

00322



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

187

FACULTAD DE CIENCIAS

CALIDAD MICROBIOLÓGICA Y FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA DE LOS CANALES DE XOCHIMILCO D. F.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I O L Ó G O

P R E S E N T A :

JOSUE SANDOVAL CONTRERAS



FACULTAD DE CIENCIAS UNAM

DIVISION DE ESTUDIOS PROFESIONALES

DIRECTOR DE TESIS: DRA. MARISOL MAZARI HIRIART

FACULTAD DE CIENCIAS SECCION LABORATORIAL

2003

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

A



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.

# PAGINACIÓN

# DISCONTINUA



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MEXICO

**DRA. MARÍA DE LOURDES ESTEVA PERALTA**  
Jefa de la División de Estudios Profesionales de la  
Facultad de Ciencias  
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito: Calidad microbiológica y fisicoquímica del agua de los canales de Xochimilco, D.F..

realizado por Sandoval Contreras Josué

con número de cuenta 9024 734-5 , quién cubrió los créditos de la carrera de Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

**Atentamente**

Director de Tesis	Dra. Marisa Mazari Hiriart
Propietario	
Propietario	M. en C. Irene Pisanty Baruch
Propietario	M. en C. María G. Barajas Guzmán
Suplente	M. en C. Mario A. Gómez Ponce
Suplente	QFB. Gonzalo Castillo Rojas

**Consejo Departamental de Biología**

**FACULTAD DE CIENCIAS  
U.N.A.M**

M. en C. Juan M. Rodríguez Chávez



**DEPARTAMENTO  
DE BIOLOGIA**

**Dedicada a mi Papá, Mamá, Hermana  
y a la UNAM**

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la  
UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el  
contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: José Samuel Contreras

FECHA: 27 de feb/ 2005

FIRMA: [Firma manuscrita]

**Agradecimientos.**

**De manera especial deseo agradecer a la Doctora Marisa Mazarí H. Por ser la tutora y directora principal de este trabajo.**

**A la bióloga Elia Velásquez, por el apoyo técnico en la parte microbiológica, así como a la bióloga Pilar Islas por el apoyo técnico en los muestreos realizados.**

**Al M. en C. Rafael Madrid y a su ayudante Ricardo Oropeza, por su apoyo en la parte estadística.**

**Al proyecto CONACYT 32505-T por el apoyo económico que recibí para la realización de este proyecto**

**Al biólogo Jaime Dehesa y a la delegación Xochimilco por las facilidades brindadas para la toma de muestras**

**Al Sr. José Luis Pacheco, Florencio del Angel Antonio y Javier Gómez por las facilidades brindadas para el transporte dentro de la zona de canales**

## INDICE

I. Antecedentes	1
II. Objetivos	4
III. Descripción del área de estudio	5
III.1 Fisiografía	5
III.2 Hidrología	6
III.3 Actividades productivas	6
III.4 Clima	7
III.5 Flora	7
III.6 Fauna	8
IV. Principios de bacteriología	9
IV.1 Bacterias indicadoras	10
IV.2 Estreptococos fecales	12
IV.3 Características del genero <i>Vibrio</i>	12
IV.4 Características del genero <i>Aeromonas</i>	13
IV.5 Características del genero <i>Pseudomonas</i>	13
IV.6 Características de otras bacterias	14
V. Relaciones fisicoquímicas	15
VI. Metodología	17
VI.1 Trabajo de campo	17
VI.2 Trabajo de laboratorio	17
VI.2.1 Análisis bacteriológico	18
VI.2.2 Aislamiento de coniformes totales	19
VI.2.3 Aislamiento de coniformes fecales	20
VI.2.4 Aislamiento de estreptococos fecales	20
VI.2.5 Aislamiento de otras bacterias	20
VI.2.6 Análisis fisicoquímico	20
VII. Discusión y resultados	22
VIII Conclusiones	55
Referencias	58
Anexo	62

## I. Antecedentes

La Cuenca de México es un espacio físico - geográfico de drenaje común, definida por sistemas topográficos y geográficos que permiten delimitarla territorialmente (Alvarez y Cassián, 1993). Originalmente, la cuenca estaba cerrada pero fue abierta de forma artificial. Actualmente, es considerada una de las 10 regiones en riesgo ambiental a nivel mundial por tener una alta densidad poblacional e industrial (Kasperson *et al.*, 1995). En ella se espera un deterioro de la calidad del aire y del agua que además afecta a las regiones circundantes de donde se suministran grandes volúmenes de agua.

De acuerdo con Brooks *et al.* (1997), existen algunos métodos para aprovechar o incrementar la disponibilidad del agua. A pesar de que todos ellos tienen limitantes, constituyen alternativas a los métodos tradicionales de almacenamiento y aprovechamiento del agua. Entre ellos están:

- La reutilización del agua a través de plantas de tratamiento de aguas residuales para riego.
- La manipulación de la vegetación para reducir el consumo de agua.
- Las actividades de recarga de los sistemas de agua subterráneos durante los periodos de lluvias
- El almacenamiento de agua en reservorios durante los periodos de lluvias
- La transferencia de agua de áreas con exceso a zonas con déficit

Para determinar la disponibilidad del agua es necesario conocer la cantidad de agua que se encuentra en las diferentes fases del ciclo hidrológico, además deben conocerse sus características fisicoquímicas y bacteriológicas para destinarla a diferentes actividades productivas, es decir, utilizarla de acuerdo a su calidad en actividades recreativas o como agua potable en el abastecimiento de las poblaciones (Athie, 1987).

La calidad de un ambiente acuático puede definirse por medio de un conjunto de indicadores relativos a la presencia de microorganismos, a la concentración de compuestos químicos y a la composición y estado de la biota encontrada en el cuerpo



de agua (Arriaga *et al.*, 2000). La incidencia de enfermedades gastrointestinales está estrechamente relacionada con la calidad del agua.

Actualmente, Xochimilco es la zona agrícola más fértil de la Cuenca de México y que produce la mayor cantidad de vegetales consumidos en la ciudad, con mucha frecuencia, crudos (Díaz y Vernon, 1999). Estos vegetales se riegan con el agua de los canales (Rosas *et al.*, 1984 ) que principalmente se compone de agua pluvial, agua residual y agua tratada (Vidrio y Avila, 2000).

Las bacterias que se encuentran en el agua de los canales proviene principalmente de los drenajes de agua grises, de las heces fecales provenientes de asentamientos aledaños a los canales, de los vertimientos de aguas semidepuradas y de la precipitación pluvial de los contaminantes atmosféricos (Bojórquez y Villa, 1995).

Las Normas Oficiales Mexicanas establecen un límite permisible en la proporción de bacterias coliformes totales y fecales en el agua de riego. Rosas *et al* (1984) observó una mayor proporción en el grupo de coliformes totales que de coliformes fecales en los canales de Xochimilco, aunque ambos parámetros rebasaron los niveles máximos de contaminación permitidos. Otros estudios realizados previamente han demostrado que las bacterias coliformes totales y coliformes fecales han superado notablemente los estándares de calidad microbiana en los vegetales porque además los microorganismos se adhieren a las estructuras vegetales (Beuchat, 1999 )

Existen otros indicadores de contaminación bacteriana en el agua que no se observan en la Norma Oficial Mexicana, como las bacterias pertenecientes a los géneros *Enterococcus*, *Vibrio*, *Pseudomonas* y *Aeromonas*.

La relación existente entre las enfermedades gastrointestinales y organismos del grupo *Enterococcus* en el agua (Cabelli 1983, Fleisher *et al.*, 1996, APHA 1998, Wyer *et al.*, 1999) se ha establecido a través de estudios epidemiológicos.

Las especies del genero *Aeromonas* también se asocian a enfermedades diarreicas en humanos (Deodhar *et al.*, 1991). El género *Pseudomonas* es uno de los más abundantes en los principales ambientes naturales del planeta (Doolittle, 1999). El género *Vibrio* se asocia con el cólera enfermedad que se transmite a través de la ingestión de alimentos y bebidas contaminadas con materia fecal (West, 1989) y que en materia acuícola afecta la producción y cultivo de crustáceos (Goarant *et al.*, 1999).

Estos trabajos previos nos permite suponer que existe una gran diversidad de microorganismos en los canales de Xochimilco, por lo cual se planteó un estudio microbiológico de ellos, así como la relación existente entre estos indicadores de contaminación bacteriana y parámetros los fisicoquímicos que puedan influir en el aumento o disminución de estas poblaciones.

## II. Objetivos

El presente trabajo tiene como objetivo general determinar la calidad del agua superficial en los canales de la delegación Xochimilco con base en parámetros microbiológicos y fisicoquímicos.

Con base a la Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público (NOM-003-ECOL-1997, DOF, 1998) y a la Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, que establece los límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización (DOF, 2000) los objetivos particulares son:

- Determinar si existen diferencias entre cada uno de los parámetros microbiológicos utilizados en comparación a los otros tres (coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales, otras bacterias).
- Determinar si existen diferencias en las poblaciones bacterianas entre la zona lacustre y turística de la zona de canales de Xochimilco.
- Determinar si existen diferencias de calidad microbiológica entre las zonas de descarga de agua residual tratada y el resto de los canales de Xochimilco.
- Determinar que tipo de bacteria indicadora es la que se presenta con mayor frecuencia de acuerdo con la estación del año (lluvias y secas).
- Determinar que parámetros fisicoquímicos afectan los niveles de contaminación bacteriológica.
- Determinar en que zonas el agua es de calidad adecuada para riego y potabilización.

### III. Descripción del área de estudio

El presente estudio se realizó en la zona lacustre de la delegación Xochimilco, al sur de la Ciudad de México, entre las coordenadas 19°09' y 19°19' de latitud norte y 98° 58' y 99°10' longitud oeste. Esta delegación colinda al norte con las delegación Coyoacán, al noroeste con Iztapalapa y Tláhuac, al sureste con Milpa Alta y al poniente con Tlalpan. La delegación Xochimilco cuenta con 11,571 hectáreas, que representan el 7.8% de la superficie total del Distrito Federal. El clima predominante es templado subhúmedo con una temperatura media anual de 16°C y una precipitación media anual de entre 700 y 900 mm al año (Vidrio y Avila, 2000).

#### III.1 Fisiografía

El territorio de la delegación se divide en tres zonas fisiográficas según Vidrio y Avila (2000):

- La primera es el cinturón Ajusco-Teuhtli, un área cuya deforestación ha provocado cierta aridez en las partes altas y con escurrimientos que humectan a las zonas bajas que son utilizadas para la producción agropecuaria.
- La segunda es el cinturón central Topilejo – Milpa - Alta ubicado en la parte sur y en donde la baja calidad de los suelos, la carencia de agua y el terreno pedregoso limitan el desarrollo de la actividad agrícola.
- Finalmente, la zona de canales ubicada en la parte central y norte de la delegación, que tiene un gran valor como zona de cultivo (Vidrio y Avila, 2000).

Las zonas lacustres son las que se han visto más afectadas con el cambio de uso de las chinampas. Tradicionalmente dedicadas a la agricultura, hoy en día se les da uso habitacional y pecuario, usos que provocaron nuevos y serios problemas de saneamiento regional. El cambio de uso de suelo también se observa en la zona sur del área de conservación ecológica donde se detecta una acelerada ocupación irregular como una consecuencia de las presiones de crecimiento sobre terrenos baratos y sin servicios (Canabal 1991).

### **III.2 Hidrología**

En la parte sur de la delegación se ha realizado una explotación forestal inadecuada simultánea a la aparición de nuevos asentamientos humanos que han alterado el medio natural. Esta alteración ha limitado la cantidad de agua que antes formaban los manantiales y alimentaba los canales. Además, los cambios climáticos han provocado diversos problemas como la disminución de la precipitación pluvial en casi un 30% (Vidrio y Avila, 2000), ocasionando mayor temperatura y resequedad del ambiente. El nivel de las aguas ha bajado considerablemente y con la introducción de aguas de tratamiento secundario se ha eliminado la mayor parte de la fauna lacustre mientras que el lirio acuático que obstruye los canales, se ha convertido en una plaga e incrementa la evaporación de agua. La extracción de agua del acuífero ha propiciado hundimiento de terreno en la parte norte de la delegación.

La carencia de redes de drenaje se localizan en las partes altas, en la zona chinampera y en algunos poblados a lo largo del camino hacia Tulyehualco. Esto provoca y agudiza los problemas de aporte de agua a los canales ya que se desalojan aguas negras en forma directa a los arroyos, barrancas y cañadas o en el mejor de los casos en fosas sépticas que muchas veces no cuentan con pozos de absorción construidos adecuadamente (Vidrio y Avila, 2000).

### **III.3 Actividades productivas**

Los cambios en la cantidad y calidad del agua han repercutido en la productividad de la agricultura chinampera la cual había sido posible en suelos con exceso de agua, de forma independiente del régimen de lluvias (Bojorquez *et al.*, 1995). Actualmente los niveles del agua son bajos por lo que es necesario bombearla desde los canales para regar los cultivos. Otro factor que afecta la producción chinampera es la calidad del agua tratada que llega a los canales, pues contiene compuestos orgánicos de lenta biodegradación, microorganismos y sales, que entre otros factores, provoca salinidad en el suelo y con ello, pérdida de la fertilidad (Jacob, 1995).

No obstante, las chinampas siguen siendo productivas gracias a que los chinamperos siguen aprovechando los procesos biológicos para acelerar el reciclaje de nutrientes y mantener la fertilidad del suelo. Prácticas tales como el uso de

estiércol, compostas y agua - lodo aportan agua y nutrientes propios del sistema en comparación con la agricultura industrial, que depende de fuentes de energía externas (Jiménez, 1995). Las chinampas son una parte importante de un ecosistema delimitado convencionalmente, que incluye a los habitantes locales y a los componentes abióticos particulares del sur de la Cuenca de México.

### **III.4 Clima**

De acuerdo con el sistema de clasificación climática de Köppen, modificado y adaptado para la Ciudad de México por García (1964), las montañas del centro y sur de México y la porción de la Altiplanicie Mexicana incluyendo la Cuenca de México, se encuentran dentro del grupo de climas templado-húmedos con lluvias todo el año (Cf), principalmente durante el verano debido a los movimientos de convección del aire y por la influencia de ciclones tropicales. La temperatura y la precipitación cambian en distancias muy cortas y producen importantes variaciones en el grado de humedad local.

Específicamente, el clima de la Cuenca de México es de tipo subtropical de altura, templado, semiseco y sin estación invernal bien definida. La temperatura media anual es de 15° C. Las lluvias ocurren de entre mayo y octubre con una precipitación media anual de 700 mm.

