



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**Análisis preliminar de algunos factores físico -
químicos indicadores de la calidad del agua en
Xochimilco.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGA

P R E S E N T A:

**GUADALUPE ARACELI FLORES
RAMÍREZ**

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. JOSÉ ROMÁN LATOURNERIÉ CERVERA



2009



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

1. Datos del alumno

Flores
Ramírez
Guadalupe Araceli
54 28 39 02
araflor5@yahoo.com.mx
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
30121566-4

2. Datos del tutor

Dr.
José Román
Latournerié
Cervera

3. Datos del sinodal 1

Dr.
José Luis
Arredondo
Figueroa

4. Datos del sinodal 2

Dr.
José Antonio Benjamín
Ordóñez
Díaz

5. Datos del sinodal 3

M. en C.
Yamel
Nacif
Osorio

6. Datos del sinodal 4

Lic. Ec.
Alma Rosa
Estrada
Ortega

7. Datos del trabajo escrito

Análisis preliminar de algunos factores físico – químicos indicadores de la calidad del agua
en Xochimilco.
92 p
2009

Agradecimientos

La presente tesis no es únicamente el resultado de mi esfuerzo personal sino también del esfuerzo, confianza, aportes y apoyo de muchas personas, quienes estuvieron incondicionalmente a mi lado para brindarme su más sincera colaboración.

Por este motivo quiero expresar mis agradecimientos al Dr. José Román Latournerié Cervera por su paciencia, tiempo, dedicación, interés y esfuerzo en el análisis estadístico de datos. A la M. en C. Yamel Nacif Osorio quien me invito a participar en el proyecto de Acocil, por su enseñanza y apoyo durante la realización de este trabajo.

A mis sinodales: Lic. Ec. Alma Rosa Estrada Ortega y al Dr. José Luis Arredondo Figueroa por sus observaciones y aportes al presente trabajo. Al Dr. José Antonio Benjamín Ordóñez Díaz quien ha sido para mí un amigo, maestro y un excelente ejemplo a seguir tanto humana como profesionalmente, porque es una persona capaz de lograr cualquier objetivo, además de apoyar incondicionalmente a sus alumnos y amigos.

A mi Padre y hermanos quienes me han acompañado, cuidado y comprendido durante toda la realización de esta tesis. A los biólogos Christian Montes Medina y Leticia Moyers por su tiempo y apoyo en el escrito de este documento y al diseñador Guillermo Castañeda por sus aportaciones.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por ser la mejor y por toda mi formación profesional. A la Facultad de Ciencias, al laboratorio de Acuicultura y al Centro de Ciencias de la Atmósfera, proyecto: *Vulnerabilidad del suelo de conservación del Distrito Federal ante el Cambio Climático y posibles medidas de adaptación.*

Dedicatorias

A mi hermosa Eli

Qué me dio la vida, fuerza y herramientas
para vivirla.

A Tom

Por ser quien es y su incondicional apoyo,
el niño grande que siempre necesito.

A Lore

Mi hermana y mejor amiga.

A Eric

Por sus bromas su alegría y compañía.

A Adolfo

Digno enemigo natural,
siempre estaré cuando me necesite.

A mi niño Shay

Quién alegra mi vida y mi casa cada momento.

Con mucho cariño y alegría dedico esta tesis a toda mi familia, especialmente a las mujeres que me han cuidado en momentos difíciles: Matilde, Mercedes, Julia, Irma y Perla. Y a los que me miran desde cielo.

A todos mis amigos y amigas por todos los momentos, carcajadas y alegrías compartidas. A mis amigas de la infancia y juventud, a las biologuitas por sus travesuras y seriedad, a mis compañeros de fiestas y salidas. A la banda universum especialmente a mis amigas repros por las fiestas y los buenos consejos y su característica alegría. A mis queridas amigas de la clase de ingles en química, como imaginar tan intensa amistad en tan poco tiempo, con su siempre sonriente actitud ante la vida. A todo el kínder del tío Toño.

ÍNDICE

Resumen	1
Introducción	2
Antecedentes	5
Situación Actual	10
Justificación	14
Hipótesis	16
Objetivos	16
Área de Estudio	17
- Ubicación	17
- Aspectos Geográficos	20
- Vegetación	25
- Fauna	27
Materiales y Métodos	29
Resultados	33
Discusión	44
Conclusiones	64
Recomendaciones	66
Literatura citada	67
Anexos	
- Anexo A. Estadística descriptiva de los resultados	72
- Anexo B. Resultados de contrastes múltiples de medias	74
- Anexo C. Cuadro comparativo: valores NOM – 001 - ECOL – 1996 contrastados con los promedios obtenidos	75
- Anexo D. Valores de toxicidad para el amonio registrado	76
- Anexo E. Agroquímicos y pesticidas	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Mapa de la República Mexicana y el Distrito Federal, señalando la delegación Xochimilco.	17
Figura 2.	Vista satelital de los canales y cuerpos de agua de la zona lacustre de Xochimilco (Google Earth, 2009).	19
Figura 3.	Mapa de los lagos de la cuenca del Valle de México en la época Prehispánica (Vázquez y Orozco, 1989).	21
Figura 4.	Gráfica de temperatura y precipitación de Xochimilco (INEGI, 2008).	24
Figura 5.	Variación de (a) temperatura y (b) potencial redox en relación a los meses y a los estratos (superficie y fondo).	34
Figura 6.	Variación de (a) transparencia y (b) conductividad en relación a los meses y a las localidades agrupadas (internas y externas).	35
Figura 7.	Variación de (a) alcalinidad en relación a los meses y a los estratos (superficie y fondo); y (b) dureza de calcio en relación a los meses y a las localidades agrupadas (internas y externas).	36
Figura 8.	Variación de (a) dureza total y (b) dureza de magnesio en relación a los meses y a las localidades (internas y externas).	37
Figura 9.	Variación de (a) sólidos totales y (b) sólidos disueltos en relación a los meses y a los estratos (superficie y fondo).	38
Figura 10.	Variación de (a) profundidad en relación a los meses y a las	39

localidades (internas y externas); y (b) oxígeno en relación a los meses y a los estratos (superficie y fondo).

- Figura 11.** Gráficas de pH con relación a los meses y a los (a) estratos (superior y fondo), y a las (b) localidades agrupadas (internas y externas). 40
- Figura 12.** Variación de (a) fosfatos y (b) nitritos en relación a los meses y a los estratos (superficie y fondo). 42
- Figura 13.** Variación de (a) amonio en relación a los meses y a las localidades agrupadas (internas y externas); y (b) nitratos en relación a los meses y a los estratos (superficie y fondo). 43

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1(a).	Estadística descriptiva: medias y desviación estándar para cada parámetro (datos agrupados en localidades internas y externas).	72
Cuadro 1(b).	Valores promedio de transparencia y profundidad (datos agrupados en localidades internas y externas).	73
Cuadro 2.	Resultados de contrastes múltiples de medias, mediante prueba de Tukey: Análisis confirmatorio.	74
Cuadro 3.	Límites máximos permisibles por la NOM - 001 – ECOL - 1996, contrastados con los promedios de los cinco meses muestreados en cinco canales y una laguna de Xochimilco.	75
Cuadro 4.	Valores de toxicidad para el amonio registrado.	76

RESUMEN

El antiguo lago de Xochimilco se ha venido desecando y deteriorando desde la época colonial. En la actualidad, solo queda una red de canales interconectados entre sí, con elevados niveles de contaminación (De la Rosa, 2003). El 11 de enero del 2006, Xochimilco fue declarado área sujeta a conservación ecológica (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2006).

Con el objetivo de contribuir al estudio y protección del sitio, se realizó un análisis comparativo de 18 parámetros físico - químicos en seis canales de Xochimilco. Se efectuaron cinco muestreos bimestrales durante el periodo 2007 - 2008, contrastando la época fría y cálida del ciclo anual.

Los resultados obtenidos mostraron que la zona lacustre presenta una estacionalidad definida; que existe una variación espacio - temporal en los canales y que se trata de un ambiente hipereutrófico resultado de la presión antropogénica que se ejerce sobre el cuerpo de agua.

INTRODUCCIÓN

La zona lacustre de Xochimilco está ubicada al sureste de la ciudad de México. Xochimilco, fue fundado en el año 919 d.C. por los Xochimilcas, quienes se extendieron hasta Mixquic, Tláhuac y Culhuacán (Aranda, 2004). Los habitantes de Xochimilco modificaron el entorno con estrategias de aprovechamiento tales como: las chinampas, la agricultura de riego y el temporal, cuyas técnicas se basan en el uso de suelos de humedad (Romero, 1993; Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2006).

La palabra Chinampa proviene del náhuatl *Chinamitl* = Seto o cerca de caña y *Pan* = Sobre (Chávez, 2000). Se trata de islas rectangulares construidas a base de capas de vegetación acuática, fango del fondo del lago y rocas sobre una alfombra de varas entretejidas y sumergidas en aguas someras, sujetas a un cercado de postes y árboles de ahuejote (*Salix bonplandiana*) para evitar la erosión. Los Xochimilcas utilizaban trajineras como transporte para el comercio regional (Aranda, 2004).

Los cultivos agrícolas eran sumamente productivos especialmente los de: maíz, jitomate, chile, col, coliflor, lechuga, tomate, col de bruselas, cebolla, espinaca y apio; también practicaban ganadería extensiva, caza de pato, pesca y recolección de productos acuáticos (Serra, 1988; Romero, 1993). Los pobladores consumían gran número de pequeños organismos acuáticos, como artrópodos, algas, y huevos de pescado. El acocil (*Cambarellus montezumae*), era muy utilizado en el México antiguo y es todavía, objeto de consumo común en Xochimilco. La pesca, aunque era abundante era de difícil obtención por los tulares y la vegetación que cubría la superficie (Serra, 1988).

El tule era muy utilizado como pastura, remedio médico, techado de viviendas, elaboración de petates y alimento. Estas actividades tendieron a cambiar durante la Colonia y continuaron su transformación en la época de la Independencia. En la época

actual, el paisaje se ha modificado radicalmente, el declive definitivo de la economía lacustre ocurrió en el siglo XIX con el desecado del lago (Serra, 1988).

En 1901 bajo el régimen del general Porfirio Díaz, fue presentado el proyecto para construir las obras para la extracción de agua de Xochimilco por Don Manuel Marroquín. Sin embargo, éstas iniciaron hasta junio de 1905 y fueron inauguradas en octubre de 1912 por el presidente Francisco I. Madero (González, 1991; Romero, 1993; Chávez, 2000). El proyecto consistió en la captación de 2100 L/s de agua (Romero, 1993), para abastecer a la ciudad de México, misma que incrementaba su demanda.

Para 1950, el acuífero disminuyó su capacidad de recarga, lo que se evidenció en la desecación y abatimiento de los lagos, canales y manantiales. Los suelos, por falta de humedad comenzaron a compactarse y a hundirse diferencialmente. No obstante, las autoridades responsables de abastecer a la capital, incrementaron el caudal proveniente de Xochimilco, de 1.3m³/s en 1950 a 4.4m³/s en 1960. La deforestación y erosión también fueron factores de perturbación o deterioro ambiental (Romero, 1993; Aranda, 2004).

Ante esta situación, algunos sectores de la población de Xochimilco, presionaron a las autoridades del Departamento del Distrito Federal, quienes respondieron ante sus demandas desviando las aguas del Río Churubusco hacia sus canales. En 1958 enviaron aguas de la planta de tratamiento primario Aculco - Coyoacán. Posteriormente en 1977 enviaron aguas tratadas de la planta Cerro de la Estrella (Romero, 1993; Olvera, 2004). Desde este periodo se comenzaron a abandonar paulatinamente las tierras de cultivo para transformarse en áreas urbanas (Chávez, 2000; De la Rosa, 2006).

La introducción de agua tratada a los canales, ha derivado en graves consecuencias de contaminación e impacto ambiental (Aranda, 2004). La presencia de asentamientos humanos en el sistema lacustre, ejerce otras presiones sobre el cuerpo de agua, repercutiendo en la calidad de la misma (Blancas, 2005) al incidir en otras fuentes

de contaminación tales como: basureros a cielo abierto, uso de fertilizantes químicos (Anexo E) y riego con motobomba, esto provoca la proliferación de lirio acuático y su plaga (González, 1991; Romero, 1993; Aranda, 2004).

ANTECEDENTES

La zona lacustre de Xochimilco ha sido ampliamente estudiada desde el punto de vista social, histórico, ecológico e hidrológico, debido a su importancia cultural, económica y como proveedor de agua para la ciudad de México, así como, receptor de aguas residuales. Dentro de los estudios históricos y sociales, puede señalarse la compilación histórica sobre la agricultura chinampera de Rojas (1993) y la publicación sobre impacto socio ambiental, debido a las obras de abastecimiento de la ciudad de México (Romero, 1993).

Desde el punto de vista biológico, se han realizado análisis bacteriológicos de agua subterránea (pozos) y superficial (canales) para detectar factores de virulencia. Este es el caso de Aguilera (2007), quien en su trabajo, realizó el análisis de algunos parámetros como el pH, temperatura y conductividad. Este autor registró que el valor promedio de pH en los canales para la temporada de secas es de 7.9 y de lluvias de 7.92 mostrando una tendencia hacia la alcalinidad.

Encontró además que la conductividad en temporada de secas es más alta en relación a la temporada de lluvias, probablemente debido a la acumulación de materia orgánica, sólidos disueltos y a la disminución del nivel del agua. Respecto a la temperatura registró la mayor en temporada de lluvias, la cual ocurre durante los meses cálidos, y acontece un aumento de radiación solar. Las conclusiones de este estudio, indicaron que el agua más contaminada es la superficial por la presencia de bacterias indicadoras y *Escherichia coli* y, la temporada con mayor contaminación microbiológica fue la de secas.

Por otra parte, Cisneros (2005), efectuó un análisis ambiental de aguas superficiales y subterráneas de algunas zonas de Xochimilco donde refiere que solo tres canales cuentan con buena calidad de agua para riego agrícola, estos son: Cuemanco,

Atizapa y San Gregorio. Concluyó que la calidad del agua en Xochimilco, está íntimamente ligada a la ubicación de la mancha urbana y a la distribución de la población, así como sus actividades y la dirección del flujo superficial y subterráneo.

Rodríguez y Urzua (1998), realizaron un análisis bacteriológico de aguas residuales de dos plantas de tratamiento que alimentan los canales de Xochimilco. La planta de San Luis Tlaxialtemalco y la planta Cerro de la Estrella. En la primera, la concentración de indicadores microbiológicos y estreptococos fecales, es considerablemente menor que los encontrados en la planta Cerro de la Estrella, esta última también presentó *Salmonella*. Estos autores, indicaron que el tratamiento de agua en la Planta San Luis Tlaxialtemalco es eficiente y el agua es apta para riego. Sin embargo, el agua tiene otros tipos de contaminantes como son los escurrimientos y desechos urbanos directos en los canales.

En relación a estudios sobre organismos acuáticos del área de estudio, se encuentra el de Ávila (2000), sobre la composición actual de la ictiofauna del lago de Xochimilco, el cual menciona que la introducción de aguas negras y de algunas especies de peces foráneos en los canales, han alterado la supervivencia y abundancia de los peces asociados y originarios del lugar.

Olvera en su tesis de Maestría (2004), realizó un análisis poblacional de *Chirostoma jordani* en el sistema lacustre de Xochimilco, efectuando muestreos mensuales de abril de 1995 a marzo de 1996 de la biota y de parámetros físico - químicos, a partir de los cuales, concluyó que el sistema es poco profundo (menor de 2 m) y a lo largo del año mantiene sus niveles, el oxígeno disuelto presentó saturación en la superficie y en el fondo nunca fue anóxico; el pH fue básico con altos valores de alcalinidad y con diferencias significativas entre estratos, (el fondo y la superficie del

cuerpo de agua) y meses. Reconoció que en temperatura y transparencia existe diferencia significativa entre estratos.

Este autor, señala que los canales se encuentran en movimiento debido al paso continuo de lanchas y trajineras y que probablemente por eso existe homogeneidad en ciertos parámetros como la alcalinidad. El aporte central de este trabajo consistió en señalar que la temperatura es el principal factor que desencadena la maduración del charal, influyendo en su proceso reproductivo, a través del desarrollo de las gónadas.

En relación a la vegetación acuática, Salcedo (1978), estudió el lirio acuático *Eichhornia crassipes*, también conocido como Jacinto acuático, característico de esta zona lacustre. Aunque frecuentemente es considerado plaga que dificulta el transporte fluvial, sirve de hábitat para muchos organismos. En este trabajo, reportó que la gran cantidad de lirio acuático que existe en los canales de Xochimilco, es debido a la eutroficación, provocada por la entrada de aguas negras con tratamiento incompleto; la contaminación de tipo doméstico, como los drenajes directos, establos a la orilla de algunos canales y desechos de las fábricas. Por estas razones, el nivel de los canales no es constante ni en cantidad ni en calidad del agua, tales condiciones repercuten en la muerte o disminución de algunos organismos y para otros, representa un beneficio.

González (1991), en su contribución al estudio ficológico de algunos canales de Xochimilco, menciona que los meses de lluvia se ubican de mayo a octubre, las heladas comienzan normalmente en octubre y terminan en marzo, extendiéndose ocasionalmente hasta mayo. El régimen de temperaturas varía de los 12.7°C (mínimas) a 31°C (máximas). Los suelos de la región son de origen volcánico, ricos en materia orgánica y con alto contenido de nitrógeno y fósforo. Las altas densidades de clorofitas y cianofitas denotan los elevados niveles de materia orgánica, a la vez que las sales de amonio y fosfatos, lo que revela una condición eutrófica del lago.

Chávez (2000), determinó las propiedades físicas y químicas de los suelos de algunas zonas chinamperas. En su trabajo refirió que a pesar de la saturación de agua presente en los suelos de Xochimilco, los suelos con menor cantidad de sales y de sodio soluble se deben a una mejor calidad de agua, misma que recibe un tratamiento terciario, por el uso agrícola y recreativo que tiene, lo cual no ocurre con las aguas de la zona chinampera de San Nicolás Tetelco que reciben tratamiento secundario. Este autor indicó que los suelos de Xochimilco se encuentran en recuperación y propone sean utilizados para la agricultura florícola principalmente.

Dentro de los estudios realizados en la caracterización del agua de Xochimilco, se encuentra el de Pedraza (1995), que efectuó una comparación de parámetros físico - químicos de los canales de Xochimilco y Tláhuac, encontrando que, si existe una época fría y una cálida de acuerdo a las temperaturas registradas, con un valor mínimo de 12.9°C en febrero y máximo de 25.6°C en julio, reportando como la época cálida los meses de mayo a agosto y fría de noviembre a febrero. Los valores de pH se ubicaron de 6.7 - 8.7 con tendencia a la alcalinidad. Este factor fue constante entre temporadas, con un valor que se mantuvo por debajo de los 500 mg/L, igual que la dureza total. En los niveles de nutrientes registró eutrofización, con niveles de fosfatos promedio de 20 mg/L durante todo el año, las concentraciones de amonio se registraron por debajo de 1 mg/L. De lo anterior, concluyó que estas aguas no pueden ser utilizadas para riego debido a su proceso de eutrofización.

Ortiz y Rubalcaba (2005), realizaron una evaluación del estado trófico del lago de Xochimilco, muestrearon cuatro estaciones del lago en el año 2003, determinaron algunos parámetros físico - químicos y catalogaron el sistema lacustre como hipereutrófico. El estado trófico implica condiciones inestables y deterioradas, las cuales pueden llevar a la pérdida de la biodiversidad y de los recursos acuáticos.

Sandoval (2008), evaluó el estado de degradación de los canales de Xochimilco, en época de lluvias del 2003 y secas del 2004. Mediante el análisis de parámetros físico - químicos, análisis microbiológico de indicadores de contaminación fecal y la determinación de algunos metales. Concluyó que, los valores obtenidos dependen de la época del año y que, la presión antropogénica ejerce presión ecológica sobre los canales.

De la Rosa (2006), en su estudio sobre la contaminación del lago de Xochimilco por aguas negras y su influencia en la agricultura, menciona la importancia histórica y económica del lago de Xochimilco, del cual, solo quedan los canales, apantles que sirven como límite entre una chinampa y otra. Que el lago de Xochimilco se encuentra en proceso de desecación constante, entre otras razones por el crecimiento acelerado de la mancha urbana y la sobreexplotación del manto acuífero.

Según el autor, la determinación de la calidad del agua de los canales de Xochimilco es importante para evaluar el deterioro de esta zona así como para procurar acciones en su rehabilitación. Propone como principales parámetros de monitoreo: análisis de bacterias fecales, concentración de aceites y fenoles, detección de agentes tóxicos (metales pesados y cianuros), así como determinar la temperatura, el oxígeno disuelto, los cloruros, el pH, las formas de nitrógeno y los iones de nitratos y fosfatos.

