



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

Aspectos ambientales relacionados con la calidad del agua  
en Xochimilco, Distrito Federal

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**  
**B I Ó L O G A**  
**P R E S E N T A**  
**LOURDES PAOLA CISNEROS ITURBE**

**DIRECTORA DE TESIS: DRA. MARISA MAZARI HIRIART**

2005

m339885





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.

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

NOMBRE: Lourdes Rada Cisneros

Hurbe

FECHA: 11 Enero 2005

FIRMA: [Signature]



**ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ**  
**Jefe de la División de Estudios Profesionales de la**  
**Facultad de Ciencias**  
**Presente**

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito: Aspectos ambientales relacionados con la calidad del agua en Xochimilco, Distrito Federal

realizado por **LOURDES PAOLA CISNEROS ITURBE**

con número de cuenta 9551443-7 , quien cubrió los créditos de la carrera de: Biología

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

**Atentamente**

Director de Tesis  
 Propietario

Dra. Marisa Mazari Hiriart

Propietario

Dra. Cecilia Vanegas Pérez

Propietario

Dr. Luis Zambrano González

Suplente

Dr. Enrique Martínez Meyer

Suplente

Dr. Oscar Escolero Fuentes

*M. Mazari*  
*Cecilia Vanegas Pérez*  
*Luis Zambrano González*  
*Enrique Martínez Meyer*  
*Oscar Escolero Fuentes*

**Consejo Departamental de Biología FACULTAD DE CIENCIAS**

M. en C. *Juan Manuel Rodríguez Chávez*



UNIDAD DE ENSEÑANZA DE BIOLOGIA

Dedico éste trabajo a mi padre, por ser el mejor ejemplo de rectitud y perseverancia que ha habido en el mundo para mí. Por dedicarme sus esfuerzos cotidianos con tal de procurarme una vida feliz y plena.

También lo dedico a mi mamá, por ser la persona más cercana a mí; por escuchar todos mis mensajes, incluso aquellos que no han sido pronunciados.

A mis hermanos Roberto, Federico, Arturo y Leonardo. Cada uno en particular por cuidarme y quererme desde siempre.

A la memoria de mi Abuelita

A Gerardo Leal, simplemente por que su compañía me hace feliz y una mejor persona.

A mis amigos Ulises Errasti, Jorge Garaiz, Edgar Beltrán, José Herrera y en especial a Fidel Torre por haberme acompañado durante mi vida universitaria y con quienes he vivido experiencias muy especiales.

Me dedico éste trabajo a mí misma, como testimonio de un aprendizaje profundo y duradero, no sólo académico, sino humano. Me congratulo de éste logro, de haber superado todos los obstáculos, de sumar todos mis pequeños pasos para llegar a mi meta. Paolita: Aquí está, ¡que consigas siempre todo lo que te propongas!

## AGRADECIMIENTOS:

A la Universidad Nacional Autónoma de México por ser mi *Alma Mater*

A la Dra. Marisa Mazari por su dirección en éste trabajo.

A los Drs. Luis Zambrano, Cecilia Vanegas, Enrique Martínez Meyer y Oscar Escolero por el tiempo invertido en la revisión y por sus comentarios a la tesis.

Al Biol Gerardo Rodríguez por su apoyo técnico en el uso de Sistemas de Información Geográfica.

A mis compañeros del laboratorio de Ecología Química por su apoyo en la obtención, procesamiento y análisis de muestras, así como en la parte teórica.

# INDICE

Resumen	
1. Introducción.....	1
Antecedentes.....	1
Desarrollo histórico.....	2
Sistemas de agua superficial.....	3
Sistemas de agua subterránea.....	3
Importancia biológica y ecológica.....	4
Relevancia social y antropológica.....	5
Aspectos Económicos.....	6
Area de estudio.....	8
Medio físico.....	11
Localización geográfica.....	11
Fisiografía.....	11
Geología.....	13
Hidrología.....	13
Clima.....	16
Vegetación y agricultura.....	16
Fauna.....	18
Ambiente Urbano.....	18
Población.....	18
Crecimiento Urbano.....	18
Fuentes potenciales de contaminación.....	19
Objetivos.....	20
2. Materiales y Métodos.....	23
Métodos de campo.....	23
Selección de sitios de muestreo.....	23
Métodos experimentales.....	27
Microbiología.....	27
Métodos para análisis espacial.....	28
3. Resultados de Microbiología.....	30
Agua superficial (canales de riego).....	30
Agua subterránea (pozos de extracción).....	38
4. Análisis Espaciales.....	41
5. Discusión.....	76
6. Conclusiones.....	80
7. Referencias.....	83

## RESUMEN

Dentro de la delegación Xochimilco y sus alrededores se encuentran todavía los remanentes del sistema de canales (utilizados para riego agrícola) que existía en la Cuenca de México. Hoy en día, el agua subterránea de Xochimilco es una de las fuentes de agua para consumo humano que abastece a varias delegaciones de la Ciudad de México. Esta zona posee una gran riqueza (de diversos tipos) que puede desaparecer debido al crecimiento de la mancha urbana y al uso indiscriminado de sus recursos. Mucha de esta riqueza (biológica, económica, histórica, social, antropológica) está ligada indiscutiblemente al uso de los sistemas de agua.

El objetivo de este estudio es realizar un análisis microbiológico del agua superficial y subterránea de Xochimilco a través de la cuantificación de bacterias indicadoras de contaminación fecal y representar espacialmente las condiciones ambientales que influyen sobre la calidad del agua en Xochimilco.

Los muestreos de agua superficial y subterránea fueron realizados durante la estación lluviosa del 2000 y la estación seca del 2001 y durante la estación de secas y lluvias del 2002. Los análisis microbiológicos se llevaron a cabo por medio del uso de medios selectivos y la técnica de filtración a través de membrana. Posteriormente, se analizaron espacialmente estos resultados sobre un Sistema de Información Geográfica (SIG). Los sitios de muestreo y sus respectivos resultados microbiológicos fueron localizados sobre las imágenes del SIG en donde se observan los puntos en distintos entornos (entorno natural, urbano e infraestructura hidráulica de la delegación) y de esta manera evaluar qué condiciones potencialmente influyen sobre la calidad del agua superficial y subterránea

La asociación de las variables ambientales con parámetros de calidad del agua es básica para el entendimiento del funcionamiento de los sistemas de agua dentro de un entorno urbano que paulatinamente ha transformado el ecosistema natural y simultáneamente a sí mismo. Así pues, la primera aportación de éste estudio es reunir en un documento mucha de la información generada y preexistente sobre la calidad del agua en Xochimilco y mostrarla en un contexto espacial. Para ello, fue necesario delimitar una subcuenca en la que se observe el área de influencia sobre el agua superficial y subterránea a partir de la cual pudieran interpretarse los resultados, ya que

los límites políticos de la delegación no permitían relacionar hidráulicamente al agua superficial con el agua subterránea.

Por las características de este trabajo pudo observarse, tanto en el agua superficial como subterránea, que las variables espaciales (ambiente natural, urbano e infraestructura hidráulica) tuvieron mayor impacto en la calidad microbiológica del agua que las variables temporales (lluvias y secas), a pesar de que haya diferencias contrastantes en dos estaciones pero en los mismos sitios de muestreo. En el caso del agua superficial, las variables ambientales más notorias sobre la calidad del agua son los asentamientos urbanos y las actividades pecuarias, aunque también es muy notoria la variación de la calidad del agua proveniente de plantas de tratamiento. En el caso del agua subterránea, la variable que mayor influencia tiene sobre la calidad del agua de los pozos de extracción es el relieve y la dirección del flujo subterráneo.

# 1. INTRODUCCIÓN

## Antecedentes

Originalmente la Cuenca de México era una cuenca cerrada hidrológicamente que carecía de una salida natural. Se encuentra rodeada, al este, por la Sierra Nevada; al oeste, por la Sierra de las Cruces; al sur, por la Sierra del Chichinautzin y al norte, por las sierras de Pachuca y Tezontlalpan (Rodríguez y Ochoa, 1989; Rodríguez y González, 1989). Esta Cuenca se componía de cinco lagos principales conectados entre sí: Zumpango, Xaltocan, Texcoco, Chalco y Xochimilco, que fueron los poblados que se asentaron alrededor de los ríos torrenciales, ríos permanentes y manantiales (Mazari *et al.*, 1990). Cada uno de los lagos tenía características diferentes debido a que se encontraban a diferentes alturas sobre el nivel del mar y se abastecían de diferentes fuentes, arrastraban diversos materiales, la profundidad de los lagos variaba y la calidad del agua también era distinta. En este sistema de lagos, el más alto era el de Xochimilco, su agua era la más dulce pues provenía de los ríos de la sierra Nevada y de los manantiales que allí se generaban, además de estar cubierto de vegetación que impedía la evaporación del agua y la salinización del lago (Rojas, 1990). Fue a partir de 1608, que comenzó la transformación hidráulica de la cuenca, cuando se abrió un drenaje para ésta hacia el Golfo de México (Durazo, 1996).

Las transformaciones hidráulicas de la Cuenca y su sistema de lagos a lo largo de la historia, han permitido constituir la base sobre la cual se ha desarrollado una de las megalópolis más grandes y pobladas del mundo. Este crecimiento ha provocado que el abastecimiento de recursos sea insuficiente y que la ciudad dependa de las regiones que la rodean para cubrir las necesidades básicas de su población, misma que pasó de la autosuficiencia a la dependencia (Mazari *et al.*, 1990; Ezcurra y Mazari, 1996, Ezcurra *et al.*, 1999).

Este trabajo trata sobre la Subcuenca de Xochimilco, una de las regiones que a lo largo del tiempo ha sido absorbida por la mancha urbana y cuyos recursos naturales se aprovechan en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM).

## Desarrollo histórico

En la época prehispánica, los primeros pobladores que habitaron la zona lacustre implementaron el uso de las chinampas como una forma de ganar terreno al agua de los lagos, en ellas establecieron sus hogares (Serra, 1990) atraídos principalmente por la riqueza natural asociada a los lagos, los bosques, las planicies al igual que sus recursos. En un principio, el pueblo que se asentó en Xochimilco, se dedicó fundamentalmente a la pesca; a pesar de que utilizaron las ventajas que ofrecía el terreno fértil, no fue la agricultura el principal medio de subsistencia. De acuerdo con Serra (1990) las características especiales de los terrenos construidos sobre los lagos para llevar a cabo la agricultura fue propiciando que éste pueblo aprendiera e implementara la tecnología chinampera (Serra, 1990). Así el apogeo de la actividad chinampera en Xochimilco ocurrió entre 1325 y 1521 cuando hubo una gran expansión de las chinampas y desarrollo de obras hidráulicas (Rojas, 1990; Serra, 1990). Éste desarrollo terminó en la conquista y se modificó en la época colonial, pues las sociedades indígenas decayeron, y con ellas sus sistemas sociales y de gobierno (Rojas, 1990). Este fenómeno tuvo impacto sobre la agricultura chinampera, de modo que el sistema fue abandonado y la vegetación original volvió a dominar este sistema. La entrada de ganado español transformó las chinampas en rancherías y dada su baja rentabilidad, comenzó un proceso de desecamiento por medio de la construcción de diques, bordos, estancadas y zanjas que agudizó los problemas hidráulicos, especialmente durante las épocas de secas (Rojas, 1990).

En la época independiente, los propietarios del ganado fueron los principales interesados en construir un drenaje artificial en el vaso de Chalco iniciando las obras a mediados del Siglo XIX. Más tarde, los manantiales de Xochimilco se condujeron hacia la Ciudad de México para abastecerla de agua potable (Rojas, 1990; Ezcurra, 1990). Conforme se agotaron los manantiales de Xochimilco, fue necesario excavar pozos de extracción profundos, lo cual ha provocado que en la región se genere un hundimiento diferencial y el descenso del nivel freático a causa de la explotación intensiva del agua subterránea (Rojas, 1990). Después de años de transformaciones en el sistema hidráulico de Xochimilco, los cuerpos de agua superficial y subterránea fueron insuficientes para las actividades de la zona, en la década de los 50, los chinamperos, al hallarse sin agua para sus cultivos, gestionaron la dotación de agua residual tratada, lo cual ha repercutido en la productividad del sistema y esto en conjunto con el

crecimiento de la mancha urbana, ha transformado el ecosistema, la vida económica y social de la región (Rojas, 1990; Ezcurra, 1990).

### **Sistemas de agua superficial**

Los sistemas de agua superficial fueron esenciales en la construcción de la Ciudad de Tenochtitlan. Durante el surgimiento de esta cultura, los lagos y los canales impulsaron el crecimiento de este pueblo, ya que ofrecía ventajas defensivas y de comunicación, aunque planteó desde el principio una serie de dificultades como el abastecimiento del agua potable, la falta de tierras cultivables y la amenaza de inundaciones. Las obras hidráulicas construidas para evitar estos problemas permitieron que las tierras fueran más productivas y que se regulara el nivel de las aguas así como su paso de un lago a otro. Se incrementó también la construcción de chinampas, se establecieron canales de navegación y se inició una administración del agua para las épocas secas (Lombardo de Ruiz, 2000a).

A partir de la Conquista, el perfil de la Ciudad de México se transformó, sometida bajo el ideal de la ciudad europea, como símbolo del nacimiento de un nuevo régimen que se asentó en la ciudad que articulaba a todos los pueblos de la Cuenca de México (Lombardo de Ruiz, 2000a).

Las consecuencias para la ciudad de los cambios del sistema hidráulico fueron múltiples, al descender el nivel general del agua se acumuló la basura y se propiciaron los azolves. El sistema de control de represas compuestas y diques sufrió un desequilibrio y perdió su capacidad de flujo, provocando inundaciones. Así pues, hubo necesidad de construir un sistema de drenaje. Todas las transformaciones en el sistema de lagos junto con la deforestación que se provocó en ese momento, modificaron el equilibrio ecológico de la Cuenca de México (Lombardo de Ruiz, 2000b).

### **Sistemas de agua subterránea**

La explotación de pozos en tiempos de los aztecas no se encuentra documentada, sin embargo, la explotación del agua subterránea era a través de los numerosos manantiales y pozos artesianos que existían en la cuenca (Marín *et al.*, 2000).

En un principio, los recursos producidos en la Cuenca de México eran suficientes para sostener una "nación" centralizada. En ella, había recursos naturales suficientes donde fue posible ubicar un centro de comercio importante. Con el paso del tiempo, la Ciudad de México ha ido creciendo de forma tal que ya no produce los medios para sostener a

su población y se ha convertido en una ciudad dependiente de recursos externos, lo cual incrementa, entre otras cosas, los costos de la distribución del agua (Ezcurra y Mazari, 1996).

Las actividades y la traza urbana impuestas por los conquistadores obligaron al desarrollo de obras hidráulicas que en 1789 provocaron el secado de los lagos (Ortega y Farvolden, 1989). Una vez que los manantiales se secaron, comenzó la perforación de pozos de extracción en el año de 1847 (Ortega y Farvolden, 1989). El bombeo se intensificó en la década de los 30, lo cual provocó un descenso en los niveles del agua y el hundimiento del terreno. Al hacerse evidente que existía un problema de hundimiento en el centro de la ciudad, en 1954 se decretó una veda de pozos y se comenzó la perforación de pozos en los alrededores de la ciudad, entre otras zonas, Xochimilco (Ramírez Sama, 1996).

Antes de que el bombeo comenzara en el principal sistema de acuíferos en la Cuenca de México, cerca del 40% de la descarga de agua subterránea fluía a través de los acuíferos y de las arcillas hacia los lagos o hacia los suelos someros. Hoy en día, el bombeo ha revertido los gradientes hidráulicos y el flujo del agua es hacia los lugares donde el bombeo es más intenso (Ortega y Farvolden, 1986). Actualmente se observa un descenso en los niveles de agua de aproximadamente 1 m/año (Marín *et al.*, 2002). Asociado al crecimiento de la Ciudad de México hacia la zona de las montañas, está la reducción de espacios para la infiltración del agua por la barrera de concreto y por la desaparición de zonas forestales que favorecen la retención del agua, que implican alteraciones irreversibles en el balance hídrico (Marín *et al.*, 2002 ; Mazari *et al.*, 1996). Además de la reducción de la infiltración, el crecimiento de la población, la consecuente demanda de agua, la explotación indiscriminada del agua subterránea, la ZMCM enfrenta un riesgo de contaminación de los acuíferos por una serie de fuentes contaminantes como son: drenaje, gasolineras, depósitos de residuos sólidos, depósitos de combustible, industrias y la localización de los pozos de extracción (Soto *et al.*, 2000).

### **Importancia biológica y ecológica**

Uno de los retos que enfrentan los países en desarrollo es producir suficientes alimentos y satisficentes para su población sin dañar sus recursos naturales (Jiménez Osomio, 1991). Algunas estrategias implican el uso sostenido de los sistemas

productivos y la protección de las áreas naturales. En México, los esfuerzos para adoptar éste esquema siguen siendo infructuosos, ya que las tasas de deforestación son altas (Jiménez Osornio, 1991) aproximadamente de 600,000 HA por año desde 1991 (SEMARNAT, 2003). En Xochimilco, el uso tradicional de las chinampas es una alternativa rentable, ya que son sistemas económicos, altamente productivos y que permiten mantener la biodiversidad (Jimenez Osornio, 1990, 1991). Son sistemas agrícolas cuyos componentes (energía solar, agua de los canales, suelo, flora, fauna y seres humanos) reducen la necesidad de maquinaria y fertilizantes. No obstante, los cambios en la cantidad, así como en la calidad del agua, han tenido un impacto negativo en las chinampas ya que se ha reducido el número de hectáreas cultivables así como el número de especies nativas y cultivadas. La pérdida de la diversidad nativa ha contribuido a la aparición de plagas y enfermedades que afectan a la flora, a la fauna y al ser humano (Jimenez Osornio, 1991).

Los microambientes que se generan en las chinampas sirven de refugio para varias especies animales, como insectos, crustáceos, peces, anfibios, reptiles y aves. De igual manera, pueden encontrarse algunas algas y especies vegetales cultivadas o nativas, a las que se les dan diversos usos como indicadores de fertilidad del suelo, medicinales, forraje para el ganado, protección para los cultivos, composta y otros (Jiménez Osornio, 1990, 1991). En las chinampas de San Andrés Mixquic se han podido encontrar 145 especies vegetales, las cuales representan 37 familias de angiospermas; 45 especies son domésticas, 100 son plantas nativas. Se encuentran dos especies endémicas (*Rumex flexiculus* y *Cirsium loimatolepis*), una de ellas en peligro de extinción. En éstas chinampas se encuentran algunos remanentes originales de la flora y fauna de la Cuenca de México (Jimenez Osornio, 1991). En cuanto a las plantas acuáticas, persiste solamente una especie endémica del género *Nymphae*, la cual, junto a otras hidrófitas depende de la calidad del agua de los canales (Quiroz y Miranda, 1990). Otras especies acuáticas como *Azolla* y otras hidrófitas son importantes en el manejo de las chinampas devolviendo nutrientes al agrosistema (Ferrara *et al.*, 1990).

Debe tenerse en cuenta que éste tipo de plantas se utilizan como abono y que han concentrado muchos de los contaminantes acumulados en los canales. Algunos de éstos contaminantes son metales pesados, organismos patógenos, detergentes y fertilizantes (Bojórquez y Villa 1990).

## **Relevancia social y antropológica**

Si bien el interés de éste trabajo fue enfocado a cuestiones ambientales dentro de la subcuenca de Xochimilco, es imprescindible reconocer cómo el entorno social tiene un impacto sobre el uso de los recursos en esta zona geográfica, así como tomar en cuenta la complejidad del sistema que no puede separarse de su contexto histórico y antropológico.

El sistema lacustre de Xochimilco es hoy en día el único remanente del gran sistema de lagos que albergaba la Cuenca de México. Desde 1984 es Patrimonio de la Humanidad decretado por la UNESCO (González Pozo, 1990), por ser el único lugar en el mundo que conserva un método de producción del tipo de las chinampas, una tecnología única en Mesoamérica, que además de continuar siendo productivo, ha perdurado en el tiempo a eventos sociales e históricos tan importantes como la etapa prehispánica, la Conquista, la época colonial, época independiente, el porfiriato y la modernidad (Gonzalez Pozo, 1990).

Otro valor asociado a las chinampas es la unión de las comunidades que dependen de ellas y que promueven que se mantengan las tradiciones de cada uno de los pueblos que conforman la zona chinampera, ambientes en los que preservan celosamente sus tradiciones y costumbres cotidianas de ayuda familiar e intrafamiliar, así como las ceremoniales que se encuentran relacionadas con el sistema productivo (Rojas, 1990, Jiménez Osornio, 1990, 1991).

## **Aspectos Económicos**

Xochimilco sostenía de manera importante la economía azteca y lo hizo también con la capital de la Nueva España y el de México independiente. Producía maíz, chile, calabazas, flores y plantas de origen europeo. Una parte de la comunidad de Xochimilco continúa dedicada a la chinampería y a su producción agrícola, al mercadeo regional de hortalizas y plantas de ornato así como, al turismo dominical. Desgraciadamente, el ingreso de los Xochimilcas por el turismo se ha visto reducido como consecuencia del deterioro de la calidad del agua y la alteración del ambiente en general (Otto Parrodi, 1990; Mancilla Menendez, 1990).

La construcción de obras viales como el Anillo Periférico y la Avenida Prolongación División del Norte unió a la capital con Xochimilco y convirtió su suelo en espacios potencialmente urbanos, dando paso a la venta de terrenos ejidales y al cambio en el uso del suelo (Bazant *et al.*, 2002; Otto Parrodi, 1990; Mancilla Menéndez, 1990), con lo cual expansión de la mancha urbana en Xochimilco es una actividad que está disminuyendo notablemente el número de hectáreas cultivables en la zona chinampera (González Martínez, 1990).

Actualmente, Xochimilco puede aportar una mejoría en la calidad de vida de los capitalinos al ofrecer espacios recreativos naturales al aire libre como los que persisten en ésta delegación.

## **Descripción del área de estudio**

Xochimilco es un área que abastece un alto porcentaje del total de agua que se consume en la Ciudad de México, por lo que ha sufrido un cambio en la cantidad y la calidad del agua de canales, pozos y manantiales (Mazari *et al.*, 1990).

Diversos autores han dividido la Cuenca de México en subcuencas obedeciendo a criterios particulares como son: geología, flujo subterráneo, acuíferos u otros límites para realizar investigaciones concretas (Mooser, 1990; Bellia *et al.*, 1992; GEM, 1986; Lesser *et al.*, 1990; Ortega, 1989). Éstas divisiones son discrepantes y no son compatibles con éste estudio pues lo sobrepasan ya sea en escala temporal o espacial.

El propósito de éste trabajo es caracterizar algunos factores del ambiente físico y urbano que intervienen en el deterioro de la calidad del agua en la zona de Xochimilco. Los sitios de muestreo, entonces, se restringen a los límites políticos y administrativos -artificiales-, de ésta delegación (Figura 1), donde aún se encuentran los remanentes de los sistemas de canales y de la chinampería, mientras que el estudio de los factores que influyen en la calidad del agua, esto es, el ambiente físico y urbano, se extienden al entorno natural fuera de la delegación.

La regionalización que se propone en éste trabajo se basa en el perímetro de la delegación Xochimilco y las subcuencas de los ríos que alimentan la región, y que fluyen desde los puntos más altos de las montañas que se encuentran alrededor de ella. Esto es, el área circunscrita entre la Sierra de Santa Catarina, el Volcán Teutli, los cerros de la Sierra del Chichinautzin (Tlacualleli, Xochitepec, volcán Olioca) hasta las faldas del Ajusco y el cerro de la Magdalena, cuyas laderas estén orientadas hacia éstas planicies como se muestra en la Figura 2, basado en la información obtenida de Vidrio y Ávila (2000); INEGI (2000); DDF (2002); Guía Roji (2001); Zúñiga (com. pers); Escolero (com. pers). Así, la división propuesta permite evaluar las características del medio relacionándolas con la calidad del agua en cierta área y en un tiempo reciente, desde donde puedan interpretarse los efectos de los escurrimientos hacia la delegación desde las montañas que la rodean (figura 2).