Debido a la topografía y a los accidentes orográficos que caracterizan a la Cuenca, los factores climáticos varían de una zona a otra, en consecuencia, las isotermas indican en la planicie una temperatura entre 15° y 16° C alcanzando temperaturas mayores en las zonas más bajas y las menores en las zonas de montaña (López, 1991). La temporada fría abarca los meses de diciembre a marzo, los meses de abril a junio son los más calurosos y se considera que a los meses entre mayo y octubre corresponde la temporada de lluvias.

### **III.5 Flora**

La vegetación de la Cuenca de México presenta diferentes especies adaptadas a los diferentes sistemas climáticos y edáficos que existen en ella. Sobre la planicie existen comunidades vegetales de pastizales que se reproducen a partir de los 2240

metros sobre el nivel del mar (msnm) y se desarrollan sobre suelos aluviales. La vegetación halófila habita sobre suelos salinos y alcalinos debajo de los 2250 msnm y propiamente corresponde a la vegetación típica de los fondos de los antiguos lagos de la Cuenca en los que forma un pastizal bajo y denso. Además en los lagos se desarrollo vegetación acuática en donde se encontraban las comunidades de especies de *Thypha latifolia* y *Scirpus validus* (tulares) que llegan a medir hasta 3 m. de altura; en los bordes de los canales hay especies de *Polygonum*, *Cyperus*, *Juncus*, *Echinochloa*, *Hydrocotyle*, *Eleocharis*, *Bidens*, *Berula*, *Sagittaria* y *Ludwigia*, una de las especies que domina el paisaje de las chinampas es el *Salix bonplandiana* (ahuejote) cuya función es delimitar y mantener los bordes de las chinampas (Rzendowski, 1975).

En los canales la vegetación flotante consiste principalmente de *Lemna gibba* (lentejilla de agua), *Azolla* y *Eichhornia crassipes* (lirio acuático).

### III.6 Fauna

La fauna de la Cuenca de México abarca especies que habitan ya sea en los ecosistemas de lagos o en los de montaña.

Actualmente la fauna lacustre que se conserva en Xochimilco, Zumpango y Texcoco es escasa, pero aún existen algunas especies de aves y peces que sobreviven desde que los pueblos prehispánicos comenzaron la explotación de los lagos, ya que se consumían animales acuáticos y las aguas mantenían el desarrollo productivo de las chinampas.

Las especies de ictiofauna mas comunes fueron el pescado blanco (*Chirostoma humboldtianum*), el charal (*Chirostoma jordani* y *Chirostoma regani*) así como variedades de especies chicas llamadas juiles que hoy están reducidos a las localidades chinamperas y a los restos del lago. En los canales de las chinampas del sur de la Cuenca se pueden encontrar numerosos anfibios como la Rana moctezuma y la Rana halecina, así como sapos *Scaphiopus multiplicatus* y *Bufo compatilis* y los ajolotes *Sirendon mexicanum*, *Sirendon edule* hem y *Aambystoma lacustris* (Lopez, 1991).

#### IV. Principios de bacteriología

El término bacteria proviene del latín, de la palabra *bacterium*, que significa barra o vara. Son los organismos procariontes más abundantes y antiguos en la Tierra, y que más se han tenido que adaptar a las diferentes condiciones de vida que cualquier otro organismo viviente (Alcamo, 1997).

Las bacterias han sido clasificadas (entre otras características) con base en una técnica de tinción en bacterias gram-positivas y gram-negativas. La técnica de tinción de Gram consiste en aplicar tinciones básicas o ácidas a las bacterias y son clasificadas dependiendo de la tinción que adquieran. Primero, se aplica alcohol a las bacterias y quedan sin tinción alguna, después se aplica safranina y las bacterias se tomarán ya sea rojas o naranjas (Gram-negativas), o azules y púrpuras (gram-positivas) (Alcamo, 1997).

No se ha dilucidado porque las bacterias mantienen este comportamiento, algunos microbiólogos opinan que el alcohol disuelve los lípidos y permite que el complejo de cristal de yodo-violeta de la tinción penetre en el citoplasma, así es como las bacterias gram-positivas con menos paredes celulares de lípidos son más susceptibles a efectos del alcohol (Alcamo, 1997).

#### Anatomía bacteriana

Casi todas las formas bacterianas se presentan en 3 formas distintas, en forma de barra, de espiral y esférica. Las que se presentan en forma de barra son conocidas como *bacillus*; miden entre 0.5 y 20  $\mu\text{m}$ . La mayoría se presentan aisladas una de otra pero algunas veces forman cadenas y se les da el nombre de *streptobacillus* (Alcamo, 1997).

Las bacterias que son de forma esférica son conocidas como *coccus*, que miden aproximadamente 0.5  $\mu\text{m}$  de diámetro; regularmente son redondas, pero algunas veces pueden ser ovaladas o elongadas. Cuando se juntan en pares después de reproducirse se les conoce como *diplococci*; si se asocian en cadenas se les conoce como *streptococci*, o en una sarcina, que es un ordenamiento de 8 *cocci*



empaquetados en un cubo. Por último, pueden ordenarse como racimos divididos al azar, es decir, como *Staphylococcus* (Alcama, 1997).

La tercera forma bacteriana es conocida como *Vibrio* la cual es una barra curva. otra forma bacteriana es de espiral llamada *Spirilla* que aparenta la forma de sacacorchos las cuales presentan una rígida pared celular con proyecciones flagelares que le ayudan a desplazarse (Alcama, 1997).

#### **IV.1 Bacterias indicadoras**

Algunos agentes que causan enfermedades en el tracto gastrointestinal en humanos se encuentran esparcidos en el agua contaminada con materia fecal. El aislamiento e identificación de todas las bacterias patógenas, parásitos y virus es complicado y requiere de tiempo, es por eso, que en el análisis de agua se emplean organismos indicadores para detectar la posible presencia de patógenos entéricos (APHA, 1998).

Durante más de medio siglo se ha empleado el grupo de bacterias coliformes como un indicador del grado de contaminación y por tanto de la calidad sanitaria del agua; este grupo se encuentra conformado por bacilos gram-negativos, aerobios y anaerobios facultativos, no esporulados, caracterizados por fermentar lactosa con producción de ácido y gas. La capacidad de producir es el criterio que permite diferenciar el componente fecal en el grupo coliforme.

El fundamento que sostiene el empleo de los organismos coliformes como grupo indicador de contaminación fecal en el agua es que se encuentran presentes en el intestino y en la heces de los animales de sangre caliente en mayor proporción que las bacterias patógenas y que no se multiplican en el agua limpia (APHA, 1998). Su presencia no indica obligatoriamente la existencia de patógenos en el agua, pero representan la probabilidad de que existan patógenos en el agua en el momento de efectuarse el muestreo (APHA, 1998).

Los organismos indicadores utilizados son las bacterias coliformes porque generalmente se encuentran asociados a patógenos acuáticos, tienen mayor supervivencia en el agua y son fáciles de aislar e identificar, es decir, que cumplen con los requisitos sugeridos por la U.S. Public Health Service (1986) que son:

- Los microorganismos deben ser fáciles de aislar y cultivar en el laboratorio.
- Deben ser relativamente inoocuos para el hombre y animales.
- Su presencia en el agua debe estar relacionada cualitativa y cuantitativamente con la de otros organismos patógenos.
- El organismo debe ser parte de la microflora intestinal de los animales de sangre caliente.
- La densidad del organismo indicador debe tener alguna relación con el grado de contaminación fecal.
- El organismo indicador no debe reproducirse en el agua.
- El organismo debe de presentarse donde quiera que existan organismos patógenos entéricos.
- El organismo debe poder existir en todo tipo de agua.

Las regulaciones de agua potable desde el punto de vista bacteriológico en nuestro país indican que ésta debe ser examinada con base en la presencia de organismos pertenecientes al grupo de coliformes totales y coliformes fecales (NOM-003-ECOL-1997, Diario Oficial de la federación, 1998).

El grupo de las bacterias coliformes totales pertenece además a la familia de las Enterobacterias, que cumplen con las características que deben tener los organismos indicadores. En general, pueden existir como saprófitos independientes o como parásitos intestinales excepto el género *Escherichia*, que solo es de origen fecal, de allí que se desprenda el grupo de las coliformes fecales, un subgrupo de coliformes totales del género *Escherichia* que tienen origen intestinal, y que además aportan una fuerte evidencia de que el origen de la carga bacteriana es de origen humano (Gerba, 2000).

Los análisis de coliformes fecales y totales se emplean para determinar la calidad del agua recreacional, residual, así como la de consumo humano, e incluyen los géneros *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter* y *Klebsiella*. Se considera que no son patógenos bajo condiciones normales y todos excepto *Escherichia* (coliformes fecales) son capaces de existir como saprofitos de vida libre así como en el tracto intestinal. La ausencia de coliformes totales y fecales en un abastecimiento de agua tratada es empleada como la base de las normas para agua potable (APHA, 1998).

## IV.2 *Streptococcus faecales*

El término estreptococos fecales generalmente se refiere a *Enterococcus faecalis*, *S. avium*, *S. equinus* y *S. gallinarum*, los cuales son habitantes normales del intestino de animales de sangre caliente y por lo tanto son buenos indicadores de la calidad microbiológica del agua. Por otro lado estos organismos pueden indicar el origen de la contaminación fecal del agua (Murray *et al.*, 1999).

El grupo de los *enterococcus* incluido dentro del grupo de los estreptococos fecales es considerado como un indicador fecal más confiable incluso que las coliformes fecales (Dutka 1973, Godfree *et al.*, 1997). Los *enterococcus* son bacterias gram-positivas por lo regular de forma oval, son facultativas anaerobias y su crecimiento óptimo es a 35° C aunque hay algunos tipos que crecen entre 10° C y 45° C. La movilidad solo se puede observar en algunas especies; pueden ser encontrados tanto en aguas como en suelos, animales y en alimentos. En los animales por lo general habita el tracto genitourinario y gastrointestinal, *E. faecalis* es la especie aislada mas común del tracto gastrointestinal en humanos (Murray *et al.*, 1999).

Las características principales de los estreptococos fecales que han llevado a sugerirlos como mejores indicadores de contaminación fecal de acuerdo con Gerba (2000) son:

- Rara vez se multiplican en el agua, por lo que su cuantificación es más confiable.
- Son mas resistentes al estrés y a la cloración.
- Sobreviven por más tiempo en el medio ambiente que el grupo de las coliformes.

## IV.3 Características del género *Vibrio*

El género *Vibrio* pertenece a la familia *Vibrionaceae*, el cual también incluye los géneros *Aeromonas*, *Plesiomonas* y *Photobacterium*.

Las bacterias del género *Vibrio* presentan formas rectas o curvas, son gram-negativas, miden de 0.5µm a 0.8µm de diámetro y de 1.4µm a 2.6µm de longitud;

usualmente son móviles ya que presentan un flagelo polar, aunque hay algunos tipos de *Vibrio* que cuentan con flagelos laterales cuando estos crecen en un medio sólido. Crecen en presencia o ausencia de oxígeno, y producen oxidasa excepto *V. Metschnikovii*; todas fermentan glucosa y algunas producen gases (Alcama, 1997).

Este género comprende mas de 30 especies y 12 de ellas son patógenas, dentro de las cuales se encuentra *Vibrio cholerae* causante del cólera en los humanos (Faruque *et al.*, 1998). La infección por *Vibrio* se debe al consumo de agua contaminada o a la ingestión de especies marinas que están contaminadas por algunas especies de *Vibrio* (Farmer y Hickman-Brenner, 1992).

#### **IV.4 Características de las *Aeromonas***

Las *Aeromonas* son bacterias gram-negativas y tienen un diámetro de 1 a 3.5  $\mu\text{m}$ , todas las especies de *Aeromonas* fermentan glucosa a excepción de *A. salmonicida* y *A. Media*. Son móviles, y muchas forman gases de esta glucosa, el rango de temperatura que soportan es de 0°C a 45°C. Habitan ambientes acuáticos de todo el mundo incluyendo estuarios y agua salobre. Las *Aeromonas* están asociadas con una gran variedad de enfermedades tanto en vertebrados de sangre caliente como de sangre fría e infectan el tracto respiratorio, el tracto genitourinario y las heridas con hemorragias (Murray *et al.*, 1999). Este género se ha encontrado relacionado en estudios microbiológicos con el grupo *Vibrio* en ambientes acuáticos (Dumontet *et al.*, 2000).

#### **IV.5 Características del género *Pseudomonas***

Este género comprende mas de 140 especies, 25 de las cuales están relacionadas con el género humano. La mayoría de las *Pseudomonas* son conocidas por ser patógenos oportunistas (Erskine *et al.*, 1987, Frank 1977, Jay 2000). Son bacterias gram-negativa con forma de vara y que mide aproximadamente de 0.5 $\mu\text{m}$  a 3  $\mu\text{m}$ , que por lo general se desplaza mediante un flagelo polar (Alcama, 1997).

#### **IV.6 Características de otras bacterias**

Las bacterias como *Salmonella typhi* se encuentra sólo en humanos y pueden verse como contaminantes en el ambiente. En contraste *Klebsiella pneumoniae* está distribuida en el medio ambiente y contribuye en procesos bioquímicos y geoquímicos; Sin embargo también es causante de enfermedades en los seres humanos que van desde una colonización asintomática del tracto urinario, el respiratorio e intestinal hasta septicemia (Murray *et al.*, 1999). Estas bacterias se agrupan artificialmente como indicadores sin tener necesariamente una relación de parentesco; son bacterias que se restringen a ambientes muy específicos.

Algunos tipos de bacterias están asociados con abscesos, neumonías, meningitis septicemia e infecciones en heridas, en el tracto urinario e intestinal.

*Shigella* es de los enteropatógenos más frecuentes que se aíslan de las heces de niños con diarrea con sangre sobre todo en los cuadros clínicos graves (Calva, 1998). Muchas especies son causantes de infecciones extraintestinales aunque solo algunas son las principales de la mayor parte del total de infecciones, aquí se incluyen *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *K. oxytoca*, *Proteus mirabilis*, *Enterobacter aerogenes*, *E. cloacae* y *Serratia marcescens* (Murray *et al.* 1999).

## V. Relaciones fisicoquímicas

El ecosistema es la unidad funcional básica de estudio de la ecología, se refiere al nivel de organización donde interactúan los organismos de una comunidad con su medio físico (Arriaga *et al.*, 2000). En un ecosistema acuático, uno de los factores físicos es el movimiento conectivo 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.