SITUACION ACTUAL

Del gran lago de Xochimilco, actualmente solo queda una red de canales estrechos rodeados de áreas agrícolas y alimentados por aguas negras tratadas, que según la denominación geográfica de lago ya no puede ser denominado como tal (Rojas, 1993; De la Rosa, 2003). Cuenta con una longitud aproximada de 190 km de canales de los cuales 14 son turísticos y los 176 restantes pertenecen a la zona agrícola chinampera. Reciben aguas tratadas de las plantas de tratamiento Cerro de la Estrella, San Luis Tlaxialtemalco y la de San Lorenzo Tezonco (Aranda, 2004; Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2006). La zona de canales recibe contaminantes microbiológicos directamente de los asentamientos humanos (regulares e irregulares), pero sobre todo por los aportes de agua de las plantas de tratamiento. En general, la mancha urbana y la falta de drenaje adecuado hace constante la contaminación de la parte sur de la zona de canales (Cisneros, 2005).

La Dirección General de Construcción y Operación hidráulica del Departamento del Distrito Federal indicó en su informe de 1993, que las aguas tratadas de la planta Cerro de la Estrella que se dirigen hacia Xochimilco, incluyen la presencia de metales pesados, en el informe se señala que de 1971 hasta 1993 se le dio al agua tratamiento secundario que consiste en el tratamiento de lodos activados convencionales (INEGI, 2006) y en 1994 se inicio con tratamiento terciario, filtración con arena, grava y torres de carbón activado y tratamiento de lodos (INEGI, 2006). La descarga ha arrojado desde entonces a los canales, agua que contiene compuestos tóxicos (inorgánicos) como arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), mercurio (Hg), plomo (Pb), zinc (Zn), de origen industrial además de sales y detergentes, compuestos orgánicos bacterias y virus (De la Rosa, 2006).

La planta Cerro de la Estrella, produce un caudal de 1,500 L/s con tratamiento secundario de lodos activados, el cual se basa en la descomposición de materia orgánica por la acción de los microorganismos. Actualmente, la planta tiene una capacidad instalada de 2,000 a 2,500 L/s y suministra el agua tratada a un centro penitenciario de la delegación y otra parte la envía a los canales de Xochimilco, con la finalidad de mantener el nivel de agua (Luna, 2006).

Se estima que el volumen de agua que llega a la zona lacustre de Xochimilco es del orden de los 173,000 m³/día. De los cuales 172,800 m³ corresponden a aguas tratadas de la planta Cerro de la Estrella, 72 m³/día de las descargas continuas y 55.95 m³/día de las descargas de aguas intermitentes. Las aguas que llegan a la planta Cerro de la Estrella contienen residuos tóxicos, que con los métodos de tratamiento utilizados no son eliminados completamente, por lo que pueden ser dañinos al momento de ser vertidos, además de que no son adecuados para uso agrícola (De la Rosa, 2006).

Los manantiales que alimentaban a los canales fueron entubados para proveer de agua a la Ciudad de México, posteriormente se realizó la extracción del agua subterránea y del acuífero, esta situación ha llevado a la disminución de la carga hídrica ascendente y hacia los canales. La sobreexplotación del acuífero y el cambio de agua por aguas negras tratadas, favorecen un descenso en el nivel del agua de la zona lacustre, el hundimiento gradual del suelo, una notable baja en la productividad de las chinampas y con ello el desarrollo de actividades agrícolas diferentes a las tradicionales (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2006).

Según los talleres realizados en el proyecto UNESCO - XOCHIMILCO en el año 2005, las principales fuentes de contaminación del agua de la zona chinampera son: "la basura, residuos sólidos, las descargas domiciliarias, erosión de las riberas, azolve por residuos orgánicos, residuos inorgánicos, actividad turística, derrames de sustancias

químicas (combustibles), contaminación por fertilizantes e insecticidas, falta de flujo o corriente para la circulación, residuos peligrosos (baterías, automóviles, entre otros), actividad pecuaria, salinidad y sodificación, lluvias ácidas además de la introducción de aguas tratadas”.

La zona lacustre es también utilizada públicamente, por clubes deportivos para la práctica de remo y canotaje; turismo, particularmente paseos por canales y lagunas en las típicas trajineras. Los usos de suelo son muy diversos, la mayor parte es para aprovechamiento productivo, que incluye la agricultura de riego y temporal, agricultura en chinampas intensivo y de temporal (Aranda, 2004).

Los principales productos que se cultivan actualmente en Xochimilco son: maíz, espinaca, romerito, peral, chícharo, zacate, zacatón y chíá (INEGI, 2008). El empleo de invernaderos ha conducido a un uso intensivo de agroquímicos, al cierre de canales y zanjas, en general, al depósito de grandes cantidades de residuos tóxicos (Aranda, 2004; Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2006). Existen zonas totalmente deforestadas que dan lugar al desbordamiento de material de las chinampas, este material azolva los canales (Chávez, 2000).

La zona lacustre de Xochimilco tiene un gran valor cultural, económico y ambiental asociado a sus características hidráulicas, por lo que mantiene estrechas interrelaciones con la ciudad, al proveer de agua potable así como ser receptor de aguas residuales y abastecer algunos productos alimenticios y de ornato (Cisneros, 2005).

El 11 de Enero del año 2006, fue publicado en la Gaceta Oficial del Distrito Federal, el acuerdo por el que se aprueba el Programa de Manejo del Área Natural Protegida (ANP) con carácter de zona de conservación ecológica denominada “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”. Con el objetivo de conservar los recursos naturales del ecosistema y el paisaje cultural del ANP, en la categoría de: Zona Sujeta a

Conservación Ecológica, “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”, a través del manejo integral de los recursos naturales y la revaloración de las técnicas prehispánicas de producción.

JUSTIFICACIÓN

El paisaje así como el agua dulce son recursos finitos, por lo que existe la necesidad de caracterizar adecuadamente los sistemas acuáticos, basándonos en sus propiedades físicas, químicas y biológicas, que permitan normar su uso, así como establecer estrategias de manejo y conservación (Blancas, 2005; De la Rosa, 2006).

La extracción de manantiales desde principios del siglo XX y la introducción de aguas tratadas a los canales de Xochimilco, aunado al deterioro ambiental que ha experimentado esta zona desde la Colonia, han afectado la calidad de agua perturbando la supervivencia de algunas especies habitantes de esta zona como: el acocil o camarón de río (*Cambarellus montezumae*), ajolote (*Ambystoma mexicanum*), rana de Tláloc (*Rana tlaloci*), camaleón de montaña (*Phrynosoma orbiculare*), culebra listonada de montaña (*Thamnophis scaliger*), peces de la región como (*Chirostoma jordani*) e incluso algunas aves que viven en las orillas de los canales (Aranda, 2004; Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2006).

Xochimilco fue nombrado Patrimonio Cultural de la Humanidad por la FAO/UNESCO en 1987 (Chávez, 2000) y el Departamento del Distrito Federal comenzó sus esfuerzos para su recuperación en 1988 a través del plan de Rescate Ecológico de Xochimilco. No obstante el deterioro ha seguido su marcha (Chávez, 2000; Olvera, 2004). Aunque existe La Norma Oficial Mexicana NOM – 001 – ECOL - 1996, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de abril de 2003, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, los valores que existen en los canales de Xochimilco sobrepasan estos límites.

A fin de aportar mayor información actual sobre la calidad del agua de seis canales de la zona lacustre de Xochimilco, se realizó un análisis comparativo de algunos parámetros físico - químicos durante un ciclo anual.

HIPÓTESIS

Considerando que existe la posible variación espacio - temporal del régimen hidrológico y climático del área de estudio, los valores de los parámetros físico - químicos medidos, mostrarán diferencias significativas entre temporadas, localidades y estratos en la columna de agua de los canales.

OBJETIVOS

General:

Realizar un análisis comparativo de los parámetros físico - químicos de seis canales de Xochimilco en la época cálida y fría de un ciclo anual.

Particulares:

- Determinar la calidad del agua en seis canales de Xochimilco.
- Comparar las diferencias entre localidades, estratos y temporadas de muestreo.
- Conocer si existe diferencia significativa entre las temporadas cálida y fría del año.

AREA DE ESTUDIO

La zona lacustre de Xochimilco, comprende una serie de canales y cuerpos de agua remanentes de lo que alguna vez fue el lago de Xochimilco, formado por Chinampas y una extensa biota. Es un atractivo turístico de la ciudad de México, en la década de los 80's fue declarada Área Natural protegida y Patrimonio Cultural de la Humanidad.

Ubicación

La delegación Xochimilco ubicada al sureste del Distrito Federal, representa el 7.9% de la superficie del Distrito Federal (Figura 1), sus coordenadas geográficas extremas son al Norte 19°19', al Sur 19°09' de latitud Norte; al Este 99°00', al Oeste 99°09' de longitud Oeste (INEGI, 2008).

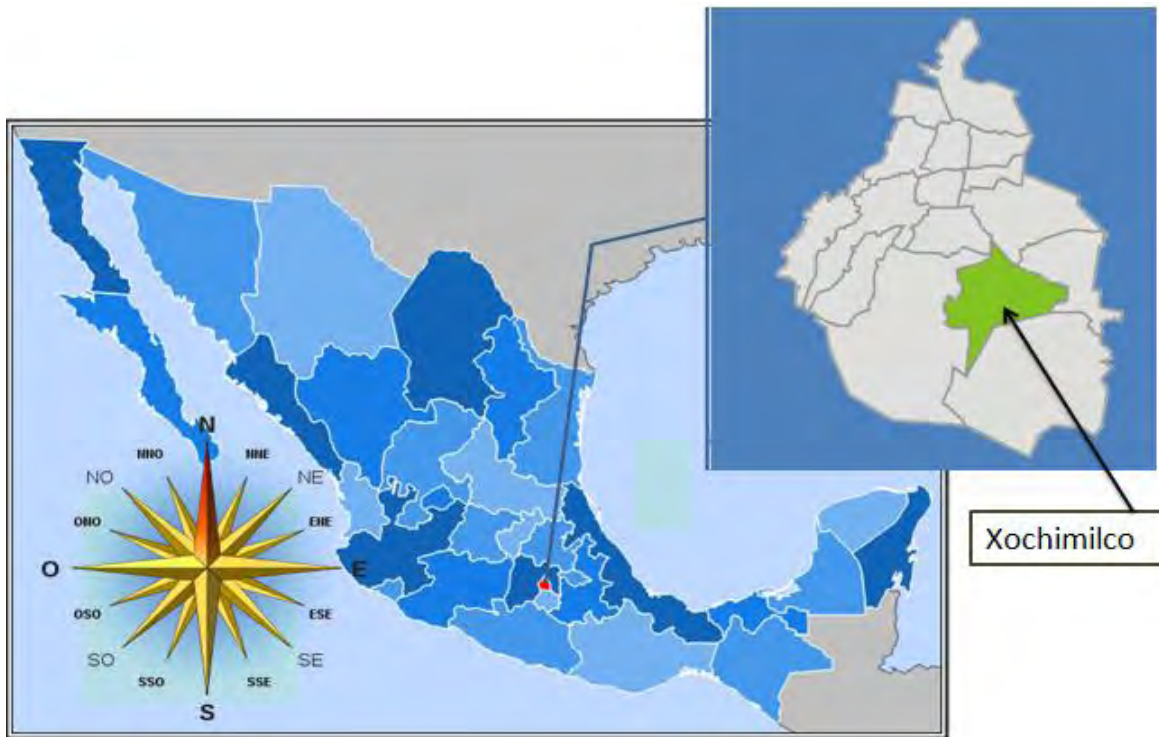


Figura 1. Mapa de la República Mexicana y el Distrito Federal, señalando la delegación Xochimilco.

Las estaciones muestreadas, se localizan dentro del Área Natural Protegida (ANP) “Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco”, sus coordenadas geográficas extremas son: 19°15′11″ y 19°19′15″ de latitud Norte; 99°00′58″ y 99°07′08″ de longitud Oeste (Gaceta oficial del Distrito Federal, 2006). Las estaciones de muestreo (Figura 2) fueron las siguientes:

- Canal el Bordo, receptor de aguas residuales de la Ciudad de México, en el se realizan los muestreos de la especie de acocil *C. montezumae*, es un canal altamente contaminado y con abundante lirio acuático (Medina, 2004).
- Canal el Japón, se observo que este canal, sirve de división entre los ejidos de San Gregorio Atlapulco y Xochimilco del Área Natural Protegida. Generalmente se encuentra con abundante lirio acuático y en las orillas de la chinampa y se observa ganado pastando.
- Canal de Cuemanco, este canal recibe descargas residuales del pueblo de Xochimilco y aguas tratadas provenientes de la planta de tratamiento Cerro de la Estrella (Medina, 2004). Se encuentra fuera de la zona turística, alrededor del canal hay viviendas y paralelo a éste, se ubica la Pista Olímpica de Remo separada por un bordo y una alambrada (Reynoso, 1986).
- Canal Valle de las Muñecas, se observo que, este canal es parte del recorrido de las trajineras turísticas, en el se encuentra la famosa Isla de las Muñecas, caracterizada por las muñecas y cabezas de las mismas que fueron recogidas de los canales y se encuentran colgadas en los troncos y muros de la chinampa.
- Canal de Ampampilco, es uno de los principales atractivos turísticos, sus chinampas cuentan con canchas de futbol y juegos infantiles.

- Laguna de Tlilac, el Departamento del Distrito Federal se encarga de mantener esta laguna permanentemente limpia de vegetación acuática (González, 1991).



Figura 2. Vista satelital de los canales y cuerpos de agua de la zona lacustre de Xochimilco (Google Earth, 2009).

ASPECTOS GEOGRÁFICOS

Orografía

La ciudad de México se encuentra en la porción suroccidental de la Cuenca de México, que forma parte del Cinturón Volcánico Transmexicano (CVT) (Ezcurra, 1990; Aranda, 2004; Medina, 2004). La zona lacustre, tiene una pendiente de 0 a 5%, la zona montañosa está formada por los cerros de Xochitepec y Tlacualleli; y los volcanes Zompole y Teuhtli (Aranda, 2004; Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2006; INEGI, 2008).

Hidrografía

Además de la actividad volcánica, el drenaje fluvial y aluvial, la cuenca de México estuvo afectada por periodos glaciares, interglaciares y precipitación pluvial en los últimos 100,000 años. Estos fenómenos, formaron grandes lagos que frecuentemente se comunicaban entre sí (Medina, 2004): Xochimilco, Chalco, Xaltocan, Zumpango, Tenochtitlán y Texcoco (Aranda, 2004; Olivera 2004) (Figura 3). El lago de Xochimilco por ser el de mayor altitud y contar con manantiales de agua dulce era el mejor sitio para desarrollar la agricultura (Rojas, 1993).



Figura 3. Mapa de los lagos de la Cuenca del Valle de México, en la época prehispánica (Vázquez y Orozco, 1989).

La zona lacustre de Xochimilco forma parte de la región del Pánuco, dentro de la cuenca hidrológica del Río Moctezuma y la subcuenca Lago Texcoco - Zumpango (INEGI, 2008); funciona como regulador de flujos a nivel local y regional (Aranda, 2004). Las corrientes de agua que actualmente permanecen son: Canal nacional, Canal de Chalco, Canal Cuemanco, Canal el Bordo, Canal San Juan, Canal Amecameca, Canal Apatlaco, Canal Santa Cruz, Canal de Buenaventura; y los cuerpos de agua: Presa San Lucas, Pista Olímpica Virgilio Uribe (Cuemanco), Lago Huetzalin, Laguna Caltongo, Laguna Xaltocan, Laguna de Tlilac y Laguna del Toro (INEGI, 2008). Se estima una longitud aproximada de 203 km de canales conectados entre sí (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2006).

Actualmente, los canales y lagunas son alimentados artificialmente con agua tratada de las plantas de tratamiento Cerro de la Estrella, San Luis Tlaxiátemalco y la de San Lorenzo Tezonco (Aranda, 2004; Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2006). Otra fuente de abastecimiento de agua, son los escurrimientos superficiales originados por los ríos Santiago o Parres, San Lucas y San Gregorio, que se forman en las estribaciones de la Sierra Ajusco - Cuautzin. Los ríos San Lucas y San Gregorio conducen escurrimientos y captan las aguas residuales y pluviales de los pueblos de Santiago Tepalcatlalpan, San Lucas Xochimanca, San Mateo Xalpa, San Miguel Topilejo y San Francisco Tlalnepantla. La profundidad varía considerablemente, en algunos sitios es de 60 cm, en algunas lagunas la profundidad va de los 3 a 6 m (Aranda, 2004).

Sedimentología

La secuencia estratigráfica de la cuenca de México consiste en rocas volcánicas (de entre 15, 20 y 30 millones de años de edad), depósitos aluviales, fluviales y lacustres del Terciario y del Cuaternario, que subyacen discordantemente en rocas calcáreas y calcáreo - arcillosas del Cretácico. La distribución de las unidades volcánicas es errática tanto vertical como horizontalmente (Chávez, 2000; Aranda, 2004; Medina, 2004; Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2006).

El 30% de la delegación se encuentra cubierta por unidades litológicas: lacustre (la) originadas en el Cenozoico periodo Cuaternario, el 29% está cubierto por basalto (b) del mismo origen, el resto son aluvial (al), brecha volcánica básica (bvb), toba básica - brecha volcánica básica (tb - bvb). Del Terciario Superior andesita(a) y toba básica (tb), todas estas son rocas ígneas extrusivas (INEGI, 2008).

Suelo

Los suelos son predominantemente lacustres y palustres, de composición geológica diversa, varían de acuerdo a la zona en que se encuentran. Presentan un alto contenido

de materia orgánica, son de colores oscuros, influenciados por la presencia de un manto freático cercano, son suelos profundos y discontinuos, debido a que se originaron como pequeños islotes rodeados de agua (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2006).

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (2006), los suelos de Xochimilco se clasifican en:

- Feozem háplico (Hh) y gleyico (Hg).
- Andosol mólico (Am).
- Histosol eútrico (Oe).
- Solonchak mólico (Zm).

En las proximidades de la zona chinampera, llamada zona de transición, los suelos son de tipo aluvial, a lo largo de una franja que corre de Este a Oeste sobre el límite Sur del sistema. Se componen de grava y arenas gruesas intercaladas con arcillas y pequeñas coladas de basalto (derrames líquidos producidos por erupciones volcánicas). En la zona lacustre predominan sedimentos arcillosos con arenas de grano fino, con alrededor del 50 % de cenizas volcánicas, con texturas que van de arenosas hasta limo - arcillosas, y retienen una alta cantidad de humedad (Aranda, 2004).

Los suelos de chinampa se consideran como antroposoles (AT), de acuerdo con la Base Mundial del Recurso Suelo (WRB) (1998), porque resulta evidente y determinante la intervención del hombre en su formación y desarrollo. Tienen horizonte terrico (tr) desarrollado a partir de la adición de abonos terrosos, composta o barro por un periodo prolongado (Medina, 2004; Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2006).

Clima

El clima de Xochimilco es C (w1) templado subhúmedo con lluvias en verano de humedad media (García, 1986 citado en INEGI, 2008). La precipitación promedio es de 620 mm, con la precipitación promedio más baja de 394.2 mm y la más alta de 1250.3

mm (INEGI, 2008). La zona lacustre es una planicie con una altitud alrededor de los 2500 msnm (Rojas, 1993). La temperatura media anual varía entre 12° y 18°C (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2006) (Figura 4).

