



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLOGICAS

INSTITUTO DE ECOLOGIA

Evaluación de la calidad del agua
En los canales de
Xochimilco para su recuperación
Ecológica

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO
DE

MAESTRO EN CIENCIAS BIOLOGICAS
(Biología Ambiental)

P R E S E N T A

Sandoval Contreras Josué

DIRECTORA DRA. MARISA MAZARI HIRIART

MEXICO, D. F

Marzo de 2008



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.

Agradecimientos

Este estudio fue posible gracias al apoyo otorgado por el Posgrado en Ciencias Biológicas de la UNAM.

A la Beca 185693 con registro 173100, otorgada por el Consejo de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y Fundación PACKARD, mismas que permitieron la realización del programa de Maestría en Ciencias Biológicas.

Agradecimientos

Al Comité Tutorial Integrado por:

La Dra. Marisa Mazari Hiriart

A la Dra. Blanca E. Jiménez Cisneros

Al Dr. Luis Zambrano González

A la Dra. Corina Solís

Al Dr. Gonzalo Castillo Rojas

Dedicatoria

**A mi Papa, por enseñarme a sacar la “garra” cuando más
se necesita.**

**A mi Mama, por sacarme a flote siempre y ser mi
incondicional eterna.**

**A mi Hermana la “China” por soportarme
Y ponerme los pies en la tierra.**

**A “Pita” y “Soli” por alegrarme
La vida en los momentos
difíciles**

Índice

Introducción	1
Objetivos	3
1. Descripción del área de estudio	4
2. Problemática	6
3. Dinámica de un ecosistema acuático	8
4. Aspectos fisicoquímicos	10
4.1. Temperatura y pH	11
4.2. Turbidez y color	11
4.3. Conductividad	12
4.4. Oxígeno disuelto	12
4.5. Nitrógeno	12
4.6. Fósforo	14
4.7. Carbono orgánico	14
5. Aspectos microbiológicos	16
5.1. <i>Enterobacteriaceae</i>	17
5.2. Enterococos	18
6. Metales pesados	18
6.1. Efectos tóxicos de los metales en la célula microbiológica	20
7. Metodología	22
7.1. Trabajo de campo	22
7.2. Selección de zonas de muestreo	22
7.3. Descripción de los sitios estudiados en la zona de canales de Xochimilco	23
7.4. Análisis fisicoquímico	25
7.5. Análisis bacteriológico	26
7.6. Análisis de viabilidad de biomasa bacteriana	27
7.7. Análisis de metales pesado	28
7.8. Análisis estadístico	31
8. Resultados	32
8.1. Parámetros físicos	32
8.1.1. Profundidad	33

8.1.2. Turbidez	33
8.1.3. Temperatura	34
8.1.4. pH	35
8.1.5. Conductividad	35
8.2. Parámetros químicos	41
8.2.1. Amonio	42
8.2.2. Nitritos y nitratos	43
8.2.3.- Carbono orgánico total	45
8.2.4.- Fósforo total	45
8.3. Análisis microbiológicos	53
8.3.1. Viabilidad de la biomasa bacteriana	53
8.3.2. Estimación de indicadores de contaminación fecal en el agua	54
8.3.3. Estimación del origen de la contaminación fecal en el agua	54
8.4. Análisis de metales	61
8.4.1. Hierro	61
8.4.2. Cobre	62
8.4.3. Plomo	63
8.4.4. Zinc	65
Discusión	70
Conclusiones	78
Propuesta de rehabilitación para los canales de Xochimilco	80
Referencias	85

Resumen

Se evaluó el estado de degradación en el que se encuentran los canales de Xochimilco, para proponer alternativas para una posible recuperación de este ecosistema acuático.

El análisis de la calidad del agua de los canales incluye variables fisicoquímicas, microbiológicas y de metales pesados, monitoreados durante un ciclo anual, cubriendo las épocas de lluvias del 2003 y secas del 2004.

El análisis fisicoquímico comprendió el análisis del pH, conductividad, turbidez, profundidad y temperatura así como la determinación de carbono orgánico total, fósforo total, amonio, nitritos y nitratos. El estudio mostró que parámetros tales como la profundidad turbidez, pH, amonio y fósforo total presentaban diferencias entre las épocas analizadas.

Desde el punto de vista microbiológico, se analizaron dos indicadores de contaminación fecal, coliformes fecales y enterococos fecales, los cuales en la mayoría de los casos presentaron conteos altos en relación con la calidad que deben mostrar las aguas que son vertidas a los cuerpos de agua nacionales que son utilizadas para riego. Este estudio incluyó, el análisis de la viabilidad de la biomasa bacteriana con el cual se muestra que en ambas épocas del año la población bacteriana viva es mayor que de muertas, principalmente en época de lluvias.

La determinación de metales incluyó el análisis de plomo, hierro, cobre y zinc, el cual se realizó mediante un análisis de material preconcentrado para

determinar la concentración de material soluble en el agua. Estos cuatro metales se eligieron debido a que pueden estar de manera natural el fierro (Fe) o como contaminantes, como es el caso del plomo y zinc (Pb, Zn) .

Los resultados obtenidos, muestran que los niveles a los que se registran los parámetros analizados, dependen de la época del año y tipo de zona geográfica ya que la dilución existente en determinados meses, así como la presión antropogénica de la región parecen ejercer cierta presión ecológica sobre los canales de Xochimilco. Se observó que las zonas donde se realizan actividades turísticas y donde son comunes los asentamientos humanos regulares e irregulares, son las que presentan el mayor deterioro ambiental. Los mayores conteos microbiológicos y las mayores concentraciones de metales pesados se registraron en época de lluvias, sin embargo, los nutrientes se registraron en concentraciones altas en época de secas.

Basados en los resultados obtenidos, al final se proponen acciones para la recuperación ecológica de los canales, como es la de regularizar las descargas de aguas negras a los canales, sin embargo se detectaron zonas con alto grado de perturbación, donde las acciones para su recuperación son de mayor escala y requiere un esfuerzo mayor tanto humano como económico para lograrlo.

Abstract

The grade of degradation of the old lake system of Xochimilco was evaluated in this study to propose alternatives for a possible recovery of this aquatic ecosystem. The analysis of the quality of the water of the lake includes physical and chemical variables, microbiological and of heavy metals, evaluated during an annual cycle, covering the rainfall seasonality of 2003 and the dry season of 2004. The analysis physical and chemical included the analysis of pH, conductivity, turbidity, depth and temperature as well as the determination of total organic carbon, total phosphorus, ammonium, nitrite and nitrates. The study showed that parameters such as the depth, turbidity, pH, ammonium and total phosphorus presented differences between seasons. From the microbiological point of view, two fecals indicators were analyzed, which in most of the cases presented high counts in relation to the quality which they must show. This study included the analysis of the viability of the bacterial biomass with which sample that at both times of the year the alive bacterial population is greater than dead, mainly at rainfall season. The metal determination include the analysis of Pb, Fe, Cu and Zn, which was made by means of an analysis of preconcentrated material to determine the concentration of soluble material in the water. These four metals were chosen because they can be of natural way or like polluting agents. The obtained results show that the levels to which registers the analyzed parameters, depend on the season of the year and type of geographic zone since the existing dilution in certain months, as well as the

anthropogenic pressure of the region seems to exert certain ecological pressure on the lake of Xochimilco. The greater microbiological counts and the greater heavy metal concentrations registered at rainfall season; nevertheless, the nutrients were registered in high concentrations at dry season. Based on the obtained results, this study propose actions for the ecological recovery of the lake set out, as it is the one to regularize the black unloading of waters to the lake, nevertheless detected zones with high degree of disturbance, where the actions for their recovery are of greater scale and requires a greater effort human as much economic to obtain it.

Introducción

Vista desde el espacio exterior, la hidrósfera se observa como una región vasta y predominante, sin embargo, la realidad es muy diferente. Por desgracia está sensación de vastedad, es una ilusión, ya que solamente el 3% del volumen total del planeta es agua dulce y tres cuartas partes está fuera de nuestro alcance (Alcocer, 1998).

La situación en México, es más grave, ya que sólo se cuenta con el 0.1% del total de reserva de agua dulce (Toledo *et al.*, 1989), aunado a esta carencia, la densidad poblacional no corresponde con la disponibilidad de los recursos dulceacuícolas, basta mencionar que la disponibilidad de agua *per cápita* se redujo a la cuarta parte de 1850 a 1990 (Ezcurra y Montaña, 1990).

Para acrecentar el problema, la contaminación de los acuíferos ha reducido aún la disponibilidad de este vital líquido. La contaminación de las aguas se relaciona directamente con las actividades antropogénicas, siendo las zonas templadas (entre ellas el D.F.) donde se realizan las actividades industriales, agrícolas y pecuarias más intensas en el país. Estas actividades han propiciado, que en esta región se localicen sistemas acuáticos, con un alto grado de degradación en el país, provocada por la descarga de aguas residuales directamente en los cauces de los ríos, lagos y embalses (SEDESOL, 1993).

El sistema acuático de Xochimilco, se ha visto deteriorado por su reducción gradual, debido a la obstrucción de vías por necesidades urbanas o por manejo

inadecuado (se vacían excedentes de dragado), vertimiento al sistema de agua cada vez una cantidad mayor de desechos biológicos y químicos, problemas que han llevado, entre otras cosas, a la disminución o desaparición de poblaciones animales de la zona (PISA, 1980; Miranda, 1980; Rojas, 1985; Bojórquez et *al.*, 1987; Villa et *al.*, 1987).

Objetivo general

Evaluar la calidad del agua en Xochimilco en un ciclo anual, con la finalidad de generar los elementos para su recuperación.

Objetivos particulares

Evaluar las características físicas, químicas y microbiológicas, como indicadores de la calidad del agua en la zona de canales de Xochimilco.

Determinar la presencia de metales pesados en el agua de los canales de Xochimilco.

Correlacionar la calidad del agua de los canales de Xochimilco con los grupos bacterianos para determinar su posible origen.

Proponer planes de acción para la recuperación de los canales de Xochimilco.

1. Descripción del área de estudio

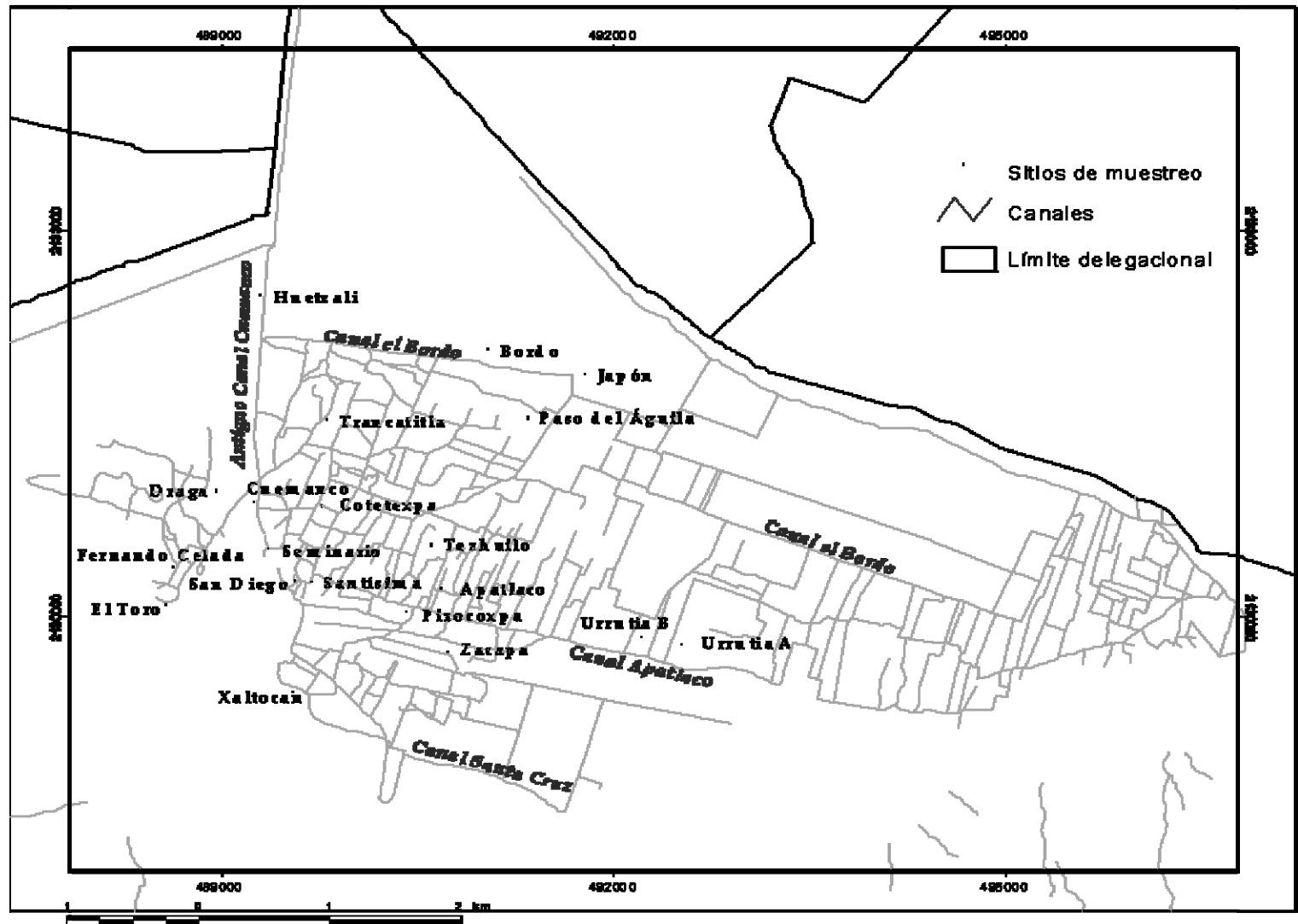
La zona de estudio se localiza a una altitud de 2, 240 msnm, en el sureste de la cuenca de México. Su localización geográfica es 19° 16' latitud norte y de 99° 03' de longitud oeste (García, 1973) y según el sistema de clasificación de Thorntwhite el clima de esta zona se define como ligeramente húmedo, siendo la media anual de 13.7 °C.

Por sus características, el lago de Xochimilco puede clasificarse como un lago tropical; su temperatura superficial oscila entre los 20°C y los 30°C, manteniéndose constante a lo largo del año. Sin embargo, en la actualidad la zona de lago se encuentra reducida a canales conectados en una cuenca cerrada.

El área de canales se localiza en la llamada zona de llanura, la cual se divide en tres zonas principales: Xochimilco, San Gregorio Atlapulco y San Luis Tlaxialtemalco. Su importancia ecológica radica en sus 189 km de canales que constituyen un sistema que comunica y riega las chinampas (DDF, 1988).

El ancho de los canales varía de 1 a 65 m, con una profundidad máxima de 2.25 m, que presentan fluctuaciones en su comportamiento hidráulico debido a la variaciones climáticas, barométricas y topográficas de la zona (Ramírez, 1990).

La principal zona de captación se localiza a lo largo de la ladera norte de la Sierra del Chichinautzin, en el extremo sur de la cuenca de México. Zona que pertenece a la región del Balsas de la cuenca río Grande de Amacuzac, sub-cuenca Río Apatlaco (INEGI, 2001; INECOL, 2002).



Su importancia, en términos de biodiversidad la determina la presencia de comunidades vegetales características, los tulares, islas flotantes compuestas por tule; alberga gran cantidad de especies de flora y fauna tanto acuática como terrestre, algunas de ellas vulnerables y de distribución muy restringida como *Nymphaea mexicana* y el ajolote neoténico *Ambystoma mexicanum* (Comisión Nacional de Áreas Protegidas, 2004)

2. Problemática

Xochimilco es una de las zonas rurales perimetrales a la ciudad de México que ha sido absorbida gradualmente por la mancha urbana y ha servido para la expansión de sus actividades económicas. De este modo, los pueblos de Xochimilco, han sido protagonistas de la expansión urbana incontrolada en el sur de la ciudad de México (Bazant, 2000)

La aparición de asentamientos humanos provocados por los procesos de urbanización, han propiciado un cambio en el uso de suelo de la región y limitado la cantidad de agua que antes fluía hacia los manantiales, originando que las áreas de protección y preservación ecológica hayan disminuido (Vidrio y Ávila, 2000).

El sistema acuático se encuentra transformado por el bombeo y extracción de agua subterránea a través de pozos (Castillo, 1986). El aporte de agua que tiene este sistema se limita a agua pluvial en época de lluvias, aporte de agua tratada proveniente de las plantas de tratamiento de aguas residuales, agua residual sin tratamiento proveniente de los asentamientos humanos irregulares

de la zona, escurrimientos de la Sierra del Chichinautzin, manantiales internos (recarga natural) y el aporte de agua de los ríos Santiago, San Buenaventura, San Lucas, San Gregorio y Milpa Alta (Ejidatarios de Xochimilco, San Gregorio Atlapulco y Tláhuac, 1989).

Actualmente, los canales de Xochimilco han sufrido una alteración provocada por el crecimiento demográfico, aunado a una distribución desigual de la población xochimilca, ya que coexisten pueblos escasamente poblados al lado de zonas densamente pobladas, donde los servicios son insuficientes (Hernández y Sandoval, 2001).

Las descargas de aguas residuales hacia los canales, los asentamientos irregulares cercanos a los canales y la agricultura han ocasionado un incremento de la contaminación microbiológica, provocada por los desechos de origen fecal, así como también un aumento de compuestos fosfatados y nitrogenados provenientes de fertilizantes y productos domésticos de limpieza.

Esto ha propiciado que los servicios ambientales que prestaba esta zona hayan desaparecido o que se presenten con una calidad inferior a la de años anteriores.

Aunado a la deficiente calidad del agua provocado por las presiones antropocéntricas, se suma la presencia del lirio acuático (*Eichornia crassipes*).

Esta especie se vio estimulada por los cambios de calidad del agua, ya que la sobresaturación de elementos orgánicos y salinos, ocasionó un crecimiento desmedido convirtiendo al lirio en una plaga. Esto ha provocando el

azolvamiento de las zonas de almacenamiento y depósitos naturales de agua, así como una evapotranspiración calculada en unos 500 litros por segundo (Hernández y Sandoval, 2001).

3. Dinámica de un ecosistema acuático

La identificación de parámetros que señalen situaciones de degradación tempranas de un ecosistema es fundamental. Sin embargo, aún no existe un criterio objetivo para juzgar la salud del ecosistema y sigue siendo un conflicto de definiciones de conceptos, de procedimientos, de métodos de evaluación y análisis (Rapport, 1992).

Los sistemas acuáticos son dinámicos, complejos y están en cambio constante, de ahí la necesidad imperiosa de identificar criterios que permitan evaluar su estado de salud, basados en su caracterización (Schaeffer *et al.*, 1988).

Las técnicas de diagnóstico deben incluir, la definición de su estado desde el punto de vista ambiental, la identificación de parámetros que permitan cuantificarla y procedimientos para su análisis e interpretación (Schaeffer *et al.*, 1988).

La contaminación de aguas naturales, tanto por agentes químicos como biológicos es un problema a nivel mundial. Las aguas dulces superficiales son importantes, no solamente porque constituyen las principales fuentes de consumo, sino porque constituyen el hábitat de la vida tanto animal como vegetal.

El proceso de eutrofización, consiste en el enriquecimiento de las aguas con elementos nutritivos a un ritmo tal, que no puede ser compensado por su eliminación definitiva mediante la mineralización. El exceso de materia orgánica producida por este cambio, hace disminuir la concentración de oxígeno en las aguas profundas, ocasionando la asfixia de gran número de animales acuáticos. A partir de esto, la acción de bacterias aerobias que son las que en condiciones naturales llevan a cabo la autodepuración del agua, son sustituidas por bacterias anaerobias facultativas que contribuyen a la aceleración del proceso de eutrofización de un cuerpo de agua (Margalef, 1977).

La eutrofización puede ser provocada por la evolución natural del cuerpo de agua o puede ser resultado de actividades humanas, entre las cuales se encuentran las actividades agrícolas y ganaderas aledañas a los cuerpos de agua, factores que provocan según Scot *et al.* (2000) carga de nutrientes inorgánicos (compuestos nitrogenados y fosfatados) y orgánicos (carbono).

Por tanto, la cantidad de nutrientes determinan el estado trófico del agua, el cual se divide en tres niveles (Reinert y Hroncich, 1990):

- Oligotróficos.- Cuerpos de agua con baja cantidad de nutrientes y mínima actividad microbiológica. Se trata generalmente de lagos profundos, con aguas pobres en nutrientes y, por tanto, las algas no proliferan excesivamente, las aguas son claras y penetra la luz con facilidad, hay buena oxigenación del agua.

