaris, Trichuris y Anquilostoma).	Promedio aritmético de huevos por litro, igual o menor que uno
Clorofila (*)	12 mg/l.
Transparencia de las aguas medida con el disco Secchi (*)	mínimo 2.0 m.

Fuente: Gaceta Oficial No. 5305, 1999.

La tabla siguiente indica los límites y rangos de aguas para el contacto humano parcial.

Límites e intervalos de aguas para el contacto humano parcial

Parámetro	Límite o intervalo máximo
Oxígeno Disuelto (OD)	3.0 mg/l mínimo
Fenoles	Menor de 0,002 mg/l
Aceites y espumas	Ausente
Sustancias que originen sedimentación de sólidos y formación de lodos.	Ausente
Clorofila	12 g/l
Transparencia de las aguas medida con el disco Secchi.	mínimo 2.0 m.

Fuente: Gaceta Oficial No. 5305, 1999.



Australia y Nueva Zelanda

Elemento (mg/l)	Valores Medioambientales Protegidos							
	Ecosistema Acuático		Recreación y Usos Estéticos	Agricultura/ Acuicultura				
	Agua Dulce	Aguas Marinas		Irrigación Hasta 100 años	Irrigación Hasta 20 años	Ganadería	Acuicultura En Agua Dulce	Acuicultura En Aguas Marinas
Aluminio	0,15		0,2	5	20	5	0,01-0,03	0,01
Amonio	2,3	1,7	0,01				0,02-0,03	0,1
Arsénico	0,5		0,05	0,1	2,0	0,5-5	0,05	0,03
Bario			1					
Boro	1,3		1	0,5		5		
Cadmio	0,0008	0,036	0,005	0,01	0,05	0,01	0,0002-0,0018	0,0005-0,005
Cianuro	0,018	0,014	0,1				0,005	0,005
Cloruros			400				0,003	0,003
Cobalto		0,15	1	0,05	0,1	1		
Cobre Total	0,0025	0,008		0,2	5	0,4-5	0,005	0,005
Índice de Fenol								
Cromo Hexavalente	0,040	0,085						
Cromo Total		0,176	0,05	0,1	1	1	0,02	0,02
DBO ₅								
Estaño								
Fósforo				0,05	0,8-12			
Fosfatos							0,1	0,05
Fluoruro				1	2	2		
Hidrocarburos Fijos								
Hidrocarburos Totales								
Hidrocarburos Volátiles								
Hierro Disuelto			0,3	0,2	10		0,01	0,01
Litio				2,5	2,5			
Manganeso	3,6		0,1	0,2	10		0,01	0,01
Mercurio	0,0054	0,0014	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001
Molibdeno				0,01	0,05	0,15		
Níquel	0,017	0,56	0,1	0,2	2	1	0,1	0,1
Nitrógeno Total				5	25-125		1	1
Pentaclorofenol								
PH			6,5-8,5	6,0-9,0			5,0-9,0	6,0-9,0
Plata	0,0002	0,0028	0,05				0,003	0,003
Plomo	0,0094	0,012	0,05	2	5	0,1	0,001-0,007	0,001-0,007
Poder Espumógeno								
Radio 226 (Bq/L)				5	5	5		
Radio 228 (Bq/L)				2	2	2		
SAAM								
Selenio	0,034		0,01	0,02	0,05	0,02	0,01	0,01
Sólidos Sedimentables								
Sólidos Suspendedos Totales			1000				40	10
Sulfatos			400			1000		
Sulfuros	0,026		0,05					
Tetracloroetano								
Tolueno								
Triclorometano								
Vanadio		0,28		0,1	0,5		0,1	0,1
Uranio				0,01	0,1	0,2		
Uranio 238 (Bq/L)				0,2	0,2	0,2		
Xileno								
Zinc	0,031	0,043	5	2	5	20	0,005	0,005

Fuentes: Australian and New Zealand Guidelines for Fresh and Marine Water Quality, 2000