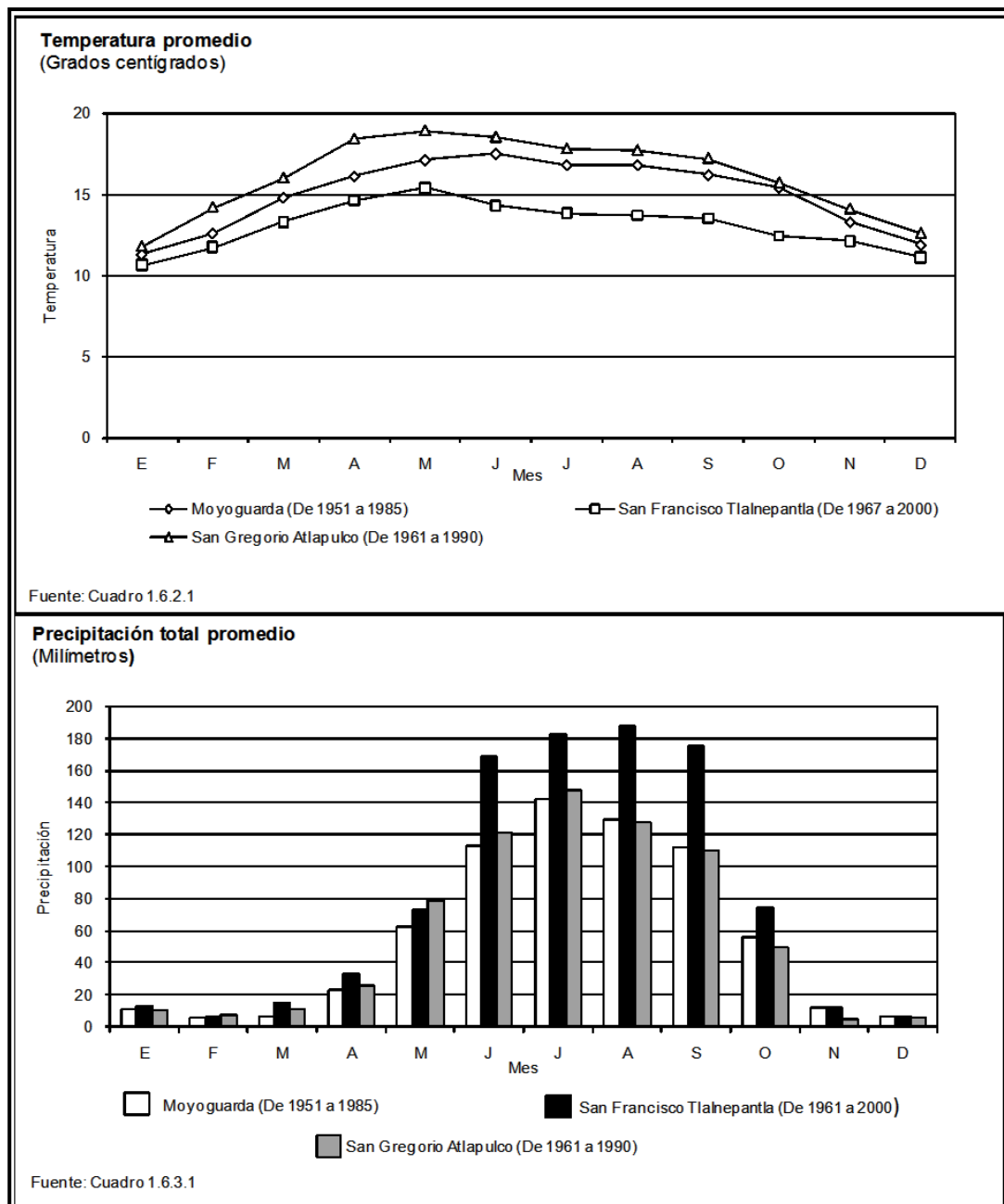


Figura 4. Gráficas de temperatura y precipitación de Xochimilco (INEGI, 2008).

VEGETACIÓN

Xochimilco forma parte de la Provincia Florística de las Serranías Meridionales, incluye las elevaciones más altas de México. Se encuentra formada por tres tipos de vegetación natural: vegetación halófila, vegetación acuática y subacuática (pantano), y vegetación terrestre o riparia (Secretaría del Medio Ambiente, 2004).

Flora

Se han registrado 180 especies distribuidas en 135 géneros y 63 familias, Asteráceas es la mejor representada, con 23 especies. Acorde con la NOM – 059 – SEMARNAT - 2001, cuatro especies se encuentran en alguna categoría de riesgo: amenazadas: ninfa (*Nymphaea mexicana*) y colorín (*Eritrina coralloides*); sujetas a protección especial cedro blanco (*Cupressus lusitanica*), y acezintle (*Acer negundo* var. *mexicanum*) esta última endémica. Hay registro de una comunidad ficológica importante, con 115 especies de algas distribuidas en 63 géneros, las clorofitas presentan el mayor número de géneros, especies y variedades para el área (Secretaría del Medio Ambiente, 2004).

Halófila

Se trata de pastizales bajos y densos, se distribuyen en terrenos propensos a inundaciones someras, suelos salinos, alcalinos y mal drenados. Las especies representativas son: zacate salado (*Distichlis spicata*), zacahuixtle (*Eragrostis obtusiflora*), pasto remolino (*Sporobolus pyramidatus*), tapete o colchoncillo (*Pennisetum clandestinum*), cenicienta (*Sesuvium portulacastrum*) y saladillo (*Suaeda mexicana*) (Secretaría del Medio Ambiente, 2004).

Acuática y subacuática

Se encuentra en las superficies y dentro de los cuerpos de agua permanentes, aquí se encuentran los tulares (*Typha latifolia* y *Schoenoplectus tabernaemontani*), que miden de 2 a 3m de alto y crecen a la orilla del cuerpo de agua, frecuentemente mezcladas con *Schoenoplectus californicus*. En los bordes de los canales y zanjas podemos encontrar especies de *Polygonum*, *Cyperus*, *Hydrocotyle*, *Eleocharis*, *Bidens*, así como de *Berula*, *Ludwigia*, principalmente.

La vegetación flotante está integrada por lentejilla (*Lemna minúscula*), chilacastle (*Wolffia columbiana*), lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) que es el más prolifero y abundante, además se ve beneficiado por la contaminación del agua y con menos frecuencia helecho de agua (*Azolla*). Y dependiendo de la época del año berro (*Berula erecta*), atlanchán (*Cuphea angustifolia*), hierba del cáncer (*Lythrum vulneraria*), carrizo (*Phragmites australis*), lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), altamisa (*Bidens laevis*), chichicastle (*Lemna gibba*), tepalacate (*Hydromystria laevigata*), paragüitas (*Hydrocotyle ranunculoides*) y ninfa (*Nymphaea mexicana*) (Secretaría del Medio Ambiente, 2004).

Terrestre

En la orilla de los canales se encuentran diferentes especies de árboles, ahuejote (*Salix bonplandiana*), ahuehuete (*Taxodium mucronatum*), acompañados por especies introducidas: sauce (*Salix babylonica*), trueno (*Ligustrum lucidum*), araucaria (*Araucaria heterophylla*), jacaranda (*Jacaranda mimosaeifolia*), casuarina (*Cassuarina equisetifolia*), eucalipto (*Eucaliptus spp.*), fresno (*Fraxinus uhdei*). Y especies ornamentales (Secretaría del Medio Ambiente, 2004).

FAUNA

Existen 139 especies de vertebrados registrados: 21 de peces, 6 de anfibios, 10 de reptiles, 79 de aves y 23 de mamíferos, de los cuales 9 se encuentran enlistadas dentro de alguna categoría en la NOM – 059 – SEMARNAT - 2001 (Secretaría del Medio Ambiente, 2004; Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2006).

Acuática

Sujetas a protección especial y endémicas: ajolote (*Ambystoma mexicanum*) y rana de Moctezuma (*Rana montezumae*), en peligro de extinción rana de Tláloc (*Rana tlaloci*). La mayor parte del año se encuentra una gran cantidad de invertebrados, entre las que destacan dos especies: *Cambarellus montezumae* y *Hyallela azteca*, ya que constituyen una fuente de alimento importante para algunos reptiles, aves y mamíferos del lugar (Secretaría del Medio Ambiente, 2004).

Los peces de la región son: el charal (*Chirostoma jordani*), mojarra (*Cichlasoma*), carpa (*Cyprinus carpio*), carpa dorada (*Carassius auratus*), mexcalpique (*Girardinichthys viviparus*), guppy (*Poecilia reticulata*) y repotete (*Heterandria bimaculata*) (Ávila, 2000).

Terrestre

Amenazada: cincuate (*Pituophis deppei*) amenazada y endémica; culebra rayada (*Tamnophis scaliger*), sujetas a protección especial: cascabel cola negra (*Crotalus molossus*), cascabel (*Crotalus polystictus*), garza morena (*Ardea herodias*), gavilán pecho rojo (*Accipiter striatus*), rascón limícola (*Rallus limicola*). Reptiles: lagartija endémica (*Phrynosoma orbiculare*). Mamíferos: musaraña (*Criptomys parva*), ratón meteorito (*Microtus mexicanus*), tuza (*Cratogeomys merriami*), murciélago (*Mormoops megalophyla*), tlacuache (*Didelphis virginiana*) y cacomixtle (*Bassariscus astutus*) (Secretaría del Medio Ambiente, 2004).

Aves

El área es un refugio para especies locales y migratorias, entre las que destacan: pato mexicano (*Anas diazi*), garcita blanca (*Egretta thula*), Martín pescador (*Ceryle alcyon*), aguililla cola roja (*Buteo jamaicensis*) y halcón (*Falco sparverius*). Para otras especies es sitio de alimentación y descanso: garza morena (*Ardea herodias*), playero alzacolita (*Actitis macularia*), zambullidor orejudo (*Podiceps nigricollis*), cerceta ala azul (*Anas discors*) especie migratoria que se reproduce en el área y jacana nortea (*Jacana spinosa*) (Secretaría del Medio Ambiente, 2004).

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño del muestreo

La caracterización físico - química del hábitat del acocil (*C. montezumae*) en Xochimilco, tomó en cuenta aspectos de variación espacio - temporal de la dinámica hidrológica en los canales a través de un ciclo anual. Los componentes espaciales considerados fueron seis localidades, tres externas: Bordo, Japón y Cuemanco; y tres internas: Valle de las Muñecas, Ampampilco y laguna de Tlilac. Así como los estratos superficie y fondo de la columna de agua. El componente temporal involucró cinco muestreos bimestrales iniciando en noviembre del 2007 hasta el mes de septiembre 2008, con excepción del mes de enero 2008.

El análisis de los parámetros físico - químicos se realizó en dos etapas, la primera en el campo y la segunda etapa en el laboratorio.

Trabajo de campo

En cada estación de muestreo se anotó la fecha, hora y coordenadas geográficas tomadas con un GPS GARMIN modelo III plus; se midió el oxígeno disuelto (± 0.05 mg O₂/L) con un oxímetro YSI modelo 51B; la temperatura (± 0.05 °C) y el pH con un potenciómetro HI 98129; el potencial redox (mV) y la conductividad (μ S) se midieron con un multianalizador Cole Parmer; la transparencia fue medida con un Disco de Secchi y la profundidad con un medidor laser (± 0.05 m) Speedtech VA22066 de 400khz, ambos fueron expresados en cm.

Se tomaron muestras de agua de cada estrato y canal en botellas limpias de plástico de un litro con tapa. Para tomar la muestra de fondo se utilizó una botella tipo Van Dorn Wildco de 2 L de capacidad, ésta se sumergió casi hasta alcanzar el suelo, dejando cerca de 5cm horizontalmente para evitar tomar sedimento del cuerpo de agua. Cada botella se etiquetó inmediatamente con el nombre de la localidad, fecha y estrato; posteriormente fueron llevadas al laboratorio en hieleras para su análisis.

Trabajo de laboratorio

En el laboratorio de Acuicultura de la Facultad de Ciencias UNAM, se midió la alcalinidad de cada una de las muestras por el método de titulación con fenolftaleína (APHA, 1992), en matraces de 50 mL con 25 mL de muestra. Los resultados se expresaron en mg de CaCO_3/L .

Se midió el amonio mediante dos procedimientos. En el mes de noviembre 2007 utilizando el kit para agua Tetra test que tiene una sensibilidad de ± 0.5 mg/L. Las mediciones correspondientes al año 2008 se realizaron con el método de nesslerización directa de bajo rango utilizando el kit visual CHEMets, con sensibilidad de ± 0.05 ppm. Los resultados se expresaron en mg/L.

Las muestras se guardaron en congelación para el resto de los análisis y hasta el término de los mismos.

Posteriormente se descongelaron, se filtraron 200 mL de cada una de las muestras en papel filtro Whatman de tamaño de poro medio, el cual tiene un rango de retención de partículas que va de $2.5 \mu\text{m}$ a $16 \mu\text{m}$ con un promedio de $9.25 \mu\text{m}$, previo al filtrado se secó y pesó el papel filtro; después del filtrado se secó y pesó nuevamente para obtener los sólidos suspendidos. Para medir los sólidos disueltos, se secaron 40 mL del filtrado en un crisol. Para obtener los sólidos totales, se sumaron los sólidos disueltos y los sólidos suspendidos. El método usado fue el de sólidos totales secados a $103 - 105^\circ\text{C}$ (APHA, 1992) y los resultados se expresaron en mg/L.

Los siguientes análisis se realizaron con la porción de muestra filtrada.

Se utilizaron 25 mL de muestra y 25 mL de agua destilada para medir la dureza total (mg/L) y dureza de calcio (mg de Ca/L) mediante el Método Titulométrico de EDTA, (APHA, 1992). Para obtener la dureza de magnesio (mg de Mg/L) con el método de cálculo, se restó la dureza de calcio a la dureza total y el resultado se multiplicó por 0.243 (APHA, 1992).

El análisis de nutrientes se realizó empleando un equipo HACH DR/870, que tiene precisión de ± 0.005 mg/L, con 1 mL de muestra y 9 mL de agua destilada. Los nitratos (mg/L de NO_3) se midieron con el método de reducción de cadmio utilizando el reactivo Nitra - Ver5 de alto rango (de 0 a 30.0 mg/L). Los nitritos (mg/L de NO_2) fueron medidos mediante el método de diazotización utilizando el reactivo Nitra - Ver3 de bajo rango (de 0 a 0.350 mg/L). Para medir los fosfatos se registro el fósforo reactivo u ortofosfatos (mg/L de PO_4), mediante el método del ácido ascórbico utilizando el reactivo Phospho - Ver3 (de 0 a 2.5 mg/L).

Análisis estadístico

Todos los resultados obtenidos se trasladaron a una base de datos. Se empleó el Analytical Software SPSS 8.0 para realizar la estadística descriptiva para todas las variables. Se efectuó un análisis exploratorio de datos, para el cual se elaboraron diagramas de caja en paralelo para todos los factores medidos (Mongomery, 1991), con la finalidad de detectar las principales tendencias de los factores de contraste: meses, localidades y estratos.

A continuación se procedió a realizar un análisis de varianza (ANOVA) de dos vías, para conocer la significancia de las variables, donde se consideraron las localidades muestreadas como réplicas y se contrastaron los factores: estratos y meses.

Posteriormente, se realizó el análisis confirmatorio, por medio de un diseño factorial completo (Mongomery, 1991), considerando como factores fijos los meses y estratos y como aleatorio las localidades de muestreo agrupadas en: localidades externas y localidades internas, para conocer si existían diferencias significativas entre ellos. Los promedios y desviación estándar de todos los parámetros se presentan en el Anexo A.

Por último, se realizó una prueba de contraste múltiple de medias con la prueba de Tukey (Mongomery, 1991), agrupándose los parámetros de acuerdo a las diferencias entre meses. Se consideró a los meses de noviembre 2007 y marzo 2008 como

temporada seca - fría; a los meses de mayo, julio y septiembre 2008 como temporada de lluvias; los meses de mayo y julio 2008 como cálidos y septiembre 2008 como transicional. En los resultados se reporta la media de los parámetros medidos del análisis confirmatorio.

Los valores obtenidos de cada bimestre de los parámetros: temperatura, sólidos suspendidos, nitritos, nitratos, amonio y fosfatos, se consideraron como réplicas y se promediaron; estos fueron comparados con los valores de los límites máximos permisibles por la NOM – 001 – ECOL - 1996. Esta comparación se presenta en el Anexo C. Para obtener el nitrógeno total se sumaron los promedios de nitritos, nitratos y amoniaco.

Toxicidad del amoniaco

Para obtener el porcentaje de toxicidad de la concentración de amonio obtenida, se multiplicó el promedio, resultados de la estadística descriptiva, por el factor de la tabla de Francis *et al.* (1990). Este valor se encontró de acuerdo al pH y a la temperatura registrada, correspondientes a cada concentración de amoniaco. Sí, el pH o la temperatura se encontraban en un punto intermedio se tomó el promedio de los valores cercanos a este valor.

RESULTADOS

Todos los resultados de la estadística descriptiva y las conclusiones de la prueba de Tukey se presentan en los Anexos A y B respectivamente.

Temperatura y potencial redox

En el parámetro temperatura se encontró estacionalidad en el análisis de factores múltiples con las localidades agrupadas como internas y externas, con diferencia significativa entre meses ($P = 0.001$). No se encontraron diferencias significativas entre estratos, localidades ni en sus interacciones. La estacionalidad encontrada mediante la prueba de Tukey fue que noviembre 2007 y marzo 2008 son los meses más fríos, mayo y julio del 2008 los meses cálidos y septiembre del 2008 es un mes transicional. El menor promedio de temperatura registrado fue en el mes de noviembre 2007 (18.0 ± 0.3 °C) y el más alto en el mes de mayo 2008 (22.5 ± 0.3 °C) (Figura 5a).

En el análisis preliminar, para temperatura, donde las localidades fueron consideradas como réplicas (prueba de ANOVA) se encontraron diferencias significativas entre el estrato superficie y fondo ($P = 0.004$), con una diferencia entre las medias de los estratos de 0.9 ± 0.2 °C, con el menor promedio en el estrato fondo (Figura 5a).

El potencial redox presentó estacionalidad parecida al factor temperatura con diferencia significativa entre meses ($P = 0.002$). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre localidades ni estratos. Los meses de marzo, mayo y julio 2008 presentaron mayor variabilidad (Figura 5b). Los valores más altos se encontraron en el mes de julio 2008 (797.4 ± 82.3 mV), en el mes de noviembre 2007 se presentaron los niveles mínimos de potencial redox (52 ± 82.3 mV).

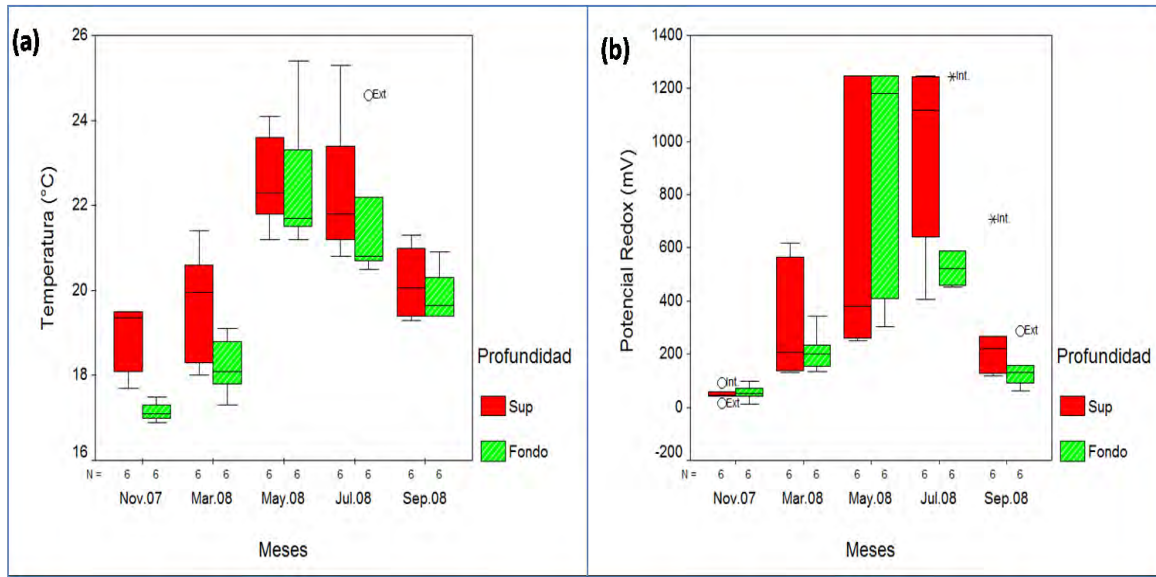


Figura 5. Variación de (a) temperatura y (b) potencial redox en relación a los meses y a los estratos (superficie y fondo).

Transparencia y conductividad

La transparencia así como la conductividad presentaron diferencias significativas entre meses ($P = 0.023$ y $P = 0.004$ respectivamente), pero no entre estratos. La transparencia presentó efecto significativo entre localidades a nivel marginal. Para la transparencia, se observó la siguiente agrupación de meses: noviembre 2007 distinto de marzo 2008, mayo y julio 2008 similares y distintos de septiembre 2008. En el caso de la conductividad, marzo, mayo y julio 2008 son similares, noviembre 2007 y septiembre 2008 distintos entre sí y de los demás.

La mayor transparencia se presentó en el mes de septiembre 2008 (41.5 ± 1.9 cm), la menor en el mes de marzo 2008 (21.8 ± 1.9 cm), que corresponde a la época seca (Figura 6a). Para conductividad, los valores más bajos se obtuvieron en el mes de noviembre 2007 ($219.1 \pm 44.4 \mu\text{S}$), correspondiente a la época fría seca y los más altos

en el mes de julio 2008 ($854.6 \pm 44.4 \mu\text{S}$), correspondiente a la época cálida lluviosa (Figura 6b).

