

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA

Evaluación de la calidad bacteriológica
del agua de los canales de Xochimilco
y caracterización serológica de *Escherichia coli*

T E S I S P R O F E S I O N A L
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
B I Ó L O G A
P R E S E N T A:

CLAUDIA MONTIEL ROSALES

DIRECTOR DE TESIS: Dr. PEDRO RAMÍREZ GARCÍA



2005



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA

A DIOS, por permitirme realizar una de las metas de mi vida y porque en los momentos más difíciles se que estaba conmigo.

A MIS PADRES, por su ayuda incondicional, por todo el amor que nos han brindado y por sus consejos tan acertados que sin duda fueron los más importantes para la realización de este trabajo. Gracias por ser los padres más maravillosos.

A MI PEQUEÑO SAID, Por ser la fuerza que me impulsa para seguir adelante. Con todo clamor del mundo para ti

A OMAR, por su amor ,confianza y ayuda incondicional que ha depositado en mí y porque se que en los momentos más difíciles esta conmigo

A NYDIA- JULIO, por sus consejos acertados y sus palabras de aliento.

A MIS SOBRINOS: GAEL Y ESAU, gracias por sus sonrisas que también son parte importante en mi vida.

A todos ustedes mil gracias este trabajo es para ustedes !

AGRADECIMIENTOS.

A MIS AMIGAS, Ana, Prisi, Julia, Mayra , Elizabeth, por toda su ayuda y motivación para terminar este trabajo y por todas las aventuras que pasamos juntas.

A MIS AMIGOS, Roberto, Marcos, Horacio, Chacón, Juan Carlos, Luis, Adrián Chucho, por los momentos divertidos que pasamos en la escuela.

A MIS TIOS,PRIMOS; Imelda, Ramón, Jessi, Fredy, Isaac, Mario, y en especial a la Familia Colin Rosas, por todo su apoyo y consejos brindados.

A mis sinodales; Q:F:B. Esperanza Robles, Dr. Carlos Eslava, Biol. Blanca Martínez, Biol Dolores Hurtado y Dr. Pedro Ramírez.

A los proyectos UNAM-DGAPA/PAPIIT IX-219704 e IN-210205, dentro de los cuales se realizó este trabajo.

Índice

	Página
Resumen	5
1. Introducción	6
2. Antecedentes	11
3. Objetivo General	20
3.1 Objetivos particulares	
4. Área de estudio	21
5. Material y métodos	23
5.1 Toma de muestras	
5.1.1 DBO₅	
5.1.2 Agua	
5.1.3 Raíz de lirio	
5.1.4 Suelo	
5.2 Análisis de laboratorio	
5.2.1 Indicadores biológicos de contaminación fecal	
5.2.2 Aislamiento e identificación microbiana	
5.3 Caracterización serológica	24
5.3.1 Obtención de antígenos	
5.3.2 Identificación serológica	
6. Resultados	26
6.1 Parámetros físico-químicos	
6.2 Cuantificación de bacterias	
6.3 Aislamiento e identificación de bacterias	
6.4 Caracterización de <i>Escherichia coli</i>	
6.5 Tipos antigénicos de <i>E. coli</i> asociados con diarrea.	
7. Discusión	38
8. Conclusiones	43
9. Bibliografía	44

RESUMEN

La urbanización es un proceso de expansión que desafortunadamente ocasiona cambios en la integridad de los ecosistemas naturales. Tal situación se vuelve más aparente en los núcleos urbanos densamente poblados en donde los ambientes más afectados generalmente son las áreas verdes y el agua (Martínez- Arroyo 2000).

Xochimilco es un lugar de gran importancia desde épocas prehispánicas, en este sitio se realizan una gran diversidad de actividades entre las que se incluyen: la agricultura, ganadería, cultivo de plantas (viveros) y una que ha adquirido gran relevancia, el turismo. Lo anterior convierte a Xochimilco en un área que tiene impacto directo sobre la población local y en general en la de la Cd. De México. Estudios previos (Cifuentes, 2003) muestran que el agua de los canales del lago de Xochimilco se encuentra contaminada por diferentes microorganismos. Por lo que en nuestro estudio se decidió analizar no sólo la situación microbiológica del agua, sino que se consideró también la importancia de revisar las condiciones de otros sustratos (Raíz de lirio y suelo) para evaluar su participación en el mantenimiento y dispersión de bacterias patógenas. Se analizó además la situación microbiológica de diferentes puntos dentro de los canales y cómo influyen las condiciones físico químicas del agua y el clima en las cuentas de bacterias y la presencia de grupos patógenos de una bacteria de gran importancia clínica y epidemiológica como es el caso de *Escherichia coli* (Nataro y Kaper, 1998).

De esta manera se evaluaron parámetros fisicoquímicos *in situ*, cuantificación bacteriana del grupo coliforme y de estos se aisló un alto porcentaje de *E. coli*, y de otros géneros como *Klebsiella pneumoniae*, *Citrobacter freundii*, *Enterobacter cloacae*. A las cepas identificadas como *E. coli* se les realizó la identificación serológica para reconocer el grupo patógeno al que pertenecen (STEC, ETEC, EPEC, EIEC, EAEC y EHEC) y un porcentaje que no quedó incluido en ninguno de los grupo patógenos.

Nuestros resultados mostraron que dicho cuerpo de agua se encuentra con una alta contaminación bacteriológica ya que los valores sobrepasan los límites máximos permisibles en agua residuales tratadas, y en el caso de *E. coli*, que posee importancia clínica-epidemiológica, puede ser transmitida por el consumo de vegetales crudos provenientes de esta zona o simplemente por el contacto directo con esta agua durante la recreación.

1. Introducción

El agua es el elemento más abundante en la superficie terrestre ya que cubre cerca de las tres cuartas partes de la superficie total y su mayor extensión se localiza en las zonas marinas las cuales abarcan el 98%, sin embargo el agua de la región continental ocupa el 27%, y encontrándose la mayoría de esta en las regiones denominadas casquetes polares con masas de hielo permanente situados en las partes más elevadas. El agua dulce se encuentra distribuida en ríos, lagos, arroyos, manantiales y depósitos subterráneos (Balanzario, 1985) y además de ser un recurso natural es factor indispensable para todo ser vivo y desde luego indispensable para la supervivencia humana (Magallanes 1993). Como recurso, el agua está presente en diversas actividades humanas y entre las cuales destacan su uso en actividades propias de la vida doméstica, procesos industriales, para la generación de energía, comunicación, en la agricultura y un valor subjetivo, no menos importante, que es el estético para el uso turístico (Balanzario 1985).

El agua circula continuamente entre la superficie de la tierra y su atmósfera en un proceso que se denomina ciclo hidrológico, siendo éste uno de los procesos básicos de la naturaleza. El agua del mar, de los ríos, de los lagos, del suelo y de la vegetación, al responder al calor del sol y a otras influencias se evapora en el aire y se convierte en vapor de agua, este vapor asciende a la atmósfera, se enfría y se convierte en agua líquida o hielo, formando las nubes. Cuando estas gotas de agua o cristales de hielo alcanzan un tamaño suficiente, regresan a la superficie de la tierra en forma de lluvia o de nieve. Ya en la superficie, una parte se filtra en el suelo donde puede ser absorbida por las plantas o circular hacia los depósitos de agua subterránea, otra porción es arrastrada hacia los arroyos y ríos para llegar finalmente al mar y un último remanente que nuevamente se evapora (Aguilar, 2002).

Sin embargo, si se considera el agua como un servicio (Springall, 1999), que el mismo ser humano ha utilizado como reservorio y vehículo de sus desechos (Balanzario,1985), esto ha provocado un alto grado de contaminación del agua superficial por las descargas residuales domésticas e industriales: La acumulación de

desechos orgánicos y heces trae como consecuencia la concentración y propagación por el agua de gérmenes patógenos, algunos de los cuales son causantes de infecciones gastrointestinales como lo es la fiebre tifoidea, paratifoidea, disentería y cólera. Las aguas residuales pueden contener millones de bacterias por mililitro, entre las que se encuentra el grupo coliforme (*Enterobacter*, *Citrobacter*, *Klebsiella* y *Escherichia*), estreptococos, bacterias *Proteus* y otras que proceden del tracto intestinal humano y animal, además de protozoarios, virus, nematelmintos, platelmintos y agentes causantes de enfermedad (SARH, 1979). Conociendo la importancia que esta tiene en cuestiones de salud hoy en día se le asignan parámetros los cuales nos permitirán conocer su calidad (Springall, 1999), es decir, de parámetros característicos entre estos se encuentran las determinaciones de Oxígeno Disuelto, DBO₅, DQO, pH, temperatura, turbiedad, conductividad eléctrica, y NMP para el grupo coliforme (SARH,1979), la calidad de agua afecta la diversidad de especies, la estabilidad, la productividad y las condiciones fisiológicas de las poblaciones autóctonas de un cuerpo de agua (SARH, 1979).

El término alteraciones biológicas se refiere al desequilibrio provocado por un aumento en el número de microorganismos presentes en un cuerpo de agua, dentro de estos microorganismos los más importantes son las bacterias, protozoos y las algas, las bacterias forman un grupo importante, ya que constituyen el sector de los microorganismos encargados de oxidar la materia orgánica del agua. Los protozoos también tienen un papel importante pues se alimentan de bacterias y sirven por tanto como un agente homeostático entre las poblaciones de microorganismos, por otra parte, el papel de las algas reside en su capacidad fotosintética, que les permite liberar oxígeno manteniendo la concentración en el agua de este gas (Aguilar, 2002).

Por tal motivo se ha reconocido la importancia de especies indicadoras de contaminación bacteriológica, cuya sola presencia en un ecosistema se relaciona con organismos patógenos y denota características particulares del medio, es decir:

- 1.- Debe estar presente siempre que estén los patógenos.
- 2.- Su densidad debe estar asociada con la contaminación fecal

- 3.- Debe sobrevivir en el agua más tiempo que los patógenos, pero su desaparición debe ser inmediatamente posterior a la de ellos.
- 4.- No debe multiplicarse en el agua
- 5.- Debe estar ausente en aguas bacteriológicamente potables
- 6.- No debe ser patógeno para el hombre ni animales domésticos.
- 7.- Las técnicas para su análisis deben ser sencillas, rápidas y aplicables en cualquier tipo de agua (SARH. 1979).

De esta manera se encontraron como indicadores a dos grupos: Coliformes totales y fecales, éstos son bacilos cortos, Gram negativos, no esporulados, con producción de ácido y gas, en 24-48 hrs. a 35°C que cumplen con estos requisitos; los coliformes, incluyen a tres géneros de la familia Enterobacteriaceae (*Escherichia*, *Klebsiella* y *Enterobacter*), los cuales se diferencian del resto de las enterobacterias por fermentar la lactosa rápidamente a 35°C, y que se suponía eran habitantes exclusivos del tracto intestinal. Por otra parte el grupo de los enterococos o estreptococos fecales son cocos, Gram positivos, que se agrupan en cadenas cortas o pares, crecen en presencia de 7.5% de NaCl. 0.05% de NaN₃ y 40% de sales biliares, a una temperatura óptima de crecimiento es de 35°C, aunque resisten temperaturas hasta de 45°C. (SARH, 1979).

La familia *Enterobacteriaceae* comprende varias tribus y entre éstas se incluye la tribu *Escherichia*, que integra los géneros *Escherichia* y *Shigella*. *E. coli* como todas las enterobacterias, es un bacilo Gram-negativo (se tiñe de rojo con la tinción de gram), móvil por medio de flagelos peritricos (Eslava, 2001).