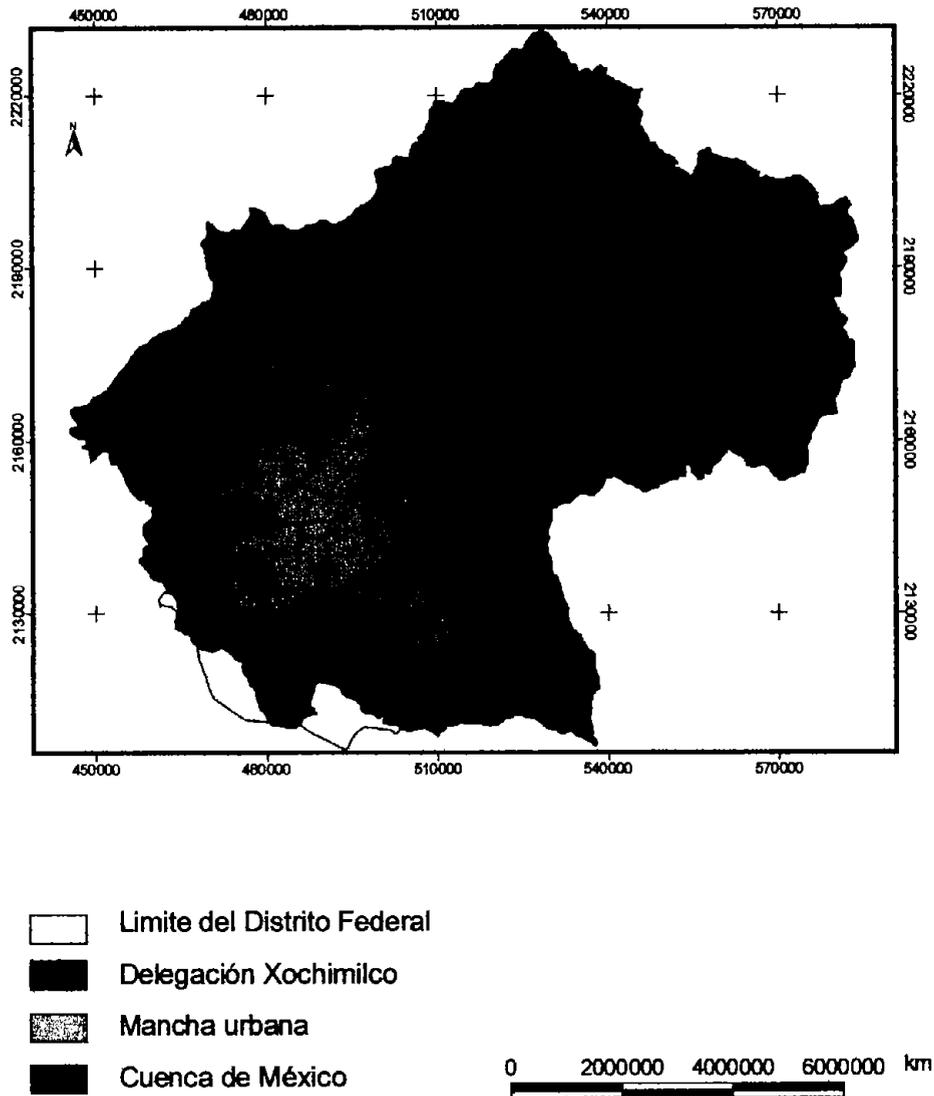


Figura 1. Xochimilco dentro de la Cuenca de México, el Distrito Federal y la mancha urbana. (GDF 2002)

Si se considera toda la extensión de la formación original del acuífero según Mazari (1990, 1996) o Mooser (1990) para delimitar la cuenca superficial, el área

de influencia natural puede ir tan lejos como Amecameca y el valle de Chalco. Sin

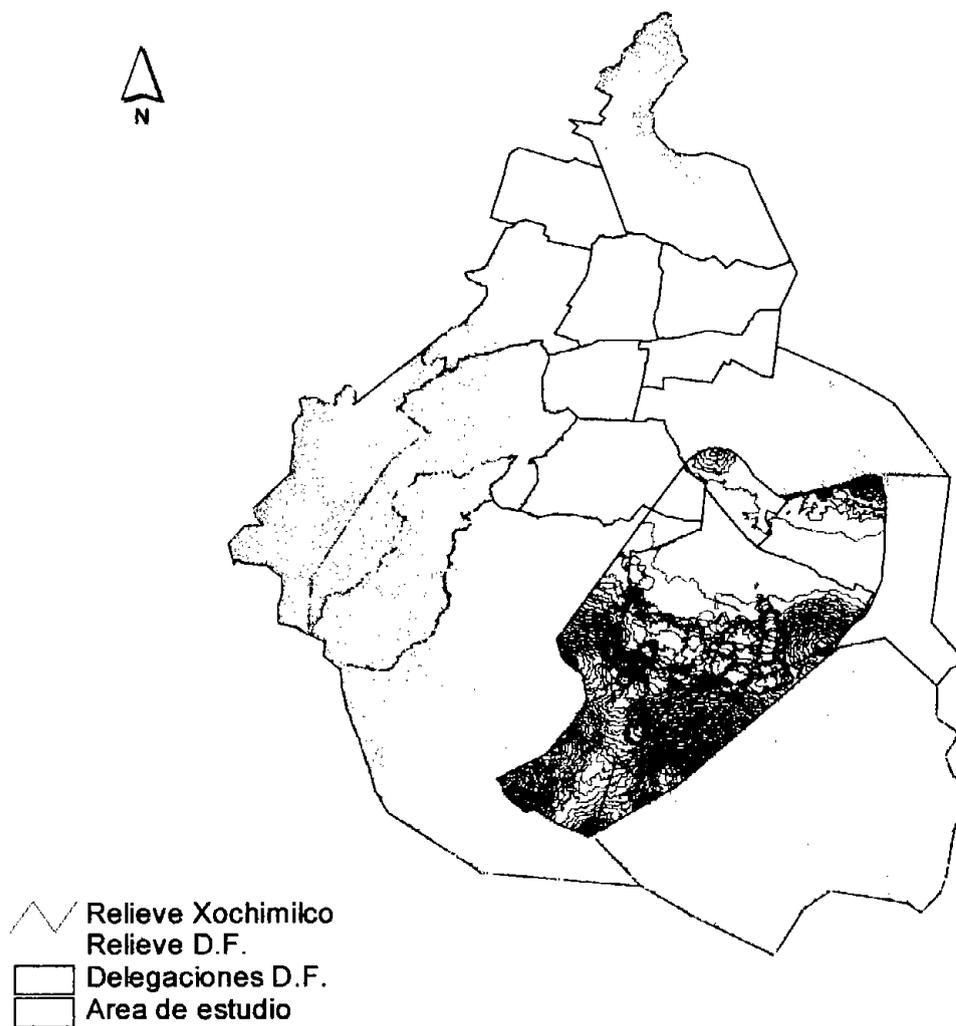


Figura 2. Area de Estudio que corresponde a la subcuenca Xochimilco (Curvas de nivel UNAM-GDF, 2002)

embargo, se delimitó ésta área pues la mancha urbana y las baterías de pozos detienen gran parte de los escurrimientos provenientes de Chalco, ya que se extrae por el bombeo a través de pozos o entran al sistema de drenaje primario y ya no siguen su cauce natural (Zúñiga, com. pers.). De forma análoga, el área de la cuenca subterránea se acotó bajo los mismos criterios, ya que la distancia entre el Valle de Chalco y Xochimilco es suficiente para descartar que la contaminación que se detecta actualmente en los pozos de Xochimilco tenga su origen en Chalco, pues la velocidad de flujo del agua subterránea es lenta ( $1 \times 10^{-8}$  cm/seg). Además, algunos autores (Rodríguez y González, 1989; Rodríguez y Ochoa, 1989) explican que la extracción del agua subterránea a partir de varias baterías de pozos han separado hidráulicamente ésta gran cuenca subterránea en dos o tres subsistemas diferentes.

## **Medio físico**

### **Localización Geográfica**

La delegación Xochimilco se encuentra entre los límites de las coordenadas 19°9' y 19°09' latitud y entre las coordenadas 99°00' y 99°09' de longitud. Representa el 7.9% de la superficie del Distrito Federal y colinda con las delegaciones Tlalpan, Coyoacán, Iztapalapa y Tláhuac al norte; con las delegaciones Tláhuac y Milpa Alta al este; al sur con las delegaciones Milpa Alta y Tlalpan; al oeste con la delegación Tlalpan (INEGI, 2000; Vidrio et al., 2000).

### **Fisiografía**

El área de estudio pertenece al Eje Neovolcánico Transversal (Provincia X), al sistema de lagos y volcanes de Anáhuac (subprovincia 57) en donde pueden distinguirse sistemas como la sierra volcánica con estrato de volcanes, meseta volcánica, llanuras aluviales y llanuras lacustres (INEGI, 2000).

Las elevaciones del territorio más importantes son los volcanes Teutli y Tzompole y los cerros Xochitepec y Tlacualleli, no obstante, las pendientes no son

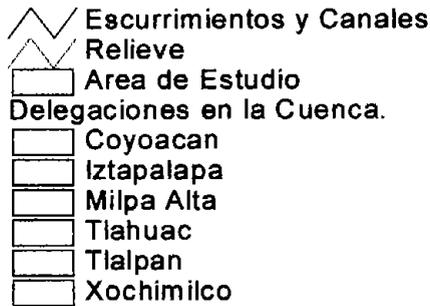
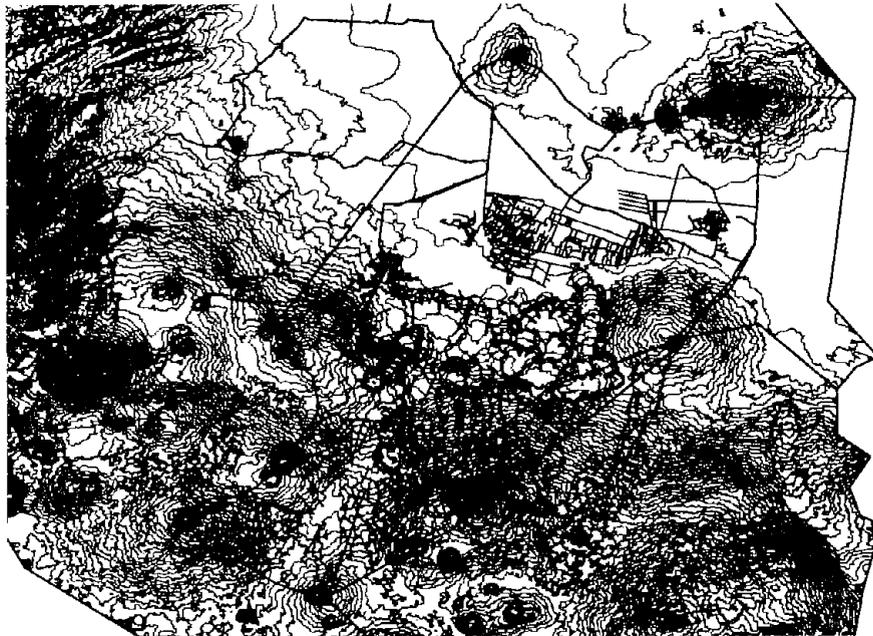


Figura 3. Detalle de la hidrología y fisiografía de la región de Xochimilco. (UNAM - GDF 2002)

pronunciadas y pueden distinguirse tres zonas fisiográficas diferentes: (1) El cinturón Ajusco-Teutli, al suroeste, donde se encuentran las pendientes más pronunciadas, en ellas la vegetación ha desaparecido por lo que las lluvias escurren hacia las partes bajas; (2) el cinturón Topilejo - Milpa-Alta, en la parte sureste, donde el suelo es poco fértil pues es pedregoso y en donde escasea el agua; y (3) la zona de las planicies en donde se encuentran los sistemas de

canales, sobre los cuales se practica el cultivo al norte y al centro de la delegación (Vidrio *et. al.*, 2000) como se muestra en la figura 3.

## **Geología**

El tipo de rocas y suelos de la delegación Xochimilco son del Cenozoico, de los periodos Terciario y Cuaternario. El tipo de roca del periodo Terciario es roca extrusiva, principalmente andesita (16.53% de la superficie delegacional) y toba básica (1.65%). Las rocas del periodo cuaternario también son rocas ígneas extrusivas y son basalto (6.61%), brecha volcánica básica (13.26%), y una combinación de toba básica- brecha volcánica básica (0.82%). El suelo en la zona de Xochimilco también tiene su origen en el cuaternario; es suelo de tipo aluvial (16.52%) y lacustre (44.62%) (INEGI, 2000), como se muestra la figura 4.

Las rocas ígneas que componen las montañas que rodean a la Ciudad de México son esencialmente impermeables; no obstante, aquellas que se encuentran fracturadas o alteradas por intemperismo pueden tener valores significativos de conductividad hidráulica de  $6 \times 10^{-5}$  cm/s (Marín *et al.*, 2000). Además de la zona de montaña, se pueden distinguir otras dos regiones geohidrológicas en la Cuenca de México, la zona lacustre compuesta de arcillas que es prácticamente impermeable y la zona de transición, que es la zona donde se infiltra el agua hacia los acuíferos (Mazari *et al.*, 1996).

## **Hidrología**

La gran complejidad geológica de la Cuenca de México se refleja en los problemas para definir las subcuencas que la forman, su hidrología e hidrogeología.

Este trabajo, con base en Lesser *et al.* (1990), a Soto *et al.* (2000), y Marín *et al.* (2002) ubica a la delegación Xochimilco dentro de la Subcuenca Chalco-Xochimilco, que junto a las subcuencas de la Ciudad de México y Texcoco forman la Cuenca de México.

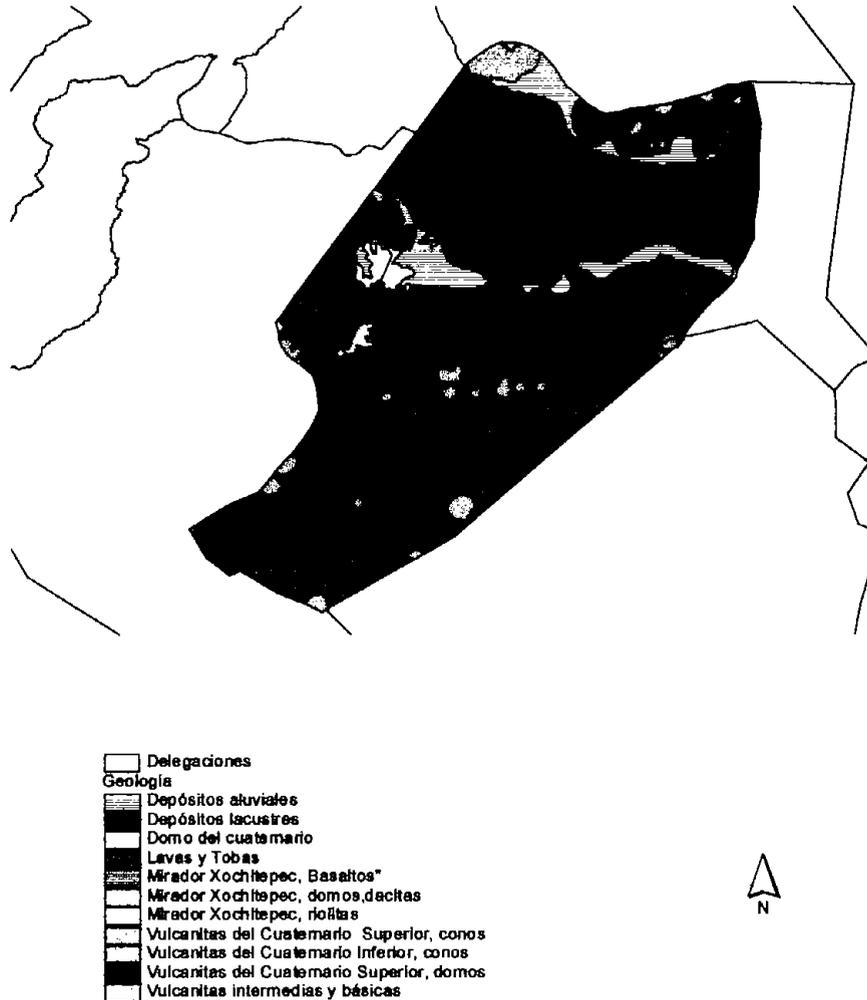


Figura 4. Geología de la Subcuenca Xochimilco (basado en Mooser *et al.*, 1996, UNAM-GDF, 2002).

Al cerrarse la Cuenca de México durante el Cuaternario Superior, el agua de lluvia quedó encerrada entre una barrera de montañas, en donde se formó un sistema de lagos someros.

La subcuenca Chalco-Xochimilco se encuentra al sur de la Cuenca de México y su límite natural es la Sierra del Chichinautzin (Bellia *et al.*, 1992) de donde proviene el volumen mayor de agua superficial y subterránea, ya sea por escurrimientos o



Figura 5. Flujo de agua superficial y subterránea en la subcuenca de Xochimilco. (basada en UNAM-GDF, 2002)

por infiltración (Bellia et al., 1992) y es precisamente en ésta región donde el volumen de precipitación es más alto en la cuenca (Rodríguez y Ochoa, 1989). (figura 5).

Las principales corrientes de agua en la delegación Xochimilco son canal Nacional, canal Chalco, canal Cuemanco, canal el Bordo, canal San Juan, canal Amecameca, canal Apatlaco, canal Santa Cruz, canal de Buenaventura, Santiago y Tepapantla. Los principales cuerpos de agua de la delegación Xochimilco son la

presa San Lucas, Cuemanco, Lago Huetzalin, Laguna Caltongo, Laguna Xaltocan y Laguna del Toro (INEGI, 2000)

Existen vestigios de los antiguos sistemas de canales los cuales son alimentados por agua de plantas de tratamiento (Vidrio y Ávila, 2000), así como por agua de lluvia y por drenajes sin tratamiento provenientes del área urbana (GDF, 2002; Mooser et al., 1996).

## **Clima**

El clima en la delegación Xochimilco es templado, con temperaturas que oscilan alrededor de los 15°C, subhúmedo con lluvias en verano y de humedad media (C(w1)), pero existen zonas donde la humedad puede ser más alta o más baja. La precipitación media anual oscila entre los 700 y 900 mm al año (INEGI, 2000).

## **Vegetación y agricultura**

La superficie delegacional que alberga bosques es tan sólo el 3.16% (INEGI, 2000). Los remanentes de bosque en esta región pertenecen a comunidades vegetales pertenecientes a toda la Cuenca de México, como lo son el bosque de encinos, bosque de oyamel y bosque de pinos que predominan en las zonas templadas húmedas y limitan a la Cuenca (Ceballos y Galindo, 1984). Entre las especies que aún allí se encuentran están: *Abies religiosa*, *Pinus montezumae*, *Arbustus xalapensis* y algunas especies del género *Pinus* y *Quercus* (INEGI, 2000).

En el sur de la Cuenca de México se localizan zonas boscosas discontinuas correspondientes a los tipos de vegetación del Neotrópico Templado, además de presentar áreas productivas (figura 6). Ya que aquí se localiza la Ciudad de México, gran parte de la diversidad biológica que aquí se encuentra (2% de la biodiversidad del mundo) se encuentra en peligro de desaparecer, especialmente aquellas especies que son endémicas (325 especies endémicas de plantas y animales), por lo cual se considera al sur de la Cuenca de México una de las

áreas prioritarias para conservación de la biodiversidad de México (Romero y Velázquez, 2000).

El total de la superficie delegacional dedicada a la agricultura es el 41.37%. Los principales cultivos de la delegación son maíz (*Zea mays*), espinaca (*Spinacea oleracea*), romeritos (*Suaeda difusa*), peral (*Pyrus communis*) y chícharo (*Pisum sativum*). Los pastizales sirven para forraje y en la delegación se encuentran especies de zacate (*Festuca spp.*), zacatón (*Muhlenbergia spp.*) y chía (*Salvia sp.*) (INEGI, 2000).

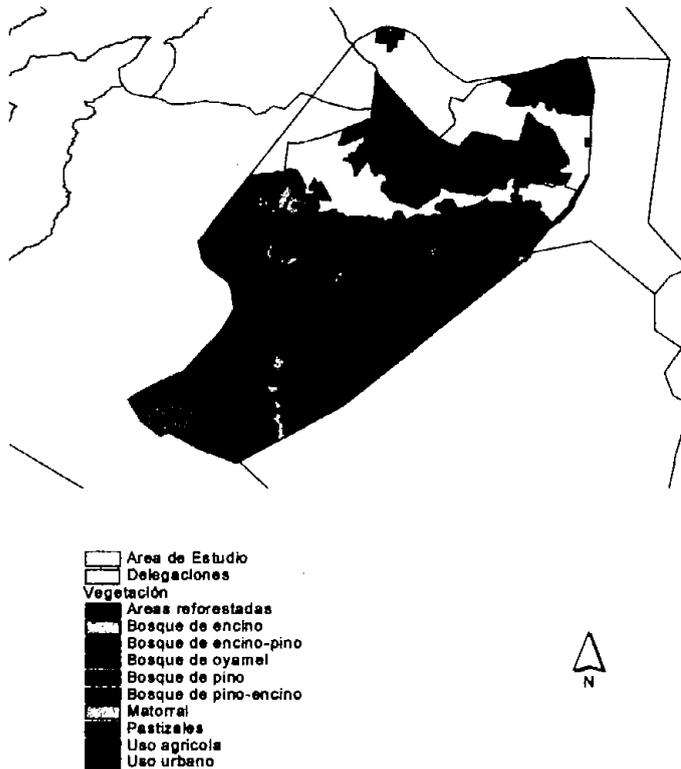


Figura 6. Vegetación predominante en la Subcuenca de Xochimilco (UNAM-GDF 2002)

## **Fauna**

La riqueza y la distribución de la diversidad biológica en la Cuenca de México puede explicarse gracias a su historia geológica, climática y ecológica. Especialmente por encontrarse en los límites de las regiones Neártica y Neotropical, por lo que cuenta con especies vegetales y animales características de ambas regiones (Ceballos y Galindo, 1984; Romero y Velázquez, 2000).

En la Cuenca de México pueden encontrarse especies pertenecientes a 16 familias de mamíferos. Algunas especies de mamíferos que se encuentran seriamente amenazadas en la zona sur de la Cuenca de México son: el Tlacoyote (*Taxidea taxus*), la zorra (*Urocyon cinereoargenteus*), el gato montés (*Lynx rufus*), el puma (*Puma concolor*) y el venado cola blanca (*Odocoileus virginianus*), así como las aves *Dendrortyx macroura*), reptiles (*Crotalus transversus*), especialmente por su carácter endémico (Romero y Velázquez, 2000). Otras especies endémicas de la región son el conejo zacatuche (*Romerolagus diazi*), la tuza *Cratogeomys merriami* y varias especies de lagartijas del género *Sceloporus*, el gorrión serrano (*Xenospiza baileyi*), y las colonias de la megarroseta (*Furcraea bendinghausii*) (Romero y Velázquez, 2000).

## **Medio Urbano**

### **Población**

En el año 2000, la población de la delegación Xochimilco alcanzó 368 947 de habitantes. La tasa de crecimiento poblacional entre los años 1980 y 2000 ha sido la más alta desde los años cincuenta y representa un crecimiento del 4.3%. La densidad de población en la subcuenca de Xochimilco se observa en la figura 7.