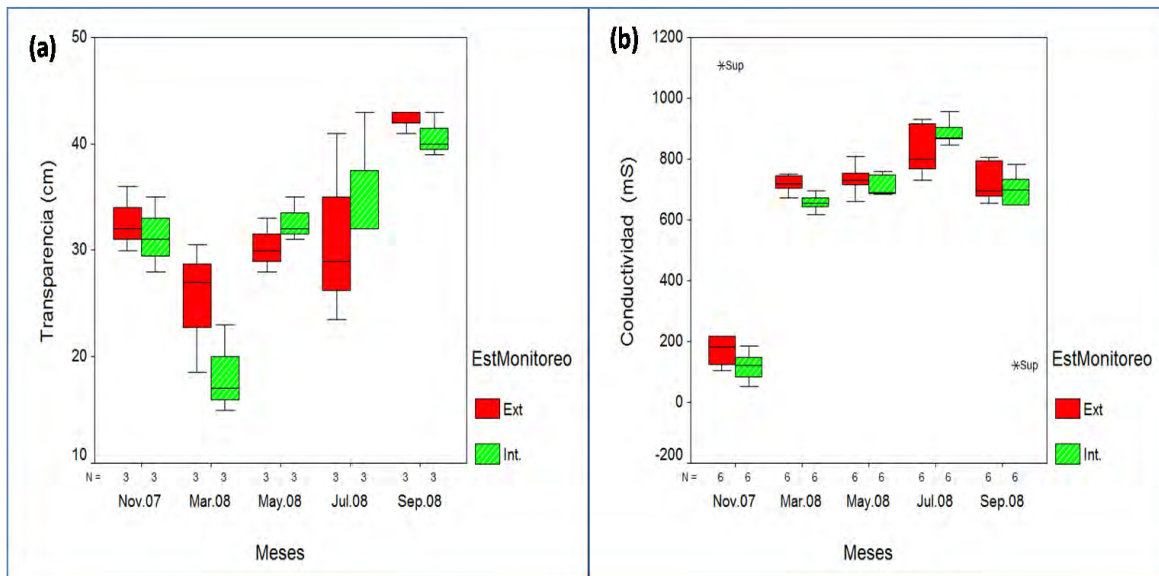


Figura 6. Variación de (a) transparencia y (b) conductividad en relación a los meses y a las localidades agrupadas (internas y externas).

Alcalinidad y dureza de calcio

En la alcalinidad se encontraron diferencias significativas entre meses ($P = 0.007$) con la siguiente estacionalidad: noviembre 2007 distinto de marzo y mayo 2008 que son similares pero distintos de julio 2008 y distinto de septiembre 2008. El mes de mayor alcalinidad fue julio del 2008 ($963.3 \pm 64.9 \text{ CaCO}_3 \text{ mg/L}$) y el de menor alcalinidad registrado fue mayo 2008 ($258.3 \pm 64.9 \text{ CaCO}_3 \text{ mg/L}$) (Figura 7a). Entre estratos también se encontró diferencia significativa ($P = 0.018$), siendo el fondo ($497 \pm 41 \text{ CaCO}_3 \text{ mg/L}$) el que presenta mayor alcalinidad respecto a la superficie ($438 \pm 41 \text{ CaCO}_3 \text{ mg/L}$) (Figura 7a). Se encontró diferencia marginal en la interacción meses por localidades ($P = 0.084$).

Para la dureza de calcio, no hubo diferencia significativa entre meses, localidades ni estratos pero sí en las interacciones estratos por localidades ($P = 0.035$) y meses por

localidades ($P = 0.026$). El mes que presentó los valores más altos fue noviembre 2007 (379.7 ± 12.1 mg de Ca/L) y el de valores más bajos fue marzo 2008 (286.4 ± 12.1 mg de Ca/L) (Figura 7b).

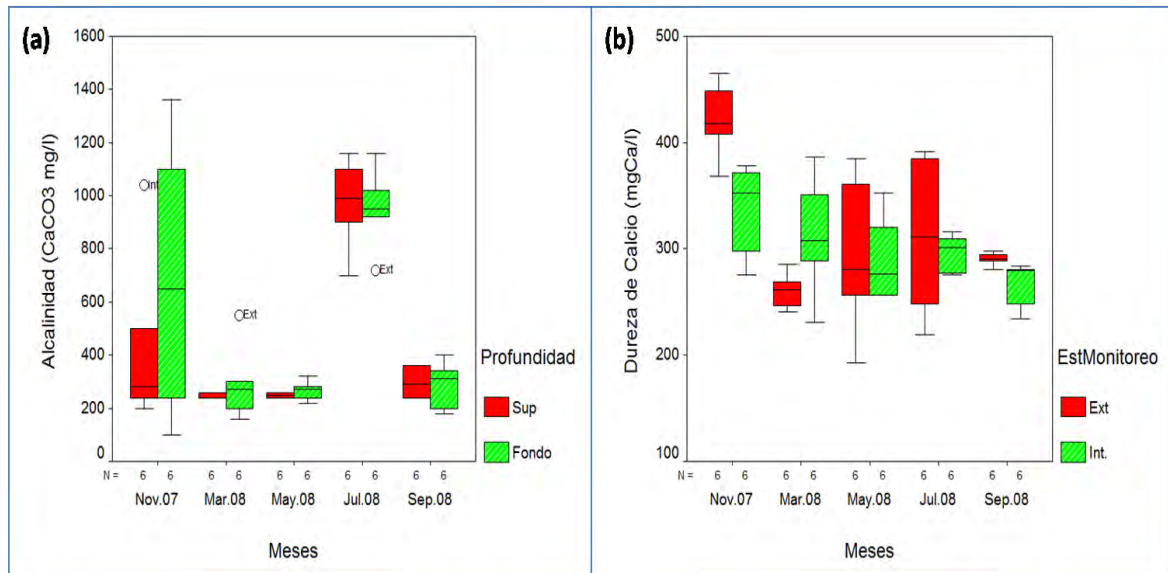


Figura 7. Variación de (a) alcalinidad en relación a los meses y a los estratos (superficie y fondo); y (b) dureza de calcio en relación a los meses y a las localidades agrupadas (internas y externas).

Dureza total y dureza de magnesio.

La dureza total y de magnesio mostraron diferencias significativas entre meses ($P = 0.002$ y $P = 0.007$ respectivamente), donde el mes de septiembre 2008 fue distinto de todos los demás con los valores más bajos y el resto similar entre sí. Sin embargo, no se encontró diferencia entre estratos ni entre localidades. La estacionalidad que se presentó para la dureza de magnesio es similar en noviembre 2007, marzo y mayo 2008; mientras que julio y septiembre fueron distintos entre ellos y de los demás. Para la dureza total, julio 2008 fue igual a los meses anteriores.

En la dureza total el mes de mayo 2008 presentó el promedio más alto (890.3 ± 47.7 mg/L) y el promedio más bajo se obtuvo en el mes de septiembre 2008 (453.3 ± 47.7 mg/L) (Figura 8a). En la dureza de magnesio fue también el mes de mayo 2008 (145.1 ± 11.1 mg de Mg/L) el que presentó el mayor promedio y septiembre 2008 el más bajo (42.3 ± 11.1 mg de Mg/L) (Figura 8b).

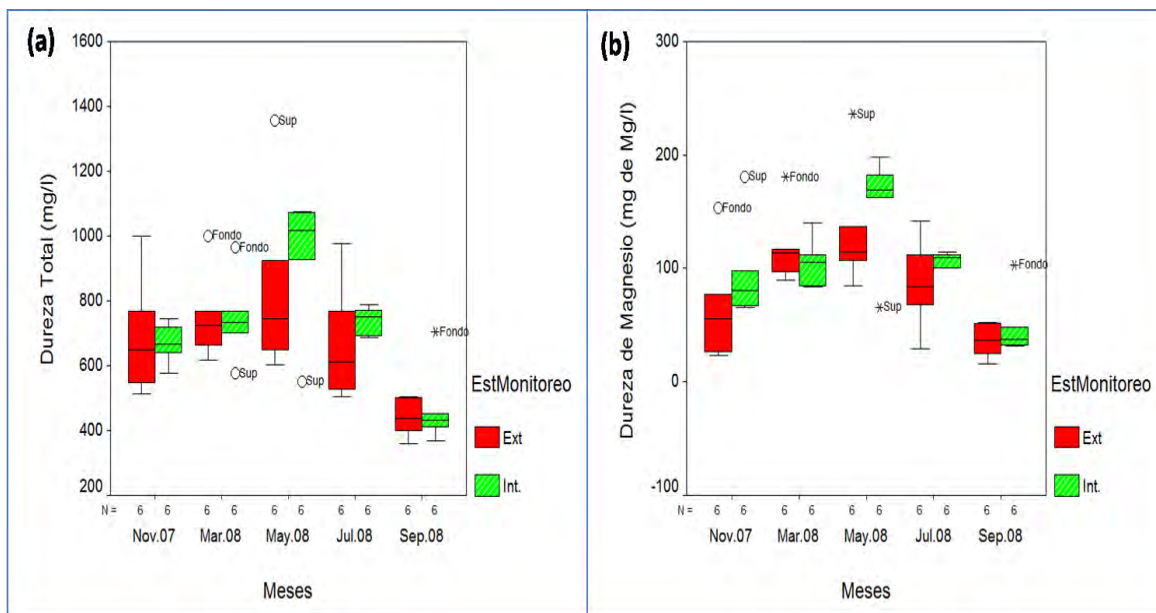


Figura 8. Variación de (a) dureza total y (b) dureza de magnesio en relación a los meses y a las localidades (internas y externas).

Sólidos totales, disueltos y suspendidos

Los sólidos suspendidos no presentaron diferencias entre meses, estratos, localidades, ni tampoco entre sus interacciones. Los sólidos totales presentaron una diferencia marginal entre estratos ($P = 0.074$), el promedio del estrato fondo fue 895.9 mg/L ± 74.6 mg/L y el del estrato superficie 779.8 mg/L ± 74.6 mg/L (Figura 9a).

Los sólidos disueltos presentaron la misma estacionalidad que la dureza total y de calcio ($P = 0.042$), con el mes de septiembre 2008 distinto de los demás. El valor

promedio mínimo fue de 69.7 ± 45.9 mg/L en el mes de julio 2008 y el valor más alto promedio obtenido fue de 311.0 ± 45.9 mg/L en el mes de marzo 2008. No hubo diferencias entre localidades pero si entre estratos ($P = 0.027$, $N = 12$), denotando que en el estrato fondo (229.2 ± 29 mg/L) hay mayor cantidad de sólidos disueltos en comparación con el estrato superficie (162.5 ± 29 mg/L) (Figura 9b).

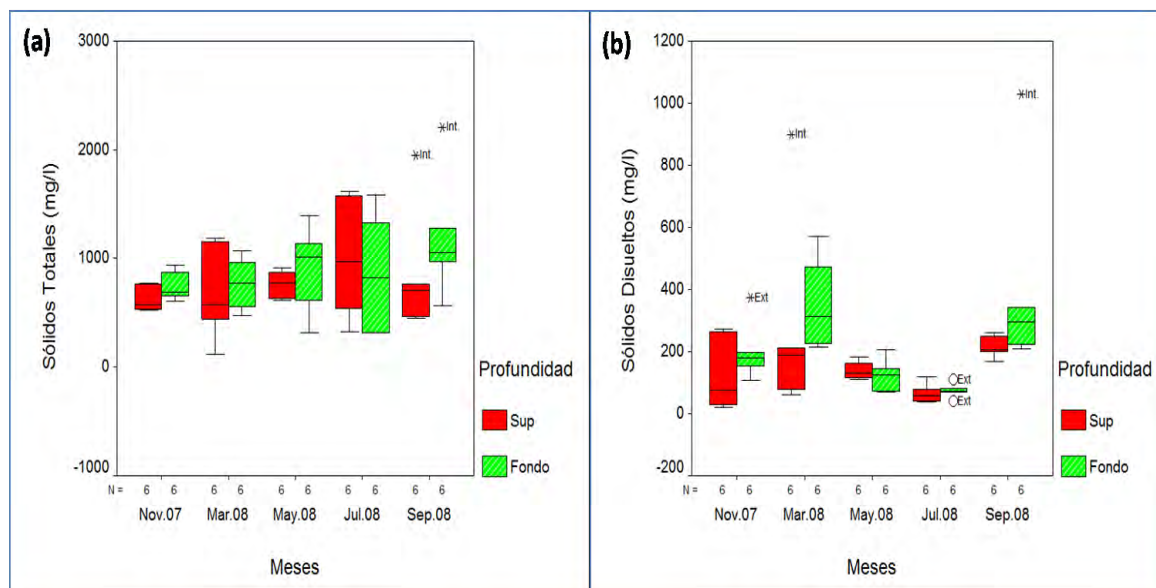


Figura 9. Variación de (a) sólidos totales y (b) sólidos disueltos en relación a los meses y a los estratos (superficie y fondo).

Profundidad

La profundidad presentó diferencia marginal entre localidades internas y externas ($P = 0.05$). El promedio de localidades internas fue de 128.3 ± 9.7 cm y de localidades externas 128.2 ± 9.7 cm. No existieron diferencias entre meses, aunque se encontró diferencia marginal en la interacción meses por localidades ($P = 0.078$). El promedio mínimo de profundidad obtenido fue 123.3 ± 15.4 cm, en el mes de septiembre 2008 y el promedio máximo 135.1 ± 15.4 cm, en el mes de noviembre 2007 (Figura 10a).

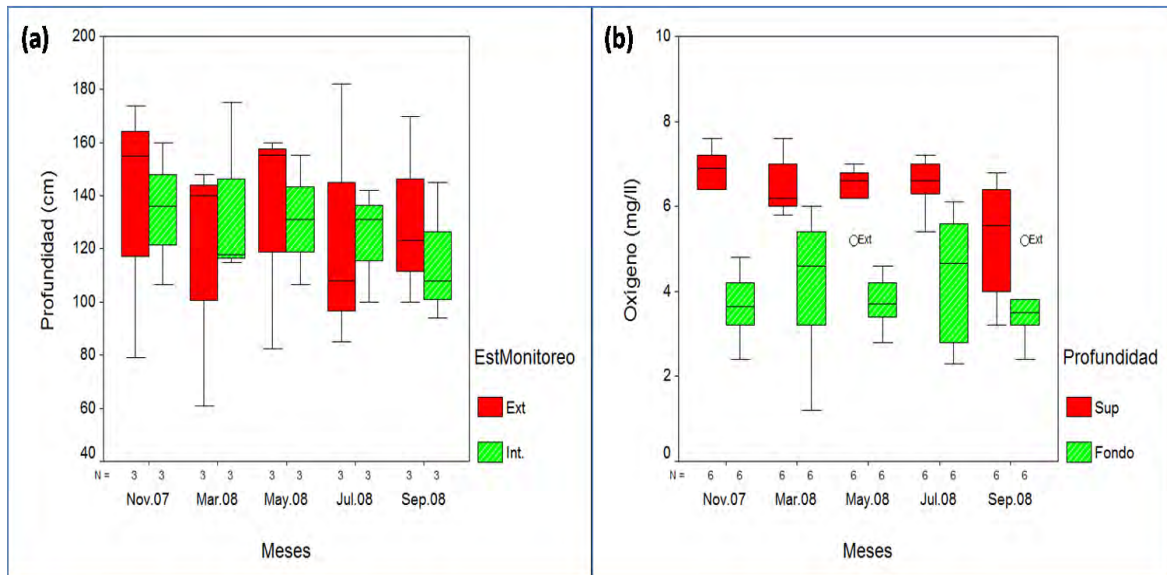


Figura 10. Variación de (a) profundidad en relación a los meses y a las localidades (internas y externas); y (b) oxígeno en relación a los meses y a los estratos (superficie y fondo).

Oxígeno

No se encontraron diferencias significativas entre meses ni localidades, pero si entre estratos ($P = 0.018$). En el estrato superficie (6.3 ± 0.2 mg/L) se encontraron valores más altos respecto al estrato fondo (3.9 ± 0.2 mg/L). También se encontraron diferencias significativas en las interacciones: meses por estratos ($P = 0.002$) y meses por localidades ($P = 0.003$).

El valor más bajo de oxígeno registrado fue de 1.2 mg/L en el mes de marzo 2008 en Valle de las Muñecas, en el estrato fondo. El valor más alto se obtuvo en el mes de noviembre 2007, en la localidad Japón en el estrato superficie. El mes de septiembre 2008 presentó la media más baja de 4.4 ± 0.3 mg/L, y la media más alta se obtuvo en el mes de julio 2008 que fue de 5.4 ± 0.3 mg/L (Figura 10b).

pH

El promedio en el estrato superficie fue de 8.9 ± 0.1 y en el fondo de 8.5 ± 0.1 (Figura 11a). La media de localidades externas fue 8.7 ± 0.3 y de localidades internas 8.6 ± 0.3 (Figura 11b).

Se registraron los siguientes promedios para cada mes, noviembre 2007: 8.5 ± 0.4 , marzo 2008: 8.5 ± 0.4 , mayo 2008: 9.4 ± 0.4 , julio 2008: 8.4 ± 0.4 y septiembre 2008: 8.6 ± 0.4 .

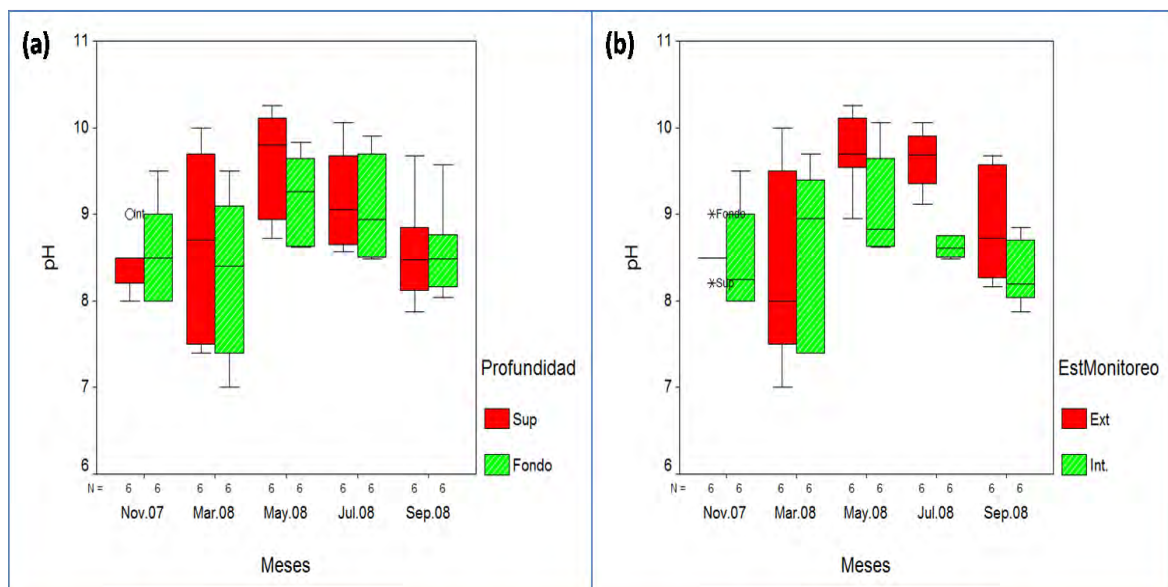


Figura 11. Gráficas de pH con relación a los meses y a los (a) estratos (superior y fondo), y a las (b) localidades agrupadas (internas y externas).

Fosfatos y nitritos

Para los fosfatos, se encontró diferencia significativa entre meses ($P = 0.011$), pero no entre estratos, localidades ni entre las interacciones de los mismos. La estacionalidad es muy similar a la de la temperatura: noviembre 2007 y marzo 2008 similares, mayo, julio y septiembre 2008 distintos entre ellos y de noviembre y marzo. El valor más alto registrado fue 27.5 mg/L, que se encontró en más de una ocasión, principalmente en el

mes de noviembre 2007. El valor más bajo fue 2.4 mg/L, en la estación Bordo superficie en el mes de julio 2008.

En fosfatos, el mes que presenta valores más altos es septiembre 2008 (20.9 ± 1.7 mg/L) y el de valores más bajos es julio 2008 (7.9 ± 1.7 mg/L). El promedio del estrato fondo fue 13.3 ± 1.1 mg/L y del estrato superficie fue 16.1 ± 1.1 mg/L. El promedio de localidades externas fue 13.1 ± 1.1 mg/L e internas fue 16.3 ± 1.1 mg/L (Figura 12a).

Los nitritos no presentaron diferencia significativa entre meses, localidades ni estratos, pero si en la interacción meses por estratos ($P = 0.035$) y diferencia marginal en la interacción meses por localidades ($P = 0.056$). El promedio del estrato superficie fue 0.46 ± 0.06 mg/L y del estrato fondo 0.45 ± 0.06 mg/L. El promedio de las localidades externas fue 0.45 ± 0.06 mg/L e internas de 0.46 ± 0.06 mg/L. El mes que presentó la mayor concentración de nitritos es marzo 2008 (0.68 ± 0.09 mg/L) y el mes con los valores más bajos fue septiembre 2008 (0.36 ± 0.09 mg/L) (Figura 12b).

El valor más bajo de nitritos registrado fue 0.11 mg/L en el estrato superficie de la localidad Tlilac en el mes de noviembre 2007. El valor más elevado registrado fue 1.5 mg/L en el mes de marzo 2008 estrato superficie de la localidad Cuemanco.

