



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
IZTACALA**

**ESTUDIO BACTERIOLÓGICO Y  
FISICOQUÍMICO DEL AGUA POTABLE  
INTRADOMICILIARIA DE LA CIUDAD  
DE MÉXICO Y ÁREA  
METROPOLITANA**

**T E S I S**  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**B I Ó L O G O**  
P R E S E N T A:  
**CLAUDIA ZAMORA MUÑOZ**

DIRECTORA DE TESIS:  
DRA. PATRICIA BONILLA LEMUS



TLALNEPANTLA, EDO. DE MÉXICO. 2008



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# **AGRADECIMIENTOS**

## ***A Dios:***

Por todo lo que tengo en la vida, gracias por llenar mi vida de dicha y bendiciones, así como darme la oportunidad de ingresar a la Universidad Nacional Autónoma de México, sabes que te amo.

## ***A mis padres:***

A quienes me dieron la oportunidad de existir y haberme heredado el tesoro más valioso que puede dársele a un hijo: amor. A quienes sin escatimar esfuerzo alguno, han sacrificado gran parte de su vida para formarme y educarme. Cuya ilusión de su vida ha sido convertirme en persona de provecho. Y que nunca podré pagar todos sus desvelos ni aún con las riquezas más grandes del mundo. Gracias por confiar en mí. Los amo.

## ***A mis hermanos:***

Karina, Miguel, Fabian, Erick (†), siempre serás mi angelito, y Alfredo que ya eres considerado como de la familia, les agradezco por la compañía y el apoyo que me han brindado. Ustedes y mis padres son el regalo más preciado que tengo. Se que siempre contaré con ustedes.

## ***A la Dr. Patricia Bonilla Lemus:***

Por permitirme ser parte del grupo de trabajo. Sus conocimientos, consejos, paciencia y amistad, sirvieron para que me sienta satisfecha en mi participación dentro del proyecto de investigación.

## ***A la Biól. Rocío Ibarra Montes:***

Por el apoyo brindado, compartir sus conocimientos y la confianza durante este tiempo.

## ***A mis sinodales:***

M. en C. Elizabeth Ramírez Flores, Q. F. B. Esperanza Robles Valderrama, M. en C. Ricardo Ortiz Ortega, Biól. Blanca N. Martínez Rodríguez, por la colaboración y aportación de sus conocimientos para mejorar la presente.

## ***Al Sr. Luis Fernando:***

Por todo el apoyo recibido en el laboratorio de Microbiología Ambiental (eucariontes).

***A Gustavo:***

Por tu apoyo, comprensión y amor, gracias por ser parte de mi vida, te quiero mucho.

***A mis amigos:***

Sandra, Jorge Armando, Juan Alberto, Juan Carlos S, Eloy, Ruperto, Alonso y Juan Carlos M., agradezco su confianza y lealtad.

***A cada uno de los maestros:***

Que participaron en mi desarrollo profesional durante mi carrera, sin su ayuda y conocimientos no estaría en donde me encuentro ahora.

***A mis compañeros del laboratorio:***

Gerardo Alberto, Marcos Israel, Alejandro, José Luis, Brenda, Adriana y Edmundo, por hacer que cada pedazo de tiempo fuera ameno. No voy a olvidar sus consejos, enseñanzas y ayuda durante el lapso de mi tesis.

***A todos mis amigos de la carrera:***

Fernando, Ma. de la Luz, Lupita, Armando, Yubi, David, Yazmin, Andrea, Ivan, Rubén, Charly, May, Ana Claudia, Abdías, Mara, Paty, Luchito, Sergio, Claudia, Angeles, Estela, Gaby, Nec, Laura, Daniel, Miguel Ángel, Adriana, Alex, Richard y Lalo, que estuvieron conmigo y compartimos tantas aventuras, experiencias y enseñanzas. Gracias a cada uno por hacer que mi estancia en la FES-I fuera muy agradable.

Y finalmente gracias a todas aquellas personas que me ayudaron directa o indirectamente en algún momento. Gracias.

## ÍNDICE

RESUMEN.....	I
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Antecedentes.....	4
2.2 Suministro de agua potable en la Zona Metropolitana del Valle de México.....	6
2.3 Ciclo hidrológico.....	8
2.4 Aguas subterráneas.....	8
2.5 Clasificación de los usos del agua.....	11
2.6 Balance hidráulico.....	12
2.7 Calidad del agua.....	14
2.8 Indicadores microbiológicos de la calidad del agua.....	15
2.8.1 Técnica de Filtración por membrana.....	17
2.8.2 Límites permisibles de características físicoquímicas y bacteriológicas.....	18
2.9 Parámetros físicoquímicos.....	19
2.9.1 Temperatura.....	19
2.9.2 pH.....	19
2.9.3 Conductividad.....	20
2.9.4 Oxígeno disuelto.....	21
2.9.5 Cloro libre residual.....	21
3. JUSTIFICACIÓN.....	22
4. OBJETIVOS.....	23
5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	24
6. MATERIALES Y MÉTODOS.....	26
6.1 Trabajo de campo.....	26
6.1.1 Indicadores bacteriológicos.....	26
6.1.2 Parámetros físicoquímicos.....	26
6.2 Trabajo de laboratorio.....	26
6.2.1 Indicadores bacteriológicos.....	26
6.2.2 Análisis estadístico.....	27
7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30

7.1 Parámetros fisicoquímicos.....	30
7.2 Indicadores bacteriológicos.....	39
7.3 Análisis de la relación entre los parámetros fisicoquímicos, los indicadores bacteriológicos y los sistemas de almacenamiento del agua potable intradomiciliaria.....	45
8. CONCLUSIONES.....	48
9. RECOMENDACIONES.....	50
10. REFERENCIAS.....	51
ANEXO I. Normas oficiales mexicanas sobre calidad del agua	
ANEXO II. Legislación	
ANEXO III Preparación de medios	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Elementos que componen el Sistema Cutzamala.....	7
<b>Tabla 2.</b> Balance hidrológico para la subregión Valle de México y Tula (Volúmenes en mill m <sup>3</sup> ).....	12
<b>Tabla 3.</b> Límites permisibles de características fisicoquímicas y bacteriológicas.....	19
<b>Tabla 4.</b> Grado de mineralización de las aguas en función de la conductividad.....	20
<b>Tabla 5.</b> Valores promedio y desviación estándar de los parámetros fisicoquímicos registrados en el agua potable intradomiciliaria de la Ciudad de México y Área Metropolitana.....	36
<b>Tabla 6.</b> Parámetros fisicoquímicos e indicadores bacteriológicos registrados en el agua potable intradomiciliaria de la Ciudad de México y Área Metropolitana.....	37
<b>Tabla 7.</b> Resultados obtenidos mediante el coeficiente de correlación de Spearman de entrada (nivel de confianza del 95%, valor de significancia <0.05).....	45
<b>Tabla 8.</b> Resultados obtenidos mediante el coeficiente de correlación de Spearman de cisternas y tinacos (nivel de confianza del 95%, valor de significancia <0.05).....	46
<b>Tabla 9.</b> Resultados obtenidos mediante el coeficiente de correlación	

de Spearman con los datos totales (nivel de confianza del 95%, valor de significancia <0.05).....	46
--	----

## ÍNDICE DE FÍGURAS

<b>Fig. 1</b> Ciclo hidrológico.....	8
<b>Fig. 2</b> Regiones Hidrológico-Administrativas en México.....	10
<b>Fig. 3</b> Balance hidráulico para la subregión Valle de México.....	13
<b>Fig. 4</b> Sitios de muestreo en la Ciudad de México y Área Metropolitana.....	25
<b>Fig. 5</b> Metodología para detectar coliformes totales por la técnica de filtro de membrana.....	28
<b>Fig. 6</b> Metodología para detectar coliformes fecales por la técnica de filtro de membrana.....	29
<b>Fig. 7</b> Coliformes totales en agua potable de casas habitación.....	44
<b>Fig. 8</b> Coliformes fecales en agua potable de casas habitación.....	44

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

<b>Gráfica 1.</b> Importancia del agua subterránea.....	9
<b>Gráfica 2.</b> Usos del agua.....	12
<b>Gráfica 3.</b> Muestras de agua potable intradomiciliaria que no cumplen con el pH que establece la NOM.....	33
<b>Gráfica 4.</b> Muestras de agua potable intradomiciliaria que no cumplen con el cloro libre residual que establece la NOM.....	35
<b>Gráfica 5.</b> Indicadores bacteriológicos de contaminación en agua potable intradomiciliaria que no cumplen la NOM.....	39
<b>Gráfica 6.</b> Presencia de coliformes totales y fecales en agua potable intradomiciliaria.....	40

## I. RESUMEN

El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades, para lo cual se requiere establecer límites permisibles con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas, hasta la entrega al consumidor (NOM-127-SSA1-1994). El incremento en la demanda del recurso agua potable ha llegado a provocar la escasez del recurso lo cual es evidente. La irregularidad en el abastecimiento de agua potable, hace de los sistemas de almacenamiento en tinacos, cisternas u otros depósitos, una necesidad en nuestro país y aunque el agua reúna las condiciones de potabilidad al ingresar al sistema de distribución, puede deteriorarse antes de llegar al consumidor. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue determinar la calidad bacteriológica y fisicoquímica de agua potable en casas habitación de la Ciudad de México y Área Metropolitana. Para lo cual se realizaron muestreos en 27 casas habitación, durante un año. En cada casa se tomó una muestra de agua potable de tinaco, cisterna, entrada principal y lavabo del baño, obteniendo un total de 100 muestras. Se determinó *in situ*, la temperatura del agua, conductividad y pH, oxígeno disuelto y cloro libre residual. El 29.79% del total de las muestras analizadas no cumplieron con la Modificación de la NOM-127-SSA1-1994 para agua potable. De las 27 casas habitación, 11 si cumplieron con la Norma, en las muestras de entrada, sin embargo de éstas, 10 no cumplieron con la Norma en las muestras de cisterna, tinaco y baño. Además se detectaron indicadores bacteriológicos de contaminación en el 19.38% del total de las muestras; que correspondió a 15 casas habitación, el 17.17% fueron coliformes totales y el 21.21% coliformes fecales. Siendo de cisterna, el mayor número de muestras de agua contaminada con coliformes totales y coliformes fecales, seguido del tinaco, baño y entrada. Se observó que la presencia de cloro no garantiza la calidad bacteriológica del agua. Con todos los sitios de muestreo hubo una ligera relación directa entre coliformes totales y coliformes fecales, y una ligera relación inversa entre la temperatura y la conductividad, así como entre la conductividad y el oxígeno disuelto. Podemos decir que el agua que llega a los domicilios es aceptable, sin embargo, ésta es contaminada dentro de éstos, siendo las principales fuentes de contaminación la mala higiene en los depósitos, tuberías y grifos en mal estado, así como cisternas, tinacos abiertos y rotos.



## 1. INTRODUCCIÓN

El agua para consumo humano ha sido definida en las Guías para la calidad del agua potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS), como aquella “adecuada para consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluida la higiene personal” (Solsona, 2002). Está implícito en esta definición el requerimiento de que el agua no debe presentar ningún tipo de riesgo que pueda causar irritación química, intoxicación o infección microbiológica que sea perjudicial a la salud humana (Lloyd, 1982).

El agua se convierte cada vez más en un recurso natural escaso, a tal grado que en muchas regiones del planeta es ya fuente de conflictos sociales, frena el desarrollo socioeconómico y es causa de enfermedades diversas (López, 2005).

El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades, para lo cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características bacteriológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas, con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas, hasta la entrega al consumidor (NOM-127-SSA1-1994).

El suministro de agua en una comunidad varía como resultado de la actividad de la población y las industrias. Por esta razón, el almacenamiento del agua potable, tanto en tanques como cisternas ha servido como filtro contra una variedad de situaciones relacionadas con la capacidad de tratamiento y la demanda del suministro de agua (Geldreich, 1996, citado en Chaidez y Yerba, 1999).

De acuerdo con Knobelsdorf y Mujeriego (1997) los sistemas de almacenamiento y distribución de agua potable constituyen un ambiente propicio para el desarrollo bacteriano. En muchos lugares, los sistemas de almacenamiento como los tinacos y cisternas permanecen abiertos y no se limpian con regularidad, el flujo de agua favorece el transporte de nutrientes y bacterias, mientras que las paredes de las tuberías y las partículas presentes en el agua pueden servir de superficie para favorecer un ambiente adecuado para el crecimiento de microorganismos como bacterias, algas, hongos y protozoos (Castro y Chaidez, 2003).

A través de la historia, la calidad del agua potable ha sido un factor determinante para el bienestar humano (Manahan, 1993). De aquí que los abastecimientos de agua potable sin tratar o con un tratamiento inadecuado, siguen siendo una amenaza para la salud pública, especialmente en los países en desarrollo donde casi la mitad de la población consume agua contaminada (Craun, 1996). La contaminación del agua por microorganismos afecta la salud humana ya sea al consumirla, al entrar en contacto con ella o por emplearla en la alimentación. Las bacterias pueden provocar enfermedades como fiebre tifoidea, cólera, disentería crónica y enteritis matando tanto a jóvenes como adultos mayores (Ríos y Pimentel, 2005).

Para la Secretaría de Salud, el agua abastecida por el sistema de distribución no debe contener *Escherichia coli* o coliformes fecales en ninguna muestra de 100 ml. Los organismos coliformes totales no deben ser detectables en ninguna muestra de 100 ml; en sistemas de abastecimiento de localidades con una población mayor de 50 000 habitantes; éstos organismos deberán estar ausentes en el 95% de las muestras tomadas en un mismo sitio de la red de distribución, durante un período de doce meses de un mismo año.

La evaluación de la calidad microbiológica del agua de abastecimiento humano se efectúa mediante la determinación de indicadores (Moe *et al*, 1991). Los microorganismos indicadores menos específicos y mucho menos evidentes que los patógenos, son aquellos que tienen un comportamiento similar a los patógenos, pero son más abundantes, económicos y fáciles de identificar. Los patógenos son difíciles de identificar. Una vez que se ha evidenciado la presencia de grupos indicadores, se pueden inferir que se encuentran presentes los patógenos y su comportamiento frente a diferentes factores como pH, temperatura, presencia de nutrientes o sistemas de desinfección es similar a la del indicador. Los que comúnmente se utilizan son los coliformes totales y coliformes termotolerantes (fecales).

En estudios sobre contaminación del agua, el principal factor a considerar lo constituyen los organismos vivos, quienes integran de manera general todos los parámetros que intervienen en la alteración de la calidad del agua. Sin embargo, la caracterización fisicoquímica del agua es una importante herramienta auxiliar en la interpretación de los resultados (S.A.R.H., 1985).

En México un número creciente de regiones y poblaciones padece escasez de agua, que se agudiza por el crecimiento poblacional y sus aspiraciones genuinas a mejores niveles de vida. Esta disponibilidad promedio de agua ha disminuido de 18 mil metros cúbicos por habitante al año a menos de 5 mil. Ante esa escasez, aunadas la sobreexplotación y la contaminación, se hace evidente y urgente su uso sustentable del agua, es decir, racional y responsable, que permita el abasto en cantidad y calidad a través del tiempo mediante un balance dinámico entre eficiencia, equidad y lo que es ecológicamente posible (López, 2005).

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

Flores *et al.* (1995), determinaron la calidad bacteriológica del agua potable de la ciudad de Mérida, Yucatán, México, analizaron 383 pares de muestras. De éstas 364 (95%) de las tomas externas domiciliarias de la red de agua potable y 283 (73.89%) del agua almacenada en el interior de los domicilios, cumplieron las normas microbiológicas. Concluyeron que la calidad de agua fue aceptable, excepto en la zona de influencia de la planta Merida III, en donde se encontró contaminación con mesofílicos aerobios en 21.7% de las muestras. El agua intradomiciliaria mantuvo la calidad y solamente en la zona de influencia de la planta Merida I, se observó contaminación de probable origen fecal en 4.8% de las muestras.

Gaytán *et al.* (1997), realizaron un estudio bacteriológico y fisicoquímico, tomando 209 muestras de agua potable de la red municipal, cisternas, tanques y llaves de cocina de 63 sitios de la Ciudad de México, concluyendo que la calidad del agua para beber en las tomas de la red municipal fue buena en el 53% de los casos, aunque se detectó contaminación cuando el agua fue distribuida por carros-pipa. De acuerdo con los autores, el agua para beber estuvo más contaminada en las muestras tomadas dentro de las viviendas debido al mal manejo de la misma.

Castro (2000), llevó a cabo un estudio en pozos de agua subterránea del ramal Tláhuac en la Ciudad de México, analizó tanto parámetros fisicoquímicos como bacteriológicos, obteniendo como resultado una gran cantidad de contaminación de origen antropogénico, a causa de infiltraciones de materia orgánica hacia el acuífero, siendo evidente lo anterior por las altas concentraciones de compuestos nitrogenados y de bacterias detectadas.