E. coli es la bacteria anaerobia facultativa más común de la microbiota intestinal. En condiciones naturales, estas cepas no producen ningún daño; sin embargo, en situaciones que favorecen la salida de su hábitat natural o en individuos con trastornos inmunes, la bacteria puede causar enfermedad (Eslava *et al.*, 2001), además contiene estructuras proteínicas llamadas fimbrias o pilis y su número y tipo de material difiere en especificidad para atacar, es decir, para adherirse a las superficies o interactuar con otros miembros de *E. coli* (Sciencenet) y no forma esporas (Eslava 2001). El

tamaño promedio del bacilo es de 0.3 -1.0 micras en diámetro y entre 1.0 - 6.0 de largo (Sciencenet). Son bacterias anaerobias facultativas que fermentan la glucosa y otros azúcares con producción de gas. Otras características de la bacteria son la producción de catalasa, negativos a la oxidasa y tener la capacidad de reducir nitratos a nitritos, (Nataro,1998). Muchas de estas bacterias contienen en su superficie material capsular que puede ser definido por su estructura química, el exterior de la pared celular también es otra membrana, la cual juega un papel muy importante junto con la membrana interior, estas controlan la entrada y salida de nutrientes, además de que todas las células bacterianas se involucran con la multiplicación, esto incluye los ribosomas los cuales contienen proteínas específicas que dan instrucciones al RNA mensajero copiando su genoma de DNA. La separación de fragmentos DNA pueden producir en *E. coli* la resistencia a un gran número de antibióticos, y su habilidad de colonizar sustratos inusuales produciendo ciertos factores de virulencia (Sciencenet). Mediante el análisis de sus propiedades metabólicas se han descrito las siguientes 5 especies del género: *E. blattae*, *E. coli*, *E. fergusonii*, *E. hermannii* y *E. vulneris* (Rodríguez, 2002).

A principios de la década de los 30, Rebeca Lancefield (1895-1981) reconoció la importancia de las pruebas serológicas, lo que permitió el desarrollo de un sistema de clasificación de estreptococos basado en la naturaleza antigénica de los carbohidratos de la pared celular. El sistema se conoce ahora como sistema Lancefield, en el que cada serotipo diferente es un grupo de Lancefield y se identifica por una letra (de la A a la O). Este esquema se basa en reacciones de aglutinación de anticuerpos específicos de antígenos de carbohidratos de la pared celular (polisacárido C) extraídos de los estreptococos, además de subdividir los del grupo A en tipos serológicos específicos basándose en la presencia de antígenos M (proteicos) específicos de tipo. Sin embargo se pueden establecer los serotipos de otras bacterias, empleando sueros específicos frente a antígenos flagelares (H), capsulares (K) y somáticos (O) (Prescott *et al.*, 2000).

La serotipificación alude a los procedimientos serológicos que se emplean para diferenciar cepas (serovariedades o serotipos) de microorganismos que difieren en la

composición antigénica de una estructura o producto. Por lo tanto, es posible identificar un patógeno estudiando serológicamente antígenos de la pared celular (Prescott *et al.*, 2000). La serología de *E. coli* esta fundada en la determinación de los antígenos somáticos O, termoestables y los K que bajo este nombre se agrupa a los antígenos de cubierta o capsulares llamados L, A y B, su presencia hace aglutinable al antígeno O, y H parecidos en sus propiedades generales a los antígenos H de las *Salmonellas* y *Proteus*, pero estos son monofásicos (Daguet *et al.*, 1977).

En la actualidad se puede determinar el grupo patógeno al que pertenecen, Kauffman desarrolló un esquema de serotipificación que continuamente varía y que actualmente tiene 176 antígenos somáticos (O), 112 flagelares (H) y 60 capsulares (K). El antígeno "O" es el responsable del serogrupo, la determinación del antígeno somático y flagelar (O:H) indica el serotipo. La serotipificación de *E. coli* requiere de un gran número de antisueros los cuales son útiles para identificar el grado de patogenicidad, con base en esto se pueden clasificar en seis grupos: enterotoxigénica (ETEC), enterohemorrágica también conocidas como productoras de toxina Vero o toxina semejante a shiga (EHEC o VTEC o STEC), enteroinvasiva (EIEC), enteropatógena (EPEC), enteroagregativa (EAEC) y de adherencia difusa (DAEC) (Rodríguez, 2002).

Este criterio se ha utilizado durante muchos años hasta la actualidad para diferenciar a *Escherichia coli* de los diferentes grupos de patogenicidad de los colibacilos comensales no patógenos, es decir el serogrupo que se basa en la determinación del antígeno O, sin embargo para conocer con una mayor exactitud si una cepa de *Escherichia coli*, es enteropatógena es necesario conocer el serotipo completo (es decir, los antígenos O, K y H) (Margall, 2000).

2. Antecedentes

El lago de Xochimilco además de ser una atracción natural, ahí se desarrolla una importante actividad turística y es también la base de las actividades económicas de la región como lo es la agricultura, práctica que se viene desarrollando desde épocas prehispánicas. La delegación Xochimilco forma parte de la producción de legumbres y demás productos agrícolas que todavía existen en la zona chinampera de esta región y que son llevados al mercado de la delegación en donde la mayor parte son transportados a los diversos embarcaderos rumbo a grandes mercados de distribución como La Merced y Jamaica, en donde son adquiridos por consumidores que ignoran la calidad del agua con la cual fueron regados los productos agrícolas.

Los canales que conforman el lago son realimentados con aguas negras semitratadas provenientes de la planta de tratamiento del cerro de la estrella en la delegación Iztapalapa, la cual aporta alrededor de 1,200 litros por segundo. Con una longitud total de 189 Km, en las áreas más pobladas, los canales reciben los desechos domésticos y pecuarios de su alrededor, además de no presentar corrientes también llegan los diversos contaminantes que llegan de la ciudad a través del agua residual tratada. En las áreas semirurales se usa el estiércol de establos como abono en las chinampas y esto provoca que mediante escurrimientos en épocas de riego y de lluvia lleguen a los canales gran cantidad de nutrientes lo que a su vez origina, presencia abundante de lirio acuático y otros tipos de malezas que al morir y depositarse en el fondo de los canales originan condiciones anaeróbicas (putrefacción) con la presencia de color y olores desagradables, toda esta situación es lo que ha traído como consecuencia la alteración de los ecosistemas. En diversos trabajos, históricamente se refiere la existencia en Xochimilco de organismos acuáticos como la carpa (rojas blancas y negras) ajolote, almejas, ranas truchas, acociles, tortugas y jumiles. En cuanto a la flora acuática era posible apreciar el Aclazole, Amalacate, apapatla, berro, acaltule, lama y lirio acuático. Sin embargo, en la actualidad muchas de estas especies han desaparecido y otras como es el caso del lirio se han incrementado convirtiéndose en un problema de infestación (Balanzario, 1985; Salinas, 2002).

Todo esto ha ocasionado incremento en la acumulación de contaminantes de todo tipo como basura, descargas de aguas residuales domésticas, desechos agrícolas y algún desecho industrial o derrame de gasolinas y aceites de los equipos que operan en el área. La estética del agua es inadecuada y poco recomendable para la zona turística y la presencia de contaminantes en general (incluida la de microorganismos), puede representar un riesgo importante para la salud de los habitantes no sólo de la zona sino para todo el Distrito Federal (Thomson, 2002)

Balanzario en 1985, realizó un estudio acerca de la contaminación de los canales de Xochimilco y las consecuencias sobre las actividades económicas de sus habitantes, teniendo como finalidad dar a conocer un panorama geográfico económico de dicha delegación, se recopilaron datos históricos los cuales aportaron gran información sobre los diferentes manantiales existentes en Xochimilco, algunos de los cuales han desaparecido, además por otro lado en el análisis se llevaron a cabo estudios bacteriológicos y fisicoquímicos en donde se tomaron muestras y con base en estos se obtuvieron resultados en donde se puede apreciar el nivel de deterioro que presenta el lago así como sus canales con el consecuente riesgo para la población.

En 1991, Oswald determinó la calidad bacteriológica del agua que se consume en el estado de Morelos, dicho estudio reviste una gran importancia en el ámbito de salud pública, garantizando la inocuidad del agua destinada para el consumo humano, evitando así las infecciones gastrointestinales y epidemias, ya que el agua del suministro de cualquier población puede contaminarse desde su origen o en su recorrido hasta los sitios de consumo, por aguas residuales o desechos humanos y animales, en los cuales existen microorganismos patógenos, principalmente intestinales, como los causantes de diarrea, en sus objetivos incluye la determinación de la calidad bacteriológica que consume la población del estado de Morelos, con el fin de valorar su incidencia en la epidemiología y en el estado nutricional de los distintos sujetos sociales y familiares, del estudio se obtuvieron resultados que confirman que el agua que consume la población, no es potable, ya que la contaminación que presentan las muestras es muy superior a los límites establecidos en la norma sanitaria, esta situación es particularmente grave en áreas rurales y semirurales.

Se han realizado una gran cantidad de estudios relacionados a la calidad bacteriológica del agua de diversos ambientes y entre los cuales podemos mencionar el trabajo de Magallanes (1995) quien analizó la calidad bacteriológica del agua como un factor de riesgo para la transmisión de infecciones entéricas en el Estado de Morelos, ya que en sus diferentes municipios se tiene una de las principales causas de morbilidad de dichos padecimientos intestinales, demostrando así que la calidad del agua no cumplía con los requisitos de calidad establecidos para su uso como agua potable.

En 1995, Barrera realizó un estudio microbiológico en agua, sedimento y en tres especies de importancia económica de la laguna de Tamiahua, Veracruz: Ostión (*Crassostrea virginica*), jaiba (*Callinectes sapidus*) y lisa (*Mugil sephalus*), así como la contaminación exógena de origen fecal en dicha laguna. Se reportaron cuentas altas de bacterias coliformes totales durante el período de lluvias, mientras que en el sedimento durante el periodo de lluvias alcanzó $10^4/100$ g. Los estreptococos en agua presentaron valores máximos de 1,000/100 ml ó g. La temperatura se relacionó con los coliformes fecales en la época de “nortes” detectando altas concentraciones en el centro de la región de colecta y las temperaturas bajas en el norte del área de estudio (19.5°). Los resultados mostraron la influencia de la contaminación sobre estas tres especies de importancia económica, la calidad sanitaria del agua y le permitió describir el comportamiento temporal y espacial de los grupos de bacterias en el agua y el sedimento, y su relación con algunos parámetros fisicoquímicos. Se concluyó que las condiciones de la laguna no eran las adecuadas para el cultivo de moluscos, sin embargo fue aceptable para la recreación,

En 1995, Quintino analizó algunos alimentos cuyo consumo es crudo (cilantro, cebolla y lechuga) y que pueden ser vehículo importante en la transmisión de bacterias capaces de producir diarrea. El análisis microbiológico de los alimentos se dirigió a la cuantificación microbiana e identificación bioquímica de la flora presente, además se utilizó la serotipificación como una medida de identificación más precisa de los microorganismos encontrados así como determinar las propiedades de virulencia de

dichas bacterias. Según los resultados obtenidos se observó que la cuenta en placa de mesófilos aerobios mostró que el cilantro fue el producto más contaminado con respecto a la lechuga y la cebolla, en cuanto al conteo de coliformes el cilantro fue también el alimento que ocupó el mayor grado de contaminación, para el aislamiento de microorganismos se obtuvieron 273 cepas de diferentes especies, siendo las más frecuentes *Klebsiella* spp. *Enterobacter* spp. y *Escherichia* spp., en cuanto a la tipificación serológica realizada para las cepas de *Escherichia coli*, mostró que de 58 cepas analizadas 25 pertenecían al grupo ETEC, 2 a EPEC y EHEC y 29 de ellas no pertenecen a ninguno de los grupos patógenos. Finalmente en cuanto a la adherencia a cultivos de células HEP-2 mostró los patrones de difusa y agregativa además de que algunas cepas producen destrucción celular.

La importancia de las enfermedades gastrointestinales han tomado en últimas fechas gran interés, ya que son una de las principales causas de mortandad, Prats en 1996, desarrolló un estudio acerca de la colitis hemorrágica ocasionada por *Escherichia coli* verotoxigénica, en donde trata de describir las características clínicas y epidemiológicas de 9 pacientes con enteritis, utilizando muestras y datos clínicos de los pacientes en donde se analiza la producción de la verotoxina (VT) en la línea celular Vero, así como la presencia de los genes codificadores de VT-1 y VT-2, mediante PCR, así como su biotipo mediante 12 pruebas bioquímicas y el perfil de macro restricción genómica (PFGE). De acuerdo a sus resultados en las cepas obtenidas hubo producción de VT-2 y VT-1. Se pudieron diferenciar 3 biotipos. Todas excepto dos muestras presentaban perfiles de macro restricción diferenciada.