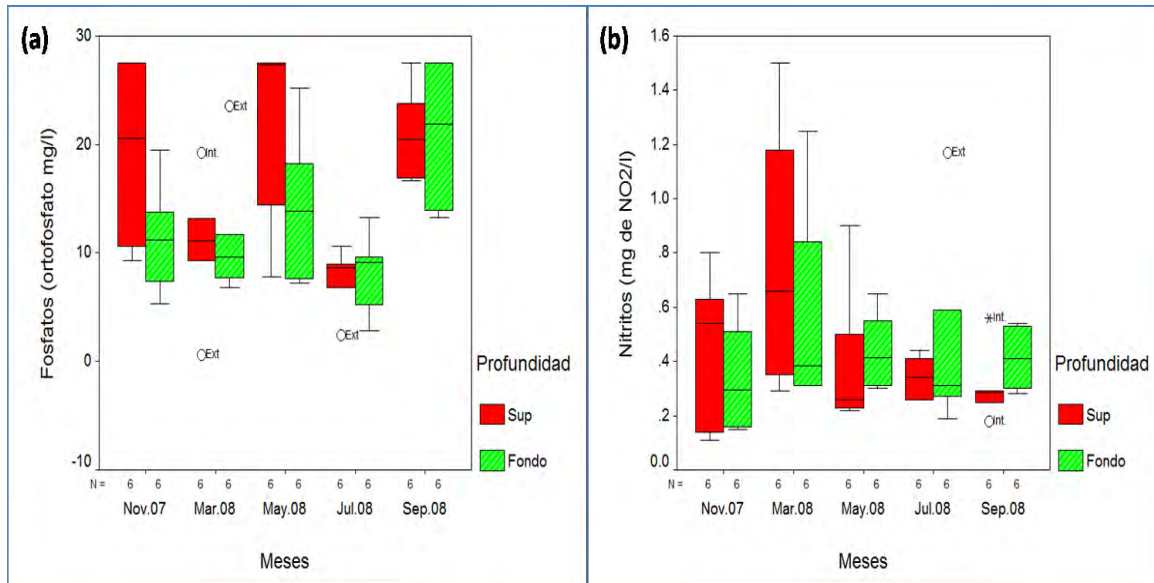


Figura 12. Variación de (a) fosfatos y (b) nitritos en relación a los meses y a los estratos (superficie y fondo).

Amonio y nitratos

El amonio no presentó diferencias significativas entre localidades ni estratos, pero si entre meses ($P = 0.001$), fue noviembre del 2007 el mes que más se diferenció del resto, con los valores más altos y sin variación (1.0 ± 0.0 mg/L). Se encontraron diferencias significativas en la interacción meses por localidades ($P = 0.015$), las localidades internas presentan valores promedio mayores que las localidades externas en los meses de julio y septiembre 2008 (Figura 13a).

Los nitratos presentaron diferencia significativa entre meses ($P = 0.002$) pero no entre estratos ni localidades. Se encontró la siguiente estacionalidad: noviembre 2007 distinto de marzo y de mayo 2008 que son similares entre ellos; y julio y septiembre 2008 similares entre ellos pero distintos de los demás. A pesar de que no hubo diferencia significativa entre estratos, si existe para la interacción meses por estratos ($P = 0.035$). Se obtuvo un promedio para el estrato superficie de 67.7 ± 4.9 mg/L y para el estrato fondo

de 75.8 ± 4.9 mg/L. El mes con el promedio más alto fue marzo 2008 (110.2 ± 7.9 mg/L) y el de menor promedio fue julio 2008 (46.7 ± 7.9 mg/L) (Figura 13b).

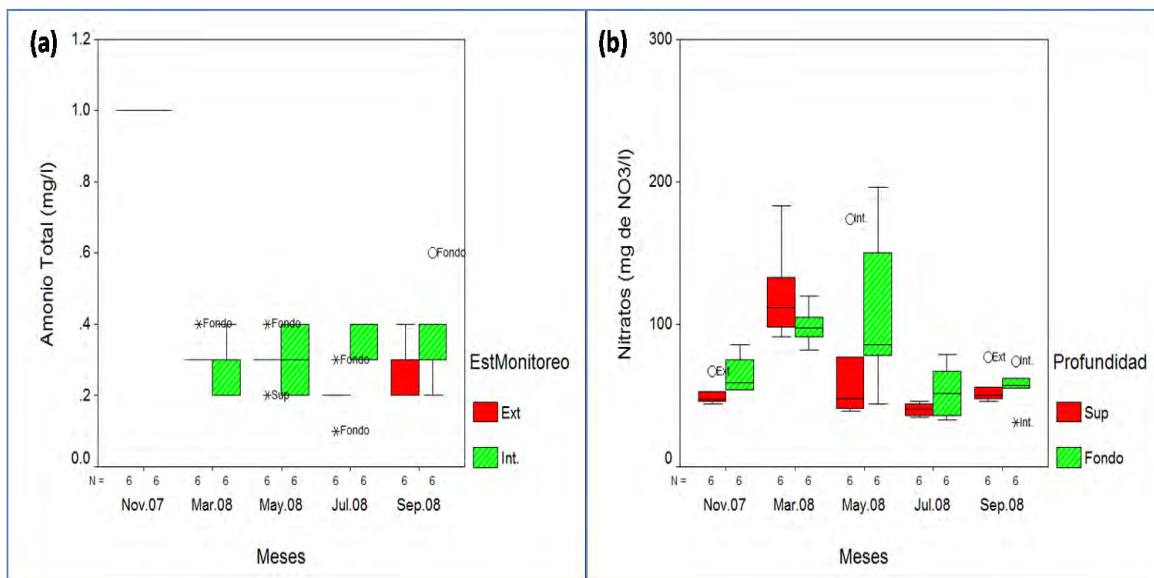


Figura 13. Variación de (a) amonio en relación a los meses y a las localidades agrupadas (internas y externas); y (b) nitratos en relación a los meses y a los estratos (superficie y fondo).

DISCUSIÓN

Temperatura

La temperatura es un factor muy importante debido a que afecta otros parámetros físicos, químicos y biológicos del cuerpo de agua. Aunque, ningún valor obtenido en este estudio rebasa el valor máximo permisible por la NOM - 001 – ECOL - 1996. De acuerdo con Luna (2006), las condiciones de la zona lacustre de Xochimilco son adecuadas para que la temperatura se mantenga constante y propicia para el desarrollo de microorganismos, algunos patógenos para el humano.

El incremento de temperatura podría ser debido a que la temperatura de aguas residuales es más alta que la temperatura de aguas naturales debido a su manipulación y utilización (Luna, 2006).

La diferencia entre estratos fue marginal cuando las localidades se agruparon en internas y externas, posiblemente se debió a que el tamaño de muestra fue pequeño ($n = 3$). En el análisis preliminar, el menor promedio de temperatura se obtuvo en el estrato fondo, resultado similar al que reportó Olvera (2004), probablemente por la cantidad de luz que incide en el cuerpo de agua (Martínez, 1998).

Los resultados obtenidos en este estudio, junto con los reportados por Pedraza (1995), Olvera (2004) y Aguilar (2007) y comparados con gráfica de temperatura de INEGI (2008), indican que la zona lacustre de Xochimilco tiene estacionalidad definida. La estacionalidad en la temperatura afecta las respuestas hormonales y ciclos de algunos organismos (Laws, 1981), además del metabolismo, reproducción y supervivencia de los mismos (Gilbert, 1991; Martínez, 1998). Los organismos se pueden clasificar de acuerdo a su tolerancia a la temperatura en euritermos y estenotermos. Los primeros tienen un amplio intervalo de tolerancia a la temperatura, mientras que los segundos presentan un intervalo más estrecho (Martínez, 1998), por lo que estos últimos no siempre son capaces

de resistir el incremento o alteración constante de la temperatura en el ambiente, por ejemplo al que pudieran ser sometidos en los canales de Xochimilco.

Potencial redox

El potencial redox se puede entender como una medida del medio a donar o recibir electrones (Wetzel, 2001). Un valor de potencial redox alto y positivo indica un ambiente que favorece las reacciones de oxidación, mientras que un valor bajo y negativo indica un ambiente fuertemente reducido (Atlas y Bartha, 2002).

Frecuentemente en ecosistemas muy contaminados, donde los microorganismos utilizan el oxígeno para procesos de descomposición, los potenciales redox negativos pueden deberse a un crecimiento extensivo de los mismos que agotan todo el oxígeno disponible (Atlas y Bartha, 2002). En nuestro estudio no se encontró en ninguna muestra valores negativos.

El potencial redox positivo y con valores moderadamente altos se ubican desde los 300 a los 500 mV (Wetzel, 2001). Si los valores de potencial redox disminuyen puede resultar en problemas de anoxia en el medio, lo cual es perjudicial para algunos organismos. Los promedios obtenidos en los meses de noviembre 2007, marzo y septiembre 2008 son menores de 261 ± 82.3 mV, esto significa que podría haber condiciones potencialmente anóxicas para los organismos, afectando su crecimiento, supervivencia y reproducción. Estos bajos niveles de potencial redox son generalmente observados en lagos y sistemas con relativamente altas concentraciones de compuestos húmicos disueltos (Wetzel, 2001), características que podemos notar en el área de estudio.

Se encontró un potencial redox con una estacionalidad parecida al factor temperatura. Los mínimos niveles se presentaron en el mes de noviembre 2007, coincidiendo con el mes más frío posterior a la temporada de lluvias. Probablemente el

potencial redox se vio afectado por el material suspendido y por los nutrientes disueltos que la lluvia arrastró hacia los canales, esta carga orgánica provoca condiciones anaeróbicas en el agua y el sedimento, modifica las tasas de intercambio y sus difusiones normales, incluso incrementa la producción de amonio, ácido sulfhídrico y metano que se difunden en la columna de agua (Martínez, 1998). Sin embargo, no es posible afirmar que el potencial redox sea resultado de los fenómenos ocurridos en los meses anteriores ya que no están en el rango de muestreo de este estudio.

En condiciones ideales existiría un equilibrio constante entre los sistemas de oxidación-reducción. Sin embargo, las variaciones en el potencial redox se ven afectadas por la fotosíntesis y metabolismo bacteriano que ocurren en la columna de agua, modificando constantemente el equilibrio (Wetzel, 2001). Por lo tanto, la alta variación del potencial redox en los meses de mayo y julio de 2008 podrían deberse a la presencia y actividad de organismos, donde el promedio es mayor de 777 ± 82.3 mV y las condiciones son positivas para los organismos.

La concentración de oxígeno disuelto en el medio interviene en el potencial redox, por lo que altos niveles de concentración de O_2 presentes en el sistema provocan un aumento de potencial redox (Ortiz y Ruvalcaba, 2005). En este estudio solo se midieron los niveles de oxígeno disuelto de manera puntual, por lo que no es posible concluir en relación a su posible variación en un ciclo nictemeral. Sin embargo, el potencial redox es un indicador constante de los cambios de oxígeno en el medio, que podrían marcar estacionalidad.

Transparencia

La luz solar es la fuente principal de energía del ecosistema acuático (Gilbert, 1991; Otterbine Barebo, 2003). La transparencia denota la profundidad hasta donde se recibe el 1% de luz incidente en la superficie y donde se realizan los procesos

fotosintéticos; esto es la denominada zona eufótica (Gilbert, 1991; Martínez, 1998). La mayor transparencia se encontró en el mes de septiembre, justo después del pico más alto de precipitación registrado por INEGI (2008). Esto es debido probablemente a que, durante la época de lluvia hay una mayor dilución de sólidos en la columna de agua (Ortiz y Ruvalcaba, 2005).

Los rangos de transparencia menores de medio metro son causados por la turbidez de los sólidos o por el plancton durante la temporada de crecimiento (Hammer y Mac, 1981). La sequías y lluvias extremas favorecen la erosión, el transporte y la sedimentación con alto contenido de material suspendido (Martínez, 1998). En el caso de los canales muestreados en Xochimilco, la transparencia siempre fue menor de un metro, indicativo indirecto de la elevada materia inorgánica y orgánica suspendida en el cuerpo de agua. Esto último puede ser resultado del tratamiento incompleto que se les da a las aguas residuales y en consecuencia, el exceso de nutrientes que permiten la proliferación de microorganismos (Ortiz y Ruvalcaba, 2005), que disminuyen la transparencia de la columna de agua.

Conductividad

La conductividad es definida como una medida de la resistencia de una solución a la corriente eléctrica y está determinada por el contenido de iones presentes (APHA, 1992). En la Figura 6b, se observa que los mayores valores de conductividad se encontraron en los meses de julio y septiembre que corresponden a la temporada de lluvias. Esto nos indica que probablemente el lavado del suelo circundante al cuerpo de agua acarrea una gran cantidad de sólidos, materia orgánica e inorgánica (Sandoval, 2008), lo que provoca un aumento en los valores de conductividad.

Las aguas de alta conductividad son dominadas principalmente por roca y tienen un espectro rico en iones de calcio y bicarbonato. Las aguas de baja conductividad son

dominadas por sodio y cloro derivados de la atmósfera (Wetzel, 2001). Los canales de Xochimilco presentaron altos niveles en la concentración de calcio y carbonatos. Sin embargo, no se tienen análisis de sodio y cloro para poder relacionar estos resultados.

Los valores más bajos se obtuvieron en el mes de noviembre 2007 (época fría), por lo que el agua se encuentra menos contaminada en esa época que en la época cálida, suponiendo que el agua más pura es aquella que tiene menor salinidad y la mayor resistencia de flujo eléctrico (Wetzel, 2001).

Alcalinidad

El CO_2 es totalmente soluble y relativamente abundante en el agua en forma disuelta y gaseosa, y los carbonatos son comúnmente minerales primarios sobre la tierra; la alcalinidad, en la mayoría de las aguas, está dada por la presencia de carbonatos y bicarbonatos, donde el sistema se encuentra en equilibrio de $\text{CO}_2 - \text{HCO}_3 - \text{CO}_3^{2-}$ (Martínez, 1998; Wetzel, 2001). Esto último es el mecanismo de amortiguamiento de mayor importancia en el agua dulce. Probablemente la mayor alcalinidad en el estrato fondo de los canales de Xochimilco, es resultado de que no se exhiben los ácidos liberados de la descomposición, porque estos son neutralizados por los carbonatos presentes en el fondo. Sí se considera que el nitrato adicional puede provocar alcalinidad en los suelos (Barrera y Wong, 2005), y que se encontraron valores mayores de este nutriente en el fondo, esto pudo ocasionar el aumento de alcalinidad en el fondo de los canales.

Todos los promedios reportados en este estudio son mayores de 258.3 ± 64.9 CaCO_3 mg/L, según la clasificación de Barrera y Wong (2005), esta es una concentración alta de alcalinidad. Elevados niveles de alcalinidad afectan a los seres vivos, por ejemplo Ortiz y Ruvalcaba (2005) citan a Aguilera y Noriega (1989) al indicar que valores

superiores de 175 mg/L de CaCO_3 resultan perjudiciales para los peces al dañar sus branquias, a causa de formaciones calcáreas que se producen.

Las concentraciones de alcalinidad total tienen una relación sobre la productividad del sistema. La concentración es modificada por la cantidad y clase de compuestos presentes, que en conjunto modifican el pH, donde los carbonatos y los hidróxidos pueden estar presentes cuando el pH es muy alto (Wetzel, 2001). Al incrementarse la alcalinidad se presenta un aumento en la disponibilidad del fósforo y otros nutrimentos, bajo estas condiciones, los bicarbonatos pueden ser empleados como una fuente principal en los procesos fotosintéticos (Wetzel, 2001). A pesar de que no se registró diferencia significativa entre localidades internas y externas se encontró diferencia marginal en la interacción meses por localidades. En verano al aumentar la luz se eleva la fotosíntesis y la liberación de CO_2 , además de que la solubilidad del dióxido de carbono se ve también afectada por la temperatura (Wetzel, 2001).

Al constituir la alcalinidad la suma de todas las bases titulables y bicarbonatos asociados a cationes como Na^+ , K^+ , Ca^+ y Mg^+ (APHA, 1992; Wetzel, 2001), se encuentra directamente relacionada con la dureza del agua.

Dureza de calcio

El calcio es un ion reactivo por lo que exhibe marcada estacionalidad y dinámica espacial (Wetzel, 2001), medido como dureza, presentó diferencia en las interacciones estratos por localidades y meses por localidades. En ambientes bien amortiguados (pH estable) con un pH de neutro a alcalino, donde abunda el Ca^{2+} y el CO_2 procedentes de la oxidación aeróbica o anaeróbica, precipita en parte en forma de CaCO_3 , incrementando la alcalinidad del fondo (Atlas y Bartha, 2001). Esto podría depender entonces de la estabilidad del pH en ciertas localidades afectando así la estratificación de las mismas. También los procesos de amonificación, de reducción de nitrato y de sulfato - reducción

aumentan la alcalinidad, y en condiciones adecuadas, contribuyen a la precipitación de CaCO_3 . Sin embargo, el principal proceso que contribuye a la precipitación biológica es la fotosíntesis (Atlas y Bartha, 2001), causando diferencias en algunas localidades de acuerdo a la temporada anual.

La concentración de calcio tiene una influencia directa e indirecta en la dinámica de crecimiento y población de la flora y fauna de agua dulce debido a que es un micronutriente, por ejemplo se ha relacionado la distribución de ciertas algas con diferentes concentraciones de calcio (Wetzel, 2001). Otro ejemplo es la precipitación del carbonato, que interviene en la formación del exoesqueleto de muchos invertebrados y microorganismos, o los vertebrados que depositan los carbonatos en los huesos y en los dientes (Atlas y Bartha, 2001). Posiblemente los altos valores de calcio registrados en el mes más frío (noviembre 2007) se deben a que los organismos disminuyen su captación en esta época, y desciende en la temporada de crecimiento (época cálida).

Dureza total y dureza de magnesio

La dureza total se refiere al contenido de Calcio y Magnesio como carbonatos y bicarbonatos (Wetzel, 2001). Todos los valores obtenidos se encuentran por arriba de 300 mg/L. De acuerdo a la clasificación de Sawyer y McCarty (1967) se pueden clasificar las aguas de los canales muestreados como aguas muy duras (Martínez, 1998).

El magnesio es un ion conservativo, que solamente se precipita a un pH muy elevado (mayor de 10) y fluctúa poco en aguas suaves (Wetzel, 2001). Sin embargo, las aguas de Xochimilco son duras (de 42.3 a 145.3 ± 11.1 mg de Mg/L), por lo que si hay diferencia entre meses y a su vez el magnesio afecta la dureza total.

Las aguas suaves se refieren a aguas de baja salinidad, las cuales son usualmente derivadas del drenaje, de la acidez de rocas ígneas. Las aguas duras contienen grandes concentraciones de tierras alcalinas, usualmente derivadas del drenaje

de depósitos calcáreos (Wetzel, 2001). Las elevadas cantidades de calcio y sales presentes se ven reflejadas en la conductividad.

Para que un sistema acuícola se encuentre en buen estado, la dureza total y alcalinidad deben presentar concentraciones similares, si no lo están los organismos aportarán más energía al equilibrio de estos factores (Martínez, 1998). En este estudio, al comparar ambos parámetros, encontramos que los promedios no son similares (dureza total 694.5 ± 21.3 mg/L; alcalinidad 467.5 ± 29 mg/L de CaCO_3).

Sólidos totales, disueltos y suspendidos

Se encontró en el estrato fondo mayor cantidad de sólidos disueltos en comparación con el estrato superficie. La cantidad de sólidos presentes en la columna de agua puede actuar como un contaminante para algunos organismos.

Los niveles de sólidos totales y suspendidos son elevados y en el caso de los sólidos suspendidos, rebasan el valor máximo permisible por la NOM – 001 – ECOL - 1996 (Anexo C). En el estrato fondo los sólidos totales, presentaron valores más altos posiblemente éstos, se ven afectados por los sólidos disueltos en el fondo de la columna de agua (ver Figura 9).

Todo esto denota un indicador adicional de la contaminación que se presenta en al menos seis canales de Xochimilco. Ya que, los cuerpos de agua que tienen una marcada mezcla a lo largo del año, mantienen una alta concentración de sólidos disueltos en suspensión y tienden a ser más productivos biológicamente, alcanzando niveles de hipereutrofia (Arredondo, 2005). Además el agua residual de origen doméstico contiene grandes cantidades de sólidos totales disueltos, en suspensión y sedimentables (Barrera y Wong, 2005).

Profundidad

Respecto a la profundidad medida, en este estudio, y en el de Olvera (2004), no se encontraron cambios significativos respecto a la temporada de lluvias o secas, contrario a las diferencias obtenidas por Ortiz y Ruvalcaba (2005) y Sandoval (2008). Esto pudo deberse a que, el nivel de agua de los canales se encuentra controlada, si hay aumento en el nivel se libera agua y si este baja se solicita a la planta cerro de la estrella más aporte de agua. También pudo deberse a que el año de muestreo fuera más caluroso y seco que los anteriores.