Mazari *et al.* (2005), llevaron a cabo un estudio longitudinal de 30 sitios en el área metropolitana de la Ciudad de México. Aunque microorganismos y compuestos orgánicos e inorgánicos fueron evidentes, no excedieron los

límites permisibles, concluyendo que la calidad del agua varía entre las estaciones de lluvia y secas, presentándose altos niveles de pH, nitratos, cloro, bromodiclorometano, durante la estación de secas.

Soto *et al.* (2006), cuantificaron la presencia de coliformes totales, coliformes fecales, *E. coli*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Aeromonas hydrophila* en 73 muestras de agua potable de Culiacán y 27 de Navolato, Sinaloa, encontrando que el 70% de las muestras recolectadas en Culiacán cumplen con las especificaciones de ausencia de bacterias coliformes y coliformes fecales. El 88.9% de las muestras recolectadas en Navolato no cumplen con las especificaciones de la NOM-127-SSA1-1994 representando un riesgo para la salud, debido a que el agua potable es utilizada para el consumo humano, lavado de frutas y hortalizas que se consumen en fresco.

González *et al.* (2007), evaluaron la calidad bacteriológica del agua que se utiliza en 8 clínicas odontológicas de la FESI UNAM. Se realizaron de 2 a 4 muestreos semanales, tomando en total 188 muestras. De las muestras analizadas únicamente 8 presentaron contaminación bacteriana, concluyendo que la calidad bacteriológica del agua utilizada en las clínicas odontológicas es buena.

García (2007), determinó la calidad bacteriológica y fisicoquímica tomando muestras mensuales de cuatro pozos en las zonas centro-oriente del acuífero del Valle de Cuernavaca, Morelos, durante un año, concluyendo que los cuatro pozos de agua presentan un Índice de calidad del agua aceptable, mientras que para la Norma Oficial Mexicana sobrepasan los límites de coliformes fecales y totales en algunos muestreos.

Monroy (2007), determinó la calidad bacteriológica y fisicoquímica tomando muestras mensuales en tres pozos y un manantial de la zona sur del Acuífero del Valle de Cuernavaca durante un año, concluyendo que el agua subterránea de los pozos no sobrepasó los límites permisibles para los parámetros fisicoquímicos salvo en algunos muestreos que presentaron el pH por debajo de la norma, sin embargo la presencia de bacterias coliformes tanto fecales

como totales rebasaron los límites permisibles principalmente en el Manantial Las Fuentes, ya que se presentó contaminación bacteriana en todos los muestreos.

Rubio (2007), determinó la calidad fisicoquímica y bacteriológica del agua en tres pozos (Herradura, Universidad y Hotel Prado) y el manantial (Túnel) ubicados en la Zona Norte de Valle de Cuernavaca, durante un año, concluyendo que el agua subterránea muestra en general buena calidad. Sin embargo se observó evidente el impacto de la actividad humana (antropogénica) en el manantial "El Túnel" debido principalmente por la descarga de aguas residuales a las barrancas que se encuentran en dicho lugar.

## **2.2. Suministro de agua potable en la Zona Metropolitana del Valle de México**

El sistema de agua potable de la ciudad cuenta con 12 mil kilómetros de redes de tubería para lograr la distribución y el abastecimiento a la población (Guasch, 2006). El agua que se requiere para nuestras actividades proviene de tres fuentes: el 47% se extrae del subsuelo del Valle de México, ya que ahí se encuentran los acuíferos o depósitos subterráneos de agua; el 41% se importa de las Cuencas del Lerma a 60 km de la ciudad y del Cutzamala a 17 km de distancia, y el 12% restante proviene de manantiales y otras fuentes superficiales ubicadas al interior de la Cuenca, como el Río Magdalena (Encuentro Internacional de experiencias por el Agua, 2006).

El Sistema Lerma-Cutzamala es la segunda fuente de abastecimiento de la Zona Metropolitana. En 1961 se inició la extracción y traslado del agua del subsuelo de la Cuenca del Lerma. En 1970 se tuvo que recurrir a una fuente más alejada, el río Cutzamala. Con el agua extraída de éstos lugares se surte principalmente a los habitantes del norte de la capital y municipios conurbados del Estado de México (Encuentro Internacional de experiencias por el Agua, 2006).

El Sistema Cutzamala, ubicado en el Estado de México, en el valle de Toluca, es uno de los sistemas de suministro de agua potable más grandes del mundo, no sólo por la cantidad de agua que transporta de aproximadamente 480.7 millones de metros cúbicos anualmente. El agua es captada por 267 pozos profundos que alimentan a acueductos que conducen el líquido hacia un túnel que cruza la Sierra de las Cruces para introducir el agua al Valle de México. Para poder dotar de agua a las partes altas de la Ciudad el agua tiene que ser bombeada por 102 plantas que incrementan la presión en la red (Céspedes, 2000).

El sistema está integrado por 7 presas derivadoras y de almacenamiento, 6 estaciones de bombeo y 1 planta potabilizadora (Comisión Nacional del Agua, 2007). Ver Tabla 1.

CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN EL SISTEMA CUTZAMALA				
ELEMENTO	TIPO	CAPACIDAD	ELEVACIÓN (msnm)	OBSERVACIONES
Tuxpan	Presa derivadora	5 hm <sup>3</sup>	1 751	Altura al NAME 1 762
El Bosque	Presa de almacenamiento	202 hm <sup>3</sup>	1 741	Altura del vertedor
Ixtapan del Oro	Presa derivadora	0.5 hm <sup>3</sup>	1 650	Altura al NAME 1 635
Colorines	Presa derivadora	1.5 hm <sup>3</sup>	1 629	
Valle de Bravo	Presa de almacenamiento	395 hm <sup>3</sup>	1 768	
Villa Victoria	Presa de almacenamiento	186 hm <sup>3</sup>	2 545	
Chilesdo	Presa derivadora	1.5 hm <sup>3</sup>	2 396	
Planta de bombeo 1	Bombas	20 m <sup>3</sup> /s	1 600	
Planta de bombeo 2	Bombas	24 m <sup>3</sup> /s	1 722	Opera en serie con la P.B. 3 y 4
Planta de bombeo 3	Bombas	24 m <sup>3</sup> /s	1 833	Opera en serie con la P.B. 2 y 4
Planta de bombeo 4	Bombas	24 m <sup>3</sup> /s	2 178	Opera en serie con la P.B. 2 y 3
Planta de bombeo 5	Bombas	29.1 m <sup>3</sup> /s	2 497	
Planta de bombeo 6	Bombas	5.1 m <sup>3</sup> /s	2 324	
Planta potabilizadora Los Berros	Planta Potabilizadora	20 m <sup>3</sup> /s	2 540	

NOTA: NAME= Nivel de Aguas Máximas Extraordinarias

msnm: Metros Sobre el Nivel del Mar

FUENTE: Conagua, Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México.

Tabla 1. Elementos que componen el Sistema Cutzamala

### 2.3 El ciclo hidrológico

Se denomina ciclo hidrológico al movimiento general del agua ascendente por evaporación y descendente, primero por las precipitaciones y después en forma de escorrentía superficial y subterránea (Sánchez, 2004).

En el ciclo hidrológico (Fig. 1) una porción importante de la precipitación pluvial regresa a la atmósfera en forma de evapotranspiración, mientras que el resto escurre por los ríos y arroyos del país delimitados por las cuencas hidrográficas o bien se infiltra en los acuíferos del país.

La unidad básica para el manejo del agua es la cuenca hidrológica, en la cual se considera la forma en la que escurre el agua en la superficie (cuencas hidrográficas) y en el subsuelo (acuíferos). Con esta base, se integraron las trece Regiones Hidrológico-Administrativas en las que se divide el país para fines de administración de agua (Comisión Nacional del Agua. 2007).

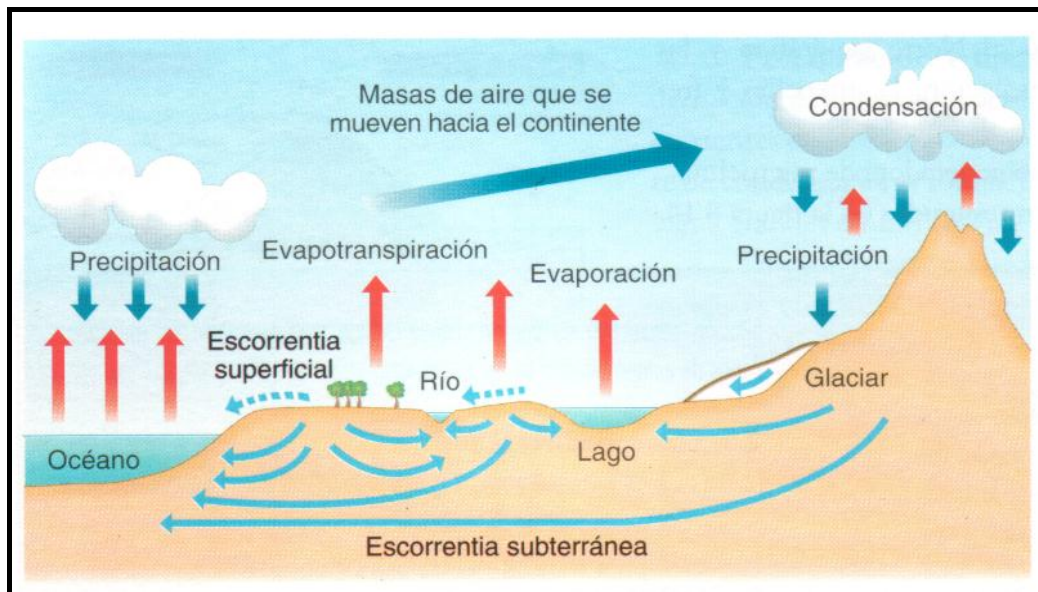


Fig. 1 Ciclo hidrológico (FUENTE: Internet 1)

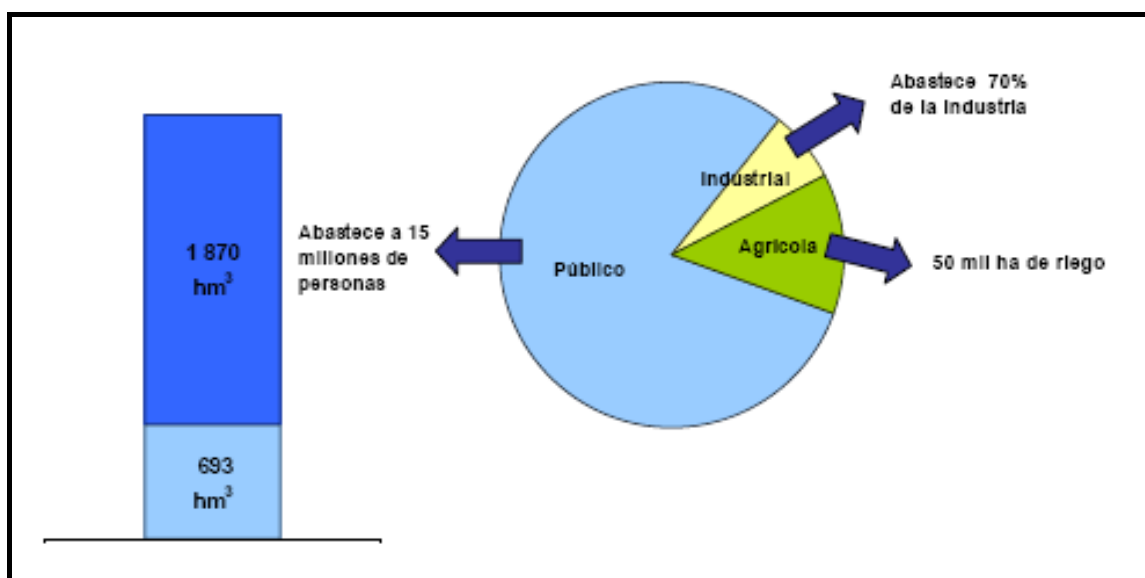
Cabe mencionar que la acción del hombre modifica de modo notable el ciclo natural del agua.

### 2.4 Aguas subterráneas

Frente a la paulatina desecación de los lagos originales, la disminución del agua de manantial y la contaminación de los ríos de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), fue necesario recurrir a la extracción de agua



subterránea a partir de la segunda mitad del siglo XIX. En el Valle de México, se tienen identificadas siete unidades hidrogeológicas o acuíferos. La recarga anual de éstos se estima en  $693 \text{ hm}^3$  y las superficiales de mayor recarga se sitúan en las sierras que son limítrofes del Valle hacia el oriente y sur, ya que presentan un denso fracturamiento y una precipitación media anual mayor a los mil mm, se estiman aprovechamientos del orden de  $1\,870 \text{ hm}^3/\text{año}$  (Gráfica 1). El principal usuario del agua subterránea es el uso público urbano, el cual utiliza el 77% del agua extraída, con lo que se abastecen aproximadamente 15 millones de personas (Internet 2).

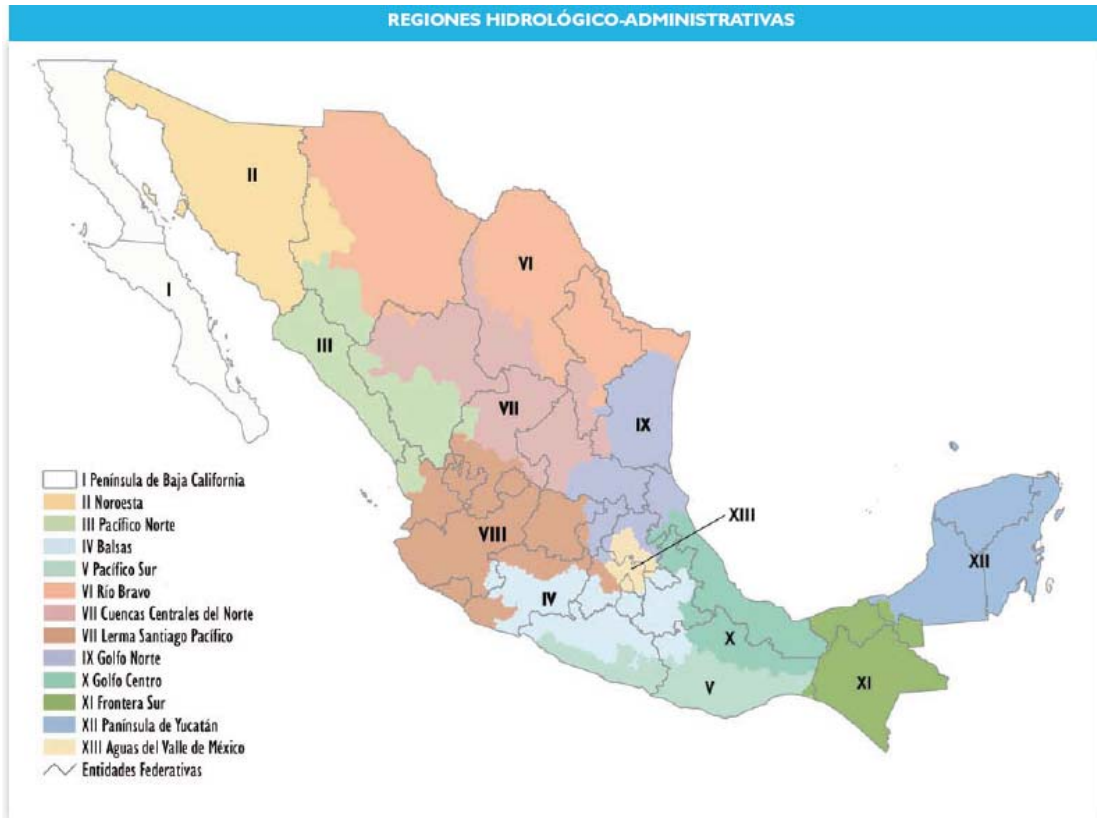


- Recarga anual del Valle de México
- Recarga anual de acuíferos

Gráfica 1. Importancia del agua subterránea (FUENTE: Conagua. Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México)

El agua subterránea es de gran importancia, para cubrir los crecientes requerimientos de agua en la ZMCM, por lo que se ha tenido que recurrir al acuífero de la ZMCM como la principal fuente de abastecimiento debido a su seguridad y flexibilidad de uso. Además de la precipitación, las fugas de agua en las redes de agua potable y de drenaje contribuyen también de manera importante a la recarga del acuífero de la ZMCM (Internet 2).

Por otra parte las 718 cuencas hidrográficas en las que está dividido el país se encuentran agrupadas en 37 regiones hidrológicas, que a su vez se agrupan en las 13 Regiones Hidrológico-Administrativas (Fig. 2).



FUENTE: Conagua. Subdirección General de Programación. Elaborado a partir del Reglamento Interior de la Conagua.

Fig. 2 Regiones Hidrológico-Administrativas en México

La Comisión Nacional del Agua (CNA) elaboró el Diagnóstico para la Región XIII “Valle de México”, documento que permite conocer a detalle las particularidades de dicha región (Comisión Nacional del Agua, 2007). Ésta, se localiza dentro de la región hidrológica No. 26 Alto Pánuco; en ella se encuentra la Cuenca del Valle de México, en la que se tiene un escurrimiento anual de 1 636.4 mil de m<sup>3</sup>, así como la Cuenca del Río Tula, a la salida de la cual se tiene un valor de 947.2 mil de m<sup>3</sup>. Tiene una superficie física de 16 150 km<sup>2</sup> sin embargo, los límites administrativos de la región cubren una superficie de 17 126 km<sup>2</sup>.