La delegación Xochimilco, así como parte de otras delegaciones que pertenecen a ésta subcuenca, a pesar de encontrarse dentro del Distrito Federal, no están completamente urbanizadas, sino que conservan algunas zonas en donde las actividades son suburbanas y rurales, aunque puede observarse un cambio en su estructura urbana con base en los cambios del uso del suelo (Vidrio y Ávila, 2000).



Figura 7. Densidad de población en las delegaciones que conforman la subcuenca de Xochimilco (basado en UNAM-GDF, 2002)

### Fuentes potenciales de contaminación

El crecimiento de la población de la ZMCM está ligada a un incremento en la cantidad y a la diversidad de los contaminantes que llegan o pueden llegar a los sistemas acuáticos. Con ello, también han incrementado los riesgos de salud pública, pues entre los contaminantes del agua, existe una gran variedad de agentes causantes de enfermedades. (Mazari *et al.*, 1996; Tate *et al.*, 1990; Gleik, 2000; Custodio, 2000). Las delegaciones del sur de la ZMCM como Xochimilco están dedicadas a actividades agrícolas, pecuarias y de vivienda; por lo que los contaminantes derivados de sus actividades son principalmente domésticos o de origen fecal (Soto *et al.*, 1996; Vidrio *et al.*, 2000).

Soto y colaboradores (2000) clasifican a la delegación Xochimilco como una de las delegaciones con baja propensión a la contaminación debido al bajo número

de industrias, basureros y tiraderos, al número de gasolineras y superficie urbanizada (figura 8).

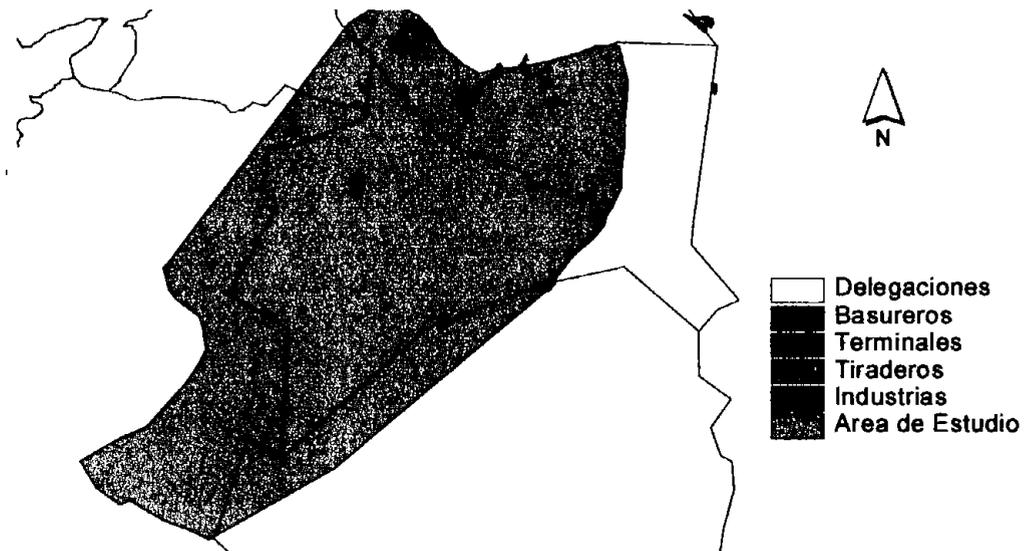


Figura 8. Fuentes potenciales de contaminación en la subcuenca de Xochimilco. (Basado en Soto Galera *et. al.*, 2000; UNAM-GDF, 2002)

Además de la población propia de la delegación Xochimilco, en la subcuenca trazada se encuentran secciones de las delegaciones Coyoacán, Tlalpan, Milpa Alta, Iztapalapa y Tláhuac, cuyos pobladores están asentados en las laderas del sur y que tienen influencia en la calidad del agua que fluye hacia los canales y el sistema de agua subterránea dentro del área de estudio.

Los cambios respecto a la calidad del agua superficial se registran a partir de 1957; año en que los canales de Xochimilco comenzaron a recibir el agua que proviene principalmente de la planta de tratamiento del Cerro de la Estrella y San Luis Tlaxialtemalco. Éste cambio en la calidad del agua de los canales repercute en el funcionamiento del sistema de cultivo. Así pues, la superficie de las

chinampas útiles ha disminuido por la salinización, el hundimiento y las inundaciones, que progresivamente han provocado el descuido, abandono o transformación de las chinampas originales (IEAC, 2002). Actualmente, las actividades que se llevan a cabo en las chinampas son no solo comerciales, turísticas, pecuarias o cultivo intensivo en invernaderos; han sido además invadidas progresivamente por la mancha urbana. Estas condiciones provocan que la productividad del sistema disminuya y se suma a que los contaminantes que producen estas actividades, ajenos al sistema original deterioren paulatinamente la calidad del agua y disminuye su disponibilidad (IEAC, 2002).

En el caso del agua subterránea, el crecimiento urbano afecta la calidad del agua a través de la expansión irregular de la población que suele ser hacia la periferia, en donde las actividades humanas han impactado precisamente las zonas de recarga (Soto Galera *et al.*, 2000; Bazant *et al.*, 2002). A menudo habitantes de bajos recursos son los que se asientan en la periferia de la ciudad; en éste caso, en la zona montañosa o de transición (Bazant *et al.*, 2002) y carecen de servicios básicos, como es el drenaje. Transforman la disponibilidad y el uso del suelo, lo cual tiene un alto costo sobre y la cantidad y la calidad de agua que puede infiltrarse a los sistemas de acuíferos. El caso del crecimiento urbano en Xochimilco tiene este esquema, particularmente las áreas naturales de recarga como son las áreas de influencia de las Sierras; en éste caso particular la Sierra del Chichinautzin (Soto Galera *et al.*, 2000; Bazant *et al.*, 2002).

## **Hipótesis**

Existen diversas fuentes contaminantes que afectan la calidad del agua superficial y subterránea en la delegación Xochimilco. Estas fuentes contaminantes y su dinámica espacial y temporal relacionan la calidad microbiológica en ambos sistemas. En el caso de la contaminación de origen fecal éstas relaciones pueden describirse mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica.

## **Objetivos**

### **Objetivos Generales**

Determinar la calidad microbiológica del agua superficial y subterránea en Xochimilco mediante el uso de indicadores bacterianos.

Representar espacialmente las condiciones ambientales y urbanas que influyen sobre la calidad de agua en la zona de Xochimilco.

### **Objetivos particulares**

Cuantificar bacterias indicadoras (coliformes totales, coliformes fecales, estreptococos fecales y otras bacterias) en el área de Xochimilco.

Identificar espacialmente sitios de agua superficial y subterránea con problemas de calidad del agua.

Analizar otras características espaciales del medio físico y del medio urbano que contribuyen al deterioro de la calidad del agua en la zona de Xochimilco.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Método de campo:

#### Selección de Sitios de Muestreo

Se realizaron cuatro muestreos en la delegación Xochimilco; dos en las temporadas de lluvias del año 2000 y 2002 y dos en la de secas en los años 2000, 2001 y 2002 de la siguiente manera:

Tabla 1. Temporadas de muestreo en la zona de Xochimilco

Año/Temporada	2000	2001	2002
Secas	*	Enero a abril **	Enero a febrero +
Lluvias	junio a septiembre **	*	Septiembre a octubre +

\* Sin muestreo

\*\* Datos provenientes del proyecto CONACYT 32505-T

+ Elaboración propia

Los muestreos realizados en los años 2000 y 2001 tanto en agua superficial como en agua subterránea, son parte del proyecto CONACYT 32505-T. Los datos obtenidos en el año 2002 en ambas estaciones para agua superficial y subterránea son de elaboración propia.

.Las muestras de agua se obtuvieron en puntos de muestreo en la zona de canales de Xochimilco y en pozos de la delegación Xochimilco, registrados por la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH), ahora Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM), elegidos al azar (figura 9). Los sitios de estudio en los canales se establecieron únicamente en los canales perennes, fijando los puntos en secciones de canal a cada 250 m de distancia, con lo que se obtuvieron 210 sitios potenciales de muestreo, y de los cuales se eligieron 42 por un método aleatorio en los años 2000 y 2001 (Mazari *et al.*, 2002, Sandoval, 2003). En el año 2002 se realizó un submuestreo donde se escogieron 10 puntos al azar en ambas estaciones. Todos los puntos de muestreo se

registraron geográficamente con ayuda de un GPS (Global Positioning System) marca Magellan (modelo 2000) en los años 2000 y 2001 (Figura 10) y marca Garmin (modelo GPS 12 XL) en los muestreos llevados a cabo en el 2002 (Figura 11).

Los pozos 7 pozos muestreados en 2000 y 2001 (Mazari *et al.*, 2002) y los 18 pozos muestreados en el 2002 fueron elegidos al azar (Espinosa *et al.*, 2003).

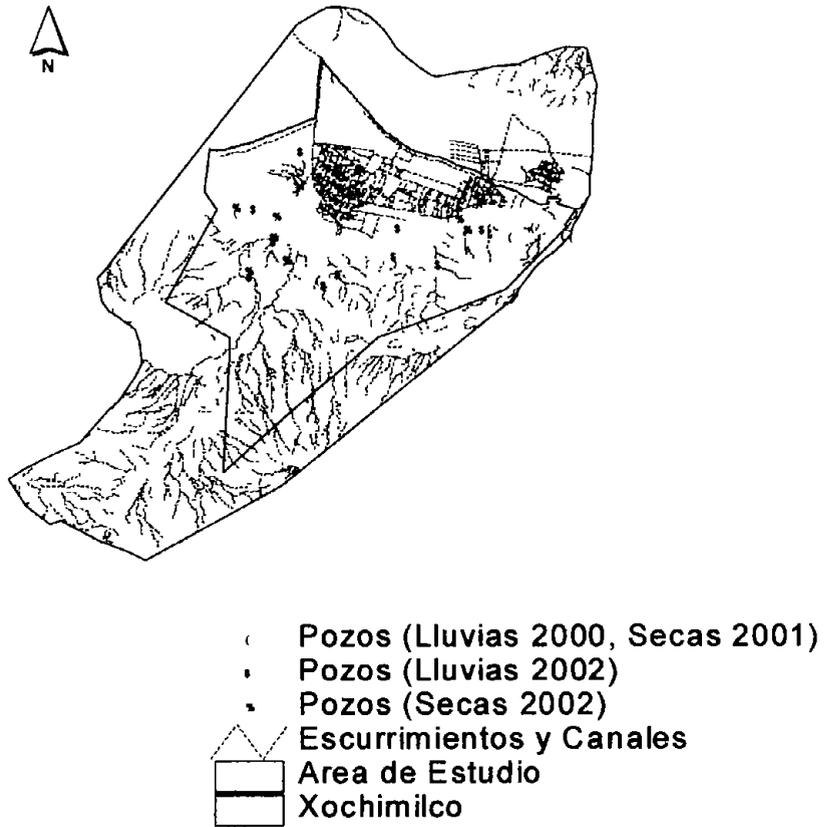


Figura 9. Sitios de muestreo de agua subterránea en las estaciones de lluvias 2000, secas 2001, secas 2002 y lluvias 2002

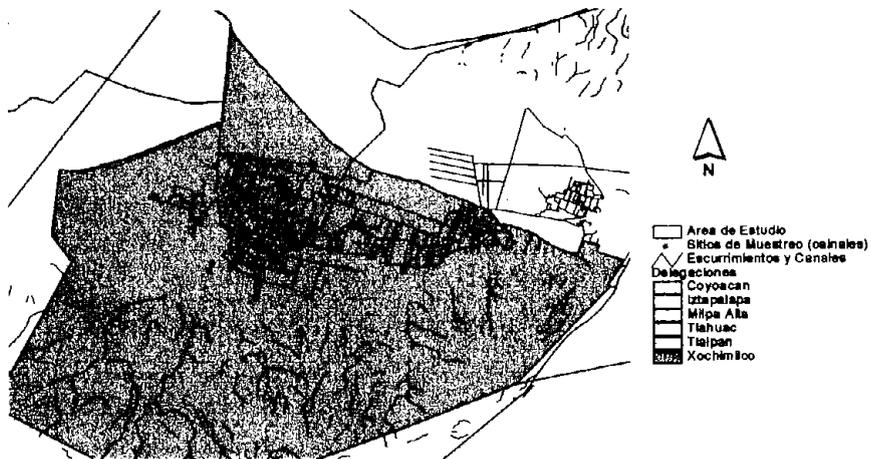


Figura 10. Sitios de canal muestreados durante la estación de lluvias 2000 y secas 2001.

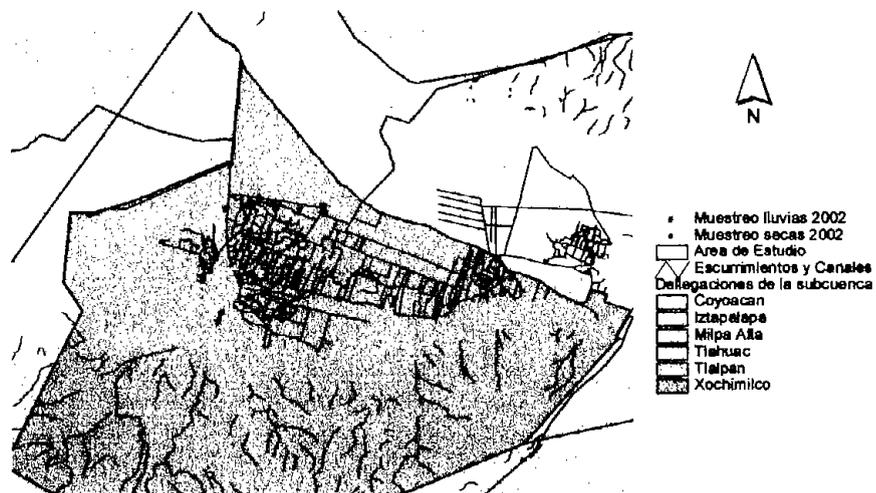


Figura 11. Sitios de Canal muestreados durante la estación de lluvias y de secas 2002

## **Obtención de muestras de agua**

Las muestras de agua superficial se colectaron en frascos de polipropileno Nalgene con capacidad de 1 L y 500 mL. Los frascos fueron previamente esterilizados en una autoclave a 115 atm de presión durante 15 minutos. Se mantuvieron cerrados hasta el momento de tomar la muestra y fueron etiquetados con los datos del sitio de muestreo.

En el sitio de muestreo -al que se accede en lancha- los frascos fueron introducidos a una botella colectora de acero inoxidable, que tiene un orificio y un tubo en el interior que permite el llenado de los frascos de polipropileno que se colocan en el interior. Los frascos se cierran con agua a tres cuartas partes de su capacidad para que pueda homogenizarse la muestra y se conservan en refrigeración hasta que son procesadas en el laboratorio en un plazo menor a 6 horas.

En el caso de los pozos, los frascos fueron llenados abriendo la llave para dejar correr el agua durante unos minutos, después, los frascos son llenados..

## **Métodos experimentales**

En el caso de las muestras de agua superficial proveniente de los canales de Xochimilco, se realizaron diluciones para poder contabilizar las unidades formadoras de colonias (UFC) bacterianas pues la densidad de colonias en el agua superficial fue muy elevada, impidiendo una contabilización precisa.

Las diluciones se efectuaron con una solución amortiguadora de fosfatos. Se colocó 1 mL de muestra en 9 mL de solución amortiguadora para obtener una dilución de proporción 1:10. La segunda dilución se hace tomando 1 mL de la primera dilución y se homogeniza con 9 mL de solución amortiguadora para obtener una dilución en proporción 1:100. De esta manera, se realizan alicuotas hasta que la muestra se encuentre suficientemente diluida para contar con precisión las UFC en cantidad menor a 200 (APHA, 1998). Posteriormente se realizó la conversión.

Las diluciones fueron resuspendidas para ser inmediatamente vertidas en un tren de filtrado marca Millipore conectado a una bomba de vacío y se hicieron pasar por una membrana estéril de acetato de celulosa de 0.45  $\mu\text{m}$  (marca Millipore, cat. HAWG047S1)

a través de la cual pasa el agua pero las bacterias quedan retenidas. Éstas membranas se colocaron en medios selectivos y se incubaron de acuerdo con los métodos sugeridos por la APHA (1998).

El material que estuvo en contacto con las membranas como los medios de cultivo y las cajas de Petri habían sido esterilizados previo al momento de utilizarse, de la misma manera, el laboratorio de microbiología se mantuvo en condiciones de esterilidad, lo cual quiere decir que las muestras se manejaron dentro de un perímetro reducido en el cual dos mecheros fueron encendidos.

Los medios de cultivo selectivo líquidos en los que fueron colocadas las membranas son M-Endo para detectar coliformes totales (CT) y M-FC para detectar coliformes fecales (CF). Los agares sólidos de cultivo utilizados son: KF para detectar estreptococos fecales (FS) y Tiosulfate-citrate-bile-salts-sucrose Agar (Agar TCBS) para detectar bacterias tales como *Vibrio* y *Aeromonas*.

Utilizando éstas técnicas, las coliformes totales deben incubarse por un periodo de 22 a 24 horas a una temperatura de  $35 \pm 0.5$  °C (APHA, 1998). Las coliformes fecales deben incubarse por un periodo de  $24 \pm 2$  horas a una temperatura de  $44.5 \pm 0.2$  °C (APHA, 1998). Los estreptococos fecales deben incubarse por un periodo de 24 a 48 horas a una temperatura de  $35 \pm 0.5$  °C y las bacterias como *Vibrio* y *Aeromonas* se incuban de 18 a 24 horas a una temperatura de 35°C (APHA, 1998).

### **Análisis espacial**

Como información base, se utilizó el Informe Técnico sobre el Manejo Integral del Suelo (UNAM-GDF, 2002) para integrar e interpretar geográficamente los datos de microbiología. Las variables del ambiente natural, urbano e hidráulico fueron relacionadas a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG) en cuyas coberturas fueron integrados los datos microbiológicos específicos.

Dado que la información de todas las coberturas era difícil de interpretar simultáneamente se dividió la información en tres categorías que fueran consistentes: (1) Las coberturas del medio natural; (2) aquellas coberturas del ambiente urbano y (3) las coberturas del

"ambiente hidráulico", donde se incluyen tanto los escurrimientos naturales y los canales como de la infraestructura de la delegación para el manejo del agua.

Las coberturas que se utilizaron para el análisis del ambiente natural se muestran en la tabla 2:

Tabla 2. Coberturas del ambiente natural en la zona de Xochimilco:

Cobertura	Fuente
Delegaciones	Instituto de Geografía UNAM 2002
Relieve	Instituto de Geografía UNAM, 2002
Fisiografía	UNAM-GDF, 2002
Hidrología	UNAM-GDF. 2002
Geología	Instituto de Ecología, UNAM, 2002
Vegetación	Instituto de Geografía, UNAM, 2002
Suelo de Conservación	Instituto de Geografía, UNAM, 2002
Tipo de Vegetación	Instituto de Geografía UNAM, 2002

Las coberturas utilizadas para el análisis del medio urbano se muestran en la tabla 3

Tabla 3. Coberturas del ambiente urbano en la zona de Xochimilco

Cobertura	Fuente
Mancha Urbana	Instituto de Geografía UNAM, 2002. Lansdsat ETM7, 2000
Población AGEB	UNAM-GDF 2002
Basureros	UNAM-GDF 2002
Industrias	Instituto de Ecología y SMAGDF, 2001,2002
Terminales	Instituto de Ecología UNAM, 2002
Tiraderos	Instituto de Ecología UNAM, 2002

Para los análisis en los que se considera la infraestructura relacionada con el uso del agua se muestra en la tabla 4

Tabla 4. Coberturas de la infraestructura hidráulica en la zona de Xochimilco

Cobertura	Fuente
Hidrología	UNAM-GDF, 2002
Pozos	Instituto de Ecología UNAM, 2002
Bombes	UNAM-GDF, 2002
Drenaje primario	Gasca, 2002
Drenaje Secundario	Gasca, 2002
Red de agua tratada	UNAM-GDF, 2002
Vasos reguladores	UNAM-GDF, 2002

Los puntos de muestreo, previamente geoposicionados y asociados a los datos de microbiología fueron sobrepuestos a las coberturas mencionadas.

### 3. RESULTADOS

#### Agua Superficial. Canales

Todos los sitios de canal muestreados se encuentran contaminados con bacterias de origen fecal. Algunos de ellos cumplen con los parámetros microbiológicos establecidos por las NOM-003-ECOL-1997 (DOF, 1998), que establecen los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, como lo es el riego agrícola. Estos parámetros son 1000 UFC/100 mL de bacterias coliformes totales (CT) y 1000 UFC/100 mL de bacterias coliformes fecales (CF).

En la Tabla 5 se muestra la cuantificación de bacterias en los canales de Xochimilco durante la estación de lluvias de 2000.

Los sitios que se encuentran dentro de la norma son: *Cuemanco, Atizapa 1, 2 y 3, Chicoco 1, 2 y 3, El Bordo, La Comunidad 1 y 2, Japón, San Gregorio, Paso del Águila, Puente de Urrutia*. Solamente *La Comunidad 2* es un sitio de muestreo que se encuentra dentro de los parámetros de las NOM-003-ECOL-1997 y dentro de los parámetros sugeridos por Gerba, (2000) que son estreptococos fecales y otras bacterias como *Vibrio* y *Aeromonas* que se utilizan por su importancia epidemiológica en los últimos años (IMSS, 2002).

Tabla 5. Cuantificación de bacterias indicadoras (UFC/100 mL) en sitios de canal de Xochimilco durante las lluvias 2000 (Mazari *et al.*, 2000)

SITIO	Coliformes totales	Coliformes fecales	Estreptococos fecales	Otras bacterias
Cuemanco	0	0	500	13 000
Lag. Tlilac	0	1 500	500	2 000
Atizapa 1	0	0	1 000	3 000
Atizapa 2	0	0	1 500	3 500
Atizapa 3	0	0	1 500	4 500
Chicoco 1	0	600	2 300	11 000
Chicoco 2	0	0	3 100	28 500
Chicoco 3	0	0	3 700	16 500
El Bordo	0	0	1 500	25 500

Comunidad	0	500	5500	2500
Japón	0	500	1 500	18 000
San Gregorio	500	500	15 500	8 500
Almoloya	3 000	3 000	3 000	1 000
Comunidad	0	0	1 000	500
Paso del Águila	0	0	3 800	3 000
Trancatitla		57 000	26 500	9 500
Puente Urrutia	0	500	4 800	10 000
San Gregorio	0	5 000	10 500	2 000
San Gregorio	5 000	5 000	3 500	2 100
Apatlaco	15 000	4 000	1 500	600
Huexocoapa	0	12 500	87 000	4 800
Tezhuilo	0	10 000	8 500	3 600
Cotetexpa	-----	3 500	-----	-----
Seminario	15 000 000	0	3 500	3 100
Compuerta	25 000	0	2 000	3 500
Ayocotitla	500 000	5 000 000	4 000	1 000
San Cristobal	500 000	450 000	51 500	13 500
Miramar	500 000	500 000	22 500	4 000
Zacapa	500 000	0	4 500	200
Ayac	1 000 000	0	53 500	2 800
Escalantes	500 000	0	3 000	700
Pizocoxpa	10 000	1 200 000	18 500	400
Pizocoxpa	0	10 000	7 500	4 000
Santísima	15 000	100 000	21 000	2 200
Santísima	1 150 000	250000	1785000	5 800
Santísima	700 000	200 000	25 500	6 500
Nativitas	6 500	15 000	8 000	800
Cerca Draga	0	100 500	24 500	6 200
Santísima	750 000	1 500 000	12 000	1 100
Xaltocan	9 000	970 000	156 000	26 000
San Gregorio	10 500	24 000 000	427 500	192 000

Como se muestra en la Tabla 6, en la época de secas de 2001 solamente 11 sitios de muestreo de 42 cumplen con los parámetros de calidad del agua establecidos para agua de riego agrícola.