La diferencia marginal que se encontró entre localidades, presentando las localidades externas mayor profundidad que la internas, es probablemente consecuencia del suministro de aguas tratadas, o a una mayor pendiente en los canales externos de la zona chinampera.

Aunque en la mayoría de los casos la profundidad obtenida fue mayor a un metro, estos valores son menores a los reportados en 1940 por Linné para la zona lacustre de Xochimilco, que en general tenía un promedio de 3m (Serra, 1988), esto podría ser indicativo de que el nivel del agua ha estado disminuyendo a lo largo del tiempo, o de que los canales se han azolvado.

Oxígeno

El estrato superficie presentó valores más altos que el estrato fondo, probablemente debido a la cantidad de luz que puede pasar a través de la columna de agua y a la fotosíntesis que se realiza en la parte superior. La disminución de la concentración de oxígeno disuelto en el fondo podría estar relacionado, de forma indirecta, con el incremento de turbidez y condiciones anóxicas en el fondo. Olvera (2004) también reportó diferencias entre estratos.

Las diferencias encontradas en las interacciones meses por estratos y meses por localidades podrían ser resultado de la constante variación espacio - temporal que, en ambientes naturales, ocurre en la concentración de oxígeno. Debido a factores físico - químicos como la temperatura y la salinidad y factores biológicos como fotosíntesis y respiración (Martínez, 1998; Otterbine Barebo, 2003).

Durante la noche se presenta un déficit de oxígeno disuelto, esto permite el flujo de gas atmosférico hacia el agua; por la mañana la fotosíntesis mantiene un excedente de oxígeno en el agua, que puede ser cedida a la atmósfera o consumido por respiración. (Martínez, 1998; Otterbine Barebo, 2003). En el caso de los muestreos realizados, no se tienen más que las mediciones obtenidas entre las 10:00 y las 12:00 horas (debido a las características del muestreo), lo que impide realizar una conclusión respecto a este parámetro.

En los organismos, el oxígeno controla y limita el metabolismo a través de la dinámica molecular y las tasas de reacción bioquímica. La concentración mínima requerida por una especie varía, pero el agua no debería presentar una concentración menor de 70% para los organismos acuáticos (Gilbert, 1991). Bajas concentraciones de oxígeno podrían causar la muerte de los organismos o susceptibilidad a patógenos (Martínez, 1998). Considerando que por las noches la demanda de oxígeno se incrementa, que los valores mínimos de oxígeno para un ecosistema sano son ($4 \text{ mL/L} = 5.7 \text{ mg/L}$), que algunos procesos naturales de descomposición en el medio acuático son dependientes de oxígeno, como la digestión aeróbica que es un modo rápido y eficaz de descomposición de nutrientes (Otterbine Barebo, 2003). Los valores encontrados en este estudio son inferiores a estos niveles, ($\bar{x} \pm \text{IC95\%}: 5.1 \pm 0.46 \text{ mg/L}$), pudiendo bajo situaciones particulares (época cálida del año y en condición de estratificación en la columna de agua), resultar perjudiciales para los organismos que habitan los canales.

Además los niveles de contaminantes son elevados, los cuales son difíciles de disminuir por el poco oxígeno presente. Las principales causas de una baja calidad de agua son un exceso en el nivel de nutrientes, baja circulación y bajos niveles de oxígeno (Otterbine Barebo, 2003).

pH

En el análisis obtenido, el pH es un parámetro que estadísticamente se encontró relativamente constante en todas las condiciones medidas. No obstante, es necesario considerar la definición del mismo. El pH está definido como el logaritmo del recíproco de la concentración de iones de hidrógeno libres (Wetzel, 2001), esto significa que cada unidad de pH denota un incremento o descenso de diez veces en la concentración de iones hidrógeno, los cuales en interacción con otros factores (ej. $\text{NH}_4 - \text{NH}_3$, CO_2 , temperatura, etc.) pudieran definir condiciones de estrés para los organismos (Laws, 1981). Además Olvera (2004) encontró diferencias, para este parámetro, entre estratos y meses.

El promedio en el estrato superficie fue de 8.89 ± 0.13 y en el fondo de 8.47 ± 0.13 , lo que indica que si hay diferencias entre estratos, siendo el estrato superficie más básico que el fondo. Lo anterior podría deberse a la relación que existe entre el pH y el CO_2 , ya que la superficie tiene mayor actividad fotosintética (Atlas y Bartha, 2002), esto es mayor consumo de CO_2 y liberación de O_2 .

Tanto el promedio más bajo registrado como el más alto, superan respectivamente los resultados obtenidos de análisis previos reportados por: Pedraza (1995), Ortiz y Ruvalcaba (2005), Aguilar (2007) y Sandoval (2008). Esto indica una tendencia hacia la alcalinidad probablemente inducida por las rápidas descargas de aguas al cuerpo de agua (Wetzel, 2001; Aguilar, 2007). Los valores altos de pH en lagos son usualmente encontrados en regiones endorreicas, donde el agua del lago contiene excesivamente

altas concentraciones de Na_2CO_3 (lagos sódicos), lo que trae como consecuencia elevadas concentraciones de alcalinidad (Pedraza, 1995; Ortiz y Ruvalcaba, 2005).

Las condiciones de elevado pH que se han encontrado, pueden ser perjudiciales para la sobrevivencia de los organismos, aunque la mayoría de las especies acuáticas toleran cambios de pH dentro de un intervalo de 6 a 9, condiciones alcalinas de 9 o más unidades podrían causar mortalidad en más del 50% de juveniles y reducir la capacidad de natación (Martínez, 1998). Además los valores extremos de pH desnaturalizan la mayoría de las proteínas de forma irreversible (Atlas y Bartha, 2002). El pH en valores extremos causa toxicidad de algunos compuestos contaminantes, tal es el caso del amonio (Laws, 1981).

Nutrientes

El ciclo biogeoquímico de los nutrientes no es cerrado, debido a que hay pérdida por sedimentación, pesca, mareas; entradas naturales (Martínez, 1998) y antropogénicas que afectan considerablemente las concentraciones de los nutrientes en el cuerpo de agua, como en el sitio de estudio, las descargas de aguas residuales a los canales de Xochimilco.

Los aportes naturales son de tres tipos principales: fluvial (compuestos inorgánicos como la disolución de rocas calizas y sedimentos), vegetal y animal (orgánicos) (Martínez, 1998). Los iones de nitrógeno inorgánico, amonio, nitritos y nitrato se encuentran en sales muy solubles en agua (Atlas y Bartha, 2002). Dentro de los aportes antropogénicos se hallan los fertilizantes, desechos orgánicos y otros residuos ricos en nutrimentos (Ortiz y Ruvalcaba, 2005), desechos de sistemas sépticos que generalmente tienen mínimos niveles de oxígenos y altas concentraciones de fósforo (Otterbine Barebo, 2003) y aguas residuales de origen doméstico vertidas directamente al ambiente acuático que incrementan el contenido de nutrimentos de tipo orgánico e inorgánico, los cuales a su

vez causan el desarrollo masivo de bacterias y hongos (Barrera y Wong, 2005). La lluvia es también un factor importante en el aporte de nutrientes ya que deslava y trae un elevado contenido de materia orgánica, ocasionado por la depuración de los excrementos de ganado, filtrado de agua a través del suelo y erosión de las tierras de cultivo (Ortiz y Ruvalcaba, 2005).

El sedimento es un importante reservorio de materia orgánica y residuos agregados artificialmente, es capaz de retirar hasta el 98% total de las entradas nitrogenadas, actúa como una trampa que acumula y redistribuye nutrientes nitrogenados y fosforados (Martínez, 1998). Al morir las plantas se acumulan en el sedimento, después de un tiempo integran más nutrientes al cuerpo de agua que son nuevamente utilizados por los organismos que se van desarrollando (Otterbine Barebo, 2003).

Los nutrientes deberían ser mayores en el fondo del cuerpo de agua, así como las interacciones y el riesgo de una fuente nociva de anaerobiosis por la alta carga orgánica (Martínez, 1998). En algunos parámetros analizados se encontró estratificación en la columna de agua, pero en otros no, probablemente debido a que existe una constante mezcla de agua en los canales, por la circulación de lanchas con diversos fines. El incremento de nutrientes en los canales podría ser resultado de los efectos eólicos y la poca profundidad sobre la columna de agua que eleva el aporte de éstos a la misma (Martínez, 1998). Un aumento en los niveles de nutrientes, fósforo y nitrógeno conlleva a un auge en la cobertura de las plantas y malezas (Gilbert, 1991; Otterbine Barebo, 2003).

La variación y sucesión estacional de los compuestos de nitrógeno en ambientes no controlados debería depender de las características geomorfológicas, latitud y clima local principalmente. Aparentemente los procesos de fijación de nitrógeno molecular y de desnitrificación estaban equilibrados. Sin embargo, el efecto antropogénico pudo haber alterado este equilibrio (Atlas y Bartha, 2002). Los compuestos introducidos a los cuerpos

receptores ricos en nitrógeno y fósforo son acarreados y luego desplazados por procesos de degradación, esto da lugar al proceso de eutrofización (Barrera y Wong, 2005).

Fosfatos

En este estudio, el fósforo fue medido como ortofosfatos (o fósforo reactivo) ya que es la principal forma asimilable por los microorganismos con menor gasto de energía, aunque existen otras formas disueltas que dependen del pH y del tipo de agua (Martínez, 1998). El fósforo puede estar en forma particulada como en detritus y organismos vivos, o soluble que puede existir en altas concentraciones dependiendo de la época y de la calidad (Atlas y Bartha, 2002), este último proviene principalmente de la descomposición de materia orgánica y de las excretas de organismos acuáticos (Martínez, 1998).

La variación estacional del fósforo está ligada a procesos biológicos y geoquímicos (Ortiz y Ruvalcaba, 2005). En este estudio se observó amplia variación entre meses (Figura 12a). Los resultados obtenidos fueron similares a los registrados por Ortiz y Ruvalcaba (2005), al medirse los valores más altos en el mes de septiembre 2008, aunque en su estudio los valores más bajos fueron obtenidos en el mes de mayo y en este caso el promedio más bajo se registró en el mes de julio 2008.

El fósforo, ha sido identificado como el principal macronutriente que incrementa los niveles de algas y cianobacterias. Al aumentar el fósforo y la eutrofización, se incrementa la presencia de las mismas y como consecuencia la concentración de materia orgánica en la columna de agua (Atlas y Bartha, 2002; Barrera y Wong, 2005; Otterbine Barebo, 2003). En los resultados podemos notar, que al aumentar la temperatura disminuye la concentración de fósforo, probablemente debido a que crece la población de algas, con lo cual aumenta la fotosíntesis y el consumo de fósforo.

Sandoval (2008), indicó que el porcentaje de biomasa viva con posibilidades de reproducción en la columna de agua para los canales de Xochimilco fue en la temporada

lluviosa 56.3%, mientras que en la temporada seca fue de 40.8%; entonces durante la temporada de lluvias existe un incremento de organismos que aprovechan la elevada concentración de nutrientes, sumado a la dilución de la lluvia, se registran valores bajos de fosfatos durante ésta temporada.

El valor más alto registrado fue 27.5 mg/L que se encontró en más de una ocasión, éste valor, rebasa el límite máximo permisible por la NOM – 001 – ECOL - 1996 (Anexo C). De acuerdo con Wetzel (2001) se trata de un sistema eutrófico porque los valores se encuentren dentro del rango de 16 a 386 mg/L.

Se podría suponer que la eutrofización en los canales de Xochimilco se debe a las altas concentraciones de este nutriente (Sandoval, 2008). Los elevados valores encontrados en los canales de Xochimilco podrían ser resultado, entre otras causas, de las fuentes exógenas como algunos componentes de los detergentes, fertilizantes, jabones, desechos animales, incremento del aporte de las descargas urbanas, industriales y de acuicultura que llegan al sedimento (Matthew, 1992; Atlas y Bartha, 2002; Barrera y Wong, 2005; Sandoval, 2008), aguas semitratadas y actividades que originan una gran cantidad de sólidos suspendidos en los canales (Sandoval, 2008).

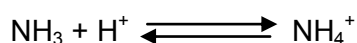
Aunque no hubo diferencia significativa entre estratos, la superficie presentó valores más altos, siendo esto un indicativo de que podría ser el estrato más contaminado (Aguilar, 2007). El fósforo puede almacenarse en el sedimento donde concluye su mineralización por materia orgánica e inicia su descomposición en la columna de agua (Martínez, 1998).

Amonio

Noviembre 2007, al presentar los valores más altos y sin variación, es el único mes distinto a los demás. Sin embargo, este valor puede ser erróneo debido al método de medición con el que se realizó el análisis (Kit para agua Tetratest), ya que éste tenía

mucha menor sensibilidad que el método utilizado en los meses del año 2008 (método de nesslerización directa), por lo que se considerarán, para este parámetro, solo los valores obtenidos en el año 2008.

El amonio total, que fue lo que se midió en este estudio, es la suma del ion amonio (NH_4) y el amoniaco no ionizado (NH_3), éste último es más toxico para los organismos acuáticos que, en condiciones naturales, se encuentran en equilibrio:



Este equilibrio se ve afectado por el pH y la temperatura del agua, al incrementar uno o ambos, aumenta el amoniaco, es decir la forma tóxica (Wheaton, 1977; Laws, 1981; Francis *et al.*, 1990; Matthew, 1992; Martínez, 1998; Hargreaves y Tucker, 2004).

Los valores de amonio encontrados no sobrepasan los 0.4 mg/L; no obstante, este valor no refleja la toxicidad real, ya que, los valores de pH en la mayoría de los casos fue mayor de 8 unidades lo que incrementa drásticamente la toxicidad del amonio (Hargreaves y Tucker, 2004). Si observamos el porcentaje de amoniaco (Anexo D), notamos que, en los meses de mayo, julio y septiembre es mayor de 0.05 mg/L, estas concentraciones pueden causar efectos letales o subletales para los organismos acuáticos que habitan los canales de Xochimilco (Francis *et al.*, 1990).

El aumento en las concentraciones de amonio ocurre cuando hay un aporte importante de fertilizantes y abonos orgánicos a un cuerpo de agua (Ortiz y Ruvalcaba, 2005), así como, por las excretas de los organismos y materia orgánica en descomposición (Hargreaves y Tucker, 2004). Las concentraciones de amonio en las localidades internas, presentaron valores promedio mayores que en las localidades externas en algunos meses del año (julio y septiembre 2008) de la temporada de lluvias, lo que podría ser explicado por el efecto de acarreo que trae el agua consigo, al ser las

localidades internas más susceptibles de uso agrícola o de contener residuos domésticos y de establos (Ortiz y Ruvalcaba, 2005; Salcedo, 1978).

Cuando un organismo se encuentra expuesto constantemente a concentraciones de amoníaco equivalentes a las que encontramos en los canales de Xochimilco, podría sufrir efectos como: ineficiencia al metabolizar sus alimentos, reducción en su crecimiento, susceptibilidad a enfermedades; en el caso de los peces, daño en branquias, entran en letargo, estado de coma; y finalmente la muerte (Francis *et al.*, 1990; Hargreaves y Tucker, 2004). El daño que puede causar el amoníaco en un organismo acuático depende de: la sensibilidad de la especie, etapa de desarrollo en el que se encuentre, tiempo de exposición, fluctuaciones y concentraciones del NH_3 y estrés ambiental al que se encuentren sujetos (Matthew, 1992).

Nitritos

Según Sandoval (2008), los nitritos pueden entrar al sistema por medio de los fertilizantes, así como por desechos provenientes de criaderos de animales domésticos; este autor, reportó un promedio un poco más alto en época de secas que en época de lluvias, pero sin diferencia significativa, además indicó que las mayores concentraciones se localizaron en las zonas donde la actividad agrícola es más intensa y en los sitios de descarga de aguas residuales.

El nitrito en concentraciones de 0.1 mg/L ó más, como en el caso de los canales de Xochimilco (Anexo A) puede ser dañino para los organismos acuáticos al reducir su habilidad para transportar oxígeno (Francis *et al.*, 1990; Matthew, 1992).

La oxidación de amoníaco a nitrito y de éste a nitrato son procesos exotérmicos (Atlas y Bartha, 2002). Como la nitrificación es un proceso aeróbico (Martínez, 1998; Atlas y Bartha, 2002), para poder detectar nitritos debe de haber adecuadas condiciones de oxígeno en el medio. En el presente estudio, se encontró en los meses cálidos (mayo y

julio), que la superficie presenta valores más altos que el estrato fondo, ya que el oxígeno es mayor en la superficie de la masa de agua.

Nitratos

Los nitratos son resultado de la desnitrificación de nitritos que a su vez son resultado de la desnitrificación de amonio (Wheaton, 1977; Gilbert, 1991). Este proceso ocurre principalmente en condiciones de bajas presiones de oxígeno o anoxia y es más frecuente en aguas estancadas que en aguas corrientes y ríos (Atlas y Bartha, 2002).

La diferencia que se encontró en la interacción meses por estratos, en nitratos, podría indicar que en ciertas temporadas hay estratificación en este parámetro, siendo el estrato fondo el que presenta valores más altos (Figura 13b). Esto podría ser resultado de la acumulación en el fondo del exceso de nutrimentos provenientes de las descargas, como en el caso de las algas y plantas acuáticas que se depositan en los sedimentos (Ortiz y Ruvalcaba, 2005), y de las condiciones anóxicas en el fondo.

Los resultados de Ortiz y Ruvalcaba (2005) indicaron aumento de nitratos en la época seca y disminución en los meses de lluvia. En este estudio, el valor máximo promedio se alcanzó en época de secas y conforme transcurre la temporada de lluvias fue disminuyendo, lo que podría indicar un ciclo de nitratos a lo largo del tiempo, aumentando en época de secas y disminuyendo en época de lluvias. Sin embargo, Sandoval (2008) obtuvo promedios menores para la temporada de secas que de lluvias.

El ciclo del nitrógeno en un ambiente dado muestra fluctuaciones estacionales, cuando se producen las floraciones de cianobacterias de primavera y otoño, por ejemplo, la tasa de fijación de nitrógeno de los ambientes acuáticos suele ser alta, reflejando las fluctuaciones de la población y la disponibilidad de energía y los nutrientes minerales necesarios para fijar el nitrógeno molecular (Atlas y Bartha, 2002). Entonces durante la

temporada calurosa son menores los nutrientes disponibles, y su mayor disponibilidad se encuentran pasando la temporada fría (Figura 13b).

Los nitritos y los fosfatos, son los principales nutrientes que en exceso inducen el crecimiento desmedido de algas y otros organismos que provocan la eutrofización (Wetzel, 2001). El aporte de descargas de agua de tipo doméstico son la causa principal de concentraciones elevadas de nitratos (Wen, 1991; citado por Ortiz y Ruvalcaba, 2005).

Ambiente Eutrófico

En condiciones naturales la concentración de nutrimentos depende del suelo y la vegetación circundante, un cuerpo acuático puede ser estable y permanecer sin cambios por largos periodos. Sin embargo, si se modifican las condiciones este equilibrio se modifica. Este tipo de cambios pueden ser los incendios forestales, las inundaciones persistentes y los aportes de desechos animales (Barrera y Wong, 2005).

Aunque el impacto de mayor importancia es el efecto antropogénico, en donde la acumulación de factores provoca la eutrofización cultural. Esto involucra la aceleración de manera exponencial del proceso de envejecimiento de un lago, a través de insumos humanos, cuanto mayor sea el flujo de entrada al lago, más rápido será la aceleración de envejecimiento del lago (Otterbine Barebo, 2003).

A partir de los análisis realizados y las concentraciones obtenidas, podemos afirmar que el lago de Xochimilco ha sido sometido a eutrofización cultural, resultado principalmente de factores como: erosión, desechos de fábricas, fertilizantes, fugas en los sistemas sépticos, drenajes directos, tala inmoderada, uso agrícola del suelo, desechos de establos y los aportes de agua residual (Salcedo, 1978; González, 1991; Aranda, 2004; Barrera y Wong, 2005; proyecto UNESCO - XOCHIMILCO, 2005; Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2006). A medida que crece la población, el impacto se magnifica acelerando con ello los procesos de eutrofización, perturbando la biodiversidad y la

calidad del agua. En el Anexo E, se mencionan algunos efectos de los agroquímicos sobre la vida acuática.

Los ambientes eutróficos presentan altas concentraciones en los niveles de nutrientes, materia orgánica, agua turbia con algas y macrófitas (Gilbert, 1991; Otterbine Barebo, 2003), problemas como la invasión de malezas acuáticas y las espumas producidas por la presencia de detergentes fosfatados. Estas características, que presentan los canales de Xochimilco, convierten a los cuerpos de agua en verdaderas cloacas y focos de contaminación e infección (Arredondo, 2005).