Otro factor físico importante en un sistema acuático es el pH. Este 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)

Además del pH y la temperatura, un componente físico importante en el agua es el oxígeno disuelto en ella. 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 las sales estén disueltas en el agua (Odum, 1972).

En un ecosistema acuático, la concentración total de sólidos disueltos es un parámetro muy útil que permite medir la densidad del agua (en forma indirecta a través de la conductividad eléctrica de las sales). Entre los sólidos disueltos mas importantes se pueden mencionar los carbonatos, cloruros, sulfatos, fosfatos y nitratos (Jorgensen y Vollenweider, 1988).

Los compuestos nitrogenados tienen dos tipos de fuentes: una externa o alóctona y otra interna o autóctona. 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).

Los nitratos son un elemento esencial para los organismos autótrofos fotosintéticos y se les considera como un nutriente limitante del crecimiento (Jiménez, 2001). Sin embargo, fuera de equilibrio, los compuestos del nitrógeno oxidado (suma de nitritos y nitratos) según la OMS (1995) ocasionan problemas tales como:

- Contaminación de cuerpos de agua pues favorecen el crecimiento exacerbado de plantas conocido como eutroficación acelerada. Las formas de nitrógeno directamente relacionadas con este fenómeno son los nitratos.
- El agua o leche materna que contienen altas concentraciones de nitratos, puede ocasionar metahemoglobinemia (asfíxia) en infantes menores a 6 meses.
- Cuando se emplea agua que contenga nitritos para la elaboración de alimentos, se corre el riesgo de formar sustancias carcinogénicas llamadas nitrosaminas.

El amoniaco se encuentra en el agua como ion amonio. Es 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). El nitrógeno amoniacal se presenta en forma natural en aguas superficiales y residuales. En acuíferos su concentración es muy baja debido a que se absorbe en las arcillas y a que no es lixiviado de los suelos, los principales problemas que ocasiona el amoniaco según Jiménez (2001) son:

- Toxicidad para la fauna acuática cuando se encuentra en forma de amoniaco.
- Disminución de la efectividad de la cloración.

## VI. Metodología

### VI.1 Trabajo de campo

Con el objeto de obtener las muestras de agua se seleccionaron 42 estaciones de muestreo entre 242 por un método estadístico al azar (Figura 1). Las estaciones se fijaron únicamente en los canales perennes, en secciones de canal a una distancia de 250 m.

Se colectaron muestras de agua en frascos de polipropileno de 1L y 500 mL de la marca Nalgene esterilizados a 115 atmósferas de presión durante 15 minutos. Una vez estériles, los frascos se etiquetaron con los datos del sitio y la fecha y permanecieron cerrados hasta que la muestra fue tomada. Estos frascos fueron introducidos en un colector cilíndrico de acero inoxidable, que fue cerrado e introducido al cuerpo de agua. El agua pasa a través del orificio del colector llenando el frasco de polipropileno que se encontraba en su interior. Después de llenado se desechó el excedente de agua del frasco y se dejó con  $\frac{3}{4}$  de su capacidad, ya que esto facilita que la muestra pueda homogeneizarse previamente al análisis. Las muestras se conservan en frío hasta que llegan al laboratorio y deben analizarse en las siguientes 6 horas.

Los muestreos se realizaron durante la mañana para después procesar las muestras en el laboratorio y completar los análisis de cada sitio en el menor tiempo posible.

### VI.2 Trabajo de laboratorio

Como se esperaba encontrar altas cantidades de bacterias indicadoras en los análisis de cada estación de muestreo, fue necesario realizar diferentes diluciones con el propósito de poder cuantificar las unidades formadoras de colonia (UFC). El proceso de las diluciones se explica detalladamente en el Anexo 1. Las diluciones se hicieron en una solución salina estéril tamponada a pH 7.0 (buffer de fosfatos). Estas muestras diluidas se hacen pasar por una membrana a través de la cual se filtra el agua, pero que retiene a las bacterias. Inmediatamente las membranas se colocan en medio selectivos y se incuban (APHA, 1998). Todo el



material que tiene contacto con las muestras debe esterilizarse. Para la esterilización del material se utilizó una autoclave y todos los portafiltras Millipore de vidrio se esterilizaron mediante calor húmedo. Los filtros y embudos se envolvieron en papel y se colocaron en el autoclave durante 15 minutos a una temperatura de 121°C.

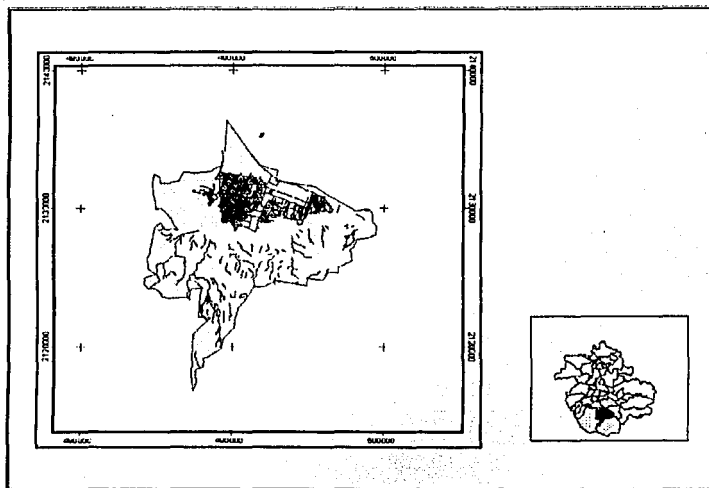


Figura 1. Plano de la zona de canales de Xochimilco donde se muestran los sitios muestreados de los canales.

### VI.2.1 Análisis bacteriológico

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Para estos análisis se realizaron diluciones con el objeto de disminuir la densidad de bacterias sobre la membrana y así poder cuantificar, las diluciones 1/10 se realizaron pipeteando asépticamente 1 mL de muestra en tubos de ensaye con 9 mL de solución tampón estéril y se agitaron hasta homogenizar la muestra, de esta se realizaron diluciones 1/100, 1/1000 y 1/10000, esto tomando un mililitro de la solución original de 1/10 con 9 mL de solución tampón para la diluciones de

1/100, para las diluciones de 1/1000 se tomó un mililitro de la solución 1/100 por 9 de tampón y para las diluciones 1/10000 se tomó un mililitro de la solución de 1/1000 por 9 de solución tampón, aunque para algunos casos se realizaron diluciones 1/1, o sea la misma cantidad de solución tampón y de muestra.

Previo al análisis se deben preparar medios selectivos y colocarse en cuantas cajas Petri se necesiten para analizar las muestras. Las de cajas de Petri (5.5 cm de diámetro) se colocan manejan dentro de un medio estéril y se abren con ayuda de unas pinzas estériles. Dentro de las cajas que se usarán para cuantificar bacterias coliformes totales y fecales (caldo M-endo y caldo M-FC respectivamente) se coloca un cojinete absorbente estéril (Millipore). Entonces se vierten 2mL de medio específico preparado en cada caja. En otras cajas se vierten 4 mL de agar KF que es un medio específico para la cuantificación de estreptococos fecales, y en otras cajas se vierten 4 mL de agar TCBS para cuantificar otras bacterias tales como *Vibrio* y *Aeromonas*. Estos dos últimos son medios sólidos.

Para el análisis de muestras se siguió la técnica de filtración a través de membrana que consiste en un portafiltros convencional de vidrio estéril conectado a una bomba de vacío, una membrana de celulosa (Millipore) con un tamaño del poro de 0.45  $\mu\text{m}$  a través de la que se filtra el agua. La membrana se coloca centrada y con la cuadrícula hacia arriba sobre la base del portafiltros. Se vacía la muestra diluida y resuspendida en el portafiltros y se recoge la membrana para colocarla en una caja de Petri preparada.

#### **IV. 2.2 Aislamiento de coliformes totales**

El medio de cultivo que se emplea para determinar coliformes totales es el caldo M-Endo. El reactivo Schiff del medio produce un color verde metálico iridiscente cuando reacciona con el  $\text{CO}_2$ , ácido y aldehídos que producen las coliformes cuando fermentan lactosa.

Se incuban por un periodo de 18 a 24 horas a una temperatura de 35° C.

#### **VI.2.3 Aislamiento de coliformes fecales**

El medio de cultivo que se ocupa para determinar coliformes fecales es el M-FC, el cual se acidifica en presencia de las bacterias y el azul de anilina produce un color azul claro u oscuro sobre las colonias (APHA, 1998).

#### **VI.2.4 Aislamiento de estreptococos fecales**

El agar que se ocupa es el KF. Se colocaron 4 mL de agar preparado en cada caja de Petri, la incubación fue de 48 horas a 35° C. El color de las colonias es rojo carmín o rosa y puede cubrir totalmente o solo una parte de las colonias.

#### **VI.2.5 Aislamiento de otra bacterias (*Vibrio*, *Pseudomonas* y *Aeromonas*)**

El medio de cultivo que se utilizó fue el TCBS. Cada una de estas cajas también se llena con 4 mL de agar preparado. La incubación fue de 48 horas a 35°C, el color de las colonias fue verde amarillento y verde azulado.

Después del tiempo de incubación se realizó el conteo de las bacterias que crecieron y se reportó por número de unidades formadoras de colonias (UFC) por 100 mL. Por tratarse de diluciones, la cuenta no es directa sino que deban hacerse los cálculos necesarios para obtener el resultado (el en anexo I se muestran los cálculos realizados para las diferentes diluciones).

#### **VI.2.6 Análisis fisicoquímico**

Las variables tomadas en cuenta para la realización de los análisis fisicoquímicos fueron profundidad, temperatura, pH, conductividad, cloro residual, amonio, nitratos y oxígeno disuelto, todas las variables fisicoquímicas fueron registradas al momento de realizar los muestreos en el campo.

El pH, temperatura y conductividad fueron registrados con un equipo modelo YSI 3500.

Para el registro de datos de cloro residual, amonio y nitratos se ocupó el equipo YSI 3500 con electrodos intercambiables. En la determinación de cloro residual se ocupó un electrodo modelo Orion 9770 BN; para el registro de amonio se ocupó un electrodo modelo Coming 476130 y para el registro de datos de los nitratos se ocupó un electrodo Coming 476134. La determinación del oxígeno disuelto se hizo con un oxímetro modelo YSI 51B.

Para el análisis de los resultados estadísticos se ocuparon los programas SPSS versión 10, Excel 2000 para Windows y SYSTAT versión 4.0. Los resultados del análisis estadístico obtenidos presentan un nivel significativo de  $\alpha = .05$ . Los tratamientos se compararon mediante las diferencias estadísticas de los promedios, si las diferencias son significativas, entonces es válida la mínima diferencia significativa honesta de la prueba de Tuckey.

## VII. Resultados y discusión

El término de tratamiento se le asignó a un tipo de sitio, un tipo de temporada y a uno y sólo un tipo de indicador microbiológico (Tabla 1.). Es decir, cada tratamiento corresponde particularmente a una combinación única de **tipo de sitio** (zona lacustre, dedicada al cultivo de vegetales o zona turística, dedicada al turismo y con asentamientos humanos), **tipo de indicador** (bacterias coliformes totales, fecales, estreptococos fecales u otras bacterias), y **temporada anual** (lluvias o secas). Son un total de 16 tratamientos.

Tabla 1. Número asignado a cada tratamiento

Tipo de bacterias indicadores de contaminación	Tipo de sitio			
	Lacustre		Turística	
	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas
Coliformes totales	1	9	5	13
Coliformes fecales	2	10	6	14
Estreptococos fecales	3	11	7	15
Otras bacterias	4	12	8	16

En la Tabla 2 se muestran los sitios visitados, las claves de los sitios, la fecha, y la temporada en la que fueron visitados en Xochimilco ("X", donde IX corresponde a lluvias, o a la primer temporada; IIX corresponde a la temporada seca y fría, o a la segunda temporada.) .

Tabla 2. Número asignado a cada sitio de muestreo

Número	Fecha	Clave	Nombre
1	20-Jun	IX 1	Cuemanco
2	20-Jun	IX 39	Lag. Tlilac

Número	Fecha	Clave	Nombre
3	20-Jun	IX 34	Atizapa
4	20-Jun	IX 35	Atizapa
5	20-Jun	IX 36	Atizapa
6	26-Jun	IX 63	Chicoco
7	26-Jun	IX 60	Chicoco
8	26-Jun	IX 57	Chicoco
9	26-Jun	IX 134	El Bordo
10	27-Jun	IX 136	Comunidad
11	27-Jun	IX 157	Japón
12	27-Jun	IX 180	San Gregorio
13	27-Jun	IX 101	Almoloya
14	3-Jul	IX 104	Comunidad
15	3-Jul	IX 110	Paso del Águila
16	3-Jul	IX44	Trancatitla
17	4-Jul	IX 182	Urrutia
18	4-Jul	IX 169	San Gregorio
19	4-Jul	IX 171	San Gregorio
20	4-Jul	IX 125	Apatlaco
21	10-Jul	IX 121	Huexocoapa
22	10-Jul	IX 118	Tezhuilo
23	10-Jul	IX 52	Cotetexpa
24	17-Jul	IX 84	Compuerta

Número	Fecha	Clave	Nombre
25	17-Jul	IX 79	Ayocolitla
26	17-Jul	IX 28	San Cristibal
27	17-Jul	IX 98	Miranur
28	18-Jul	IX 131	Zacapa
29	18-Jul	IX 94	Aya
30	18-Jul	IX 29	Escalantes
31	18-Jul	IX 127	Pizocoxpa
32	18-Jul	IX 124	Pizocoxpa
33	24-Jul	IX 81	Santísima
34	24-Jul	IX 77	Santísima
35	24-Jul	IX 75	Santísima
36	25-Jul	IX 23	San Diego
37	25-Jul	IX 20	Seminario
38	30-Ene	IIX 1	Cuemanco
39	23-Ene	IIX 39	Lag. Tiilac
40	30-Ene	IIX 34	Atizapa
41	30-Ene	IIX 35	Atizapa
42	30-Ene	IIX 36	Atizapa
43	29-Ene	IIX 63	Chicoco
44	29-Ene	IIX 60	Chicoco
45	29-Ene	IIX 57	Chicoco
46	22-Ene	IIX 134	El Bordo

Número	Fecha	Clave	Nombre
47	22-Ene	IIX 136	Comunidad
48	22-Ene	IIX 157	Japón
49	22-Ene	IIX 180	San Gregorio
50	23-Ene	IIX 101	Aimoloya
51	23-Ene	IIX 104	Comunidad
52	23-Ene	IIX 110	Paso del Ág
53	29-Ene	IIX 44	Trancatitla
54	6-Feb	IIX 182	Urrutia
55	6-Feb	IIX 169	San Gregorio
56	6-Feb	IIX 171	San Gregorio
57	7-Feb	IIX 125	Apatlaco
58	7-Feb	IIX 121	Huexocoapa
59	7-Feb	IIX 118	Tezhuilo
60	7-Feb	IIX 52	Cotetexpa
61	28-Feb	IIX 84	Compuerta
62	20-Feb	IIX 79	Ayocotitla
63	20-Feb	IIX 28	San Cristibal
64	19-Feb	IIX 98	Miramar
65	19-Feb	IIX 131	Zacapa
66	19-Feb	IIX 94	Aya
67	20-Feb	IIX 29	Escalantes
68	13-Feb	IIX 127	Pizocoxpa



Número	Fecha	Clave	Nombre
69	13-Feb	IIX 124	Pizocoxpa
70	13-Feb	IIX 81	Santísima
71	13-Feb	IIX 77	Santísima
72	13-Feb	IIX 75	Santísima
73	12-Feb	IIX 23	San Diego
74	12-Feb	IIX 20	Seminario

A las zonas de descarga también se les asigno un número el cual se presenta en la tabla 3.