Utilizando otros parámetros microbiológicos sugeridos por Gerba (2000) y considerando los recientes brotes de *Vibrio* sp. (IMSS; 2002), solamente tres sitios de canal se encuentran libres de contaminación microbiológica de origen fecal.

Los 11 sitios de canal que cumplían con la NOM-003-ECOL-1997 en la época de secas de 2001 son: *Laguna de Tlilac, Atizapa 1, Atizapa 2, Atizapa 3, Cuemanco, Japón, La Comunidad, Paso del Águila, Puente de Urrutia, San Gregorio 1, San Gregorio 2*. Los sitios de canal que cumplían con la Norma Oficiales Mexicanas y con otros parámetros microbiológicos sugeridos por Gerba (2000) y el IMSS (2002) como los estreptococos fecales y otras bacterias son: *Atizapa 2, Cuemanco y San Gregorio 1*.

Tabla 6. Cuantificación de bacterias indicadoras (UFC/100 mL) en los canales de Xochimilco durante la estación seca 2001 (Mazari *et al.* 2000).

SITIO	Coliformes totales	Coliformes fecales	Estreptococos fecales	Otras bacterias
Cuemanco	100	100	0	300
Lag. Tlilac	100	300	1 500	400
Atizapa 1	300	900	25 500	500
Atizapa 2	300	400	900	0
Atizapa 3	300	600	1 300	100
Chicoco 1	1 200	1 100	2 500	300
Chicoco 2	300	1 300	6 300	300
Chicoco 3	800	1 200	3 000	200
El Bordo	1 000	10 000	3 100	300
Comunidad	15 000	8 000	4 400	1 000
Japón	500	500	800	3 000
San Gregorio	1 500	0	1 400	700
Almoloya	0	2 100	5 900	1 500
Comunidad	0	200	2 600	600
Paso del Ág	400	1 000	3 000	500
Trancatitla	4 000	2 000	6 000	800
Puente Urrutia	400	200	2 800	1 500
San Gregorio	600	500	1 000	100
San Gregorio	400	100	1 500	400
Apatlaco	1 200	2 000	2 500	2 200
Huexocoapa	900	1 500	6 000	400
Tezhuilo	6 000	7 000	11 000	600
Cotetexpa	7 000	100 000	41 000	1 200
Seminario	70 000	31 000	16 500	800
Compuerta	410 000	20 000	3 500	400
Ayocotitla	165 000	4 000	4 500	300
San Cristibal	280 000 000	20 000 000	1 400 000	1 300
Miramar	8 500	3 500	1 500	300
Zacapa	10 000	3 000	6 500	1 600
Aya	325 000	5 350 000	93 500	10 500
Escalantes	450 000	35 000	13 000	600
Pizocoxpa	45 000	5 500	17 500	300
Pizocoxpa	135 000	8 000	14 500	600

Santísima	55 000	6 000	8 500	1 100
Santísima	90 000	5 000	14 000	3 900
Santísima	135 000	25 000	22 000	1 200
San Diego	590 000	505 000	55 000	3 000
Nativitas	10 000	6 000	9 000	600
Cerca Draga	3 950 000	10 500	18 500	2 000
Santísima	335 000	5 000	15 000	600
Xaltocan	21 000 000	1 800 000	26 500	800
San Gregorio	890 000 000	430 000 000	120 000 000	305 500
NOM-003-ECOL-1997	1 000	1 000		

En la tercera temporada de muestreo, llevada a cabo en la época de secas 2002, se realizó un submuestreo de 10 de los 42 sitios. Seis de los sitios de muestreo se encuentran dentro de la norma para riego agrícola NOM-003-ECOL-1997 (DOF, 1998). No obstante, al utilizar parámetros microbiológicos como los estreptococos fecales y otras bacterias, solamente cuatro de éstos sitios se encuentran en condiciones para utilizarse en el riego agrícola (Tabla 7).

Los sitios de Canal que cumplieron con las normas establecidas fueron *Trancatitla*, *Laguna de Tlilac*, *Japón*, *Tezhuilo*, *Puente de Urrutia* y *Apatlaco*. Sin embargo, al considerar también al grupo de estreptococos fecales y otras bacterias como indicadores de contaminación fecal, *Japón* y la *Laguna de Tlilac* estuvieron por debajo de los límites sugeridos por Gerba 2000 e (IMSS), (2002)

Tabla 7. Cuantificación de bacterias (UFC/100mL) en sitios de canal de Xochimilco durante la estación de secas 2002.

SITIO	Coliformes totales	Coliformes fecales	Estreptococos fecales	Otras Bacterias
Japón	100	200	700	100
Comunidad	0	0	2 450	1 350
Atizapa	100	50	1 850	150
Atizapa	50	100	950	650
Cuemanco	0	350	600	650
Cerca Draga	0	100	750	700
Compuerta	2 850	9 900	10 400	4 150
Ayac	5 500	4 000	1 000	500
San Cristobal	0	1415 000	62 000	43 000
San Diego	50 000	36 500	11 000	2 500

En la última temporada de muestreo, lluvias 2002, seis de los 10 sitios de canal muestreados se encontraron dentro de la NOM-003-ECOL-1997; éstos fueron: *Japón, La Comunidad, Atizapa 1 y 2, Cuemanco y Cerca de la Draga*. Dos de ellos estaban por encima de los parámetros de calidad sugeridos, que son estreptococos fecales y otras bacterias. Sólo el agua de cuatro sitios es inocua si se utiliza para riego agrícola. Estos sitios son: *Japón, Atizapa 2, Cuemanco y Cerca de la Draga*. La Tabla 8 muestra éstos resultados.

Tabla 8. Cuantificación de bacterias indicadoras (UFC/100 mL) en los canales de Xochimilco durante la época de lluvias 2002.

SITIO	Coliformes Totales	Coliformes Fecales	Estreptococos Fecales	Otras Bacterias
Trancatitla	2 600	10 900	6 500	3 450
Lag. Tlilac	1 000	500	5 500	100 000
Japón	0	200	2 200	2 800
Tezhuilo	50	3 500	2 200	0
Urrutia	150	50	3 300	50
Apatlaco	100	200	24 500	100
Santísima	59 500	360 000	22 000	500
Cerca Draga	20 500	8 950	2 850	100
Miramar	1 000	850	900	200
Ayocotitla	4 000	7 500	1 150	0

#### *Determinación del origen de contaminación fecal.*

Los estreptococos fecales son un grupo de bacterias gram-positivas y pueden encontrarse de forma predominante en los animales (Gerba, 2000) aunque existen dos especies *E. faecalis* y *E. faecium* que son de origen humano (Gerba, 2000). Estas bacterias pueden ser útiles en la determinación del posible origen de la contaminación: (humana o animal), a través de el cociente CF/EF que es cuestionado pues es válido únicamente en contaminación fecal reciente, es decir, de menos de 24 hs. (Gerba, 2000).

Si el cociente es mayor que 4, muestra evidencia de contaminación fecal humano; si se encuentra entre 2 y 4, indica evidencia de contaminación mixta pero con predominio de contaminación fecal de origen humano. Si el cociente se encuentra entre 0.7 y 2,

muestra evidencia de contaminación mixta pero con predominio de contaminación fecal de origen animal. Por último, si el cociente es menor que 0.7 implica que la contaminación es de origen animal.

Como ya hemos dicho, es un parámetro relativo, pero en éste caso puede darnos una idea general de cuál es el origen de los contaminantes bacterianos en la zona chinampera de Xochimilco.

En las tablas 9 y 10 se muestran los cocientes CF/EF de los diferentes muestreos en la zona de canales.

Tabla 9. Cociente CF/EF en los canales de Xochimilco durante las diferentes temporadas de muestreo Lluvias 2000 y Secas 2001.

SITIO	Lluvias 2000	Secas 2001	SITIO	Lluvias 2000	Secas 2001
Cuemanco	0.0	*	Cotetexpa	*	2.4
Lag. Tlilac	3.0	0.2	Seminario	0.0	1.9
Atizapa	0.0	0.0	Compuerta	0.0	5.7
Atizapa	0.0	0.4	Ayocotilla	1250.0	0.9
Atizapa	0.0	0.5	San Cristibal	8.7	14.3
Chicoco	0.3	0.4	Miramar	22.2	2.3
Chicoco	0.0	0.2	Zacapa	0.0	0.5
Chicoco	0.0	0.4	Ayac	0.0	57.2
El Bordo	0.0	3.2	Escalantes	0.0	2.7
Comunidad	0.1	1.8	Pizocoxpa	64.9	0.3
Japón	0.3	0.6	Pizocoxpa	1.3	0.6
San Gregorio	0.0	0.0	Santísima	4.8	0.7
Almoloya	1.0	0.4	Santísima	0.1	0.4
Comunidad	0.0	0.1	Santísima	7.8	1.1
Paso del Ág	0.0	0.3	San Diego	13.3	9.2
Trancatitla	2.2	0.3	Nativitas	1.9	0.7
Urutia	0.1	0.1	Cerca Draga	4.1	0.6
San Gregorio	0.5	0.5	Santísima	125.0	0.3
San Gregorio	1.4	0.1	Xaltocan	6.2	67.9
Apatlaco	2.7	0.8	San Gregorio	56.1	3.6
Huexocoapa	0.1	0.3	Tezhuilo	1.2	0.6

**Tabla 10. Cociente CT/EF durante las estaciones de secas y lluvias del 2002**

<b>SITIO</b>	<b>lluvias 2002</b>	<b>SITIO</b>	<b>secas 2002</b>
Trancatitla	0.3	Japón	2
Lag. Tlilac	0.0	Comunidad	0
Japón	0.0	Atizapa	0
Tezhuilo	0.1	Atizapa	2
Urrutia	0.6	Cuemanco	0
Apatlaco	0.1	Cerca Draga	0
Santísima	1.0	Compuerta	16
Cerca Draga	4.0	Ayac	3
Miramar	22.8	San Cristobal	1
Ayocotitla	3.3	San Diego	7

\* No es posible definir.

En la estación de lluvias del 2000, los sitios de muestreo con contaminación fecal de origen animal son en general, aquellos que se encuentran en la zona norte, con excepción de la *Laguna de Tlilac*, *Trancatitla*, *Apatlaco*, que presentan contaminación mixta. Al sur, una localidad, *Pizocoxta* presenta contaminación fecal animal en un tramo de canal, y evidente contaminación de tipo fecal humano en otro tramo del mismo canal. Sucede lo mismo en distintos tramos del canal *La Santísima* en la zona sur.

En la estación de secas del 2001, en los canales del norte, hay predominantemente contaminación fecal de origen animal, sin embargo, hay más sitios de muestreo que indican contaminación mixta. Al sur, también hay un mayor número de sitios de muestreo que presentan contaminación mixta. *La Santísima* ahora muestra que en el mismo tramo de canal, la contaminación es de origen animal

En la estación de lluvias 2002, la contaminación es de origen animal en la mayoría de los sitios de muestreo, mixta en *Acoyotitla*, y claramente humana *Cerca de la Draga* y especialmente en *Miramar*.

En la estación de secas del 2002, *San Diego* y *La Compuerta* en el sur de los canales presentan contaminación de tipo fecal humano; *Japón* y *Atizapa* al norte y *Ayac* al sur presentan contaminación de tipo mixto. El resto de los canales muestreados en esta estación presentaron contaminación de tipo fecal animal.

## Agua subterránea. Pozos de extracción

En la estación de lluvias de 2000, ocho de nueve pozos muestreados se encontraron dentro de los límites permisibles de calidad de agua para uso y consumo humano que son 1UFC/100mL de coliformes totales y coliformes fecales (Tabla 11). Sin embargo, dos sitios de muestreo que se encontraban en norma (NOM-127-SSA-1994) presentaron contaminación microbiológica por dos grupos de bacterias no especificados en la norma; uno por estreptococos fecales y el otro por el grupo de otras bacterias como *Vibrio* y *Aeromonas*.

Tabla 11. Cuantificación de bacterias indicadoras (UFC/100 mL) en pozos de Xochimilco durante la estación de lluvias del año 2000. (Mazari et al.2002)

POZO	Coliformes totales	Coliformes fecales	Estreptococos fecales	Otras bacterias
IP-S5-S	0	1	0	0
IP-SL5-S	0	0	0	1
IP-TUL5-S	0	0	0	0
IP-TUL4-S	0	0	0	---
IP-TUL12-	0	0	0	0
IP-TN1-S	0	0	0	0
IP-TN11-S	0	0	0	0
IP-A11-S	0	0	1	0
IP-224-S	0	0	0	0

En la estación seca del año 2001, los resultados del muestreo son particulares, ya que ocho de nueve sitios de pozo muestreados se encontraban dentro de los parámetros recomendados por la NOM-003-SSA-1994. No obstante, si se observan todas las pruebas microbiológicas en conjunto, solamente dos sitios de muestreo se encuentran libres de microorganismos como los estreptococos fecales (Tabla 12). Ésta contaminación es alta, ya que el máximo tolerado es de 1 UFC/100 mL. y en éste caso, se detectaron pozos contaminados hasta por 302 UFC/ 100 mL.

Tabla 12. Cuantificación de Bacterias Indicadoras (UFC/100 mL) en los pozos de Xochimilco durante la estación de secas 2001. (Mazari *et al.*, 2002)

<b>POZO</b>	<b>Coliformes totales</b>	<b>Coliformes fecales</b>	<b>Estreptococos fecales</b>	<b>Otras bacterias</b>
IP-S5-S	0	0	1	0
IP-SL5-S	1	0	1	0
IP-TUL5-S	0	0	0	0
IP-TUL4-S	0	0	18	0
IP-TN1-S	0	0	81	0
IP-TN11-S	0	0	36	0
IP-A11-S	0	0	2	0
IP-2294-S	0	0	302	0
IP-224-S	0	0	0	0

En la estación seca del año 2002, seis de los pozos muestreados se encontraron dentro de los niveles especificados en la norma (1 UFC/100 mL de coliformes totales y coliformes fecales). De éstos seis, cuatro se encuentran contaminados por estreptococos fecales y otras bacterias; así pues, solamente dos pozos se encuentran dentro de los límites recomendados de contaminación microbiológica de origen fecal. Fue durante esta estación seca que se registraron las cuentas más altas de UFC de bacterias coliformes totales y coliformes fecales (Tabla 13).

Tabla 13. Cuantificación de bacterias indicadoras (UFC/100mL) en pozos de la delegación Xochimilco durante la estación seca del año 2002.

<b>POZO</b>	<b>Coliformes totales</b>	<b>Coliformes fecales</b>	<b>Estreptococos fecales</b>	<b>Otras bacterias</b>
Noria 4	3	6	0	0
Noria 6 R	>200	3	6	0
Reclusorio S2	0	0	0	0
S2	1	40	1	0
Santa Cruz	0	0	1	1
P.San Lucas	0	0	2	7
San Luis 19	0	0	>200	0
San Luis 12	0	0	0	0
San G. Atlap	0	0	6	0
San Luis 18	>200	7	0	1

Considerando únicamente los parámetros utilizados por las Normas Oficiales Mexicanas, durante la estación de lluvias del 2002, aparentemente, sólo dos sitios de pozo se encontraban contaminados (Tabla 14). Al tomar en cuenta a los grupos de estreptococos fecales y otras bacterias, podemos ver que la calidad del agua fue inadecuada para uso y consumo humano, ya que prácticamente en todos los pozos se detectó contaminación microbiológica, en el orden de más de 200 UFC, y solamente tres pozos distribuyen agua de buena calidad para uso y consumo humano. Estos pozos son: Reclusorio Sur 1. Noria 6 y S6.

Tabla 14. cuantificación de bacteras indicadoras (UFC/100mL) en pozos de la delegación Xochimilco durante la estación de lluvias del 2002

<b>POZO</b>	<b>Coliformes Totales</b>	<b>Coliformes Fecales</b>	<b>Estreptococos Fecales</b>	<b>Otras Bacteria</b>
S7	22	0	2	28
San Luis 17	2	1	1	0
Nvo. San Luis	0	0	1	1
Mirador 3	0	0	1	2
Noria 6	0	0	0	0
Recl S1	0	0	0	0
PO-1	0	0	96	>200
Noria 2	0	0	>200	7
S6	0	0	0	0
Nativitas 2	0	0	69	5

## 6. ANÁLISIS ESPACIAL

La calidad del agua depende de que presente ciertas características físicas, químicas y microbiológicas. Para determinarla se cuantifican algunos parámetros que pueden dar una idea general de su estado y el uso que puede dársele (Mazari *et al.*, 1996). En general, las medidas utilizadas son: sólidos suspendidos, alcalinidad, dureza, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), pH, temperatura, conductividad, organismos o agentes indicadores, entre otros. (Mazari *et al.*, 1996; Tate *et al.*, 1990).

Los microorganismos que causan enfermedades son conocidos como patógenos, en ocasiones, se originan en un hospedero infectado y se liberan al ambiente a través de las heces fecales, la orina y otras secreciones (Rusin *et al.*, 2000). Aquellos que se transmiten por la vía fecal-oral, se conocen como patógenos entéricos, ya que su infección directa es en el tracto gastrointestinal. Muchos de ellos son estables en el agua y en los alimentos. Algunas bacterias pueden incluso crecer fuera del hospedero, cuando se encuentran en las condiciones ambientales adecuadas (Rusin *et al.*, 2000).

Las enfermedades transmitidas a través del agua contaminada pueden deberse a distintos tipos de patógenos, como las bacterias; (*Salmonella spp.*, *Escherichia coli*, *Shigella spp.*, *Campylobacter spp.*, *Yersinia spp.*, *Vibrio spp.*, *Helicobacter spp.*, *Legionella spp.*) algunas algas (Cianoprocariontes) y otros parásitos protozoarios como *Giardia lamblia*, *Cryptosporidium parvum*, *Entamoeba histolytica*, *Toxoplasma gondii* o helmintos como *Ascaris lumbricoides*, *Necator americanus*, *Ancylostoma duodecane*; Céstodos (*Taenia saginata*); tremátodos y virus como son Enterovirus, virus de la Hepatitis A., Reovirus, Rotavirus, Adenovirus, Astrovirus, Calicivirus, Virus de la Hepatitis E, Virus tipo Norwalk. (Tate *et al.*, 1990; Leclerc *et al.*, 2002; Rusin *et al.*, 2000; Gerba, 2000).

En el agua cuya calidad es deficiente pueden encontrarse todo tipo de organismos patógenos o no patógenos. El desarrollo en el conocimiento de la calidad del agua y los efectos en la salud, ha obligado a reconocer que los estándares de calidad del agua existentes (niveles bajos de compuestos orgánicos, ausencia de turbidez y ausencia de bacterias indicadoras), no son suficientes para evitar un brote de gastroenteritis. Sin embargo, las bacterias siguen siendo una de las principales causas de enfermedades

entéricas transmitidas a través del agua, y en el caso de las bacterias indicadoras, permiten reconocer que en el ambiente existe contaminación de tipo fecal humano (Tate *et al.*, 1990; IWARPC, 1991; Gerba. 2000).

El objetivo de utilizar organismos indicadores es evaluar la probabilidad de encontrar organismos patógenos en el agua, ya que la detección individual de cada patógeno es costosa y requiere de tiempo, lo cual es inadecuado frente a un posible brote epidemiológico. Los criterios que se utilizan para elegir un buen indicador dependen de que sistemáticamente cumplan con ciertas características (IWARPC, 1991; Ashbolt *et al.*, 2001; Tate *et al.*, 1990, Leclerc *et al.*, 2000) que deben cumplirse y son:

- Origen similar al del patógeno, deben estar presentes en las heces fecales y con cierta abundancia
- Presencia igual a la del patógeno en aguas contaminadas y ausencia en agua limpia o tratada
- Desempeño parecido en el ambiente al de los patógenos
- Respuesta similar a la del patógeno a procesos de purificación y desinfección
- Resistencia similar a la del patógeno a condiciones ambientales
- No reproducirse en el ambiente
- Metodología de detección sencilla, económica, accesible y de fácil aplicación
- La relación de proporción entre el indicador/patógeno debe de ser alta.

Tradicionalmente, los microorganismos indicadores se han utilizado para sugerir la presencia de patógenos en el ambiente. Se sabe que existen varias razones posibles por las cuales la presencia o ausencia de patógenos no correspondan siempre a la de los indicadores. Por ejemplo, algunos patógenos en el ambiente no coinciden con un indicador que pueda representar un riesgo epidemiológico (Mazari *et al.*, 2000), o en ocasiones, patógenos e indicadores tienen un desempeño distinto en ambientes diferentes (Hazen y Toranzos, 1990). En realidad existe cierta ambigüedad al respecto, es por eso que se recomienda utilizar más de un tipo de indicadores para diferentes procesos, usos y tipos de organismos como los coliformes, las coliformes termotolerantes, *Escherichia coli*, Enterococos, *Clostridium perfringens*, Bifidobacteria y Bacteriofagos (Ashbolt *et al.*, 2001; Gerba, 2000).

En México, la NOM-001-SEMARNAT-1996 y la NOM-127-SSA1-1994 regulan la calidad con la que debe cumplir el agua para uso agrícola y para consumo humano,

considerando únicamente al grupo de bacterias coliformes totales y coliformes fecales como indicadores de contaminación fecal en agua para consumo humano ó coliformes fecales y huevos viables de helminto en el caso del agua para riego (DOF, 1997). El máximo tolerado son 1000 UFC/100mL de bacterias coliformes fecales, y en el caso del agua para uso y consumo humano, el máximo tolerado son 1 UFC/100mL de bacterias coliformes totales y coliformes fecales (DOF, 2000).

Sin embargo, la presencia de éstos indicadores en el ambiente es insuficiente para establecer los riesgos contra la salud de la población (Mazari *et al.*, 2000), no refleja el riesgo asociado a bacterias como *Vibrio cholerae* –de gran importancia entre 1991 y 1998 (IMSS, 2002), ni refleja la presencia de virus entéricos (Espinosa *et al.*, 2003).

Actualmente no se aplica ningún método que indique la presencia de virus en el agua, mientras que algunas de las enfermedades virales de importancia epidemiológica que se propagan a través del agua son de origen fecal (IWARPC, 1991; Leclerc *et al.*, 2002). Tampoco existe en las Normas Oficiales Mexicanas que regulan la calidad del agua para riego o consumo humano un indicador que se relacione con *V. cholerae* a pesar de los brotes en varias entidades federativas en los últimos años (IMSS, 2002).

Payment y colaboradores (1997) han encontrado que a pesar de que el agua para consumo humano cumpla con los requerimientos establecidos por las normas establecidas (coliformes totales y cierta concentración de cloro), pueden surgir brotes epidémicos.

### **Agua Superficial**

Según la NOM-001-SEMARNAT-1996 (DOF, 1997), el límite permisible de unidades formadoras de colonia (UFC) de coliformes fecales (CF) permitidas en el agua utilizada para riego agrícola asciende a 1000 UFC/100 mL.

Ya que es sabido que el grupo de coliformes totales o fecales son insuficientes para determinar los riesgos de epidemias de gastroenteritis y otras enfermedades, algunas instancias extranjeras e internacionales han sugerido el uso de la combinación de otros indicadores biológicos para determinar con mayor detalle la calidad del agua (Ashbolt *et al.*, 2001; IWARPC, 1991; Rose *et al.*, 2001) e incluyen organismos como a *Escherichia coli*, *Enterococci spp.*, *Clostridium perfringens*, bacteriófagos y enterovirus (Ashbolt *et*

al., 2001; Leclerc *et al.*, 2002; Rose *et al.*, 2001; Blumenthal *et al.*, 2000). En éste trabajo se han incluido los grupos de estreptococos fecales y otras bacterias como *Vibrio* y *Aeromonas* como indicadores de la calidad microbiológica del agua superficial y subterránea.