CONCLUSIONES

- De acuerdo con la temperatura y el potencial redox, la zona lacustre de Xochimilco presenta diferencia entre meses. Con la siguiente estacionalidad: de noviembre a marzo es época fría, mayo a julio época cálida y septiembre es un mes transicional.
- Ningún parámetro analizado presentó diferencias significativas entre localidades internas y externas.
- En la alcalinidad, sólidos disueltos y oxígeno se encontró diferencia significativa entre estratos. El fondo de los canales mostró mayores niveles de alcalinidad, mayor concentración de sólidos disueltos y menor concentración de oxígeno disuelto.
- Los parámetros: temperatura, potencial redox, transparencia, conductividad, alcalinidad, amonio, fosfatos, nitratos, sólidos disueltos, dureza total, de calcio y de magnesio mostraron diferencias entre meses.
- De acuerdo a los parámetros: temperatura, dureza de calcio, nitratos, oxígeno y nitritos, que presentaron diferencia en las interacciones de los factores considerados; se puede decir que existe variación espacio - temporal en los canales de Xochimilco, con la posibilidad de la existencia de microambientes.
- El agua de los canales de Xochimilco, se puede clasificar como agua muy dura por los elevados niveles de calcio y carbonatos.
- El sistema es poco profundo. La profundidad ha disminuido a lo largo del tiempo en los canales de Xochimilco.

- Existe tendencia hacia la alcalinidad en los canales de Xochimilco.
- Los niveles de nutrientes y sólidos rebasan el límite máximo permitido por la NOM – 001 – ECOL - 1996, por lo que se trata de un ambiente hipereutrófico, consecuencia principalmente de la eutrofización cultural.

RECOMENDACIONES

- Darle tratamiento terciario a las aguas residuales antes de ser liberadas en los canales.
- Concientizar a la población habitante de Xochimilco, para evitar el derrame de contaminantes y drenajes directamente a los canales.
- Disminuir en lo posible el uso de fertilizantes, plaguicidas, insecticidas y detergentes, que incrementan los niveles de fósforo y otros nutrientes al cuerpo de agua.
- Mantener limpios los canales, para evitar el incremento de materia orgánica al medio acuático.

LITERATURA CITADA

- Aguilar, M. M. 2007. Detección de factores de virulencia de *Escherichia coli*, *Shigella* y *Salmonella* en agua superficial y Subterránea de Xochimilco. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología. UNAM. 29 p.
- APHA, AWWA y WPCF. 1992. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. Madrid, Ediciones Díaz de Santos S.A.
- Aranda, M. 2004. Zona lacustre "Ejidos de San Gregorio Atlapulco". Ficha Informativa de los Humedales de Ramsar (FIR). México. 13 p.
- Arredondo, J. F. 2005. Caracterización limnológica. Limnología de embalses mexicanos: Aspectos teóricos y prácticos. UAM - Iztapalapa. México. 187 p.
- Atlas, R. M. y R. Bartha. 2002. Ecología microbiana y Microbiología ambiental. Madrid, Addison Wesley. 677 p.
- Ávila, B. E. 2000. Composición actual de la ictiofauna del lago de Xochimilco. Tesis Licenciatura. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala. UNAM. 72 p.
- Barrera, G. E. y Ch. Wong. 2005. Eutrofización y calidad del agua. Limnología de embalses mexicanos: Aspectos Teóricos y Prácticos. UAM - Iztapalapa. México: 526 p.
- Blancas, G. A. 2005. Criterios para establecer estaciones de monitoreo y análisis de parámetros físico - químicos. Limnología de embalses mexicanos: Aspectos teóricos y prácticos. UAM - Iztapalapa. México: 73 p.
- Cisneros, P. I. 2005. Aspectos ambientales relacionados con la calidad de agua de Xochimilco, Distrito Federal. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. 91 p.
- Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas (CICOPLAFEST). 2004. Catálogo de Plaguicidas. Publicado por el Diario Oficial de la Federación. México. 50 p.

- Chávez, M. A. 2000. Caracterización física y química de algunas calcatas de San Nicolas Tetelco en la delegación de Tláhuac y Xochimilco, D.F. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. 69 p.
- De la Rosa, J. B. 2006. La contaminación del lago de Xochimilco por aguas negras y su influencia en la agricultura local. Tesis de Licenciatura. Facultad de Filosofía y Letras. UNAM. 71 p.
- Ezcurra, E. 1990. De las Chinampas a la Megapolis. El medio ambiente en la Cuenca de México. Fondo de cultura económica. México, D.F. 120 p.
- Gaceta Oficial del Distrito Federal. 11 de Enero de 2006. Órgano de Gobierno del Distrito Federal. Décima Sexta Edición. No.5. Gobierno del Distrito Federal. 164 p.
- Gilbert, B. 1991. Acuicultura. Vol. I. Ediciones Omega, S. A. Barcelona. 478 p.
- González, A. 1991. Contribución al estudio ficológico estacional de la laguna de Tlilac y canales adyacentes, Xochimilco, México, D.F. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. 80 p.
- Hammer, J. M. and K. K. Mac.1981. Hydrology and quality of water resources. John Wiley & Sons. New York, USA. 486 p.
- Hargreaves J. A. y Tucker S. C. 2004. Managing Ammonia in Fish Ponds. Southern Regional Aquaculture Center. No. 4603. p.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2006. Cuaderno estadístico delegacional de Xochimilco, Distrito Federal. Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica.
<http://www.inegi.org.mx>. Consultado en enero 2009.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2008. Cuaderno estadístico delegacional de Xochimilco, Distrito Federal. Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica.
<http://www.inegi.org.mx>. Consultado en mayo 2009.

- Laws, E. A. 1981. Aquatic pollution. John Wiley & Sons. New York. USA. 482 p.
- Luna, K. F. 2006. Aislamiento y caracterización serológica de *Vibrio cholerae*, aislado de la planta de tratamiento Cerro de la Estrella y de la raíz de lirio en los canales de Xochimilco. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. 69 p.
- Martínez, L. C. 1998. Ecología de los sistemas acuícolas. AGT Editor. México. 227 p.
- Matthew Landau. 1992. Introduction to Aquaculture. John Wiley & Sons, Inc. Canada. 440 p.
- Medina, J. 2004. Determinación de las propiedades físicas y químicas de suelos de chinampa del área de San Luis Tlaxialtemalco - Xochimilco utilizando sistemas de información geográfica. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. UNAM. 105 p.
- Mongomery D. C. 1991. Diseño experimental y análisis de experimentos. Grupo Editorial Iberoamérica S. A. México. 589 p.
- Olvera, Y. B. 2004. Aspectos poblacionales de *Chirostoma jordani* (Woolman) (PISCES: Atherinidae) en el sistema lacustre de Xochimilco, México D.F. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias. UNAM. 115 p.
- Ortiz, J. B. y G. A. Ruvalcaba. 2005. Evaluación del estado trófico del lago de Xochimilco, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. 106 p.
- Otterbine Barebo, Inc. 2003. Pond and lake management. Manual and Guide on water quality management for Ponds and Lakes.
<http://www.otterbine.com>. Consultado en mayo 2009.
- Pedraza, G. M. 1995. Comparación hidrológica de los canales de dos zonas chinamperas de la región Xochimilco - Tláhuac a través de sus parámetros físico - químicos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. 64 p.

- Peralta de Legarreta, A. 2007. "Una Ciudad Invisible I. El Puente de Urrutia." En: www.presidencia.gob.mx. Consultado en febrero 2009.
- Reynoso, A. L. 1986. Estudio del fitoplancton del lago de Xochimilco. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. 108 p.
- Rodríguez, P. G. y M. Urzua. 1998. Análisis bacteriológico de aguas residuales en la plantas de tratamiento de la delegación de Xochimilco. Tesis Licenciatura. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM. 69 p.
- Rojas, T. 1993. La agricultura chinampera. Compilación Histórica. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 363 p.
- Romero, P. L. 1993. Impacto socioambiental en Xochimilco y Lerma, de las obras de abastecimiento de la Ciudad de México. UAM - Xochimilco. México. 151 p.
- Salcedo, S. V. 1978. Fluctuación de las poblaciones de la fauna asociada al lirio acuático (*Eichhornia crassipes Kunt*) y su relación con la contaminación en el Lago de Xochimilco. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias. UNAM. 60 p.
- Sandoval, J. C. 2008. Evaluación de la calidad del agua en los canales de Xochimilco para su recuperación ecológica. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología. UNAM. 96 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM – 059 – ECOL - 2001. Protección ambiental especies nativas de México de flora y fauna silvestres-categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio - lista de especies en riesgo. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de marzo de 2002. 153 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM – 001 – ECOL - 1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de abril de 2003. 33 p.

- Secretaría del Medio Ambiente. 2004. Programa de Manejo: Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco, Propuesta 2004. Administración pública del Distrito Federal.
http://www.unescomexico.org/xochimilco/docs/docs2/talleres/Taller_ChinampaXoc.pdf. Consultado en enero 2009.
- Serra, M. C. 1988. Los recursos lacustres de la Cuenca de México durante el formativo. UNAM. México, D.F. 270 p.
- UNESCO. 2005. Proyecto UNESCO - Xochimilco. Informe del taller de planeación participativa La Chinampa como patrimonio cultural de Xochimilco.
http://www.unescomexico.org/xochimilco/docs/docs2/talleres/Taller_ChinampaXoc.pdf. Consultado en noviembre 2008.
- Vázquez, C. y A. Orozco. 1989. La destrucción de la Naturaleza. Fondo de Cultura Económica. México. 83 p.
- Wetzel, R. G. 2001. Limnology: Lake and river ecosystems. Academic press. San Diego. 1006 p.
- Wheaton F. W. 1977. Aquacultural Engineering. John Wiley & Sons, Inc. New York. 708 p.

ANEXO A

Cuadro 1(a). Estadística descriptiva: medias y desviación estándar para cada parámetro (datos agrupados en localidades internas y externas).

Parámetros	Temperatura (°C)	Oxígeno (mg/l)	Condu. (µS)	p.Redox (mV)	pH	Amonio (mg/l)	Nitrat (mgNO ₃)	Nitrato (mgNO ₂ /l)	
Meses Estr.E.M.	Promedi D.E.	Promedi D.E.	Promedio D.E.	Promedio D.E.	Promedi D.E.	Promedio D.E.	Promedi D.E.	Promedio D.E.	
Nov.07	Sup Ext	19.5 ± 0.0	7.0 ± 0.6	468.3 ± 554.8	34.0 ± 16.5	8.4 ± 0.2	1.0 ± 0.0	52.3 ± 12.7	0.5 ± 0.3
	Int.	18.3 ± 0.8	6.8 ± 0.4	125.7 ± 53.7	65.0 ± 24.0	8.5 ± 0.5	1.0 ± 0.0	49.3 ± 3.5	0.4 ± 0.3
	T	18.9 ± 0.8	6.9 ± 0.1	297.0 ± 242.3	49.5 ± 21.9	8.5 ± 0.1	1.0 ± 0.0	50.8 ± 2.1	0.5 ± 0.0
	Fon Ext	17.2 ± 0.3	3.6 ± 1.2	171.0 ± 45.5	42.0 ± 29.5	8.7 ± 0.3	1.0 ± 0.0	61.0 ± 12.1	0.4 ± 0.3
	Int.	17.1 ± 0.2	3.7 ± 0.5	111.3 ± 51.7	67.0 ± 26.3	8.5 ± 0.9	1.0 ± 0.0	68.0 ± 15.7	0.2 ± 0.2
	T	17.2 ± 0.1	3.7 ± 0.9	141.2 ± 48.6	54.5 ± 27.9	8.6 ± 0.1	1.0 ± 0.0	64.5 ± 4.9	0.3 ± 0.1
Mar.08	Sup Ext	20.8 ± 0.5	6.5 ± 0.9	742.0 ± 10.1	332.0 ± 255.1	8.5 ± 1.3	0.3 ± 0.0	125.0 ± 50.5	0.7 ± 0.7
	Int.	18.6 ± 0.7	6.4 ± 0.5	651.7 ± 39.7	291.3 ± 236.7	8.8 ± 1.3	0.3 ± 0.0	118.0 ± 18.0	0.8 ± 0.4
	T	19.7 ± 1.6	6.5 ± 0.7	696.8 ± 24.9	311.7 ± 245.9	8.7 ± 0.2	0.3 ± 0.0	121.5 ± 4.9	0.8 ± 0.1
	Fon Ext	18.6 ± 0.6	4.2 ± 1.1	693.3 ± 18.5	223.3 ± 104.2	8.2 ± 1.3	0.3 ± 0.1	88.7 ± 5.9	0.5 ± 0.3
	Int.	17.8 ± 0.5	4.1 ± 2.6	661.7 ± 9.6	197.3 ± 55.0	8.4 ± 0.9	0.3 ± 0.1	109.0 ± 9.6	0.7 ± 0.5
	T	18.2 ± 0.6	4.2 ± 1.8	677.5 ± 14.0	210.3 ± 79.6	8.3 ± 0.2	0.3 ± 0.0	98.8 ± 14.4	0.6 ± 0.1
May.08	Sup Ext	22.9 ± 1.1	6.3 ± 0.9	702.0 ± 35.0	585.0 ± 573.3	10.0 ± 0.4	0.3 ± 0.1	52.3 ± 21.4	0.3 ± 0.1
	Int.	22.2 ± 1.2	6.5 ± 0.4	713.3 ± 40.7	669.0 ± 504.9	9.2 ± 0.7	0.3 ± 0.1	90.0 ± 73.0	0.5 ± 0.4
	T	22.6 ± 0.5	6.4 ± 0.7	707.7 ± 37.9	627.0 ± 539.1	9.6 ± 0.5	0.3 ± 0.0	71.2 ± 26.6	0.4 ± 0.1
	Fon Ext	22.9 ± 2.1	3.5 ± 0.7	765.7 ± 38.1	1203.3 ± 77.4	9.5 ± 0.5	0.3 ± 0.1	141.7 ± 58.9	0.5 ± 0.1
	Int.	22.0 ± 1.1	3.9 ± 0.6	707.3 ± 36.1	652.3 ± 517.7	9.0 ± 0.6	0.3 ± 0.1	71.3 ± 24.7	0.4 ± 0.2
	T	22.5 ± 0.7	3.7 ± 0.7	736.5 ± 37.1	927.8 ± 297.5	9.2 ± 0.3	0.3 ± 0.0	106.5 ± 49.7	0.4 ± 0.0
Jul.08	Sup Ext	23.0 ± 2.0	6.8 ± 0.5	819.0 ± 100.8	1042.7 ± 347.9	9.7 ± 0.4	0.2 ± 0.0	39.7 ± 5.7	0.4 ± 0.1
	Int.	21.8 ± 1.4	6.3 ± 0.8	898.0 ± 50.2	883.0 ± 431.2	8.7 ± 0.1	0.4 ± 0.1	41.0 ± 4.4	0.3 ± 0.1
	T	22.4 ± 0.8	6.5 ± 0.6	858.5 ± 75.5	962.8 ± 389.5	9.2 ± 0.7	0.3 ± 0.1	40.3 ± 0.9	0.3 ± 0.0
	Fon Ext	22.1 ± 2.2	4.7 ± 2.1	829.3 ± 77.7	536.0 ± 68.5	9.6 ± 0.4	0.2 ± 0.1	60.7 ± 22.2	0.6 ± 0.5
	Int.	21.1 ± 0.9	4.0 ± 1.1	872.0 ± 29.8	728.7 ± 447.5	8.6 ± 0.1	0.4 ± 0.1	45.3 ± 10.8	0.4 ± 0.2
	T	21.6 ± 0.7	4.4 ± 1.6	850.7 ± 53.8	632.3 ± 258.0	9.1 ± 0.7	0.3 ± 0.1	53.0 ± 10.8	0.5 ± 0.1
Sep.08	Sup Ext	20.4 ± 0.6	5.8 ± 0.7	732.0 ± 65.9	208.3 ± 71.7	8.9 ± 0.7	0.3 ± 0.1	58.7 ± 15.9	0.3 ± 0.0
	Int.	20.0 ± 1.1	4.7 ± 1.9	511.7 ± 339.4	345.3 ± 317.3	8.3 ± 0.5	0.3 ± 0.1	50.7 ± 5.0	0.3 ± 0.2
	T	20.2 ± 0.3	5.3 ± 1.3	621.8 ± 202.6	276.8 ± 194.5	8.6 ± 0.4	0.3 ± 0.0	54.7 ± 5.7	0.3 ± 0.0
	Fon Ext	19.9 ± 0.4	4.1 ± 1.0	709.7 ± 75.0	173.3 ± 101.9	8.8 ± 0.7	0.3 ± 0.1	58.7 ± 3.1	0.4 ± 0.1
	Int.	19.9 ± 0.9	3.1 ± 0.7	715.3 ± 66.5	115.3 ± 48.9	8.3 ± 0.3	0.4 ± 0.2	53.3 ± 21.5	0.5 ± 0.1
	T	19.9 ± 0.0	3.6 ± 0.9	712.5 ± 70.8	144.3 ± 75.4	8.6 ± 0.4	0.4 ± 0.1	56.0 ± 3.8	0.4 ± 0.1

Parámetros	Fosfat (mg/l)	Alcali (CaCo ₃ mm)	D.T (mg/l)	D.C. (mgCa/l)	D.M. (mgMg)	S.T. (mg/l)	S.D. (mg/l)	S.S. (mg/l)	
Meses Est E.M.	Promedi D.E.	Promedi D.E.	Promedio D.E.	Promedio D.E.	Promedi D.E.	Promedio D.E.	Promedi D.E.	Promedio D.E.	
Nov.07	Sup Ext	15.8 ± 10.2	333.3 ± 152.8	672.0 ± 139.5	428.3 ± 20.5	59.8 ± 28.4	557.7 ± 38.5	57.7 ± 38.5	500.0 ± 0.0
	Int.	22.9 ± 8.0	513.3 ± 456.2	666.7 ± 84.8	317.5 ± 54.0	115.5 ± 58.6	688.7 ± 138.3	188.7 ± 138.4	500.0 ± 0.0
	T	19.4 ± 5.0	423.3 ± 127.3	669.3 ± 3.8	372.9 ± 78.4	87.6 ± 39.4	623.2 ± 92.6	123.2 ± 92.6	500.0 ± 0.0
	Fon Ext	7.3 ± 2.0	500.0 ± 529.2	702.7 ± 257.6	413.9 ± 48.4	70.8 ± 71.8	725.3 ± 135.7	225.3 ± 135.7	500.0 ± 0.0
	Int.	15.5 ± 3.5	866.7 ± 571.8	670.7 ± 43.1	359.1 ± 19.5	75.7 ± 15.1	755.3 ± 155.1	172.0 ± 15.1	583.3 ± 144.3
	T	11.4 ± 5.8	683.3 ± 259.3	686.7 ± 22.6	386.5 ± 38.7	73.2 ± 3.5	740.3 ± 21.2	198.7 ± 37.7	541.7 ± 58.9
Mar.08	Sup Ext	7.6 ± 6.2	253.3 ± 11.5	738.7 ± 28.1	265.1 ± 22.7	115.1 ± 2.0	767.0 ± 382.0	150.3 ± 63.5	583.3 ± 381.9
	Int.	13.9 ± 5.0	240.0 ± 0.0	673.3 ± 87.1	296.5 ± 60.7	91.6 ± 12.5	576.3 ± 525.6	391.1 ± 446.6	185.2 ± 112.3
	T	10.8 ± 4.5	246.7 ± 9.4	706.0 ± 46.2	280.8 ± 22.2	103.4 ± 16.6	671.6 ± 134.9	270.7 ± 170.2	384.3 ± 281.5
	Fon Ext	13.5 ± 8.8	370.0 ± 157.2	760.0 ± 209.2	256.5 ± 9.6	122.4 ± 50.6	700.0 ± 320.5	283.3 ± 50.7	416.7 ± 288.7
	Int.	9.5 ± 2.0	213.3 ± 61.1	817.3 ± 129.3	327.6 ± 51.8	119.0 ± 18.9	836.0 ± 121.6	419.3 ± 184.7	416.7 ± 288.7
	T	11.5 ± 2.8	291.7 ± 110.8	788.7 ± 40.5	292.1 ± 50.3	120.7 ± 2.4	768.0 ± 96.2	351.3 ± 96.2	416.7 ± 0.0
May.08	Sup Ext	16.5 ± 9.9	260.0 ± 0.0	885.3 ± 410.2	299.3 ± 74.1	142.4 ± 81.8	802.5 ± 147.0	135.9 ± 26.0	666.7 ± 144.3
	Int.	27.5 ± 0.0	240.0 ± 0.0	862.7 ± 270.7	291.2 ± 32.4	136.9 ± 62.3	723.6 ± 134.6	140.2 ± 36.0	583.3 ± 144.3
	T	22.0 ± 7.8	250.0 ± 14.1	874.0 ± 16.0	295.3 ± 5.7	139.7 ± 3.9	763.0 ± 55.8	138.0 ± 3.1	625.0 ± 58.9
	Fon Ext	17.0 ± 8.9	253.3 ± 30.6	788.0 ± 138.0	285.9 ± 85.7	122.0 ± 13.5	1202.3 ± 168.9	118.9 ± 39.2	1083.3 ± 144.3
	Int.	11.6 ± 4.3	280.0 ± 40.0	1025.3 ± 84.3	288.6 ± 55.5	179.1 ± 17.7	629.1 ± 318.0	129.1 ± 69.2	500.0 ± 250.0
	T	14.3 ± 3.8	266.7 ± 18.9	906.7 ± 167.8	287.2 ± 1.9	150.5 ± 40.4	915.7 ± 405.3	124.0 ± 7.2	791.7 ± 412.5
Jul.08	Sup Ext	6.6 ± 4.1	953.3 ± 233.5	718.7 ± 238.9	363.4 ± 42.7	86.4 ± 56.6	995.6 ± 647.7	79.0 ± 40.0	916.7 ± 629.2
	Int.	8.8 ± 0.3	993.3 ± 100.7	758.7 ± 16.7	304.1 ± 6.7	110.3 ± 2.6	1006.5 ± 526.6	52.0 ± 22.1	954.5 ± 506.2
	T	7.7 ± 1.5	973.3 ± 28.3	738.7 ± 28.3	333.7 ± 42.0	98.4 ± 16.9	1001.1 ± 7.7	65.5 ± 19.1	935.6 ± 26.8
	Fon Ext	8.4 ± 5.3	966.7 ± 224.8	614.7 ± 133.2	258.6 ± 45.0	86.5 ± 22.7	991.5 ± 359.8	74.8 ± 35.0	916.7 ± 381.9
	Int.	8.0 ± 2.4	940.0 ± 20.0	722.7 ± 56.6	289.6 ± 22.7	105.2 ± 8.2	739.8 ± 727.6	73.1 ± 5.9	666.7 ± 721.7
	T	8.2 ± 0.3	953.3 ± 18.9	668.7 ± 76.4	274.1 ± 21.9	95.9 ± 13.2	865.7 ± 178.0	74.0 ± 1.2	791.7 ± 176.8
Sep.08	Sup Ext	19.2 ± 2.3	280.0 ± 69.3	444.0 ± 74.1	288.1 ± 7.2	37.9 ± 19.3	725.8 ± 51.5	225.8 ± 51.5	500.0 ± 0.0
	Int.	22.7 ± 5.4	313.3 ± 50.3	409.3 ± 40.1	254.4 ± 23.8	37.7 ± 9.4	954.5 ± 862.8	204.5 ± 7.1	750.0 ± 866.0
	T	21.0 ± 2.5	296.7 ± 23.6	426.7 ± 24.5	271.2 ± 23.8	37.8 ± 0.2	840.2 ± 161.7	215.2 ± 161.7	625.0 ± 176.8
	Fon Ext	19.4 ± 7.2	293.3 ± 110.2	436.0 ± 58.9	292.9 ± 4.9	34.8 ± 15.3	877.3 ± 274.2	294.0 ± 63.2	583.3 ± 288.7
	Int.	22.6 ± 8.1	286.7 ± 75.7	524.0 ± 156.9	281.1 ± 8.4	59.0 ± 38.2	1502.4 ± 624.9	502.4 ± 456.7	1000.0 ± 901.4
	T	21.0 ± 2.3	290.0 ± 4.7	480.0 ± 62.2	287.0 ± 8.3	46.9 ± 17.1	1189.8 ± 442.0	398.2 ± 147.4	791.7 ± 294.6