En la Región el clima es templado, los cambios estacionales de la temperatura son de poca consideración. Tiene un verano bien definido y una continua primavera. La época de lluvias abarca de junio a octubre; de abril a junio son

los meses más calurosos; diciembre y enero los más fríos, y secos abarcando de noviembre hasta abril; los fenómenos extremos como heladas y granizadas, o bien como sequías y ondas cálidas son escasas en la región, lo que le convierte en un lugar muy agradable para el desarrollo de cualquier tipo de actividad.

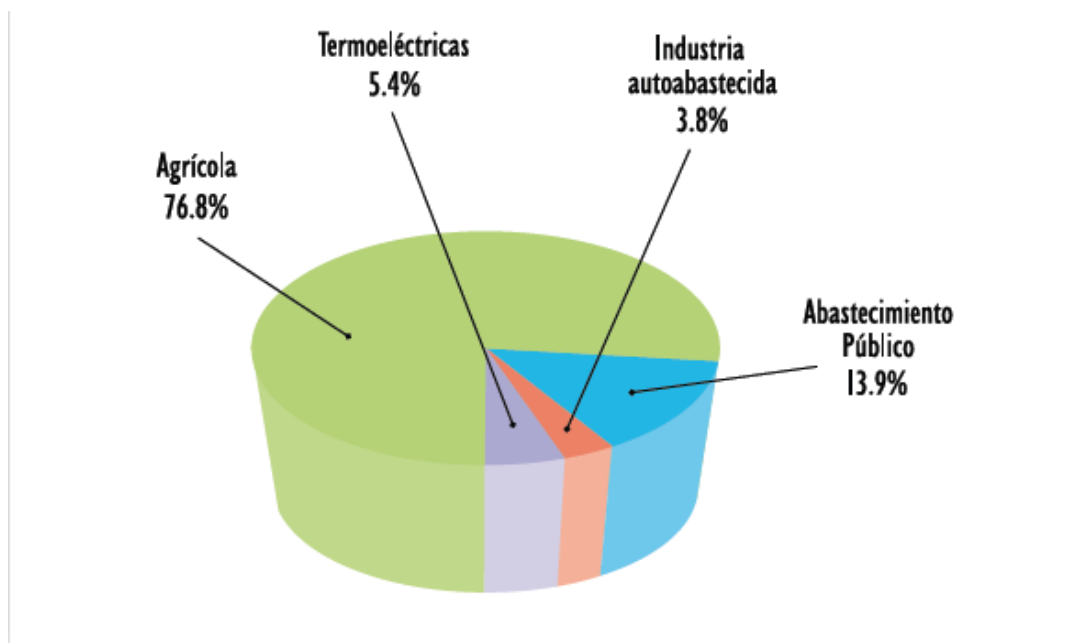
En 1900 la población de la Región representaba sólo el 4% del total nacional, mientras que en el año de 1995 este índice alcanzó un valor del 20.3%, ocupando apenas el 1% del territorio nacional, resultando de esta manera la región del País con mayor concentración de población, debido principalmente a que en ella se ubica la ZMCM. Según las tendencias de población para 2010 y 2020 llegará a valores de 22.3 y 24.7 millones de habitantes (Internet 2). El último conteo del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) en el 2005, estimaron una población de 19.24 millones de habitantes para la ZMCM (Internet 3).

Actualmente, el volumen de agua que se extrae de los acuíferos es mucho mayor que la que se recupera naturalmente. La expansión de la mancha urbana ha provocado la reducción de las áreas naturales de infiltración que alimentan el acuífero. Cada segundo se extraen del subsuelo 45 m<sup>3</sup>, mientras que se reponen naturalmente 25. Este desequilibrio ha ocasionado la deshidratación y compactación de las arcillas que cubren el Valle y el hundimiento del terreno el cual va de 6 a 30 cm al año en zonas como Xochimilco, Tlahúac, Ecatepec, Nezahualcóyotl y Chalco. El hundimiento ha provocado debilitamiento de los cimientos de las construcciones, la inestabilidad de la red de drenaje y agua potable, la dislocación de tuberías, la modificación de las principales estructuras de desalojo y fugas en las redes de drenaje y agua potable (Céspedes, 2000).

## **2.5 Clasificación de los usos del agua**

En el Registro Público de Derechos de Agua, se cuenta con los volúmenes concesionados (o asignados) a los usuarios de aguas nacionales. En dicho rubro se tienen clasificados los usos del agua en 12 rubros (Gráfica 2), mismos que se han agrupado en cuatro grupos; que corresponden a el agrícola, el

abastecimiento público, hidroeléctrico, la industria autoabastecida y las termoeléctricas, y el hidroeléctrico (Comisión Nacional del Agua, 2007).



FUENTE: Conagua. Subdirección General de Administración del Agua.

Gráfica 2 Usos del agua

## 2.6 Balance hidráulico

El balance hidráulico representa la situación actual del agua y su perspectiva a futuro. A continuación se presentan los principales parámetros que intervienen en los balances hidráulicos de la región XIII para un ciclo anual (Tabla 2).

### Balance hidrológico para la subregión Valle de México y Tula

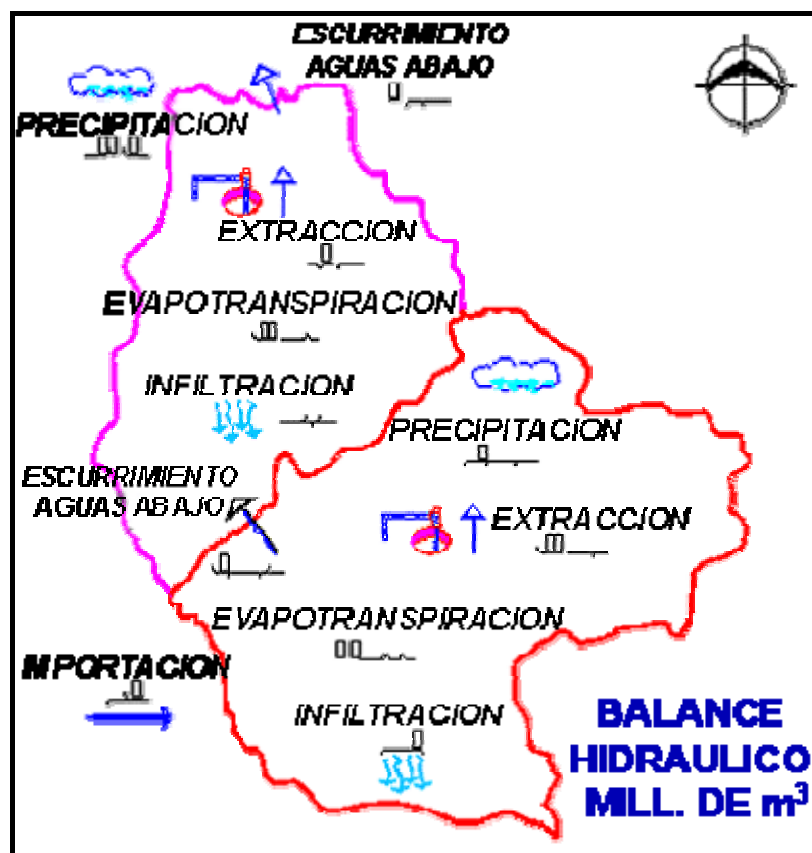
REGION	LLUVIA	EVT.	INFIL.	ESC. VIRGEN	EXTR. A. SUBT.	BALANCE	IMPORT.	USO A. SUP.	REUSO	ESC. A.AB.
V. DE MEX.	6,646	5,377	689	580	1,584	-895	610	198	312	1,636
TULA	3,510	1,947	336	1,227	296	40	-	2,306	31	966

FUENTE: Conagua. Organismo para la subregión Valle de México y Tula.

Tabla 2. Balance hidrológico para la subregión Valle de México y Tula (Volúmenes en mill m<sup>3</sup>)

Como puede observarse (Fig. 3), en la cuenca del Valle de México los acuíferos se encuentran en una condición de sobreexplotación, por lo tanto no existe posibilidad de incrementar las extracciones, por el contrario, se deben de reducir las existentes a fin de obtener el equilibrio de los acuíferos de la subregión. En la cuenca del Río Tula existe una reducida disponibilidad de 40 mill m<sup>3</sup>/año, pero en caso de incrementar la explotación de estos acuíferos, ésta deberá de ser planeada y controlada para no provocar la misma situación de sobreexplotación de la cuenca del Valle de México, además de que debido a la contaminación de estos acuíferos, para la utilización de esta fuente será necesario el control y tratamiento de las aguas residuales de la ZMCM, así como de la potabilización de las aguas de éstos acuíferos (Fig. 3).

Respecto al agua superficial se detectó que a la salida de la cuenca del Río Tula la disponibilidad del recurso es de 966 mill m<sup>3</sup>/año, que corresponde a la exportación a la cuenca baja del Río Pánuco, región administrativa número IX, Golfo Norte (Internet 2).



FUENTE: Conagua. Organismo para la subregión Valle de México.

Fig. 3 Balance hidráulico para la subregión Valle de México

## 2.7 Calidad de agua

El deterioro de la calidad del agua supone un grave problema ambiental, económico y social. Es particularmente importante en los países en vías de desarrollo, en donde el tratamiento de las aguas residuales tiene grandes rezagos. La mala calidad de las aguas aumenta la presión sobre los recursos hídricos y limita posibilidades de desarrollo de los países del mundo.

Según el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), el primer lugar en cuanto a calidad del agua en el mundo lo tiene Finlandia, con un indicador de 1.85, mientras que México se coloca en el número 106 de un total de 122, con un indicador de -0.69. Se trata de cifras basadas en múltiples factores, tales como la cantidad y la calidad de agua dulce, en particular aguas superficiales, instalaciones de tratamiento de aguas residuales, y también aspectos jurídicos tales como la existencia de regulaciones contra la contaminación (Comisión Nacional del Agua, 2007).

El control de los parámetros fisicoquímicos es muy importante tanto en los sistemas de potabilización como de depuración del agua. Sin embargo, en los lugares donde el agua es consumida por el hombre, el factor de riesgo más importante está asociado con la exposición a agentes biológicos que incluyen bacterias patógenas, helmintos, protozoos y virus entéricos (Asano y Levine, 1998).

Es importante anotar que además de los patógenos que tradicionalmente se encuentran en el agua y que son causantes de enfermedades de origen hídrico, es cada vez más frecuente que estas enfermedades estén relacionadas con la presencia de microorganismos emergentes y reemergentes.

Las enfermedades emergentes son aquellas cuya incidencia en los seres humanos ha aumentado en las dos últimas décadas (dengue, cólera, resistencia microbiana). Las enfermedades reemergentes son las que reaparecen después de una disminución significativa en su incidencia como la malaria, tuberculosis y peste (Díaz, 2003).

## **2.8 Indicadores microbiológicos de la calidad del agua**

La gran variedad de microorganismos patógenos que pueden encontrarse en una muestra de agua, así como la complejidad y el alto costo de la mayor parte de las técnicas de enriquecimiento y aislamiento e identificación, hacen inviable el control rutinario de todos estos microorganismos. Debido a lo anterior, ha sido necesario proponer un grupo de microorganismos que puedan ser utilizados como indicadores de la calidad del agua.

### **Características de microorganismos indicadores**

Para que una bacteria o grupo de bacterias pueda considerarse como indicador, debe reunir las siguientes características:

- Debe estar presente siempre que estén los patógenos.
- Su densidad debe estar asociada con la contaminación fecal.
- Debe sobrevivir en el agua más tiempo que los patógenos, pero su desaparición debe ser inmediatamente posterior a la de aquéllos.
- No debe multiplicarse en el agua.
- Debe estar ausente en agua bacteriológicamente potable.
- Las técnicas para su análisis deben ser sencillas, rápidas, aplicables en cualquier tipo de agua, y no deben presentar interferencias por otras bacterias.
- No debe ser patógeno

No existe ningún microorganismo que reúna todos los criterios de un indicador ideal y apenas algunos grupos satisfacen algunos de estos requisitos. Sin embargo los coliformes son un grupo que cumplía con los requisitos más importantes y por lo tanto fue designado como indicador (S.A.R.H., 1985).

### **Grupo coliforme**

Los coliformes son bacterias que habitan en el intestino de los mamíferos y también se presentan como saprófitos en el ambiente, excepto el género

*Escherichia*, que tiene origen intestinal. Los coliformes tienen todas las características requeridas para ser un buen indicador de contaminación. Este grupo de microorganismos pertenece a la familia de las enterobacteriáceas. Se caracterizan por su capacidad de fermentar la lactosa a 35-37 °C en un lapso de 24-48 horas y producir ácido y gas. Los siguientes géneros conforman el grupo coliforme (*Klebsiella*, *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter*, *Serratia*) (Aurazo, 2005; Murray, 1999).

Los coliformes se dividen en dos, los coliformes totales y los coliformes fecales, que se definen como sigue:

### **Coliformes totales**

Bacilos cortos, Gram negativos, no esporulados, que se caracterizan por su capacidad de fermentar la lactosa a 35-37° C en 24-48 horas y producir ácido y gas. Se reproducen en el ambiente, proporcionan información sobre el proceso de tratamiento y acerca de la calidad sanitaria del agua que ingresa al sistema y de la que circula en el sistema de distribución.

### **Coliformes fecales**

Bacilos cortos, Gram negativos, no esporulados, que fermentan la lactosa con producción de acidez y gas, en 24-48 horas a 44.5° C. Por ejemplo. El género *Escherichia* (S.A.R.H., 1985).

### **Evaluación de los coliformes como indicadores**

Ventajas:

- Su presencia es indicio de la posible presencia de bacterias patógenas.
- Su densidad es medida proporcional aproximada de la contaminación fecal.
- Se eliminan en las heces en un mucho mayor número que los patógenos.



- Persisten más tiempo en el agua que los patógenos y desaparecen inmediatamente después de ellos.
- En general no son patógenos para el hombre y pueden determinarse cuantitativamente por procedimientos sencillos y en relativamente corto tiempo.

#### Desventajas:

- Su ausencia no necesariamente evidencia potabilidad bacteriológica, puesto que hay algunos patógenos (*Clostridium* y *Pseudomonas*) que pueden estar presentes cuando no hay coliformes.
- Algunas cepas se reproducen en el agua contaminada.
- Algunas bacterias pueden interferir con las pruebas (*Pseudomonas*).
- Algunas cepas de *E. coli* y de *Klebsiella* son patógenas para el hombre.

### 2.8.1 Técnica de Filtración por Membrana

Esta técnica se originó en Alemania durante la II Guerra Mundial, y en la actualidad se aplica en muchos campos de la industria y desde luego, en el análisis bacteriológico de aguas naturales y residuales (S.A.R.H., 1985).

El método de filtrado con membrana da un recuento directo de los coliformes totales y de los coliformes fecales, presentes en una determinada muestra de agua. El método se basa en el filtrado de un volumen conocido de agua a través de un filtro de membrana constituido por un compuesto de celulosa y con un diámetro de poro uniforme de 0.45 ó 0.2  $\mu\text{m}$ ; las bacterias quedan retenidas en la superficie del filtro de membrana. Cuando la membrana que contiene las bacterias se incuba en un recipiente estéril a temperatura apropiada con un medio de cultivo diferencial selectivo, se desarrollan colonias características de los coliformes fecales que es posible contar directamente (Guías para la calidad del agua potable, 1998).

Para agua potable, el volumen estándar que se debe filtrar es 100 ml, el cual puede ser distribuido en varias membranas. Los resultados obtenidos por esta técnica son más precisos ya que caen dentro del 95% de límites de confianza (S.A.R.H., 1985).

Criterios para el conteo de colonias:

- Cuando hay 1 a 2 colonias por cuadro o menos, se hace el conteo de todas las colonias encontradas en la membrana; el resultado es el número de colonias total/100 ml.
- Si hay de 3 a 9 colonias por cuadro, se realiza el conteo de 10 cuadros, obteniéndose el promedio contado por cuadro; esto es igual a la sumatoria de las colonias contadas en total, dividida por el número de cuadros. Lo que se obtiene se multiplica por 100 y se reporta como número de colonias /100 ml.
- Para 10 hasta 19 colonias por cuadro, se cuentan 5 cuadros y se obtiene el promedio por cuadro; esto es igual a la sumatoria de las colonias contadas en total, dividida por el número de cuadros. El valor obtenido se multiplica por 100 y se reporta como número de colonias totales /100 ml.
- Cuando el número de colonias por cuadro es mayor a 20, se reporta el conteo como >200 (Greenberg *et al.*, 1985)

### **2.8.2 Límites permisibles de características fisicoquímicas y bacteriológicas**

Enseguida se muestra en la Tabla 3, los límites permisibles de calidad del agua tanto para características fisicoquímicas como bacteriológicas del agua para uso y consumo humano. El contenido de organismos resultante del exámen de una muestra simple de agua, debe ajustarse a lo establecido por la Modificación a la Norma Oficial Mexicana.