Organización Mundial de la Salud, 1993

Elemento/ sustancia	Símbolo/ fórmula	Valores normales en aguas dulces/superficiales/subterráneas
Aluminio	Al	
Amonio	NH ₄	< 0,2 mg L ⁻¹ (hasta 0,3 mg L ⁻¹ en aguas anaeróbicas)
Antimonio	Sb	< 4 µg L ⁻¹
Arsénico	As	
Asbestos		
Bario	Ba	
Berilio	Be	< 1 µg L ⁻¹
Boro	B	< 1 mg L ⁻¹
Cadmio	Cd	< 1 µg L ⁻¹
Cloro	Cl	
Cromo	Cr ⁺³ , Cr ⁺⁶	< 2 µg L ⁻¹
Color		
Cobre	Cu	
Cianuro	CN ⁻	
Oxígeno disuelto	O ₂	
Flúor	F	< 1,5 mg L ⁻¹ (hasta 10)
Dureza	mg/l CaCO ₃	
Sulfuro de hidrógeno	H ₂ S	
Hierro	Fe	0,5 - 50 mg L ⁻¹
Plomo	Pb	
Manganeso	Mn	
Mercurio	Hg	< 0,5 µg L ⁻¹
Molibdeno	Mo	< 0,01 mg L ⁻¹
Níquel	Ni	< 0,02 mg L ⁻¹
Nitratos y Nitritos	NO ₃ , NO ₂	
Turbidez		
pH		
Selenio	Se	< < 0,01 mg L ⁻¹
Plata	Ag	5 – 50 µg L ⁻¹
Sodio	Na	< 20 mg L ⁻¹
Sulfato	SO ₄	
Estaño inorgánico	Sn	
SDT		
Uranio	U	
Zinc	Zn	

Fuente: Arteaga, 2010



Comparativa entre los estándares de la OMS (1993) y la Unión Europea (1998)

	Estándares de la OMS 1993	Estándares europeos 1998
Sólidos suspendidos	No hay directriz	No se menciona
DQO	No hay directriz	No se menciona
DBO	No hay directriz	No se menciona
pH	No hay directriz ⁽²⁾	No se menciona
Conductividad	250 $\mu\text{S/cm}$	250 $\mu\text{S/cm}$
Color	No hay directriz ⁽³⁾	No se menciona
Oxígeno disuelto	No hay directriz ⁽⁴⁾	No se menciona
Dureza	No hay directriz ⁽⁵⁾	No se menciona
SDT	No hay directriz	No se menciona
cationes (iones positivos)		
Boro (B)	0,3 mg L^{-1}	0,001 mg L^{-1}
Nitrógeno total (N total)	50 mg L^{-1}	No se menciona
aniones (iones negativos)		
Cloruro (Cl)	250 mg L^{-1}	250 mg L^{-1}
Sulfato (SO_4)	500 mg L^{-1}	250 mg L^{-1}
Nitrato (NO_3)	(Ver Nitrógeno)	50 mg L^{-1}
Nitrito (NO_2)	(Ver Nitrógeno)	0,50 mg L^{-1}

(1) Deseable: Menos de 5 UNT

(2) Deseable: 6,5-8,5

(3) Deseable: 15 mg L^{-1} Pt-Co

(4) Deseable: Menos del 75% de la concentración de saturación

(5) Deseable: 150-500 mg L^{-1}

Fuente: Arteaga<, 2010



ANEXO 2

(Resultados)



Resultados de laboratorio

Tabla de Resultados completos de nitrógeno amoniacal (mg/l)

Muestreo	Esclusa 1	Esclusa 2	Esclusa 3	Esclusa 4	Esclusa 5	Esclusa 6	Toma	Descarga
18-Feb-11	14	11.5	23	13.5	15.5	11	13	19
18-Mar-11	50	50	41	25	28.5	26	22	41
08-Abr-11	9.5	9	5	9.5	23	6	9.5	10
29-Abr-11	10	10.5	5	4.5	6	5	1.5	8.5
13-May-11	13	20	18	9	7.5	10.5	14.5	12.5
10-Jun-11	26	30	31	24	16	20	15	-
24-Jun-11	14	21	8.75	9	8.5	9.5	8.875	8.5
05-Ago-11	0	0.13	0.05	0.07	0.14	0.05	0.08	-
19-Ago-11	0.06	0.05	0.02	0	0.11	0.04	0.03	0
02-Sep-11	0.02	0.04	0.04	0.22	0.05	0.04	0	0.42
30-Sep-11	0	0	0	0	0	0	0	0



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

Tabla de Resultados completos de nitrógeno de nitritos ($\mu\text{g/l}$)

Muestreo	Esclusa 1	Esclusa 2	Esclusa 3	Esclusa 4	Esclusa 5	Esclusa 6	Toma	Descarga
18-Feb-11	0.1	1.25	0.5	0.45	0.425	0.425	0.45	0.85
18-Mar-11	0.425	0.15	0.3	0.3	0.3	0.375	0.15	1.3
08-Abr-11	0.6	0.125	0.075	0.1	0.05	0.05	0.2	0.075
29-Abr-11	0.075	0.15	0.175	0.2	0.1	0	0.05	0
13-May-11	0.125	0.15	0.125	0.075	0.15	0.125	0.125	0.15
10-Jun-11	0.15	0.25	0.2	0.225	0.2	0.275	0.225	-
24-Jun-11	0.475	0.1	0.15	0.15	0.125	0.1375	0.15	0.1
05-Ago-11	3	49	0	98	34	19	22	-
19-Ago-11	14	53	159	9	44	47	19	14
02-Sep-11	6	88	0	49	7	2	4	5
30-Sep-11	9	116	-	6	12	13	15	9