Torres en 1999, realizó un estudio sobre el uso de los indicadores biológicos en la calidad del agua subterránea usando al grupo coliforme: coliformes totales, fecales, estreptococos fecales y los colifagos como indicadores alternos de calidad de agua. Obtuvo resultados de los cuatro indicadores así como sus posibles combinaciones para conocer y proporcionar una evaluación más completa de la calidad bacteriológica y virológica del agua subterránea, la cual presentó una calidad aceptable, con esto demostró la utilidad de los microorganismos para determinar la calidad bacteriológica de ciertos tipos de agua.

Ibarra en el 2000, evaluó la calidad bacteriológica y fisicoquímica de la laguna negra en puerto Marques Gro., utilizando los indicadores bacteriológicos de contaminación fecal, coliformes totales (CT), coliformes fecales (CF) y estreptococos fecales (EF), así como la detección de bacterias patógenas: *Salmonella* spp., *Shigella* spp. y *Vibrio cholerae*. En el estudio se obtuvieron valores altos de bacterias coliformes así como la presencia de grupos patógenos como *Vibrio cholerae* la cual se detectó en casi todos los puntos y en la mayoría de los meses del muestreo. En los análisis fisicoquímicos se obtuvieron resultados, los cuales con base en el análisis estadístico de componentes principales (CP), se determinaron los parámetros que más influencia tuvieron sobre el comportamiento de la calidad de la masa de agua de Laguna Negra; los parámetros fueron, sólidos disueltos, Nitrógeno orgánico, ortofosfatos, dureza total, cloruros, sulfatos, conductividad y oxígeno disuelto, los resultados mostraron que en dicha laguna existe un cierto grado de contaminación que puede afectar a la flora y fauna existente.

Tras el desastre natural ocurrido el 31 de mayo del 2000, en el Valle de Chalco. Cortés y colaboradores realizaron un estudio en donde pudieran identificar el agente causal del brote de diarrea asociados con el desbordamiento del canal de aguas negras de Chalco. Se utilizaron 1,550 hisopos rectales para el aislamiento e identificación bioquímica de *Vibrio cholerae*, que se pensaba era la responsable principal de dicho brote, además del aislamiento de enterobacterias, y de acuerdo a los resultados se obtuvo que el 0.45% de los aislamientos correspondió a *Salmonella* spp., 0.06% a *Shigella flexneri* y el 76.6% a *Escherichia coli* y que se incluyeron en los diferentes grupos patogénicos, ETEC, EIEC, EPEC Y EHEC, concluyendo así que el agente causal del brote de diarrea fue *Escherichia coli* y no *Vibrio cholerae*.

Cabrera y colaboradores en el 2000, realizaron un estudio para conocer la frecuencia de aislamiento de *Escherichia coli* O157:H7, la cual es uno de los patógenos que además de transmitirse por el agua también se puede transmitir mediante los alimentos y que en últimas fechas ha tomado gran relevancia, ya que constituye el agente etiológico de la colitis hemorrágica, se tomaron muestras de heces de ganado

bovino de la región de Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco, de donde obtuvieron aislamientos de *Escherichia coli* O157:H7 mayores que los reportados para otros países.

La historia del descubrimiento de *Escherichia coli* O157:H7 a principios de los 80's, ha despertado gran interés, ya que es causa importante de enteritis hemorrágica principalmente en los Estados Unidos y Canadá, de esta manera Margall en el 2000, realizó un estudio en donde describe los diferentes grupos de *Escherichia coli* enteropatógena centrándose de manera muy especial en *Escherichia coli* enterohemorrágica, ya que esta produce la enteritis enfermedad que se transmite por vía fecal-oral, y el vehículo, más frecuente de infección humana es la carne de bovino, básicamente en las hamburguesas poco cocidas. También se ha documentado que dicha infección se puede transmitir por otros alimentos como la carne de pavo, salami, leche, yogurt, mayonesa, ensaladas, vegetales crudos y agua. En cuanto a la dosis mínima de infección cabe señalar que es baja y se estima entre 10^3 y 10^2 bacterias y esto hace que se incremente el riesgo de contagio. En conclusión la transmisión de esta bacteria es a través de los alimentos y la capacidad de producir brotes epidémicos que junto a la gravedad de las complicaciones que produce la enteritis, le confieren a este microorganismo una gran importancia en salud pública.

Cools y colaboradores en el 2000 analizaron la supervivencia de *Escherichia coli* y *Enterococos* spp. Muestras obtenidas de suelo en diferentes texturas (arenoso, arcilloso, arcilloso-arenoso), se incubaron a diferentes temperaturas 5, 15 y 25°C y a 3 diferentes grados de humedad (60, 80 y 100% de la capacidad de campo), una vez obtenido estas se cuantificaron por dilución en placa en medios selectivos; de acuerdo a los resultados obtenidos ambas bacterias sobrevivieron tanto a temperaturas de 5°C como de 25°C, el número de *Enterococcus* spp, se mantuvo constante a 5°C en las 3 texturas de suelo, finalmente llegaron a la conclusión que los enterococos son más persistente que *Escherichia coli*, excepto en suelo arenoso a 25°C en donde *E. coli* prevalece más que los enterococos, para ambas bacterias, la incubación a bajas temperaturas y el alto contenido de humedad en el suelo favorece su supervivencia.

Prats, en el 2001 describe a *Escherichia coli* O157:H7 enterohemorrágica como un colibacilo, el cual ha despertado gran interés, ya que se trata de un grupo de cepas que dan lugar a un cuadro clínico de enteritis hemorrágica, afebril, asociada con frecuencia a dos graves complicaciones como lo es, el síndrome hemolítico urémico (SHU) y la púrpura trombótica trombocitopénica (PTT), además de causar brotes epidémicos importantes. Para detectar otros tipos enterohemorrágicos proponen que se requiere estudiar la producción de VTs (verotoxinas) de todas las cepas de *Escherichia coli* aisladas, posteriormente utilizar una técnica que permita detectar la presencia de las VTs directamente de las heces, no importando el serotipo de *E. coli*, esto es, prueba inmunológica la cual utiliza los mismos reactivos que para la detección de VTs en los cultivos. La otra técnica a utilizar es la detección de los genes de las VTz mediante PCR.

Finalmente, destacan la importancia de este microorganismo que a diferencia del resto de los serotipos, es fácil detectarlos en las muestras clínicas, sin embargo su búsqueda debe ser exhaustiva y tomar el tiempo necesario para evaluar la tendencia de la prevalencia de este microorganismo enteropatógeno.

En el 2001, Thompson, determinó la prevalencia de *Escherichia coli* como un indicador de contaminación fecal y a *Escherichia coli* enterotoxigénica como patógeno humano presente en alimentos de venta callejera. Para la detección de estas bacterias utilizó dos técnicas de biología molecular, la hibridación en fase sólida y la reacción en cadena de la polimerasa, obteniendo que de 91 muestras analizadas 34 de ellas fueron positivas para *Escherichia coli* y 3 para ETEC, dejando en evidencia que los alimentos vendidos en vía pública representan un riesgo para la salud de los consumidores.

Aguilar en el 2002, realizó un estudio bacteriológico y fisicoquímico de la calidad del agua en la laguna de Mecoacán Tabasco, durante dos épocas del año (estiaje y lluvias), observando variaciones en ambos parámetros durante los cambios en las condiciones ambientales, además de conocer el índice de calidad de agua (ICA) mediante la relación CF/EF, el cual indicó un bajo grado de contaminación

considerando que su flora y fauna acuática se habían conservado. En cuanto a las bacterias indicadoras de contaminación fecal se presentaron cuentas altas y como conclusión que esta laguna recibe alta carga de desechos fecales de origen humano y animal. Además considerando el hecho de que estas bacterias son indicadoras se pudo inferir la presencia de organismos patógenos de origen intestinal, con los consecuentes riesgos para la salud humana.

Debido a la importancia que la serología ha tomado recientemente como un método alternativo en la identificación de microorganismos enteropatógenos, Padola (2002), describe el primer aislamiento de *Escherichia coli* O145:H⁻, a partir de muestras colectadas de ganado bovino en una comunidad de Argentina, si partimos del hecho que *Escherichia coli* enterohemorrágica es causa común de la colitis hemorrágica, púrpura trombótica trombocitopenica y del Síndrome urémico hemolítico en humanos, se infiere que dicha infección se produce a consecuencia del consumo de carne poco cocida, además de la leche. En Argentina es una de las enfermedades en la que se registran de 300-400 casos por año; y en donde 22 de 100.000 son niños menores de cuatro años los cuales presentan el cuadro clínico. Para este estudio se colectaron muestras rectales de ganado bovino durante 6 meses para obtener las colonias bacteriológicas que posteriormente se procesaron para su identificación por pruebas bioquímicas (citrato, indol, urea y TSI) una vez identificadas procedieron a extraer el DNA y de esta manera obtener las verotoxinas individuales.

Además realizaron la serotipificación mediante la técnica de microaglutinación en tubo y placa utilizando todos los antisueros disponibles para el antígeno O (O1-O175) y los antisueros para el antígeno H (H1-H56). De acuerdo a sus resultados llegaron a la conclusión que para el aislamiento de EHEC O145:H⁻ es necesario considerarlas como un importante factor de virulencia, de las cuales se puede decir que representan un alto potencial para el desarrollo del Síndrome urémico hemolítico en humanos.

Miranda en el 2002, realizó un estudio biológico para la reproducción en el laboratorio y estanques del charal *Chirostoma jordani* del lago de Xochimilco, esto con la finalidad de preservar la especie en el lago, además realizó una serie de muestreos

quincenales y se registraron parámetros fisicoquímicos, además del plancton (diversidad y abundancia) obteniendo resultados que favorecen la conservación de esta especie nativa mexicana. En el trabajo menciona que está utilizando una baja concentración salina para evitar la muerte de los peces ya sea por infecciones causadas por bacterias oportunistas y adicionando vegetación para disminuir el estrés en los peces.

Con el propósito de caracterizar y diagnosticar grupos patógenos de *Escherichia coli*, Rodríguez en el 2002 realizó aislamientos de muestras fecales de niños con cuadro de diarrea con moco y sangre. Una vez obtenidas las muestras se identificaron tradicionalmente, con base en las características bioquímicas y serológicas, para determinar los grupos patógenos causantes de la enfermedad, además de estudiar sus mecanismos de patogenicidad mediante ensayos de cultivos celulares, tomando como base técnicas de biología molecular, que son una herramienta que nos permite conocer la presencia de genes involucrados con la patogenicidad. La finalidad de este trabajo fue la de conocer más acerca de esta bacteria e implementar o diseñar estrategias para una mejor vigilancia epidemiológica sobre la diarrea, principalmente en niños menores de cinco años.

En un estudio realizado por Juárez-Figueroa *et al.* (2003) en Xochimilco se reportó la multiresistencia de *E. coli* a antibióticos, la posible diseminación de la resistencia por conjugación sugiere que esos genes se localizan en plásmidos, los cuales podrían ser transferidos a otras bacterias patógenas. Sin embargo el estudio no reporta los serotipos de las *E. coli* aisladas, lo cual sería de primera importancia ya que existen varios grupos patógenos a los que pertenecen dichas cepas que son capaces de causar brotes de diarrea, síndrome urémico hemolítico, colitis hemorrágica y cuadros de disentería principalmente en niños; asimismo la detección de estos grupos permite realizar o mantener una vigilancia epidemiológica.

3. Objetivo general

Evaluar la calidad bacteriológica del agua de los canales de Xochimilco, para conocer su participación en la transmisión de patógenos causantes de diarrea.

3.1 Objetivos particulares

- Determinar parámetros fisicoquímicos y ambientales en cuatro puntos de muestreo en los canales de Xochimilco.
- Evaluar la calidad bacteriológica de los canales de Xochimilco mediante la determinación de los indicadores de contaminación fecal (coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales).
- Realizar la identificación de bacterias lactosa positiva, aisladas de muestras de agua, raíz de lirio y suelo.
- Realizar la caracterización serológica de los aislados identificados como *Escherichia coli*.