CARACTERÍSTICA	LIMITE PERMISIBLE
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5-8.5
Cloro libre residual	0.2-1.5 mg/L
Organismos coliformes totales	Ausencia o no detectables
<i>E. coli</i> o coliformes fecales u organismos termotolerantes	Ausencia o no detectables

Tabla 3. Límites permisibles de características fisicoquímicas y bacteriológicas (NOM-127-SSA1-1994 Publicada el 22 de Noviembre de 2000)

## 2.9 Parámetros fisicoquímicos

Dentro de las características fisicoquímicas se incluyen una serie de parámetros que son componentes habituales de las aguas naturales, regulándose sus concentraciones máximas por sus efectos sanitarios o económicos.

### 2.9.1 Temperatura

La temperatura del agua para consumo debe estar entre 8 y 15° C, con un valor óptimo de 10. La temperatura tiene así mismo un efecto indirecto sobre otras propiedades del agua, ya que juega un papel importante en la solubilidad de las sales, de los gases, en la conductividad, pH, etc. (Espigares y Fernández, 1995).

### 2.9.2 pH

Representa el comportamiento ácido o alcalino como resultado de las distintas sustancias presentes en el agua, de las que el dióxido de carbono juega un papel primordial en la composición y estabilidad del agua, ya que neutraliza los ácidos generados en la nitrificación bacteriana.

Sin embargo, debe señalarse la escasa repercusión de este parámetro en la salud y las connotaciones, sobre todo de tipo económico, al intervenir como un

importante parámetro en los procesos de corrosión, dando lugar a la toxicidad provocada de la solubilidad de metales en las conducciones de los sistemas de distribución.

Otro aspecto importante del pH es su influencia en los distintos procesos de tratamiento (desinfección, ablandamiento, coagulación-floculación).

Los valores aceptables para el agua potable oscilan entre 6.5 y 8.5, por lo que la Organización Mundial de la Salud (OMS) los recomienda como niveles guía (Espigares y Fernández, 1995).

### 2.9.3 Conductividad

Otro parámetro sanitariamente importante, cuando nos referimos a los componentes mayoritarios, es la *conductividad*, porque muestra de una forma global la composición del agua. La conductividad del agua es una expresión numérica que depende de la concentración total de sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación (Romero, 1999).

Se denomina *conductancia* a la magnitud inversa a la resistencia eléctrica. La unidad que se emplea es la inversa del ohmio ( $\Omega^{-1}$ ), denominándose Siemens (S). Se define la conductividad como la conductancia correspondiente a un prisma de una disolución de 1 cm<sup>2</sup> de sección y 1 cm de altura, expresándose en Siemens por centímetro (S.cm<sup>-1</sup>). Cuando las conductividades son pequeñas, como suele ocurrir en las aguas para consumo se utilizan (mS.μS). La conductividad también se expresa en (μmhos/cm=1 μS/cm). De acuerdo con la conductividad (Tabla 4), se clasifican las aguas en relación al grado de mineralización (Espigares y Fernández, 1995).

Conductividad (μS/cm)	Mineralización
Menos de 100	Muy débil
De 100 a 200	Débil
De 200 a 700	Media
De 700 a 1000	Importante
Más de 1000	Excesiva

Tabla 4. Grado de mineralización de las aguas en función de la conductividad (Espigares y Fernández, 1995).

#### **2.9.4 Oxígeno disuelto**

Su acción es oxidante y se va a manifestar sobre los distintos compuestos contenidos en el agua dando lugar a fenómenos de corrosión. Afecta notablemente a las reacciones de óxido-reducción en las que participan el hierro, manganeso, cobre, etc. Pero también es un indicador de la ausencia de procesos anaerobios, que tanto afectan a los caracteres organolépticos.

En general, el oxígeno disuelto debe ser considerado como un carácter positivo, ya que está íntimamente relacionado con la contaminación orgánica (generalmente de origen fecal). En las aguas con este tipo de contaminación, como consecuencia del metabolismo bacteriano (procesos autodepurativos), decae el contenido en oxígeno disuelto y solamente cuando ha sido oxidada la materia orgánica comienza a aumentar de nuevo.

En este sentido, puede ser considerado como un indicador de contaminación fecal. Por ello se recomienda mantener las concentraciones tan cerca como sea posible de la saturación, el porcentaje de saturación del oxígeno disuelto depende de la temperatura y la altitud o la presión atmosférica del sitio donde se toma la muestra de agua, los valores del porcentaje de saturación de 80-120% se consideran excelentes (Espigares y Fernández, 1995).

#### **2.9.5 Cloro libre residual**

El cloro se utiliza en todo el mundo para mantener una desinfección continua en los sistemas de distribución de agua, para asegurar que el agua potable esté libre de bacterias y sea segura para tomar.

Cuando se añade el cloro al suministro de agua, parte de la cantidad añadida se adhiere a químicos como el hierro, formando, cloruro de hierro, así mismo al calcio, formando cloruro de calcio que destruirán las bacterias. La cantidad de cloro que no se adhiere se llama cloro libre residual y está listo para adherirse a cualquier químico o bacteria que pueda quedar en el agua (Internet 2). Los límites permisibles de cloro libre residual son 0.2 a 1.50 mg/L (NOM-127-SSA1-1994).

### **3. JUSTIFICACIÓN**

El incremento en la demanda del recurso agua potable ha llegado a provocar la escasez del recurso lo cual es evidente, debido entre otros aspectos a que su disponibilidad espacial es compleja, lo que ha provocado la sobreexplotación de los acuíferos, así como de la necesidad de importar grandes volúmenes de agua de otras cuencas, todo esto provocado por el crecimiento desmedido de los habitantes en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México la cual, demanda enormes volúmenes de agua potable haciendo progresivamente más difícil el poder controlar su potabilidad, lo cual es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades.

La irregularidad en el abastecimiento de agua potable, hace de los sistemas de almacenamiento en tinacos, cisternas u otros depósitos, una necesidad en nuestro país y aunque el agua reúna las condiciones de potabilidad al ingresar al sistema de distribución, puede deteriorarse antes de llegar al consumidor. De ahí la necesidad de determinar la calidad del agua potable que ingresa en las casas, así como de los sistemas de almacenamiento intradomiciliario.

## **4. OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Determinar la calidad bacteriológica y fisicoquímica de agua potable en casas habitación de la Ciudad de México y Área Metropolitana.

### **Objetivos Particulares**

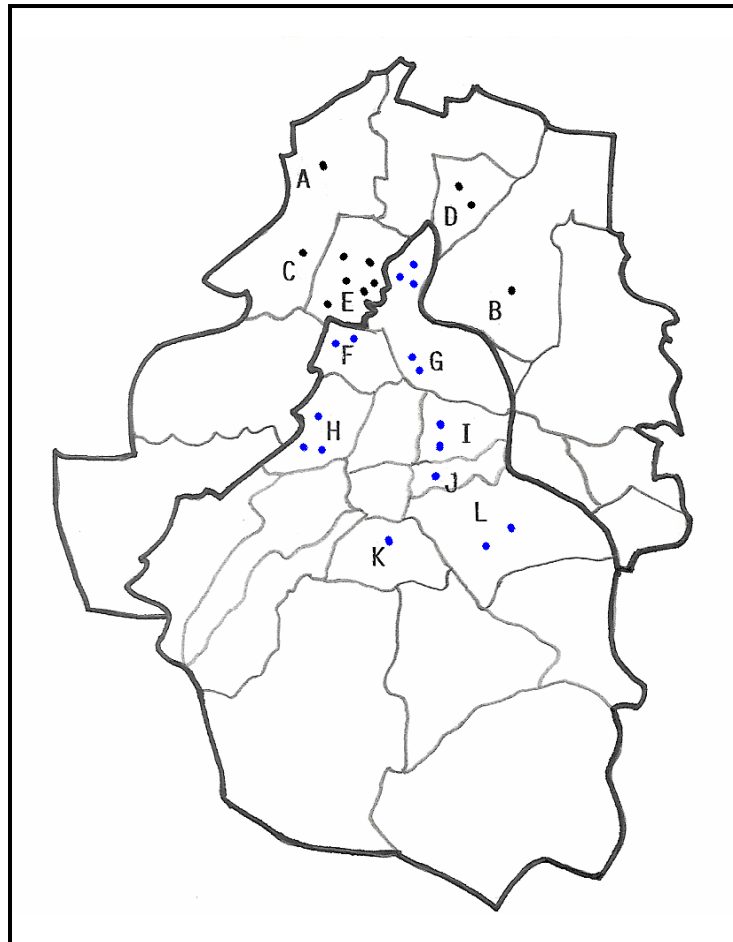
- Evaluar la calidad del agua potable intradomiciliaria, mediante los indicadores bacteriológicos de contaminación: coliformes totales y coliformes fecales.
- Determinar los parámetros fisicoquímicos: temperatura, conductividad, pH, oxígeno disuelto y cloro libre residual.
- Analizar estadísticamente la relación entre los parámetros fisicoquímicos los indicadores bacteriológicos de contaminación y los sistemas de almacenamiento del agua potable intradomiciliaria.

## 5. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Zona Metropolitana del Valle de México está ubicada en un valle en la porción sur de la Cuenca de México; entre los meridianos  $98^{\circ} 12' 00''$  y  $99^{\circ} 31' 12''$  de longitud oeste y  $19^{\circ} 03' 36''$  y  $20^{\circ} 11' 24''$  de latitud norte, situado aproximadamente a 2 400 metros sobre el nivel del mar (msnm) (Nacional Academy of Science. 1995). Comprende una superficie física de  $9\,674\text{ km}^2$  y está delimitada por 16 delegaciones del Distrito Federal con una superficie de  $1\,484\text{ km}^2$ , 49 municipios del Estado de México con  $5\,046\text{ km}^2$ , 15 de Hidalgo con  $2\,652\text{ km}^2$  y 4 de Tlaxcala con  $492\text{ km}^2$ . En esta cuenca se localiza la ZMCM con  $4\,979\text{ km}^2$ , donde habita la mayor concentración humana del país.

Tomando en cuenta que la calidad del agua varía según las zonas geográficas, estación del año y método de purificación que se utilice, se realizó este estudio en un periodo de 12 meses, abarcando la zona centro-norte de la Ciudad de México y algunas áreas aledañas en el Área Metropolitana (Fig. 4).





● Puntos de muestreo en municipios ● Puntos de muestreo en delegaciones

Fig. 4 Sitios de muestreo en la Ciudad de México y Área Metropolitana

A. Teoloyucan	G. Gustavo A. Madero
B. Ecatepec	H. Miguel Hidalgo
C. Cuautitlán Izcalli	I. Venustiano Carranza
D. Coacalco	J. Iztacalco
E. Tlalnepantla	K. Coyoacán
F. Azcapotzalco	L. Iztapalapa

## **6. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **6.1 Trabajo de campo**

#### **6.1.1 Indicadores bacteriológicos**

Se realizaron muestreos en 27 casas habitación de la Ciudad de México y Área Metropolitana, entre Marzo del 2006 y Mayo del 2007. En cada casa se tomó una muestra de agua potable de tinaco, cisterna, entrada principal y lavabo del baño, obteniendo un total de 100 muestras.

De cada sitio se tomaron muestras de 250 ml de agua potable intradomiciliaria en frascos previamente esterilizados, que contenían 0.1 ml de solución de tiosulfato de sodio al 10% por cada 100 ml de muestra, para neutralizar la acción bactericida de 15 mg/L de cloro residual (S.A.R.H., 1985), las cuales fueron transportadas al laboratorio de Microbiología Ambiental la FES-Iztacala para su análisis inmediato.

#### **6.1.2 Parámetros fisicoquímicos**

Se determinaron *in situ*, la temperatura del agua, conductividad y pH con un conductímetro Mod. PC18; oxígeno disuelto con un oxímetro YSI Mod. 51B y cloro libre residual colorimétricamente con un equipo ORBECO.

### **6.2 Trabajo de laboratorio**

#### **6.2.1 Indicadores bacteriológicos**

Coliformes totales

De acuerdo con la Modificación a la Norma Oficial Mexicana -NOM-127(2000), para agua potable, se utilizó la técnica de filtración por membrana y el volumen de filtración fue de 100 ml (Fig. 5).

Se filtró la muestra bajo vacío y condiciones de esterilidad, utilizando una membrana de acetato de celulosa de 0.45 µm de diámetro (Millipore MF tipo HA), después de la filtración se enjuagó el embudo con 30 ml de agua de dilución estéril (ANEXO III) y la membrana se colocó en una caja de Petri ya

preparada con medio agar m-Endo (Anexo III), colocando el filtro de tal manera que permaneciera en contacto con el agar, se incubo a  $35 \pm 0.5^\circ \text{C}$  durante 12 a 24 horas.

#### Recuento de colonias

Las colonias típicas de coliformes totales tienen un color rosa a rojo oscuro, con brillo metálico en la superficie.

#### Coliformes fecales

De acuerdo con la Modificación a la Norma Oficial Mexicana -NOM-127(2000), para agua potable, el volumen de filtración fue de 100 ml (Fig. 6).

Se procedió a la filtración del agua como se indicó en coliformes totales.

Se colocó sobre el agar medio m-FC (Anexo III), y se introdujo en baño de agua a  $44.5 \pm 0.2^\circ \text{C}$  durante  $\pm 24$  horas.

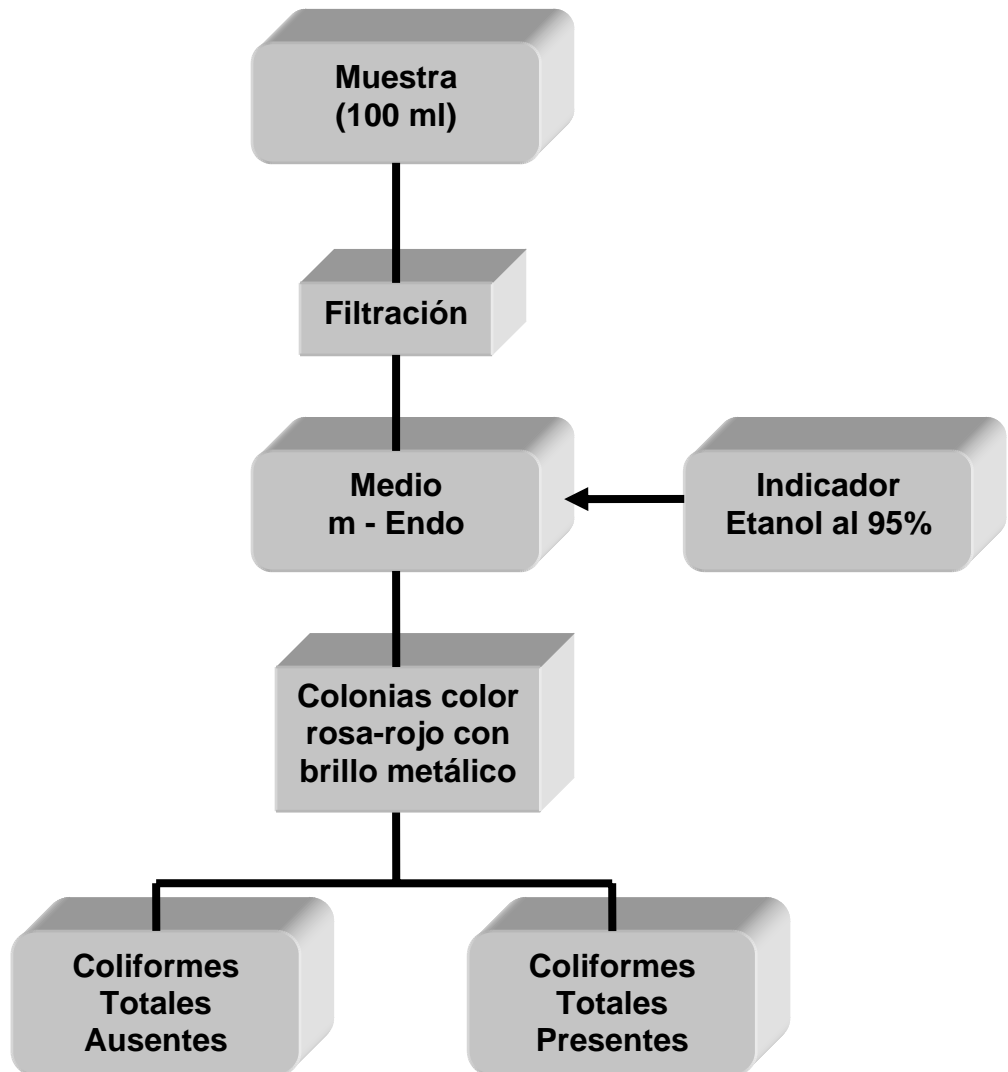
#### Recuento de colonias

Las colonias de coliformes fecales son azules y las de no coliformes entre grises o color crema.