Tabla 3. Se muestra el número asignado a cada sitio de descarga de agua

Número	Fecha	Clave	Nombre
1	14 de ago.	IX A	Nativitas
2	10 de jul.	IX B	Cerca Draga
3	25 de jul.	IX C	Santísima
4	14 de ago.	IX D	Xaltocan
5	16 de ago.	IX E	San Gregorio
6	19 de feb.	IIX A	Nativitas
7	28 de feb.	IIX B	Cerca Draga
8	12 de feb.	IIX C	Santísima
9	20 de feb.	IIX D	Xaltocan
10	28 de feb.	IIX E	San Gregorio

Los resultados de los muestreos realizados en los canales de Xochimilco se resumen en las siguientes tablas en las que se observan los resultados bacteriológicos obtenidos en la época de lluvias y secas (4 y 5 respectivamente) y los resultados fisicoquímicos obtenidos para lluvias y secas (en las tablas 6 y 7).

Los sitios IX 44 y IX 52 fueron eliminados en la estación lluviosa por que la densidad de UFC fue demasiado alta sin relación con los demás sitios.

### **Densidad de coliformes totales**

En lluvias los sitios con calidad microbiológica aceptable por medio de la prueba de coliformes totales son: clave IX 1, IX 39, IX 34, IX 35, IX 36, IX 60, IX 57, IX 134, IX 136, IX 157, IX 180, IX 104, IX 110, IX 182, IX 169, IX 121, IX 118, IX 124, y el sitio IX B

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana de reuso del agua (NOM-003-ECOL-1997) los sitios con clave IIX 1, IIX 39, IIX 34, IIX 35, IIX 36, IIX 60, IIX 57, IIX 134, IIX 157, IIX 101, IIX 104, IIX 110, IIX 82, IIX 169 y IIX 171, en época de secas se mantienen por debajo de los límites.

### **Densidad de coliformes fecales**

Durante la época de lluvias, los sitios que se encontraron dentro de los límites permisibles son IX 1, IX 34, IX 35, IX 36, IX 63, IX 60, IX 57, IX 134, IX 136, IX 157, IX 180, IX 104, IX 110, IX 182, IX 84, IX 131, IX 94, IX 29 y el sitio IX 20

Y en la temporada seca los sitios que se mantienen por debajo de la NOM-003-ECOL-1997 son IIX 1, IIX 39, IIX 34, IIX 35, IIX 36, IIX 157, IIX 180, IIX 104, IIX 110, IIX 182, IIX 169, y IIX 171.

Los estreptococos y otras bacterias (*Vibrio*, *Aeromonas* y *Pseudomonas*) no son considerados como parámetros de contaminación por la Norma Oficial Mexicana aunque son buenos indicadores de contaminación en el agua (APHA, 1998).

**Estreptococos fecales**

Secas: Sólo tiene un nivel aceptable el sitio IIX 1,

Lluvias: IX1, IX 1, IX 39, IX 34 y IX 104

***Vibrio, Aeromonas y Pseudomonas***

Durante las lluvias, los sitios con clave IX 101, IX 104, IX 125, IX 79, IX 131, IX 29, IX 127 y IX A mostraron menos de 1000 CFU/100mL

Los sitios con clave IIX 1, IIX 39, IIX 34, IIX 35, IIX 36, IIX 63, IIX 60, IIX 57, IIX 134, IIX 136, IIX 180, IIX 104, IIX 110, IIX 44, IIX 169, IIX 171, IIX 121, IIX 118, IIX 84, IIX 79, IIX 98, IIX 29, IIX 127, IIX 124, IIX 20, IIX A, IIX C y IIX D fueron aceptables para éste parámetro en la temporada de secas.

En las siguientes tablas se muestran los resultados obtenidos de las comparaciones hechas a los diferentes tratamientos así como a los sitios de las estaciones de lluvias y secas.

Tabla 4. Calidad bacteriológica en la zona de canales de Xochimilco, durante la época de lluvias

Numeración	No. Orden	Sitio	Nombre del sitio	Coliformes totales UFC/100mL	Coliformes fecales UFC/100mL	Streptococos fecales UFC/100mL	Otras enterobacterias UFC/100mL
1	5	IX-1	Cuemanco	0,0	0,0	800,200	10000,16000
2	23	IX-39	Lag. Tlalac	0,0	2000,1000	1000,0	1000,3000
3	6	IX-34	Atizapa	0,0	0,0	1000,1000	4000,2000
4	20	IX-35	Atizapa	0,0	0,0	2000,1000	2000,5000
5	44	IX-36	Atizapa	0,0	0,0	3000,0	4000,5000
6	29	IX-63	Chicoco	0,0	1200,0	1600,3000	10000,12000
7	15	IX-60	Chicoco	0,0	0,0	3000,3200	44000,13000
8	8	IX-57	Chicoco	0,0	0,0	3600,3800	20000,13000
9	11	IX-134	El Bordo	0,0	0,0	1000,2000	23000,28000
10	39	IX-136	Comunidad	0,0	1000,0	6000,5000	3000,2000
11	35	IX-157	Japón	0,0	1000,0	1000,2000	13000,23000
12	41	IX-180	San Gregorio	1000,0	1000,0	22000,9000	11000,6000
13	42	IX-101	Almoloya	6000,0	6000,0	4000,2000	1000,1000
14	17	IX-104	Comunidad	0,0	0,0	1000,1000	1000,0
15	2	IX-110	Paso del Ág	0,0	0,0	3400,4200	2000,4000
16	43	IX-44	Trancatilla	NC	54000,60000	26000,27000	8000,11000
17	32	IX-182	Urrutia	0,0	1000,0	4600,5000	8000,12000
18	27	IX-169	San Gregorio	0,0	10000,0	10000,11000	3400,1600
19	21	IX-171	San Gregorio	10000,0	10000,0	6000,1000	1400,2800
20	19	IX-125	Apatlaco	20000,10000	5000,3000	2000,1000	800,400
21	34	IX-121	Huexococapa	0,0	17000,8000	16000,14000	6000,3600
22	1	IX-118	Tezhuilo	0,0	15000,5000	9000,8000	3000,4200
23	22	IX-52	Cotetexpa	NC	5000,2000	NC	6400,6000
24	3	IX-84	Compuerta	50000,0	0,0	2000,2000	4000,3000
25	7	IX-79	Ayocotilla	1000000,0	1000000,0	3000,5000	1000,1000
26	25	IX-28	San Crisóbal	1000000,0	1000000,800000	51000,52000	13000,14000
27	18	IX-98	Miramar	1000000,0	1000000,0	21000,24000	2000,6000
28	26	IX-131	Zacapa	1000000,0	0,0	5000,4000	400,0
29	10	IX-94	Ava	2000000,0	0,0	53000,54000	1000,4600

Tabla 4. Continuación

Numeración	No. Orden	Sitio	Nombre del sitio	Coliformes totales UFC/100mL	Coliformes fecales UFC/100mL	Estreptococos fecales UFC/100mL	Otras bacterias UFC/100mL
30	28	IX-29	Escalantes	100000,0	0,0	3000,3000	800,600
31	36	IX-127	Pizcoxpá	20000,0	1600000,800000	25000,12000	400,400
32	40	IX-124	Pizcoxpá	0,0	9000,11000	7000,8000	4000,4000
33	12	IX-81	Santísima	30000,0	100000,100000	19000,23000	2800,1600
34	4	IX-77	Santísima	1800000,500000	300000,200000	136000,121000	5600,6000
35	38	IX-75	Santísima	700000,700000	300000,100000	27000,24800	8000,5000
36	16	IX-23	San Diego	700000,300000	400000,300000	24600,28000	2000,1800
37	24	IX-20	Seminario	3000000,0	0,0	4000,3000	2200,4000
38	**	IX-A	Nativitas	9000,4000	10000,20000	10000,6000	600,1000
39	**	IX-B	Cerca Draga	0,0	31000,17000	21000,28000	6400,6000
40	**	IX-C	Santísima	800000,700000	2000000,1000000	11000,13000	1200,1000
41	**	IX-D	Xaltocan	10000,8000	1090000,850000	164000,152000	21000,31000
42	**	IX-E	San Gregorio	1800000,300000	21000000,27000000	415000,440000	178000,206000

Tabla 5. Calidad bacteriológica en la zona de canales de Xochilco, durante la época de secas

Numeración	No. Orden	Sitio	Nombre del sitio	Coliformes totales	Coliformes fecales	Streptococos fecales	Otras enterobacterias
				UFC/100mL	UFC/100mL	UFC/100mL	UFC/100mL
1	5	IX-1	Cuemanco	200,0	200,0	200,0	400,200
2	23	IX-39	Lag. Tilac	200,0	600,0	1400,1600	600,200
3	6	IX-34	Atizapa	400,200	1000,800	22000,29000	600,400
4	20	IX-35	Atizapa	400,200	600,200	1200,600	0,0
5	44	IX-36	Atizapa	400,200	800,400	1600,1000	200,0
6	29	IX-63	Chicoco	1200,1200	1400,800	3000,2000	400,200
7	15	IX-60	Chicoco	400,200	1600,1000	6600,6000	400,200
8	8	IX-57	Chicoco	1200,400	1400,1000	3000,3000	200,200
9	11	IX-134	El Bordo	2000,0	10000,10000	2800,3400	400,200
10	39	IX-136	Comunidad	20000,10000	7000,9000	4000,4800	1000,1000
11	35	IX-157	Japón	1000,0	1000,0	1000,600	4000,2000
12	41	IX-180	San Gregorio	2000,1000	0,0	1200,1600	400,1000
13	42	IX-101	Almoleya	0,0	3000,1200	5400,6400	1200,1800
14	17	IX-104	Comunidad	0,0	400,0	3000,2200	400,800
15	2	IX-110	Paso del Ág	600,200	1600,400	3400,2600	800,200
16	43	IX-44	Trancatitla	4000,4000	3000,1000	6000,6000	1400,200
17	32	IX-182	Urrutia	600,200	400,0	2600,3000	2000,1000
18	27	IX-169	San Gregorio	800,400	1000,0	1000,1000	200,0
19	21	IX-171	San Gregorio	600,200	200,0	2000,1000	400,400
20	19	IX-125	Apatlaco	1200,1200	2000,2000	3000,2000	1600,2800
21	34	IX-121	Huexocapa	1000,800	2000,1000	7000,5000	400,400
22	1	IX-118	Tezhuilo	6000,6000	7000,7000	9000,13000	800,400
23	22	IX-52	Cotetexpa	80000,60000	70000,130000	39000,43000	1600,800
24	3	IX-84	Compuerta	460000,360000	20000,20000	5000,2000	400,400
25	7	IX-79	Ayocotitla	160000,170000	7000,1000	6000,3000	400,200
26	25	IX-28	San Cristóbal	380000000,180000000	30000000,100000000	2000000,800000	1400,1200
27	18	IX-98	Miramar	13000,4000	4000,3000	3000,0	400,200
28	26	IX-131	Zacapa	10000,10000	3000,3000	6000,7000	1400,1800
29	10	IX-94	Aya	330000,320000	700000,10000000	89000,98000	10200,10800

Tabla 5. Continuación

Numeración	No. Orden	Sitio	Nombre del sitio	Coliformes totales UFC/100mL	Coliformes fecales UFC/100mL	Estreptococos fecales UFC/100mL	Otras bacterias UFC/100mL
30	28	IIX-29	Escalantes	50000 ,40000	40000 ,30000	16000 ,10000	600 ,600
31	36	IIX-127	Pizocotpa	70000 ,20000	8000 ,3000	15000 ,20000	600 ,0
32	40	IIX-124	Pizocotpa	130000 ,140000	7000 ,9000	11000 ,18000	600 ,600
33	12	IIX-81	Santísima	40000 ,70000	8000 ,4000	11000 ,6000	1400 ,800
34	4	IIX-77	Santísima	110000 ,70000	6000 ,4000	11000 ,17000	4000 ,3800
35	38	IIX-75	Santísima	130000 ,140000	40000 ,10000	19000 ,25000	1200 ,1200
36	16	IIX-23	San Diego	520000 ,660000	240000 ,770000	59000 ,51000	3000 ,3000
37	24	IIX-20	Seminario	420000 ,190000	34000 ,28000	14000 ,19000	800 ,800
38	**	IIX-A	Nativitas	10000 ,10000	7000 ,5000	9000 ,9000	1000 ,200
39	**	IIX-B	Cerca Draga	3600000 ,4300000	10000 ,11000	20000 ,17000	2000 ,2000
40	**	IIX-C	Santísima	360000 ,310000	5000 ,5000	11000 ,19000	800 ,400
41	**	IIX-D	Xaltocan	14000000 ,28000000	1300000 ,2300000	30000 ,23000	1200 ,400
42	**	IIX-E	San Gregorio	1010000000 ,770000000	310000000 ,550000000	70000000 ,170000000	580000 ,310000

Tabla 6. Calidad del agua basada en parámetros fisicoquímicos en la zona de canales de Xochimilco en la época de secas