Est: estratos, E.M.: Estaciones monitoreadas (agrupadas en dos), D.T: Dureza Total, D.C: Dureza de Calcio, D.M: Dureza de Magnesio, S.T: Sólidos Totales, S.D: Sólidos Disueltos, S.S: Sólidos Suspendidos. Ext. Grupo de tres localidades externas; Bordo, Japón y Cuemanco. Int. Localidades internas: Valle de las Muñecas, Ampampico y laguna de Tiliac.
T = Promedio para estratos superficie y fondo de las seis localidades. N = 3 para localidades externas e internas. N = 6 Total.

Cuadro 1(b). Valores promedio de transparencia y profundidad (datos agrupados en localidades internas y externas).

Parámetros		Transparencia (cm)			Profundidad (cm)	
Meses	Est	n	Promedio	D.E	Promedio	D.E.
Nov.07	Ext	3	32.67	± 3.06	136.00	± 50.03
	Int.	3	31.33	± 3.51	134.23	± 26.70
Mar.08	Ext	3	25.33	± 6.17	116.33	± 48.09
	Int.	3	18.33	± 4.16	136.00	± 33.81
May.08	Ext	3	30.33	± 2.52	132.56	± 43.60
	Int.	3	32.67	± 2.08	131.06	± 24.38
Jul.08	Ext	3	31.17	± 8.95	125.00	± 50.69
	Int.	3	35.67	± 6.35	124.33	± 21.78
Sep.08	Ext	3	42.33	± 1.15	131.00	± 35.68
	Int.	3	40.67	± 2.08	115.67	± 26.35

Est: Estaciones de monitoreo

Ext: tres localidades externas: Bordo, Japón y Cuemanco.

Int: tres localidades internas: Valle de las Muñecas, Ampampilco y Laguna de Tlilac.

ANEXO B

Cuadro 2. Resultados de contrastes múltiples de medias, mediante prueba de Tukey: Análisis confirmatorio.

Parámetro	Conclusión
Temperatura	<u>Nov 07 = Mar 08 ≠ May 08 = Jul 08 ≠ Sep 08</u>
Oxígeno	<u>Nov 07 = Mar 08 = May 08 = Jul 08 = Sep 08</u>
Conductividad	<u>Nov 07 ≠ Mar 08 = May 08 = Jul 08 ≠ Sep 08</u>
Potencial redox	<u>Nov 07 = Mar 08 ≠ May 08 = Jul 08 ≠ Sep 08</u>
pH	<u>Nov 07 = Mar 08 = May 08 = Jul 08 = Sep 08</u>
Amonio	<u>Nov 07 ≠ Mar 08 = May 08 = Jul 08 = Sep 08</u>
Nitratos	<u>Nov 07 ≠ Mar 08 = May 08 ≠ Jul 08 = Sep 08</u>
Nitritos	<u>Nov 07 = Mar 08 = May 08 = Jul 08 = Sep 08</u>
Fosfatos	<u>Nov 07 = Mar 08 ≠ May 08 ≠ Jul 08 ≠ Sep 08</u>
Alcalinidad	<u>Nov 07 ≠ Mar 08 = May 08 ≠ Jul 08 ≠ Sep 08</u>
Dureza Total	<u>Nov 07 = Mar 08 = May 08 = Jul 08 ≠ Sep 08</u>
Dureza de Calcio	<u>Nov 07 ≠ Mar 08 = May 08 = Jul 08 = Sep 08</u>
Dureza de Magnesio	<u>Nov 07 = Mar 08 = May 08 ≠ Jul 08 ≠ Sep 08</u>
Sólidos Totales	<u>Nov 07 = Mar 08 = May 08 = Jul 08 = Sep 08</u>
Sólidos Disueltos	<u>Nov 07 = Mar 08 = May 08 = Jul 08 ≠ Sep 08</u>
Sólidos Suspendidos	<u>Nov 07 = Mar 08 = May 08 = Jul 08 = Sep 08</u>
Transparencia	<u>Nov 07 ≠ Mar 08 ≠ May 08 = Jul 08 ≠ Sep 08</u>
Profundidad	<u>Nov 07 = Mar 08 = May 08 = Jul 08 = Sep 08</u>

ANEXO C

Cuadro 3. Límites máximos permisibles por la NOM – 001 – ECOL - 1996, contrastados con los promedios de los cinco meses muestreados en cinco canales y una laguna de Xochimilco.

PARÁMETROS	A	B	C	<i>Promedios de los valores obtenidos por mes en los canales de Xochimilco</i>				
	<i>P.M.</i>	<i>P.M.</i>	<i>P.M.</i>	<i>nov-07</i>	<i>mar-08</i>	<i>may-08</i>	<i>jul-08</i>	<i>sep-08</i>
Temperatura °C	40	40	40	18.03	18.95	22.51	21.99	20.03
Sólidos suspendidos totales mg/l	40	75	75	520.83	400.46	708.33	863.63	708.33
Nitrógeno mg/l	15	40	N.A.	59.07	111.14	89.55	47.36	56.03
Fósforo Total mg/l	5	20	N.A.	15.38	11.13	18.15	7.93	20.98

N.A. no es aplicable

P.M. promedio mensual

A- Uso en riego agrícola para ríos

B- Uso en riego agrícola, embalses naturales y artificiales

C- Humedales naturales

ANEXO D

Cuadro 4. Valores de toxicidad para el amonio registrado, calculados a partir de la tabla de Francis *et al.* (1990).

Meses	Est	E.M.	A. T.	Factor de tabla	mg/l de NH ₃	Porcentaje de toxicidad (%)
Nov.07	Sup	Ext	1.00	0.0847	0.085	8.47
		Int.	1.00	0.0994	0.099	9.94
		T	1.00	0.0847	0.085	8.47
	Fon	Ext	1.00	0.1123	0.112	11.23
		Int.	1.00	0.0931	0.093	9.31
		T	1.00	0.0931	0.093	9.31
Mar.08	Sup	Ext	0.30	0.5201	0.156	15.60
		Int.	0.27	0.1773	0.047	4.73
		T	0.28	0.1361	0.039	3.86
	Fon	Ext	0.33	0.0552	0.018	1.84
		Int.	0.30	0.0790	0.024	2.37
		T	0.32	0.0652	0.021	2.06
May.08	Sup	Ext	0.27	0.8308	0.222	22.15
		Int.	0.30	0.4204	0.126	12.61
		T	0.28	0.6456	0.183	18.29
	Fon	Ext	0.33	0.5525	0.184	18.42
		Int.	0.30	0.3140	0.094	9.42
		T	0.32	0.4204	0.133	13.31
Jul.08	Sup	Ext	0.20	0.7088	0.142	14.18
		Int.	0.37	0.1541	0.057	5.65
		T	0.28	0.4204	0.119	11.91
	Fon	Ext	0.20	0.6456	0.129	12.91
		Int.	0.37	0.1451	0.053	5.32
		T	0.28	0.3140	0.089	8.90
Sep.08	Sup	Ext	0.27	0.2417	0.064	6.45
		Int.	0.33	0.0747	0.025	2.49
		T	0.30	0.1361	0.041	4.08
	Fon	Ext	0.30	0.1998	0.060	5.99
		Int.	0.43	0.0747	0.032	3.24
		T	0.37	0.1361	0.050	4.99

Est. - Estratos, superficie y fondo

E.M. - Estaciones muestreadas, internas (int) y externas (ext).

A.T. - Amonio total obtenido (mg/l)

NH₃ - Amoniaco toxico (no ionizado)

ANEXO E

AGROQUÍMICOS: PESTICIDAS

La producción agrícola en Xochimilco se ve afectada por inundaciones y por insectos plaga que resultan beneficiados del desajuste ecológico, ante esta situación algunos agricultores recurren a la aplicación de pesticidas para el control de las poblaciones de las plagas, sin previa asesoría técnica. Algunos organismos plaga son: gusano de bolsa (*Malacosoma incurvum*) “defoliador”, el ácaro (*Aculops sp.*) y el pulgón (*Chaitophorus sp.*) “chupadores” y el muérdago verdadero (*Struthanthus mexicanus*) “planta parásita”. El uso de pesticidas incrementa la contaminación (De la Rosa 2006).

En la encuesta realizada por De la Rosa (2006) solo un 30% de las personas utilizan fertilizantes químicos mientras que un 70% usa fuentes orgánicas de nutrientes para los cultivos. Los fertilizantes químicos son arrastrados por el agua a la zona chinampera de las partes bajas (De la Rosa, 2006).

El 15 de octubre de 1987 se publicó en el Diario Oficial de la Federación el decreto que establece las bases de coordinación entre las Secretarías de: Comercio y Fomento Industrial (actualmente de Economía), Agricultura y Recursos Hidráulicos (actualmente de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación), Desarrollo Urbano y Ecología (actualmente de Medio Ambiente y Recursos Naturales) y Salud, para el ejercicio de las atribuciones que respecto a plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas, les confieren, la Ley Federal de Sanidad Vegetal, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y la Ley General de Salud (CICOPLAFEST, 2004).

En apego al decreto que crea la Comisión Intersecretarial para el Control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST). La Comisión Intersecretarial publicó en los años de 1991 a 1998 el primer Catálogo Oficial de Plaguicidas, que contiene los productos registrados y sus usos autorizados, sus

características principales, así como las indicaciones para su uso e información sobre los riesgos que los mismos implican y sobre el tratamiento en caso de intoxicaciones. Este catalogo fue actualizado en el 2004.

Definición de Plaguicidas

Cualquier sustancia o mezcla de sustancias que se destina a controlar cualquier plaga, incluidos los vectores que transmiten las enfermedades humanas y de animales, las especies no deseadas que causen perjuicio o que interfieran con la producción agropecuaria y forestal, así como las que interfieran con el bienestar del hombre y de los animales (CICOPLAFEST, 2004).

Clasificación de plaguicidas

Los plaguicidas se pueden clasificar de varias maneras (CICOPLAFEST, 2004), las más comunes son:

- Por concentración
- Por Organismos que controlan:
 - Insecticida: Control de insectos
 - Acaricida: Control de ácaros
 - Fungicida: Control de hongos y levaduras
 - Bactericida: Control de bacterias
 - Antibiótico: Control de bacterias
 - Herbicida: Control de hierba y maleza
 - Rodenticida: Control de roedores
 - Molusquicida: Control de moluscos
- Por modo de acción
- Por composición química
- Uso al que se destinan

- Agrícolas: Uso en diversas extensiones, en sistemas de producción agrícola y en productos y subproductos de origen vegetal.

- Forestales: Uso en bosques y maderas

- Urbanos: Uso exclusivo en áreas urbanas, industriales, áreas no cultivadas, drenes, canales de riego, lagos, presas, lagunas y vías de comunicación.

- Jardinería: Uso en jardines y plantas de ornato.

- Pecuarios: Uso en animales o instalaciones de producción intensiva o extensiva cuyo producto será destinado al consumo humano o a usos industriales.

- Domésticos: Uso en el interior del hogar.

- Industriales: Se utiliza como materia prima en el proceso industrial para la formulación de plaguicidas o productos de uso directo.

- Por su estado físico se clasifican en:

- Formulaciones sólidas

- Formulaciones líquidas

- Formulaciones gaseosas

Aunque los pesticidas son de gran importancia económica, es necesario destacar que su aplicación indiscriminada y sin control puede ocasionar daños al ambiente; como, el deterioro de la flora y la fauna silvestres; la contaminación de suelo, de mantos freáticos y aguas continentales y costeras, incluso la generación de plagas resistentes. Por todo esto, nuestro país debe impulsar aun más el sistema de control conocido como Manejo Integrado de Plagas (MIP) (CICOPLAFEST, 2004).

Efectos sobre la vida acuática

El efecto tóxico más importante para el fitoplancton es la bioacumulación, se ha determinado que el fitoplancton es capaz de depurar su medio a un grado tal que las concentraciones de plaguicidas en agua pueden disminuir hasta cientos de veces en un

lapso de tres horas. El zooplancton es 1000 veces más sensible que el fitoplancton, en especial las larvas de insectos y crustáceos cuyas poblaciones pueden ser seriamente afectadas (CICOPLAFEST, 2004).

Con respecto a los macroorganismos, en especial los peces, se ha visto que los plaguicidas son capaces de causar serios daños a las poblaciones de estos, los mecanismos de toxicidad son muy variados, algunos pueden causar hipoxia, al disminuir la concentración de oxígeno en el agua o dañar las branquias, también son capaces de modificar el metabolismo de los peces e inclusive causar necrosis. Además se ha determinado que los peces acumulan gran cantidad de plaguicidas en sus tejidos (CICOPLAFEST, 2004).

La acumulación de plaguicidas en fitoplancton, luego en peces o algas resulta en la biomagnificación que afectará a los organismos de los niveles tróficos altos, como el humano (CICOPLAFEST, 2004).

Efectos adversos en humanos

Los efectos tóxicos observados en humanos se obtienen a partir de estudios en poblaciones ocupacionalmente expuestas y en individuos cuya exposición fue incidental. Existe una amplia variedad de efectos tanto crónicos como agudos reportados, y van desde efectos sistémicos hasta la muerte. Anualmente se reportan alrededor de 375 000 casos de intoxicaciones en el mundo las cuales provocan diversos efectos sistémicos. Por ejemplo se sabe que la exposición a los organofosforados y los carbamatos puede causar serias lesiones sobre el sistema nervioso (CICOPLAFEST, 2004).

También se han reportado otros efectos en otros sistemas como son: sistema músculo esquelético, sistema inmune, disrupción endócrina y sistema reproductivo (CICOPLAFEST, 2004).

Efectos como la carcinogenicidad, teratogenicidad y mutagenicidad comúnmente se reportan a partir de experimentos hechos en animales de laboratorio o sistemas *in vitro* donde en muchos casos los plaguicidas han causado este tipo de efectos y son extrapolados al humano (CICOPLAFEST, 2004).

Para evitar en lo posible riesgos a la salud en personas que manipulan los fertilizantes, es necesario que lean completamente las recomendaciones de y formas de uso antes de abrirlo y sigan las indicaciones estrictamente (CICOPLAFEST, 2004).

Regulación

En materia de regulación existen normas oficiales mexicanas que regulan el: etiquetado, uso, aplicación, transporte, emvasado, almacenamiento, límites permisibles, requisitos y condiciones sanitarias, seguridad y comercialización de los pesticidas.

En la lista de Pesticidas aceptados en México por la CICOPLAFEST existen 428 pesticidas, los cuales se encuentran en distintos tipos (CICOPLAFEST, 2004). A continuación se presenta la lista de los plaguicidas prohibidos o restringidos por la CICOPLAFEST.

Plaguicidas Prohibidos

La importación, fabricación, formulación, comercialización y uso de los siguientes plaguicidas, han sido prohibidos en México, conforme al Diario Oficial de la Federación del 3 de enero de 1991:

- Acetato o propionato de fenil mercurio Erbón.
- Acido 2,4,5 - T Formotión
- Aldrín Fluoracetato de sodio (1080)
- Cianofos Fumisel
- Cloranil Kepone/Clordecone
- DBCP Mirex

- Dialifor Monurón
- Dieldrín Nitrofén
- Dinoseb Schradán
- Endrín Triamifos
- El sulfato de Talio ha sido prohibido en la tarifa del impuesto general de importación.

Plaguicidas Restringidos

Plaguicidas cuyo uso ha sido restringido en el catálogo oficial de plaguicidas publicado en el Diario Oficial de la Federación el 19 de agosto de 1991:

- DDT. Por su alto riesgo para la salud humana, su elevada persistencia y sus propiedades de bioacumulación, este plaguicida solo podrá ser utilizado por las dependencias del ejecutivo en campañas sanitarias.
- El BHC actualmente se encuentra en desuso por parte del ejecutivo federal.
- Aldicarb Mevinfos
- Dicofol Paraquat
- Forato Pentaclorofenol
- Lindano Quintozeno

Toxicidad

Los efectos tóxicos o adversos de un agente químico sobre un sistema biológico no se producen a menos que el agente o los productos de su metabolismo alcancen el sitio apropiado del organismo, a una concentración y por un tiempo suficiente que les permita producir las manifestaciones tóxicas. El que un efecto tóxico ocurra o no, dependerá de las características del agente, el ambiente y el huésped (CICOPLAFEST, 2004).

La toxicología de los plaguicidas es un fenómeno complejo en el que intervienen, por parte de los diversos compuestos, su estructura molecular (relación estructura - actividad), sus propiedades fisicoquímicas, de las que depende su afinidad por sistemas biológicos específicos (toxicidad selectiva) y de manera preponderante, la dosis en que los humanos se exponen a los mismos (relación dosis – tiempo - respuesta). Es frecuente que los efectos tóxicos de los plaguicidas se potencialicen por los ingredientes de la formulación o los aditivos con que se mezclan los que en ocasiones pueden ser tanto o más dañinos que los ingredientes activos (CICOPLAFEST, 2004).

El aumento en el uso de plaguicidas y fertilizantes ha propiciado, que éstas, sus derivados y residuos contaminen el medio ambiente lo cual constituye un riesgo para los ecosistemas y para la salud de la población en general, como, la elevada contaminación atmosférica en las zonas metropolitanas; la contaminación química de las principales cuencas hidrológicas; el alto índice de accidentes que involucran sustancias llevando al deterioro de los ecosistemas (CICOPLAFEST, 2004).