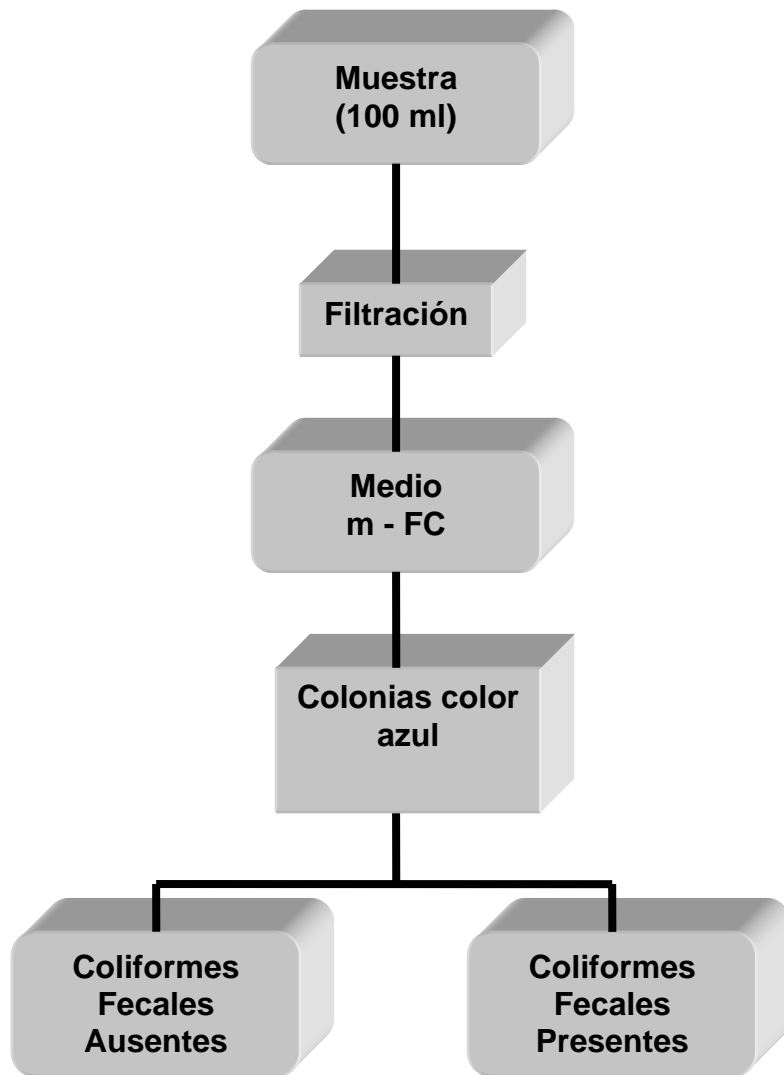
### **6.2.2 Análisis estadístico**

Con los resultados obtenidos se realizó una prueba de coeficiente de correlación de Spearman, para determinar las relaciones entre los parámetros fisicoquímicos analizados, los indicadores bacteriológicos de contaminación, y los sistemas de almacenamiento del agua potable intradomiciliaria.

**Fig. 5 Metodología para detectar coliformes totales por la técnica de filtro de membrana**



**Fig. 6 Metodología para detectar coliformes fecales por la técnica de filtro de membrana**



## 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con los valores de los parámetros fisicoquímicos y de los indicadores bacteriológicos de contaminación se calcularon las medias, desviación estándar, valores máximo y mínimo para cada parámetro y por cada punto de muestreo que se determinó (Tabla 5).

### 7.1 Parámetros fisicoquímicos

Las medias, desviación estándar, valores mínimos y máximos para cada parámetro se muestran en la Tabla 5.

El 29.79% del total de las muestras analizadas (Tabla 6) no cumplieron con la Modificación de la NOM-127-SSA1-1994 para agua potable.

De las 27 casas habitación, 11 si cumplieron con la Modificación de la NOM-127-SSA1-1994, en las muestras de entrada, sin embargo de éstas, 10 no cumplieron con la norma en las muestras de cisterna, tinaco y baño. Lo que sugiere que el agua llega con una calidad aceptable al consumidor, sin embargo ésta es contaminada dentro del domicilio, por una inadecuada higiene en las cisternas, tinacos u otros depósitos.

En las muestras de cisterna de 19 casas habitación, no se cumplió con la Modificación de la NOM-127-SSA1-1994 y de éstas 13 tampoco cumplieron con la norma en las muestras tanto de tinaco como de baño, esto pudo deberse a que el agua potable de las cisternas se encuentra contaminada y muchas veces abastece a los tinacos y por consiguiente al baño.

En cuanto a las muestras de entrada se encontró una media en la temperatura de 22.73° C, con un rango de 18° a 30.4° C, una media en el pH de 7.55, aunque se registraron algunas muestras con valores por abajo y por arriba de los límites establecidos en la Modificación de la NOM-127-SSA1-1994, ya que se obtuvieron valores de 6.17 a 8.9 (Tabla 5), en este caso, el grado de acidez del agua puede provocar la formación de iones metálicos a partir de los metales constituyentes de las tuberías, trayendo como consecuencia la corrosión, además de que la excavación cada vez más profunda de los pozos también ocasiona la alteración de fisicoquímica del agua la cual presenta un mayor contenido de hierro y manganeso, disminuyendo su calidad y representando un riesgo para la salud (Céspedes, 2000). Por otra parte los

componentes que aumentan el carácter alcalino del agua llevan a la formación de sales insolubles que con frecuencia llegan a obstruir las tuberías (Robles *et al*, 2004). En el caso del cloro libre residual, se encontraron valores por debajo de lo establecido con una media de 0.24 mg/L y un rango de 0 a 1.35 mg/L. De oxígeno disuelto se obtuvo una media de 3.27 y un rango de 1.4 a 5.2 mg/L (Tabla 5). Con respecto a la conductividad se registró una media de 417.26  $\mu$ S y un rango de 159 a 871  $\mu$ S; es decir 119.25 mg/L a 653.25 mg/L de sólidos disueltos, los cuales están relacionados con el contenido de sales disueltas (Robles *et al*, 2004), este valor de sólidos disueltos indica que se encuentran en la norma, ya que el límite permisible según la modificación de la NOM-127-SSA1-1994, es de 1000 mg/L. A excepción de algunas muestras se puede decir que la calidad del agua que llega a los domicilios es aceptable, lo cual confirma lo mencionado por Flores y colaboradores, en 1995, quienes mencionan que aunque el agua reúna las condiciones de potabilidad al ingresar al sistema de distribución, puede deteriorarse antes de llegar al consumidor, ya sea por contaminación del mismo sistema de distribución o por manejo intradomiciliario deficiente, el cual se agrava por el almacenamiento en cisternas, tinacos u otros depósitos.

Para el caso de la cisterna se encontró una media de 21.36° C de temperatura, con un rango de 16 a 28.5° C, una media en el pH de 7.94. Con respecto al pH, se registraron algunas muestras con valores por abajo y por arriba de los límites establecidos en la Modificación de la NOM-127-SSA1-1994, ya que se registraron valores de 6.98 a 10.9, éste valor fue alto, en este caso la alcalinidad del agua es una medida de su capacidad para neutralizar ácidos y está representada principalmente por los aniones:  $\text{OH}^-$ ,  $\text{CO}_3^-$  y  $\text{HCO}_3^-$  y como sugiere Robles *et al* en 2004, los valores altos de pH pueden provocar precipitación de carbonato de calcio, como escamas en las paredes de las tuberías (Tabla 5), en el caso del cloro libre residual también se encontraron valores por debajo de lo establecido con una media de 0.16 mg/L y un rango de 0 a 1.14 mg/L, de oxígeno disuelto se obtuvo una media de 3.36 y un rango de 2 a 5 mg/L (Tabla 5). Para la conductividad se encontró una media de 477.9  $\mu$ S, con un rango de 189  $\mu$ S a 1109  $\mu$ S; es decir 141.75 mg/L a 831.75 mg/L de sólidos disueltos, lo que muestra que se encuentran dentro de la Norma. Los sólidos disueltos están relacionados con el grado de mineralización del agua ya

que son iones de sales minerales que el agua ha conseguido disolver a su paso. Están relacionados con la conductividad del agua ya que un aumento de estos iones aumenta la capacidad conductiva (Internet 4).

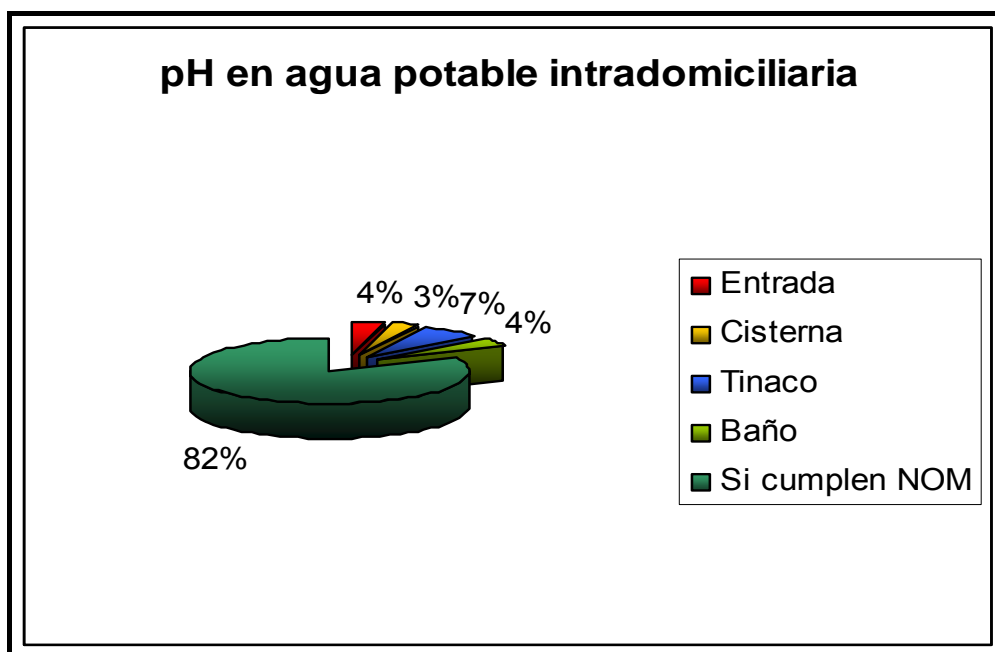
Así mismo, en tinaco se encontró una media de 23.79° C de temperatura, con un rango de 18° a 33.6° C, una media en el pH de 7.93, aunque en algunas muestras se registraron valores por abajo y por arriba de los límites establecidos en la Modificación de la NOM-127-SSA1-1994, ya que se obtuvieron valores de 6.1 a 10.3. En el caso del cloro libre residual también se encontraron valores por arriba y por debajo de lo establecido con una media de 0.11 mg/L y un rango de 0 a 2.54 mg/L, el cloro libre residual debe estar presente en los suministros de agua potable en concentraciones de 0.2 a 1.5 mg/L; en concentraciones mayores es contaminante (Robles *et al*, 2004). De oxígeno disuelto se obtuvo una media de 3.29 y un rango de 2.2 a 5.4 mg/L. Para la conductividad se encontró una media de 468.65  $\mu$ S, con un rango de 179  $\mu$ S a 1422  $\mu$ S; es decir, 134.25 mg/L a 1066.50 mg/L de sólidos disueltos, por lo que no cumplen con la norma, como lo menciona Robles *et al* en 2004, las concentraciones muy elevadas afectarían el sabor del agua para consumo humano. La falta de mantenimiento en tinacos, se observó en los muestreos realizados en Coacalco, Teoloyucan y Ecatepec en el Estado de México y en la delegación Gustavo A. Madero, de la Ciudad de México.

Finalmente para el caso del agua de la llave de baño se encontró una media de 26.5° C de temperatura, con un rango de 15° a 39.5° C, una media en el pH de 7.93, aunque se registraron algunas muestras con valores por abajo y por arriba de los límites establecidos en la Modificación de la NOM-127-SSA1-1994, ya que se obtuvieron valores de 6.47 a 9.1. En el caso del cloro libre residual también se encontraron valores por debajo de lo establecido con una media de 0.08 mg/L y un rango de 0 a 0.78 mg/L. De oxígeno disuelto se obtuvo una media de 3.04 y un rango de 1.2 a 5.2 mg/L. Para la conductividad se encontró una media de 483.62  $\mu$ S, con un rango de 189  $\mu$ S a 1494  $\mu$ S; es decir, 141.75 mg/L a 1120.5 mg/L, y de igual manera que en tinaco, tampoco para el agua de la llave de baño se cumplió con la Norma.

En general (Tabla 5), con los parámetros que se determinaron, en la temperatura se registró una media de 23.74° C, con un rango de 15° C a 39.5° C, ambos datos registrados en el baño. Para el caso del pH, se registró una



media de 7.82 con un rango de 6.1 a 10.9. De acuerdo con los resultados, para el pH, se observó que el 18.18% no cumplió con lo establecido en la Modificación de la NOM-127-SSA1-1994, siendo el mayor número de muestras de tinaco con un 7%, como lo muestra la Gráfica 3.

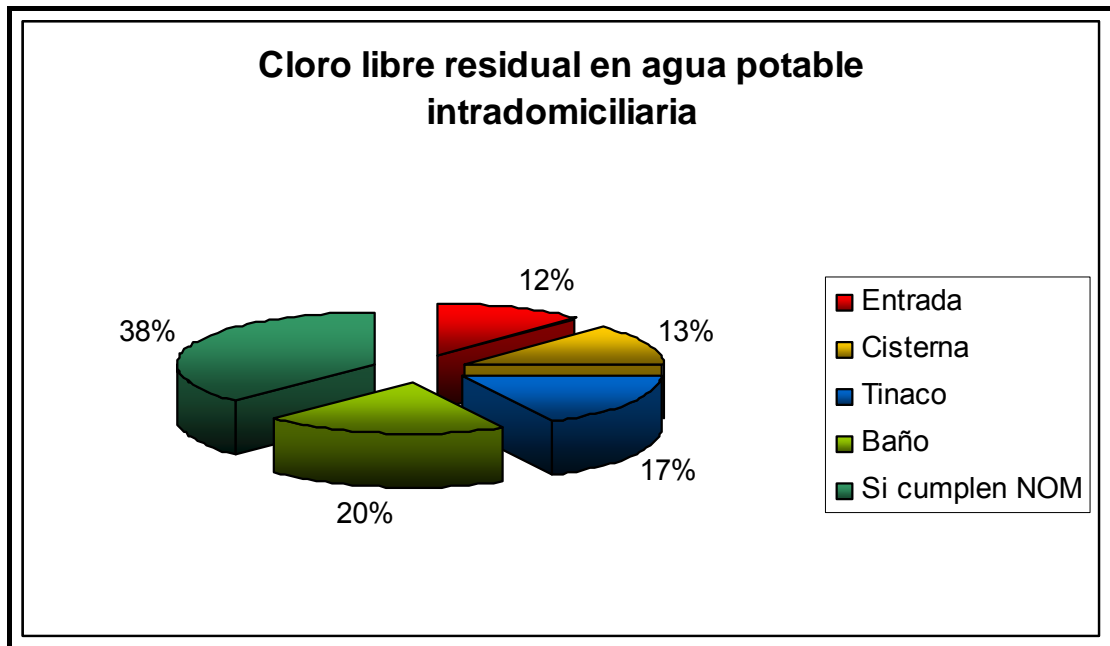


Gráfica 3. Muestras de agua potable intradomiciliaria que no cumplen con el pH que establece la NOM

Con respecto al cloro libre residual, siendo éste un parámetro muy importante en cuanto a la desinfección del agua, se registró una media de 0.13 mg/L y un rango de 0 a 2.54 mg/L (Tabla 5). El 62.62% de las muestras no cumplió con lo estipulado en la Modificación de la NOM-127-SSA1-1994. Como se observa en la Gráfica 4, las muestras del baño con un 20.20%, seguido del tinaco con un 17.17%, no cumplieron con lo establecido por la Norma. Estos porcentajes son muy altos, lo que sugiere que la escasa presencia de cloro, en el caso del baño pudo deberse a que las temperaturas registradas, estuvieron en promedio por arriba de 20° C, lo cual propicia la evaporación del cloro libre residual de la red, tal vez por rotura de las tuberías maestras, lo cual es de esperar en una red de distribución, como lo mencionan Flores y colaboradores, en 1995. Además durante este estudio se observó que en varios de los sitios muestreados, los tanques permanecen abiertos y no se limpian con regularidad, y de acuerdo con Castro y Chaidez (2003) estas situaciones propician que el cloro libre

residual se evapore y estimule la proliferación de microorganismos, como ocurrió en las muestras de la cisterna del muestreo 5 y 6, 7, 13, 23 y 26, ubicados en Cuautitlán Izcalli, Coacalco, Teoloyucan y Gustavo A. Madero, donde las concentraciones de cloro libre residual, fueron nulas o muy bajas (Tabla 6). Por otro lado, en la cisterna del muestreo 17, ubicado en Pantitlán, se encontraron coliformes totales y coliformes fecales aún en presencia de cloro con 1.14 mg/L, así como en el muestreo 22, ubicado en Ecatepec, donde se registró en tinaco una concentración de cloro de 2.54 mg/L (Tabla 6), además de la presencia de coliformes totales y coliformes fecales, lo cual indica que el cloro fue recientemente agregado o que existen cepas bacterianas resistentes al cloro. Esta observación es muy importante, ya que significa que la presencia de cloro no siempre garantiza la calidad bacteriológica del agua. En este sentido, Mazari y colaboradores en 2003, detectaron *Helicobacter pylori* en muestras analizadas posteriores a la cloración, hallando concentraciones de entre <0.05 mg/L y 35 µg/L de cloro libre residual, lo que llevó a la conclusión de que la desinfección en los pozos no garantiza la buena calidad del agua.