Numeración	No. Orden	Sitio	Nombre del Sitio	Profundidad m	Temperatura °C	Conductividad		O2 Disuelto mg/L	NO3 mg/L	NH4 mg/L	Cl mg/L
						uS/cm	pH				
<b>Zona Chinampera</b>											
1	5	IXX 1	Cuemanco	1.1	18.1	791	8.99	9.6	6.76	1.81	0.002
2	23	IXX 39	Lag. Tiliac	0.7	13.3	738	8.1	9.8	44.93	5.73	0.001
3	6	IXX 34	Atizapa	0.8	15	770	8.41	8	4.62	4.28	0.003
4	20	IXX 35	Atizapa	1.65	17	1304	8.44	10.8	6.76	57.11	0.001
5	44	IXX 36	Atizapa	0.8	16	740	7.79	9.6	11.97	1.46	0.004
6	29	IXX 63	Chicoco	0.7	15.7	699	8.15	11.4	11.97	10.16	0.019
7	15	IXX 60	Chicoco	1.2	15	699	8.58	12.8	17.52	37.09	0.009
8	8	IXX 57	Chicoco	0.8	15.1	695	8.74	12.6	6.76	6.6	0.016
9	11	IXX 134	El Bordo	1.6	12.4	762	8.89	7.4	15.74	1.24	0.001
10	39	IXX 136	Comunidad	0.3	12.8	727	7.2	5	26.59	5.73	0.002
11	35	IXX 157	Japón	1.5	13	710	8.65	11	34.56	0.02	0.002
12	41	IXX 180	San Gregorio	1.4	13.1	731	8.09	10	49.03	0.01	0.007
13	42	IXX 101	Almoleya	0.7	11.2	713	8.61	11	0.62	5.73	0.002
14	17	IXX 104	Comunidad	0.7	12.8	703	8.82	10	0.88	0.58	0.002
15	2	IXX 110	Paso del Ág	100	14.3	702	8.34	11	20.46	12.31	0.013
16	43	IXX 44	Trancatilla	1.3	14.9	719	8.27	9.4	8.18	2.78	0.013
17	32	IXX 182	Urrutia	1.82	16.3	740	8.18	3.2	14.48	2.78	0.008
18	27	IXX 169	San Gregorio	1.2	14.1	740	7.61	3.4	54.96	0.76	0.007
19	21	IXX 171	San Gregorio	1.4	14.8	728	8.18	5.8	11.97	0.76	0.013
20	19	IXX 125	Apatlaco	1.45	15.5	729	7.66	7.8	35.06	2.65	0.12
21	34	IXX 121	Huexococopa	1.78	15	723	7.48	3.4	25.3	6.12	0.045
22	1	IXX 118	Tezhuilo	100	15.3	706	7.36	4.2	15.52	11.48	0.128
23	22	IXX 52	Cotetexpa	1.07	15.3	378	6.79	1.8	0.7	4.96	0.485
24	24	IXX 20	Seminario	110	15.3	850	7.25	2.4	9.43	16.95	0.001
<b>Zona Turística</b>											
25	3	IXX 84	Compuerta	1.9	17.6	608	7.77	2.4	0.63	2.69	0.032



Tabla 6. Continuación

Numeración	No. Orden	Sitio	Nombre del Sitio	Profundidad m	Temperatura °C	Conductividad		O2 Disuelto mg/L	NO3 mg/L	NH4 mg/L	Cl mg/L
						uS/cm	pH				
26	7	IX 79	Ayocotilla	2	17.6	692	7.38	2.6	4.96	4.03	0.145
27	25	IX 28	San Cristibal	1.7	17.1	681	7.36	2.2	1.86	9.31	0.06
28	18	IX 98	Miramar	110	18.3	694	7.31	6	13.18	6.12	0.07
29	26	IX 131	Zacapa	100	14.6	754	6.78	7.4	0.19	4.03	0.002
30	10	IX 94	Aya	220	16.2	728	6.6	3.6	21.5	7.55	0.031
31	28	IX 29	Escalantes	1.65	17.1	692	7.06	7	1.86	6.12	0.134
32	36	IX 127	Pizocoxpa	1.6	16.6	724	7.52	3.2	8.58	0.73	0.008
33	40	IX 124	Pizocoxpa	200	16.3	724	7.42	2.8	50.17	1	0.007
34	12	IX 81	Santísima	200	16.1	725	7.34	4.5	115.75	31.79	0.011
35	4	IX 77	Santísima	200	16.4	690	6.95	3	6.21	2.57	0.018
36	38	IX 75	Santísima	1.5	17	689	7.4	3.2	2.69	2.57	0.023
37	16	IX 23	San Diego	0.4	15.6	627	7.38	3.4	43.65	0.03	0.027
<b>Salidas de las Plantas de Tratamiento</b>											
38	**	IX A	Nativitas	110	18.9	678	7.32	5.4	0.6	11.48	0.235
39	**	IX B	Cerca Draga	205	18.4	779	7.18	5.8	0.83	1.7	0.012
40	**	IX C	Santísima	0.4	18	650	7.28	3.8	8.2	0.02	0.102
41	**	IX D	Xalocan	100	17.3	745	6.69	9	4.21	7.55	0.007
42	**	IX E	San Gregorio	*	16.9	935	7.37	6.8	366.08	222.65	0

\* Sin profundidad

\*\* Sin No. de Orden/Salidas de la Planta de Tratamiento del Cerro de la Estrella

\* Sin dato

\*\* Sin No. De Orden

N.D. No detectable

u S/cm-microsiemens/centímetro

O2-Oxígeno disuelto

NO3-Nitratos

NH4-Amonio

Tabla 7. Calidad del agua basada en parámetros fisicoquímicos en la zona de canales de Nochimilco en la época de lluvias

Numeraación	No. Orden	Sitio	Nombre del Sitio	Profundidad m.	Temperatura °C	Conductividad uS/cm	pH	O2 Disuelto mg/L	NO3 mg/L	NH4 mg/L	Cl mg/L
<b>Zona Chinampas</b>											
1	5	IX-1	Cuemanco	1.7	20.6	467	8.8	7.4	2.5	0.165	0.00074
2	23	IX-39	Lag. Tiliac	1.2	21.4	1189	5.51	5.2	9.9	0.091	0
3	6	IX-34	Atizapa	1.12	22.1	595	7.5	5	20.8	0.096	0.00002
4	20	IX-35	Atizapa	1.77	21.9	1096	7.6	4.8	22.8	0.165	0
5	44	IX-36	Atizapa	1.42	21.4	581	7.47	4	8.99	0.21	0.00013
6	29	IX-63	Chicoco	1.6	20.9	992	7.66	6	5.7	0.096	0.0013
7	15	IX-60	Chicoco	1.3	20.9	983	7.69	6	17.3	1.124	0.0006
8	8	IX-57	Chicoco	98	20.9	982	7.55	6	27.5	0.197	0.0007
9	11	IX-134	El Bordo	1.03	19.8	1077	7.73	4.6	4.05	0.45	0.00044
10	39	IX-136	Comunidad	100	19.4	1642	7.35	3.5	14.52	0.084	0.00019
11	35	IX-157	Japón	1.32	20.9	1035	7.62	7.6	46.31	1.93	0.00002
12	41	IX-180	San Gregorio	1.67	21.7	1088	7.34	0.8	12.93	0.17	0.00002
13	42	IX-101	Almoloza	76	18.8	939	7.02	1.4	29.12	4.57	0.0003
14	17	IX-104	Comunidad	1.4	19.1	1079	7.06	0.8	14.52	4.78	0.00005
15	2	IX-110	Paso del Ág	1.08	19.02	989	6.88	1.4	32.7	2.53	0
16	43	IX-44	Trancatilla	2.25	20	831	6.86	1.2	20.56	3.04	0.11
17	32	IX-182	Uruúta	1.87	20.2	1127	7.38	0.6	16.31	0.68	0
18	27	IX-169	San Gregorio	1.62	20.5	1008	7.3	0.8	29.12	2.31	0.015
19	21	IX-171	San Gregorio	1.62	20.3	1000	7.37	1.2	20.56	4.57	0.012
20	19	IX-125	Apatlaco	1.83	21.4	905	7.53	7	6.5	0.12	0.012
21	34	IX-121	Huexococapa	1.65	19.6	849	7.27	1.8	2.9	2.19	0.014
22	1	IX-118	Tehuúlo	1.15	19.7	783	6.91	3.2	5.2	0.042	0.008
23	22	IX-52	Cotetexpa	1.1	19.2	701	1.97	1	0.9	1.57	0.00007
24	24	IX-20	Seminario	1.44	18.6	985	7.33	2	6.72	1.52	0
<b>Zona Turística</b>											
25	3	IX-84	Compuerta	2	21	646	6.86	2.2	35.3	2.19	0.019

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Tabla 7. Continuación

Numneración	No. Orden	Sitio	Nombre del Sitio	Profundidad m.	Temperatura °C	Conductividad uS/cm	pH	O2 Disuelto mg/L	NO3 mg/L	NH4 mg/L	CL mg/L
26	7	IX-79	Ayocotita	2.1	20.4	646	7.04	2	39.17	3.04	0.02
27	25	IX-28	San Cristóbal	2.1	21.2	643	7.31	1.4	17.09	5.9	0.022
28	18	IX-98	Miramar	1.5	21.3	697	7.36	2.8	43.46	1.57	0.0075
29	26	IX-131	Zacapa	87	17.7	1281	7.16	0.6	35.32	0.96	0.0003
30	10	IX-94	Aya	1.8	19.5	930	7.02	0.6	7.5	0.42	11.58
31	28	IX-29	Escalantes	1.39	21.4	612	6.86	3.8	53.5	1.13	2.41
32	36	IX-127	Pizocoxpa	2	21.9	655	6.95	2.4	28.7	0.22	0.15
33	40	IX-124	Pizocoxpa	1.7	21.8	654	7.05	1.6	17.09	0.59	0.06
34	12	IX-81	Santísima	1.37	20.2	711	7.01	2	48.2	0.26	0.004
35	4	IX-77	Santísima	98	20.1	711	7.18	1.8	43.45	0.05	0.002
36	38	IX-75	Santísima	1.1	20	797	7.3	0.8	53.5	1.13	0.0002
37	16	IX-23	San Diego	1.3	19.9	688	7	3.8	17.09	0.65	0.08
<b>Salidas de las Plantas de Tratamiento</b>											
38	**	IX-A	Nativitas	1	20	638	6.82	5.4	36.27	0.999	0.051
39	**	IX-B	Cerca Draga	2.1	19.7	941	6.74	3.4	0.9	2.19	0.00002
40	**	IX-C	Santísima	80	19.8	683	6.91	4	7.5	0.83	0.07
41	**	IX-D	Xaltocan	1.05	19	530	6.86	6	15.72	1.002	0.05
42	**	IX-E	San Gregorio	*	18.1	746	7	6.8	43.68	1.00014	0.024

\* Sin profundidad

\*\* Sin No. de Orden/Salidas de la Planta de Tratamiento del Cerro de la Estrella

\* Sin dato

\*\* Sin No. De Orden

N.D. No detectable

1 S/cm-microsiems/centimetro

O2-Oxígeno disuelto

NO3-Nitratos

NH4-Amonio

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

En la Tabla 8 se muestran las comparaciones hechas entre los tratamientos haciendo énfasis en las diferencias entre las UFC/100mL que se contabilizan en los diferentes medios de cultivo utilizados. Esto con el fin de evaluar si existe alguna diferencia entre los indicadores en el mismo tipo sitio y en la misma época del año y qué indicador era más consistente suponiendo estas condiciones (época del año y tipo de sitio) como fijas en éste modelo, por lo tanto, se compararon en cada grupo de cuatro tratamientos cada uno de los tratamientos contra los otros tres. Se analizaron los conjuntos de tratamientos {1, 2, 3, 4}; {5, 6, 7, 8}; {9, 10, 11, 12}; {13, 14, 15, 16}(Tabla 8).

Los resultados muestran que el tratamiento 13 correspondiente a coliformes totales, en época de secas de la zona turística es el tratamiento que presenta diferencia estadística con el tratamiento 15 (estreptococos fecales, época de secas, tipo de sitio turístico) y el tratamiento 16 (*Vibrio*, *Aeromonas* y *Pseudomonas* época de secas, tipo de sitio turístico) esta diferencia estadística la muestra que el tratamiento 13 presenta la mayor carga bacteriana en esta época y en éste tipo de sitio, las demás comparaciones realizadas entre los tratamientos no presentaron diferencia estadística entre ellos.