- Mesotróficos. Cuerpos de agua con moderada cantidad de nutrientes y moderada actividad microbológica
- Eutróficos. Cuerpos de agua con alta cantidad de nutrientes, así como alta actividad microbológica, con aguas ricas en nutrientes lo que facilita la proliferación de las algas.

Las fuentes de eutrofización principalmente son de dos tipos (Reinert y Hroncich, 1990):

- Eutrofización natural. La eutrofización es un proceso que se va produciendo lentamente de forma natural en todos los lagos del mundo, dado que van recibiendo nutrientes
- Eutrofización de origen humano. Los vertidos humanos aceleran el proceso hasta convertirlo, muchas veces, en un grave problema de contaminación. Las principales fuentes de eutrofización son los vertimientos urbanos, que aportan detergentes y desechos orgánicos, los vertimientos de actividades ganaderas y agrícolas, que aportan fertilizantes, desechos orgánicos y otros residuos ricos en diferentes formas de fósforo y nitrógeno.

4. Aspectos Físicoquímicos

La contaminación acuática se puede resumir como la adición de un compuesto hecha por el hombre a un cuerpo de agua, alterando su composición (Lloyd, 1992). Motivo por el cual, es importante conocer las características físicoquímicas de un cuerpo de agua y la alteración que pueda tener por

compuestos u organismos ajenos a su condición original. Para determinar las condiciones fisicoquímicas de los canales, se realizaron análisis que incluían la determinación de parámetros físicos como: profundidad, temperatura, pH, turbidez y conductividad. La determinación de parámetros químicos incluyó el análisis de amonio, nitritos, nitratos, fósforo total y carbono orgánico total.

4.1. Temperatura y pH

En un ecosistema acuático uno de los factores físicos es el movimiento convectivo de las aguas, generado por las diferencias de temperatura, que afecta de manera directa o indirecta cada uno de los procesos que se llevan a cabo en estos ambientes (Langelier, 1946).

Otro factor físico importante es el pH, el cual es una medida del equilibrio ácido-base alcanzado por diversos compuestos disueltos. Los sistemas acuáticos naturales generalmente se encuentran en equilibrio cuando el pH tiene valores entre 6.5 y 8.5 (Langelier, 1946).

4.2. Turbidez

La apariencia del agua puede ser un factor significativo para determinar el grado de eutrofización de un cuerpo de agua, en gran parte porque los componentes que dan esta apariencia son fácilmente perceptibles (Tate *et al.*, 1990).

La turbidez en el agua es causada por la presencia de sólidos suspendidos como arcillas, materia orgánica e inorgánica, y organismos microscópicos en general. Aun cuando la turbidez es una medida indirecta de la presencia de

materia suspendida en un cuerpo de agua, este parámetro no proporciona información acerca del origen, tipo y tamaño de las partículas (Tate *et al.*, 1990).

4.3. Conductividad

El grado de mineralización del agua se expresa en forma de conductividad eléctrica y alcalinidad, la cual está fuertemente asociada con la productividad primaria presente en la misma, es decir, el estado trófico del agua aumenta conforme se mineraliza, y al aumentar los iones por medio de esta mineralización, la conductividad eléctrica actúa como un indicador del estado trófico del cuerpo de agua (Alcocer y Escobar, 1992).

4.4. Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto proviene de la difusión a través de la interfase aire-agua y de los organismos fotosintéticos que liberan oxígeno al medio. La solubilidad del oxígeno aumenta conforme baja la temperatura y disminuye conforme se presentan sales disueltas en el agua (Odum, 1972).

4.5. Nitrógeno

Los nutrientes que tienen la mayor influencia en el agua son los compuestos del fósforo y nitrógeno. En algunos ecosistemas el factor limitante es el fósforo, como sucede en la mayoría de los lagos de agua dulce, mientras que el nitrógeno es el factor limitante para las plantas acuáticas.

En el agua, las formas de nitrógeno se clasifican como parte del estado de oxidación del ciclo del nitrógeno. Los compuestos nitrogenados tienen dos tipos

de fuentes: una alóctona (externa) y otra autóctona (interna). La primera se refiere a aquellos compuestos inorgánicos disueltos como nitratos o amoníaco, los cuales son utilizados por las plantas. Los compuestos de origen autóctono son el resultado de procesos de fijación llevados a cabo por bacterias y algas (Reid y Wood, 1976).

Se entiende como la suma de nitratos y nitritos al nitrógeno total oxidado, estos compuestos pueden originar problemas como el crecimiento de plantas acuáticas, propiciando una eutrofización acelerada (Jiménez, 2001).

Los nitratos son un elemento esencial para los organismos autótrofos fotosintéticos, se le considera como un nutriente limitante del crecimiento (Jiménez, 2001). Sin embargo, fuera de equilibrio, ocasiona problemas tal como el crecimiento exacerbado de plantas, acción conocida como eutrofización acelerada (OMS, 1995).

Los nitritos se encuentran en un estado medio de oxidación del nitrógeno, el ácido nitroso, que es formado de soluciones ácidas de nitritos puede reaccionar con aminas para formar nitrosaminas en el agua, las cuales son conocidas por ser carcinogénicas (OMS 1995).

El nitrógeno amoniacal se presenta en forma natural en aguas superficiales y residuales. El amoníaco se encuentra en el agua como ión amonio (NH_4), y es el producto inicial en la descomposición del nitrógeno orgánico. En condiciones aeróbicas, es oxidado en nitritos y estos en nitratos; (Holdren *et al.*, 2001) Estos últimos son el contaminante nitrogenado que se encuentra con mayor

frecuencia en el agua, ya que además de ser un producto natural es un producto industrial (Jiménez, 2001).

4.6. Fósforo

El fósforo es esencial para el crecimiento de organismos en el agua, sin embargo, cuando se encuentra en cantidades muy altas propicia la estimulación de micro y macro organismos fotosintéticos provocando problemas de eutrofización (Holdren *et al.*, 2001). El fósforo en el agua se presenta en forma de fosfatos, los cuales han sido clasificados según APHA (1998) en:

- Ortofosfatos. Utilizados en zonas de cultivo, ya que son un componente de los fertilizantes, estos compuestos generalmente son drenados hacia los cuerpos de agua mediante filtraciones de agua provenientes de la lluvia
- Fosfatos condensados. Son el principal compuesto de productos utilizados para la limpieza doméstica, tales como los detergentes
- Fosfatos orgánicos. Formados originalmente por procesos biológicos y contribuyen en la contaminación del agua, estos provienen de descargas de agua domésticas a los cuerpos de agua. Estos fosfatos pueden ser formados también por los ortofosfatos o mediante procesos biológicos derivados de la biota natural del agua.

4.7. Carbono orgánico

La materia orgánica en el agua se puede medir mediante parámetros como el carbono orgánico total que se basa en la medición de CO₂ liberado al oxidar la materia orgánica (APHA, 1998). El carbono orgánico (COT) en el agua, está compuesto por una variedad de compuestos orgánicos en estado de oxidación por procesos biológicos y químicos (APHA, 1998).

La producción de la materia orgánica comienza con la fijación de carbono por el fitoplancton, el cual constituye la base de la cadena trófica en los cuerpos de agua. Dicho carbono, es transferido hacia niveles tróficos altos. Sin embargo, gran parte de este se pierde por exudación y excreción de los organismos (Croll, 1972).

La materia orgánica particulada (MOP) se encuentra principalmente en forma de detritos, constituidos por heces, tejido muerto, mudas y agregados. Sólo una pequeña fracción de esta materia alcanza los sedimentos principalmente en forma de partículas grandes, como heces con altas capacidad de hundimiento.

El carbono de la biomasa microbiana puede utilizarse en forma efectiva que la materia orgánica en general, o el carbono orgánico total en particular, como indicador de las variaciones sufridas en la calidad de un suelo, ya que responde de forma rápida y sensible a los cambios que se puedan producir en el mismo (degradación, contaminación, usos del suelo etc.). Así, las medidas a corto plazo de la biomasa microbiana, pueden marcar la tendencia de la materia orgánica a largo plazo. También se ha empleado como índice de comparación entre sistemas naturales y degradados (Ford, 1968).

5. Aspectos microbiológicos

La microbiología acuática se refiere a la comunidad de microorganismos bacterianos que habitan este ambiente, el cual ocupa el 70% del total de área superficial del planeta (Scot *et al.*, 2000).

El primer producto de un ambiente acuático es la microbiota (que es la responsable de la mitad de la producción primaria en la Tierra) que incluye bacterias, virus, algas, y algunos tipos de micro fauna. La cantidad de esta producción primaria depende de las condiciones ambientales, dentro de estos factores se incluyen la disponibilidad de nutrientes o compuestos inorgánicos tales como el nitrógeno y fósforo, temperatura y turbidez, misma que afecta la cantidad de luz que reciben los organismos en una columna de agua (Scot *et al.*, 2000).

Cuando las algas mueren son descompuestas por las bacterias en procesos aeróbicos que consumen el oxígeno. Al terminarse el oxígeno muchos restos organismos quedan depositados en el fondo, sufriendo procesos anaeróbicos que desprenden gases (H_2S), dando un aspecto nauseabundo a las aguas en los casos de eutrofización extrema.

Este último caso, es uno de los factores que provoca el incremento de actividad microbiológica, así como aspectos visibles como son el aumento de color y turbidez, que son sólo algunos efectos que determinan la calidad del agua (Reinert y Hroncich, 1990).

Para determinar la actividad microbiológica en los canales de Xochimilco, se realizó un análisis de la viabilidad bacteriana, así como la determinación de dos indicadores microbiológicos de contaminación, los cuáles fueron enterococos fecales y coliformes fecales de la familia *Enterobacteriaceae*.

5.1. *Enterobacteriaceae*

Esta familia incluye a patógenos como *Yersinia pestis*, *Salmonella typhi*, y *Escherichia coli*, y han sido aisladas de la sangre, fluidos del cuerpo, aparato respiratorio y de la orina del ser humano. Son patógenos oportunistas causantes de infecciones intestinales, manifestándose principalmente en diarreas así como de infecciones nosocomiales y septicemias (Wadstrom *et al.*, 1976).

Aún cuando son un componente de la flora intestinal del ser humano, no es normal encontrarla en otras partes del cuerpo. Varias especies de las enterobacterias causan infecciones extraintestinales siendo más comunes en el tracto urinario, seguido de infecciones en el aparato respiratorio y sistema nervioso central (Wadstrom *et al.*, 1976).

Las características generales de las enterobacterias según Farmer (1995) son:

- Son bacterias gramnegativas, las cuales no son formadoras de esporas
- Son móviles o no móviles, son anaerobias y anaerobias facultativas
- Fermentan D-glucosa, seguido de una producción de gas
- Puede reducir nitratos a nitritos

- Están ampliamente distribuidas en el medio ambiente ya que pueden sobrevivir en suelos, plantas, agua y en intestinos animales, incluido el ser humano

5.2. Enterococos

Este género comprende bacterias grampositivas, que por lo regular son de forma oval, son anaerobias facultativas y su crecimiento óptimo es a 35 °C, aunque hay algunas especies que crecen a 10 y 45 °C, la movilidad de este género sólo se puede observar en algunas especies (Alcamo, 1997).

Los enterococos pueden encontrarse tanto en agua, como en suelo, pertenecen a la flora microbiana intestinal del hombre y los animales, siendo *Enterococcus faecalis* la especie predominante (Facklam, 1972).

6. Metales pesados

La contaminación por metales en el agua, suelo y aire constituye un gran problema para la salud ya que alcanza en algunos casos niveles tóxicos, estos son incrementados por desechos industriales y domésticos. Los ambientes contaminados por metales son zonas de alto riesgo ecológico (Timberley y Pepper, 2001). Algunos ejemplos de metales contaminantes son el cobre (Cu) y el zinc (Zn) ya que son utilizados en plaguicidas en campos agrícolas, el plomo (Pb), por ejemplo, es utilizado en la producción de baterías, envolturas y en aleaciones.

El problema radica en que los metales difícilmente pueden ser degradados mediante procesos naturales, consecuentemente son difíciles de remover del

medio ambiente. Otro problema es que las concentraciones de metales totales en el ambiente no necesariamente reflejan el grado de toxicidad de cada uno de ellos y algunos son de uso para los organismos biológicos (Timberley y Pepper, 2001).

Los metales se han dividido en tres clases: metales, metaloides y metales pesados. Los metales en general son una clase de elementos químicos que son buenos conductores de electricidad y calor. Sin embargo hay excepciones como el mercurio que se presenta de forma líquida (APHA, 1998).

Como resultado de la complejidad química para clasificar a los metales, estos han sido clasificados según sus efectos y funciones biológicas (APHA, 1998), así tenemos:

- Metales esenciales con funciones biológicas. Dentro de los metales que tienen funciones biológicas en los microorganismos tenemos al sodio (Na), potasio (K), magnesio (Mg), calcio (Ca), vanadio (V), manganeso (Mn), fierro (Fe), cobalto (Co), níquel (Ni), cobre (Cu) y el zinc (Zn), donde el sodio (Na), potasio (K), magnesio (Mg) y el calcio (Ca) son requeridos por los organismos. En general, estos metales son requeridos en la catálisis de enzimas, transporte molecular, estructuras proteicas y control en la presión osmótica. Cabe resaltar que aún cuando estos metales son esenciales para los organismos, en altas concentraciones pueden llegar a ser tóxicos, tal es el caso del cobre (Cu).

- Metales tóxicos. Los metales tóxicos son aquellos que no tienen funciones biológicas, incluyen a la plata (Ag), cadmio (Cd), estaño (Sn), oro (Au), mercurio (Hg), plomo (Pb), aluminio (Al), y los metaloides germanio (Ge), arsénico (As), antimonio (Sb) y selenio (Se), por su diferencia química con los metales, los metaloides tienen en el organismo efectos tóxicos diferentes. Los metales se encuentran presentes como especies cationicas, mientras que los metaloides se encuentran como especie aniónica.
- Metales no esenciales. Los metales no esenciales incluyen a rubidio (Rb), cesio (Cs), estroncio (Sr), y el titanio (Ti), estos metales algunas veces se encuentran acumulados en las células como resultado de secuestro y transportes no especificados, sin embargo estos no parecen tener efecto algunos en las células.

Metales tales como el aluminio Al, antimonio (Sb), arsénico (As), cadmio (Cd), plomo (Pb), mercurio (Hg), y la plata (Ag), pueden generar, hipofosfatemia, problemas cardiacos, cáncer, enfermedades neurológicas y cardiovasculares, encefalopatía y problemas en el sistema nervioso central (Timberley y Pepper, 2001).

6.1. Efectos tóxicos de los metales en la célula microbiológica

Por la naturaleza iónica de los metales tóxicos, pueden pegarse a diferentes ligaduras celulares, desplazando a los metales esenciales de su sitio original en las células, por ejemplo el argón (Ar) puede reemplazar al fosfato en la célula.

Los metales también pueden romper proteínas, originando un cambio en la composición, función y conformación del ADN, el cadmio (Cd) compite con el zinc (Zn) natural en las células. Los metales pueden afectar la fosforilización oxidativa afectando también la permeabilidad de la membrana, específicamente el mercurio (Hg) y el vanadio (V) (Timberley y Pepper, 2001).

7. Metodología

7.1. Trabajo de campo

En este estudio se determinó la calidad del agua de los canales de Xochimilco mediante análisis fisicoquímicos, microbiológicos y de metales pesados. El muestreo se realizó durante el periodo anual 2003-2004, cubriendo las épocas de lluvias y secas.

El primer muestro correspondiente a la época de lluvias se realizó durante el segundo semestre (septiembre a diciembre) del año 2003. El segundo muestreo correspondiente a la época de secas, se llevó a cabo durante el primer semestre (enero a junio) del año 2004.

7.2. Selección de las zonas de muestreo

En trabajos previos (Ramírez, 1990; Hernández y Sandoval, 2001; Bojórquez y Villa, 1995; Sandoval, 2003) se analizó la calidad del agua en distintos canales de Xochimilco, encontrándose diferentes grados de contaminación, por lo que la selección de los sitios de muestreo se basó en datos de estos trabajos, principalmente en el de Sandoval (2003). Dentro de los sitios analizados destacan tres tipos de zonas:

- Zona turística: Está zona se caracteriza por la transformación de las áreas chinamperas aledañas a los canales en zonas ocupadas por asentamientos humanos y en los cuales se observa actividad turística.

- Zona chinampera o lacustre: Aquí se realizan las actividades agrícolas, donde destacan el cultivo de hortalizas, plantas de ornato y flores. También se observa actividades de pastoreo tanto bovino como vacuno.
- Zona de recarga de agua: En estos sitios se recargan los canales de agua mediante descargas provenientes de las plantas tratadoras de agua de San Luís Tlaxiátemalco y del Cerro de la Estrella (0.225 m³ y 1 m³ respectivamente de acuerdo con Hernández y Sandoval, 2001).

Las salidas para la toma de muestras se realizaron en lunes y martes por la mañana. La cantidad de agua para cada análisis fue colectada en frascos de polipropileno de 1L de la marca Nalgene (esterilizados a 115 atmósferas de presión, durante 15 minutos). Las muestras fueron tomadas a la mitad de profundidad de cada sitio (suponiendo que si se tomaban a está profundidad se tendría menor interferencia de los sedimentos, así como una muestra más homogénea) después fueron almacenadas y transportadas a 4°C a los laboratorios correspondientes, para realizar los análisis en el menor tiempo posible.

7.3. Descripción de los sitios estudiados en la zona de canales de Xochimilco

A continuación se describe las características visuales de los sitios analizados:

Tabla 1. Descripción de los sitios analizados

Apatlaco	Este lugar por su extensión se iba a utilizar como la pista de Remo y canotaje para las Olimpiadas de 1968. Se realizan en un extremo del canal actividades agrícolas principalmente cultivo de flores y plantas de ornato, y por el otro extremo existen
----------	---

	asentamientos humanos bien establecidos
Bordo	En este canal se realizan actividades agrícolas (hortalizas) y de pastoreo (bovino y vacuno), es de las zonas aparentemente menos perturbadas
Cotetexpan	Zona de asentamientos humanos irregulares, existen algunos invernaderos en los que se cultivan plantas y flores
Cuemanco	Canal paralelo a la pista de remo y canotaje Olímpica "Virgilio Uribe" se encuentra un club de remo (Club España), y se realizan actividades agrícolas (de invernadero así como hortalizas), deportivas y turísticas
Draga	Zona de recarga de agua proveniente de la planta del Cerro de la Estrella, se encuentran asentamientos humanos comunes y bien establecidos
Fernando Celada	Zona de embarcaderos, aledaño a zona urbana
Huetzali	Zona recreativa, aparentemente sin mucha perturbación y aledaño al Parque Ecológico de Xochimilco
Japón	Zona agrícola (hortalizas) y por la inaccesibilidad o alejado de los asentamientos humanos es de las zonas que aparentan estar menos perturbadas, y es un canal de salida de agua hacia el canal de Chalco
Paso del Águila	Zona agrícola (hortalizas) y de pastoreo (vacuno)
Pizocoxpa	Zona agrícola (de invernadero), con asentamientos humanos irregulares
San Diego	Este sitio es de las zonas analizadas más perturbadas, aquí existen asentamientos humanos y descargas de aguas residuales no tratadas a los canales, así como una zona de recarga de agua proveniente de la planta del Cerro de la Estrella
Santísima	Al igual que San Diego es de las zonas más perturbadas, en este sitios existen asentamientos humanos regulares e irregulares, así como la crianza de cerdos
Seminario	Zona de asentamientos humanos regulares, actividades agrícolas (invernadero) y ganaderas (bovinos)
Tezhuilo	Zona agrícola y donde en los 2 últimos meses del año se realizan actividades culturales. Es de las zonas que aparentemente tienen menos perturbación
Toro	Zona turística algunos asentamientos humanos y así como zonas agrícolas
Trancatitla	Zona agrícola y de pastoreo
Urrutia A	Zona agrícola y de los lugares más alejados de los canales
Urrutia B	Es de los sitios más alejados donde también se realizan actividades agrícolas (de invernadero)
Xaltocan	Zona de descarga de agua de las plantas de tratamiento provenientes del Cerro de la Estrella, zona aledaña a la zona urbana y de asentamientos humanos regulares
Zacapa	Zona agrícola (invernadero) pero con asentamientos humanos irregulares y regulares
	Zonas mixtas (asentamientos humanos con zonas agrícolas, ganaderas y turísticas)
	Zonas de descargas de agua para la recarga de los canales
	Zonas principalmente agrícolas y de pastoreo

7.4. Análisis fisicoquímico

Los parámetros físicos se midieron *in situ* con el equipo multisensor modelo Quanta de la marca Hydrolab, los límites de detección o sensibilidad para los parámetros analizados fueron:

Profundidad (Precisión, ± 0.1 m)

Temperatura (precisión ± 0.01 °C)

Turbidez (precisión ± 0.1 UNT)

pH (precisión (0.001)

Conductividad eléctrica (precisión (0.001 $\mu\text{s/cm}$)

Para el análisis químico, se utilizó un espectrofotómetro portátil de la marca HACH, Modelo DR2400, utilizado de acuerdo con el manual de técnicas de HACH, 2002. Para realizar los análisis de carbono orgánico total y fósforo total, se requirió realizar una digestión de muestras, para lo cual se utilizo un digestor de la marca HACH modelo DRB200 (Digital Reactor Block 200):

Fósforo total, método de digestión ácida con persulfato (1 a 100 mg/L)

Amonio, método de silicato (0.4-50 mg/L)

Nitritos, método del sulfato ferroso (2-250 mg/L)

Nitratos método de reducción con cadmio (0.1-10 mg/L)

Carbono orgánico total método directo (0.3-150 mg/L)

7.5. Análisis Bacteriológico

Para realizar la cuantificación bacteriológica de las coliformes fecales y enterococos fecales, las muestras de agua fueron analizadas siguiendo el método de filtración a través de membrana (Murray, 1995; APHA, 1998).