Por otro lado hubo sitios donde la concentración de cloro fue de cero como el muestreo 21, ubicado en la delegación Miguel Hidalgo, sin embargo, solamente se registraron coliformes fecales en el tinaco, lo cual sugiere que el agua que llega a ese domicilio es de buena calidad bacteriológica, sin embargo, al no contener cloro, es muy fácil que se contamine con bacterias y con otros organismos. Además se observó que el mantenimiento es nulo, incluso el tinaco se encontraba expuesto a la intemperie ya que se encontraba roto.



Gráfica 4. Muestras de agua potable intradomiciliaria que no cumplen con el cloro libre residual que establece la NOM

En cuanto a la presencia de oxígeno disuelto, se obtuvo una media de 3.23 mg/L, con un rango de 1.2 a 5.4 mg/L (Tabla 5). Lo cual significa que en general, el agua potable intradomiciliaria tuvo bajas concentraciones de oxígeno disuelto. Ya que en la ciudad de México con 2230 msnm, se tiene una presencia de oxígeno disuelto de 7.2 mg/L a 20° C. En cuanto a la conductividad se registró una media de 460.12  $\mu\text{S}$  y un rango de 159  $\mu\text{S}$  a 1494  $\mu\text{S}$ ; es decir 119.25 mg/L a 1120.5 mg/L de sólidos disueltos, por lo que con este último valor registrado no se cumple con la Norma.

Tabla 5. Valores promedio y desviación estándar de los parámetros fisicoquímicos registrados en el agua potable intradomiciliaria de la Ciudad de México y Área Metropolitana

Parámetro	TODOS LOS DATOS				ENTRADA				CISTERNA				Unidades
	Media		Máx	Mín	Media		Máx	Mín	Media		Máx	Mín	
	Geométrica	Desv. St.			Geométrica	Desv. St.			Geométrica	Desv. St.			
Temperatura	23.74	4.46	39.5	15	22.73	3.09	30.4	18	21.36	2.95	28.5	16	° C
pH	7.82	0.77	10.9	6.1	7.52	0.66	8.9	6.17	7.94	0.88	10.9	6.98	-
Cloro libre	0.13	0.40	2.54	0	0.24	0.42	1.35	0	0.16	0.33	1.14	0	mg/L
Oxíg. Dis.	3.23	0.87	5.4	1.2	3.27	0.827	5.2	1.4	3.36	0.82	5	2	mg/L
Conductividad	460.12	302.11	1494	159	417.26	262.07	871	159	477.9	285.54	1109	189	μS
Col. Tot.	0.24	42.14	200	0	0.12	0.43	2	0	1.23	66.54	200	0	UFC/100 ml
Col. Fec.	0.31	45.83	200	0	0.22	9.64	34	0	1.36	69.21	200	0	UFC/100 ml

Parámetro	TINACO				BAÑO			
	Media		Máx	Mín	Media		Máx	Mín
	Geométrica	Desv. St.			Geométrica	Desv. St.		
Temperatura	23.79	3.94	33.6	18	26.5	5.39	39.5	15
pH	7.93	0.87	10.3	6.1	7.93	0.60	9.1	6.47
Cloro libre	0.11	0.53	2.54	0	0.08	0.23	0.78	0
Oxíg. Dis.	3.29	0.88	5.4	2.2	3.04	0.95	5.2	1.2
Conductividad	468.65	332.07	1422	179	483.62	324.76	1494	189
Col. Tot.	0.21	49.35	200	0	0.17	26.91	140	0
Col. Fec.	0.22	37.87	200	0	0.22	52.16	200	0

Tabla 6. Parámetros fisicoquímicos e indicadores bacteriológicos registrados en el agua potable intradomiliaria de la Ciudad de México y Área Metropolitana

	A	B	C	D	E	F	G		A	B	C	D	E	F	G
<b>Muestreo 1</b>								<b>Muestreo 15</b>							
Entrada	24.0	7.20	0.75	2.60	779	0	0	Entrada	22.0	8.1	1.07	3.4	266	0	0
Cisterna	23.5	7.42	0.11	2.20	736	0	0	Cisterna	*	*	*	*	*	*	*
Tinaco	26.0	7.55	0.64	2.20	724	0	0	Tinaco	22.0	9.0	0.87	5.0	254	0	0
Baño	34.5	7.35	0.78	1.50	808	0	0	Baño	25.0	8.4	0.01	4.0	294	0	0
<b>Muestreo 2</b>								<b>Muestreo 16</b>							
Entrada	22.0	7.95	0.39	5.2	191	0	0	Entrada	19.0	6.17	0.19	3.6	159	0	0
Cisterna	21.5	8.13	0.61	5.0	189	0	0	Cisterna	*	*	*	*	*	*	*
Tinaco	25.9	8.60	0.05	5.4	212	0	0	Tinaco	21.0	6.12	0.02	3.4	179	0	0
Baño	30.0	8.45	0.00	3.6	224	0	0	Baño	24.0	6.47	0.02	3.0	189	0	0
<b>Muestreo 3</b>								<b>Muestreo 17</b>							
Entrada	26.5	8.18	0.42	3.4	763	0	0	Entrada	20.5	7.08	1.32	4.0	253	0	0
Cisterna	*	*	*	*	*	*	*	Cisterna	21.2	7.32	1.14	3.8	287	1	2
Tinaco	*	*	*	*	*	0	0	Tinaco	21.0	7.53	0.58	3.8	252	0	0
Baño	25.0	8.21	0.60	3.8	738	0	0	Baño	22.0	7.56	0.23	3.8	305	0	0
<b>Muestreo 4</b>								<b>Muestreo 18</b>							
Entrada	21.5	8.84	0.57	3.4	226	0	0	Entrada	24.0	7.9	0.59	2.6	816	0	0
Cisterna	21.6	8.45	0.23	3.6	222	1	0	Cisterna	27.0	8.6	0.10	2.4	880	0	0
Tinaco	22.4	9.28	0.03	3.0	237	0	0	Tinaco	25.0	7.9	0.13	2.4	882	0	0
Baño	30.6	9.03	0.07	2.8	240	0	0	Baño	34.0	7.9	0.11	2.4	916	0	0
<b>Muestreo 5</b>								<b>Muestreo 19</b>							
Entrada	25.0	8.9	0.02	3.2	260	0	0	Entrada	20.0	6.65	0.44	3.6	384	0	0
Cisterna	23.0	10.9	0.01	4.2	263	52	25	Cisterna	20.0	8.70	0.00	3.4	445	3	0
Tinaco	24.0	10.3	0.02	3.4	266	0	0	Tinaco	18.0	7.90	0.76	3.6	378	0	0
Baño	28.0	9.1	0.03	3.6	271	0	0	Baño	22.0	8.80	0.11	2.0	386	2	0
<b>Muestreo 6</b>								<b>Muestreo 20</b>							
Entrada	29.0	7.5	0.00	4.4	766	0	0	Entrada	20.0	7.92	1.15	4.46	335	0	0
Cisterna	25.0	7.8	0.00	4.8	742	63	140	Cisterna	19.5	8.41	0.12	3.40	740	0	0
Tinaco	29.0	7.6	0.00	4.2	762	33	0	Tinaco	20.5	8.36	0.29	2.94	860	0	0
Baño	28.0	7.8	0.02	5.2	761	0	0	Baño	22.7	8.26	0.21	2.63	948	0	0
<b>Muestreo 7</b>								<b>Muestreo 21</b>							
Entrada	30.4	7.2	0.02	3.5	786	1	6	Entrada	28.0	7.7	0.00	3.00	259	0	0
Cisterna	28.5	7.0	0.02	3.6	814	>200	>200	Cisterna	22.0	7.8	0.00	3.60	255	0	0
Tinaco	33.6	7.1	0.02	4.4	821	175	>200	Tinaco	24.0	7.9	0.00	4.80	259	0	9
Baño	39.5	7.2	0.02	4.4	850	140	>200	Baño	29.0	7.9	0.00	4.00	260	0	0
<b>Muestreo 8</b>								<b>Muestreo 22</b>							
Entrada	24.0	8.5	0.18	3.3	870	0	0	Entrada	18.0	7.60	0.11	3.4	636	0	0
Cisterna	25.0	7.8	0.58	3.6	930	1	0	Cisterna	18.0	7.96	0.57	3.0	696	0	1
Tinaco	24.0	8.5	0.86	3.2	921	0	0	Tinaco	20.0	8.25	2.54	3.4	726	200	25
Baño	24.0	8.2	0.66	4.0	833	0	0	Baño	15.0	8.34	0.06	4.0	623	0	0
<b>Muestreo 9</b>								<b>Muestreo 23</b>							
Entrada	21.0	7.8	0.08	4.4	432	0	0	Entrada	*	*	*	*	*	*	*
Cisterna	*	*	*	*	*	*	*	Cisterna	20.50	7.55	0.31	4.0	1109	100	>200
Tinaco	22.0	8.2	0.06	4.2	456	0	0	Tinaco	21.00	8.72	0.02	4.0	1422	0	1
Baño	34.0	8.0	0.01	3.4	480	0	0	Baño	28.00	8.17	0.00	2.4	1494	0	0
<b>Muestreo 10</b>								<b>Muestreo 24</b>							
Entrada	22.0	6.9	0.04	4.4	190	0	0	Entrada	21.00	7.76	0.58	3.4	871	0	0
Cisterna	*	*	*	*	*	*	*	Cisterna	18.50	7.67	0.57	3.0	659	0	0
Tinaco	27.0	8.4	0.03	3.2	194	0	0	Tinaco	21.00	8.31	0.65	2.8	870	0	1

Baño	30.0	7.8	0.04	4.4	198	0	0	Baño	22.00	8.26	0.47	3.4	758	0	180
<b>Muestreo 11</b>								<b>Muestreo 25</b>							
Entrada	20.5	7.70	0.06	3.2	274	0	0	Entrada	21.5	7.19	0.64	2.4	833	0	34
Cisterna	19.0	8.49	0.05	3.6	277	0	0	Cisterna	*	*	*	*	*	*	*
Tinaco	20.0	8.05	0.00	4.2	253	0	0	Tinaco	26.00	7.67	0.19	2.4	840	0	0
Baño	21.5	8.00	0.00	3.4	262	0	0	Baño	25.00	7.59	0.04	2.8	859	0	0
<b>Muestreo 12</b>								<b>Muestreo 26</b>							
Entrada	25.0	7.01	0.37	1.8	390	0	21	Entrada	21.0	7.14	0.08	3.4	479	0	32
Cisterna	22.0	6.98	0.00	2.0	334	0	1	Cisterna	16.0	7.46	0.56	3.6	840	0	66
Tinaco	*	*	*	*	*	*	*	Tinaco	19.0	7.62	0.02	2.6	611	0	0
Baño	28.0	7.3	0.03	1.2	545	0	78	Baño	24.0	8.28	0.04	2.8	633	0	0
<b>Muestreo 13</b>								<b>Muestreo 27</b>							
Entrada	25.0	7.6	0.00	1.4	433	2	0	Entrada	24.0	6.46	0.45	3.4	812	0	0
Cisterna	23.0	7.8	0.00	2.0	389	>200	13	Cisterna	31.0	6.78	0.05	2.4	872	0	0
Tinaco	31.0	7.6	0.01	2.2	479	0	0	Tinaco	28.0	6.10	0.06	2.8	866	0	0
Baño	32.0	7.7	0.00	1.8	494	7	0	Baño	32.0	6.90	0.12	2.6	889	0	0
<b>Muestreo 14</b>															
Entrada	21.0	7.3	1.35	3.0	195	0	0								
Cisterna	23.0	7.8	0.06	3.4	198	0	0								
Tinaco	22.0	7.6	0.25	3.2	197	0	0								
Baño	20.0	7.7	0.47	3.4	192	0	0								

A.- Temperatura (° C), B.- pH, C.- Cloro libre residual (mg/L), D.- Oxígeno disuelto (mg/L), E.- Conductividad (μS),  
F.- Coliformes totales (UFC/100 ml), G.- Coliformes fecales (UFC/100 ml)

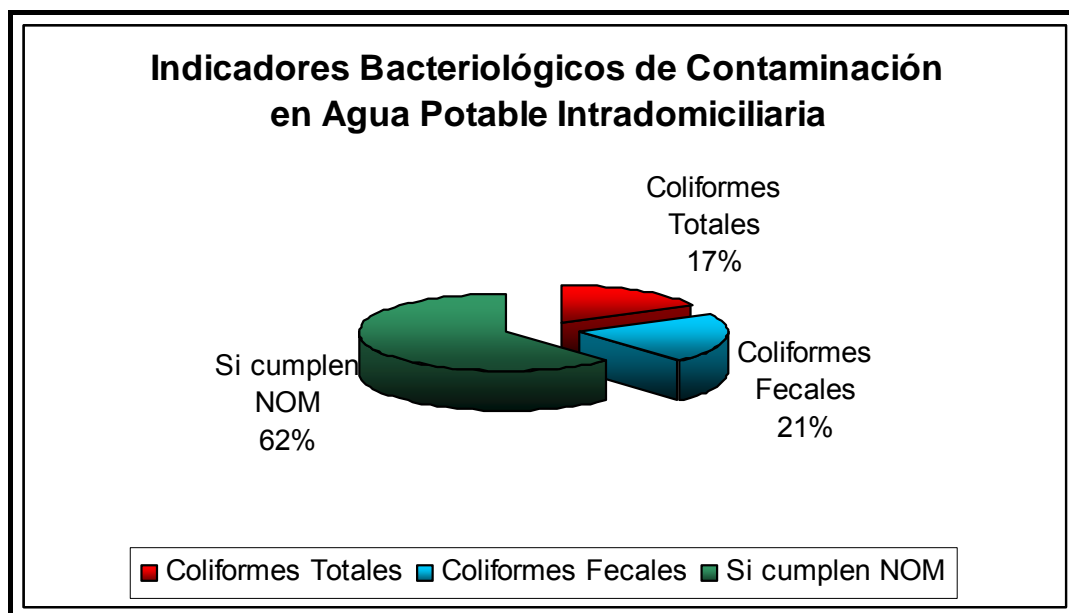
UFC= Unidades Formadoras de Colonias

\* No hubo muestra

## 7.2 Indicadores bacteriológicos

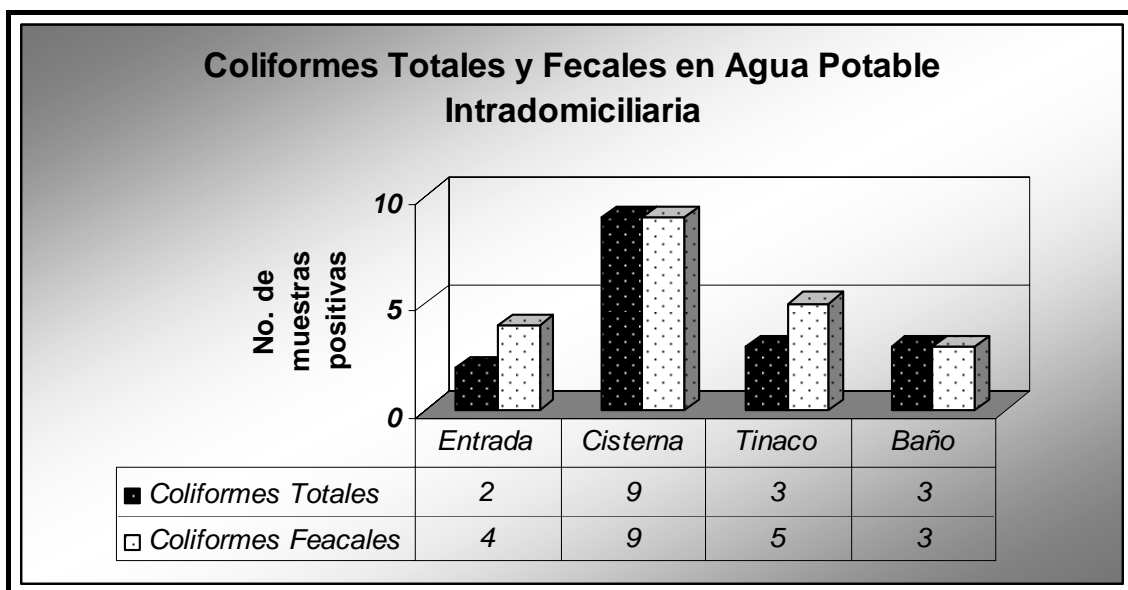
Se detectaron indicadores bacteriológicos de contaminación en el 19.38% del total de las muestras, el 17.17% fueron coliformes totales y el 21.21% coliformes fecales (Gráfica 5).