Tabla 8 Comparación múltiple entre todos los tratamientos tomando en cuenta el resultado del UFC/100 mL

Tratamiento	Tratamiento	Significancia
1	2	1
	3	1
	4	1
2	1	1
	3	1
	4	1
3	1	1
	2	1
	4	1
4	1	1
	2	1
	3	1
5	6	.882
	7	1
	8	1
6	5	.882
	7	.867
	8	.866
7	5	1
	6	.867
	8	1
8	5	1
	6	.866
	7	1
9	10	1
	11	1
	12	1
10	9	1
	11	1
	12	1
11	9	1
	10	1
	12	1
12	9	1
	10	1

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

13	14	.132
	15	.001
	16	.000
14	13	.132
	15	1
	16	1
15	13	.001
	14	.990
	16	1
16	13	.000
	14	.866
	15	1

Se evaluó la relación con la que las cuentas de bacterias de cada indicador *corresponden a los otros en ambas estaciones. En la tabla 9 se observa que no hubo una diferencia estadística, lo que significa que el número total de colonias por tipo de indicador no es diferente uno de otro.*

Tabla 9. Comparación múltiples entre los diferentes tipos de bacterias indicadoras, tomando en cuenta las dos estaciones del año

Bacteria indicadora	Bacteria indicadora	Significancia
Coliformes fecales	Coliformes totales	.463
	Vibrio, Pseudomonas y Acromonas	.779
	Estreptococos fecales	.895
Coliformes totales	Coliformes fecales	.463
	Vibrio, Pseudomonas y Acromonas	.077
	Estreptococos fecales	.136
Otras bacterias	Coliformes fecales	.779
	Coliformes totales	.077
	Estreptococos fecales	.995
Estreptococos fecales	Coliformes fecales	.895
	Coliformes totales	.136
	Vibrio, Pseudomonas y Acromonas	.995

*En las siguientes tablas se muestran las comparaciones de cada grupo de indicador haciendo hincapié en las diferencias estadísticas que hay comparadas con los otros sitios, y contra sí mismas, pero en otra época del año.*

En la tabla 10 se muestran las comparaciones entre las cuentas hechas a los estreptococos fecales por cada sitio, en donde se muestran solo los sitios que reportaron diferencias entre los demás sitios, y al mismo sitio en diferente estación. El sitio con clave IIX 28 de la época de secas es el sitio con mayor carga bacteriana en cuanto a *estreptococos fecales se refiere y reporta diferencias consigo mismo en la otra estación del año por su alta carga bacteriana.*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Tabla 10. Comparación múltiple entre los sitios de estreptococos focales que presentaron una diferencia estadística con respecto a los demás sitios en su estación y en el mismo sitio en diferente estación

Sitio	Sitio	Significancia
63 ( IX 28, estación seca )	26 ( IX 28 estación lluvias )	.000
	38	.000
	39	.000
	41	.000
	42	.000
	43	.000
	44	.000
	45	.000
	46	.000
	47	.000
	48	.000
	49	.000
	50	.000
	51	.000
	52	.000
	53	.000
	54	.000
	55	.000
	56	.000
	57	.000
	58	.000
	59	.000
	60	.000
	61	.000
	62	.000
	64	.000
65	.000	
66	.000	
67	.000	
68	.000	
69	.000	
70	.000	
71	.000	
72	.000	
73	.000	
74	.000	

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En la Tabla 11 se muestran las comparaciones hechas entre el grupo de "otras bacterias" por cada sitio, Sólo se reportan los sitios en los que se ve una diferencia contra los demás y contra sí mismos en otra estación del año. Estos son: el sitio IX60 de la zona turística, el sitio IX57 de la estación de lluvias de la zona turística con mayor carga bacteriana, el sitio IX134 de la zona turística en lluvias, y el sitio IX 157 de la zona turística uno de los sitios con mayor carga bacteriana. Es decir, que en la época de lluvias, existen varios puntos en la zona turística en las que se pueden encontrar cargas altas de bacterias del tipo *Vibrio*, *Pseudomonas*, y *Aeromonas*

Tabla 11. Comparación múltiple entre los sitios de otras bacterias que presentaron una diferencia estadística con respecto a los demás sitios en su estación y en el mismo sitio en diferente estación

Sitio	Sitio	Significancia
7 (IX 60, estación de lluvias)	44 (IX 60, estación de seca)	.000
	1	.003
	2	.000
	3	.000
	4	.000
	5	.000
	6	.000

Tabla 11. Continuación

7 (IX 60, estación de lluvias)	10	.000
	12	.000
	13	.000
	14	.000
	15	.000
	16	.000
	17	.000
	18	.000
	19	.000
	20	.000
	21	.000
	22	.000
	23	.000
	24	.000
	25	.000
	26	.005
	27	.000
	28	.000
	29	.000
	30	.000
	31	.000
	32	.000
	33	.000
	34	.000
	35	.000
	36	.000
	37	.000
8 (IX 57 estación de lluvias)	45 (IIX 57 estación de secas)	.001
	2	.011
	3	.031
	10	.038
	13	.003
	14	.002
	15	.031
	18	.018
	19	.012
	20	.002
	25	.003
	28	.001
	29	.025
	30	.002
	31	.002
	33	.013
	36	.009
	37	.035
9 (IX 134 estación de lluvias)	46 (IIX 134 estación de secas)	.000
	2	.000
	3	.000
	4	.000
	5	.000
	6	.011
	10	.000
	12	.001
	13	.000
	14	.000
	15	.000
	16	.002
	17	.003
	18	.000
	19	.000
	20	.000
	21	.000
	22	.000
	23	.000
	24	.000
	25	.000
	27	.000
	28	.000
	29	.000
	30	.000
	31	.000
	32	.000
	33	.000
	34	.000

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Tabla 11. Continuación		
9 (IX 134 estación de lluvias)	35	.000
	36	.000
	37	.000
11 (IX 157 estación de lluvias)	48 (IIX 157 estación de secas)	.006
	2	.002
	3	.006
	4	.011
	5	.031
	10	.003
	13	.001
	14	.000
	15	.006
	18	.003
	19	.002
	20	.000
	21	.043
	22	.012
	24	.011
	25	.001
	27	.018
	28	.000
	29	.005
	30	.000
	31	.000
	32	.018
	33	.002
	36	.002
	37	.007
26 (IX 28 estación de lluvias)	63 (IIX 28 estación de secas)	.111
	7	.006
	28	.039
	31	.047

Del mismo modo se muestran (en la Tabla 12) las comparaciones hechas dentro del grupo de las coliformes totales por sitio. Sólo se reporta el sitio con clave IIX28 que es el único diferente estadísticamente a los demás sitios y a sí mismo en otra época del año con la mayor carga bacteriana de éste grupo particular de indicadores

Tabla 12 Comparación múltiple entre los sitios de coliformes totales que presentaron una diferencia estadística con respecto a los demás sitios en su estación y en el mismo sitio en diferente estación

Sitio	Sitio	Significancia
63 (IIX 28, estación de lluvias)	26 (IIX 28 estación de secas)	.000
	38	.000
	39	.000
	40	.000
	41	.000
	42	.000
	43	.000
	44	.000
	45	.000
	46	.000
	47	.000
	48	.000
	49	.000
	50	.000
	51	.000
	52	.000
	53	.000
	54	.000
	55	.000
	56	.000
	57	.000
	58	.000
	59	.000
	60	.000
	61	.000

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Tabla 12. Continuación  
63(IX 28, estación de lluvias)

62	.000
64	.000
65	.000
66	.000
67	.000
68	.000
69	.000
70	.000
71	.000
72	.000
73	.000
74	.000

En la Tabla 13 se muestran las comparaciones hechas a las coliformes fecales. Se muestra el sitio IIX28 que es el sitio con mayor densidad de coliformes fecales en la zona turística y que muestra diferencias significativas con todos los tratamientos de coliformes fecales en la estación de lluvias en la zona turística y contra sí misma en época de secas.

Tabla 13 Comparación múltiple entre los sitios de coliformes fecales que presentaron una diferencia estadística con respecto a los demás sitios en su estación y en el mismo sitio en diferente estación

Sitio	Sitio	Significancia
63(IX 28, estación de lluvias)	26( IIX 28 estación de secas)	.000
	38	.000
	39	.000
	40	.000
	41	.000
	42	.000
	43	.000
	44	.000
	45	.000
	46	.000
	47	.000
	48	.000
	49	.000
	50	.000
	51	.000
	52	.000
	53	.000
	54	.000
	55	.000
	56	.000
	57	.000
	58	.000
	59	.000
	60	.000
	61	.000
	62	.000
	64	.000
	65	.000
	66	.000
	67	.000
	68	.000
	69	.000
	70	.000
	71	.000
	72	.000
	73	.000
	74	.000

Los siguientes resultados, reportados en la Tabla 14 se refieren a las comparaciones hechas para hallar diferencias significativas entre los tratamientos bacterianos haciendo

énfasis en las densidades bacterianas en época de lluvias y secas, y en la zona turística y chinampera. Se hicieron nuevamente grupos de cuatro tratamientos, así se compararon los tratamientos {1,5,9,13}; {2, 6, 10, 14}; {3,7,11, 15}; {4, 8, 12, 16} dentro de cada grupo, cada uno contra los otros tres.

Los resultados muestran que el tratamiento 13 (coliformes totales, época de secas, zona turística) muestra una diferencia significativa, lo que se presenta por su alta carga bacteriana con respecto a los tratamientos comparados que en este caso fueron el mismo tipo de indicador en todos los tipos de sitio y en las 2 épocas del año, los demás tratamientos comparados no mostraron diferencia significativa.

Tabla 14 Comparación entre los tratamientos donde se compara el tipo de indicador bacteriano en diferentes épocas del año y diferentes tipos de sitios

Tratamiento	Tratamiento	Significancia
1	9	1
	5	1
	13	.000
2	10	1
	6	1
	14	.793
3	11	1
	7	1
	15	1
4	12	1
	8	1
	16	1
5	1	1
	9	1
	13	.000
6	2	1
	10	1
	14	.918
7	3	1
	11	1
	15	1
8	4	1
	12	1
	16	1
9	1	1
	5	1
	13	.000
10	2	1
	6	1
	14	.793
11	3	1
	7	1
	15	1
12	4	1
	8	1
	16	1
13	1	.000
	9	.000
	5	.000
14	2	.793
	10	.793
	6	.918
15	3	1
	11	1
	7	1
16	4	1
	12	1

Tabla 14. Continuación

	8	1
--	---	---

En las siguientes tablas (15, 16, 17 y 18) se muestran las comparaciones estadísticas entre los sitios de descarga de agua residuales tratadas, a los cuales se les asignó una nueva numeración.

De los 10 sitios el único que presentó una diferencia estadística en los cuatro grupos bacterianos (Otras bacterias, coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales) fue el sitio 10 con clave IIX E, correspondiente a la estación de secas. Este sitio presentó las mayores cargas bacterias de todos los sitios analizados en este estudio .

Tabla 15 Comparación entre estreptococos focales en las zonas de descarga de agua tratada, así como solo de aquellos que presentaron una diferencia estadística con respecto a los demás.

Sitio	Sitio	Significancia
10	1	.007
	2	.007
	3	.007
	4	.007
	5	.007
	6	.007
	7	.007
	8	.007
	9	.007

Tabla 16 Comparación entre otras bacterias en las zonas de descarga de agua tratada, así como solo de aquellos que presentaron una diferencia estadística con respecto a los demás

Tratamiento	Tratamiento	Significancia
10	1	.001
	2	.001
	3	.001
	4	.001
	5	.001
	6	.001
	7	.001
	8	.001
	9	.001

Tabla 17 Comparación entre coliformes fecales en las zonas de descarga de agua tratada, así como solo de aquellos que presentaron una diferencia estadística con respecto a los demás

Tratamiento	Tratamiento	Significancia
10	1	.000
	2	.000
	3	.000
	4	.000
	5	.000
	6	.000
	7	.000
	8	.000
	9	.000

Tabla 18 Comparación entre coliformes totales en las zonas de descarga de agua tratada, así como solo de aquellos que presentaron una diferencia estadística con respecto a los demás

Tratamiento	Tratamiento	Significancia
10	1	.000
	2	.000
	3	.000
	4	.000

Tabla 18. Continuación

10	5	.000
	6	.000
	7	.000
	8	.000
	9	.000

En la Tabla 19 se muestran los promedios obtenidos por tratamientos. Todos los grupos de indicadores de contaminación fecal resultaron más abundantes en la zona turística en la época de secas.

Tabla 19 Resultado de UFC hecha de la comparación de bacteria indicadoras que reportaron una mayor incidencia en las 2 épocas del año

Grupo bacteriano	Lacustre		Turística	
	Lluvias	Secas	Lluvias	Secas
Coliformes totales	1 093	168 970	486 972	66 337 138
Coliformes fecales	5 337	6 312	1 669 166	25 434 000
Estreptococos fecales	6 117	6 358	54 316	6 762 277
Otras bacterias	7 558	787	15 255	26 272

Geldreich y Kenner (1969) propusieron el cociente entre coliformes fecales y estreptococos fecales (CF/EF) para conocer si la contaminación es de origen animal o humana. La relación supone que si el cociente es:

- >4, existe una fuerte evidencia de que la contaminación es de origen humano.
- 2.0-4.0 es una buena evidencia de que la predominancia de la carga bacteriana es de desechos humanos.
- 0.7-2.0, entonces hay buena evidencia de que la predominancia de la carga bacteriana es de desechos animales domésticos con otros desechos mixtos de contaminación.
- <.7, la evidencia de que la carga bacteriana es de origen animal es muy fuerte.

Aún cuando esta relación ha sido criticada, en este caso nos da una idea del origen de la contaminación fecal y por lo cual los resultados muestran:

- En la zona lacustre en época de lluvias el resultado obtenido fue .872, por lo cual se considera que el origen de carga bacteriana es de origen animal.
- En la zona turística en época de lluvias el resultado obtenido fue 30.73 lo que es una clara evidencia de que la carga bacteriana es de origen humano.

c) En la zona lacustre en época de secas el resultado obtenido fue .992 lo que significa que el origen de la carga bacteriana es predominantemente de animales domésticos con otros desechos mixtos.

d) En la zona turística en época de secas el resultado obtenido fue 3.76 lo que muestra evidencia de que la carga bacteriana es de origen humano.

Debe señalarse que los sitios con afluentes de las plantas de tratamiento están dentro de la zona turística, lo cual afecta directamente la calidad del agua.

En la Figura 2 se muestran las abundancias de todos los indicadores relativos a cada estación del año (lluvias y secas). Aquí puede verse cómo la concentración de bacterias es mayor durante la estación seca y el indicador más representativo es el grupo de coliformes totales. Las coliformes fecales las siguen en abundancia; estas abundancias son razonables, y pueden explicarse ya que las coliformes fecales son un subgrupo de las coliformes totales, y que las coliformes fecales tienen un crecimiento mayor al de los estreptococos fecales (Glesson y Gray, 1997).

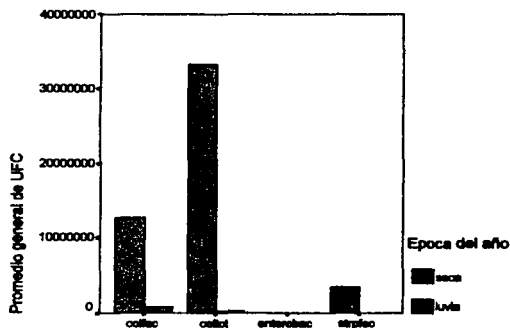


Figura 2. Interacción indicador bacteriano vs época del año

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

En la Figura 3 se observa el comportamiento general de las bacterias indicadoras por tipo de sitio y por época del año. Aquí puede observarse que en la zona turística las cuentas bacterianas se incrementan durante la época de secas, mientras que en la zona lacustre los indicadores tienen una abundancia similar en las dos épocas del año.