Para las filtraciones de agua, se utilizaron membranas de 0.45 μm (acetato de celulosa Millipore MF tipo HA, Millipore Corp. Bedford, MA, USA) así como cojinetes absorbentes cuando los medios eran líquidos, como fue el caso de las coliformes fecales.

Debido a que se esperaba encontrar una alta densidad bacteriana (Sandoval, 2003) se decidió realizar diluciones para poder cuantificar las colonias de bacterias de 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} y 10^{-5} en amortiguador de fosfatos a pH 7, para lo cual se tomó 1 mL de muestra por 9 mL de buffer. Una vez realizada la dilución, se homogenizó con un vortex GENIE Modelo SI-T236 y se filtró a través de las membranas, las cuales fueron colocadas en los medios de cultivo:

- Caldo M-FC (Becton Dickinson, Cockeysville, MD, USA) para coliformes fecales
- Agar KF (Becton Dickinson, Cockeysville, MD, USA) para enterococos fecales

Los enterococos fueron incubados por 48 horas a 35°C y las coliformes fecales a 44.5 °C durante 24 horas (APHA, 1998). Después se cuantificaron y se reportaron en unidades formadoras de colonias por cada 100 mL (UFC/100 mL).

Finalmente, para establecer una tendencia del origen de la contaminación fecal en el agua, se utilizó el cociente coliformes fecales/enterococos fecales propuesto por Geldrich y Kenner (1969), el cual mediante el resultado obtenido (>4 evidencia de contaminación fecal de origen humano, 2 – 4 evidencia de contaminación de desechos mixtos en el agua, < 2 evidencia de contaminación animal en el agua) nos permite suponer que origen tiene la contaminación fecal en el agua.

7.6. Análisis de viabilidad de biomasa bacteriana

Este análisis se realizó en el Programa de Inmunología Molecular Microbiana de la Facultad de Medicina de la UNAM. El equipo que se utilizó para realizar los conteos fue un citómetro de flujo Modelo COULTER EPICS de la Marca ALTRA, bajo la dirección y supervisión de la Dra. Antonia Isabel Castillo Rodal, los marcadores y soluciones utilizados para realizar la tinción fueron:

- Diacetato de fluoresceína (DAF): Este fluorocromo es un compuesto regularmente incoloro que puede penetrar la membrana celular; sin embargo, dentro de las células vivas, éste es hidrolizado por esterasas intracelulares inespecíficas, convirtiéndolo en un compuesto colorido incapaz de salir de la membrana celular intacta. La cantidad que se ocupó por muestra fue de 5 mg/mL de acetona conservada a -20 °C
- Ioduro de propidio (IP): Este compuesto marca las células muertas, debido a que su membrana celular se intercala con el DNA. La cantidad usada por muestra fue de 1 mg/1mL de buffer de fosfatos (PBS).

Para este análisis se centrifugó a 10, 000 rpm 1 litro de agua de los canales, en una centrífuga de la Marca Sorvall, Modelo Super T21, de donde se obtuvieron alícuotas, las proporciones utilizadas para la toma de lectura bacteriana fueron:

- 10 microlitos de solución stock DAF (DAF + acetona) / 1mL de alícuota, la cual se conservó 30 minutos en la oscuridad a 37 °C.
- 100 microlitos de solución stock IP (IP + PBS) / 1mL de alícuota, la cual se incubó por 15 min en la oscuridad.

Finalmente, se tomaron 0.5 mL de cada solución preparada (sol stock DAF + sol stock IP) y se incubaron por 15 min en la oscuridad, una vez terminado este tiempo se realizó el conteo en el citómetro.

El láser utilizado para la determinación de los dos colorantes fue argón 488 nm y la longitud de absorción/emisión fue para IP 535/617 nm y para DAF: 510-530 nm.

7.7. Análisis de metales pesados

Este análisis se realizó en el Instituto de Física de la UNAM, bajo la dirección y supervisión de la Dra. Corina Solís, se utilizó el acelerador Tandem de 3 MV (NEC 9SDH-2 Pelletron) utilizado para determinar las concentraciones de metales en el agua.

El análisis de metales pesados se realizó mediante el método de pre-concentración basado en la extracción de elementos como los carbamatos que a un pH ácido precipitan y son colectados por filtración usando un agente acarreador

(Ghermandi *et al.*, 1996). El procedimiento para obtener la fracción insoluble fue el siguiente:

- Se colocó la muestra de agua en botellas de polipropileno de alta densidad lavadas con ácido sulfúrico en solución 1:1 con agua destilada
- Se midió el pH y la temperatura en el momento del muestreo
- Se tomaron 200 mL, medidos de formas volumétricas
- Se filtraron en membranas de acetato de celulosa de 0.45 μm de apertura de poro (Millipore MF tipo HA, Millipore Corp. Bedford, MA, USA).

El filtrado fue colectado en botellas de polipropileno de alta densidad y se llevaron para su conservación a un pH 2 (ácido) con 1.5 mL de ácido nítrico (HNO_3) 65% Suprapure (Merck) y se refrigeraron a 4°C.

La fracción soluble, se obtuvo del filtrado de 200 mL, de donde se tomaron 50 mL, los cuales se ajustaron a pH 4 con NH_4OH Suprapure (Merck). Después se añadieron 100 mg de paladio (Pd CertiPure) como estándar interno de referencia y se agregó una solución preparada de la siguiente forma (solución de 60 mL para 12 muestras):

- 180 mg de NaDDTC (diethyldithiocarbamate sodium, $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{NNaS}_2\cdot 3\text{H}_2\text{O}$, Merck)
- 360 mg de APDC ($\text{C}_5\text{H}_{12}\text{N}_2\text{S}_2$, Merck ammonium pyrrolidinedithiocarbamate)
- 3600 mg de ácido ascórbico L (+) (Merck)

- 240 mg de Cupferron GR $C_6H_9N_3O_2$ (Merck)

Estos elementos se mezclaron en 45 mL de agua desionizada y bidestilada, después se agregaron 360 mg de Oxina (8-hidroquinolina C_9H_7NO Merck), disuelta en 15 mL de 2-propanol Merck, esta solución siempre se preparó al momento del procesamiento de las muestras (Mireles, 2004).

De la solución resultante se tomaron 5 mL y se mezclaron por 5 minutos con 50 mL de muestra y el paladio, se dejó reposar por 30 minutos. Transcurrido el tiempo se filtró la solución a través de una membrana de acetato de celulosa de 0.45 μm de apertura de poro (Nucleopore de 25 mm de diámetro). La membrana obtenida ya seca, se pesó y montó en un marco de transparencia, después se guardó en un desecador hasta su análisis por PIXE (emisión de rayos X inducida por partículas). Este segundo procedimiento se realizó con la finalidad de obtener la fracción soluble de la muestra.

El análisis PIXE consiste en el bombardeo de protones de 3MeV (mega electro volts) de energía a una muestra, para este procedimiento se utilizó un acelerador Tándem de 3MV (NEC 9SDH-2 Pelletron) del Instituto de Física de la UNAM. Los rayos X resultantes de este bombardeo, fueron recabados y descifrados por un detector de germanio LEGeCanberra, para después ser procesados en un preamplificador, amplificador y en un analizador multicanal.

Por último se aplicó el programa “The Guelph PIXE software pack” (GUPIX) para calcular las concentraciones de metales finales en el agua (Maxwell *et al.*, 1989; Kennedy y Markwitz, 2002).

7.8. Análisis estadístico

Para este trabajo se utilizó el programa EXCEL 2003 (Microsoft, USA) y se realizó un análisis de varianza de dos dimensiones, el cual se utilizó para registrar si existía diferencia estadística (representado por un valor crítico para “F”) entre los sitios y época del año analizados (origen de las variaciones). De esta manera se registró si existía diferencia estadística entre los mismos sitios en diferente época del año (filas) o si existía diferencia estadística en general en las dos épocas del año (columnas).

8.- Resultados

El ecosistema acuático analizado en este estudio, por sus características, se puede considerar como un lago originalmente reducido a un sistema de canales, conectados en un sistema de tipo léntico, lo que hace posible entender que tipo de perturbación es la que afecta a ciertas áreas en particular.

Los problemas presentes en los canales, pueden ser por varias causas, entre las que destacan el arrastre de sólidos provocado por la lluvia, descargas de aguas residuales clandestinas, desechos arrojados por el turismo y condiciones insalubres de la población, lo que ha provocado que este ecosistema presente una disminución del área acuática debido a la acumulación de sedimentos y residuos sólidos, provocando que en varios sitios el estancamiento de agua provoque mal olor, signo de una eutrofización acelerada.

Sin embargo, las condiciones de deterioro de los canales no son iguales en todas las zonas, por lo que se estructuró este trabajo con diversos análisis, que incluyen el estudio de parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y de metales pesados, con el fin de conocer que problemática afecta a cada zona en particular.

8.1. Parámetros físicos

Las variables analizadas para conocer las condiciones físicas de los sitios estudiados fueron profundidad, turbidez, temperatura, pH y conductividad, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 2.

8.1.1. Profundidad

La profundidad que se observó en época de lluvias en los diferentes sitios fue de más de 1.0 m, presentando sitios con ligeras variaciones como fueron Santísima, Huetzali y Zacapa. Así también, los canales de mayores dimensiones como Apatlaco y Japón, registraron una profundidad mayor a 2 m (Figura 1).

En época de secas, se presentó un mayor número de sitios con profundidades menores a un metro, estos fueron La Santísima, Urrutia B, Zacapa y Huetzali. Resultados lógicos tomando en cuenta la evaporación provocada por la temperatura en relación con la época del año. Sin embargo, las zonas de recarga de agua tratada proveniente de las plantas de tratamiento, no siguieron esta tendencia, incluso la profundidad fue mayor que en época de lluvias, estos sitios fueron: Fernando Celada, Xaltocan y Urrutia B, este último aparentemente no tiene la función de zona de recarga de agua, sin embargo, se pudo observar superficialmente una tubería que descarga agua hacia este canal. Por los valores estadísticos obtenidos por el valor crítico ("F"), podemos decir que estadísticamente si existe una diferencia entre las dos épocas del año (ver anexo I).

8.1.2. Turbidez

La turbidez es una medida de transparencia en el agua, la cual es ocasionada por la presencia de partículas sólidas en suspensión o coloidales con un diámetro de aproximadamente $0.1\mu\text{m}$, que impiden que la luz se transmita tal como lo haría en el

agua pura (Seoáñez, 1999). La turbidez fue registrada en unidades nefelométricas de turbidez (UNT). De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) el agua potable debe contener entre 5 y 25 UNT (CEPIS, 2004) considerando este parámetro solo por referencia y no por comparación debido al diferente uso que tiene el agua en ambos casos, nos podemos dar una idea del grado de materia suspendida que presentan los canales de Xochimilco.

En época de lluvias se registró un promedio de 24.76 UNT, presentado los sitios Fernando Celada, El Bordo y Huetzali con el mayor registró de UNT (Figura 2). En época de secas el promedio fue de 44.47 UNT. Los resultados estadísticos muestran que si existe una diferencia estadística significativa entre épocas del año y entre los mismos sitios (Anexo I).

8.1.3. Temperatura

La temperatura regula los procesos químicos y biológicos del agua (Tchobanoglous, 1987; Lampert y Sommer, 1997) así como en los organismos acuáticos (Weatherley y Gill, 1989) y otros organismos. Este parámetro no presentó grandes diferencia entre las épocas analizadas, incluso en la época de secas donde se esperaría una mayor temperatura en el agua no ocurrió así (Figura 3), siendo que en época de lluvias la temperatura tuvo un promedio de 21.14°C y en época 20.23°C, cabe señalar que los sitios donde los asentamientos humanos fueron escasos fue donde se registraron las menores temperaturas. Estadísticamente no se registraron diferencias (Anexo I).

8.1.4. pH

El pH, es un parámetro que indica la concentración de protones presentes en una disolución acuosa, es una medida de la acidez o alcalinidad del agua (Boyd, 1982; Lampert y Sommer, 1997; Seoáñez, 1999).

El pH en época de lluvias mantuvo una tendencia básica, con una media de 8.02 (Figura 4) y en época de secas la tendencia fue la misma, presentando una media de 8.65.

Estadísticamente se registró una diferencia entre épocas del año y entre los mismos sitios (aunque la tendencia es alcalina en ambas épocas). Esta diferencia entre épocas puede ser propiciada por la temperatura, ya que al variar disminuye o aumenta la solubilidad de las sales, afectando las especies iónicas, provocando una variación en los niveles de pH (Anexo I).

La dilución existente en época de lluvias hace que este parámetro sea ligeramente menor que en época de secas, donde hay menor concentración de sales en el agua producto de la dilución.

8.1.5. Conductividad

La conductividad se refiere a la resistencia del agua para permitir el paso de electricidad. El agua en estado puro no presenta carácter conductor, debido al bajo grado de disolución iónica. Cuando existen compuestos disueltos en el agua

disociados en iones, es cuando la conductividad aumenta indicando contaminación del cuerpo de agua (Seoanez, 1999).

Cuando los niveles alcanzan los 10, 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la contaminación es causada generalmente por desechos de tipo industrial, cuando se trata de una contaminación de tipo doméstico las lecturas son aproximadamente de 50 y 1, 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (APHA, 1998). La conductividad promedio obtenida en este estudio en época de lluvias fue de 1, 510 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y en época de secas 810 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 5). El aumento de conductividad los canales en época de lluvias, puede deberse por el acarreo de materia de diferente origen, ocasionado por las corrientes de agua provocadas por el escurrimiento en época de lluvias. Estadísticamente no se registraron diferencias significativas entre épocas (Anexo I).

Tabla 2. Registro de los parámetros físicos en lluvias del 2003 y secas del 2004 en los canales de Xochimilco

Sitios	Profundidad (m) lluvias	Profundidad (m) secas	Turbidez (UNT) lluvias	Turbidez (UNT) secas	Temperatura (°C) lluvias	Temperatura (°C) secas	pH lluvias	pH secas	Conductividad (μS/cm) lluvias	Conductividad (μS/cm) secas
Apatlaco	2.20	1.10	22.30	43.70	23.93	19.56	8.21	8.51	1260	820
Bordo	1.20	0.70	44.80	68.90	22.27	20.50	9.12	9.71	933	760
Cotetexpan	1.60	0.60	14.50	24.50	21.16	19.53	7.36	8.35	860	740
Cuemanco	1.80	1.50	19.60	35.70	21.30	22.65	8.79	9.64	1250	780
Draga	1.80	0.70	19.80	17.40	22.40	20.58	7.95	8.41	1720	760
Fdo. Celada	1.00	2.20	43.40	106.0	20.81	19.75	7.89	8.17	1290	840
Huetzali	0.90	0.50	76.10	1130	20.42	20.24	9.36	10.43	65	740
Japón	2.00	1.20	17.30	39.40	23.60	20.70	8.32	8.90	1260	770
Paso del Águila	1.00	0.50	22.40	36.40	22.64	20.69	8.11	9.07	1220	750
Pizocoxpa	1.30	1.20	28.70	22.60	22.64	20.75	8.11	8.16	1130	790
San Diego	1.30	0.70	21.60	18.60	21.09	20.21	7.33	8.14	820	730
Santísima	0.80	0.46	20.30	137	21.50	20.02	7.40	8.06	820	740
Seminario	1.80	0.90	13.70	22.50	21.16	18.76	7.37	8.35	850	910
Tezhuilo	1.40	1.20	17.40	48.50	23.08	20.12	8.23	8.59	1190	810
Toro	1.10	0.70	17.80	38.10	21.83	19.72	7.95	8.99	1860	900
Trancatitla	1.40	0.70	24.50	32.40	12.38	19.49	8.16	7.99	1120	800
Urrutia A	1.30	1.10	20.00	17.10	19.40	19.60	7.74	7.85	870	1070
Urrutia B	0.80	1.10	0.80	8.30	19.45	17.39	7.79	8.17	870	1060
Xaltocan	1.20	1.60	27.80	37.80	21.10	20.94	7.34	9.28	830	760
Zacapa	0.90	1.00	22.50	21.60	20.71	20.50	7.90	8.31	1200	770

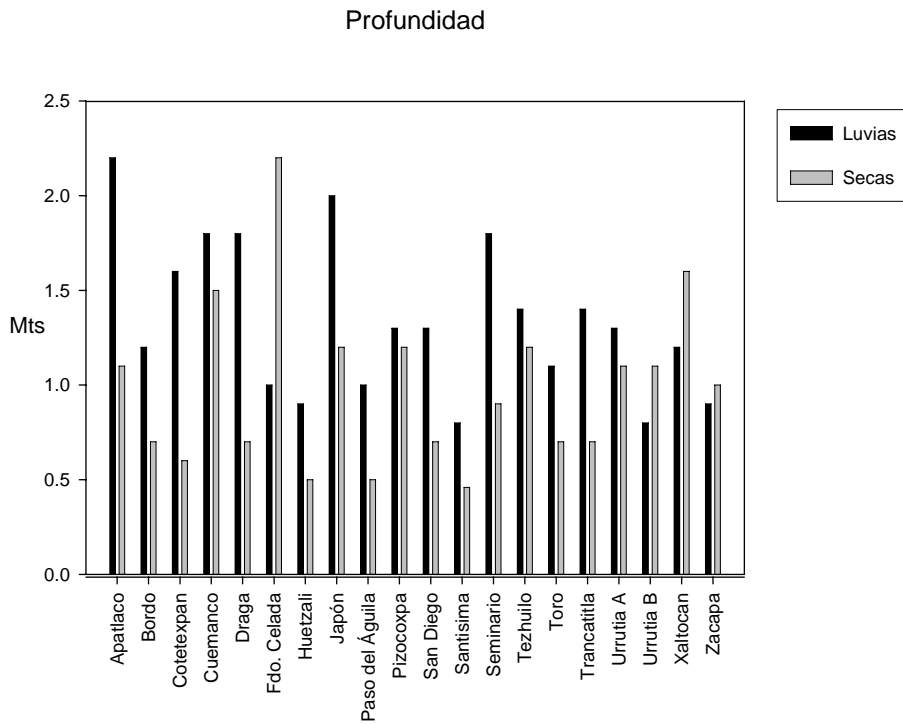


Figura 1. Profundidad registrada en los canales de Xochimilco en el período 2003-2004