En todas las temporadas en las que se llevó a cabo el muestreo se puede observar que existen sitios de canal que se encuentran dentro de la NOM-001-SEMARNAT-1996 a pesar de que los conteos de estreptococos fecales u otras bacterias se hallaron por encima de las recomendaciones hechas por Gerba (2000) que ascienden en cada caso a 1000 UFC/100mL. Con excepción de la estación seca de 2002, se pudo ver en todas las temporadas que algunos sitios que se ajustaban a lo establecido por la NOM-001-SEMARNAT-1996 rebasaban por lo menos diez veces éstas recomendaciones.

Algunos de los microorganismos que fueron aislados de los cultivos de estreptococos fecales y otras bacterias y que posteriormente fueron identificados a partir de éstas muestras ambientales (Mazari *et al.*, 2002) son: *Enterococcus* sp; *Streptococcus viridans* (aisladas con el medio para estreptococos fecales) y *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus coagulasa negativa*, *Klebsiella pneumoniae*, *Klebsiella oxytoca*, *Acinetobacter* sp., *Enterobacter cloacae*, *Serratia odorifera*, *Micrococcus* spp. (aisladas de otras bacterias). Las cuales tienen importancia clínica por ser causa de diversas enfermedades.

Los enterococos se encuentran involucrados en afecciones del tracto urinario (Flacklam *et al.*, 1995) y los estafilococos pueden ser causantes de enfermedades de la piel, junto a *Micrococcus* spp. pueden ser causantes de neumonía, osteomielitis, endocarditis, pericarditis, meningitis, absesos musculares del tracto urinario y del sistema nervioso en personas inmunodeprimidas (Kloos *et al.*, 1995). Las bacterias del género *Klebsiella* pueden provocar enfermedades en las vías respiratorias: las bacterias del género *Serratia* son bacterias que pueden causar infecciones extraintestinales (Gilchrist, 1995). Las especies del género *Enterobacteriaceae* están asociadas a abscesos de neumonía, meningitis, septicemia, e infecciones en las heridas, el intestino y el tracto urinario (Farmer III, 1995).

Debe de considerarse ésta situación ya que los vegetales que son regados con el agua de los canales conservan en sus estructuras a los patógenos, lo cual implica un riesgo

epidemiológico, ya que algunos se consumen crudos (Rosas *et al.*, 2000) y a que se distribuyen en mercados locales y en el resto de la Ciudad de México.

La interpretación de los resultados por época (lluvias y secas) y por año (2000, 2001, 2002) es de la siguiente manera

### *Lluvias 2000*

Durante la estación de lluvias 2000 se observó que la proporción de canales que se encuentra dentro de normatividad (<1000 UFC/100 mL de coliformes totales y coliformes fecales) sin contar otros parámetros (<1000 UFC/100mL de estreptococos fecales y otras bacterias) es de 14/42. Si de éstos catorce sitios de muestreo consideramos a los otros parámetros sugeridos por Gerba 2000 vemos que solamente uno de los sitios, *La Comunidad*, está exento de contaminación de origen fecal y puede utilizarse para riego agrícola sin que represente un riesgo para la salud (Figura 14).

En ésta figura pueden observarse en color verde los sitios de canal que se encuentran dentro de la NOM-001-SEMARNAT-1996, mientras que en color rojo se observan a los sitios que se encuentran por arriba de la norma hasta diez veces por encima del límite (1000 UFC/100 mL). En color morado se ven aquellos sitios que están al menos diez veces o más por encima de la norma. Los sitios señalados son aquellos que a pesar de estar dentro de la NOM-001-SEMARNAT-1996 presentan contaminación de tipo fecal pero de estreptococos fecales u otras bacterias diez veces por encima de los límites recomendados por Gerba (2000). Estos sitios son *Cuemanco*, *Chicoco 1, 2 y 3*, *Japón*, *San Gregorio* y *Tezhuilo* que se encuentran en la parte norte de los canales; la contaminación que presentan es principalmente de origen animal (ver tabla 9). Puede observarse cómo en los canales de la parte sur no hay ningún sitio de canal que se encuentre dentro de la norma.

En las Figuras 15, 16 y 17 se pueden observar éstos mismos sitios de canal ubicados en distintos ambientes: el ambiente hidráulico, el ambiente natural y el ambiente urbano.



Figura 14. Calidad microbiológica en canales de Xochimilco durante la estación de lluvias 2000.

Aparentemente, en la zona sur de los canales, el sistema de drenaje primario o las redes de agua tratada no disminuyen el impacto de la mancha urbana ya que los contaminantes fecales se encuentran distribuidos espacialmente igual en aquellos lugares en donde exista o no drenaje (Figura15). Estos contaminantes se encuentran diez veces por arriba de la norma, con bacterias del grupo de Coliformes totales y fecales. Las viviendas que se encuentran en los canales carecen de drenaje, por lo que vierten sus desechos a los canales y afecta la zona suroeste de los canales.

Lamentablemente, el sitio más contaminado es una salida de agua de la planta de tratamiento de *San Gregorio*, ya que presenta concentraciones desde  $1 \times 10^5$  UFC/ 100 mL de bacterias coliformes totales y de  $1 \times 10^7$  UFC/100mL de bacterias coliformes fecales. También presenta altas concentraciones de estreptococos fecales y otras bacterias.

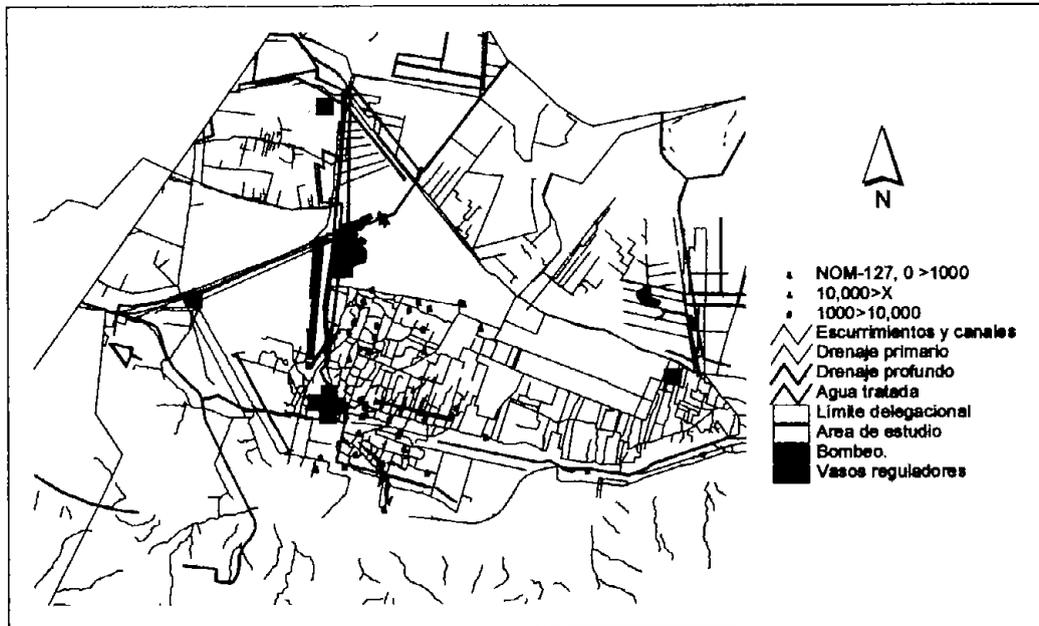


Figura 15. Infraestructura hidráulica y calidad del agua durante la estación lluvias 2000

En cuanto a la geología y el tipo de vegetación que hay en la zona, no puede decirse que sean factores que por sí mismos afecten la calidad microbiológica del agua.

Solamente en los márgenes de los canales del área lacustre el suelo está constituido por depósitos aluviales, mientras que en el centro de la zona de canales existen fundamentalmente depósitos lacustres que son prácticamente impermeables. La vegetación tampoco parece influir en la calidad del agua de los canales, ya que toda la zona chinampera muestreada está dedicada al uso agrícola, salvo los pastizales. Cerca de ellos se muestreó un sitio de canal que se encuentra dentro de los límites recomendados (Figura. 16).

Probablemente los contaminantes microbiológicos que se encuentran en la zona de canales son arrastrados por los escurrimientos desde la zona de montaña hacia los canales, atravesando un área ocupada por la mancha urbana, con lo cual se aporta contaminantes de la parte alta a las partes bajas que son las que tienen mejor calidad del agua y en las que el ambiente se encuentra mejor conservado.

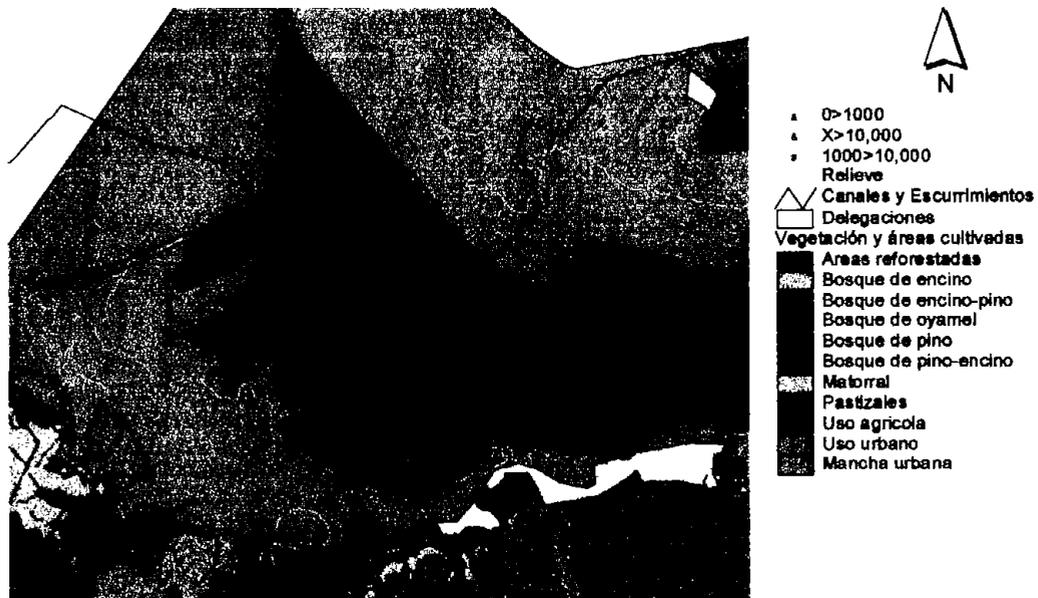


Figura 16. Vegetación y calidad del agua de canales durante la estación de lluvias 2000.

Probablemente el cambio del uso de suelo (de forestal y agrícola a urbano) cercano a los canales coadyuve al arrastre de contaminantes hacia los canales.

En la Figura 17 puede observarse cómo incluso las chinampas dedicadas a la agricultura (en la zona norte) comienzan a ser invadidas por la mancha urbana (color cian). Es evidente que la población en los asentamientos sin drenaje es la que aporta los contaminantes a los canales, ya que dependiendo de la densidad de población se incrementa el conteo bacteriano. Es cierto que hay canales en la zona chinampera por arriba de los parámetros microbiológicos de calidad del agua, que son estreptococos fecales u otras bacterias en su mayoría, las cuales suponemos que son de origen fecal animal por el radio CF/EF en éstas localidades.

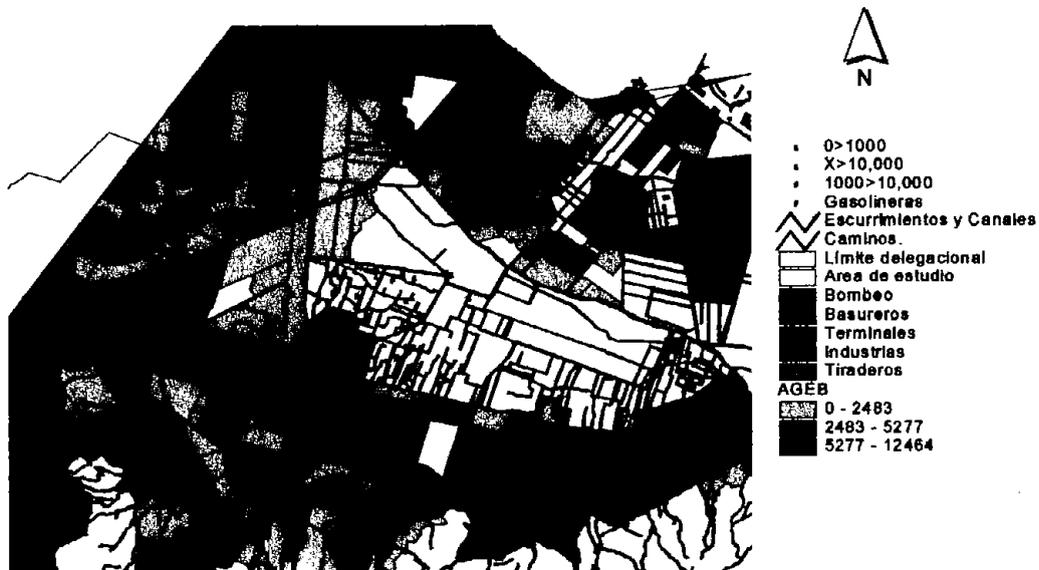


Figura 17 Muestreo de Canales, época de Lluvias del 2000. Ambiente Urbano.

Puede observarse cómo hay una industria cerca de la zona de los canales y un rebombeo que probablemente aporte contaminantes de tipo fecal humano a los canales. Las otras industrias, tiraderos, basureros, gasolineras y terminales se encuentran lejos de la zona de canales.

### Secas 2001

En la época de secas de 2001, solamente 10/42 sitios de muestreo cumplen con los parámetros de calidad del agua establecidos por la NOM-001-SEMARNAT-1996 (1000 UFC/ 100mL de Coliformes totales y fecales) para agua utilizada para riego agrícola. Utilizando los otros parámetros microbiológicos, son solamente tres sitios de canal los que se encuentran libres de contaminación microbiológica; *Cuemanco*, *Atizapa 1* y *San Gregorio* cuentan con agua de buena calidad para riego. *Atizapa* es un canal largo, y se puede ver a lo largo de su cauce una gran diversidad de condiciones microbiológicas a pesar de que los puntos de muestreo están a 750 m de distancia (Figura. 18).

En ésta figura pueden observarse en color verde los sitios de canal que se encuentran dentro de la NOM-001-SEMARNAT-1996, mientras que en color rojo se pueden ver a los sitios que se encuentran por arriba de la norma hasta diez veces por encima de éste límite (1000 UFC/100 mL). En color morado se ven aquellos sitios que están al menos diez veces o más por encima de la norma. Los sitios señalados son aquellos que a pesar de estar dentro de la NOM-001-SEMARNAT-1996 presentan contaminación de tipo fecal pero de estreptococos fecales u otras bacterias diez veces por encima de los límites recomendados. En éste caso, el sitio de canal contaminado por encima de los límites recomendados por Gerba (2000) es *Atizapa 2*, donde se observa contaminación fecal de origen animal.



Figura 18 Calidad microbiológica de la zona de canales en Xochimilco. Secas 2001

Hay tres sitios de muestreo sobre el canal *Chicoco 1, 2 y 3* que en ambas estaciones se encuentra contaminado diez veces por encima de la NOM-001-SEMARNAT-1996 a comparación de la estación de secas que la precede y por las recomendaciones de

Gerba (2000). Los canales de *Huexocoapa*, *Apatlaco* y *San Gregorio* mejoran notablemente su calidad del agua. Puede deberse a la cercanía que tienen con los vasos reguladores (Figura 19).



Figura 19 Infraestructura hidráulica de la delegación Xochimilco y calidad microbiológica del agua durante la estación de secas 2001

De manera similar que en la época de lluvias 2000, no existe un cambio en la distribución espacial de contaminantes, pero si disminuyó la cantidad de sitios que se encontraban dentro de la NOM-001-SEMARNAT-1996 en la zona norte, dedicada a la chinampería, aunque sólo un sitio que está en norma tiene mala calidad si se toman en cuenta a los estreptococos fecales u otras bacterias. Así, en esta temporada, la zona norte tuvo en general más sitios con buena calidad. También aumentó el número de bacterias contadas en la zona urbana. (Figura 20) Se puede observar en la Figura 21 que esta vez la contaminación fecal alcanzó sitios de canal ubicados al norte de *Huexocoapa*, y al este de la *Draga*, con excepción de los sitios de muestreo cercanos a

los vasos reguladores que son *Laguna de Tiilac* y *Atizapa I, II y III* al noreste

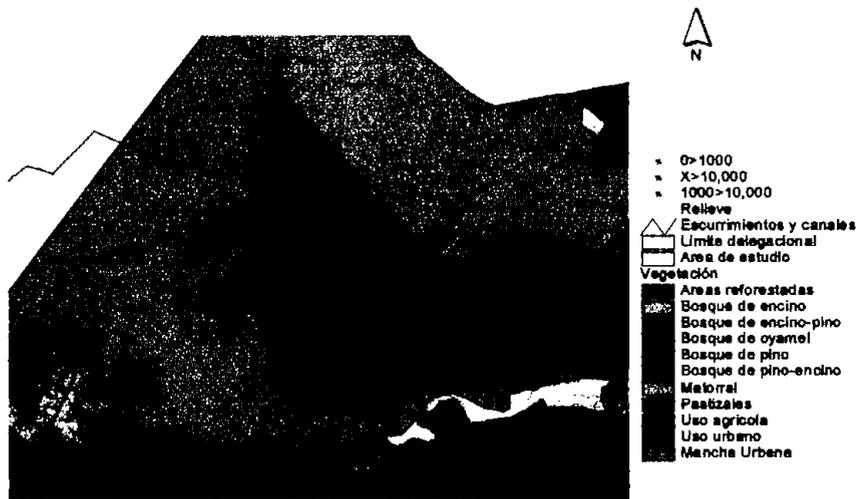


Figura 20 Ambiente físico y calidad del agua en los canales de Xochimilco en la estación seca 2001 .



Figura 21. Mancha Urbana y Calidad microbiológica del agua en secas 2001

## Secas 2002

En la estación de secas 2002 se realizó un muestreo de diez sitios, de los cuales seis resultaron dentro de la NOM-001- SEMARNAT-1996 (<1000 UFC/100mL de Coliformes totales y fecales). Al considerar las recomendaciones de Gerba (2000) para determinar la calidad del agua (<1000 UFC/100mL de estreptococos fecales y otras bacterias) coinciden con todos los sitios que se encuentran dentro de la NOM-001-SEMARNAT-1996. (Figura 22). Sólo *la compuera* y *San Diego* presentan contaminación fecal de origen humano, diez veces por encima de lo establecido.



Figura 23. Calidad microbiológica del agua en la estación seca del 2002.

En la Figura 24 puede observarse cómo los sitios de muestreo afectados por la contaminación fecal en los canales se encuentran cercanos al sistema de drenaje primario, a los rebombes y sistemas de tratamiento, aunque no es atribuible exclusivamente a éstas obras, es recomendable atender la relación recíproca de la calidad del agua y la infraestructura hidráulica.

En el ambiente natural no es visible algún factor que modifique la calidad del agua (Figura. 25). Puede apreciarse en la Figura 26 cómo todos estos sitios de muestreo se encuentran dentro de la mancha urbana, principalmente en aquellos lugares donde la densidad de población es más alta.

Puede observarse la misma tendencia de distribución de sitios con contaminación y sitios dentro de norma en ambas zonas de los canales.



Figura 24. Infraestructura hidráulica y calidad del agua en los canales de Xochimilco en la estación secas 2002.

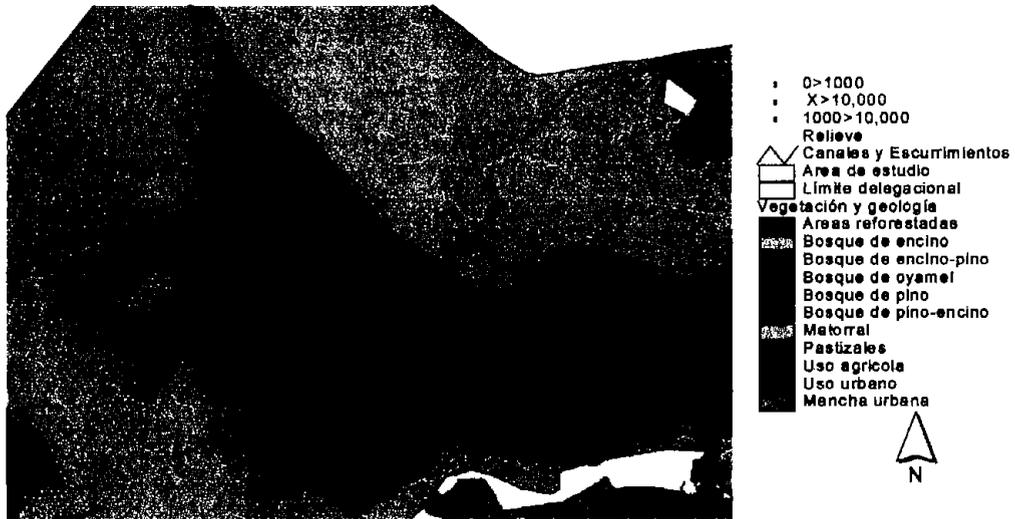


Figura 25. Ambiente natural y calidad microbiológica del agua en los canales de Xochimilco en secas 2002



Figura 26. Mancha Urbana y calidad microbiológica de los canales de Xochimilco, secas 2002

## Lluvias 2002

En la época de lluvias 2002, 5/10 sitios de canal muestreados se encuentran dentro de la NOM-001-SEMARNAT-1996 (<1000 UFC/100mL de bacterias coliformes totales y fecales). Al considerar los otros parámetros recomendados por Gerba (2000) (<1000 UFC/100mL de estreptococos fecales y otras bacterias), tres de estos muestran agua de buena calidad: *Miramar*, *Puente de Urrutia* y *Japón*. No obstante, aquellos dos sitios que rebasan estos límites, no superan por diez veces éstas recomendaciones. Bajo estos dos criterios en conjunto, *Apatlaco* y *la laguna de Tlilac* se encontraron contaminados diez veces por encima de estas recomendaciones (Figura. 27). Sólo *Miramar* y *la Draga* presentaron contaminación fecal de origen humano, y la mayor contaminación se encontró en *La Draga*, *La Santísima* y *Trancatitla*.



Figura 27 Calidad microbiológica de los canales de Xochimilco en lluvias 2002

En la salida de la planta de tratamiento del Cerro de la Estrella puede observarse una diferencia notoria entre las cuentas bacterianas en la estación seca y en la estación de lluvias. En ésta última, la calidad del agua está muy por debajo de los requerimientos, ya que se hallaron cuentas bacterianas de  $2 \times 10^4$  en comparación con la estación seca

en la que todos los parámetros microbiológicos utilizados se encuentran dentro de las recomendaciones (Ver Tablas 3 y 4).

Los análisis espaciales se muestran en las figuras 28, 29 y 30.