De las 27 casas habitación, 15 casas no cumplieron con Modificación de la NOM-127-SSA1-1994, en cuanto a la presencia de coliformes totales (Fig. 7) y coliformes fecales (Fig. 8), ubicadas en la Gustavo A. Madero, Azcapotzalco, Iztapalapa, Miguel Hidalgo e Iztacalco, de la Ciudad de México, así como Coacalco, Teoloyucan, Ecatepec y Tlalnepantla del área Metropolitana.



Gráfica 5. Indicadores bacteriológicos de contaminación en agua potable intradomiciliaria que no cumplen la NOM

Como se muestra en la Gráfica 6, el mayor número de muestras con coliformes totales y fecales se registró en muestras de agua de la cisterna. La Modificación de la NOM-127-SSA1-1994 para agua potable, establece que el agua abastecida por el sistema de distribución no debe contener *E. coli* o coliformes fecales en ninguna muestra de 100 ml. La presencia de cualquier organismo patógeno en agua siempre es considerada como un riesgo potencial de salud pública (Castro y Chaidez, 2003).



Gráfica 6. Presencia de coliformes totales y fecales en agua potable intradomiciliaria

Los resultados de este estudio sobre la presencia de indicadores bacteriológicos, concuerda con los resultados obtenidos por Mazari y colaboradores en 2005.

El mayor número de muestras con coliformes fecales sugiere que la principal fuente de contaminación es de origen fecal, lo cual puede deberse a la existencia de fugas o filtraciones en los sistemas de almacenamiento y distribución del agua en el interior de los domicilios y los drenajes, o entre el mismo suelo por fecalismo al aire libre (Flores *et al.*, 1995).

En el muestreo 7 ubicado en Coacalco, se registraron altas concentraciones de coliformes totales y coliformes fecales, lo cual pudo deberse a varios factores; había bajas concentraciones de cloro 0.02 mg/L y por otro lado la temperatura del agua estaba entre 28.5 y 39.5° C, lo cual, de acuerdo a Espigares y Fernández, en 1995 mencionan que conforme aumenta la temperatura a partir de 10° C, se favorece gradualmente el crecimiento de bacterias. Además se observó falta de mantenimiento. Castro y Chaidez en 2003, mencionan que en muchos países como el nuestro, el agua municipal es insegura debido al mantenimiento inadecuado de los depósitos y cloración deficiente.

En cisterna fue donde se encontró un mayor número de muestras con coliformes totales y coliformes fecales, como se observó en los muestreos 5, 6, 7 y 13, ubicados en Cuautitlán Izcalli, Coacalco y Teoloyucan, en los cuales hubo una baja o nula presencia de cloro libre residual. Characklis, en 1998,



mencionó que el crecimiento bacteriano en los sistemas de almacenamiento y distribución de agua potable produce un deterioro de la calidad del agua, aumentando su turbiedad e incluso llegando a afectar su conformidad con las normas microbiológicas de calidad.

En el caso de la cisterna en el muestreo 5, ubicado en Cuatitlán Izcalli, además de encontrarse la presencia de coliformes tanto totales como fecales y sólo 0.01 mg/L de cloro libre residual, se tuvo un pH de 10.9, para lo cual sugiere Espigares y Fernández en 1995, que cuando el pH es superior a 8 hay una disminución progresiva de la eficacia de la cloración, lo cual pudo ocurrir en este caso, ya que en los demás sitios no hubo presencia de bacterias y el cloro fue un poco más alto.

En algunas muestras que fueron tomadas de la entrada de los muestreos 7, 12, 13, 25 y 26 ubicados en Coacalco, Azcapotzalco, Teoloyucan, Tlalnepantla y Gustavo A. Madero, se encontró la presencia de coliformes totales y coliformes fecales, lo que indica que el agua que ingresa en los domicilios llega contaminada, aunque también es posible que se contaminen *in situ*. De acuerdo con Vizcaíno, en 1986, señala que el caso más común de contaminación de aguas subterráneas en el país, se debe al alcance de los acuíferos subterráneos por desechos humanos. La filtración de ciertas sustancias de los drenajes urbanos a través del suelo, llega a estos acuíferos y los contamina, causando graves problemas de salud pública.

Otra fuente de contaminación de los mantos, es generada por la acumulación de diversos tipos de desechos sólidos: las lluvias provocan la disolución de algunos de sus componentes, además de que propician la descomposición de la materia orgánica; produciendo así, líquidos indeseables que, según las condiciones del terreno, pueden filtrarse hasta los mantos acuíferos, contaminándolos (Vizcaíno, 1986).

De aquí que la contaminación de las reservas de agua subterránea es especialmente grave porque este recurso es fácil de agotar y se renueva con gran lentitud. Estas aguas no pueden autodepurarse como logran hacerlo las corrientes fluviales. Ello se debe a que en los mantos acuíferos los flujos de agua son lentos y no presentan turbulencias, razón por la cual los contaminantes no se diluyen ni dispersan con efectividad, fuera del acuífero. Además las aguas subterráneas están privadas del suministro de oxígeno

atmosférico por lo que la actividad descomponedora de las bacterias aerobias es muy reducida. Aunado a lo anterior, la baja temperatura de esta agua ocasiona que las reacciones de degradación sean considerablemente lentas, lo que significa que pueden necesitarse cientos de miles de años para que el agua freática se autodepure (Ríos y Pimentel, 2005).

En el muestreo 12, ubicado en Azcapotzalco, la muestra tomada de baño, tuvo una concentración de oxígeno disuelto y cloro libre residual con 1.2 y 0.03 mg/L respectivamente, con respecto al oxígeno disuelto, el valor no fue tan bajo, sin embargo, se obtuvieron valores máximos de hasta 5.4 mg/L, además como lo menciona Romero en 1999, el oxígeno disuelto disminuye, al aumentar la temperatura, en este caso se registró 28° C. En esta misma muestra hubo presencia de coliformes fecales, incluso en la entrada, lo cual fue favorecido por las bajas concentraciones de cloro libre residual.

La muestra de baño del muestreo 23, tuvo el valor más alto en la conductancia con 1494  $\mu\text{S}$ , y no hubo presencia de coliformes sin embargo, en este mismo muestreo en la cisterna, con un valor de conductancia de 1109  $\mu\text{S}$ , se registraron tanto coliformes totales como coliformes fecales. En este caso la conductividad mayor a 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , nos habla de un agua con excesiva mineralización. También en el muestreo 7, se observó la presencia de coliformes totales y coliformes fecales, registrándose valores altos de conductancia, los cuales oscilaron entre 786 y 850  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . La conductividad de 700 a 1000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , nos habla de un agua con importante mineralización. Por otro lado, en el baño del muestreo 14, con un valor de conductancia de 192  $\mu\text{S}$ , hubo presencia de coliformes totales. La conductividad de 100 a 200  $\mu\text{S}/\text{cm}$  nos muestra que la composición del agua es de mineralización débil.

Con base en los resultados se puede decir que los muestreos 6, 7, ubicados en Coacalco así como el muestreo 13, ubicado en Teoloyucan, los tres del área metropolitana, fueron los más contaminados por la presencia de coliformes totales y coliformes fecales.

Por otro lado, se ha demostrado que un agua bacteriológicamente potable no quiere decir que no existan otros microorganismos. Entre las especies de protozoos de los que se sabe han sido transmitidos por la ingestión de agua de beber contaminada figuran *Entamoeba histolytica* (causante de la amibiasis), *Giardia* spp., y *Cryptosporidium*. Estos microorganismos pueden introducirse en

un abastecimiento de agua por contaminación fecal humana y en algunos casos, animal. Los microorganismos coliformes no parecen constituir un buen indicador de *Giardia* o de *E. histolytica* en el agua de beber: los enterovirus y los protozoos son más resistentes a la desinfección que *E. coli*, de modo que la ausencia de *E. coli* no indica necesariamente la exención de estos microorganismos (Guías para la calidad de agua potable, 1998).

La consecución y el mantenimiento de una adecuada calidad bacteriológica y organoléptica del agua requiere no sólo limitar la concentración de nutrientes en el agua, antes y después del tratamiento de potabilización, sino también efectuar un control de los materiales utilizados en las conducciones de agua, un riguroso mantenimiento de las instalaciones de distribución y un programa de desinfección adecuado (Knobersdorf y Mujeriego, 1997). Ya que en este estudio se pudo observar que en general, la calidad del agua que ingresa a los domicilios es aceptable sin embargo, se contamina dentro de los domicilios, por la mala higiene en los depósitos, tuberías y grifos en mal estado; ya que se mencionó que la mayoría de los tinacos y cisternas no han sido lavados ó si fueron lavados, fue hace uno o dos años, así como cisternas y tinacos abiertos, rotos, etc., representando un riesgo en la salud por la presencia de bacterias patógenas y otros organismos oportunistas.



Fig. 7 Coliformes totales en agua potable de casas habitación

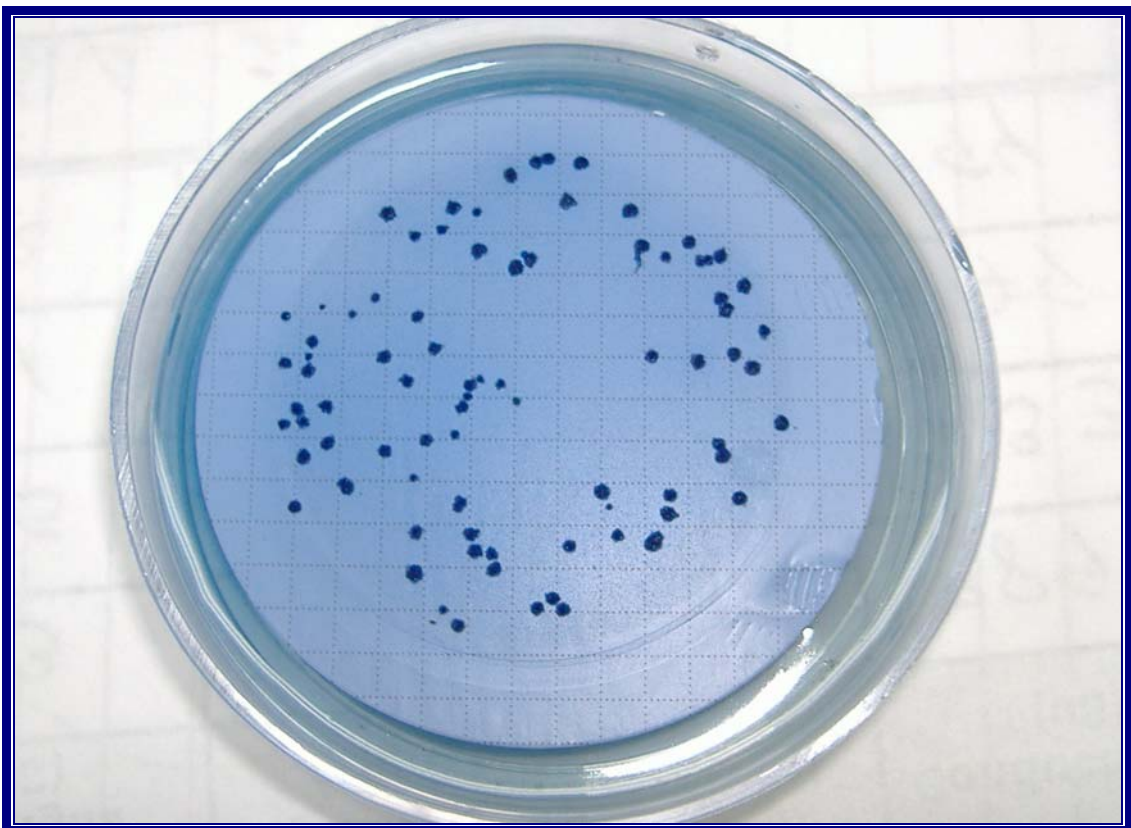


Fig. 8 Coliformes fecales en agua potable de casas habitación

### 7.3 Análisis de la relación entre los parámetros fisicoquímicos, los indicadores bacteriológicos y los sistemas de almacenamiento del agua potable intradomiciliaria

Los resultados obtenidos del coeficiente de correlación de Spearman, entre los parámetros fisicoquímicos, los indicadores bacteriológicos y entrada (Tabla 7), muestran que hubo una ligera relación inversa entre los coliformes totales y oxígeno disuelto  $\rho = -0.48$ , así como el cloro con la temperatura  $\rho = -0.36$ . Y una ligera relación directa entre los coliformes totales y la temperatura  $\rho = 0.38$ , así como la conductividad con la temperatura  $\rho = 0.36$ . Se observó que coliformes totales se vieron favorecidas cuando hubo concentraciones bajas de oxígeno disuelto y altas temperaturas. Cuando la temperatura aumentaba, la concentración de cloro fue nula o escasa y la conductividad fue baja cuando se registraron altas temperaturas. Como lo sugiere Robles *et al* en 2004, al aumentar la temperatura la solubilidad del oxígeno disuelto disminuye y la actividad metabólica de los microorganismos aumenta.

Tabla 7. Resultados obtenidos mediante el coeficiente de correlación de Spearman de entrada (nivel de confianza del 95%, valor de significancia  $<0.05$ )

	Temperatura	pH	Cloro	Oxígeno disuelto	Conductividad	Coliformes totales	Coliformes fecales
Temperatura	1	0.17	<b>-0.36*</b>	-0.23	<b>0.36*</b>	<b>0.38*</b>	0.1
pH	0.17	1	-0.02	0.05	0.02	-0.04	-0.26
Cloro	<b>-0.36*</b>	-0.02	1	0.04	-0.1	-0.31	-0.09
Oxígeno disuelto	-0.23	0.05	0.04	1	-0.25	<b>-0.48*</b>	-0.34
Conductividad	<b>0.36*</b>	0.02	-0.1	-0.25	1	0.13	0.24
Coliformes totales	<b>0.38*</b>	-0.04	-0.31	<b>-0.48*</b>	0.13	1	0.07
Coliformes fecales	0.1	-0.26	-0.09	-0.34	0.24	0.07	1

\* Resultados con valor de significancia  $<0.05$

Los resultados obtenidos entre los parámetros fisicoquímicos, los indicadores bacteriológicos, los tinacos y cisternas (Tabla 8), muestran que también hubo una relación directa entre los coliformes totales y los coliformes fecales  $\rho = 0.81$ , así como una ligera relación inversa entre la temperatura con el cloro  $\rho = -0.37$  y la conductividad con el oxígeno disuelto  $\rho = -0.31$ , pero no así entre los coliformes totales con el pH  $\rho = -0.01$  y el cloro con el pH  $\rho = 0.01$ , donde no hubo relación. En este caso como lo sugiere Robles *et al* en 2004, existen tres factores que afectan la concentración de oxígeno disuelto en el agua: la presión

atmosférica, la temperatura y salinidad o contenido de sólidos disueltos, lo cual se observó, ya que el oxígeno disuelto disminuyó al aumentar la conductividad.

Tabla 8. Resultados obtenidos mediante el coeficiente de correlación de Spearman de cisternas y tinacos (nivel de confianza del 95%, valor de significancia <0.05)

	Temperatura	pH	Cloro	Oxígeno disuelto	Conductividad	Coliformes totales	Coliformes fecales
Temperatura	1	-0.18	<b>-0.37*</b>	-0.12	0.15	0.24	0.08
pH	-0.18	1	0.01	0.26	-0.22	-0.01	-0.09
Cloro	<b>-0.37*</b>	0.01	1	0.07	0.14	0.03	0.03
Oxígeno disuelto	-0.12	0.26	0.07	1	<b>-0.31*</b>	0.19	0.27
Conductividad	0.15	-0.22	0.14	<b>-0.31*</b>	1	0.24	0.28
Coliformes totales	0.24	-0.01	0.03	0.19	0.24	1	<b>0.81*</b>
Coliformes fecales	0.08	-0.09	0.03	0.27	0.28	<b>0.81*</b>	1

\* Resultados con valor de significancia <0.05

Los resultados obtenidos entre los parámetros fisicoquímicos, los indicadores bacteriológicos y todos los sitios de muestreo (Tabla 9), reflejan que hubo una ligera relación directa entre los coliformes totales y los coliformes fecales  $\rho = 0.67$ , así como una ligera relación inversa entre la temperatura y cloro  $\rho = -0.34$ , como el oxígeno disuelto y la conductividad  $\rho = -0.27$ .

Tabla 9. Resultados obtenidos mediante el coeficiente de correlación de Spearman con los datos totales (nivel de confianza del 95%)

	Temperatura	pH	Cloro	Oxígeno disuelto	Conductividad	Coliformes totales	Coliformes fecales
Temperatura	1	-0.08	<b>-0.34*</b>	-0.2	0.2	0.2	0.09
pH	-0.08	1	-0.06	0.17	-0.11	0.01	-0.12
Cloro	<b>-0.34*</b>	-0.06	1	0.05	0.06	-0.04	0
Oxígeno disuelto	-0.2	0.17	0.05	1	<b>-0.27*</b>	0.11	0.05
Conductividad	0.2	-0.11	0.06	<b>-0.27*</b>	1	0.2	0.26
Coliformes totales	0.2	0.01	-0.04	0.11	0.2	1	<b>0.67*</b>
Coliformes fecales	0.09	-0.12	0	0.05	0.26	<b>0.67*</b>	1

\* Resultados con valor de significancia <0.05

La ligera relación entre los coliformes fecales y coliformes totales, se debe a que los primeros pertenecen a los coliformes totales, pero crecen a una temperatura de incubación de 44.5° C, como lo señala Murray en 1999. También se observó que cuando se registraron altas temperaturas, la presencia de cloro fue baja o casi nula. Los resultados del análisis estadístico también muestran una relación inversa entre la conductividad y el oxígeno disuelto.