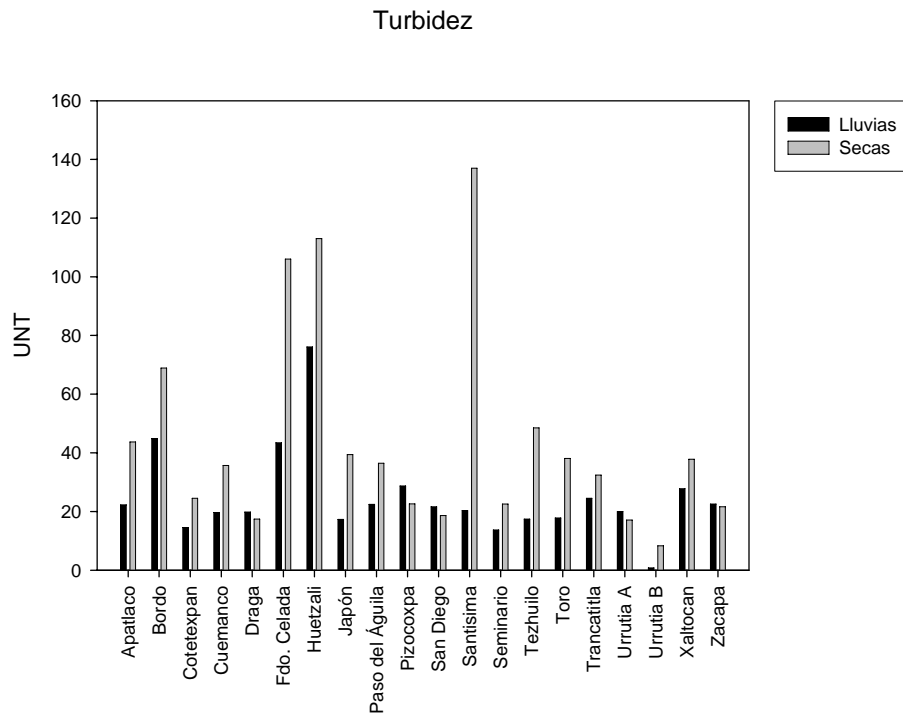


Figura 2. Turbidez registrada en los canales de Xochimilco en el período 2003-2004

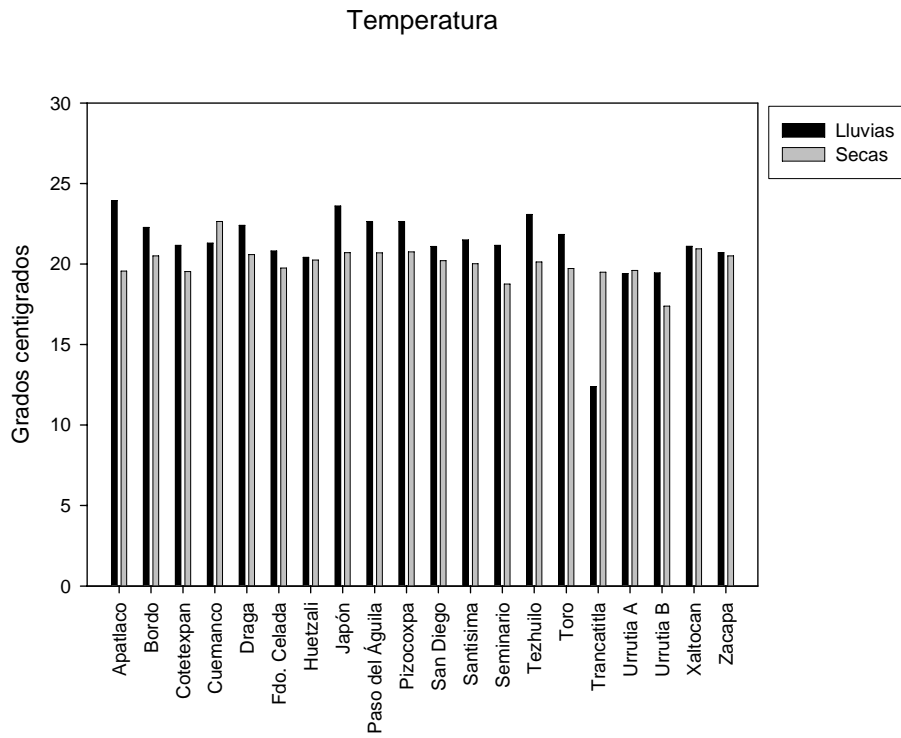


Figura 3. Temperatura registrada en los canales de Xochimilco en el período 2003-2004

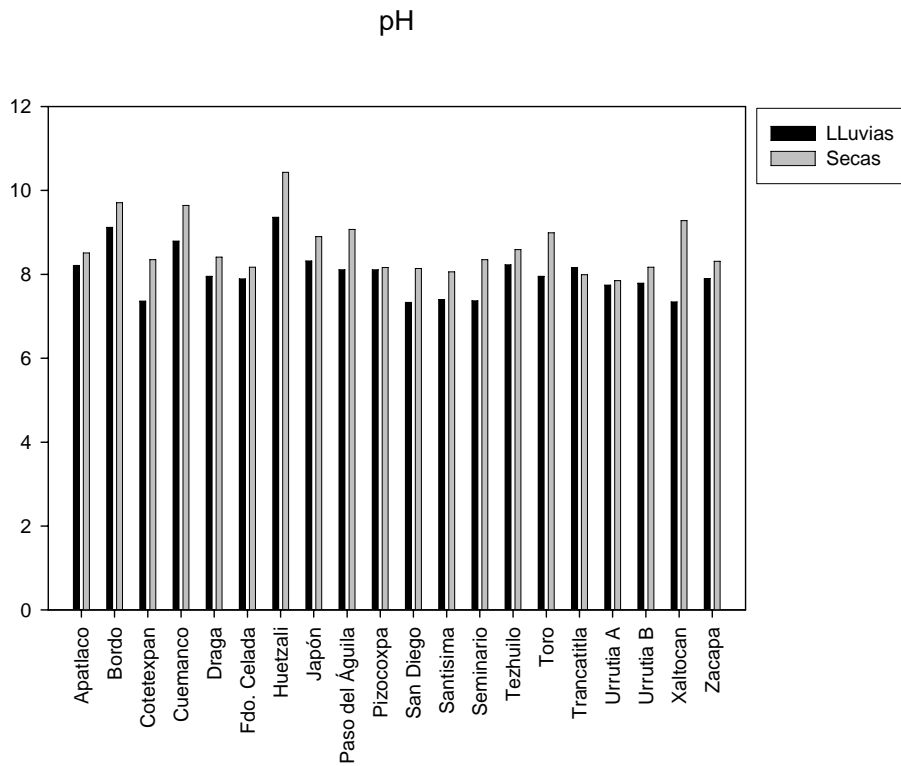


Figura 4. pH registrado en los canales de Xochimilco en el período 2003-2004

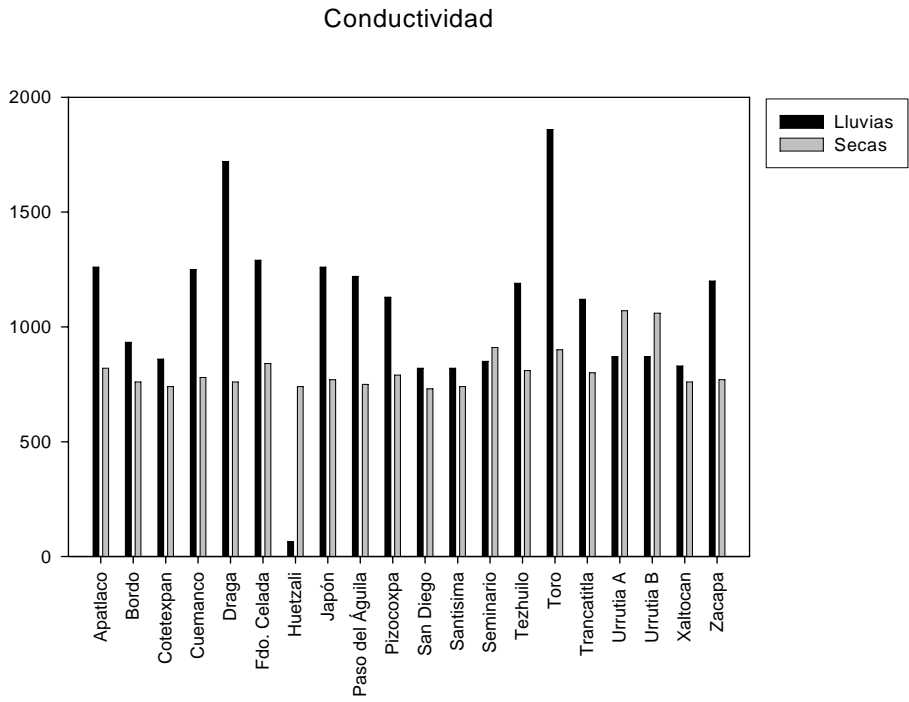


Figura 5. Conductividad registrada en los canales de Xochimilco en el período 2003-2004

8.2. Parámetros químicos

La eutrofización como se mencionó, es un proceso de evolución rápida de un cuerpo de agua, en nuestro caso es un sistema de canales, que antiguamente formaban un lago. Esta eutrofización puede ser acelerada por la acumulación de nutrientes, provenientes de los aportes de actividades humanas.

Los nutrientes que son indicadores de que la cantidad de materia orgánica aumenta en un cuerpo de agua son el nitrógeno y el fósforo, los cuales son causantes, entre otras cosas, de la proliferación de algas que impiden el paso de la luz y oxigenación en un cuerpo de agua.

Sin embargo, el problema no termina con este crecimiento, ya que al morir las plantas, se depositan en el fondo, descomponiéndose y propiciando condiciones anaerobias, provocando que con la acumulación de materia y la evaporación de las plantas de la superficie, el lago se transforme en un pantano (Jiménez, 2001).

Por tales motivos, se incluyeron en este estudio, el análisis de nutrientes inorgánicos que fungieran como indicadores de presencia de materia orgánica en el agua, por lo tanto se midieron las concentraciones de fósforo total, amonio, nitritos, nitratos y carbono orgánico total (Tabla 3).

Los canales analizados en este estudio presentaron concentraciones diferentes en cuanto a cantidad de nutrientes. En general se observó que las concentraciones de los cinco parámetros analizados (amonio, nitritos, nitratos, fósforo total y carbono orgánico total) aumentaron en la época de secas, a excepción de sitios

como Urrutia B que su concentración de amonio, nitritos y carbono orgánico total fue más alta en época de lluvias que en época de secas, así también Urrutia A presentó una mayor concentración de carbono orgánico total en época de lluvias que en época de secas.

En esta época los sitios que presentaron una mayor concentración de nutrientes fueron aquellos donde los asentamientos humanos eran más abundantes, pero los sitios más alejados de esta mancha urbana también se vieron afectados por estas concentraciones aunque en menor proporción.

La falta de agua pluvial en época de secas, propicia que la dilución del agua sea menor, originando que las concentraciones de nutrientes aumente; durante el ciclo estudiado se observó principalmente el aumento de fósforo total, además de que en esta época las descargas de agua tratada a los canales aumentan, agua que en teoría debería ser de buena calidad o cuando menos de una calidad superior a la de los canales de Xochimilco, lo cual no ocurre.

8.2.1. Amonio

El amonio se presenta naturalmente en aguas superficiales producto de la hidrólisis de urea (APHA, 1998). Sin embargo, es producto también de desechos domésticos, agrícolas y procesos industriales (Seoáñez, 1999). El amonio en época de lluvias promedio 0.59 mg/L, siendo Seminario, Santísima, San Diego, Zacapa y Fernando Celada los sitios que presentaron las mayores

concentraciones (Figura 6), cabe resaltar que estos sitios tienen una fuerte influencia urbana.

En época de secas el promedio fue de 2.93 mg/L, en general todos los sitios presentaron un aumento de este nutriente, los sitios que presentaron las mayores concentraciones fueron Xaltocan, Fernando Celada y Seminario. Estadísticamente si existe una diferencia entre las épocas del año (Anexo I).

8.2.2. Nitritos y nitratos

Las actividades agrícolas realizadas en la zona, aunadas al arrastre natural provocado por las lluvias, puede ser el factor para que los niveles de nitritos y nitratos fuesen altos. Además de que las características climáticas (como son la aireación y humedad) favorecen la oxidación del nitrógeno reducido a nitrato proveniente de la materia orgánica en el suelo (Colin, 2001).

Mientras que los nitritos pueden entrar al sistema de varias formas ya que es un compuesto común utilizado en los fertilizantes, además de que son empleados como inhibidores de corrosión en procesos industriales o puede ser producto de la preoxidación parcial del amoníaco (Jiménez, 2001) proveniente de aguas residuales de la zona de asentamientos irregulares en Xochimilco, así como de desechos pecuarios provenientes de los diferentes criaderos de animales domésticos de la zona.

Los nitritos promediaron en época de lluvias 0.52 mg/L y en época de secas el promedio fue de 0.59 mg/L. Como se mencionó anteriormente, las zonas que

presentaron las mayores concentraciones, fueron aquellas donde existe una actividad agrícola intensa así como sitios donde se realiza la recarga de agua a los canales.

En la época de lluvias se registraron las mayores concentraciones de este nutriente en Cotetexpan y Seminario que se distinguen por ser sitios donde se realizan actividades agrícolas, así como también se registraron altas concentraciones en La Santísima donde las actividades ganaderas y uso de suelo habitacional colinda con los canales (Figura 7). Estadísticamente no se presentaron diferencias (ver Anexo I).

En época de secas, con excepción de Fernando Celada, Cotetexpan, Pizocoxpa, San Diego, La Santísima, Seminario, Trancatitla y Urrutia B, todos los demás presentaron un aumento en sus concentraciones en comparación a la época de lluvias. Siendo los sitios agrícolas Cotetexpan, Huetzali, Urrutia A y Zacapa los que presentaron las mayores concentraciones de este nutriente.

Los nitratos en época de lluvias presentaron una media de 6.19 mg/L, los sitios que presentaron las mayores concentraciones fueron Cotetexpan, Fernando Celada, San Diego, La Santísima y Trancatitla (Figura 8).

En época de secas el promedio obtenido fue de 4.83 mg/L, los sitios que presentaron las mayores concentraciones fueron Cotetexpan, San Diego, Pizocoxpa y Zacapa. Aún cuando no se registraron diferencias estadísticas entre épocas en general, si existe diferencia entre sitios en particular (ver Anexo I).

8.2.3. Carbono orgánico total

El carbono orgánico es una medición precisa de la cantidad de materia orgánica disuelta y suspendida presente en una columna de agua (Colin, 2001). Este elemento promedió en época de lluvias 49.96 mg/L, siendo Zacapa el sitio con mayor concentración.

En época de secas la media de este nutriente fue de 49.55 mg/L, siendo Tezhuilo y Japón los que mayor concentración presentaron (Figura 9). Cabe resaltar que los sitios donde se realizan actividades mixtas tales como agrícolas, habitacionales y de pastoreo, a excepción de Japón que se puede considerar por sus características, el efluente del sistema de canales de Xochimilco, donde se realizan generalmente sólo actividades ganaderas, principalmente vacuno, fueron las que presentaron las mayores concentraciones. Estadísticamente no se registraron diferencias significativas (Anexo I).

8.2.4. Fósforo total

El fósforo en un sistema acuático juega un papel trascendental, ya que puede fungir, junto con los compuestos nitrogenados, como un nutriente limitante (Nurnberg, 1996). Este nutriente puede provenir de varias fuentes ya sea de animales, fertilizantes, detergentes, suelos y descargas de agua.

Por lo cual, es un elemento que puede provenir de diversos orígenes, lo que es un problema para zonas que abarcan diversas problemáticas, como es el caso de Xochimilco, ya que generalmente la población aledaña, turismo, recarga de aguas

semitratadas y las diversas actividades económicas originan una gran cantidad de sólidos suspendidos en los canales.

El fósforo puede generarse de manera natural, proveniente de la materia orgánica que se encuentre en el sistema acuático o puede provenir de manera abiótica principalmente de los vertimientos de agua residual proveniente de asentamientos humanos de la zona, provocando que los niveles de fósforo se incrementen.

Debido a que se acumula en los sedimentos de los cuerpos de agua, así como para evitar la proliferación de algas, es recomendable que este nutriente se encuentre en concentraciones menores a 0.5 mg/L (Jiménez, 2001), sin embargo, en nuestro estudio ningún sitio registró una concentración tan baja. Cabe resaltar que las altas concentraciones de fósforo pueden estimular el crecimiento de micro y macro organismos fotosintéticos lo que puede provocar un aceleramiento de la eutrofización (Lampert y Sommer, 1997).

Visualmente se pudo observar en todos los sitios una importante presencia de lirio acuático, el promedio de este nutriente en época de lluvias fue de 7.07 mg/L, siendo los sitios la Draga, La Santísima y Urrutia A como los que mayor concentración presentaron (Figura 10). En época de secas el promedio general fue mayor que el de época de lluvias (9.57 mg/L) siendo Apatlaco, Pizocoxpa, Seminario y Urrutia A, como los sitios que presentaron las mayores concentraciones.

Estadísticamente si se registró una diferencia entre épocas del año (Anexo I).

Tomando como referencia la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 (DOF, 1997) se comparó el fósforo total obteniendo que, a excepción del el Bordo y Huetzali en las dos épocas analizadas, Cuemanco y Urrutia B en épocas de secas, Cotetexpan, San Diego y Seminario en época de lluvias, todos los demás sitios presentaron un nivel por encima de lo establecido en la norma oficial Mexicana, siendo Apatlaco, Fernando Celada, Pizocoxpa, Seminario en época de secas y Urrutia A en época de lluvias los sitios que presentaron las mayores concentraciones de este nutriente.

Siendo el fósforo uno de los indicadores más confiables del estado trófico de un cuerpo de agua, se puede suponer que la eutrofización en los canales de Xochimilco se debe a las altas concentraciones de este nutriente, el cual puede provenir de diversas zonas, incluso de los sitios donde se recargan de agua los canales.

Tabla 3. Comparación del nutriente Fósforo Total y la NOM-001-ECOL-1996 Protección a la vida acuática

Sitios	secas	Lluvias
Apatlaco	12.7	8.3
Cotetexpan	11.3	1.5
Cuemanco	3.8	6.2
Draga	10.2	11.1
El Bordo	4	4.4
Fdo. Celada	12	8.6
Huetzali	4.3	2.9
Japon	8.2	6.7
Paso del Aguila	11.5	8.2
Pizocoxpa	12.9	8

San Diego	10.8	4.1
Santisima	11	10
Seminario	12.3	1.2
Tezhuilo	11.1	7.7
Toro	9.9	9.8
Trancatitla	10.6	9
Urrutia A	12.2	11.3
Urrutia B	0.6	8.8
Xaltocan	10.5	6.9
Zacapa	11.5	6.7

A	Norma Oficial Mexicana NOM-001 ECOL 1996 para protección de la vida acuática, (5 mg/L)
	Sitios que sobrepasan los niveles permitidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-001 ECOL 1996

Tabla 4. Registro de los parámetros químicos de la estación de lluvias del 2003 y secas del 2004 en Xochimilco, D.F.