4. Área de estudio

Xochimilco, delegación del Distrito Federal, se encuentra a 19°19' y 19°19' de latitud norte y a los 99°00' y 99°09' de longitud oeste. Limita con Iztapalapa, Tláhuac, Milpa Alta y Tlalpan. Presenta una superficie de 122 Km². El lago pertenece a la misma delegación y se localiza en los 19°15' de latitud norte y lo 99°06' longitud oeste a una altura de 2,240 m. (SNM). Se encuentra rodeado por elevaciones como el volcán Tehutli con 2,710mts (SNM), el Zempole con 2,650 m SNM, el cerro de Xochitapel con 250 m SNM y el cerro Tlacualieli con 2,420 m SNM. Pertenece a la provincia del eje neo volcánico transversal, sub-provincia de los lagos y volcanes Anáhuac y a la región hidrológica del Panuco de la cuenca del río Moctezuma en la sub-cuenca del lago de Texcoco-Zumpango; cuenta con un área de 128 Km² donde sobresalen por su tamaño la presa San Lucas, los canales Nacional, de Chalco, Santiago y Cuemanco (Figura 1)

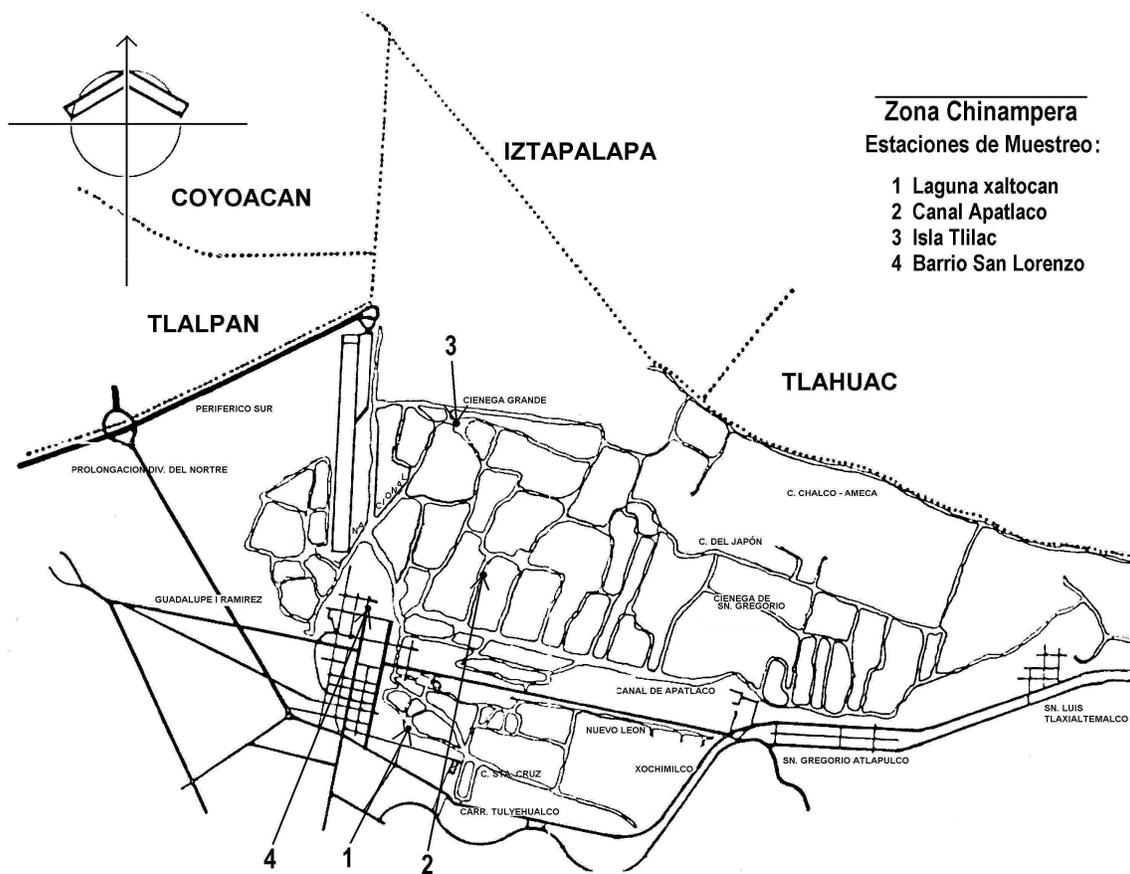
En su composición geológica predomina la roca ígnea extrusiva, la cual cubre más de las tres quintas partes de la superficie, además presenta afloramientos rocosos ígneos extrusivos (44.7%) y suelo (31.6%), ubicados el primero, en la parte central hacia el sur y el segundo, en la zona norte. Su topografía consiste en una llanura de suelo lacustre perteneciente a la era cenozoica, periodo cuaternario,

El clima de la zona es de tipo C(w) que corresponde a templado subhúmedo con lluvias en verano y una humedad media con una precipitación anual promedio de 580.6 mm, con una temperatura media de 16.8°C, el mes más caluroso es mayo con 20°C y el más frío enero con 10°C. Con relación a esta zona se encuentran los canales y su zona de chinampas que son lugares agrícolas de las cuales se obtienen leguminosas y plantas de ornato, además existe una zona de pastizales y área de bosques en la que encontramos oyamel, encinos, pinos y madroños (INEGI, 1998 a, b).

Esta delegación está incluida en la región prioritaria para la conservación en México denominada "Sur del Valle de México" esto gracias a su gran cantidad de endemismos por ser el centro de la zona de transición de las regiones biogeográficas Neártica y Neotropical. Presenta además un alto índice de degradación de los hábitats naturales por causa de la urbanización, la agricultura intensiva y la deforestación, razón por la

cual queda incluida, como se mencionó, dentro de las regiones prioritarias para la conservación (CONABIO,1998).

Figura 1. Mapa de la zona y puntos de muestreo



Fuente: Dirección de Turismo Xochimilco folleto de difusión turística 2002.

5. Material y métodos

Se seleccionaron cuatro puntos de muestreo durante 10 meses (de mayo de 2002 a marzo de 2003), en donde se colectaron muestras de agua, raíz de lirio y suelo. En los lugares de muestro se determinaron parámetros *in situ* como son: Temperatura del agua, pH con un potenciómetro de campo (Conductronic Mod. PH 10), mientras que el Oxígeno Disuelto fue medido con un Oxímetro de campo (YSI Mod. 51B) y la transparencia con disco de Secchi.

5.1 Toma de muestras

5.1.1 DBO₅. *En este caso se tomaron las muestras en cada punto en bidones de 2 litros y se transportaron en hielo para su análisis.*

5.1.2 Bacteriológicas de Agua. *Se utilizaron frascos de vidrio color ámbar con tapón esmerilado, previamente esterilizados y por medio de un muestreador se sumergió a unos 50 cm de la superficie hasta llenar $\frac{3}{4}$ partes de la capacidad del frasco, esto para permitir posteriormente la homogeneización para el análisis, se transportaron al laboratorio en refrigeración.*

5.1.3 Raíz de lirio. Se cortaron con tijeras aproximadamente 30g de raíz de lirio y se colocaron en bolsas estériles para transportarlas al laboratorio en refrigeración.

5.1.4 Suelo. En este caso la muestra se obtuvo por raspado con una espátula y se obtuvo alrededor de 10 g del sustrato, que se colocó en bolsas estériles. Las muestras de preservaron en hielo hasta su análisis en el laboratorio.

5.2 Análisis de laboratorio

5.2.1 DBO₅. A partir de la muestra preservada en hielo se sembraron por duplicado en frascos de vidrio con tapón esmerilado. Se determinó el OD inicial y durante cinco días se determinó el OD, fijándolo con sulfato manganeso, alcali-ioduro-azida y ácido sulfúrico. Se tomaron 100ml de muestra fijada, se colocaron en un matraz Erlenmeyer, se agregó almidón como indicador y se tituló con Tiosulfato de sodio normalizado.

5.2.2 Indicadores bacteriológicos de contaminación fecal. Para la determinación de los coliformes totales, fecales y estreptococos se utilizó la técnica del número más

probable (NMP). En el caso del agua se homogeneizó la muestra y se realizaron diluciones seriadas 1:10 y se sembraron volúmenes y diluciones de 10ml, 1 ml, 10^{-1} ml y 10^{-2} ml. Para la raíz de lirio las diluciones fueron de 1 ml, 10^{-1} ml, 10^{-2} ml y 10^{-3} ml

5.2.3 Aislamiento e identificación microbiana. Para el aislamiento de enterobacterias una vez realizada la técnica NMP se tomó de los tubos positivos del medio EC (*Escherichia coli*) una alícuota y se sembró en placas con medio Mac Conkey y Mac Conkey + sorbitol y se incubaron a 37°C por 24 hrs. Posteriormente se seleccionaron las colonias morfológicamente diferentes las cuales se resembraron en placas de agar nutritivo incubando a 37°C por 24 hrs. Finalizado este tiempo se hizo la identificación preliminar con pruebas bioquímicas IMVIC, la cual consiste en la determinación del indol, movilidad, producción de acetil-metil-carbinol en caldo RM-VP (rojo de metilo-Voges proskauer) y citrato.

Una vez hecha la identificación preliminar se conservó la cepa en tubos de agar nutritivo para su identificación mediante el sistema automatizado VITEK (bioMerieux), para lo cual se prepara un cultivo reciente no mayor a 24 hrs. Se aplica la prueba de oxidasa y se descartan los aislamientos que dan positiva la muestra; después en un tubo también estéril se colocaron 1.8 ml de solución salina al 0.45% para agregar en este un inóculo a una concentración óptima, que se determinó con ayuda de un aparato colorimétrico con escala de Mac Farland (bioMerieux). Una vez realizada dicha medición se procedió al llenado de las tarjetas de identificación en este caso GNI+, finalmente se colocaron en la gradilla del sistema automatizado VITEK para su incubación y lectura a las 18-24 horas.

5.3 Caracterización serológica

5.3.1 Obtención de antígenos. Se tomó un inóculo de cada una de las bacterias identificadas y conservadas en medio de gelosa, los inóculos se sembraron en agar sangre y agar Mac Conkey, ambas cajas se incubaron a 37°C por 24 hrs. Concluida la incubación se aisló una colonia típica de alguna de las dos cajas y se sembró en tubos inclinados de agar TSA (agar soya tripticaseína), se incubaron a 37°C por 24 hrs, una vez finalizada esta incubación se le adicionaron 10 ml de solución salina 0.85% a cada

uno de los tubos, esto para desprender la biomasa que creció en la superficies de los tubos inclinados, dicha suspensión se colocó en otro tubo y se sometió a vapor efluente de 100°C durante 1 hr. Una vez que se enfrió el antígeno se conservó con formalina al 0.06%.

Por otra parte para la obtención del antígeno flagelar, se tomó un inóculo de las mismas cajas de Mac Conkey y se sembró por picadura en un medio semisólido en tubos de Craigie que se incubaron a 30°C durante 14 días, transcurrido el tiempo los cultivos que presentaron flagelos se observó que emergían hasta la superficie del medio y de estos se tomaron inóculos por medio de una asa estéril y se resembraron en caldo de biotriptasa al 2% incubando nuevamente a 30°C por 24 hrs. al final de la incubación el antígeno se conservó con formalina al 0.06%.

5.3.2 Identificación serológica. La serotipificación sólo se realizó en los aislados de *Escherichia coli*, utilizando sueros específicos (SERUNAM), obtenidos de conejos Nueva Zelanda blanco.

Las reacciones de aglutinación se efectuaron en microplacas serológicas de acrílico con 96 pozos. Para el análisis del antígeno para cada aislamiento se utilizó una batería de 174 sueros monovalentes para el caso del antígeno somático y con 56 sueros específicos en el caso de los antígenos flagelares, dichos sueros se encuentran diluidos 1:100.