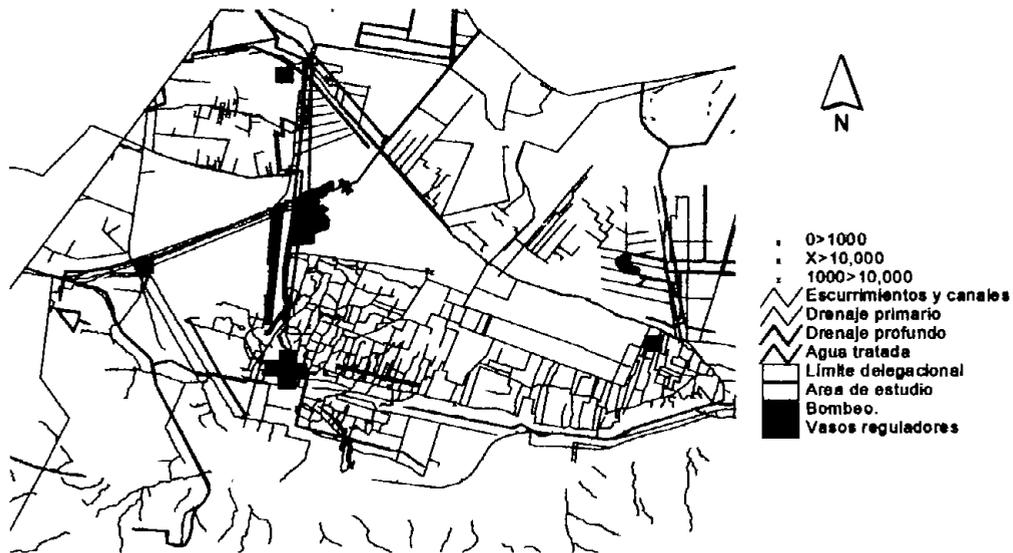


Figura 28. Infraestructura hidráulica y calidad microbiológica de los canales de Xochimilco en la estación lluvias 2002.

Nuevamente, puede observarse que los vasos reguladores contribuyen a que los sitios de muestreo que se encuentran cercanos a la mancha urbana mejoren su calidad.

Esto contrasta con los resultados del sitio de muestreo *Cerca de la Draga* pues es una salida de agua proveniente de la planta de tratamiento del Cerro de la Estrella, que se localiza cercana a un área de baja densidad de población. Acerca de éstos resultados puede decirse, por lo pronto, que el manejo de la infraestructura hidráulica de la delegación puede tener un papel preponderante en el mantenimiento de la calidad del agua, aunque aún sean necesarios más estudios para poder sostenerlo con toda seguridad. Sin embargo su localización espacial al centro oeste (salida de planta de

tratamiento) y noroeste (vasos reguladores) de la zona de canales puede aminorar la tendencia de los contaminantes a moverse hacia la zona chinampera que se encuentra principalmente al norte y al este.

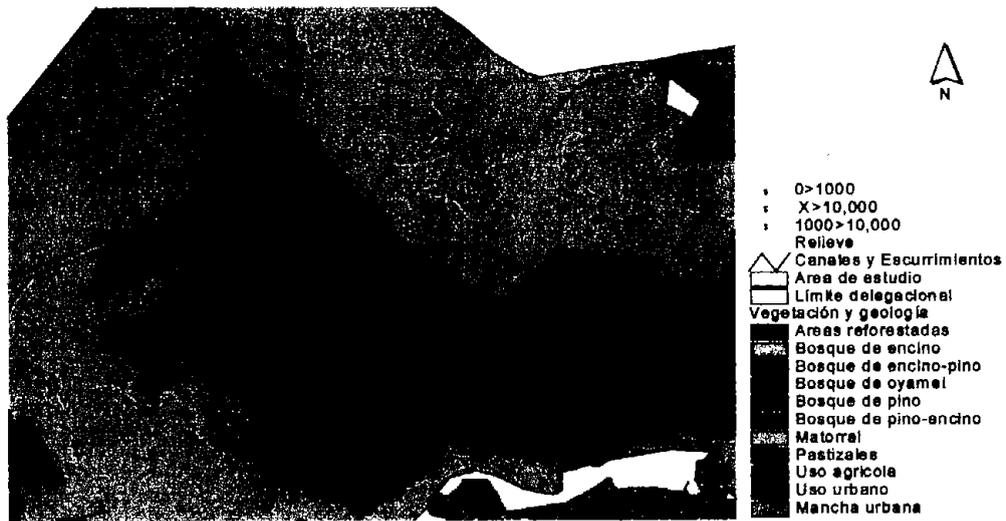


Figura 29. Ambiente Natural y calidad microbiológica de los canales de Xochimilco en la estación de lluvias 2002



Figura 30. Mancha urbana y calidad microbiológica de los sitios de canal en la estación lluvias 2002

Respecto al ambiente natural, éstos resultados siguen siendo consistentes con lo ya discutido en las secciones dedicadas a las otras temporadas de muestreo.

## **Agua Subterránea**

### **Relación con el agua subterránea de la ZMCM**

En el caso de la Ciudad de México, la mayor parte del agua utilizada en la industria, la agricultura y para uso doméstico proviene de los sistemas de acuíferos de ZMCM (Soto *et al.*, 2000).

Se estima que el caudal medio con el que se abasteció a la ZMCM en 1996 fue de 63 m<sup>3</sup>/s (Mazari, *et al.*, 1996) y ha aumentado, ya que en el año 2000 se calculaba un caudal de 67 m<sup>3</sup>/s (Merino, 2000); los pozos dentro de la ZMCM suministran el 71% del caudal total (Merino, 2000) De la subcuenca Chalco-Xochimilco se extraían en 1996 aproximadamente 31 m<sup>3</sup>/s (Mazari *et al.*, 1996) que equivale aproximadamente al 50% del agua subterránea. De ésta manera, las fuentes externas son los sistemas Lerma y Cutzamala que en conjunto envían el 29% restante (Merino, 2000).

Se reporta que el 98% de las viviendas del Distrito Federal y 92% de las correspondientes a los municipios conurbados disponían de agua entubada, sin embargo, mejoraría el servicio si se evitaran las pérdidas del agua por fugas y desperdicio que representan 27 m<sup>3</sup>/s, que asciende al 40% del caudal suministrado (Merino, 2000).

Aún cuando los cálculos del volumen de la recarga de los acuíferos suelen ser inexactos (Custodio, 2002), si se considera que la recarga en los suelos arcillosos urbanizados disminuye hasta el 50%, puede entonces estimarse que la recarga de la ZMCM en 12 m<sup>3</sup>/s contra un volumen de extracción de 67 m<sup>3</sup>/s (Merino, 2000).

Si el consumo promedio de agua por habitante por día asciende a 300 litros por día, la capacidad real de abastecimiento de la cuenca es de 8.45 millones de personas, cifra que fue alcanzada desde 1964 (Ramírez Sama, 1990). La demanda de agua para consumo humano en la cuenca es creciente y ha obligado a explotar el agua de cuencas vecinas, como la de Chalco-Xochimilco (Ramírez Sama, 1990; Mazari, *et al.*, 1996).

A pesar de que en términos hidrogeológicos estrictos no existe el término *sobreexplotación* (Carrillo *et al.*, 2000), se utiliza con frecuencia en lugar de *uso intensivo*. Sin embargo, se entiende que el uso inadecuado de éste recurso se refleja en el deterioro del agua para consumo humano y en la creciente dificultad para extraer agua de los

sistemas de agua subterránea. En la Ciudad de México la descarga de los acuíferos es mayor en velocidad y volumen que la recarga (Mazari *et al.* 1996), como consecuencia se han podido observar ciertos fenómenos hidrogeológicos, sociales y económicos asociados a la tasa con la que se extrae agua de los acuíferos (Mazari, 1990; Mazari, 1996; Crisantos com. pers. 2002).

Custodio (2000, 2003) afirma que es posible entender lo que es la sobreexplotación de acuíferos en casos como el de la Ciudad de México, ya que, además de no existir un balance entre el volumen de entrada y salida de agua de los sistemas de acuíferos, son visibles algunos síntomas como el incremento en los costos para extraer el agua, un descenso en los niveles piezométricos, hundimiento y disminución tanto en la cantidad como en la calidad del agua. Específicamente en el área de Xochimilco se ha registrado un descenso en los niveles piezométricos, además de ser una zona que está en un proceso de hundimiento y en la que se observa un incremento en los costos de extracción, todo esto como resultado de la intensidad de la extracción del agua (Mazari *et al.*, 1996; IEAC., 2002, Crisantos 2002, com pers.). Siguiendo éste esquema de explotación del agua subterránea puede esperarse que los cambios en la cantidad y la calidad del agua tendrá efectos sobre el medio ambiente, así como al funcionamiento de los sistemas de agua y paulatinamente las actividades humanas y funciones naturales relacionadas con ellos.

A pesar de que el acuífero en Xochimilco se encuentra protegido de los contaminantes en los canales por una capa de arcillas (Mooser, 1990), la barrera de arcillas que forma el acuitardo no es un sello absoluto (Mazari, 1992) pues los contaminantes siguen avanzando hacia el acuífero a través del acuitardo. Este proceso es lento; puede tardar más de 50 años que es el tiempo equivalente a dos generaciones (Durazo, 1996), pero debe considerarse que la calidad del agua de los canales de Xochimilco fue transformada en 1957, cuando se sustituyó el agua de los manantiales por agua proveniente de cauces de otros ríos, y por agua proveniente de plantas de tratamiento (Jiménez *et al.*, 1990).

La cantidad de agua que recargaba originalmente a los sistemas de agua subterránea y hoy en día se pierde en el uso de los cuerpos de agua superficial no puede ser cuantificada pero si estimada. Así, la explotación de los pozos en la zona de recarga ha provocado que desaparezcan los manantiales y los ojos de agua, así como hundimiento de terrenos lacustres dedicados a la chinampería (IEAC, 2002). Esto es solamente un

ejemplo en el que puede verse cómo la explotación del agua subterránea afecta también a los sistemas de agua superficial y a los sistemas terrestres.

Simultáneamente, el agua superficial, contaminada por fertilizantes y materia fecal, cercana a canales de desagüe y almacenamiento de aguas negras sin tratar, reposa sobre una capa de arcillas que poco a poco se encuentra perdiendo agua a raíz del bombeo. El riesgo asociado a ésta condición es que las arcillas pueden agrietarse conforme pierden hidratación, lo cual provocaría la entrada directa e inmediata del agua superficial contaminada a los estratos inferiores y por lo tanto el acuífero (Mazarí *et al.*, 1996; Mazari-Hiriart, 1992).

Los riesgos a la salud en cuanto al agua subterránea consisten en que los contaminantes y ciertos organismos patógenos pueden ingresar a las fuentes de agua para consumo humano por infiltración hacia los sistemas de agua subterránea (Mazari y Mackay 1993; Soto *et al.*, 2000) o deficiencias en los sistemas de distribución (Ezcurra y Sarukhán, 1990; LeChevallier, 2003), cercanos al drenaje en el caso del agua para consumo humano.

En México, la calidad del agua para uso y consumo humano se encuentra regulada por la NOM-127-SSA1 -1994 (DOF. 2000), en la que los parámetros con los que se evalúa al agua en el aspecto microbiológico son:

Ausencia o no-detección de organismos coliformes totales y

Ausencia o no-detección de *E. coli*, coliformes fecales u organismos termotolerantes

En éste caso se utilizaron a las bacterias coliformes fecales como parámetro de calidad microbiológica del agua.

Sin embargo, ésta Norma tiene un apartado en el cual pueden aceptarse otros grupos de bacterias en caso de emergencia. En éste estudio, se utilizaron al grupo de estreptococos fecales y otras bacterias (*Vibrio* y *Aeromonas*) como indicadores de calidad microbiológica del agua. De la misma manera que las bacterias en la NOM-127-SSA1-1994 el máximo permisible de UFC/100 mL es cero.

Los resultados a los que se llegó en el muestreo de pozos por año y por temporada se discuten a continuación:

## Lluvias 2000

Solamente uno de los siete pozos muestreados mostraba contaminación de tipo fecal de acuerdo con la NOM-127-SSA-1994. No obstante, al utilizar los otros parámetros bacterianos como estreptococos fecales y otras bacterias, otro pozo mostraba contaminación por otras bacterias.

En las figuras 31, 32 y 33 se muestran éstos pozos en cada uno de los ambientes estudiados.



Figura 31. Infraestructura hidráulica, hidrología y pozos muestreados durante la estación de lluvias del 2000

Al parecer no son los escurrimientos, el drenaje primario y drenaje profundo factores que contaminen el agua de los pozos de Xochimilco, ya que hay pozos cercanos al drenaje primario y al drenaje profundo que se encontraron libres de contaminación fecal. Además, el sitio que está fuera de norma no se encuentra cerca de ninguna obra hidráulica (Figura 31).

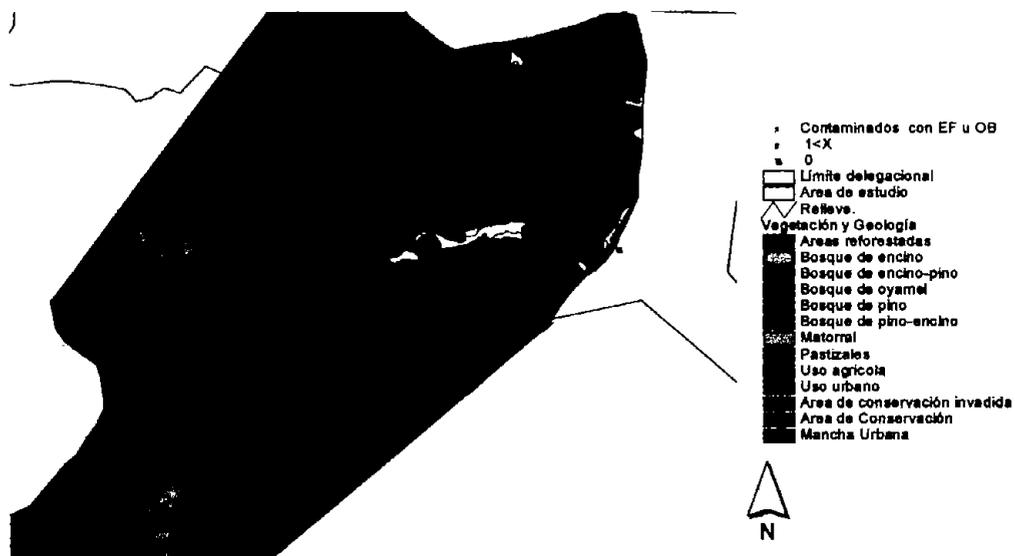


Figura 32. Tipos de vegetación, ambiente natural y pozos muestreados durante la estación de lluvias del 2000.

El pozo IP-5 presenta bacterias coliformes fecales, el pozo IP-SL5 al este de la delegación presenta contaminación por estreptococos fecales. Son pozos que se encuentra sobre lavas y tobas volcánicas por lo que tiene una conductividad hidráulica relativamente alta en comparación con los suelos de la zona lacustre(Figura 32). Ambos se encuentran sobre pastizales, sobre pendientes y también en dos zonas cercanas a la mancha urbana (Figura 33).

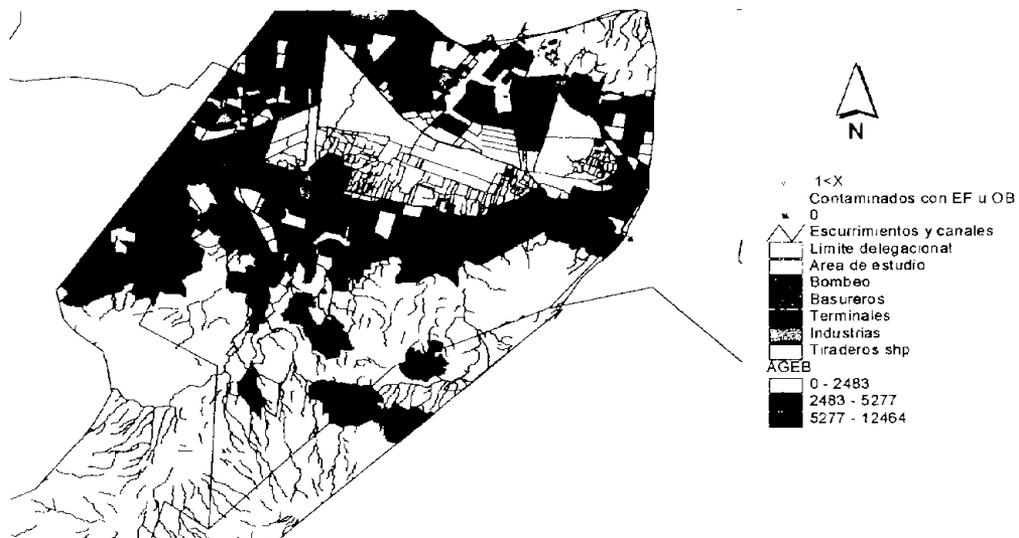


Figura 33. Población y pozos muestreados durante la estación de lluvias del 2000

#### Secas 2001

En la estación seca del año 2001 los resultados del muestreo son muy particulares, ya que cinco de los seis sitios muestreados cumplieron con lo estipulado en la norma, con excepción del Pozo IP.SL5-S, el cual, también se encontraba contaminado en la estación lluviosa del año 2000. No obstante, al observarse todas las pruebas microbiológicas en conjunto, solamente dos sitios de muestreo se encuentran libres de contaminación fecal. La contaminación que presentan los pozos es muy alta, ya que, si el máximo tolerado es 1 UFC/100mL; en ésta temporada se detectaron en los pozos hasta 81 UFC/100mL de estreptococos fecales principalmente. No se detectó contaminación microbiológica por otras bacterias como *Vibrio*, *Aeromonas*.o *Pseudomonas*

Los tres pozos que muestran contaminación fecal por estreptococos fecales son: S5, TUL 4 y TN1.

En las figuras 34, 35 y 36 se observan los sitios de muestreo localizados en distintos ambientes.



Figura 34. Infraestructura hidráulica, hidrología y pozos muestreados durante la estación seca del 2001.

El único pozo que podría estar relacionado con la contaminación proveniente del sistema de drenaje es TN1 al norte de la delegación (Figura 34) y el grupo de bacterias que presenta es el de estreptococos fecales. El pozo S5, al centro de la delegación, presenta contaminación por bacterias coliformes fecales y acaso pueda estar relacionado con la falta de drenaje en ésta zona o a escurrimientos pues se encuentra en una zona de pendientes (Figura. 35). Los pozos SL5 y TUL 4, al este de la delegación presentan condiciones similares a las del pozo S5 en cuanto al tipo de vegetación, al tipo de suelo que son lavas y tobas así como a las pendientes del terreno. El pozo TN1 se encuentra sobre depósitos lacustres y dentro de la mancha urbana (Figura 36) con una población alta, en una zona donde la extracción de pozos es intensiva, por lo que puede estar provocando una entrada de contaminantes al sistema de agua subterránea.

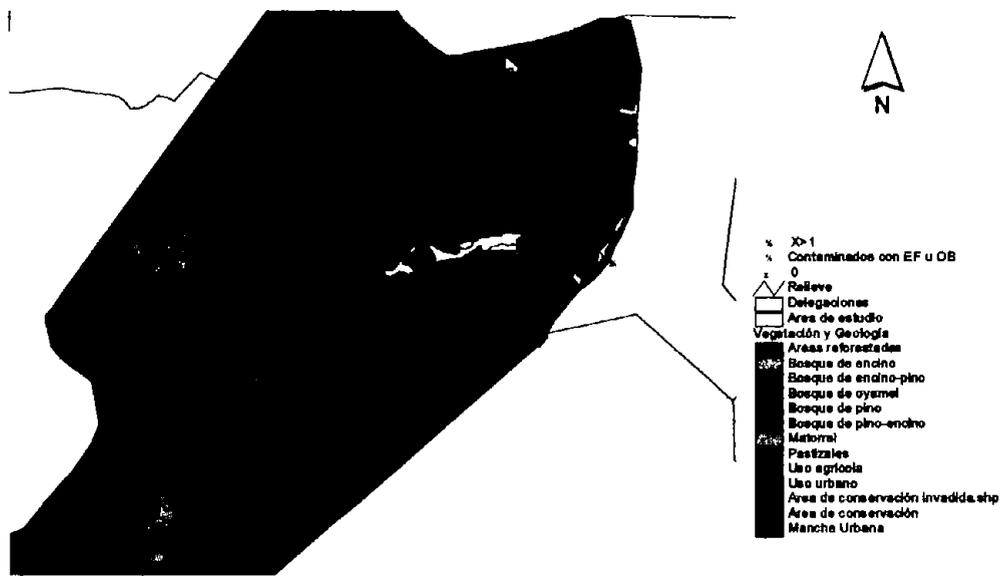


Figura 35. Vegetación, ambiente natural y pozos durante la estación secas 2001

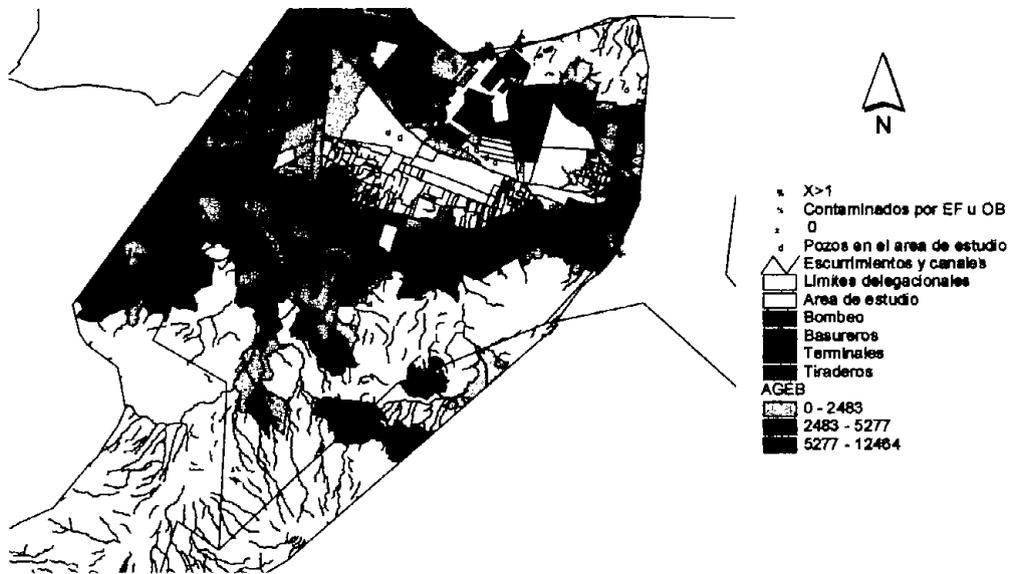


Figura 36. Población y pozos de la delegación Xochimilco muestreados en secas 2001

### Secas 2002

Durante la estación seca del año 2002, seis de diez pozos muestreados cumplían con la NOM-127-SSA1-1994. Aunque dos de aquellos que se encontraban contaminados superaban las 200 UFC/100 mL cuando el límite es una UFC/100 mL de coliformes totales o coliformes fecales, registrándose en ésta estación la contaminación más alta durante los dos ciclo anuales. Si se considera al grupo de estreptococos fecales y otras bacterias, siete sitios se encuentran contaminados por microorganismos de origen fecal. Así, solamente dos pozos cuentan con calidad de agua para consumo humano. Estos pozos son San Luis 12 y Reclusorio Sur 2. El único pozo con contaminación fecal humana es S2.



Figura 37. Muestreo de Pozos en la estación seca del 2002. Ambiente Hidráulico.

La franja de pozos al centro de la delegación se encuentran contaminados, ya sea por bacterias coliformes o por estreptococos fecales. Solamente dos pozos se encuentran en norma y se encuentran muy cerca de pozos contaminados. Noria 6 que se encuentra contaminado está muy cerca del pozo Reclusorio Sur S2 el cual está libre de contaminación fecal al menos en las épocas de muestreo, y San Lucas que se encuentra contaminado por estreptococos fecales se encuentra muy cerca en el San Luis 19.

Los pozos de San Gregorio Atlapulco y Noria 4 se encuentran cercanos a las redes de drenaje y su contaminación de tipo fecal puede estar relacionada con ellos (Figura. 37).