Sitios	Amonio mg/L llluvias	Amonio mg/L secas	Nitritos mg/L llluvias	Nitritos mg/L secas	Nitratos mg/L llluvias	Nitratos mg/L secas	COT mg/L llluvias	COT mg/L secas	Fósforo total mg/L llluvias	Fósforo total mg/L secas
Apatlaco	0.60	1.10	.13	0.70	5.80	5.20	8.3	38.0	8.30	12.70
Bordo	0.30	0.30	<Lim. Detec	0.10	0.60	1.30	60.0	63.0	4.40	4.0
Cotetexpan	1.00	5.20	1.60	1.20	17.80	9.30	39.0	29.0	1.50	11.30
Cuemanco	<Lim. Detec.	<Lim. Detec	.07	0.60	2.00	3.60	64.0	34.0	6.20	3.80
Draga	0.60	2.30	.05	0.50	1.60	4.60	66.0	63.0	11.10	10.20
Fdo. Celada	1.50	7.60	0.12	0.10	12.90	3.70	8.60	72.0	8.60	12.0
Huetzali	<Lim. Detec	<Lim. Detec	<Lim. Detec	1.40	0.50	2.10	59.0	60.0	2.90	4.30
Japón	<Lim. Detec	<Lim. Detec	.05	0.70	2.50	1.00	6.70	114.0	6.70	8.20
Paso del Águila	<Lim. Detec	<Lim. Detec	0.12	0.40	5.40	2.10	8.20	33.0	8.20	11.50
Pizocoxpa	<Lim. Detec	4.50	0.70	0.20	4.30	9.60	9.0	13.0	8.00	12.90
San Diego	1.60	2.90	0.80	0.70	10.30	11.20	60.0	49.0	4.10	10.80
Santisima	1.60	5.10	1.70	0.60	16.80	8.50	28.0	42.0	10.0	11.0
Seminario	1.90	7.60	1.30	0.90	7.10	6.20	101.0	43.0	1.20	12.30
Tezhuilo	0.20	1.20	0.12	0.20	5.20	3.00	7.70	109.0	7.70	11.10
Toro	<Lim. Detec	1.90	0.03	0.60	2.20	2.70	9.80	33.0	9.80	9.90
Trancatitla	0.50	1.10	1.10	0.10	15.30	3.80	47.0	34.0	9.0	10.60
Urrutia A	0.50	0.60	1.10	1.20	0.60	4.10	72.0	22.0	11.30	12.20
Urrutia B	0.30	3.40	1.00	0.10	1.00	3.60	75.0	30.0	8.80	0.60
Xaltocan	0.10	12.80	0.12	0.50	6.40	1.70	90.0	68.0	6.90	10.50
Zacapa	1.10	1.00	0.44	1.00	5.60	9.40	80.0	42.0	6.70	11.50

Amonio

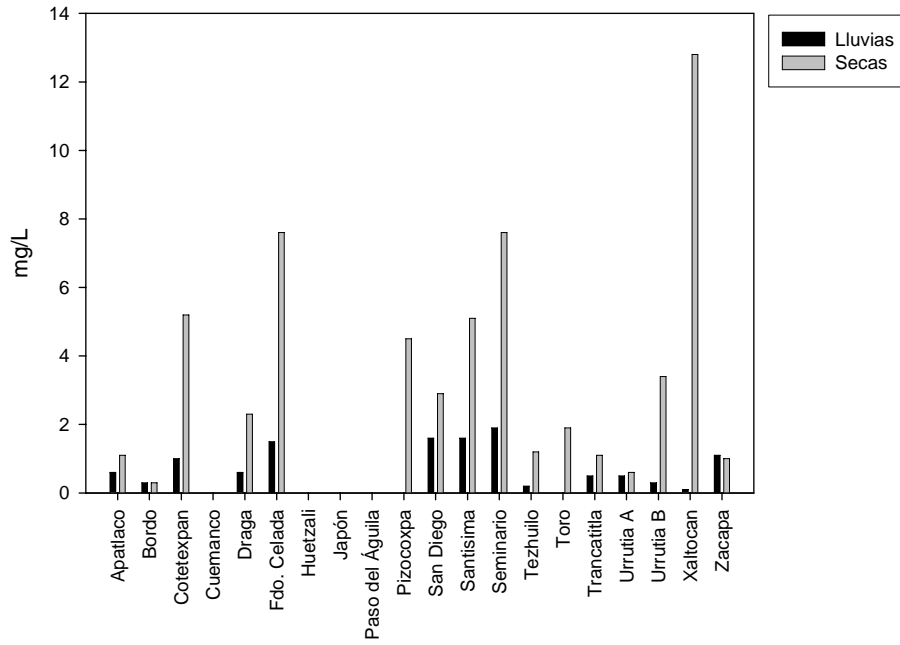


Figura 6. Concentración de amonio en mg/L registrado en los canales de Xochimilco en el ciclo 2003-2004

Nitritos

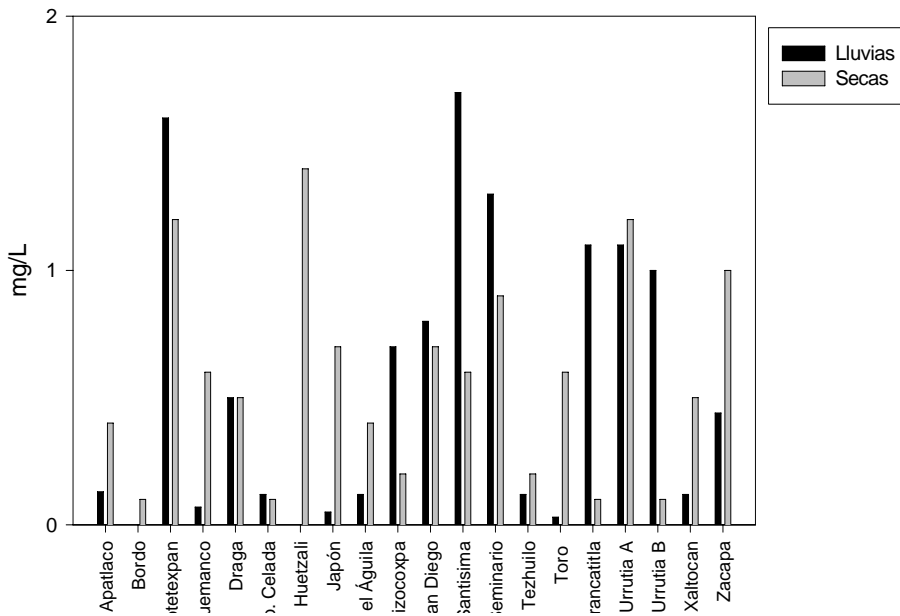


Figura 7. Concentración de nitritos en mg/L registrado en los canales de Xochimilco en el ciclo 2003-2004

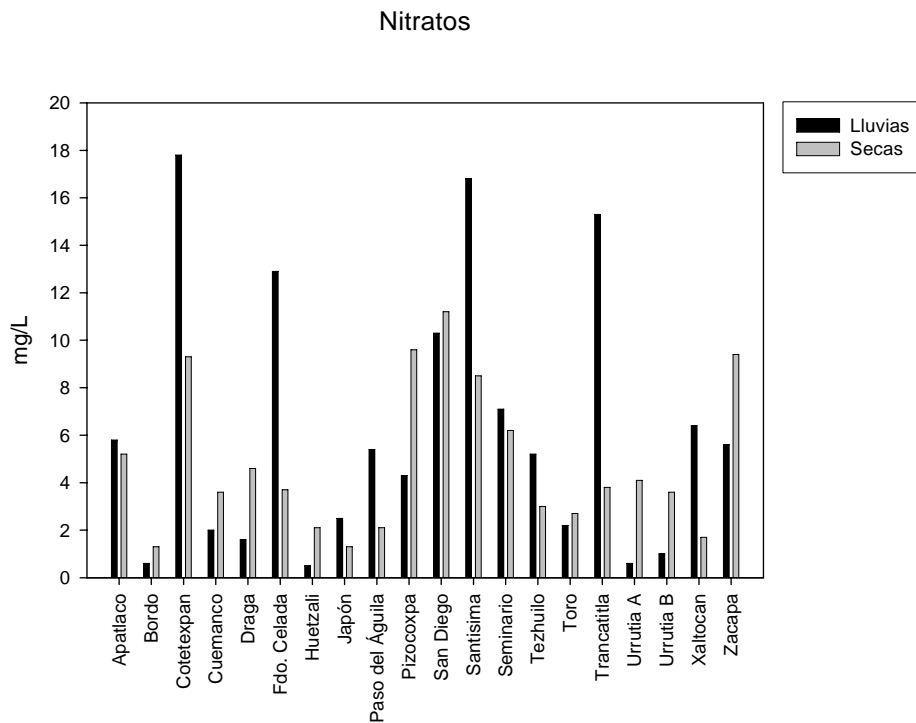


Figura 8. Concentración de nitratos en mg/L registrado en los canales de Xochimilco en el ciclo 2003-2004

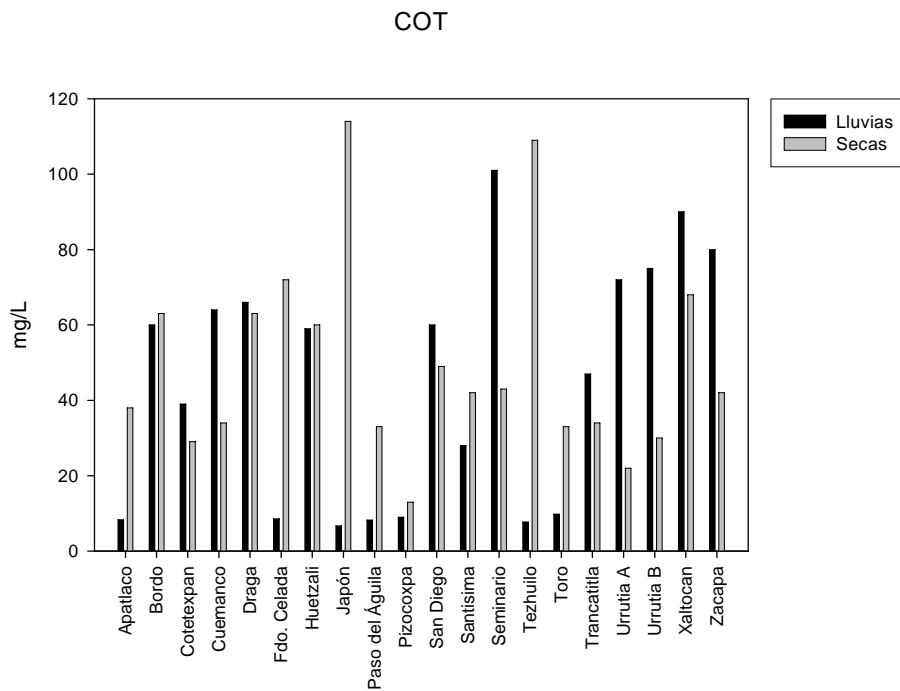


Figura 9. Concentración de COT en mg/L registrado en los canales de Xochimilco en el ciclo 2003-2004

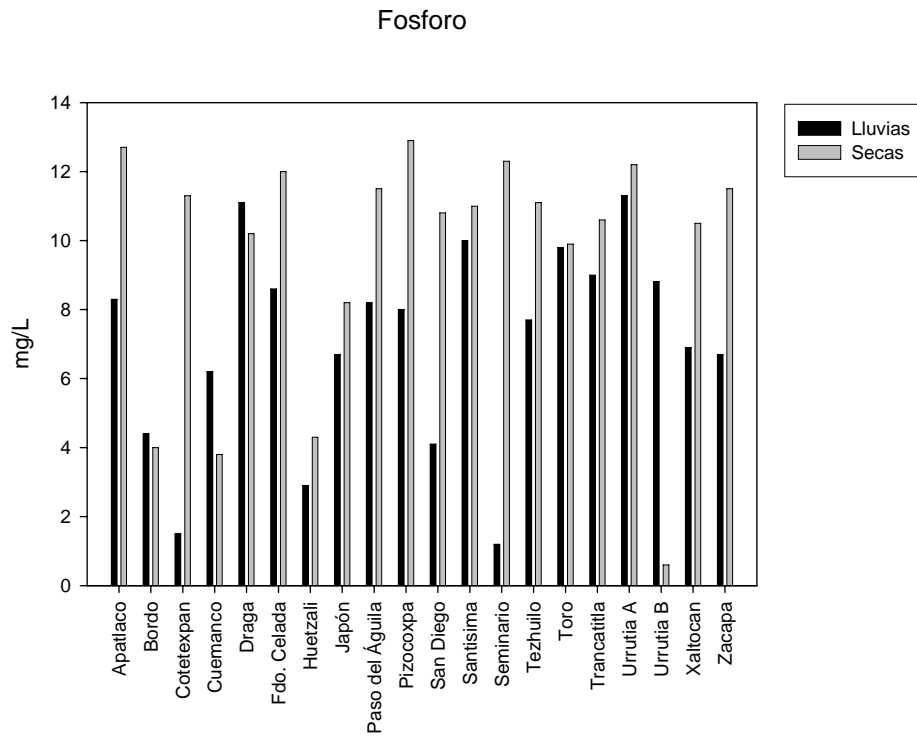


Figura 10. Concentración de fósforo total en mg/L registrado en los canales de Xochimilco en el ciclo 2003-2004

8.3. Análisis microbiológicos

Las altas cantidades de materia orgánica, reflejados en los nutrientes inorgánicos analizados en este estudio, hacen suponer que existe la formación de micro y macro organismos fotosintéticos, que puede provocar el aceleramiento de eutrofización en el cuerpo de agua, favoreciendo así mismo la actividad bacteriana.

8.3.1. Viabilidad de la biomasa bacteriana

Para tener una idea más exacta de porcentaje en biomasa bacteriana presente en el cuerpo de agua de este estudio se utilizó una técnica de citometría de flujo. Entre las ventajas que tuvo la técnica que se utilizó, consistió en conocer el porcentaje de biomasa bacteriana viva y muerta con base en una medida de 10,000 partículas.

Este análisis sirvió para estimar qué cantidad de bacterias, traducida en porcentaje, se mantiene activa y con posibilidades de reproducción en una columna de agua. Los resultados muestran que en época de lluvias el porcentaje de biomasa bacteriana viva fue de 56.3% y de 40.8% en época de secas. El promedio de biomasa bacteriana muerta fue de 13.8% en época de lluvias y en época de secas fue de 11.9% (figura 11 y 12).

Sin embargo, los sitios Japón y Trancatitla en época de lluvias y en época de secas Cuemanco, Cotetexpan y Huetzali, tuvieron una población mayor de biomasa bacteriana muerta que viva. El promedio obtenido de los porcentajes muestra que la población de biomasa bacteriana viva fue mayor en época de secas que en época de lluvias. Los resultados obtenidos para cada sitio en las dos épocas del año se muestran en la Tabla 5.

8.3.2. Estimación de indicadores de contaminación fecal en el agua

Se cuantificaron por duplicado en este estudio las unidades formadoras de colonias (UFC) de bacterias coliformes fecales y enterococos fecales en la Tabla 6, los cuales son utilizados como indicadores de contaminación fecal en el agua (APHA, 1998). Los resultados obtenidos mostraron que las zonas de descarga de agua en conjunto con las que están en zonas de asentamientos humanos y donde se practican actividades turísticas, fueron las que presentaron los mayores conteos de coliformes fecales, los sitios con conteos relativamente altos fueron San Diego, Santísima, Seminario y Xaltocan.

Para los enterococos fecales los sitios más afectados continuaron siendo los mismos que para coliformes fecales; sin embargo, las zonas donde existen actividades de pastoreo, principalmente bovino y vacuno, que por lo general también son lugares donde se practica la agricultura presentaron altos conteos de este indicador como fue el caso de Apatlaco, Bordo y Japón.

8.3.3. Estimación del origen de la contaminación fecal en el agua

De manera adicional, para tener una idea general del origen de la contaminación en el cuerpo de agua, se aplicó un cociente propuesto por Geldreich y Kenner (1969), el cual ayuda a observar tendencias sobre si la materia fecal es de origen humano, animal o proviene de desechos mixtos (Tabla 7). Los resultados mostraron que en época de secas tres sitios mostraron la evidencia de contaminación fecal de origen humano (Cuemanco, Apatlaco y Tezhuilo), cuatro sitios mostraron contaminación con desechos mixtos (Bordo, Huetzali, Toro y Urrutia A) y los sitios restantes mostraron evidencia de contaminación fecal predominantemente de origen animal.

Para época de lluvias dos sitios mostraron evidencia de contaminación fecal de origen humano (Seminario y San Diego), así mismo dos sitios mostraron contaminación por desechos mixtos (Draga y Xaltocan) y los restantes mostraron evidencia contaminación fecal de origen animal.

Aún cuando estos no son datos determinantes, debido al diferencial existente entre las dos categorías que utiliza este cociente (Toranzos *et al.*, 2007) esta estimación nos permite señalar que la tendencia de la contaminación microbiológica en este cuerpo de agua se debe predominantemente a desechos de origen animal, sin dejar de ser importante la contaminación de origen humano y por desechos mixtos.

Tabla 5. Datos de la Viabilidad bacteriana en los canales de Xochimilco D.F., en época de lluvias del 2003 y secas del 2004.

Sitios	Porcentaje de la población total bacteriana en época de lluvias	Población bacteriana viva en época de lluvias %	Población bacteriana muerta en época de lluvias %	Porcentaje de la población total bacteriana en época de secas	Población bacteriana viva en época de secas %	Población bacteriana muerta en época de secas %	Medida total en partículas
Apatlaco	95.0	27.2	13.9	99.9	82.0	11.95	10000
Bordo	89.9	12.1	7.6	79.8	24.8	5.8	10000
Cotetexpan	87	71.0	10.0	87.7	2.6	4.3	10000
Cuemanco	97.1	69.4	23.8	76.3	3.2	4.0	10000
Draga	97.7	70.1	10.1	93.8	1.3	30.4	10000
Fdo. Celada	93.7	69.5	21.1	97.8	0.6	25.4	10000
Huetzali	87.0	57.5	1.7	93.1	1.0	2.1	10000
Japón	95.3	5.7	22.8	83.6	46.0	9.0	10000
Paso del Águila	98.2	29.2	14.2	95.3	63.8	4.1	10000
Pizocoxpa	95.1	67.5	22.1	99.5	39.0	4.1	10000
San Diego	94.8	69.3	17.9	95.7	75.3	13	10000
Santisima	96.0	69.3	14.9	93.9	76.6	7.7	10000
Seminario	95.4	70.8	14.8	93.6	48.5	7.8	10000
Tezhuilo	89.7	53.4	11.5	80.1	68.2	0.2	10000
Toro	98.3	73.2	18.4	95.8	63.8	4.1	10000
Trancatilla	91.6	5.7	7.9	75.4	65.9	4.4	10000
Urrutia A	87.1	83.3	2.6	94.7	0.8	42	10000
Urrutia B	88.7	84.3	2.6	90.4	80.6	0.3	10000
Xaltocan	88.9	73.1	5.7	97.4	0.5	56.5	10000
Zacapa	87.1	66.0	34.0	69.8	72.6	0.9	10000

Tabla 6. Indicadores de contaminación microbiológica en los canales de Xochimilco correspondiente a la época de lluvias del 2003 y secas del 2004.

Sitios	Coliformes fecales lluvias	Coliformes fecales secas	Enterococos fecales lluvias	Enterococos fecales secas
Apatlaco	7500	3500	45000	3000
Bordo	<2	50000	35000	60000
Cotetexpan	11500	300000	20000	20000
Cuemanco	7500	1000	25000	4500
Draga	160000	20000	95000	100000
Fdo. Celada	20000	2000	45000	100000
Huetzali	<2	500	2000	1000
Japón	500	<2	200000	15000
Paso del Águila	1000	1500	35000	3500
Pizocoxpa	2500	3000	30000	15000
San Diego	300000000	1000000	2850000	150000
Santisima	150000	2000000	2200000	1000000
Seminario	100000000	10000	65000	25000
Tezhuilo	10000	2000	100000	<2
Toro	<2	3000	100000	2000
Trancatitla	8000	15000	250000	100000
Urrutia A	15000	500	60000	3500
Urrutia B	500	500	45000	6000
Xaltocan	25000	400000	35000	500000
Zacapa	3000	5000	75000	20000

Tabla 7. Origen de la contaminación fecal en los canales de Xochimilco según el cociente de Geldreich y Kenner, en época de lluvias (2003) y secas (2004).