En cada pozo de la placa serológica se colocaron 50µl (microlitros) del suero monovalente y 50µl del antígeno somático, se cubrió la placa con plástico adherente y se incubó a 50°C por 24 hrs. concluido el tiempo se leyeron las placas en una caja de luz para resaltar la presencia de aglutinación. Con este procedimiento se identificaron los sueros reconocidos por el antígeno bacteriano, se realizaron diluciones desde 1:100 hasta 1:12,800, y con base en la dilución más alta del suero en la que se observó aglutinación fue como se consideró el serogrupo. En el caso de observar reacción cruzada, el antígeno se probó contra sueros absorbidos diluidos 1:50. Para definir el serogrupo se debe determinar el mayor grado de aglutinación con la mayor dilución del suero.

En el caso del antígeno flagelar el procedimiento es similar al descrito anteriormente, sólo cambia el periodo de incubación que es de 3 hrs.

6. Resultados

6.1 Parámetros físico-químicos. En un período de 10 meses que comprendió de mayo de 2002 a marzo de 2003, se analizaron 120 muestras; 40 de cada uno de los sustratos estudiados, agua, raíz de lirio y suelo, en 4 diferentes sitios de muestreo (Figura1). A las muestras de agua se les estudiaron algunos de los parámetros físico químicos importantes para determinar la calidad del agua con base en la Norma Oficial Mexicana (NOM-03-Ecol-1997) para aguas residuales tratadas.

Al analizar los parámetros fisicoquímicos de manera general, la demanda bioquímica de oxígeno al quinto día (DBO_5) mostró un valor promedio anual de 24.0 mg/l el cual no rebasó los límites máximos permisibles de 30 mg/l. Sin embargo, al realizar el análisis individual por mes y por estación de muestreo se encontraron valores que sobrepasan dichos límites. De éstos los más notables se identificaron en la estación 2 en la que el valor obtenido en los meses de agosto y octubre fueron de 95 y 77.44 mg/l respectivamente; otros resultados fuera de norma se observaron en las estaciones 3 en el mes de febrero del 2003 (72.59 mg/l) y en la estación 4 (62.70 mg/l) en el mes de mayo del 2002 (Cuadro1).

Con respecto al oxígeno disuelto, las cifras obtenidas durante el estudio reportaron concentraciones promedio anual de 6.45 mg/l. Los límites mínimos permisibles que establece la norma se encuentran entre 3 y 4 mg/l. La estación 4 en el mes de septiembre (2002), febrero y marzo (2003) se encontraron cifras menores a 2.4 mg/l, es decir fuera del mínimo que marca la norma (Cuadro 2). Los resultados obtenidos señalan, que en este cuerpo de agua existen zonas en donde se pone en riesgo la supervivencia de peces, así como de otros organismos acuáticos.

El análisis de parámetros también contempló la determinación del pH, el cual mostró una tendencia a la alcalinidad con un promedio anual de 8.98 (Cuadro 3). Con relación a la temperatura del agua ésta presentó un valor promedio anual de 16.9 °C, con una ligera baja en los meses de noviembre a febrero (Figura 2).

La NOM-03 establece que el valor mínimo de los sólidos suspendidos totales es de 30 mg/l. Los resultados obtenidos en promedio anual fueron de 28.8 mg/l y sólo en la

estación 2 se observó una concentración ligeramente mayor (36.84 mg/l) en uno de los muestreos, se puede considerar que en general éste parámetro se encuentra dentro de las normas oficiales mexicanas para el tipo de agua estudiada.

6.2 Cuantificación de bacterias. Se realizó el análisis bacteriológico por sustrato (agua, raíz de lirio y suelo) en cada una de las estaciones durante los meses en que se realizó el estudio. Los resultados mostraron que la media geométrica anual de las cuentas de coliformes totales (CT) en el agua fue de 1,591 microorganismos/100 ml (cuadro 4). El análisis por estación señala que las estaciones 1 y 4 presentaron los valores más altos con 3,930 y 2,785 bacterias/100 mL y la estación 3 los más bajos con 244 bacterias/100 mL (Cuadro 4). Los mismos resultados para cada uno de los meses de muestreo (Figura 3), indican que en diciembre se obtuvieron las cuentas de bacterias más altas (3.75 log de NMP/100 ml) y en agosto las más bajas (2.53 log). Con respecto a la cuantificación de los coliformes fecales (CF) se encontró como promedio anual 274 bacterias/100ml (Cuadro 4). Al evaluar los resultados por estación (Cuadro 5), se encontró que al igual que en el caso anterior la estación 3 presentó los valores más bajos (67/100 ml) y la estación 4 los más elevados (1,602/100ml). Los datos obtenidos por mes (Figura 3), señalan a septiembre como el mes con los valores más bajos (1.50 Log₁₀) y a octubre con los más altos (3.08 Log₁₀). En cuanto a los estreptococos fecales (EF) microorganismos que no son considerados en la NOM-03, se encontró que los valores promedio anual fueron de 765/100ml (Cuadro 4). Con relación a los resultados por estación (Cuadro 5), se encontró que 1 y la 4 presentaron las cuentas mas elevadas (2,534 y 2,102 /100mL) y la 3 las más bajas (130/100mL). Los datos obtenidos por mes de estudio (Figura 3), señalan a septiembre, octubre y diciembre con las cuentas de bacterias más altas (3.65, 3.23 y 3.17 Log₁₀).

El análisis de las muestras de raíz de lirio resultó muy importante ya que en estas se obtuvieron las cuentas más altas de las diferentes bacterias (Cuadro 4). Los resultados de CT presentaron un promedio anual de 4,108 microorganismos/100ml, las estaciones 4, 2 y 1 presentaron los valores promedio más elevados respectivamente (cuadro 6). En la figura 4 se observa que mayo del 2002 fue el mes con los valores más bajos (2.68 Log₁₀) y marzo del 2003 con las cuentas de bacterias más elevadas (4.60 Log₁₀). Los CF aunque en un número más bajo que los CT, presentaron cuentas casi 8 veces más

altas que las determinadas en agua (cuadro 4), con un promedio anual de 1,673 microorganismos/100ml. La estación 4 fue la que presentó el mayor número de bacterias con 5,273/100mL (cuadro 6) y la 3 las cuentas más bajas (369/100mL). El análisis por mes de estudio (Figura 4), reporta a mayo como el mes con las menores cuentas de bacterias (2.40 Log₁₀) y agosto con los resultados más altos (4.00 Log₁₀). En raíz de lirio la cuenta de EF mostró 2,052 bacterias/100ml como valor promedio anual (cuadro 4). Las estaciones 1 y 3 (Cuadro 6), fueron las que presentaron los valores más alto y más bajo respectivamente (3,827 y 1,076/100mL). En la figura 4 se observa que agosto fue el mes con el valor más alto y mayo con el menor (4.25 y 2.53 Log) respectivamente.

El análisis de muestras de suelo aunque con cuentas menores mostraron valores de CT de 1,602/100 ml como promedio anual (Cuadro 4). Las muestras de la estación 4 al igual que las correspondientes de agua y raíz de lirio presentaron los valores más altos (3,394/100ml), de igual manera la estación 3 (Cuadro 7), presentó las menores cuentas de bacterias (833/100ml). El análisis de CT por mes solo presentó diferencia en el número de bacterias en marzo del 2003 (Figura 5), en el que se determinó el valor más bajo (2.65 log). El promedio anual de CF fue de 1091/ 100ml (Cuadro 4), el análisis por estaciones muestra a la estación 4 (Cuadro 7) con los valores más altos y la 3 con los más bajos (Cuadro 7). Finalmente los datos de EF muestran un promedio anual de 1,457/100ml (Cuadro 4), la estación 4 fue la que dio los valores más altos y la 2 los menores (Cuadro 7). El análisis por mes de éste grupo de bacterias mostró como con los otros dos grupos de bacterias que marzo fue el mes con los menores valores (Figura 5).

6.3 Aislamiento e identificación de bacterias. El aislamiento de *Escherichia coli* se realizó a partir de la técnica de tubos múltiples, la identificación preliminar por la prueba IMVIC y la identificación final por el sistema automatizado Vitek (bioMerieux). El estudio incluyó la identificación de 421 colonias que reportó la presencia de diferentes géneros de bacterias (Fig.6). *E. coli* fue el microorganismo más frecuente (71.5%) seguido por *Citrobacter freundii complex* (8.0%), *Enterobacter cloacae* (7.0%), *Klebsiella pneumoniae* (5.0%) y otros géneros (8.5%). Al realizar el análisis de la frecuencia de aislamiento por sustrato se observó que fue en la raíz de lirio en la que se obtuvo el

mayor número de aislamientos (55%), seguido del agua (29%) y en menor proporción en las muestras de suelo (16%) .

6.4 Caracterización de *Escherichia coli*. De los tres sustratos analizados se identificaron 301 cepas de *E. coli* las que por serología se caracterizaron en 84 serogrupos y 150 serotipos diferentes. El 51% de las cepas identificadas (153/301) no pertenece a los grupos patógenos actualmente establecidos, la otra mitad (148/301), se distribuyó en alguno de los grupos causantes de diarrea.

6.5 Tipos antigénicos de E. coli asociados con diarrea. Cepas de los serotipos STEC fueron las que se identificaron con mayor frecuencia (22%), seguidas por los grupos: ETEC (16%), EPEC (6%) EIEC (3%) y EAEC (1%). Los serotipos más frecuentes fueron: O?:NM (antígeno O no identificado, no móvil) fue el más frecuente (28 cepas), O?:HND (antígeno flagelar no determinado) 14 cepas, O?:H8 8 cepas, O?:H14 7 cepas, O8:H2 (ETEC) 7 cepas, O23:H1 (STEC) 6 cepas. Una cepa con el serotipo O157:NM se aisló de una de las muestras de agua en la estación 2 durante el muestreo del mes de noviembre de 2002 (cuadro 9).

Cuadro 1. Cifras obtenidas de la DBO₅ en las diferentes estaciones durante los 10 meses de estudio

DBO ₅											Promedio anual
Estación	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Feb	Mzo	
1 Laguna de Xaltocan	40.07	23.68	9.90	7.28	13.43	15.61	11.62	8.2	38.50	16.9	18.51
2 Canal Texhuilo	28.84	18.21	30.57	95.00	11.62	77.44	16.46	5.7	29.30	9.4	32.25
3 Isla de Tlilac	25.50	24.28	21.35	17.47	10.65	15.25	13.79	8.6	72.59	11.1	22.05
4 Área semirural	62.70	32.88	21.35	20.30	8.71	28.07	8.71	5.7	34.40	9.4	23.22
Promedio Mensual	39.28	24.76	20.79	35.01	11.10	34.09	12.645	7.0	43.70	11.7	24.00
No se determinó en enero											

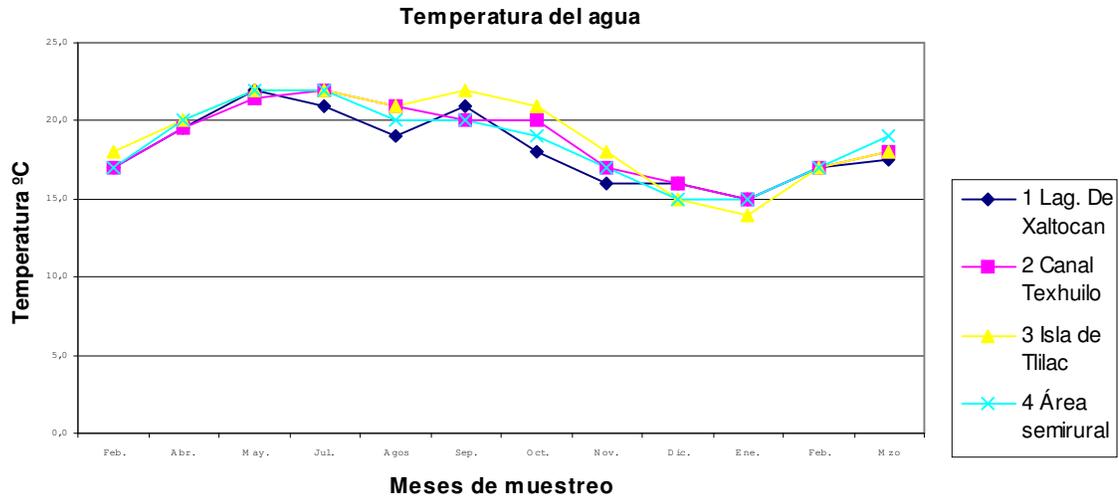
Cuadro 2. Niveles de Oxígeno disuelto determinados en las diferentes muestras de agua de las estaciones de muestreo, obtenidas durante los 10 meses de estudio