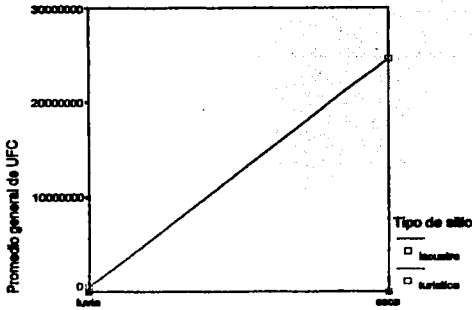


Figura 3. Interacción tipo de sitio vs época del año

En la Figura 4 se observa el promedio general de las bacterias indicadoras por tipo de sitio. Las coliformes totales reportan una mayor carga bacteriana en la zona turística. En general el promedio de bacterias es menor en la zona lacustre que en la turística

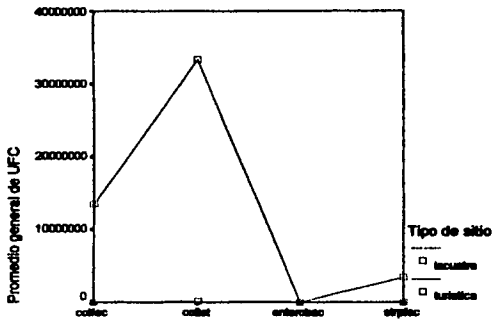


Figura 4. Interacción indicador bacteriano vs tipo de sitio

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

### Variables Físicoquímicas

Para los análisis físicoquímicos, las variables que se tomaron en cuenta para realizar las comparaciones estadísticas fueron: pH, temperatura, profundidad, oxígeno disuelto, conductividad,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$  y Cl residual. Se realizaron análisis univariados para cada tipo de

indicador y por época del año, ya que se requería conocer como afectaba cada variable fisicoquímica a cada grupo bacteriano.

### **VARIABLES FISICOQUÍMICAS DURANTE LA TEMPORADA SECA.**

El pH que en un sistema acuoso es una medida del equilibrio ácido-base (APHA, 1998) En éstos análisis tuvo una media de 7.73 y se mantuvo en los límites permisibles por la Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 2000), que establece los límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. En ella, el rango permisible para el pH fluctúa de 6.5-8.5. No reportó una diferencias significativas en ninguno de los 4 tipos de bacterias indicadoras (tabla 20).

Tabla 20. Comparación realizada entre el pH y los tipos de indicadores

Variables	Significancia
Coliformes totales	.893
Coliformes fecales	.616
Estreptococos fecales	.416
Otras bacterias	.435

Las características microbiológicas del agua están relacionadas con la temperatura debido a su efecto en el crecimiento y la supervivencia de los microorganismos. En general la desinfección del agua se facilita cuando la temperatura aumenta y cuando la temperatura del agua disminuye provoca la disminución de las reacciones químicas en general (OPS, 1987). En los análisis realizados, la temperatura en época de secas no mostró una diferencia estadísticamente significativa en los cuatro grupos de bacterias y mostró una media de 15.65 °C. (Tabla 21)

Tabla 21. Comparación realizada entre la temperatura y los tipos de indicadores

Variables	Significancia
Coliformes totales	.847
Coliformes fecales	.608
Estreptococos fecales	.266
Otras bacterias	.825

La profundidad con un promedio de 1.25 m si mostró una diferencia estadística significativa en otras bacterias (*Vibrio*, *Pseudomonas* y *Aeromonas*) lo que significa que la profundidad puede ser factor importante en la presencia de estas bacterias, especialmente en los sitios someros, donde llega mayor cantidad de luz (Tabla 22).

Tabla 22. Comparación realizada entre la profundidad y los tipos de indicadores

Variabes	Significancia
Coliformes totales	.155
Coliformes fecales	.871
Estreptococos fecales	.881
Otras bacterias	.043

El oxígeno disuelto, que influye en las reacciones de oxidación-reducción en el agua(OPS, 1987) mostró un promedio fue de 6.51 mg/L en época de secas y no mostró una diferencia estadística significativa en los 4 tipos de indicadores (Tabla 23):

Tabla 23. Comparación realizada entre el oxígeno disuelto y los tipos de indicadores.

Variabes	Significancia
Coliformes totales	.593
Coliformes fecales	.063
Estreptococos fecales	.448
Otras bacterias	.829

La conductividad que se define como la capacidad de las soluciones de transmitir cargas eléctricas por la presencia y concentración de iones en el agua(APHA, 1998). En época de secas no mostró una diferencia estadística significativa en los cuatro grupos bacterianos mostrando una media de 711.697 uS/cm, los resultados de estos análisis se muestran en la Tabla 24.



Tabla 24. Relación de la conductividad comparada con los cuatro grupos bacterianos

Variables	Significancia
Coliformes totales	.804
Coliformes fecales	.897
Estreptococos fecales	.691
Otras bacterias	.710

Las concentraciones de  $\text{NH}_4$  y  $\text{NO}_3$  se consideran en forma conjunta debido a que la conversión de una forma a otra se produce en el ambiente como parte del ciclo del nitrógeno (Tchobanogous y Schroeder, 1987). Los resultados mostrados en las tablas 25 y 26, indican que hay un aporte de materia orgánica.

Según los lineamientos de calidad del agua requeridos por la NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 2000), que establece los límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización, el máximo permisible para  $\text{NH}_4$  y  $\text{NO}_3$  es de 0.5 mg/L y de 10.0 mg/L respectivamente. Los resultados obtenidos son mayores que los límites permisibles; sin embargo ninguna de estas variables mostró una diferencia estadística en los 4 tipos de indicadores. El  $\text{NO}_3$  presentó una concentración promedio de 25.85 mg/L y el  $\text{NH}_4$  reportó un promedio de 12.40 mg/L, ambos sin diferencia estadística en los 4 tipos de indicadores.

Tabla 25 Comparación realizada entre el  $\text{NO}_3$  y los tipos de indicadores

Variables	Significancia
Coliformes totales	.503
Coliformes fecales	.171
Estreptococos fecales	.556
Otras bacterias	.238

Tabla 26. Comparación realizada entre el NIT<sub>4</sub> y los tipos de indicadores

Variables	Significancia
Coliformes totales	.778
Coliformes fecales	.316
Estreptococos fecales	.388
Otras bacterias	.263

En la tabla 27 se observa que la variable cloro residual si registró una diferencia estadística significativa en época de secas relacionada con las coliformes totales que son las mas abundantes en esta época del año. En ésta época del año, la concentración de cloro disminuye (0.044mg/L), por lo que puede ser una variable fisicoquímica importante para que este número de colonias bacterianas se incremente. La NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 2000) establece que la concentración máxima permitida es de de 0.2 mg/L -1.5 mg/L.

Tabla 27. Comparación realizada entre el Cl y los tipos de indicadores

Variables	Significancia
Coliformes totales	.038
Coliformes fecales	.499
Estreptococos fecales	.316
Otras bacterias	.805

### Variables fisicoquímicas en la época de lluvias.

Para la época de lluvias los resultados estadísticos de los análisis univariados no mostraron ninguna diferencia significativa entre los 4 indicadores y el pH como se muestra en la tabla 28. El pH tuvo un promedio de 7.2.

Tabla 28. Comparación realizada entre el pH y los tipos de indicadores

Variables	Significancia
Coliformes totales	.972

Tabla 28. Continuación

Coliformes fecales	.225
Estreptococos fecales	.699
Otras bacterias	.070

En la tabla 29 se puede ver que la temperatura en época la de lluvias si pudo afectar las poblaciones de coliformes totales, lo que significa que esta variable puede afectar el numero de colonias que disminuyó en esta época del año. La temperatura promedio del agua fue de 20.3 ° C, es decir, tuvo un aumento de 4.65 ° C.

Tabla 29. Comparación realizada entre la temperatura y los tipos de indicadores

Variables	Significancia
Coliformes totales	.017
Coliformes fecales	.643
Estreptococos fecales	.416
Otras bacterias	.875

La siguiente variable fue la profundidad y no registró diferencia estadística significativa en los cuatro grupos bacterianos (Tabla 30), el promedio fue de 1.43 m.

Tabla 30. Comparación realizada entre la profundidad y los tipos de indicadores

Variables	Significancia
Coliformes totales	.537
Coliformes fecales	.638
Estreptococos fecales	.852
Otras bacterias	.904

El oxígeno disuelto en época de lluvias mostró una diferencia estadística significativa en relación con los estreptococos fecales, lo que significa que esta variable puede desfavorecer al crecimiento de colonias. La concentración de oxígeno disuelto en esta época del año disminuye pudiendo afectar el ciclo de nitrógeno y así disminuir los procesos de oxidación bacteriana (Tchobanoglous y Schroeder, 1987). En los procesos de

nitrificación del  $\text{NH}_4$  y  $\text{NO}_3$  el promedio general del oxígeno disuelto fue de 3.2 mg/L, lo cual indica que el nivel de saturación del oxígeno disuelto es baja. Esta situación repercute de forma negativa en la fauna acuática ya que el nivel óptimo según Jiménez (2001) es de 5 mg/L. los resultados estadísticos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 31. Comparación realizada entre el oxígeno disuelto y los tipos de indicadores

Variabes	Significancia
Coliformes totales	.672
Coliformes fecales	.786
Estreptococos fecales	.049
Otras bacterias	.189

El aumento de iones de Cl residual pudo favorecer que aumentara el registro de la conductividad en la época de lluvias hasta 860.3 uS/cm en comparación con la época de secas, dando éste resultado. Sin embargo, en la tabla 32 se ve que no afectó estadísticamente a ninguno de los 4 grupos bacterianos.

Tabla 32. Donde se muestra la comparación realizada entre la conductividad y los tipos de indicadores

Variabes	Significancia
Coliformes totales	.185
Coliformes fecales	.532
Estreptococos fecales	.201
Otras bacterias	.929

El  $\text{NO}_3$  con un promedio de 21.9mg/L y el  $\text{NH}_4$  con un promedio de 1.4 mg/L, mostraron un decremento en la concentración en el agua en comparación con la época de secas, probablemente por las lluvias que los diluyen. No obstante, los resultados obtenidos siguen mostrándose por arriba de lo establecido por la Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 2000) donde el máximo permisible para  $\text{NH}_4$  y  $\text{NO}_3$  es de 0.5 mg/L y de 10.0 mg/L respectivamente.

Los resultados no reportaron una diferencia estadística significativa entre los cuatro grupos bacterianos, los resultados de estos análisis, mostrados en las tabla 33 y 34 fueron:

Tabla 33. Comparación realizada entre el  $\text{NO}_3$  y los tipos de indicadores

VARIABLES	Significancia
Coliformes totales	.640
Coliformes fecales	.154
Estreptococos fecales	.893
Otras bacterias	.789

Tabla 34. Comparación realizada entre el  $\text{NH}_4$  y los tipos de indicadores

VARIABLES	Significancia
Coliformes totales	.416
Coliformes fecales	.888
Estreptococos fecales	.384
Otras bacterias	.552

La variable CI residual en época de lluvias sí registro una diferencia estadística significativa en los estreptococos fecales, ya que con el aumento de CI residual puede originar que el promedio de estreptococos fecales descienda con respecto a la época de secas, la media obtenida fue de 0.40 mg/L. Los resultados del análisis estadístico se muestran en la Tabla 35.

Tabla 35. Comparación realizada entre el CI y los tipos de indicadores

VARIABLES	Significancia
Coliformes totales	.262
Coliformes fecales	.482
Estreptococos fecales	.001
Otras bacterias	.915

### VIII. Conclusiones

Se concluye que en la zona de canales de Xochimilco todos los grupos de indicadores rebasaron lo establecido en la NOM-003-ECOL-1997. En los sitios muestreados las coliformes totales superaron éstos estándares en el 66.6% de las localidades en época de secas y en un 52.3% en época de lluvias. Las coliformes fecales en época de secas lo rebasaron en un 73.8% de los sitios muestreados y en época de lluvias en un 54.7%. Los estreptococos fecales en época de secas rebasaron en un 92.8%, y en época de lluvias en un 95.2% un estándar de 1000 UFC / 100mL y el grupo de otras bacterias (*Vibrio*, *Pseudomonas* y *Aeromonas*) súpero en época de secas en un 35% y en época de lluvias en un 88% el mismo estándar.

De acuerdo a los criterios observados por la NOM-003-ECOL-1997 los sitios mas afectados se encuentran principalmente en la zona turística. La zona lacustre, donde se desarrolla la actividad agrícola más intensa, mantiene varios de sus sitios por debajo de esta norma, principalmente en época de lluvias; presentando carga bacteriana más alta en época de secas.

Las coliformes totales reportaron los mayores conteos de bacterias en la zona turística y la mayor cantidad se obtuvo en la época de secas, para la zona lacustre el número obtenido de coliformes totales fue el más alto en época de secas en comparación con los otros tipos de indicadores de contaminación bacteriana en el agua.

Las coliformes fecales tienen un comportamiento similar a las coliformes totales, aunque en la zona lacustre los conteos en las dos épocas del año se mantienen similares. Sin embargo en la zona turística en época de secas los conteos son muy altos en comparación con la época de lluvias en la misma zona.

Los estreptococos fecales en época de secas reportaron un incremento de colonias bacterianas en ambas zonas (turística y lacustre) en comparación con la época de lluvias con mayor abundancia en la zona turística. En la zona lacustre los conteos se mantuvieron similares en las dos épocas del año. Cabe resaltar que este tipo de contaminación bacteriana nos indica contaminación de origen animal, por lo tanto aunque el aporte de contaminantes en la zona turística en su mayoría es de origen humano, también hay un aporte importante de contaminación fecal animal.

Por lo que respecta a los conteos de "otras bacterias" (*Vibrio*, *Pseudomonas* y *Aeromonas*), los conteos en ambas zonas son bajos, aunque existan diferencias entre las dos zonas, pues en la zona lacustre el mayor conteo se observó en época de lluvias, mientras que en la zona turística se obtuvo un conteo significativamente mayor en época de secas.

Mediante la relación, coliformes fecales / estreptococos fecales, propuesta por Geldreich y Kenner (1969), se determinó el origen de la contaminación fecal en los canales. En la zona turística la carga bacteriana es de origen humano predominantemente, mientras que en la zona lacustre en las dos épocas del año la carga bacteriana es de origen animal, sin embargo el aporte de contaminación animal en la zona turística es muy alto, incluso mayor que en la zona lacustre. No obstante las altas concentraciones de bacterias coliformes totales de origen humano ocultan el efecto de la alta concentración de estreptococos en ésta zona al utilizar éste índice.

Con respecto a las zonas de descarga de agua residual, donde se esperaba encontrar agua con una menor carga bacteriana por provenir de plantas tratadoras de agua, se observó que por el contrario, en estos sitios se descargan a los canales agua con conteos bacterianos altos. En estas zonas se reportó el sitio de mayor contaminación de todos los analizados, por lo cual se considera necesario una revisión de los procesos y mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales que aportan agua a esta zona; Ya que no cumplen con uno de sus objetivos principales que es el vertimiento de agua de buena calidad con vistas a mejorar las condiciones de calidad de agua en la zona.