Sitios	Relación CF/EF	Origen de la contaminación según el cociente de Geldreich y Kenner en época de lluvias	Relación CF/EF	Origen de la contaminación según el cociente de Geldreich y Kenner en época de secas
Bordo	0.00	Evidencia de contaminación animal	1.16	Desechos mixtos de contaminación
Huetzali	0.00	Evidencia de contaminación animal	0.83	Desechos mixtos de contaminación
Cuemanco	0.30	Evidencia de contaminación animal	15.00	Evidencia de contaminación humana
Draga	1.60	Desechos mixtos de contaminación	0.22	Evidencia de contaminación animal
Seminario	1538.46	Evidencia de contaminación humana	0.20	Evidencia de contaminación animal
San Diego	105.26	Evidencia de contaminación humana	0.02	Evidencia de contaminación animal
Pizocoxpa	0.08	Evidencia de contaminación animal	0.50	Evidencia de contaminación animal
Trancatitla	0.03	Evidencia de contaminación animal	<.70	Evidencia de contaminación animal
Santísima	0.06	Evidencia de contaminación animal	0.42	Evidencia de contaminación animal
Cotetexpan	0.57	Evidencia de contaminación animal	0.20	Evidencia de contaminación animal
Apatlaco	0.16	Evidencia de contaminación animal	6.66	Evidencia de contaminación humana
Japón	0.002	Evidencia de contaminación animal	2.0	Evidencia de contaminación animal
Paso del Águila	0.028	Evidencia de contaminación animal	0.40	Evidencia de contaminación animal
Tezhuilo	0.10	Evidencia de contaminación animal	>4.00	Evidencia de contaminación humana
Toro	0.00	Evidencia de contaminación animal	1.50	Desechos mixtos de contaminación
Fdo. Celada	0.44	Evidencia de contaminación animal	0.15	Evidencia de contaminación animal
Xaltocan	0.71	Desechos mixtos de contaminación	0.14	Evidencia de contaminación animal
Zacapa	0.04	Evidencia de contaminación animal	0.08	Evidencia de contaminación animal
Urrutia A	0.25	Evidencia de contaminación animal	0.80	Desechos mixtos de contaminación
Urrutia B	0.01	Evidencia de contaminación animal	0.25	Evidencia de contaminación animal

Viabilidad bacteriana lluvias

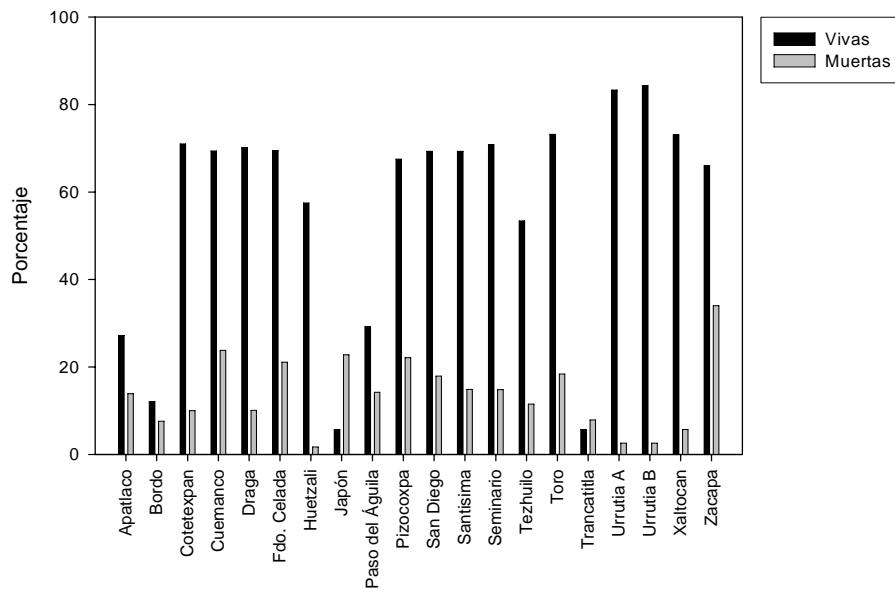


Figura 11. Viabilidad bacteriana en los canales analizados Xochimilco D.F., en época de lluvias

Viabilidad bacteriana secas

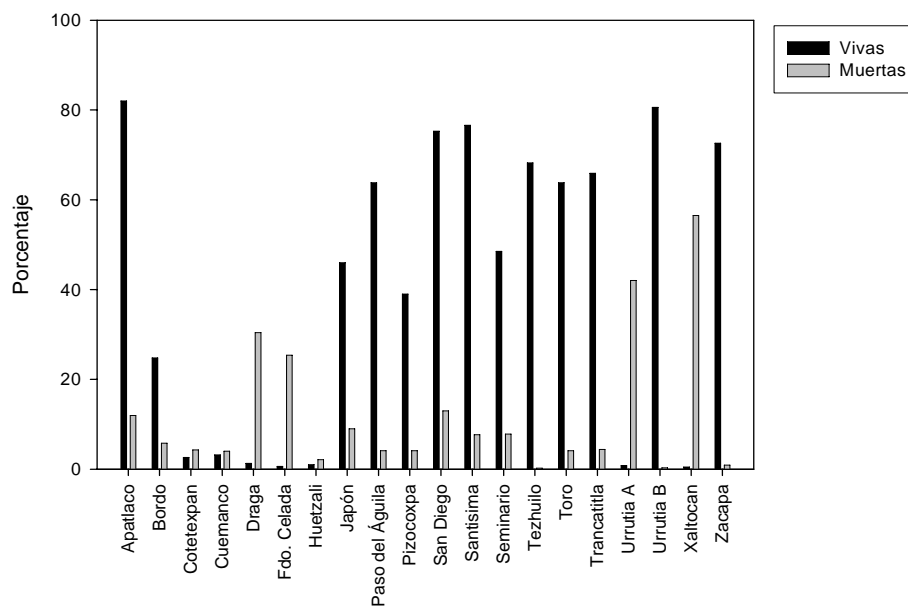


Figura 12. Viabilidad bacteriana en los canales de Xochimilco D.F., analizados en época de secas

Coliformes fecales

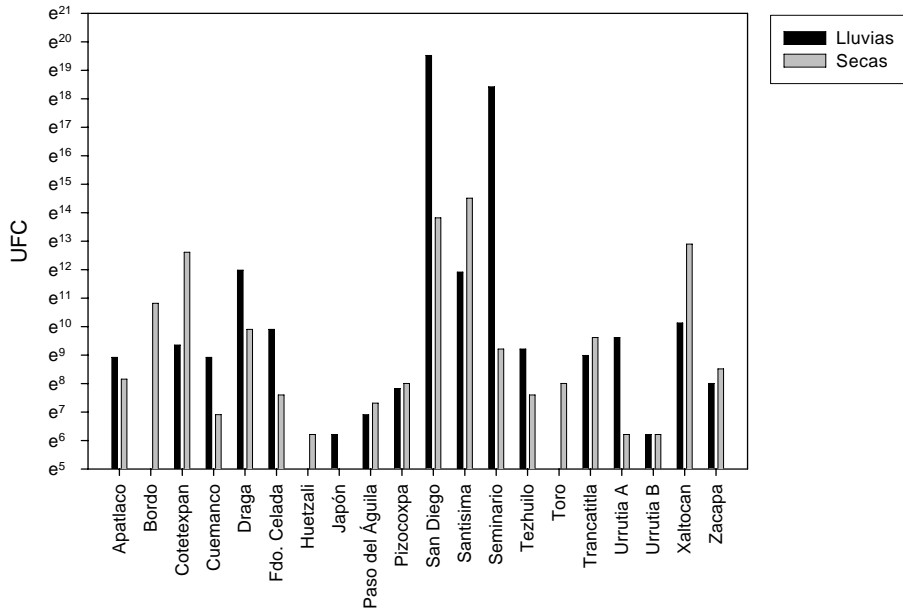


Figura 13. Unidades formadoras de colonias durante el ciclo 2003 y 2004 de coliformes fecales en los canales de Xochimilco

Enterococos fecales

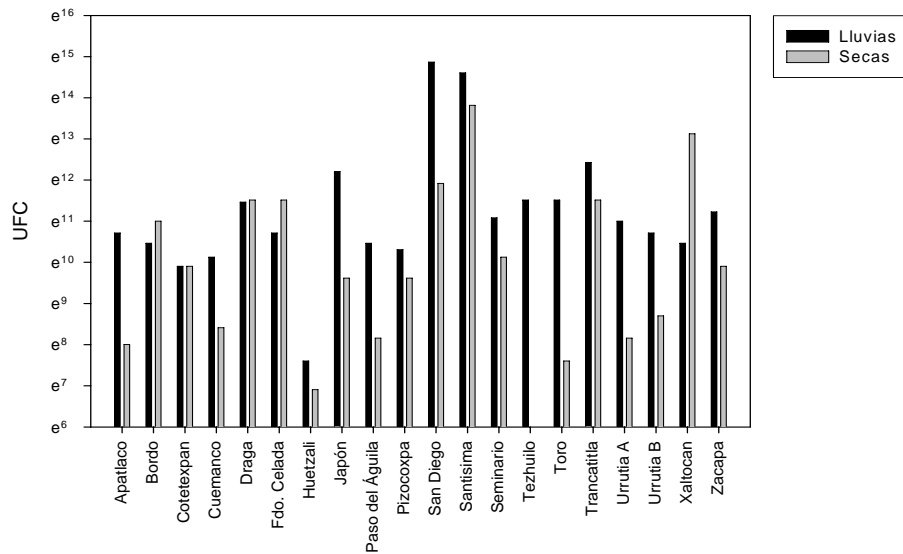


Figura 14. Unidades formadoras de colonias durante el ciclo 2003 y 2004 de enterococos fecales en los canales de Xochimilco.

8.4. Análisis de metales

Para la determinación de las concentraciones de metales en el agua se realizó un análisis de material preconcentrado que determina la cantidad de material soluble en el agua. Los metales analizados fueron fierro, cobre, zinc y plomo, este análisis se llevó en el ciclo anual establecido para este estudio.

Los sitios que registraron las mayores concentraciones en $\mu\text{g/L}$, se registraron en época de lluvias (Tabla 11) y fueron aquellos donde predominaban las actividades agrícolas, así como donde existían descargas de agua residual hacia los canales,. El intervalo de detección para los metales analizados en este estudio fue de 0.2 a 400 $\mu\text{g/L}$. Con respecto al cobre, plomo y zinc se presentan cuadros comparativos en el que se señala la concentración que se registro de estos análisis en $\mu\text{g/L}$ y su relación con la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 (DOF, 1997) para riego agrícola y protección de la vida acuática

8.4.1. Fierro

El hierro se le considera un componente secundario y se encuentra en la mayor parte de rocas ígneas y minerales arcillosos (NALCO, 1989), se oxida en un intervalo de acidez de 7-8.5 y suele encontrarse en el agua en intervalos de 1 a 10 mg/L .

Considerando lo anterior era de suponerse encontrar este elemento en los canales. En el análisis realizado (figura 15) ningún sitio sobrepasa este intervalo.

Los sitios con mayor concentración fueron Xaltocan, San Diego, Pizocoxpa y El

Bordo. Esta acumulación de fierro puede ser ocasionada por su utilización en aleaciones para la construcción de tuberías domesticas, que son utilizadas para el drenaje en zonas urbanas aledañas a los canales.

Así mismo, en las zonas agrícolas la presencia del fierro puede ser explicada ya que este elemento se utiliza para la construcción de tuberías para el bombeo de agua para riego. Por lo que las altas concentraciones no corresponden a una zona determinada chinampera, para la recarga hidráulica o mixta. Estadísticamente no existieron diferencias entre las dos épocas del año (Anexo I).

8.4.2. Cobre

El cobre se encuentra en el agua generalmente por la corrosión de tuberías, las concentraciones de este elemento en aguas municipales se limita a 1 mg/L, y en los lineamientos de calidad del agua para uso en riego agrícola y para la protección de vida acuática NOM-001-ECOL-1996 (DOF, 1997), es permisible una concentración máxima de 4 mg/L.

Este elemento no se detectó (figura 16) en niveles superiores de lo establecido por estos lineamientos. Los sitios que presentaron las máximas concentraciones fueron Japón, Santísima, Seminario, Urrutia A y Xaltocan, todos estos sitios en época de lluvias. Estos sitios se distinguen por ser lugares donde se practican actividades agrícolas y algunas son zonas de recarga de agua, como es el caso de Xaltocan. Estadísticamente no existieron diferencias entre las dos épocas del año (Anexo I).

Tabla 8. Concentración del Cu en µg /L y su relación con la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 para riego agrícola y protección de la vida acuática

Sitios	Cu secas	Cu lluvias	Cu secas	Cu lluvias
Apatlaco	4.41	5.90	4.41	5.90
Bordo	5.76	1.60	5.76	1.60
Cotetexpan	3.51	6.50	3.51	6.50
Cuemanco	3.88	3.40	3.88	3.40
Draga	2.58	3.20	2.58	3.20
Fdo. Celada	6.50	4.10	6.50	4.10
Huetzali	0.57	3.30	0.57	3.30
Japón	5.17	11.70	5.17	11.70
Paso del Águila	5.48	4.30	5.48	4.30
Pizocoxpa	4.80	5.10	4.80	5.10
San Diego	1.50	5.40	1.50	5.40
Santísima	1.52	11.30	1.52	11.30
Seminario	1.52	8.10	1.52	8.10
Tezhuilo	5.99	4.00	5.99	4.00
Toro	6.16	4.80	6.16	4.80
Trancatitla	2.88	4.10	2.88	4.10
Urrutia A	0.33	4.05	0.33	4.05
Urrutia B	5.28	7.30	5.28	7.30
Xaltocan	3.55	6.40	3.55	6.40
Zacapa	5.20	3.50	5.20	3.50

A	Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 para calidad del agua en riego agrícola 4.0mg/L
B	Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 para protección de la vida acuática 4.0mg/L

8.4.3. Plomo

El plomo generalmente indica contaminación por desechos metalúrgicos o con venenos industriales que contienen plomo como el arsenato de plomo, sin embargo, también pueden aparecer como resultado de la corrosión de amalgamas que contienen plomo como las soldaduras.

Los lineamientos propuestos por la NOM-001-ECOL-1996 (DOF, 1997) establecen un límite máximo para agua para riego de 0.5 mg/L, lo cual si cumplen la mayoría de sitios, en especial en la época de secas. Sin embargo las zonas agrícolas en Xochimilco donde se utilizan plaguicidas fueron los sitios que mostraron la mayor concentración de plomo principalmente en época de lluvias, siendo los sitios más afectados Apatlaco, Pizocoxpa, Urrutia A, Trancatitla y dos sitios donde se recargan de agua los canales de Xochimilco, que son además zonas de gran impacto urbano, estos sitios fueron Xaltocan y San Diego. Estadísticamente si se registró diferencia entre las dos épocas analizadas (Anexo I).

Tabla 9. Concentración del Pb en µg/L y su relación con la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 para riego agrícola y protección de la vida acuática

Sitios	Pb secas	Pb lluvias	Pb secas	Pb lluvias
Apatlaco	0.00	2.20	0.00	2.20
Bordo	0.00	0.20	0.00	0.20
Cotetexpan	0.00	0.70	0.00	0.70
Cuemanco	0.00	0.90	0.00	0.90
Draga	0.38	0.20	0.38	0.20
Fdo. Celada	0.00	1.70	0.00	1.70
Huetzali	0.00	0.70	0.00	0.70
Japón	0.10	1.90	0.10	1.90
Paso del Águila	0.00	0.20	0.00	0.20
Pizocoxpa	1.50	2.70	1.50	2.70
San Diego	0.00	1.90	0.00	1.90
Santísima	0.20	0.20	0.20	0.20
Seminario	0.79	1.40	0.79	1.40
Tezhuilo	0.00	0.90	0.00	0.90
Toro	0.00	0.20	0.00	0.20
Trancatitla	0.00	2.20	0.00	2.20
Urrutia A	0.00	2.40	0.00	2.40
Urrutia B	1.27	1.00	1.27	1.00
Xaltocan	0.00	2.90	0.00	2.90

Zacapa	0.90	0.00	0.90	0.00
--------	------	------	------	------

A	Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 para calidad del agua en riego agrícola 0.5mg/L
B	Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 para protección de la vida acuática 0.2mg/L

8.4.4. Zinc

El zinc al igual que los elementos solubles secundarios, puede estar presente en el agua debido a desechos de origen metalúrgico o bien su presencia puede deberse a la corrosión de tuberías de tipo galvanizado (NALCO, 1989). Cuando fueron comparados con los lineamientos ecológicos para riego ningún sitio rebasó los límites permisibles establecidos por la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 (DOF, 1997).

Así también se realizó una comparación de criterios basados en la misma norma pero para protección de vida acuática, obteniendo que todos se mantuvieron por debajo del nivel máximo permitido en ambas épocas (secas y lluvias). Estadísticamente si se registró diferencia entre las dos épocas analizadas (ver Anexo I).

Tabla 10. Concentración del Zn en µg/L y su relación con la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 para riego agrícola y protección de la vida acuática

Sitios	Zn secas	Zn lluvias	Zn secas	Zn lluvias
Apatlaco	13.16	20.90	13.16	20.90
Bordo	4.35	29.50	4.35	29.50
Cotetexpan	8.58	17.00	8.58	17.00
Cuemanco	9.05	24.80	9.05	24.80
Draga	12.74	16.10	12.74	16.10
Fdo. Celada	15.11	24.00	15.11	24.00

Huetzali	7.01	14.80	7.01	14.80
Japón	12.51	26.10	12.51	26.10
Paso del Águila	4.10	26.10	4.10	26.10
Pizocoxpa	18.22	27.30	18.22	27.30
San Diego	11.04	22.60	11.04	22.60
Santísima	9.90	25.00	9.90	25.00
Seminario	9.93	24.10	9.93	24.10
Tezhuilo	14.33	18.00	14.33	18.00
Toro	7.74	33.20	7.74	33.20
Trancatitla	9.37	26.50	9.37	26.50
Urrutia A	8.60	32.10	8.60	32.10
Urrutia B	10.53	21.80	10.53	21.80
Xaltocan	6.96	24.60	6.96	24.60
Zacapa	8.20	26.10	8.20	26.10

A	Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 para calidad del agua en riego agrícola 10mg/L
B	Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 para protección de la vida acuática 10mg/L

Tabla 11. Análisis del material soluble de metales pesados en los canales de Xochimilco en la época de lluvias 2003 y secas 2004

Sitios	Fe secas µg /L	Fe lluvias µg/L	Cu secas µg/L	Cu lluvias µg/L	Zn secas µg/L	Zn lluvias µg/L	Pb secas µg/L	Pb lluvias µg/L
Apatlaco	29.43	25.80	4.41	5.90	13.16	20.90	0.00	2.20
Bordo	32.59	34.70	5.76	1.60	4.35	29.50	0.00	0.20
Cotetexpan	22.82	27.20	3.51	6.50	8.58	17.00	0.00	0.70
Cuemanco	26.75	19.40	3.88	3.40	9.05	24.80	0.00	0.90
Draga	27.54	32.90	2.58	3.20	12.74	16.10	0.38	0.20
Fdo. Celada	18.10	20.10	6.50	4.10	15.11	24.00	0.00	1.70
Huetzali	27.92	16.00	0.57	3.30	7.01	14.80	0.00	0.70
Japón	29.43	30.80	5.17	11.70	12.51	26.10	0.10	1.90
Paso del Águila	29.43	30.80	5.48	4.30	4.10	26.10	0.00	0.20
Pizocoxpa	33.18	30.30	4.80	5.10	18.22	27.30	1.50	2.70
San Diego	45.53	37.05	1.50	5.40	11.04	22.60	0.00	1.90
Santísima	29.60	42.40	1.52	11.30	9.90	25.00	0.20	0.20
Seminario	29.61	34.70	1.52	8.10	9.93	24.10	0.79	1.40
Tezhuilo	29.93	24.30	5.99	4.00	14.33	18.00	0.00	0.90
Toro	26.05	30.90	6.16	4.80	7.74	33.20	0.00	0.20
Trancatitla	24.40	49.00	2.88	4.10	9.37	26.50	0.00	2.20
Urrutia A	26.66	48.90	0.33	4.05	8.60	32.10	0.00	2.40
Urrutia B	25.00	49.40	5.28	7.30	10.53	21.80	1.27	1.00
Xaltocan	49.34	27.70	3.55	6.40	6.96	24.60	0.00	2.90
Zacapa	26.75	44.70	5.20	3.50	8.20	26.10	0.90	0.00

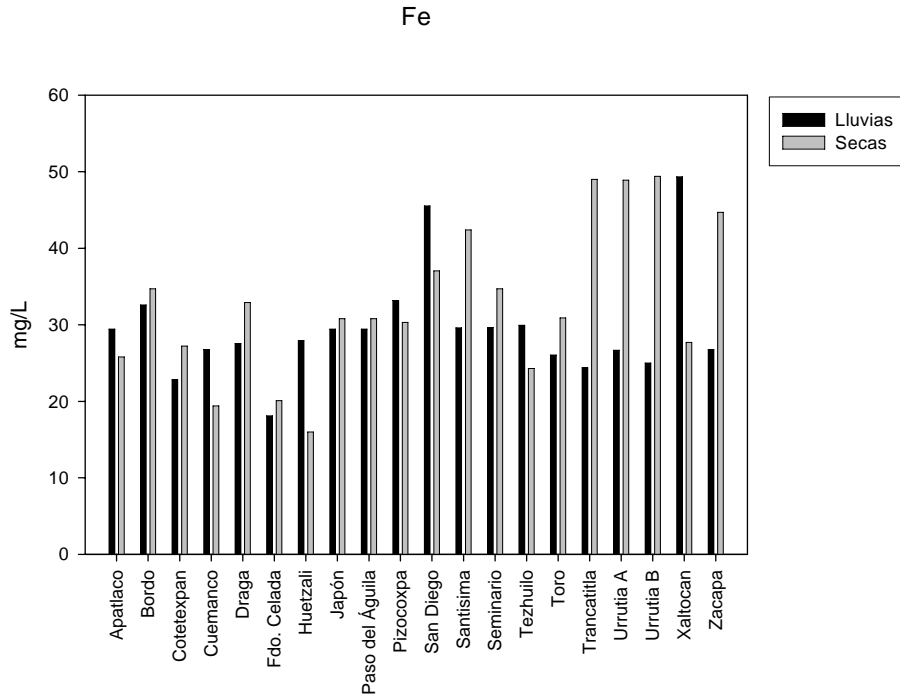


Figura 15. Concentración en $\mu\text{g/L}$ de hierro en los canales de Xochimilco en el ciclo 2003-2004