Oxígeno Disuelto											Promedio anual
Estación	May	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mzo	
1 Laguna de Xaltocan	8.0	9.8	3.4	9.8	3.4	2.8	6.20	6.80	8.90	12.20	7.13
2 Canal Texhuilo	6.4	8.0	6.6	4.2	4.6	5.4	6.00	5.60	5.40	9.00	6.12
3 Isla de Tlilac	3.6	9.0	5.8	3.8	5.8	6.8	15.00	15.00	11.00	9.80	8.56
4 Área semirural	5.2	5.8	6.2	1.4	3.4	5.2	3.60	5.20	2.00	2.20	4.02
Promedio Mensual	5.8	8.2	5.5	4.8	4.3	5.1	7.70	8.15	6.83	8.30	6.45
No se determinó en junio											

Cuadro 3. Valores de pH de las muestras de agua obtenidos durante los 10 meses de duración del estudio

PH												
Estación	May.	Jun.	Jul.	Agos.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Ene.	Feb	Mar	Promedio anual
1 Laguna de Xaltocan	8.94	8.77	8.85	8.31	7.50	8.06	7.06	7.34	7.4	8.52	8.05	8.88
2 Canal Texhuilo	9.04	8.61	7.83	9.00	7.50	9.50	7.61	7.51	7.53	7.40	8.03	8.95
3 Isla de Tlilac	9.54	9.56	8.63	8.70	7.80	9.31	9.00	9.80	9.96	9.70	8.86	10.08
4 Área semirural	8.20	7.35	6.80	7.21	7.12	8.24	7.32	7.40	7.55	7.08	6.83	8.11
Promedio Mensual	8.93	8.57	8.03	8.31	7.48	8.78	7.75	8.01	8.11	8.18	7.94	8.98

Fig. 2. Promedio anual de la temperatura del agua

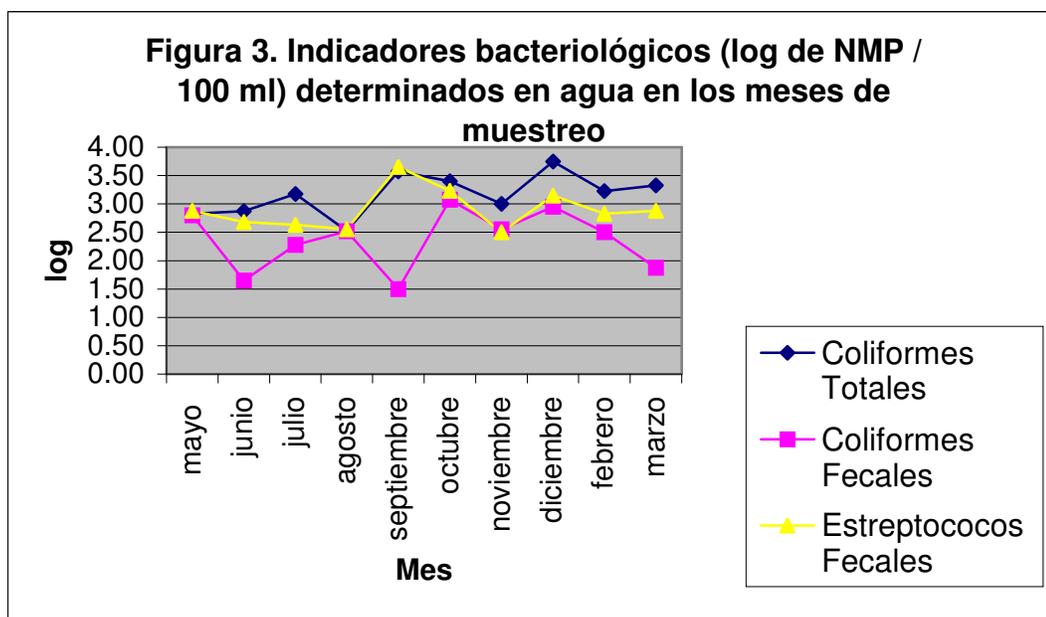


Cuadro 4. Medias geométricas obtenidas en los diferentes sustratos Analizados.

Sustrato	Coliformes totales	Coliformes fecales	Estreptococos fecales
AGUA	1,591	274	765
LIRIO	4,108	1,673	2,052
SUELO	1,602	1,091	1,457

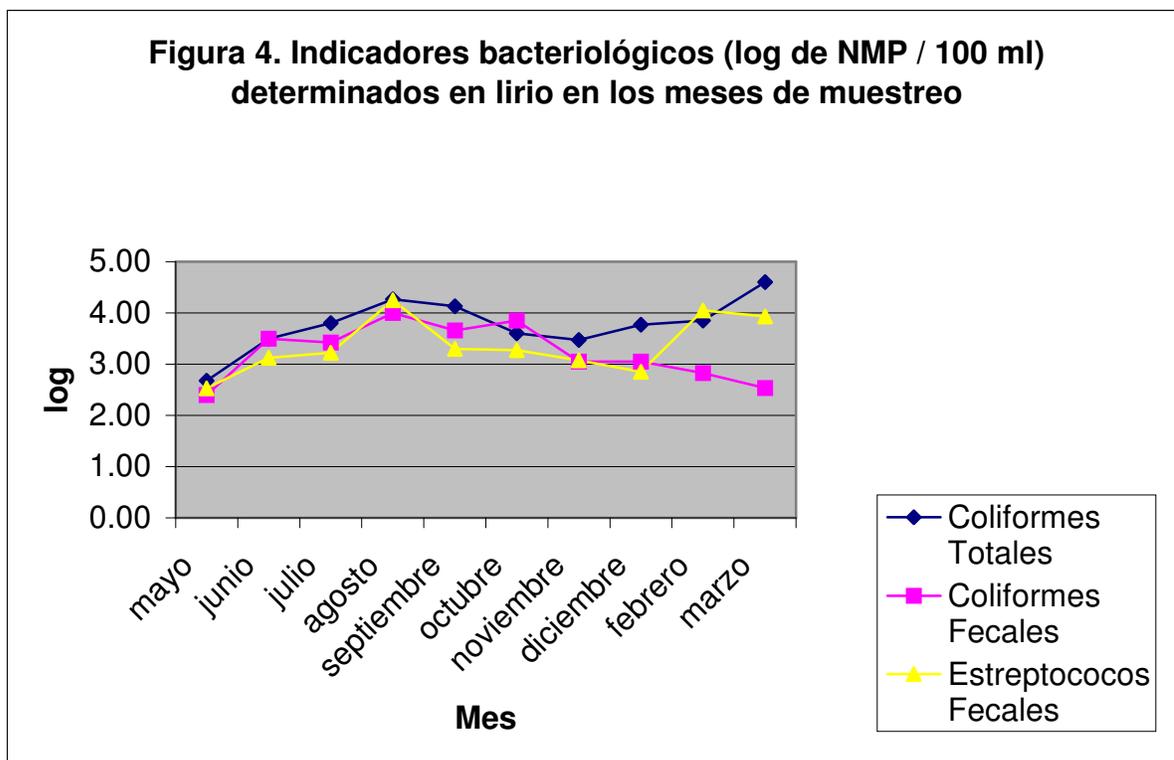
Cuadro 5. Medias geométricas obtenidas en agua por estación de muestreo

Sustrato	Estación	Coliformes totales	Coliformes Fecales	Estreptococos fecales
AGUA	1	3,930	249	2,534
	2	1,199	160	621
	3	244	67	130
	4	2,785	1,602	2,102



Cuadro 6. Medias geométricas obtenidas en lirio por estación de muestreo

Sustrato	Estación	Coliformes Totales	Coliformes Fecales	Estreptococos fecales
LIRIO	1	3,269	2,328	3,827
	2	5,362	2,063	1,680
	3	1,751	369	1,076
	4	10,655	5,273	2,359



Cuadro 7. medias geométricas obtenidas en suelo por estación de muestreo

Sustrato	Estación	Coliformes totales	Coliformes Fecales	Estreptococos fecales
SUELO	1	2,169	1,096	1,829
	2	1,058	1,259	702
	3	833	542	1,093
	4	3,394	1,436	1,859

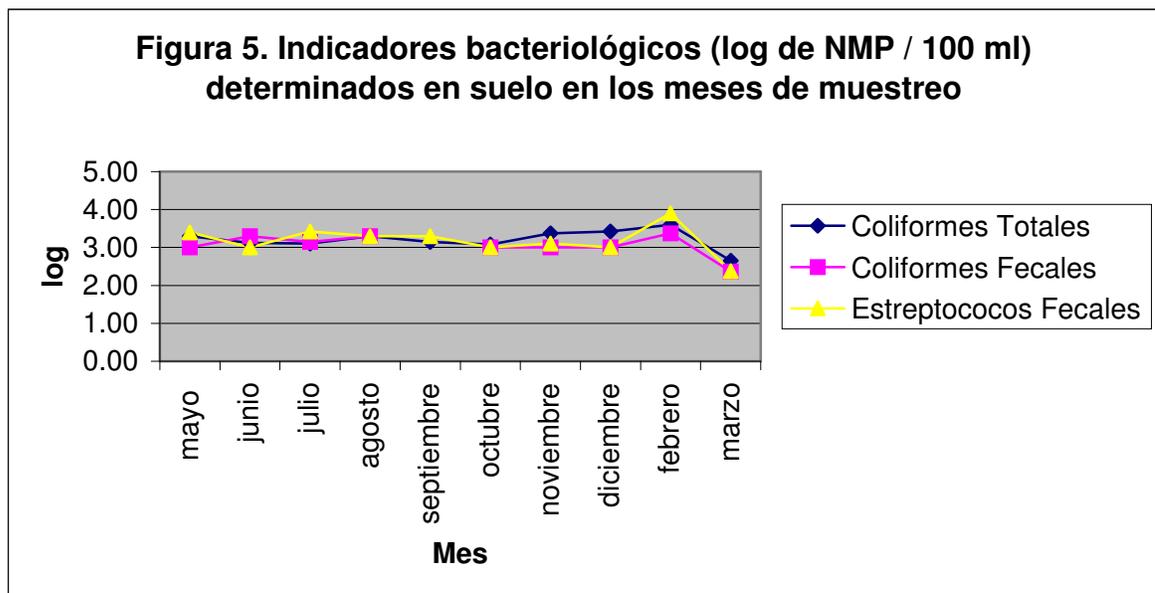
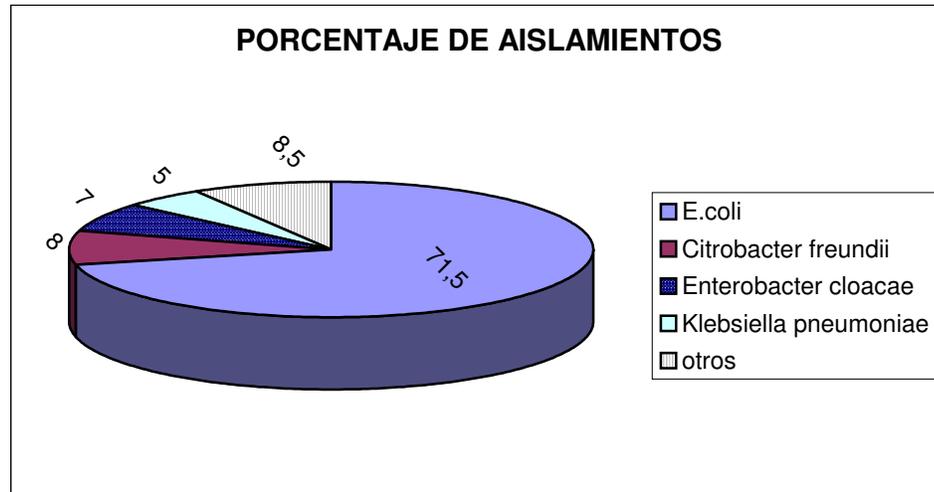


Fig. 6 porcentaje de aislamientos bacterianos de los canales de Xochimilco.