Todos los pozos se encuentran en zonas con pendientes, y reciben aporte de los escurrimientos superficiales. Aunque la mayoría se encuentran contaminados por bacterias de origen fecal, dos de ellos son la excepción, por lo que las pendientes pueden ser un factor que facilite la infiltración de contaminantes, especialmente en la zona de pie de monte, que es la zona de transición y corresponde a suelo constituido por depósitos aluviales. Figuras 38 y 39

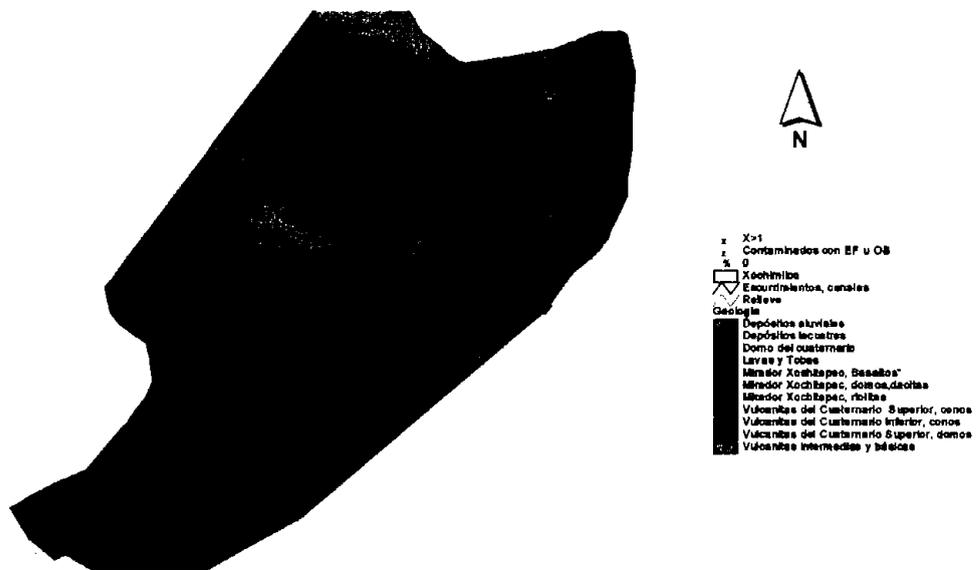


Figura 38. Geología, Relieve y pozos muestreados durante la estación secas 2002

En la figura 39 se ve cómo el tipo de vegetación actual no es un factor que haga diferencias en la calidad del agua entre los pozos, sin embargo, puede que el cambio del uso de suelo a pastizales o uso urbano también sea un factor que haya influido en ellos de forma negativa, acelerando el proceso de generación e infiltración de contaminantes. Las diferencias en el suelo que son lavas y tobas en las pendientes del sur y depósitos aluviales o lacustres con distintas conductividades hidráulicas en las planicies tengan un efecto en la velocidad de infiltración de los contaminantes en la zona de transición.

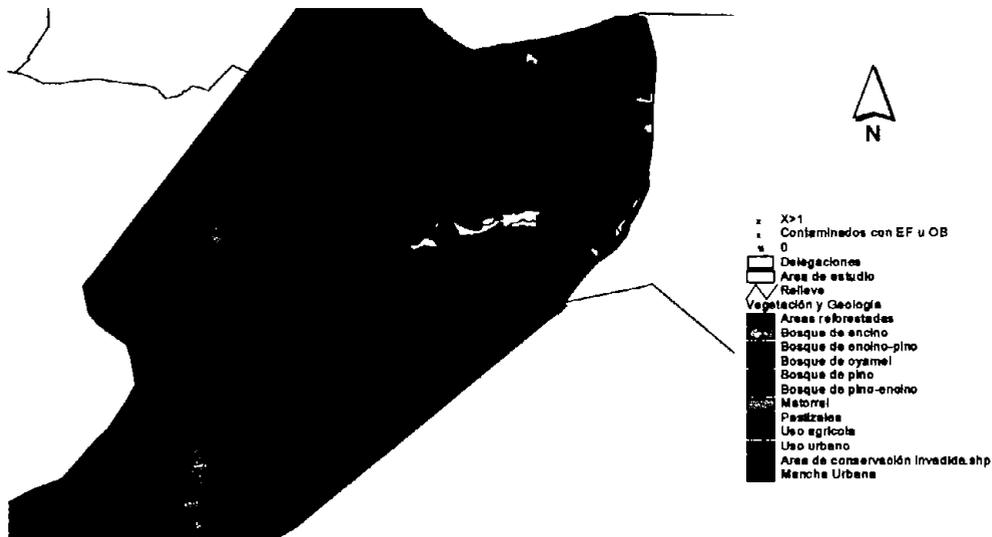


Figura 39. muestreo de pozos durante la estación de secas 2002. Ambiente natural

En la figura 40 puede observarse cómo la mancha urbana influye en la calidad del agua, ya que todos los sitios de muestreo se encuentran en lugares poblados.

No hay fuentes de contaminación como basureros, industrias o tiraderos o gasolineras cercanas a los pozos o sobre los cauces de los escurrimientos que sean evidentes en éste caso. No obstante, en las partes altas, la mancha urbana carece de drenaje y también puede afectar la calidad del agua de los pozos que se encuentran más cerca de las planicies.

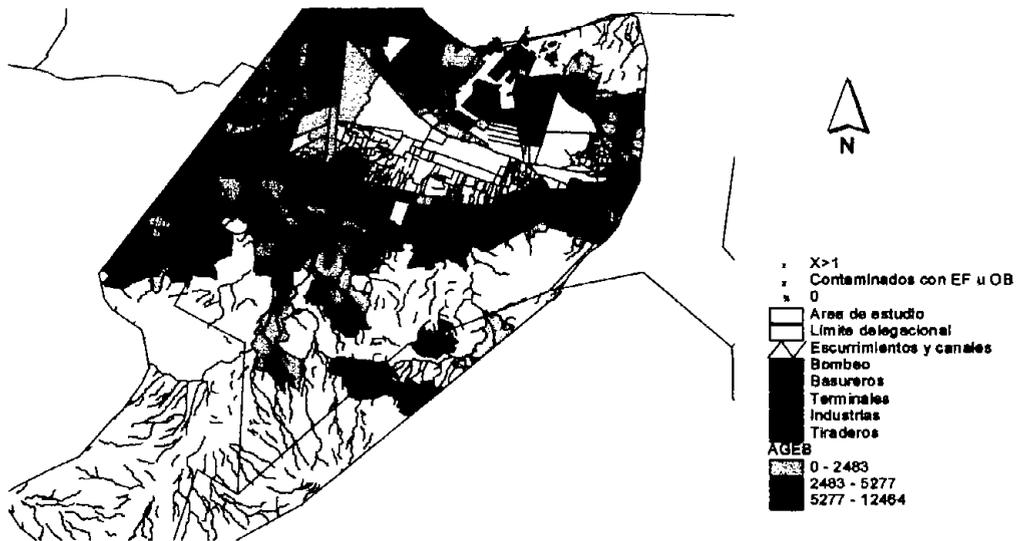


Figura 40. Población, fuentes contaminantes y pozos muestreados durante la estación secas 2002

A pesar de que la mayoría de los pozos muestreados en ésta estación se encuentran contaminados, no pueden hablarse de una tendencia general evidente para todos los casos, pero puede pensarse que el tipo de formación geológica y las características de los suelos jueguen un papel preponderante en la calidad del agua subterránea.

#### *Lluvias 2002*

Durante ésta estación, los pozos que se encontraron fuera de la NOM-197-SSA1-1994 también se encontraron contaminados por estreptococos fecales y otras bacterias. No obstante, cinco pozos más que se encontraban en norma mostraron contaminación por estreptococos y otras bacterias en grandes cantidades, ya que, si el criterio utilizado en éste trabajo para agua subterránea es 1 UFC/100mL de cualquiera de las bacterias utilizadas como máximo permisible, en éstos casos, se detectaron más de 200 UFC/100mL en tres muestras.

Los pozos que mostraron tener agua de buena calidad fueron S6, La Noria 6 y S1.

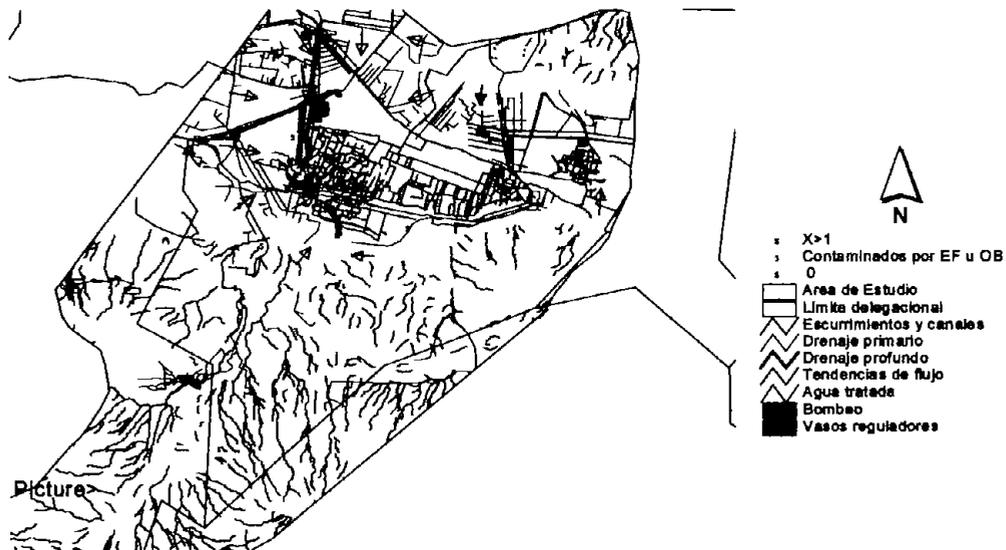


Figura 41. Infraestructura hidráulica, hidrología y pozos muestreados durante la estación de lluvias 2002

Otra vez, los pozos muestreados se encuentran en la parte central de Xochimilco. Ésta vez, puede observarse que en época de lluvias, los pozos en el centro de la delegación mejoran su calidad, mientras que al este y oeste de la delegación presentan mala calidad. En ésta estación la contaminación por estreptococos fecales es la más importante, ya que están presentes en todos los pozos contaminados y en cantidades mayores que el resto de las bacterias. Los pozos con mejor calidad del agua se encuentran también en los cauces de los escurrimientos de las partes altas al sur y al centro de la delegación (Figura 41) y al este de la delegación el pozo S6 que se encuentra en un área de conservación ya invadida por la mancha urbana (Figura 42). Sin embargo éste pozo se encuentra debajo de los cauces de lo que queda de un bosque de encinos.

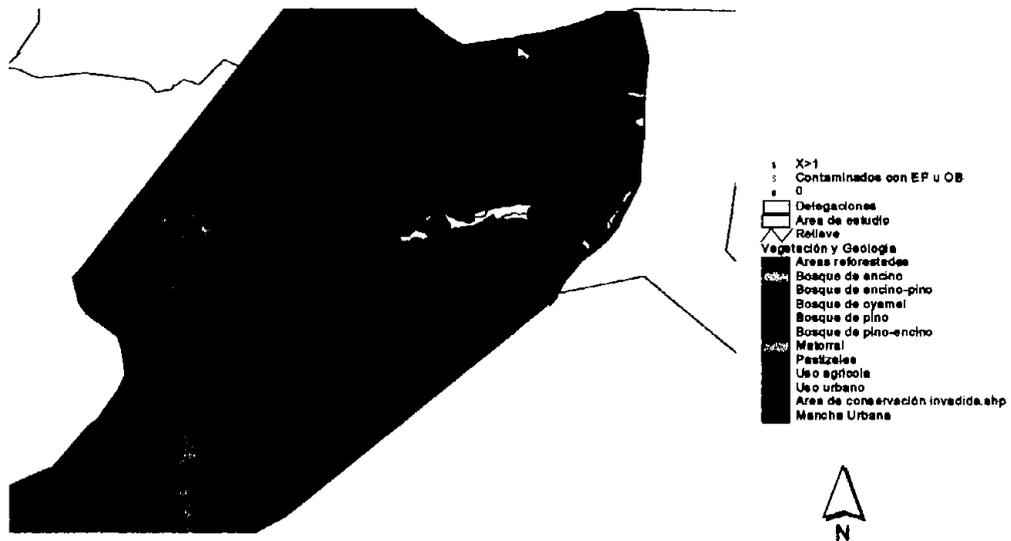


Figura 42. Vegetación, ambiente natural y pozos muestreados durante la estación lluvias 2002

Todos los pozos se encuentran en las pendientes excepto Noria 2, Nativitas 2 y San Luis 17. Si se encuentran en las planicies, el tipo de suelo son depósitos aluviales o lacustres, es decir, en la zona de transición; el resto de los pozos muestreados se encuentran sobre suelos conformados por lavas y tobas. Sólo el pozo S7 se encuentra debajo de un bosque de pino encino. El resto de los pozos se encuentran en pastizales, en zonas de uso agrícola o dentro de la mancha urbana.

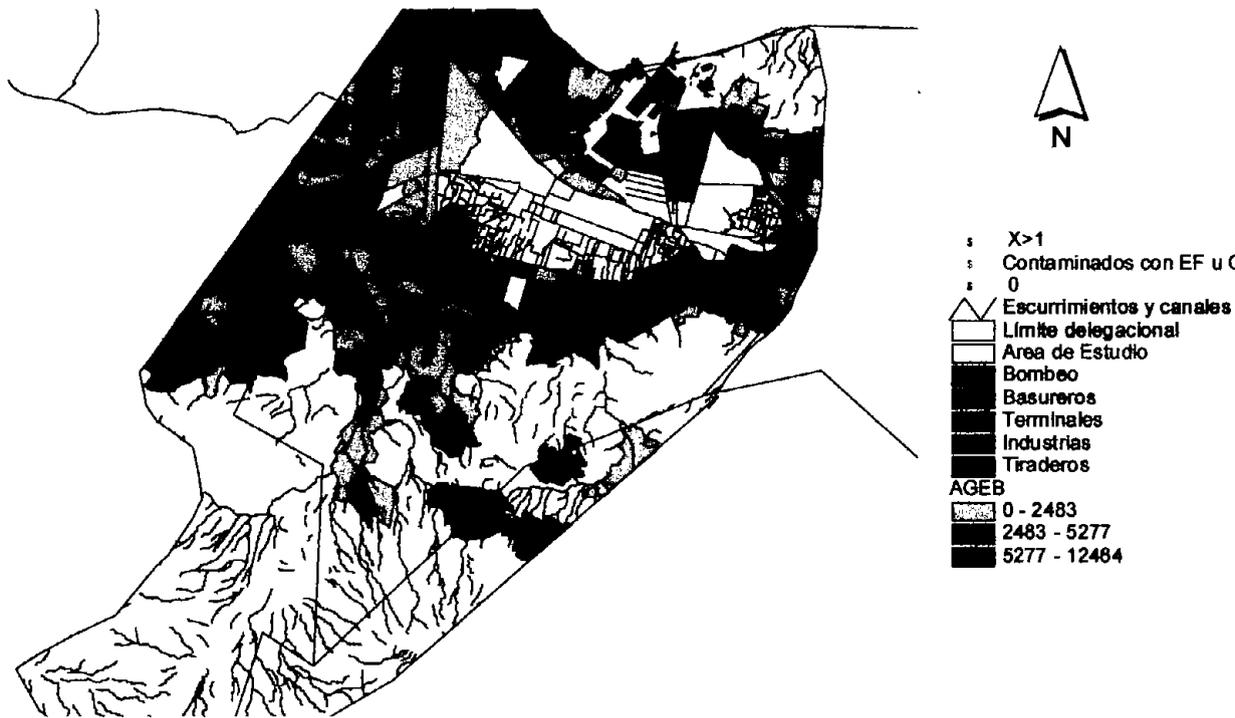


Figura 43. Pozos muestreados durante la estación lluviosa del 2002. Ambiente Urbano.

En la figura 43 puede observarse que los pozos reclusorio sur 1 y noria 6 se encuentran al centro de la delegación, en zonas donde la población es baja, además los aportes de agua de los escurrimientos provienen del suroeste y corren hacia el noroeste. Este terreno no está invadido de la mancha urbana, salvo en las partes altas, pero al menos cuentan con un sistema de drenaje primario.

## 7. DISCUSIÓN

### *Metodología*

Se eligió hacer un estudio espacial sobre la calidad microbiológica del agua en Xochimilco, ya que es necesario comprender la dinámica del sistema, integrando la información de variables ambientales. Se prefirió hacer un análisis espacial ya que los datos que se utilizaron para este estudio provienen de diversos trabajos sobre el agua subterránea y superficial de la delegación, lo cual complicó el realizar un estudio estadístico sobre la calidad del agua en Xochimilco, ya que los datos en conjunto no cumplen con supuestos que hicieran válidas las pruebas de hipótesis iniciales. Así pues, los datos obtenidos tienen distintos números de muestra en las dos temporadas de los dos años en agua superficial y en agua subterránea. Son los mismos sitios de muestreo durante las temporadas de lluvias y de secas en los años 2000 y 2001, mientras que son distintos sitios de muestreo en la temporada de secas y de lluvias el año 2002. Además, no hay datos en la estación lluviosa del 2001, lo cual interrumpe la continuidad de los muestreos. Por otra parte, la recolección y análisis de muestras fue realizado por distintas personas en el periodo 2000 – 2001, mientras que fueron hechos por la misma persona durante el año 2002. Esto último tiene un efecto claro en la obtención de los datos de microbiología. Es común ver en los resultados que las cuentas de bacterias en las coliformes fecales son mayores que en las coliformes totales, aunque se esperaría que fuera a la inversa, pues el grupo de coliformes fecales se encuentra contenido dentro del grupo de las coliformes totales. Entonces, ¿cómo es que en la misma muestra las cuentas del grupo de coliformes fecales sean mayores que el de coliformes totales? Pueda ser aleatorio, pero en otros casos (Ver *San Gregorio, Xaltocan, Santísima, Cerca de la Draga* en tabla 7, 8, 9 y 10 ) pueda deberse al factor de dilución de la muestra. En el caso de las muestras muy contaminadas ( $>1 \times 10^5$  UFC/100 mL) se observa que el crecimiento de coliformes totales no sucede en diluciones menores a 1/10 000. En los medios de cultivo, puede observarse crecimiento de bacterias, mas no de coliformes totales específicamente, las cuales se distinguen por ser color dorado en el medio utilizado (M-Endo). Así pues, en éstas muestras hay un alto contenido de bacterias coliformes totales que no son evidentes sino en mayores diluciones, ya que el resto de las bacterias presentes en la muestra desplazan a las coliformes totales, con lo que, en ocasiones pueden indicar equivocadamente que un sitio se encuentra libre de contaminación fecal, aunque la calidad del agua sea deficiente. Ante este hecho, es

posible que muchas muestras de canales del 2000 – 2001 y 2002 puedan ser falsos negativos.

Esto obliga a cuestionar la validez de la aplicación exclusiva de la NOM-001-SEMARNAT-1996 como criterio de contaminación de origen fecal si es utilizada en agua para riego agrícola pues fácilmente puede subestimarse su impacto en la salud humana; es posible que los estudios rutinarios de calidad del agua sean realizados, analizados e interpretados por distintas personas, lo cual implica un sesgo en la información que se obtenga y un mayor riesgo de propagar enfermedades en la población.

Así, los otros grupos de bacterias usadas como indicadores (*Streptococos fecales* y Otras bacterias como *Vibrio* y *Aeromonas*) confirman la presencia de contaminación de tipo fecal, amplían el espectro de patógenos que pueden encontrarse y deben detectarse en el agua. En el caso de éste estudio, el uso de éstos dos indicadores fue decisivo para determinar sitios de muestreo con mala calidad del agua aun cuando en éstos sitios el agua se encontrara dentro de los parámetros establecidos por la norma.

#### *Análisis Espacial*

A pesar de que se aplicó el coeficiente CF/EF en muestras ambientales en las que la contaminación microbiológica no tiene necesariamente una antigüedad de 24 horas, fue posible observar alguna tendencia en la distribución de los contaminantes con respecto a las fuentes de contaminación.

Puede observarse en los muestreos del 2000 y 2001 que en la zona norte, dedicada a la ganadería y al cultivo de las chinampas se encuentra contaminado principalmente por desechos de origen animal, con excepción de la *Laguna de Tlilac* que es una laguna en la que desembocan varios canales. Al sur, puede verse que la contaminación es de origen humano, aunque en localidades como *Zacapa*, *Ayac*, *Escalantes* haya predominantemente contaminación de origen animal. Es precisamente en éstas localidades donde se registró la mayor contaminación en los canales y también son localidades donde son muy notorios los cambios en el origen de los contaminantes dependiendo de la temporada de lluvias o de secas.

En el 2002 puede verse claramente que las localidades del norte, en lluvias y en secas tienen contaminación de origen animal principalmente, y de origen humano al sur.

En efecto, la contaminación fecal animal se encuentra al norte de la zona de canales, mientras que la mayor contaminación de tipo humano se encuentra en el sur. Los sitios de

canal cuyas fuentes contaminantes aportan mayor cantidad de bacterias fecales son a su vez, las que mayor variabilidad aportan al sistema.

Puede también observarse que la contaminación que llega a los canales no solo proviene de los asentamientos sobre las chinampas, sino también de ríos superficiales que provienen de los cerros en el sur; ya que muchos de éstos ríos superficiales coinciden con el cauce del drenaje.

Al llevar a cabo el análisis espacial de los datos de microbiología, fue posible observar una serie de condiciones que separan al sistema de pozos del sistema de canales. Pudo observarse que los pozos muestreados se encuentran al sur de la delegación, en donde el terreno se encuentra elevado con respecto al nivel de los canales, así pues, los escurrimientos y el flujo de agua superficial y subterránea tienen dirección sur-norte. Se esperaba evaluar cómo el agua de los canales influía en la calidad del agua de los pozos, tomando en cuenta el tiempo de infiltración de los contaminantes hacia el acuífero en el sistema de canales, el hundimiento del terreno por la extracción de pozos y la posible fractura de las arcillas en la zona de canales. Gracias al análisis espacial, fue muy claro que la extracción de pozos en la zona sur no influye en el hundimiento de la zona de canales y que no hay relación en la calidad del agua de los pozos en el sur con la calidad del agua de los canales, ni la habrá, pues el vector del flujo subterráneo no puede invertir su dirección hacia arriba de las montañas. Así pues, se pudo observar que la calidad del agua de los pozos depende fundamentalmente de las fuentes contaminantes por las que pasa el agua previamente a los pozos en la zona sur (figura 44)

Además se pudo observar cómo las baterías de pozos al norte de la delegación son las que influyen sobre el hundimiento en la zona de San Gregorio y San Luis en Xochimilco por la extracción intensiva y son los pozos que son más propensos a contaminarse si se fracturaran las arcillas del sistema de canales. Es entonces la zona norte de la delegación Xochimilco, Iztapalapa y Coyoacán donde hay un mayor riesgo de contaminación del acuífero (Fig. 44).