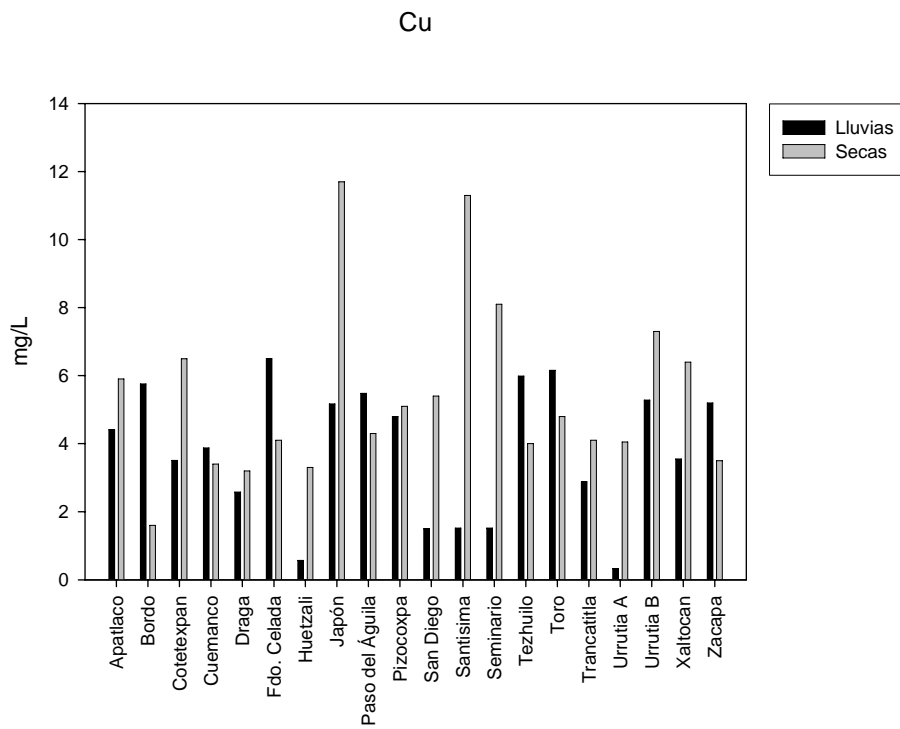


Figura 16. Concentración en $\mu\text{g/L}$ de cobre en los canales de Xochimilco en el ciclo 2003-2004

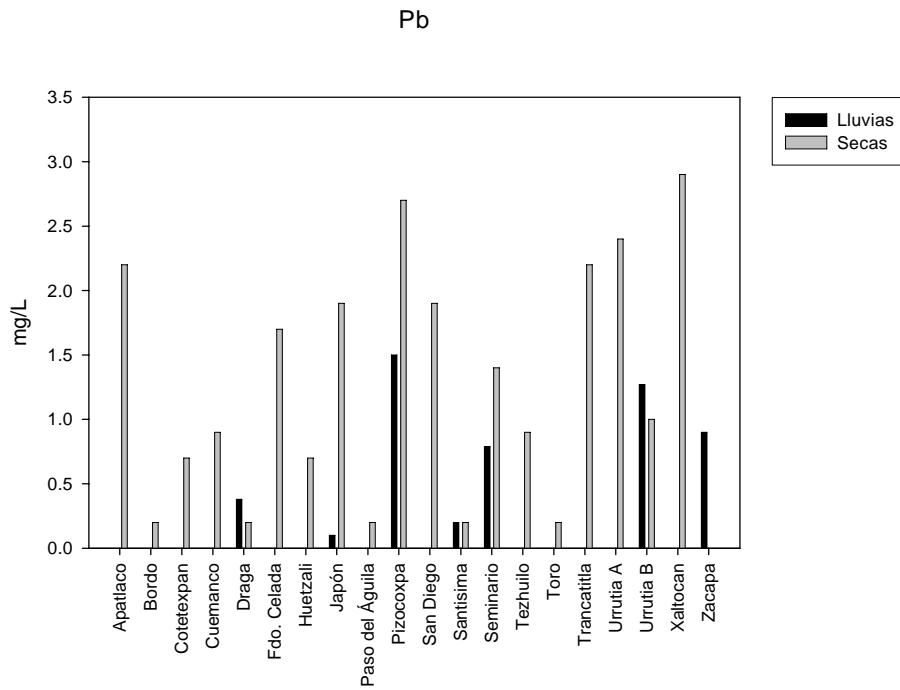


Figura 17. Concentración en $\mu\text{g/L}$ de plomo en los canales de Xochimilco en el ciclo 2003-2004

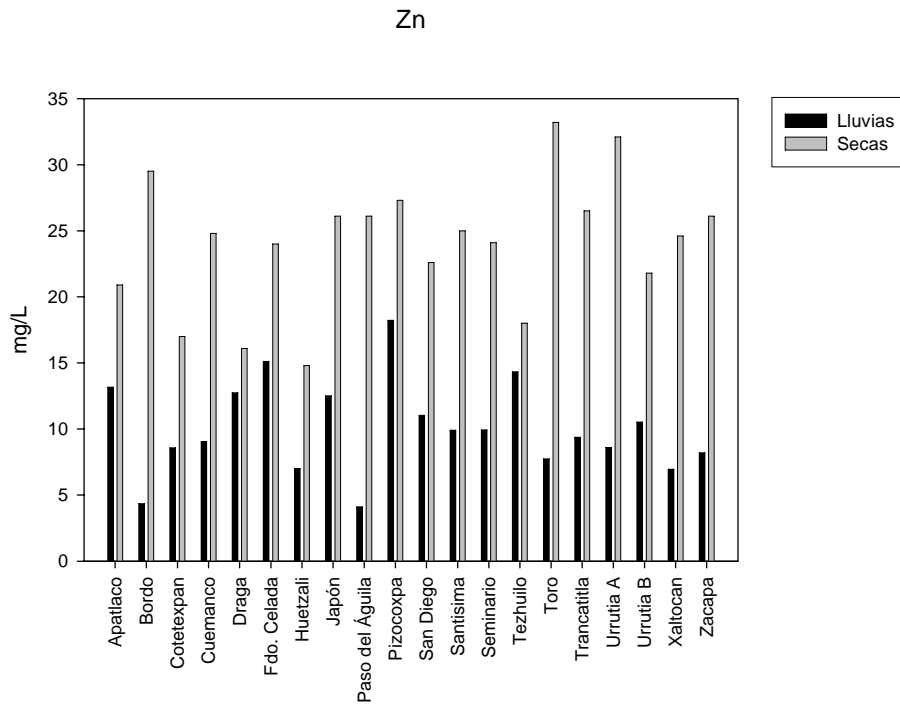


Figura 18. Concentración en $\mu\text{g/L}$ de zinc en los canales de Xochimilco en el ciclo 2003-2004

Discusión

La zona suburbana se ha expandido de tal forma que muchas zonas agrícolas de Xochimilco se han transformado paulatinamente en zonas de pastoreo y de asentamientos humanos irregulares, provocando que el aporte de elementos contaminantes a la zona de canales de Xochimilco se incremente.

Basándose en los resultados obtenidos en este estudio de la calidad del agua de los canales de Xochimilco, se puede distinguir el tipo de actividad humana que se realizan en las diferentes zonas, las cuales generan diversos desechos contaminantes que regularmente son descargados a los canales.

Tomando al fósforo total, como indicador principal para entender en los nutrientes presentes en el agua y con el cual se puede determinar parcialmente en que estado trófico se encuentra el sistema de canales de Xochimilco, se obtuvo que, la zona dedicada a actividades turísticas y que se ha poblado con mayor rapidez, es la que presenta el nivel más crítico en cuanto a nivel de fósforo total presentes en el agua. Sin embargo, este nutriente presenta concentraciones altas en todo el sistema de canales, tomando en cuenta que estas concentraciones son superiores a las de aguas tratadas municipales que alcanzan entre los 3-4 mg/L, mientras que el agua que contiene detergentes alcanzan los 20 mg/L (Tchonbanoglous, 1987).

Este nutriente y sus derivados, se emplean ampliamente en fertilizantes y detergentes, por lo que fue común encontrarlo en todos los sitios analizados,

siempre en altas concentraciones por encima de lo establecido en estándares que establecen límites para su uso, como son la Norma Oficial Mexicana (NOM-001 ECOL 1996 Protección a la vida acuática) en normas internacionales, como las utilizadas por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), donde la concentración máxima de este nutriente en su nivel más alto que es el estado eutrófico es alrededor de 0.118 mg/L.

Tomando en cuenta esta clasificación como parámetro podemos decir que todos los sitios analizados en este estudio se encuentran en un alto estado de eutrofización. Al presentarse un incremento en los nutrientes inorgánicos analizados en este estudio, es probable que estos actúen como fertilizantes para las algas, propiciando, que con su crecimiento e incremento demanden el oxígeno disuelto disponible en el agua, lo cual puede provocar una anoxia (falta de oxígeno) en los canales.

Aunado a este enriquecimiento vegetal, los asentamientos humanos aledaños originan desechos fosfatados y nitrogenados principalmente por la carencia de drenaje, propiciando que desechen sus aguas residuales directamente a los canales.

Este enriquecimiento, además de la materia orgánica proveniente de las diferentes descargas y arrastres de lluvias, proveen las condiciones para el incremento de población bacteriana, las cuales degradan la materia orgánica, y pueden propiciar diferentes tipos de enfermedades en la población local y regional, principalmente

de tipo gastrointestinal, debido a que la población local suele consumir los productos agrícolas y acuícolas de los canales de Xochimilco.

Los sitios donde se descargan aguas tratadas para la recarga de los canales, presentaron niveles altos de fósforo, así como también presentan una alta actividad bacteriológica, por lo que se debe poner atención a la calidad de agua que reciben los canales por parte de las plantas de tratamiento, ya que lejos de beneficiar al cuerpo de agua, sé esta acelerando el proceso de eutrofización del cuerpo de agua con el enriquecimiento de este nutriente y puede ser una fuente de contaminación sanitaria.

El carbono orgánico total, que indica la cantidad de materia orgánica soluble disuelta en el agua, se encontró en niveles muy altos, si tomamos en cuenta que las concentraciones en aguas municipales generalmente no rebasan los 5.88 mg/L (APHA, 2000). Los resultados obtenidos van de los 7.7 mg/L a los 101 mg/L, teniendo las menores concentraciones en época de secas. En época de lluvias los sitios con mayores concentraciones se localizaron en las zonas recarga de agua a los canales así como en el sitio de Trancatitla que se distingue por ser una zona agrícola.

El color verde-amarillento que presenta el agua en varias de las zonas analizadas puede ser un indicador de materia en descomposición de tipo vegetal e incluso animal, lo cual es indicador de la presencia de carbono orgánico.

Los compuestos nitrogenados analizados en este estudio se encontraron en sus concentraciones más altas en aquellos sitios donde la presión antropogénica era más evidente.

Para el amonio, que de acuerdo al ciclo del nitrógeno es el primer producto en la descomposición del nitrógeno orgánico, y que cuando es oxidado forma nitritos y finalmente los nitratos, puede ser un indicador de una contaminación nitrogenada reciente. Las concentraciones de amonio que sobrepasan 1 mg/L son características de agua con contaminación reciente y que contienen la mayoría de nitrógeno como nitrógeno amoniacal (Seoáñez, 1999).

La presencia del amonio coincide con aquellas zonas donde los vertidos de aguas residuales hacia los canales son constantes, así como de las zonas de recarga de agua a los canales, su presencia fue mas evidente en época de secas que en época de lluvias.

De acuerdo con la OMS (1993) los valores registrados para los nitritos en ambas épocas del año, no sobrepasan el límite permisible para que el agua represente un peligro de toxicidad cuando sobrepasan los 5 mg/L (OMS, 1993), el promedio obtenido para época de lluvias fue de 0.52 mg/L y para época de secas fue de 0.59mg/L.

Los nitratos se encontraron en los dos periodos analizados, en época de lluvias promediaron 6.19mg/L y en época de secas 4.83mg/L, su presencia entre otras cuestiones puede ser debido a la oxidación de otras fracciones del amonio como

es el amonio, siendo la parte final del ciclo del nitrógeno orgánico (Seoánez, 1999).

La corrosión natural de las tuberías existentes en la zona por parte de los diversos asentamientos humanos que contienen cobre, hierro y plomo, puede ser factor para que el nivel de concentración de estos metales sea elevado, sin embargo algunos metales tales como el fierro se encuentran en los cuerpos de agua debido a que son componentes de rocas metamórficas y de los sedimentos de la propia cuenca.

Los resultados obtenidos, nos hace suponer que la eutrofización es continua en el sistema de canales, no importando la época del año, ya que los resultados muestran que ni la dilución existente por el agua en época de lluvias, ayuda a disminuir las concentraciones estos nutrientes en los canales.

Los metales generalmente se encontraron en mayor concentración en época de lluvias, tal vez debido al arrastre que se presenta de diversos compuestos contaminantes provenientes de carreteras aledañas y zonas habitacionales, además que en sitio como Xaltocan existe un estacionamiento de camiones recolectores de basura el cual se encuentra cercano a los canales.

La presencia del zinc es ocasionado por descargas de desecho de compuestos mineros, provenientes de industrias pequeñas pero abundantes en la zona tales como herrerías, vulcanizadoras y demás fuentes no puntuales aledañas a los canales que descargan sus desechos sin previo tratamiento. Sin embargo, las

zonas agrícolas presentaron concentraciones por encima de otras zonas estudiadas.

La gran cantidad de escurrimientos que reciben los canales por parte de la zona urbana, donde el asfalto contiene compuestos tales como el plomo y el hierro, puede haber sido factor para que las concentraciones de metales en época de lluvias sean más altas que en época de secas, sin llegar a ser un riesgo de intoxicación para la vida acuática, así como para la población, ya que debe recordarse que con esta agua son regadas las hortalizas que son de consumo humano en gran parte de la Ciudad de México, además de los productos acuícolas de los canales.

El cobre (Cu) en un cuerpo de agua, actúa como agente controlador de algas, algo que en los canales de Xochimilco no sucede por la poca concentración de este elemento.

En general, las comparaciones realizadas de los metales contra las normas oficiales mexicanas (Norma Oficial Mexicana NOM-001 ECOL 1996 para protección de la vida acuática Norma Oficial Mexicana NOM-001 ECOL 1996 para calidad del agua en riego agrícola) no sobrepasan los criterios de protección en las dos épocas del año.

El estudio de viabilidad de biomasa bacteriana, que indica la actividad microbiológica en la columna de agua, y que nos ayuda a entender donde la actividad microbiológica es más intensa, mostró que esta es mayor en época de

lluvias en relación con la época de secas. Sin embargo, el análisis de coliformes fecales mostró que a excepción de los sitios San Diego y Seminario todos los demás sitios presentaran una mayor carga de este indicador en época de secas que en época de lluvias, siendo los sitios turísticos, zonas suburbanas y zonas de descarga de agua tratada, los más afectados.

Cabe resaltar que la norma oficial mexicana (NOM-001 ECOL 1996) propone un máximo de 1000 UFC por cada 100 mL, cosa que ocurrió en época de lluvias en el 30% de los sitios analizados, los cuales se encontraban en las zonas agrícolas Bordo, Huetzali, Japón, Paso del Águila, Toro y Urrutia B, mientras que en época de secas los sitios Cuemanco, Huetzali, Japón, Urrutia A y Urrutia B se mantuvieron por debajo de este máximo, representando el 25% del total de sitios analizados.

Para los enterococos fecales no se obtuvo un contraste tan marcado ni entre épocas ni entre tipo de sitios, aunque si resaltaron nuevamente aquellos donde la influencia humana es más fuerte como San Diego y Santísima, para ambas épocas del año.

Con el cociente de Geldrich y Kenner, se obtuvo una tendencia del origen de la contaminación fecal en el agua, los resultados mostraron que esta generalmente fue de origen animal, aunque existieron zonas donde el origen de esta contaminación fue de origen humano, Seminario y San Diego en época de lluvias, Cuemanco, Apatlaco y Tezhuilo en época de secas, de desechos mixtos en Draga

y Xaltocan en época de lluvias y Bordo, Huetzali, Toro y Urrutia A en época de secas.

Conclusiones

De este estudio destacan los siguientes puntos como conclusiones:

- Por las concentraciones encontradas para fósforo total y tomando como referencia en que nivel de eutrofización se encuentran los canales de Xochimilco, podemos decir que se encuentra muy por arriba del estado más alto que es el hiper eutrófico.
- Solo el nutriente fósforo se encontró en mayores concentraciones en época de secas.
- Aún cuando la mayoría de las zonas presentó altas concentraciones de los parámetros analizados en este estudio, las zonas que destacaron fueron Xaltocan, Santísima, San Diego y Zacapa, donde los tres primeros son zonas de descarga de agua a los canales de Xochimilco.
- Tomando como referencia al zinc (Zn), plomo (Pb) y cobre (Cu) que son elementos que tomamos como comparativos con lo propuesto con la NOM 001 ECOL 1996, podemos decir que estas concentraciones no han alcanzado tal nivel de concentración que pudiesen ser tóxicos para la vida acuática y para la población en general, principalmente en época de lluvias.
- La actividad de la biomasa bacteriana viva en general fue mayor que de muertas en ambas épocas del año, en época de lluvias en un 75.5% y en época de secas en un 70.9%.

- La contaminación fecal en el agua fue predominantemente de origen animal a lo largo del ciclo anual 2003-2004.
- Los parámetros analizados en este estudio no presentaron una diferencia tan marcada entre épocas del año, sin embargo, si existe un fuerte contraste entre los tipos de zonas de recarga de agua, zona chinampera y zonas mixtas de turismo y asentamiento humanos.
- Estadísticamente los parámetros que mostraron diferencia entre épocas del año fueron profundidad, turbidez, pH, amonio, fósforo total, plomo y zinc, lo cual muestra que los aportes de agua residual que reciben los canales por parte de los usuarios de este recurso, así como el agua pluvial y escurrimientos, varía a lo largo de un periodo anual, manifestándose una diferencia estadística entre las dos épocas analizadas en el ciclo 2003-2004.

Propuesta de rehabilitación para los canales de Xochimilco

El manejo de un lago requiere el conocimiento de las causas naturales y culturales de los problemas de calidad del agua, de las técnicas para restaurarlo y protegerlo, las realidades legales y financieras a ser consideradas y de los recursos técnicos y administrativos disponibles para poder implementarlo.

El grupo dedicado al manejo del cuerpo de agua, tendrá un conjunto único de objetivos de manejo y una estrategia única para alcanzarlos. Cualquier lago degradado puede ser recuperado, aunque siempre la tarea es difícil. Dependiendo del grado de deterioro, los resultados de las acciones correctivas pueden llegar a observarse después de varios años de iniciadas las actividades de recuperación o remediación. Para evitar el aceleramiento del proceso de degradación actual del lago se ha pensado en el siguiente plan de acción

- Regularizar las descargas de agua provenientes de los asentamientos humanos aledaños a los canales
- Concientizar a la población de los beneficios que proveen los canales hacia los habitantes tanto ecológicamente, estéticamente como económicamente
- Darle un impulso a la generación de los productos de tipo orgánico, para que se motive la población a cultivar sin la ayuda de fertilizantes y

compuestos químicos, tomando en cuenta la gran cantidad de materia orgánica que existe en el sistema.

- Siendo que en este estudio las concentraciones de fósforo total en el agua de los canales siempre se mantuvo en niveles altos, es importante realizar restricciones en todo tipo de productos que contengan compuestos fosfatados que son utilizados en la región, tales como detergentes y fertilizantes en las zonas de asentamientos humanos aledaños o bien tratar esta agua antes de ser vertidas al sistema de canales.
- Para disminuir la cantidad de nutrientes en el agua se pueden utilizar en la chinampas o zonas agrícolas, franjas alrededor de estas donde se utilicen plantas de ornato las cuales pueden absorber parte de los compuestos nitrogenados como nutrientes; es importante que estas plantas no sean formadoras en su crecimiento de nódulos en las raíces, ya que en esta parte se acumulan bacterias nitrificantes.
- Se debe evitar que las zonas de embarcaderos se sitúen en áreas donde los asentamientos humanos aún no son tan grandes o en áreas propuestas para parques ecológicos, en específico las zonas de Huetzali y la zona de Urrutia
- Se puede proteger y financiar la zona chinampera mediante turismo de “conciencia ecológica”, el cual entre sus características, tiene el de no

afectar el entorno, ayudando así a la conservación de la zona y financiamiento de la misma.