Cuadro 8. Grupos patógenos de *Escherichia coli* determinados por su tipo antigénico, en las diferentes muestras analizadas

Grupos patógenos	<i>E. coli</i>	Número (%)
Shiga toxin	(STEC)	67 (22)
Enterotoxigénica	(ETEC)	49 (16)
Enteropatógena	(EPEC)	18 (6)
Enteroinvasiva	(EIEC)	9 (3)
Enteroagregativa	(EAEC)	4 (1)
Enterohemorrágica	(EHEC)	1 (0.33)
	NO DEF.	153 (51)
	TOTAL	301

Cuadro 9. Serotipos más frecuentes y grupos patógenos de *E. coli* asociados con la patogénesis de la diarrea.

EHEC	#	ETEC	#	STEC	#		#		#		#
O157:NM	1	O8:H2	7	O23:H1	6	O17:H18	1	O?:H9	2	O?:H25	1
		O8:H28	6	O39:H21	4	O172:H45	1	O?:H2	2	O10:H?	1
EAEC		O15:H18	4	O141:H19	4	O21:H10	1	O?:H27	2	O101:H7	1
O77:H18	4	O6:H49	3	O23:H8	4	O22:H?	1	O102:H56	2	O101:NM	1
		O148:H?	3	O9:H21	4	O39:H8	1	O174:H32	2	O123:NM	1
EIEC		O6:H10	2	O103:H40	3	O45:H?	1	O19a:H51	2	O129:NM	1
O28ab:NM	3	O139:H19	2	O16:H54	3	O70:H1	1	O32:H?	2	O13:H2	1
O29:H4	2	O20:H30	2	O163:H?	3	O84:NM	1	O71:H27	2	O130:H9	1
O135:NM	1	O20:H4	2	O70:NM	3	O86:H18	1	O51:H10	1	O132:H2	1
O28ab:H56	1	O8:H9	2	O168:H15	2	O86:H38	1	O65:H11	1	O140:H19	1
O29:H?	1	O80:H19	2	O2:H42	2	O88:H?	1	O66:H25	1	O140:H2	1
O29:H10	1	O148:H30	1	O21:NM	2	O88:H25	1	O71:H27	1	O140:H3	1
		O148:H32	1	O39:H49	2			O?:H15	1	O147:NM	1
EPEC		O15:H?	1	O4:H15	2	NO DEF.		O?:H25	1	O155:H44	1
O128:H35	8	O153:H1	1	O1:NM	1	O?:NM	28	O?:H26	1	O156:H12	1
O125ac:H19	1	O153:H12	1	O11:H7	1	O?:H?	14	O?:H28	1	O175:NM	1
O125:H19	1	O153:H49	1	O116:H9	1	O?:H8	8	O?:H32	1	O19a:H29	1
O125ac:H32	1	O20:H11	1	O120:H?	1	O?:H14	7	O?:H47	1	O19a:H32	1
O125ac:H49	1	O20:NM	1	O121:H?	1	O129:H?	4	O?:H5	1	O31:H11	1
O127:H8	1	O25:H?	1	O146:H24	1	O129:H30	4	O?:H6	1	O32:H21	1
O128:H?	1	O25:H4	1	O150:H10	1	OR:NM	4	O?:H7	1	O36:H5	1
O128:H25	1	O25:H49	1	O16:H10	1	O?:H10	3	O?:H9	1	O36:NM	1
O18ac:H14	1	O27:H48	1	16:NM	1	O129:H4	3	O?:H25	1	O40:H10	1
O18ac:H49	1	O6:H10	1	O168:H4	1	O174:H2	3	O42:H?	1	O40:H4	1
O18ac:H7	1	O8:H21	1	O169:NM	1	O32:H4	3	O53:NM	1	O41:NM	1
						O36:H10	3	O73:NM	1	O89:H12	1
						O41:H10	3	O89:H10	1	O95:H10	1
						O7:H?	3	O96:H2	1		
								OR:H?	1		

Cuadro 10. Serogrupos identificados en las cepas de *E. coli* aisladas del aire y agua (Valdez, 2002).

Antígeno Somático	Total de cepas
O?	44
OR	24
O9	8
O175	5
O73,O7	8
O18,O18ac,O83,O148,O155,O6, O8,O21,O77,O88,O91	33
O101,O64,O32,O100,O20,O159,O86,O1,O113,O51,O102, O168	24
O63,O135,O10,O4,O125ac,O50,O15,O27,O149,O69,O130,O117, O95,O12,O82,O166,O129,O110,O141,O87,O80,O53,O60,O3,O17 O,O29,O18,O17,O22,O157,O105,O23,O138,O2,O25,O92,O140,O 132,O150,O11,O16,O24,O25,O40,O165,O171.	47

•Número de cepas que mostraron el mismo serogrupo.

O?= No tipificable con los 176 sueros anti O.

OR= Antígeno rugoso.

Cuadro 11. Serogrupos identificados en las cepas de *E. coli* aisladas de los canales de Xochimilco.

Antígeno Somático	Total de cepas
O?	77
OR	5
O9	4
O175	1
O73,O7	4
O18,O18ac,O148,O155,O6, O8,O21,O77,O88	37
O101,O32,O20,O86,O1,O51,O102	20
O10,O135,O4,O125ac,O15,O27,O69,O129,o130,O141,O80,O29, O157,O95	34

O?= No tipificable con los 176 sueros anti O.

OR= Antígeno rugoso.

7. Discusión

Aunque de manera general en los parámetros fisicoquímicos se reportan datos los cuales se encuentran dentro de la norma oficial mexicana Nom-003-Ecol-1997, como lo son en este caso los resultados de la DBO_5 (Cuadro 1), en algunos periodos y sitios de muestreo se observaron resultados que nos indican que están fuera de norma, esto para aguas residuales tratadas y para contacto no directo, como es el caso de los canales de Xochimilco. Dichos datos de la DBO_5 , la cual es una forma indirecta de evaluar los niveles de materia orgánica en el agua (Robles *et al.*, 2004) presentaron un incremento en la estación 4 en mayo (62.7mg/l) y la 2 en octubre (77.44 mg/l), ambos resultados durante el 2002. El incremento en estas dos estaciones y en dos épocas del año no es fácil de explicar, sin embargo, por las características de los sitios cercanos a dichas estaciones como es el caso de chinampas, establos y zonas habitacionales, podrían estar influyendo en el incremento de los niveles de materia orgánica. El que no se hayan encontrado datos que sugieran niveles altos de materia orgánica durante todo el periodo y los sitios de muestreo, pudiera estar relacionado con las cuentas elevadas de microorganismos que se identificaron. Al respecto existen estudios (Aguilar, 2002), que muestran que la degradación de los compuestos orgánicos se realiza en su mayor parte por vía microbiana en condiciones aerobias.

Con respecto a la concentración de oxígeno disuelto se encontró una media de 5.84 mg/l (Cuadro 2), con un valor mínimo de 3.4mg/l y uno máximo de 12.2 mg/l (Robles *et al.*, 2004). Nuevamente en la estación 4 se encontraron datos fuera de norma que se pueden considerar críticos (3.84 mg/l) ya que están en los niveles mínimos para la supervivencia de peces y otros organismos acuáticos (Ramírez *et al.* 1995). El haber encontrado estos niveles mínimos de oxígeno disuelto en la estación 4 pueden relacionarse con la degradación de materia orgánica mientras que los niveles altos en la estación 3 pueden explicarse por aireación debida a la influencia del viento y la fotosíntesis de los organismos del fitoplancton (Martínez- Arroyo, 2000).

El pH es uno de los parámetros que nos indica la concentración de protones (iones hidrógeno H^+), es decir una medida para conocer el contenido ácido-base del agua, que influye sobre gran parte de los procesos químicos de un cuerpo acuático. En el estudio los valores obtenidos en las cuatro estaciones de muestreo no mostraron variaciones considerables y los valores registrados estuvieron dentro del ámbito permisible para agua de riego agrícola (Cuadro 3). Sólo en la estación 4 fue donde el agua se detectó con valores ligeramente bajos, lo anterior pudiera deberse a la escasa presencia de organismos fitoplanctónicos y una gran cantidad de rotíferos. Ambos hechos son coincidentes ya que el fitoplancton tiende a alcalinizar el medio mientras que los rotíferos proliferan cuando se incrementa el número de bacterias por presencia de materia orgánica (Martínez-Arroyo, 2000). Como hemos referido previamente la estación 4 es en la que se ha observado con mayor frecuencia alteración de los parámetros físico-químicos.

La temperatura del agua se mantuvo casi constante en las 4 estaciones durante todo el estudio (Figura 2), aunque se observó una disminución en los meses de invierno. Tal hecho es importante ya que ésta influye en el rendimiento de casi todas las reacciones biológicas que se llevan a cabo en un medio acuoso (Aguilar, 2002).

De esta manera podemos considerar que la relación que existe entre los parámetros fisicoquímicos y el número de bacterias tal vez se deba a que las condiciones ambientales favorecen la persistencia de dichos microorganismos ya que el agua presenta condiciones de temperatura constante, alcalinidad que se reflejan en un pH estable, mientras que el Oxígeno se encuentra sin variaciones considerables y una cantidad adecuada de materia orgánica que reflejan los valores de la DBO_5 .

Generalmente, el agua superficial se contamina por las descargas residuales domésticas e industriales, esto trae como consecuencia la propagación por el agua de gérmenes patógenos, algunos de los cuales son causantes de diarrea, debido principalmente a que las aguas residuales pueden contener millones de bacterias por mililitro, entre las que se incluyen coliformes, estreptococos, enterobacterias, protozoarios, virus, nematelmintos y platelmintos, entre otros (SARH, 1978).

La enumeración de bacterias o grupos de bacterias indicadoras de contaminación fecal se utiliza para evaluar la calidad sanitaria de alimentos, sedimentos y aguas destinadas al consumo humano, la agricultura, la industria y la recreación (Suárez, 2002). En este estudio se observó que las cuentas bacterianas del agua en general, no se encontraban fuera de la norma oficial mexicana. Sin embargo, el haber realizado la cuantificación de microorganismos en la raíz de lirio permitió identificar que este sustrato está altamente colonizado por diferentes grupos de bacterias (Cuadro 6).

El lirio acuático es una de las plantas acuáticas consideradas como maleza y su simple presencia pronostica problemas por su crecimiento y rápida propagación. Contribuye a la elevación de los índices de evaporación e impide el paso de luz al fondo de los estanques. Se puede establecer en aguas con pocos nutrientes, esto debido a la colonización de la rizosfera por microorganismos, mientras más eutrófico sea el medio más éxito tendrá (Miranda A.,1999).

En cuanto al suelo analizado se encontró una menor proporción de cuentas bacterianas; sin embargo, es importante establecer que este sustrato se encuentra ubicado alrededor del cuerpo de agua por lo que puede ser una fuente de contaminación para ésta.

Los microorganismos presentes en la raíz de lirio y en el suelo viven en agregados microbianos formando películas conocidas de manera general como "biopelículas". En estas los microorganismos pueden formar consorcios en los que existe una importante interacción para sobrevivir en ambientes adversos carentes de nutrientes, en estos también se pueden intercambiar genes con lo cual las bacterias adquieren información genética. Dicha formación puede ser un proceso fundamental en el ciclo de vida de la mayoría de los microorganismos en el ámbito médico, industrial y del medio ambiente. Los factores que regulan y controlan el desarrollo de estos consorcios, pueden utilizarse en dos formas: (i) para mejorar los procesos de biopelículas y usarlos en la biotecnología y la salud pública y (ii) para desarrollar estrategias más efectivas para eliminar microorganismos patógenos

(<http://www.biofilmsnetwork.de/neednrelevanceesp.htm>).

La identificación de bacterias aisladas de los 3 sustratos, reportó la presencia de diferentes géneros de la familia Enterobacteriaceae (Figura 6). *E. coli* fue el microorganismo más común (71.5%), hecho que resulta relevante por la importancia que esta bacteria tiene como patógeno involucrado en la etiología de las diarreas (Eslava, 2001).