Con lo que respecta a las variables fisicoquímicas se observó que con el aporte de cloro residual, los niveles de contaminación principalmente de los estreptococos fecales disminuyen, así como cuando el aporte de cloro es menor los niveles de coliformes totales aumentan. También se observó que los iones de cloro propician un aumento en la conductividad, parámetros que se mostraron mas altos en la época de lluvias, por lo tanto, el índice que se obtiene en la conductividad nos puede dar una idea en estudios posteriores de los niveles de cloro residual en el agua.

Se observó que cuando había disminución de oxígeno disuelto también se originaba un descenso en los niveles de  $\text{NH}_4$  y de  $\text{NO}_3$ , originado tal vez por la falta de

oxidación bacteriana en el proceso de nitrificación de  $\text{NO}_3$  y  $\text{NH}_4$  a  $\text{NO}_2$  en el ciclo del nitrógeno. Aún así, estas variables se mantienen por encima de la NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 2000) en las dos épocas del año.

Se observó que en sitios de profundidad somera las colonias bacterianas descienden. Lo cual puede deberse a que la cantidad de luz y de temperatura que reciben es mayor, afectando el incremento de carga bacteriana en el agua, sobre todo de las coliformes totales. Por lo que respecta al pH en las 2 épocas del año se mantuvo en lo establecido por la Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 (DOF, 2000).

En este estudio, se observó que el aporte de materia orgánica provenía principalmente de zonas en las que se encontraban asentamientos humanos irregulares, donde el vertimiento de agua puede favorecer al aumento de bacterias en el medio, principalmente en la época de secas, en la que hay menos agua en la que las colonias puedan diluirse, por lo cual se propone en las zonas donde no existe la introducción o reparación en los casos necesarios de los sistemas de drenaje y alcantarillado.

Sin embargo cabe resaltar que de los sitios tomados en cuenta para los análisis de este estudio, al menos dos tipos de indicadores bacterianos se encontraron siempre presentes, por lo tanto se debería tomar otro tipo de indicadores bacterianos como son los estreptococos fecales, *Vibrio*, *Pseudomonas* y *Aeromonas*, para señalar zonas de contaminación bacteriana y no solo tener los dos tipos que hasta ahora son tomados en cuenta por la NOM-003-ECOL-1997.



### Referencias

- Alvarez G. M. y Cassián J. M.**, 1993, El agua y el manejo integral de los recursos naturales en cuencas hidrográficas, En: El agua, recurso vital, Universidad tecnológica de la Mixteca, Oaxaca, 93-112pp.
- Alcamo I. E.**, 1997, *Fundamentals of Microbiology*, Benjamin Cummings, Redwood city California, 5ª edición, 905 pp.
- American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation**, Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 20ª edition, Washington D.C., 1995.
- Arriaga Cabrera L., Aguilar Sierra V. Y Alcocer Durand J.**, 2000, *Aguas continentales y diversidad biológica de México*, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.
- Athie M.**, 1987, *Calidad y cantidad del agua en México*, Universo veintiuno, México, 152 pp.
- Avila López R.**, 1991, *Chinampas de Iztapalapa, D.F.*, Instituto Nacional de Antropología e Historia, México D.F., 1ª edición 183 pp.
- Beuchat L. R.**, 1999, Survival of Enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157:H7 in bovine feces applied to lettuce and the effectiveness of chlorinated water as a disinfectant, *J. Food Prot.*, 62: 845-849.
- Bojórquez C. L. y Villa R. F.**, 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, 1ª edición, 324 pp.
- Brooks K. N., Ffolliott P. F., Gregersen H. M y DeBano L. F.**, 1997, *Hydrology and management of watersheds*, 2ª ed., Iowa State University Press, Ames, 502 pp.
- Cabelli V. J.**, 1983, Health effects criteria for marine waters, EPA 600/ 1-80.031, USEPA, Cincinnati, OH, USA.
- Calva Mercado J. J.** 1998, *Las enfermedades diarreicas en los niños Mexicanos* Asociación Mexicana de Infectología y Microbiología Clínica, A. C. México 11-17.

- Canabal Cristiani**, 1991, Rescate de Xochimilco, México, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, Departamento del Distrito Federal
- Deodhar L. P., Saraswathi k., Varudkar A.**, 1991, *Aeromonas* spp. and their association with human diarrheal disease, *Journal of Clinical Microbiology*, 29 (5): 853-856.
- Diaz Sobac R, Vernon Carter J.**, 1999, Inocuidad microbiológica de frutas frescas y mínimamente procesadas, *Cienc. Tecnol. Aliment*, 1999, 2, 133-136
- Diario Oficial de la federación**, 1998. Modificado a la Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997. Que establece los límites máximos permisibles contaminantes para las aguas residuales tratadas que se rehúsen en servicios al público
- Diario Oficial de la federación**, 2000. Modificado a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. Que establece los límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
- Doolittle W. F.**, 1999, *Phylogenetic classification and universal tree*, *Science*, 284, 2124-2129.
- Dumontet S., Krovacek K., Svenson S. B., Pasquale V., Baloda S. B., Figliuolo G.**, 2000, *Prevalence and diversity of Aeromonas and Vibrio spp. in coastal waters of Southern Italy*, *Comp Immunol Microbiol Infect Dis*, 23 (1): 53-72.
- Dutka B. J. y Tobin S. E.**, 1976, Study on the efficiency of four procedures for enumerating coliforms in water, *Canadian Journal of Microbiology*, 22, 630-635.
- Erskine R.J., Unflat J. G., Eberhart R. J., Hutchinson L. J., Hicks C. R., Spencer S. B.**, 1987, *Pseudomonas* mastitis: Difficulties in detection and elimination from contaminated wash-water systems, *J. Am. Vet. Med. Assoc.*, 191, 811-818
- Ezcurrea, E. y Mazari M.**, 1996, Are Mega-Cities Viable? A cautionary tale from Mexico city, *Environ*, 5, 38 (1)
- Farmer J. J. III y Hickman-Brenner F. W.**, 1992, The genera *Vibrio* and *Photobacterium*, en *The Prokaryotes*, Second edition, Vol. 3, 2952-3011, Edited by Balows A., Trüper H. G., Dworkin M., Harder W. y Schleifer K., Springer Verlag, New York.

**Faruque S. M., Albert M. J. y Mekalanos J. J., 1998, Epidemiology, genetics and ecology of toxigenic *Vibrio cholerae*, *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 62 (4): 1301-1314.**

**Fleisher J. M., Kay D., Salmon R. L., Jones F., Wyer M.D. y Godfree A. F., 1996, Marine waters contaminated with domestic sewage non enteric illness associated with bather exposure in the United Kingdom, *American Journal of Public Health* 86, 1228-1234.**

**Frank, J.F., Doyle M.P., Beuchat L. R., Montville T. J., 1997. Milk and dairy products, *Food Microbiology, Fundamentals and Frontiers*, ed. ASM Press, Washington, p.101.**

**Garcia E., 1964, Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen para adaptarla a las condiciones de la Republica Mexicana, UNAM, México.**

**Geldreich, E., and Kenner, B. A. 1969, Comments on fecal streptococci in stream pollution, *J. Water Pollut. Control Fed.*, 41: R336-R341**

**Gerba Ch. P., 2000, Indicator Organisms, En, **Maier R. M., Pepper I. L., Gerba P. C., 2000, Environmental Microbiology, Academic Press, San Diego California, 585 pp.****

**Goarant C., Merien F., Berthe F., Mermoud I. y Perolat P., 1999, Arbitrarily primed PCR to type *Vibrio* spp. Pathogenic for shrimp, *Applied and Environmental Microbiology*, 65 (3): 1145-1151.**

**Godfree A. F., Kay D. y Weyer M. D., 1997, Faecal streptococci as indicators of faecal contamination in water, *Journal of applied Microbiology Symposium Supplement* 83, 110S-119S.**

**Jacob J. S., Perspectivas edafológicas sobre la agricultura en las chinampas: observaciones iniciales, 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, 1ª edición, 324 pp.**

**Jay, J.M., 2000, Taxonomy, role, and significance of microorganisms in food. In *Modern Food Microbiology*, Aspen Publishers, Gaithersburg MD, p. 13.**

**Jiménez C. B.**, La contaminación ambiental en México: causas y efectos y tecnología apropiada. México: Limusa, Colegio de Ingenieros Ambientales de México, A. C., Instituto de Ingeniería UNAM y FEMISCA, 2001 926 pp.

**Jiménez Osorio J.J.**, 1995, Componentes esenciales de la tecnología chinampera, 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, 1ª edición, 324 pp.

**Jorgensen S. E. y Vollenweider R. A.** (eds.) 1988, Principles of lake management, *Guidenes of lake management, Vol. 1, International Lake Environment Committee-United Nations Environment Programme*, 199 pp.

**Kasperson, J.X., R.W. Kasperson y B.L. Turner II**, 1995, *Regions at risk. Comparisons of threatened environments . Studies on critical envioremental regions.* United Nations University Prees. Tokio, Japon.

**Langelier, W. F.**, Effect of temperature on the pH on natural waters, *Journal of the American Water Works Association*, 38:179.

**Lesser y Asociados, S. A. de C. V.** 1993. Perfiles del suelo para determinar el movimiento de contaminantes al agua subterránea. México, D. F. *Dirección General de Construcción y Operación. Departamento del Distrito Federal.*

**Murray P. R., Baron E. J., Pfaller M.A., Tenover F. C., Yolken R. H.**, 1995., *Manual of Clinical Microbiology*, American Society for Microbiology, Washington, D. C., 6ª edition, 1482 pp.

**Odum E. P.**, 1972, *Ecología*, Nueva Editorial Interamericana, 3ª ed., México 639 pp.

**Organización Mundial de la Salud, (OMS)**, 1995, *Guías para la calidad del agua potable*, Vol 1, 195 pp. 3, 225, 2ª ed., Suiza.

**Organización Panamericana de la Salud**, 1987, *Guías para la calidad del agua potable*, Vol. 2, Washington D.C.

**Reid k. G. y Wood R. D.**, 1976, *Ecology of inland waters and estuaries*, 2ª ed., Litton Educational Publishing, Nueva York, 485 pp.

**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, 1ª edición, 324 pp.

**Rosas I., Báez A. y Coutiño M.**, 1984, Bacteriological quality of crops irrigated with wastewater in the Xochimilco plots, México D.F., *Applied Environmental Microbiology*, 47 (5): 1074-1079.

**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.

**Vidrio C. M. y Avila J. G.**, Delegación Xochimilco En Garza Villareal G. (coordinador), 2000, *La ciudad de México en el fin del segundo Milenio*, Departamento del Distrito Federal, México, 1ª edición.

**West, P.A.**, 1989, The human pathogenic *Vibrio* - a public health update with environmental perspectives, *Epidem. Infect.* 103: 1-34.

**Wyer M.D., Kay D., Fleisher J. M.**, 1999, An experimental health-related classification for marine waters, *Water Research*, 33, 715-722.

### **Anexo. Calculo de Unidades Formadoras de Colonias (UFC)**

Formula general que se aplica para calcular el numero del UFC final de acuerdo a APHA, 1998 es:

$\text{Coliformes} / 100 = \text{colonias de bacterias contadas} \times 100 / \text{Mililitros de muestra filtrados}$

Esta formula se ocupa para sacar el valor total de colonias formadoras en 100 ml, de muestra.

Dilución 0.5.-En esta dilución se tomaron, 5 ml. De muestra por 5 de buffer, su representación seria 0.5 este seria el resultado de dividir 1 + 2 y este resultado representaría el valor que tendría por cada 100 ml que se describe en la formula. , ejemplo si se tiene una población bacteriana de 2 colonias (UFC) sustituyendo la formula quedaria de la siguiente manera:

$\text{Coliformes}/100 = 2 \times 100 / 0.5 = 400 \text{ colonias en } 100 \text{ ml}$

Dilución 0.1. En esta dilución se tomaron 1 ml de muestra por 9 de buffer su representación seria .1 el cual seria el resultado de dividir 1 + 10 ( numero que se toma como divisor en la formula,) y 0.1 seria el valor que se tendría por cada 100 ml totales ejemplo si se tiene una población bacteriana de 2 colonias (UFC) sustituyendo la formula quedaria de la siguiente manera:

$\text{Coliformes}/100 = 2 \times 100 / .1 = 2000 \text{ colonias en } 100 \text{ ml}$

Dilución 0.01. En esta dilución se tomo un mililitro de la muestra diluida 1:10 por 9 mililitros de buffer, por lo que el resultado seria de dividir 1 + 100 (numero que se toma como divisor en la formula) y 0.01 seria el valor que se tendría por cada 100 ml totales ejemplo si se tiene una población bacteriana de 2 colonias (UFC) sustituyendo la formula quedaria de la siguiente manera:

$\text{Coliformes}/100 = 2 \times 100 / 0.01 = 20000 \text{ colonias en } 100 \text{ ml}$

Dilución 0.001. En esta dilución se tomo un mililitro de la muestra diluida 1:100 por 9 mililitros de buffer, por lo que el resultado seria de dividir 1 + 1000

(número que se toma como divisor en la fórmula) por lo que 0.001 sería el valor que se tendría por cada 100 ml totales ejemplo si se tiene una población bacteriana de 2 colonias (UFC) sustituyendo la fórmula quedaría así:

$$\text{Coliformes}/100 = 2 \times 100 / 0.001 = 200000 \text{ colonias en } 100 \text{ ml}$$

Dilución 0.0001. En esta dilución se tomo un mililitro de la muestra diluida 1:1000 por 9 mililitros de buffer, por lo que el resultado sería de dividir 1 + 10000 ( número que se toma como divisor en la fórmula,) por lo que .0001 sería el valor que se tendría por cada 100 ml. totales ejemplo si se tiene una población bacteriana de 2 colonias (UFC) sustituyendo la fórmula quedaría de la siguiente manera:

$$\text{Coliformes}/100 = 2 \times 100 / 0.0001 = 2000000 \text{ colonias en } 100 \text{ ml}$$

Dilución 0.00001. En esta dilución se tomo un mililitro de la muestra diluida 1:10000 por 9 mililitros de buffer, por lo que el resultado sería de dividir 1 + 100000 ( número que se toma como divisor en la fórmula,) por lo que .00001 sería el valor que se tendría por cada 100 ml. totales ejemplo si se tiene una población bacteriana de 2 colonias (UFC) sustituyendo la fórmula quedaría de la siguiente manera:

$$\text{Coliformes}/100 = 2 \times 100 / 0.00001 = 20000000 \text{ colonias en } 100 \text{ ml}$$