- Se requiere de una planta de tratamiento de tipo terciario para los desechos municipales, esta planta podría ser ubicada en la zona de La Santísima y San Diego, donde se registraron generalmente las mayores concentraciones de los parámetros de este estudio realizado.
- Aún cuando los costos de una o varias plantas de tratamiento de menor dimensión pero ubicadas estratégicamente son altos, los beneficios hacia la población serían de tipo sanitario, ecológico e incluso económico, ya que este recurso natural ha beneficiado a la mayoría de la población xochimilca, tanto por su importancia turística, como por el beneficio que se obtiene directamente del agua ya sea para uso agrícola, ganadero ó acuícola, además de que ha sido un amortiguador biológico indebidamente usado para las descargas contaminantes que recibe por parte de la población aledaña a los canales.
- Reducir las cargas externas provenientes de la cuenca de aporte, sin el desvío de los desagües pluviales.
- Disminuir del aporte de materia orgánica de la zona litoral. Se requiere la intervención de mano de obra suficiente para la recolección total de residuos orgánicos provenientes de los ciclos naturales de la vegetación como es la caída de hojas, flores, etc., así como los producidos por cortes de césped. Cuando sea necesario reemplazar árboles, convendrá

discutir la conveniencia de reemplazar caducifolios por perennifolios en función del personal y tiempo disponible para la recolección de hojas

- Extraer o cortar la vegetación acuática y luego recolectar todo el material en sectores a definir, en función de sus posibles usos actuales o potenciales y de aquellas zonas que puede constituir un impedimento a la acción del viento, por ejemplo en el canal de Japón.
- De las zonas elegidas para la erradicación de la vegetación acuática, se recomienda el corte intensivo y frecuente de tal manera de agotar la reserva que las plantas mantienen en sus rizomas y que les permiten rebrotar rápidamente.
- Eliminar depósitos y vertimientos de aguas residuales y controlar estrictamente la construcción de nuevos depósitos de esta índole
- La existencia de tanques sépticos en la cuenca de aporte al lago (sobre todo los muy cercanos), puede acarrear problemas de contaminación del mismo. Esto puede deberse a condiciones inadecuadas del subsuelo o a sobrecarga de los mismos. La infiltración inadecuada de los desechos dentro del suelo, puede dar lugar a escorrentías superficiales de aguas sépticas provenientes de los tanques (el mismo accidente puede ocurrir por mal manejo de los tanques, frente a precipitaciones excesivas). Así mismo, la purificación inadecuada en el suelo durante la percolación, debido a cortos tiempos de residencia, puede dar lugar a la polución o contaminación del lago.

- Circulación de la columna de agua, mezclando las aguas del epilimnio con las del hipolimnio, se elimina la estratificación química / térmica o se previene su formación, se favorece la aireación de las aguas del fondo, y se puede contribuir a disminuir las floraciones algales

Referencias

Aguilar S., Arriaga C. y Alcocer D. 2000. Aguas continentales y diversidad biológica de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad. México, D.F. 327 pp.

Alan G., 2000. Water pollution and fish physiology, Lewis Publishers, Florida, 2ª: 359 pp.

Alcamo I. E., 1997. Fundamentals of Microbiology, Benjamin Cummings, Redwood City, California, 5ª edition, 905 pp

Alcocer J. y E. Escobar, 1992, La producción primaria en aguas athalasoalinas, en rev. Soc. Mex. Hist. Nat. 43, 101-108 pp.

Alcocer J., A. Lugo, L. E. Marín y E. Escobar, 1998, Epicontinental Aquatic systems of México in the context of hydrology, climate and geography and geology, En M. Munawar, Aquatic Ecosystems of Mexico: Environmental and Toxicological assessment, Ecovision World Monograph Series, SPB, Amsterdam 451 pp.

American Public Health Association, 1998, Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, Washington D.C., 20ª ed.

Baird C., 2001, Environmental Chemistry, W. H. Freeman and Company, New York, 2ª ed. 650 pp.

Bazant J., 2000. Manual de diseño Urbano, Trillas, México D.F. 423 pp.

Bazant J., 2001. Lineamientos para el ordenamiento territorial de las periferias urbanas de la ciudad de México. (En línea) México (Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco)

Bojórquez C. y F. Villa, 1995, El ecosistema lacustre. Xochimilco y el deterioro de las chinampas, en Rojas Rabiela T., (coordinador) 1995, Presente pasado y futuro de las chinampas, Centro de investigaciones y estudios superiores en antropología social, Patronato del parque ecológico de Xochimilco, México D.F., CIESAS, 324 pp.

Boyd, C. E., 1982 Water Management for Pond Fish Culture, Elsevier Scientific Publications, Amsterdam, Development of Aquaculture and Fisheries Science, Vol. 9. 231 pp.

Castillo C.I., 1986, Identificación y determinación de la composición química de las malezas acuáticas de importancia forrajera de la zona de Xochimilco, D.F., Tesis de Licenciatura, Facultad de Medicina y Zootecnia, UNAM

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), 2002. Guías para la vigilancia y control de la calidad del agua para uso humano, Lima, Peru: 353. <http://www.cepis.ops-oms.org>

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS). 2004 Normas Internacionales para la calidad del agua de bebida. CEPIS/ [cepis,ops-oms.org](http://cepis.ops-oms.org)

Collins M.D., Farrow J. y Jones D. 1986, *Enterococcus mundtii* sp. nov., Int. J. Bacteriol; 36: 8 – 12 pp.

Croll B.T., 1972, Determination of Organic Carbon in Water, Chem Ind, London, 110:386 pp.

Departamento del Distrito Federal. 1988., Datos generales de la delegación Xochimilco. Delegación Xochimilco, México.

Diario Oficial de la Federación (DOF) 1997, Norma Oficial Mexicana, NOM-001ECOL-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, Enero 6 de 1997: 68-41.

Ejidatarios de Xochimilco, San Gregorio Atlapulco y Tlahuac, 1989. Plan ejidal alternativo para el rescate ecológico de Xochimilco y Tlahuac, Ediciones Gea A.C., México D. F.

Ezcurra E., y C. Montaña, 1990. Los recursos naturales renovables en el norte árido de México, En E. Leff (coord.), Medio ambiente y desarrollo en México, vol. 1, Colección México: actualidad y perspectivas, CIIH, UNAM/Porrúa, México, 356 pp.

Facklam R.R., 1972. Recognition group streptococcal species of human origin by biochemical and physiological test, Appl. Microbiology; 23: 1.131 – 1.139 pp.

Farmer J., 1995. *Enterobacteriaceae*: Introduction and identification, En, Manual of Clinical microbiology, ASM Press, Washington D. C. 1711 pp.

Ford D. L., 1968. Total organic carbon as a wastewater parameter. Pub Works. 89-99 pp.

García E., Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen, México 1973, 246 pp.

Gerba, C.P. 2000, Indicator Microorganism, En: Maier R.M., Pepper I. L. Y Gerba C. P. (Eds) Environmental Microbiology, Academic Press, San Diego, Ca. :491 - 503 pp.

Geldrich D. y Kenner B., 1969 Concepts of fecal streptococci in stream pollutions, Journal of Water Pollution Control Fed., 41: 336-352 pp.

Ghermandi, G., R. Cecchi y P Laj. 1996. Procedures for target preparation to improve PIXE efficiency, En environmental research. Nuclear Instruments And Methods In Physics. Research. B 109: 63-70 pp.

Guerrant R. L., 2004. Principles and practice of infections diseases, Churchill Livingstone, Nueva York, Sexta edicion, 837-851 pp.

HACH, 2002, Water analysis handbook, 4ª Ed. HACH COMPANY, California USA, 1260 pp.

Hernández J. y Sandoval L., 2001, El deterioro ecológico, la urbanización y sus efectos en la zona chinampera de Xochimilco, Tesis de licenciatura en planificación para el desarrollo pecuario, UNAM

Hoffman S. A., Moellering R. C., 1987, The *Enterococcus*: putting the bugs in our ears. Ann. Intern. Med; 106: 757-761 pp.

Holdren C., W. Jones y J. Taggart, 2001, Managing lakes and reservoirs, North America Lake manage society and Terrence Institute in coop with Office water

assessment watershed protection division, U.S. Environment protection agency, Madison , Washington D.C. 381 pp.

Instituto nacional de estadística geografía e informática (INEGI). 2001 XI Censo de población y vivienda 2000. Resultados definitivos por municipio. México, www.inegi.gob.mx.

Jiménez Cisneros B. 2001. La contaminación ambiental en Mexxico: causas, efectos y tecnología apropiada. Limusa. Colegio de Ingenieros Ambientales de México. UNAM, Mexico. 928 pp.

Kennedy V. J. y A. Markwitz. 2002. Heavy metal pollution studies of suspended sediments in Waiwhetu stream water by PIXE. International Journal of PIXE 12 (3-4):189-197 pp.

Langelier W. F., 1946. Chemical equilibria in water treatment. Journal of the American Water Works Association, 38 (2): 169-171 pp.

Lampert, W. y U. Sommer. 1997. Limnoecology: The ecology of Lakes and Streams. Oxford University Press. New York, USA. 382 pp.

Lloyd, R., 1992. Pollution and freshwater fish. Fishing New Books. Oxford, 192 pp.

Margalef R., 1977, Ecología 2^{da} ed., Ediciones Omega, España, 325 pp.

Maxwell J. A., J. L. Cambell y W. T. Teesdale. 1989. The Guelph PIXE sofwere pack. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 43:218 pp.

Mireles D. A. 1994. Desarrollo y optimización de técnicas de preparación de muestras y análisis cuantitativo de elementos traza en frutas y verduras

mediante PIXE. Tesis de Doctorado. Posgrado en Ciencias Químicas, UNAM.
94 pp.

Mireles D. A., C. Solís, E. Andrade, M. Lagunas-Soler, C. Piña y R. G. Flocchini. 2004. Heavy metal accumulation in plants and soil irrigated with wastewater from Mexico City, Nuclear Instrument and Methods in Physics Research B 219-220: 187-190 pp.

Miranda M. G., 1980. Plantas acuáticas útiles del Valle de México, Tesis de Biología, Facultad de Ciencias UNAM

Mitsch W., 1994. Global Wetlands old world and new, Elsevier Science B.V., Amsterdam, Holland, 552 pp.

Mundt J. O., 1984, Enterococci. En: Manual of systematic bacteriology, Sheat PHA, Mair NS, Sharpe ME,. Williams and Wilkins Co., Bergey's, Baltimore; Segunda edición: 1063-1065 pp.

Murray B. E., 1990. The life and times of enterococcus., Clin. Microbiol; 3: 46–65 pp.

Nurnmerg G. K., 1996, Trophic state of clear and colored soft and hardwater lakes with special consideration of nutrients, anoxia, phytoplankton and fish. Lake Reserv. Manage, 12:432-437 pp.

Odum, E. P. 1972. Ecología. México Ed. Interamericana. México 639 pp.

Organización Mundial de la Salud (OMS), 1993. Guidelines for drinking-water Quality. Vol. 1. Recommendations 2ª Ed. World Health Organization. Geneva 188pp.

Pepper I. L., Gerba P. C., 2000, Environmental Microbiology, Academic Press, San Diego Ca., 585 pp.

Proyectos Interamericanos S. A., 1981. Protección y ordenamiento ecológico en la delegación Xochimilco. Informe a DIGRUPE. Secretaria de agricultura y recursos hidráulicos, México.

Ramírez G. M., 1990, Evaluación del contenido mineral (Pb, Cr, Cd, Fe, Cu) del agua, lodo y fauna de la región lacustre de Xochimilco, Tesis de licenciatura, Facultad de medicina veterinaria y zootecnia, UNAM

Rapport D. J., 1992, Evaluating ecosystem health. Journal of Aquatic Ecosystem Health 1: 15-24 pp.

Reid g: y Wood R., 1976. Ecology of Inland Waters and Estuaries. D. Van Nostrand. 2 nd. Ed. New York. 486 pp.

Reinert H. R. y Hroncich A. J., 1999 en Water quality and treatment, Mc-Graw Hill, 5ª edition, New York 752 pp.

Rojas R., 1985, La cosecha del agua, pesca, caza de aves y recolección de otros productos biológicos acuáticos de la Cuenca de México, CIESAS; México 85 pp.

Rojas R., (coordinador) 1995, Presente pasado y futuro de las chinampas, Centro de investigaciones y estudios superiores en antropología social, Patronato del parque ecológico de Xochimilco, México D.F., CIESAS, 324 pp.

Russin P., Enriquez C., Jonson D. y Gerba Ch. 2000., Environmentally transmitted pathogens. En Environmental Microbiology, Academic Press, San Diego Ca., 585 pp.

Ryding, S.O., Rast, W. (Ed). 1992. El control de la eutrofización en lagos y pantanos. Pirámide, Madrid. 375 pp.

Rzendowski J., 1975, Flora y vegetación de la cuenca de México, En Memorias de las obras del Sistema de Drenaje Profundo del Distrito Federal, Vol 1, 79-133, editado por el DDF, México.

Rzedowski J. y Rzedowski C., 1981, Flora fanerogámica del Valle de México. Editorial Continental, S. A. De C. V., México. 3ª edición.

Sandoval C., 2003, Calidad microbiológica y fisicoquímica del agua de los canales de Xochimilco, Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM
Secretaría del Desarrollo Social, 1993, México, Informes de la situación actual general en materia de equilibrio ecológico y protección al ambiente 1991-1992, SEDESOL, INE, México

Seoáñez C. M., 1999, Aguas residuales, tratamiento por humedales artificiales, Fundamentos Científicos, tecnología y diseño. Ed. Mundi-Prensa, España, 326 pp.

Schaeffer D. J., E. E. Herricks y H. W. Kerster, 1988, Ecosystem Health: I. Measuring ecosystem health, Environmental Management 12: 445-455 pp.

Scot E. y Herman D., 2000, Aquatic and extreme environments, en Environmental Microbiology, Academic Press, San Diego Ca., 585 pp.

Tate D. M. y Lancelle D. M., 1990. *Municipal Water Rates in Canada: Current Practices and Prices*, 1989. Ottawa-Hull: Environmental Canada, Inland Waters Directorate, Social Science Series. Publication pendent, 31 pp.

Tchobanoglous G. y E. Schroeder, 1987, *Water Quality, characteristics, modeling, and modification*, University of California AT Davis, USA. 768 pp.

Timberley M. R. y Pepper I. L., 2000, *Microorganism and metal pollutants*, En *Environmental Microbiology*, Academic Press, San Diego Ca., 585 pp.

Toledo V., J. Carabias, C. Toledo y C. González, 1989, *La producción rural en México: alternativas ecológicas de ciencias*, UNAM y Fundación Universo Veintiuno, México, 402 pp.

Vidrio C. M. y Avila J. G., Delegación Xochimilco, en, Garza V. G (coor.), 2000, *La ciudad de México en el fin del segundo milenio*, Departamento del Distrito Federal, México.

Wadstrom T. A., Habte D. y Soderlind O., 1976, *Enterotoxin producing bacteria and parasites in stool of Ethiopian children whit diarrhoeal disease*, Arch. Dis. Chil., 51:865-870 pp.

Weatherley A. H. y H. S. Gill, 1989, *The biology of fish growth*. Academic Press. London. 443 pp.

Anexo

<p>Tabla 1. Análisis de varianza de profundidad</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th><i>Origen de las variaciones</i></th> <th><i>F</i></th> <th><i>Valor crítico para F</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Filas</td> <td>1.27</td> <td>2.17</td> </tr> <tr> <td>Columnas</td> <td>8.09</td> <td>4.38</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Origen de las variaciones</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico para F</i>	Filas	1.27	2.17	Columnas	8.09	4.38	<p>Tabla 7. Análisis de varianza de nitritos</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th><i>Origen de las variaciones</i></th> <th><i>F</i></th> <th><i>Valor crítico para F</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Filas</td> <td>1.41</td> <td>2.17</td> </tr> <tr> <td>Columnas</td> <td>0.55</td> <td>4.38</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Origen de las variaciones</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico para F</i>	Filas	1.41	2.17	Columnas	0.55	4.38
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico para F</i>																	
Filas	1.27	2.17																	
Columnas	8.09	4.38																	
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico para F</i>																	
Filas	1.41	2.17																	
Columnas	0.55	4.38																	
<p>Tabla 2. Análisis de varianza de turbidez</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th><i>Origen de las variaciones</i></th> <th><i>F</i></th> <th><i>Valor crítico para F</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Filas</td> <td>2.73</td> <td>2.17</td> </tr> <tr> <td>Columnas</td> <td>9.88</td> <td>4.38</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Origen de las variaciones</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico para F</i>	Filas	2.73	2.17	Columnas	9.88	4.38	<p>Tabla 8. Análisis de varianza de nitratos</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th><i>Origen de las variaciones</i></th> <th><i>F</i></th> <th><i>Valor crítico para F</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Filas</td> <td>2.51</td> <td>2.17</td> </tr> <tr> <td>Columnas</td> <td>1.56</td> <td>4.38</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Origen de las variaciones</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico para F</i>	Filas	2.51	2.17	Columnas	1.56	4.38
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico para F</i>																	
Filas	2.73	2.17																	
Columnas	9.88	4.38																	
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico para F</i>																	
Filas	2.51	2.17																	
Columnas	1.56	4.38																	
<p>Tabla 3. Análisis de Varianza de temperatura</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th><i>Origen de las variaciones</i></th> <th><i>F</i></th> <th><i>Valor crítico para F</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Filas</td> <td>1.54</td> <td>2.17</td> </tr> <tr> <td>Columnas</td> <td>4.20</td> <td>4.38</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Origen de las variaciones</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico para F</i>	Filas	1.54	2.17	Columnas	4.20	4.38	<p>Tabla 9. Análisis de varianza de COT</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th><i>Origen de las variaciones</i></th> <th><i>F</i></th> <th><i>Valor crítico para F</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Filas</td> <td>0.72</td> <td>2.17</td> </tr> <tr> <td>Columnas</td> <td>0.00</td> <td>4.38</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Origen de las variaciones</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico para F</i>	Filas	0.72	2.17	Columnas	0.00	4.38
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico para F</i>																	
Filas	1.54	2.17																	
Columnas	4.20	4.38																	
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico para F</i>																	
Filas	0.72	2.17																	
Columnas	0.00	4.38																	
<p>Tabla 4. Análisis de varianza de pH</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th><i>Origen de las variaciones</i></th> <th><i>F</i></th> <th><i>Valor crítico para F</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Filas</td> <td>6.09</td> <td>2.17</td> </tr> <tr> <td>Columnas</td> <td>36.06</td> <td>4.38</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Origen de las variaciones</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico para F</i>	Filas	6.09	2.17	Columnas	36.06	4.38	<p>Tabla 10. Análisis de varianza de fósforo total</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th><i>Origen de las variaciones</i></th> <th><i>F</i></th> <th><i>Valor crítico para F</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Filas</td> <td>1.37</td> <td>2.17</td> </tr> <tr> <td>Columnas</td> <td>7.09</td> <td>4.38</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Origen de las variaciones</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico para F</i>	Filas	1.37	2.17	Columnas	7.09	4.38
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico para F</i>																	
Filas	6.09	2.17																	
Columnas	36.06	4.38																	
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico para F</i>																	
Filas	1.37	2.17																	
Columnas	7.09	4.38																	
<p>Tabla 5. Análisis de varianza de conductividad</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th><i>Origen de las variaciones</i></th> <th><i>F</i></th> <th><i>Valor crítico para F</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Filas</td> <td>0.97</td> <td>2.17</td> </tr> <tr> <td>Columnas</td> <td>2.82</td> <td>4.38</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Origen de las variaciones</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico para F</i>	Filas	0.97	2.17	Columnas	2.82	4.38	<p>Tabla 11. Análisis de varianza de C. Fecales</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th><i>Origen de las variaciones</i></th> <th><i>F</i></th> <th><i>Valor crítico para F</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Filas</td> <td>1.01</td> <td>2.17</td> </tr> <tr> <td>Columnas</td> <td>1.63</td> <td>4.38</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Origen de las variaciones</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico para F</i>	Filas	1.01	2.17	Columnas	1.63	4.38
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico para F</i>																	
Filas	0.97	2.17																	
Columnas	2.82	4.38																	
<i>Origen de las variaciones</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico para F</i>																	
Filas	1.01	2.17																	
Columnas	1.63	4.38																	

Tabla 6 Análisis de varianza de amonio

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Filas	1.33	2.17
Columnas	10.89	4.38

Tabla 12. Análisis de varianza de E. fecales

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Filas	1.99	2.17
Columnas	2.04	4.38

Continuación anexo I

Tabla 13. Análisis de varianza de biomasa

bacteriana viva

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Filas	0.62	2.17
Columnas	2.27	4.38

Tabla 16. Análisis de varianza del zinc

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Filas	.65	2.16
Columnas	87.6	4.38

Tabla 14. Análisis de varianza de biomasa

bacteriana muerta

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Filas	0.60	2.17
Columnas	0.21	4.38

Tabla 17. Análisis de varianza del cobre

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Filas	.76	2.16
Columnas	4.13	4.38

Tabla 15. Análisis de varianza del hierro

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Filas	.969	2.16
Columnas	1.49	4.38

Tabla 18. Análisis de varianza del plomo

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Filas	1.08	2.16
Columnas	17.54	4.38