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

Tabla de Resultados completos de nitrógeno de nitratos (mg/l)

Muestreo	Esclusa 1	Esclusa 2	Esclusa 3	Esclusa 4	Esclusa 5	Esclusa 6	Toma	Descarga
18-Feb-11	36	32	34	33	36	33	37	32
08-Abr-11	10	10	19	18	12	20	10	20
29-Abr-11	5	20	20	40	25	25	10	10
13-May-11	5	6	5	3	6	5	5	6
10-Jun-11	6	6	3	8	7	7	4	-
24-Jun-11	4	5	3.5	4	4	4	5	5
05-Ago-11	0.8	1.2	1.9	1.2	1.3	1.2	0.9	-
19-Ago-11	0.5	0.5	0.8	1	0.9	0.7	0.7	0
02-Sep-11	0.5	0.5	0.6	0.5	0.4	0.5	0.5	0
30-Sep-11	0.6	0.6	0.9	0.7	0.5	0.6	0.6	1.2



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

Tabla de Resultados completos de fosfatos (mg/l)

Muestreo	Esclusa 1	Esclusa 2	Esclusa 3	Esclusa 4	Esclusa 5	Esclusa 6	Toma	Descarga
18-Feb-11	60	20	65	50	55	40	30	55
18-Mar-11	40	35	35	20	30	40	40	50
08-Abr-11	20	20	17.5	15	15	15	17.5	17.5
29-Abr-11	17.5	20	20	17.5	30	10	25	15
13-May-11	50	17.5	18.5	7.5	47.5	10	10	55
10-Jun-11	30	25	20	17.5	27.5	30	30	-
24-Jun-11	1.81	1.81	2.52	2.5	1.86	1.88	1.38	1.84
05-Ago-11	0.75	1	0.89	0.61	0.55	1.49	1.27	-
19-Ago-11	0.76	0.7	1.81	1.2	0	0	1.71	1.04
02-Sep-11	1.77	0.26	0.78	0.04	0.11	0.07	0.03	0.54
30-Sep-11	0.07	0.14	0.41	0.01	0.1	0.24	0.16	0.94



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

Tabla de Resultados completos de grasas y aceites (mg/l)

Muestreo	Esclusa 1	Esclusa 2	Esclusa 3	Esclusa 4	Esclusa 5	Esclusa 6	Toma	Descarga
04-Feb-11	5.29	6.8	2.15	9.79	3.87	15.61	4.13	4.38
18-Feb-11	1.63	0.206	3.97	4.0	4.06	5.69	3.98	4.05
18-Mar-11	4.78	2.94	5.51	9.79	6.0	5.15	3.92	4.2
08-Abr-11	2.95	5.43	3.05	3.64	8.74	5.68	3.52	5.47
29-Abr-11	2.92	29.3	1.83	4.54	4.65	9.46	4.63	5.0
13-May-11	2.6	2.81	3.64	11.6	11.35	3.23	1.66	2.71
10-Jun-11	2.55	6.56	6.8	7.81	11.14	4.79	3.89	-
24-Jun-11	3.29	7.72	3.85	7.31	7.12	7.08	3.67	4.3
05-Ago-11	5.0	3.89	9.47	7.52	6.1	7.97	4.14	-
19-Ago-11	3.58	4.12	1.34	6.08	7.422	7.15	8.43	6.3
02-Sep-11	6.63	5.21	8.02	11.26	9.47	11.93	6.19	0.74
30-Sep-11	4.94	6.42	4.45	5.62	9.48	8.28	6.36	8.125



Resultados de parámetros de campo

Tabla de Resultados completos del pH

Muestreo	Esclusa 1	Esclusa 2	Esclusa 3	Esclusa 4	Esclusa 5	Esclusa 6	Toma	Descarga
04-Feb-11	9.2	9.3	9.4	9.4	9.4	8.6	9.2	9.3
18-Feb-11	11.75	11.69	13.02	11.8	11.55	11.65	11.7	11.9
18-Mar-11	10.72	11.14	11.52	10.5	11.45	11.83	11.36	9.96
08-Abr-11	11.59	11.15	11.64	10.83	11.43	11.76	11.09	10.09
29-Abr-11.	11.2	11	12.4	12.1	12.3	11.8	12	11.6
13-May-11	8.97	9.17	8.97	8.56	9.66	9.68	9.8	8.14
10-Jun-11	10.8	10.81	10.95	10.28	11.61	11.11	11.34	-
24-Jun-11	10.3	10.2	10.66	10.2	12.3	11.23	12.21	10.45
05-Ago-11	9.9	10.0	9.87	9.8	9.84	9.8	10.0	-
19-Ago-11	9.0	9.7	9.5	9.4	9.5	9.8	9.4	7.0
02-Sep-11	11.9	11.8	11.2	10.7	11.4	10.8	11.8	9.0
03-Sep-11	11.8	12.3	12.5	12.4	12.2	12.5	12.1	11.2