Al realizar la tipificación serológica de las cepas se encontró que 50% pertenecen a alguno de los serogrupos considerados como patógenos (Nataro,1998; Rodríguez, 2002). El origen de estos microorganismos puede ser de diferentes fuentes y resulta importante ubicarlas. El agua tratada en la planta de tratamiento del Cerro de la Estrella contribuye de manera importante a mantener el nivel del lago de Xochimilco, un estudio previo (Valdez,2002) de agua y aire para conocer la existencia de grupos patógenos de *E. coli* en dicha planta de tratamiento, mostró la existencia de diferentes serogrupos y serotipos. Al realizar el análisis de dichos resultados y comparar con los obtenidos en nuestro estudio (Cuadro 10), encontramos que algunos de estos eran los mismos. Lo anterior sugiere que una fuente importante, que contribuye a la presencia de cepas de *E. coli* causantes de diarrea en los canales del lago de Xochimilco, lo constituye el agua que se utiliza para mantener su nivel. Sin embargo, para poder afirmar de manera contundente tal hipótesis se requiere hacer estudios de identidad clonal (Gärtner, 2004), entre los aislados de ambos sitios. La caracterización de serogrupos y serotipos para conocer a cual de los grupos diarreogénicos (Pearce, 2004) pertenecían las cepas aisladas, se encontró que la mayoría pertenecen al grupo STEC. Este grupo tiene como uno de sus mecanismos de patogenicidad la producción de toxinas, éstas bacterias son responsables de enfermedades como colitis hemorrágica y síndrome urémico hemolítico que pueden causar la muerte (Blanco et al., 2004).

Debido a que los bovinos son uno de los principales reservorios de estos microorganismos (Van Diemen, 2005), ésta podría ser una de las explicaciones de su mayor incidencia entre los grupos identificados, ya que en Xochimilco algunas de las chinampas tienen establos y es factible que las descargas de los desechos orgánicos de estos se realicen hacia los canales. Se identificó además una cepa del serotipo O157:NM que pertenece al grupo EHEC, este es un hallazgo importante ya que la incidencia de aislamiento de este serotipo en nuestro país es de solo 1.25% (Salinas,2002), Por el hecho de no ser muy común y por su alta virulencia (Escobar,

2004), consideramos que al encontrarse en dicho cuerpo representa un alto riesgo lo que obliga a mantener una vigilancia epidemiológica del área. El hecho de que la mitad de las cepas de *E. coli* aisladas pertenezcan a algún tipo antigénico asociado con la etiología de las diarreas, plantea que deben implementarse medidas correctivas para evitar que Xochimilco sea una fuente transmisora de patógenos intestinales.

8. Conclusiones

1. En este estudio los parámetros fisicoquímicos no rebasaron los límites máximos permisibles establecidos en la Norma Oficial Mexicana (NOM-003-ECOL-1997), para aguas tratadas que se reusen en servicios al público.
2. De acuerdo a los resultados obtenidos para los tres sustratos, el agua se encuentra dentro de los límites máximos permisibles que aparecen en la norma oficial mexicana, mientras que los otros dos sustratos (raíz y suelo) sobrepasan los límites bacteriológicos que marca dicha norma.
3. La presencia de bacterias indicadoras de contaminación CT, CF y EF, mostraron que Xochimilco presenta un alto grado de contaminación y probablemente se debe a las descargas de desechos fecales, tanto de origen animal como humano, y que llegan a los canales como contaminación no puntual, es decir no colectadas por una red de drenaje.
4. Las cuentas bacterianas del grupo coliforme se encontraron más elevadas en raíz de lirio, seguidas de agua y en mucho menor concentración en suelo. Asimismo la bacteria que se aisló más frecuentemente y también en raíz de lirio fue *E. coli*.
- 5.- En cuanto a la serología el grupo patógeno mayormente identificado fue el denominado verotoxigénico (STEC). Se realizó un solo aislamiento del serogrupo O157 y que es el responsable de causar síndrome urémico hemolítico. Este serogrupo está actualmente muy relacionado con contaminación cárnica en los Estados Unidos, pero no así en nuestro país.
- 6.- Con esto podemos concluir que Xochimilco se encuentra en una fase de deterioro en cuanto a la calidad bacteriológica del agua, ya que existen bacterias de origen fecal las cuales poseen importancia clínica-epidemiológica y que pueden ser transmitidas por el consumo de vegetales crudos provenientes de esta zona o simplemente por el contacto directo con esta agua durante la recreación.

9. Bibliografía

- 1.- Aguilar R.I, 2002. Estudio bacteriológico y fisicoquímico de la calidad del agua de la laguna de Mecoaacán Tabasco. México. Tesis licenciatura. FES Iztacala. 87p.
- 2.- Apha, Awwa y Wpcf, 1992. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. España. Ed. Díaz de santos, 2-38-9-127pp.
- 3.- Barrera E. G. (1995). Contaminación Exógena de origen fecal en la laguna de Tamiahua, Veracruz y su influencia en tres especies de importancia comercial. Tesis M en C. Facultad de ciencias. UNAM. 60p
- 4.-. Balanzario Z, J.R. (1985) Contaminación de los canales de Xochimilco y su repercusión en las actividades económicas. Archivo Histórico del Agua. UNAM. 247-268pp.
- 5.- Barcina I. *et al* Survival of allochthonous bacteria in aquatic systems: a biological approach. Microbiology ecology. Elsevier. 1997, 23:1-9.
- 6.- Blanco *et al* (2004) serotypes, virulence genes and intimin types of shiga toxin (verotoxin)- producing *Escherichia coli* isolates from cattle in Spain and identification of a new intimin variant gene (eae-ξ). Journal of clinical. Microbiol. 42(2): 645-651.
- 7.- CONABIO. Comisión nacional para el uso y conocimiento de la biodiversidad. 1998. Regiones prioritarias de conservación. (CONABIO/PRONATURA/WWF/FMCP/USAIO/TNC/INE).
- 8.- Cools D, *et al* Survival of *E. coli* and enterococcus spp. derived from pig slurry in soils of different texture. Applied soil ecology. Elsevier. 2001, 17:53-62
- 9.-. Cortés O.A *et al* Brote causado por *Escherichia coli* en Chalco, México, Salud pública de México. 2002, 4:44, 297-302pp.
- 10.- Eslava C. *et al* (2001) *Escherichia coli* patógeno causante de infección intestinal en: Mensaje bioquímico. Facultad de Medicina. UNAM. 149-167pp.
- 11.- Escobar- Páramo, *et al* A specific genetic background is required for acquisition and expression of virulence factors in *Escherichia coli*. MBE Advance Access published March 10, 2004.
- 12.- Forestier C. *et al* (1996) Enteroadherent *Escherichia coli* and diarrhea in children: a prospective case-control study. Journal of clinical microbial. 34(12):2897-2903.

- 13.- Gartner *et al.* Comparative Analysis of locus of enterocyte effacement pathogenicity islands of atypical enteropathogenic *Escherichia coli*. Infection and immunity, 2004. Vol 72:No.11 ,6722-6728pp.
- 14.- Gordon M.D geographical structure and host specificity in bacteria and the implications for tracing the source of coliform contamination. Microbiology. 2001, 147,1079-1085.
- 15.- Harwood. J:V. et al 2000. Classification of antibiotic resistance patterns of indicator bacteria by discriminate analysis: use in predicting the source of fecal contamination in subtropical waters. Applied. Environment microbial. 6(9):3698-3704.
- 16.- Ibarra (2000) Evaluación de la calidad fisicoquímica y bacteriológica de laguna negra, Puerto Márquez Gro. Tesis de licenciatura ENEP- Iztacala.
- 17.- INEGI,1998^a. Distrito Federal. Cuaderno estadístico delegacional. Ed. 1997. Inst. Nac. De Est. Geog. e Inf. México. 10-21 pp.
- 18.- INEGI 1998b. Xochimilco. 1-22pp.
- 19.- Leclerc H. *et al* Advances in the bacteriology of the coliform group their suitability as markers of microbial water safety. Annu. Rev. Microbiol. 2000.55:201-34.
- 20.- Magallanes F, L.E (1993). El agua como factor de riesgo en la transmisión de infecciones entéricas. Tesis de licenciatura. Facultad de ciencias químicas e industriales. Universidad Autónoma del Estado de Morelos. 56p.
- 21.- Margall N. *et al* *Escherichia coli* enterohemorrágica. Dirección general de salud pública. Barcelona. 2000.
- 22.- Maittland P. 1990. biology of fresh water 2^a. Ed. USA. Chapman y Hall, 1-33pp.
- 23.- Miranda G.M (2002): Estudio biológico para la reproducción en laboratorio y estanques del charal *Chirostoma jordani* del lago de Xochimilco. Tesis de licenciatura. FES.Iztacala. UNAM.
- 24.- Nataro *et al* (1998). Diarrheagenic *Escherichia coli*. clinical microbiology, reviews. 11(1). 142-201p.
- 25.- Norma oficial mexicana NOM-003-ECOL-1997, que establece los limites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que sé reuse en servicios al público. Lunes 21 de Septiembre de 1998. Diario Oficial.
- 26.- Oswald V. Velásquez O. Determinación de la calidad bacteriológica del agua que consume la población del Estado de Morelos. En: El recurso agua en el Estado de

Morelos y problemas de su contaminación. UNAM. Centro regional de investigaciones interdisciplinarias México. 1991. 141-151pp.

27.- Padola N.L. et al. First isolation of the enterohemorrhagic. *Escherichia coli* O145:H- from cattle in feedlot in Argentina. BMC. Microbiology. 2002. 2:6.

28.- Prats.G. et al.. *Escherichia coli* O157:H7 enterohemorrágica. Infecciones bacterianas. Universidad Autónoma de Barcelona. 2001.

29.- Prats G. et al.. Colitis hemorrágica por *Escherichia coli* verotoxigénica. Presentación de 9 casos. Enferm. Infecc. Microbiol. Clinic. 1996. 14:7-15.

30.- Quintino C.E. (1995). Alimentos de consumo crudo, vehículos importantes en la transmisión de bacterias causantes de diarrea en humanos. Tesis de licenciatura. Facultad de química. UNAM. 71p.

31.- Robles E. et al. (2003) Determinación de nutrientes y materia orgánica en el lago de Xochimilco.

32.- Rompré A. et.al Dtection and enumeration of coliforms in drinking water: current methods and emerging approaches. Journal of microbiological methods 2002,49:31-54.

33.- Rodríguez A.G. Principales características y diagnóstico de los grupos patógenos de *Escherichia coli* . Salud pública. 2002, 44: 464-475.

34.- Salinas E. et al caracterización fenotípica de cepas de *Escherichia coli* aisladas del agua de los canales de Xochimilco, D.F. Revista latinoamericana de microbiología. Congreso Asociación mexicana de microbiología Vol. 44, Enero-Marzo 2002.

35.- SARH.1978, Análisis de aguas y aguas de desecho 4ª. Ed. México. Dirección General de protección y Ordenación Ecológica. Subdirección del Área de investigaciones y entrenamiento, Vol.I-III.996pp.

36.- SARH. 1979. Índice de calidad del agua. México. Dirección general de protección y ordenación ecológico 99-104pp.

37.- Suárez M. Tendencia actual del estreptococo como indicador de contaminación fecal. Rev. Cubana. Higiene Epidemiológica 2002; 40 (1) 38-43.

38.- Thompson B. R. (2001). Utilización de *Escherichia coli* y *Escherichia coli* enterotoxigénica (ETEC) como indicadores de contaminación fecal y de un patógeno humano respectivamente en alimentos de venta callejera. Tesis de licenciatura. FES.Iztacala. UNAM.

39.- Valdez Salazar H.A. (2002). Análisis patogénico y molecular de *Escherichia coli* aerolizada de sistemas de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de México. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias UNAM. 66p.

40.- Valentiner Branth. *et al.* Cohort study of Guinean children: incidence, pathogenicity, conferred protection, and attributable risk for enteropathogens during the first 2 years of live. *Journal of microbiology*. 2003. vol. 41:9 4238-424.

41.- (<http://www.biofilmsnetwork.de/neednrelevanceesp.htm>).

42.-Wieler *et al.* (1996) Shiga toxin producing *Escherichia coli*, strains form Bovines: Association of adhesion with carriage of eae and other genes. *Journal of clinical microbiology*. 34(12) 2980-2984.