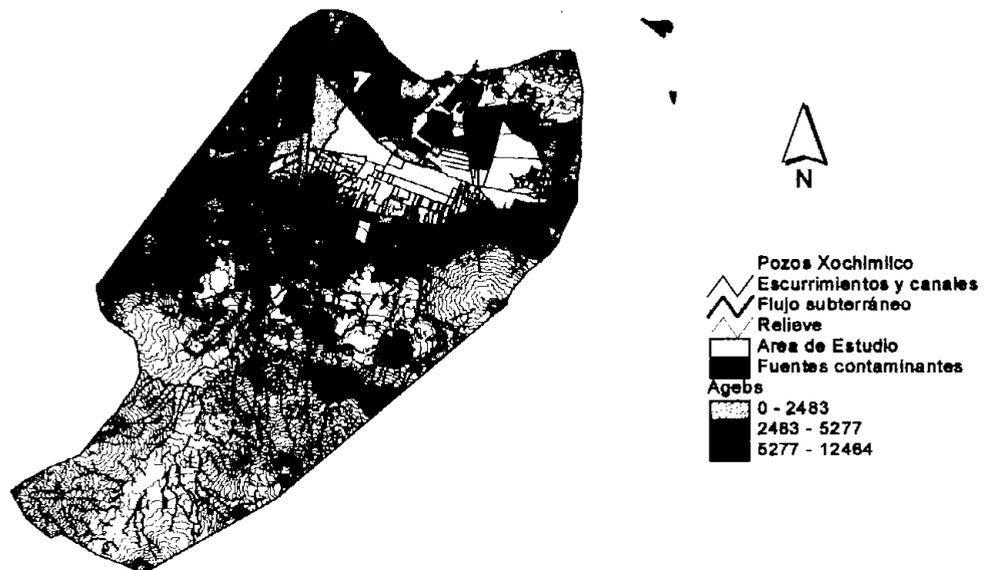


Figura 44. Relieve, flujo superficial y subterráneo, Baterías de pozos y mancha urbana de la del. Xochimilco.

#### *Fuentes Contaminantes y temporalidad*

En general, en la zona de canales, puede verse que los factores más importantes que provocan contaminación son aquellos relacionados a la mancha urbana y a la densidad de población. La mancha urbana ha superado la capacidad de carga del sistema de drenaje en las zonas cercanas a los canales en el sur y aportan la mayor cantidad de bacterias. Aún cuando la contaminación es predominantemente humana según el coeficiente CT/EF, puede allí encontrarse que la contaminación por estreptococos fecales es mayor que en la zona ganadera, lo cual implica que las cargas bacterianas son muy altas y que también hay un aporte de desechos de origen animal (Sandoval, 2002). Es importante destacar el papel de la infraestructura hidráulica de la delegación, ya que pudo detectarse en la salida de agua de planta de tratamiento de *San Gregorio* una alta concentración de bacterias en una temporada, mientras que en otra, el agua se

encontraba en buenas condiciones para ser utilizada en el riego agrícola. Otras obras importantes son los vasos reguladores, alrededor de los cuales se puede observar una mejoría en la calidad del agua. No fue posible observar cambios en la calidad del agua por la influencia de los pozos, rebombes o sistemas de tratamiento, aunque es importante revisar el funcionamiento de éstas obras, pues se encuentran en zonas que muestran una alta contaminación, y donde pueden ser susceptibles a redistribuir agua de baja calidad para uso doméstico.

En general, la gran variabilidad de factores ambientales provoca que haya distintas condiciones microbiológicas a lo largo de la red de sitios de muestreo. Principalmente, es el crecimiento de la mancha urbana lo que afecta la calidad del agua, más, conviene no descartar la combinación que tiene con otras variables.

Es obvio que las fuentes de contaminación son no puntuales, más no es tan obvio cuan específicas son para un área en particular en un momento en particular. Esto puede verse en los cambios estacionales de *Chicoco 1, 2 y 3* que se encontraron con agua de buena calidad para riego en una temporada (lluvias 2000) mientras que a la siguiente temporada se encontraron más de diez veces por arriba de los límites establecidos (secas 2001). Por otra parte, el canal de *Atizapa* mostró diferente calidad del agua en tramos de canal que se encontraban a 250 metros de distancia. De esta manera podríamos pensar en promover algún manejo en zonas estratégicas.

Si las condiciones que impone la cercanía de la mancha urbana son permanentes, siempre encontraremos una concentración alta de bacterias en éste lugar. Ya se discutió cómo hubo un cambio estacional respecto al origen de la contaminación, pero ¿podría un plan de manejo en ésta zona amortiguar el deterioro de la calidad del agua en los canales- si se pudiera realmente aplicar?

En el caso de los pozos, el origen de contaminación microbiología puede provenir de las fuentes contaminantes que atraviesan y arrastran los cauces superficiales o subsuperficiales antes de llegar a la zona de canales, si es así, la extracción de los pozos en la zona sur es de agua recientemente infiltrada, y no de las reservas de agua subterránea.

Por ello, la contaminación fecal que se detecta en los pozos probablemente no provenga del acuífero sino que sea reciente, pues hay grandes variaciones en la calidad del agua en los ciclos de lluvias y secas, así como varía la calidad del agua en pozos cercanos (200 m). Esto es posible ya que debido a la intensidad y al tiempo que éstos pozos han estado operando han formado conos de depresión que invierten la presión de los fluidos alrededor del pozo y se reintegren rápidamente al volumen de descarga.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los sistemas de agua superficial y subterránea en Xochimilco tienen una relación en su funcionamiento que se ha transformado con el tiempo. Para entender la dinámica entre éstos dos sistemas ante los cambios hidrológicos, naturales y urbanos de la Cuenca de México y en particular Xochimilco, fue necesario delimitar una subcuenca dentro de la cual se pudieran observar éstas interacciones. La subcuenca propuesta es la unidad mínima que ha de considerarse para comprender los problemas ambientales relacionados con la calidad microbiológica del agua en ésta zona. Así, puede verse cómo los principales aportes de agua para el sistema de pozos y de canales se encuentra en la Sierra de Chichinautzin al sur, y cómo influye en la calidad del agua superficial y subterránea mediante el arrastre de contaminantes hacia la zona de pozos inicialmente, hacia la zona de canales y finalmente hacia las baterías de pozos al norte de la delegación.

Puede verse que la calidad del agua en Xochimilco está íntimamente ligado a la ubicación de la mancha urbana y a la distribución de la población y sus actividades, así como a la dirección del flujo superficial y subterráneo.

La zona de canales recibe contaminantes microbiológicos directamente de los asentamientos humanos, regulares o irregulares, como de aportes de agua provenientes de las plantas de tratamiento, especialmente en la zona sur, que es la más alta, por lo que puede esperarse que influya en un futuro de manera negativa sobre la conservación del agua de mejor calidad en la zona norte y este, que se encuentra más baja, actualmente en mejores condiciones y utilizadas como zonas agrícolas productivas.

En los pozos muestreados, puede observarse que la contaminación presente es reciente, ya que el comportamiento local y estacional corresponde a condiciones inmediatas, como la cercanía de fuentes contaminantes provenientes de las partes altas y a dilución de contaminantes, por lo que no puede conocerse la calidad del agua del acuífero por la calidad del agua proveniente de éstos pozos. En todo caso, la posibilidad de conocer las condiciones del acuífero dependerían de hacer muestreos en la batería de pozos al norte de la delegación, donde se extrae agua del acuífero.

A pesar de que la zona de canales se encuentre ubicada en zona lacustre, con una baja conductividad hidráulica, ( $1 \times 10^{-9}$  m/seg) podría tener influencia a la larga en la calidad del agua

subterránea. Esta influencia es o será relevante en la zona de pozos que están en las partes bajas, o sea en los límites de Xochimilco con las delegaciones Coyoacán e Iztapalapa, donde la extracción de pozos es intensiva y puede llegar a provocar cambios de presión, y como consecuencia infiltración y modificación de los patrones de flujo o fractura de las arcillas, riesgo que se corre dado el hundimiento en la zona chinampera de San Gregorio y San Luis.

Durante la época de lluvias del 2000 se observó un mayor número de sitios contaminados (32/42) que durante la estación seca del 2001 (24/42). En el año 2002, en la estación de secas, hubo menos lugares contaminados (5/10) que en la estación lluviosa (3/10). Pudo observarse que la calidad microbiológica del agua responde a la influencia de las variables inmediatas, ya sean temporales o espaciales, de forma que en cada sitio en particular, la calidad del agua responde a fuentes contaminantes particulares. En general, la mancha urbana y la falta de drenaje adecuado hace que sea constante la contaminación en la parte sur de la zona de canales. En contraste, existe la posibilidad de aminorar el efecto de la mancha urbana a través del uso y mejoramiento de las obras hidráulicas.

En cuanto a los pozos, con excepción de S5, SL5, Noria 4, Noria 5, S2 y San Luis 5, San Luis 17, San Luis 18, la calidad del agua según las normas fue buena pues no se encontraron coliformes totales o coliformes fecales, pero prácticamente todos los pozos tenían estreptococos fecales u otras bacterias en grandes cantidades en los muestreos del 2001 y 2002. La única estación en la que los pozos tenían buena calidad fue lluvias del 2000, aunque los mismos pozos fueron muestreados en la siguiente estación seca y se encontró una gran contaminación de estreptococos fecales.

Se observa que los parámetros microbiológicos incluidos en la NOM-001-SEMARNAT-1997 y en la NOM-127-SSA1-1996, son insuficientes para proteger a la población de enfermedades transmitidas por el agua así como son limitadas para aportar datos sobre problemas ambientales relacionados con la calidad microbiológica del agua.

Por último, las recomendaciones para aminorar el ritmo al que se está deteriorando ésta zona son: moderar la extracción de agua en los pozos del norte de la delegación, proponer estrategias para captar agua de buena calidad proveniente de la Sierra del Chichinautzin, especialmente en la zona de transición, limitar el crecimiento incontrolado de la mancha urbana en ésta zona, proveer de servicios a los habitantes que carecen de ellos. Evaluar, vigilar,

**mantener y modernizar los servicios y la infraestructura hidráulica en la delegación. Fomentar la agricultura tradicional en las chinampas, proteger la diversidad biológica en ésta zona e involucrar a la ciudadanía en la conservación de ésta zona.**

## Referencias

Anónimo, 1959. La Visión de los Vencidos, Relaciones indígenas de la Conquista, Miguel León Portilla Recopilador. Biblioteca del Estudiante Universitario, UNAM. 224 pp.

American Public Health Association (APHA), 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Water Works Association and Wastewater, Washington D.C. 20<sup>ed</sup>: 9060, 9222, 9230, 9260.

Ashbolt, N.J., Grabow, W.O.K. y Snozzi, M., 2001. Indicators of microbial water quality.. En: *Water Quality: Guidelines, Standards and Health*: WHO-IWA Publishing, London: 289-315.

Bazant, J., 2001. Periferias Urbanas: Expansión urbana incontrolada de bajos ingresos y su impacto en el medio ambiente, Ed. Trillas, México D.F., 268 pp.

Bellia, S., Cusimano, G., González, M., Rodríguez, C. R. y Giunta, G. 1992. El Valle de México, consideraciones preliminares sobre los riesgos geológicos y análisis hidrogeológico de la cuenca de Chalco. Instituto Italo-Latino Americano, Quaderni Iila, Seria Scienza, Roma, Italia; 96pp.

Bojórquez Castro, L. y Villa Rodriguez, F., 1990. El ecosistema lacustre: Xochimilco y el deterioro de las Chinampas. En: *Presente, Pasado y Futuro de las chinampas*, Rojas Rabiela, T. Coord. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social. México D. F.: 85-138.

Blumenthal U.J., Mara D.D., Peasey A., Ruiz Palacios G., y Stott R., 2000. Guidelines for microbial quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines. *Bull. World Health Org.* 78(9), pg 1104-1116.

Canabal Cristiani, B., Torres Lima, P. A., Burela Rueda, A., 1990, Xochimilco, espacio productivo y social. En: *Presente, pasado y futuro de las Chinampas*, Rojas Rabiela, T. Coord. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, México, D.F.:181-200.

Carrillo, J., Cardona, A., Hergt, T., Huizar-Álvarez, R., Serrano, G. A., Osorio-Veloz, M., 2000. Impacto Ambiental a la calidad del agua subterránea en la zona comprendida entre Santa Fé e Ixtapalapa, D.F.: En: [www.sma.df.gob.mx/publicaciones/otros/conserva2000/2000/agua01.htm](http://www.sma.df.gob.mx/publicaciones/otros/conserva2000/2000/agua01.htm)

Ceballos González G. y Galindo Leal C., 1984. Mamíferos silvestres de la Cuenca de México. Instituto de Ecología y Museo de Historia Natural de la Ciudad de México, Limusa. México D.F.:300

Cifuentes E., Suárez L., Solano M., y Santos R., 2002. Diarrheal Diseases in Children from a Water Reclamation Site in Mexico City. *Environ Health Persp.* 110(9):1-6.

Custodio, E. y Llamas, R.M., 2001. Intensive use of groundwater: introductory considerations. En: *Intensive Use of Groundwater, Challenges and Opportunities* Llamas R.M. y Custodio E. (Eds.) Balkema Publishers, Netherlands: 3-34.



Gasca Alvarez, S., 2002 Distribución de la Red de Drenaje primario y profundo del Distrito Federal, Tesis de Maestría del biólogo Sergio Gasca, Facultad de Ciencias; UNAM. 2002

Gerba, C. P., 2000. Indicator Microorganisms. En: *Environmental Microbiology*, Maier R.M., Pepper I.L., Gerba P.C. Ed. Academic Press, San Diego California: 491-502

Gilchrist, M. J.R., 1995. *Enterobacteriaceae: Opportunistic Pathogens and other Genera*. En: *Manual of Clinical Microbiology*. Murray P. R., Baron E. J., Tenover F. C., Tenover F. C., Tenover F. C., Tenover F. C., Ed. ASM Press, Washington, D. C., 6th ed. pg. 457-464

Gleick, P. H., 1993. An Introduction to global fresh water issues. En: *Water in Crisis, a guide to the World's Fresh Water Resources*, Peter H. Gleick (Ed.) Oxford University Press, 1st ed. Oxford, Reino Unido. pg. 3-12

Gobierno del Distrito Federal-Universidad Nacional Autónoma de México (GDF-UNAM), 2002. Informe técnico: Programa de Manejo Integral del Suelo. GDF, Secretaría del Medio Ambiente (SMA), Dirección General de Regulación y Gestión Ambiental del Agua, Suelo y Residuos. México D.F.

González Pozo, A., 1990. El legado cultural de Xochimilco y su importancia nacional e internacional. En: *Presente, pasado y futuro de las chinampas*, Robles Rabiela T., Coord. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social. México D. F.: 221-228.

Guia Roji, 2001. Ciudad de México, Area Metropolitana y Alrededores. Ed. Guia Roji. Planos 170, 189, 190, 206, 207, 208, 224, 225.

Havelaar A., Blumenthal, U. J., Strauss, M., Day, D. y Bartram, J. 2001. Guidelines: the current position. En: *Water Quality: Guidelines, Standards and Health. Assesment of risk and risk management for water related infectious disease*. Fewtrell L. & Bartram J. Ed. IWA Publishing, WHO, Smittskyddsinstutet.: 17-42.

Hazen, T. C. y Toranzos, G. A., 1990. Microbiology of Tropical Source Water En: *Advances in Drinking Water Microbiology Research Tropical Source Water in Drinking Water Microbiology*, McFeters G. A. Ed. Springer Verlag New York: 30-51.

Instituto de Ecología A.C., (IEAC), 2002. Taller de acuerdos, concertación sobre la problemática del Área Natural Protegida Ejidos de Xochimilco y San Gregorio Atlapulco y de los ámbitos geográficos involucrados. Gobierno del Distrito Federal. Diciembre de 2002

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 1995. Cartas Vectoriales de las cartas Topográficas E-14-2, Ciudad de México y F 14-11 Pachuca, 1:250 000. Secretaría del Ambiente y Recursos Naturales.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), 2002. Cuaderno Estadístico Delegacional de Xochimilco, Distrito Federal .  
<http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanolsistemas/cenoz/info/df/m013/anexos/present.htm>.



Lombardo de Ruiz, S., 2000a. Evolución de México-Tenochtitlan. En: *La Ciudad de México en el fin del Segundo Milenio*, Garza G. Coord. Colegio de México, Gobierno del Distrito Federal. México D.F.: 93-100

Lombardo de Ruiz, S., 2000b. Institucionalización de la vida Colonial 1600-1750 En: *La Ciudad de México en el fin del Segundo Milenio*, Garza G. Coord. Colegio de México, Gobierno del Distrito Federal, México D. F., pag. 103-106.

Mancilla Menéndez, E., 1990. La relación entre la Ciudad de México y Xochimilco. En: *Presente, pasado y futuro de las chinampas*. Rojas Rabiela, T. Coord. Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social. México D. F.: 201-204.

Marín, L.E., Escolero-Fuentes, O. y Trinidad-Santos, A., 2000. Physical Geography, Hydrogeology and Forest Soils of the Basin of México. En : *Urban Air Pollution and Forests. Resources at Risk in the Mexico City Air Basin*. Fenn M. E., deBauer L.I. y Hernández- Tejeda T. Ed. Springer. Ecological Studies Vol. 156, Nueva York. EUA.: 44-67.

Mazari-Hiriart. M., 1992. Potential Groundwater Contamination by Organic Compounds in the Mexico City Metropolitan Area. D. Env. Dissertation, University of California, Los Angeles: 153 pp.

Mazari-Hiriart M. y Mackay D., 1993. Potencial for Groundwater Contamination in Mexico City *Environm. Science and Technol.* 27(5): 794-802.

Mazari-Hiriart, M., Cifuentes, E., Velázquez, E. y Calva, J., 2000. Microbiological groundwater quality and health indicators in Mexico City. *Urban Ecosystems* 4:91-103

Mazari. M. y Alberro. J., 1990. Hundimiento de la Ciudad de México. En: *Problemas de la Cuenca de México*. Kumate J. y Mazari M. (eds.) El Colegio Nacional, México D.F.: 83-114.

Mazari, M., Alberro, J., Mazari-Hiriart, M. y González, S., 1996. Agrietamiento de arcillas lacustres y su relación con el uso y reúso del agua. En: *Hacia el tercer Milenio*. Mazari M., (Coord.) El Colegio Nacional, México D.F.: 113-156.

Mazari-Hiriart, M., López Vidal, Y., Calva, J.J. y Ponce de León, S., 2002. Informe Técnico. Calidad microbiológica y química del agua en sistemas acuáticos de la Ciudad de México. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología-Instituto de Ecología, UNAM. Proyecto CONACYT 32505-T. México, D.F.

Merino, H., 2000. Sistema Hidráulico. En: *La Ciudad de México en el fin del Segundo Milenio*. Garza G. Coord. Colegio de México, Gobierno del Distrito Federal, México D.F.: 344-352.

Mooser, F., 1990. El subsuelo de la cuenca del Valle de México y su relación con la ingeniería de cimentaciones a cinco años del sismo. Ovando Shelley, E., González Valencia F. Ed. Sociedad Mexicana de Mecánica de Suelos, A. C. México D.F.: 29-59.

Ortega, A. y Farvolden, R.N., 1989. Computer analysis of regional groundwater flow and boundary conditions in the basin of México. *J. Hydrol* 110: 271-294

Payment P., Siemiatycki J., Richardson L., Renaud G., Franco E. y Prévost M. 1997. A prospective epidemiological study of gastrointestinal health effects due to the consumption of drinking water. *Int J Environm Health Res* 7: 5-31

Quiroz Flores, A. y Miranda Arce, M.G., 1990. La calidad del agua y las plantas vasculares acuáticas. En: *Presente, pasado y futuro de las Chinampas*, Rojas Rabiela, T. Coord. Centro de Investigación y Estudios Superiores en Antropología Social, México D.F.: 81-85.

Ramírez Sama, C., 1990. El agua en la Cuenca de México. En: *Problemas de la Cuenca de México*. Kumate, J., y Mazari, M. Coord. El Colegio de México. México D.F.: 61-82

Ramírez Sama, C., 1996., La hidrología y los recursos hidráulicos en México. En: *Hacia el Tercer Milenio*. Mazari, M. Coord. El Colegio de México. México D.F.: 363-378

Rodríguez C. R., y Ochca A. C., 1989. Estudio geoelectrico del sistema acuífero de la Cuenca de México. *Geofísica Internacional* 28(2): 191-206.

Rodríguez C. R. y González M. T., 1989. Comportamiento hidrodinámico del sistema acuífero de la subcuenca de Chalco, México. *Geofísica Internacional*, 28(2): 207-218.

Rojas Rabiela, T. 1990. Las Chinampas del Valle de México. En: *Presente, Pasado y Futuro de las Chinampas*, Rojas Rabiela, T. Coord., Centro de Investigación y Estudios Superiores en Antropología Social, México D. F.:53-70.

Romero, F. J. y Velázquez, A., 2000. La región de montaña del sur de la Cuenca de México: una revisión de su importancia biológica. En: *Biodiversidad de la Región de Montaña del Sur de la Cuenca de México*. Velázquez y Romero Coord. Universidad Autónoma Metropolitana- Secretaría del Medio Ambiente, México. 351 pp.

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

Rose, J.B. y Grimes, D.J., 2001. Reevaluation of Microbial Water Quality: Powerful New Tools for Detection and Risk Assesment. *American Academy of Microbiology Report* Washington D.C.: 1-17

Rusin, P., Enriquez, C. E., Johnson, D. y Gerba, C. P., 2000. Environmentally transmitted pathogens. En: *Environmental Microbiology*. Maier M., Pepper, I.L., y Gerba P.C. Ed. Academic Press. San Diego California.: 447-489.

Sandoval Contreras, J., 2003. Calidad Microbiológica y Fisicoquímica del Agua de los Canales de Xochimilco, D. F., Tesis de Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.:

SEMARNAT, 2003. Informe de las situación del medio ambiente en México, compendio de estadísticas ambientales. Flores Martínez A. Coordinador. México D.F. 275 pp

Serra, M. C., 1990. Terremote- Tlatenco, una aldea lacustre de la Cuenca que no construyó chinampas. En: *Presente, pasado y futuro de las Chinampas*. Rojas Rabiela,

T. Coord. Centro de Investigación y Estudios Superiores en Antropología Social, México D.F.: 47-53

Soto-Galera E., Mazari-Hiriart M. y Bojórquez-Tapia L.A., 2000. Entidades de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México propensas a la contaminación de agua subterránea. *Investigaciones Geográficas*. Boletín del Instituto de Geografía UNAM 43: 60-75.

Stephan-Otto Parodi E., 1990. Recreación del pasado, presente y futuro del hombre y las chinampas. En: *Presente, pasado y futuro de las Chinampas*. Rojas Rabiela T., Coord. Centro de Investigación y Estudios Superiores en Antropología Social. México D.F.: 175-179.

Tate, C.H., Env, D. y Fox Arnold, K., P.E. 1990. Health and Aesthetic Aspects of Water Quality. En: *Water Quality and Treatment. A Handbook of Community Water Supplies*, American Water Works Association, 4<sup>th</sup> ed. McGraw Hill: 1194 pp.

UNAM-GDF, 2002. Geoposición de Tiraderos. En: Informe técnico. programa de Manejo Integral del Suelo. UNAM-GDF. México DF.

UNAM-GDF, 2002. Geoposición de terminales de autotransporte público. En: Informe técnico: Programa de Manejo Integral del Suelo. UNAM-GDF. México D.F.

UNAM-GDF, 2002. Geoposición de Pozos en el Distrito Federal. En Informe Técnico: Programa de Manejo Integral del Suelo. UNAM-GDF. México D.F.

UNAM-GDF, 2002. Geología del distrito Federal a partir de la investigación de la compañía Federal de Electricidad cuyos autores son Mooser, F., Montiel A. y Zúñiga. A. En: Informe técnico: Programa de Manejo Integral del Suelo. UNAM-GDF. México D.F.

UNAM-SMA-GDF, 2001-2002. Distribución de Zonas Industriales, Basado en el Censo Económico de INEGI, 1994 y Geoposiciones de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, 2000 y geoposiciones obtenidas en el Instituto de Ecología, UNAM. En: Informe Técnico: Programa de Manejo Integral del Suelo. UNAM-GDF. México D.F.

Vidrio, C. M. y Avila J. G., 2000. Delegación Xochimilco, En: *La ciudad de México en el fin del segundo Milenio*, Garza Villareal, G. Coord. Departamento del Distrito Federal, México. Colegio de México-Gobierno del Distrito Federal (Colmex-GDF). México D.F.: 637-643.