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

Tabla de Resultados completos de la conductividad (mS)

Muestreo	Esclusa 1	Esclusa 2	Esclusa 3	Esclusa 4	Esclusa 5	Esclusa 6	Toma	Descarga
04-Feb-11	1.77	1.33	2.63	3.47	1.82	2.25	1.82	1.33
18-Feb-11	1.25	1.62	2.48	3.68	2.63	2.68	1.28	2.28
18-Mar-11	6.83	8.44	14.4	10.29	10.09	14.97	9.74	5.66
08-Abr-11	6.17	6.5	11.9	15.09	8.6	13.86	7.0	6.21
29-Abr-11	11.7	6.73	12.7	16.7	8.99	12.7	10.6	6.7
13-May-11	6.11	7.05	11.75	14.86	10.65	11.9	11.36	6.16
10-Jun-11	7.56	8.3	13.81	16.02	12.29	13.13	11.98	-
24-Jun-11	5.51	8.42	14.5	17.7	13.3	13.38	12.98	6.26
05-Ago-11	1.9	2.4	3.4	3.8	3.0	2.9	3.1	-
19-Ago-11	2.0	2.31	3.0	3.79	2.63	2.47	2.98	1.98
02-Sep-11	1.34	1.83	2.45	2.71	1.99	2.0	2.01	1.19
03-Sep-11	1.9	2.4	3.1	3.5	2.5	2.6	2.5	1.8



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

Tabla de Resultados completos de la temperatura (°C)

Muestreo	Esclusa 1	Esclusa 2	Esclusa 3	Esclusa 4	Esclusa 5	Esclusa 6	Toma	Descarga
04-Feb-11	17.6	19.1	15.8	15.9	16.7	15.8	16.7	15.7
18-Feb-11	23.6	21.5	15.0	18.5	14.4	13.9	15.2	14.7
18-Mar-11	25.7	22.2	21.3	22.0	23.4	27.5	21.4	20.5
08-Abr-11	21.6	21.4	24.5	19.1	22.7	23.2	21.7	23.5
29-Abr-11	30.0	29.9	30.0	29.8	30.0	30.5	30.31	29.0
13-May-11	24.5	25.4	24.1	22.6	26.5	27.4	28.4	22.6
10-Jun-11	24.0	24.3	22.4	20.7	29.7	27.3	28.5	-
24-Jun-11	24.0	21.5	22.9	20.0	26.0	23.5	26.8	23.3
05-Ago-11	22.1	22.5	22.5	22.4	22.5	22.5	22.8	-
19-Ago-11	23.0	26.0	26.9	25.8	24.6	26.8	26.9	26.0
02-Sep-11	22.1	23.6	22.4	21.0	23.4	23.5	23.6	23.3
03-Sep-11	22.0	20.2	20.5	21.4	20.8	21.5	21.0	22.6



Evaluación de la Calidad del Agua en el Lago del Parque Alameda Oriente

Tabla de Resultados completos del oxígeno disuelto (mg/l)

Muestreo	Esclusa 1	Esclusa 2	Esclusa 3	Esclusa 4	Esclusa 5	Esclusa 6	Toma	Descarga
04-Feb-11	5.0	6.2	4.7	4.42	10.3	7.6	9.2	10.3
18-Feb-11	6.8	7.0	2.9	11.0	10.4	5.9	5.9	9.4
18-Mar-11	19.0	19.0	19.0	6.5	19.0	19.0	19.0	4.2
08-Abr-11	7.3	6.2	19.0	2.3	12.3	19.0	7.3	1.3
29-Abr-11	2.7	7.8	0.3	3.4	3.1	19.0	6.3	6.1
13-May-11	9.6	10.9	8.6	7.1	19.0	19.0	19.0	0.7
10-Jun-11	14.4	16.8	5.5	2.55	19.0	19.0	19.0	-
24-Jun-11	9.0	6.6	8.0	0.0	19.0	6.8	10.0	6.0
05-Ago-11	6.8	2.8	13.2	6.8	10.0	9.4	12.8	-
19-Ago-11	10.6	19.0	19.0	19.5	10.3	10.1	10.6	3.6
02-Sep-11	12.4	11.2	5.06	5.4	8.0	4.53	5.33	10.0
30-Sep-11	8.1	7.7	8.1	8.1	9.3	10.1	8.3	5.2