Cabe resaltar que estadísticamente entre el cloro y los coliformes fecales, no hubo relación  $\rho = 0$ . Sin embargo, los resultados reflejan que la presencia de coliformes fecales se vio favorecida por la baja o nula presencia de cloro como fue el caso de los muestreos 5, 6, 7, y 13, ubicados en Cuautitlán Izcalli, Coacalco y Teoloyucan, los cuales registraron bajas concentraciones de cloro y hubo presencia de coliformes fecales.

## 8. CONCLUSIONES

- El 29.79% del total de las muestras analizadas estuvieron fuera de la NOM-127-SSA1-1994.
- De las 27 casas habitación, 11 cumplieron con la Modificación de la NOM-127-SSA1-1994, en las muestras de entrada, sin embargo 10 de éstas, no cumplieron con la norma en las muestras de cisterna, tinaco y baño.
- Las muestras de cisterna de 19 casas habitación, no cumplieron con la Modificación de la NOM-127-SSA1-1994 y de éstas 13 tampoco cumplieron con la norma en las muestras tanto de tinaco como de baño.
- Se detectaron indicadores bacteriológicos de contaminación en el 19.38% del total de las muestras; que correspondió a 15 casas habitación, el 17.17% fueron coliformes totales y el 21.21% coliformes fecales.
- El mayor número de muestras con coliformes totales y fecales, se registró en muestras de agua de la cisterna, seguido del tinaco, baño y entrada.
- La presencia de cloro no garantiza la calidad bacteriológica del agua.
- En la entrada hubo una ligera relación inversa entre coliformes totales y el oxígeno disuelto; entre coliformes totales y temperatura y una relación directa entre el cloro con la temperatura y la temperatura con la conductividad.
- En los tinacos y cisternas hubo una relación directa entre los coliformes totales y los coliformes fecales, así como una ligera relación inversa entre la temperatura con el cloro y la conductividad con el oxígeno disuelto.
- Con todos los sitios de muestreo hubo una ligera relación directa entre coliformes totales y coliformes fecales, y una ligera relación inversa entre la temperatura y la conductividad, así como entre la conductividad y el oxígeno disuelto.
- No hubo relación entre los coliformes fecales y el cloro.



- El agua que llega a los domicilios es aceptable, sin embargo, ésta es contaminada dentro de éstos.
- Las principales fuentes de contaminación del agua intradomiciliaria son la mala higiene en los depósitos, tuberías y grifos en mal estado, así como cisternas y tinacos abiertos, rotos, etc.

## 9. RECOMENDACIONES

Para los usuarios:

- Mantenimiento periódico de los sistemas de almacenamiento: tinacos y cisternas, mínimo dos veces por año.
- Contar con sistemas de almacenamiento plásticos y mantenerlos cerrados y en buen estado.

Para las autoridades:

- Vigilar constantemente los niveles de cloro del agua a todo lo largo de las redes de distribución, sobre todo en las zonas donde se detecten roturas de las mismas.
- Efectuar un control de los materiales utilizados en las conducciones de agua, así como un riguroso mantenimiento de las instalaciones de distribución.
- Promover una campaña de limpieza de cisternas, tinacos y tuberías intradomiciliarias, por parte de las autoridades sanitarias.
- La cuenca hidrográfica debe protegerse contra la acción humana, aislándola o controlando las actividades desarrolladas en la zona que puedan contaminarla, por ejemplo el vertido de desechos peligrosos, la explotación de minas y canteras, el uso de fertilizantes y plaguicidas en la agricultura, así como limitando y reglamentando las actividades recreativas.
- Revisar la legislación existente para el control microbiológico del agua, ya que el uso de indicadores bacteriológicos no garantiza la ausencia de virus y parásitos.
- Es urgente una actualización en la manera de evaluar la calidad del agua para consumo humano, y es necesario contar con un monitoreo continuo y lo más completo posible.

## 10. REFERENCIAS

- ❖ Arauzo de Zamueta, M. 2005. Aspectos biológicos de la calidad del agua. Capítulo 2. <http://www.cepis.oms.org>
- ❖ Asano, T. y Levine, D. 1998. Wastewater reclamation, recycling and reuse: an introduction. In wastewater reclamation and use. Takashi Asano (editor). *Technomic Publishing*. Lancaster. 1528 p.
- ❖ Castro, D. N. y Chaidez, Q. C. 2003. Riesgos Microbiológicos del Almacenamiento de Agua Potable en Tinacos. *Agua Latinoamericana* Mayo/Junio:2-5.
- ❖ Castro, J. M. 2000. Análisis físico-químicos y bacteriológicos de la calidad del agua del Ramal Tláhuac. 1991-1992. Tesis de Licenciatura (Biología), Facultad de Ciencias, UNAM, México. 88 p.
- ❖ Cespedes. 2000. El Desafío del Agua en la Ciudad de México. CESPEDES. Cámara de la Industria de la Construcción. México.
- ❖ Chaidez, C. R. C. y Yerba, C. P. 1999. Microbiological Survey of Private Roof Water Tanks in Culiacán, México. *Journal of Environmental Science & Health*. 34:1967-1978.
- ❖ Comisión Nacional del Agua. 2007. Estadísticas del Agua en México. Edición 2007. <http://www.cna.gob.mx>
- ❖ Craun, G. F. 1996. Waterborne disease in the United States. Water Quality in Latin America. *Pan American Health Organization*. Washington, USA. D. C. 55-57 p.
- ❖ Díaz, D. C. 2003. Indicadores de contaminación fecal en aguas. En agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos de aguas residuales domésticas. RYPDA-CYTED, UAEM, México. 224-229 p.

- ❖ Encuentro Internacional de experiencias por el Agua. 2006. Palacio de Minería de la Ciudad de México. <http://www.sma.df.gob.mx>
- ❖ Espigares, G. M. y Fernández-Crehuet, N. M. 1995. Calidad del agua para consumo público caracteres físico-químicos. En: Pérez, L. J. A. y Espigares, G. M. *Estudio sanitario del agua*. Granada, España. 81-107 p.
- ❖ Flores, A. J. H. G., Suárez, F. M. N. M. Heredia, R. M., Vivas y M. J. Franco. 1995. Calidad microbiológica del agua potable de la Ciudad de Mérida, México. *Salud Pública de México*. 37 (3):236-239.
- ❖ García, O. N. L. 2007. Estudio fisicoquímico y bacteriológico del agua subterránea en las zonas centro-oriente del Valle de Cuernavaca, Morelos, México. Tesis Licenciatura (Biología), Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, México. 83 p.
- ❖ Gaytán, M., Castro, T., Bonilla, P., Lugo, A. y Vilaclara, G. 1997. Preliminary study of selected drinking water samples in Mexico City. *Rev. Int. Ambient.* 13(2):73-78.
- ❖ González, M. E., González, J. A., Robles, E., Martínez, B., Sáinz, M. G., Tolosa, J. y Salas, A. 2007. Calidad bacteriológica del agua utilizada en clínicas odontológicas. *Acta Odontológica Venezolana*. 45:1.
- ❖ Greenberg, A. E., Trussell, R. R., Clesceri, L. C. y Franson, M. A. H. 1985. *Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater*. 16th Ed. APHA. AWWA, WPCT. Washington. 128 p.
- ❖ Guasch, G. C. 2006. La calidad del agua potable en la Ciudad de México. [file:///D:/La calidad del agua potable en la cd. de Mex.htm](file:///D:/La%20calidad%20del%20agua%20potable%20en%20la%20cd.%20de%20Mex.htm).
- ❖ Guías para la calidad del agua potable. 1998. 2ª Ed. Vol.3 Vigilancia y control de los abastecimientos de agua a la comunidad.

- ❖ Knobelsdorf, J. y Mujeriego, R. 1997. Crecimiento bacteriano en las redes de distribución de agua potable: Una revisión bibliográfica. *Ingeniería del agua*. 4(2):17-28.
  
- ❖ Lafragua, J., Gutiérrez, A., Aguilar, E., Aparicio, J., Mejía, R., Santillán, O., Suárez, M. A. y Preciado, M. 2003. Balance hídrico del valle de México. Anuario ITAM.
  
- ❖ Lloyd, B. 1982. Water Quality Surveillance. *Waterlines*. 1(2):19-23 p.
  
- ❖ López, L. V. M. 2005. El agua y la necesidad de uso sustentable. Agua. *La Jornada*. Edición especial. México. 175 p.
  
- ❖ Manahan, E. S. 1993. *Fundamentals Environmental Chemistry*. Lewis Publishers. New York. 844 p.
  
- ❖ Mazari, H. M., López, V. Y., Ponce, D. L. S., Castillo, R. G., Hernández, E. C. y Rojo, C. F. 2003. Bacteria and disinfection byproducts in water from southern Mexico City. *Archives of Environmental Health*. 58(4):233-237.
  
- ❖ Mazari, H. M., López, V. Y., Ponce, D. L. S., Calva, J. J., Rojo, C. F. y Castillo, R. G. 2005. Longitudinal Study of Microbial Diversity and Seasonality in the Mexico City Metropolitan Area Water Supply System. *Appl Environ Microbiol*. 71:5129-5137.
  
- ❖ Moe, C. L., Sobsey, M. D., Samsa, G. P. y Mesolo, V. 1991. Bacterial Indicators of risk of diarrhoeal disease from drinking-water in the Philippines. *Bulletin of the World Health Organization*. 69:305-317 p.
  
- ❖ Monroy, P. D. 2007. Estudio fisicoquímico y bacteriológico del agua subterránea en la zona sur del Valle de Cuernavaca, Morelos. Tesis Licenciatura (Biología), Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, México. 85 p.

- ❖ Murray, P. R. Lawrence, D. L. Kobayashi, G. S. y Thompson, J. H. 1999. *Microbiología Médica*. Ed. Mosby.
- ❖ National Academy of Science. 1995. El Suministro de Agua de la Ciudad de México. *Nacional Academy Press*. Washington, USA.
- ❖ NOM-127-SSA1-1994. Norma Oficial Mexicana. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilidad. México.
- ❖ Ríos, M. y Pimentel, G. 2005. *Contaminación. La Tierra Agredida*. Equipo Sirius. Madrid, España. 59 p.
- ❖ Robles, V. E., González, A. M. E. y Castillo, N. P. 2004. Contaminantes físicos y químicos del agua: sus efectos en el hombre y el medio ambiente. Facultad de Estudios Superiores Iztacala. UNAM. Tlalneplantla. Edo de México. 115 p.
- ❖ Romero, R. J. A. 1999. *Calidad del agua*. 2ª Ed. Editorial Alfaomega. Escuela Colombiana de Ingeniería. 273 p.
- ❖ Rubio, R. M. A. 2007. Estudio fisicoquímico y bacteriológico del agua subterránea en la zona norte del Valle de Cuernavaca, Morelos, México. Tesis Licenciatura (Biología), Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, México. 96 p.
- ❖ Sánchez, S. R. F. J. 2004. *El Ciclo Hidrológico*. Departamento de Geología. Universidad Salamanca. España. 9 p.  
<http://webu.usal.es/javisan/hidro>
- ❖ S.A.R.H. 1985. Manual de Microbiología del Agua. 3ª. Ed. Dirección General de Desarrollo Tecnológico. México. D. F. 286 p.

- ❖ Solsona, F. 2002. Guías para elaborar normas de calidad del agua bebida en los países en desarrollo. Lima. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
  
- ❖ Soto, B. J. M., Bruce, K., León, F. J., Martínez, R. C. I., Quintero, H. D. y Chaidez, Q. C. 2006. Presencia de microorganismos indicadores, patógenos y oportunistas en agua potable de zonas de Culiacán y Novalato, Sinaloa. XV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales.
  
- ❖ Vizcaíno, M. F. 1986. *La Contaminación en México*. Fondo de Cultura Económica. México. 511 p.

## **INTERNET**

Internet 1: <http://ww.inea.uva.es>

Internet 2: <http://www.conagua.gob.mx/OCAVM>

Internet 3: <http://www.inegi.gob.mx>

Internet 4: <http://www.hidritec.com/doc-parametros2.htm>

**ANEXOS**



## ANEXO I

**Cuadro 1. Normas oficiales mexicanas sobre calidad del agua**

NORMA OFICIAL	INSTITUCIÓN	CARACTERÍSTICA
<p>NOM-001-SEMARNAT-1996</p> <p>NOM-002-SEMARNAT-1996</p> <p>NOM-003-SEMARNAT-1997</p> <p>NOM-004-SEMARNAT-2002</p>	<p style="text-align: center;">Instituto Nacional De Ecología-Comisión Nacional del Agua</p>	<p>Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas en aguas nacionales.</p> <p>Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.</p> <p>Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reutilizan en servicios al público.</p> <p>Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para el aprovechamiento y disposición final de lodos y biosólidos.</p>
<p>NOM-001-CNA-1995</p> <p>NOM-002-CNA-1995</p> <p>NOM-003-CNA-1996</p> <p>NOM-004-CNA-1996</p> <p>NOM-005-CNA-1996</p> <p>NOM-006-CNA-1997</p> <p>NOM-007-CNA-1997</p> <p>NOM-008-CNA-1998</p> <p>NOM-009-CNA-1998</p> <p>NOM-010-CNA-1999</p>	<p style="text-align: center;">Comisión Nacional del Agua</p>	<p>Sistemas de alcantarillado sanitario. Especificaciones de hermeticidad.</p> <p>Toma domiciliaria para abastecimiento de agua potable.</p> <p>Requisitos durante la construcción de pozos de extracción.</p> <p>Requisitos para protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos.</p> <p>Fluxómetros</p> <p>Fosas sépticas y prefabricadas.</p> <p>Requisitos de seguridad para la construcción y operación de tanques para agua.</p> <p>Regaderas empleadas en el aseo corporal.</p> <p>Inodoros para uso sanitario.</p> <p>Válvula de admisión y válvula de descarga para tanque de inodoro.</p> <p>Conservación del recurso agua.</p>

<p>NOM-011-CNA-2000</p> <p>PROY-013-CNA-2001</p> <p>PROY-012-CNA-2002</p>		<p>Especificaciones para determinar disponibilidad media anual.</p> <p>Redes de distribución de agua potable.</p> <p>Requisitos generales de seguridad en presas.</p>
<p>NOM-127-SSA1-1994</p> <p>NOM-179-SSA1-1998</p> <p>NOM-012-SSA1-1993</p> <p>NOM-013-SSA1-1993</p> <p>NOM-014-SSA1-1993</p>	<p>Secretaría de Salud</p>	<p>Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para potabilización, consumo y uso humano.</p> <p>Vigilancia y control de la calidad del agua para uso y consumo humano distribuida por los sistemas de abastecimiento público.</p> <p>Requisitos sanitarios para los sistemas de abastecimiento, transporte y distribución de agua.</p> <p>Requisitos sanitarios para la cisterna de un vehículo de transporte de agua.</p> <p>Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento públicos y privados.</p>

## **ANEXO II**

### **Legislación**

#### **Sistema Nacional de Información sobre Cantidad, Calidad, Usos y Conservación del Agua (SINA)**

##### Fundamento Legal

La implementación del Sistema Nacional y de los Sistemas Regionales de Información sobre cantidad, calidad, usos y conservación del Agua, responde a las disposiciones establecidas en los siguientes documentos:

##### **Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos**

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en su última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 7 de abril de 2006; señala que el Estado debe contar con un Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica. “El Estado contará con un Sistema Nacional de Información Estadística y Geográfica cuyos datos serán considerados oficiales para la Federación, Estados, Distrito Federal y Municipios, los datos contenidos en el Sistema serán de uso obligatorio en los términos que establezca la Ley” Artículo 26, Fracción B.

##### **Ley de Aguas Nacionales (LAN)**

Es la Ley que norma y rige las atribuciones de la Comisión Nacional del Agua, y marca como obligaciones:

- Mantener actualizado y hacer público periódicamente el inventario de las aguas nacionales y de sus bienes públicos inherentes y de la infraestructura hidráulica federal.
- Elaborar balances en calidad del agua por regiones y cuencas hidrológicas.

- Establecer el Sistema Nacional de Información sobre cantidad, calidad, usos y conservación del agua como instrumento básico y uno de los principios de la política hídrica nacional.
- La planificación y programación nacional hídrica y de las cuencas se sustentará en una Red integrada por el SINA y los SIRA.

En este sentido la LAN faculta a la Comisión Nacional del Agua para:

*“Integrar el Sistema Nacional de Información sobre cantidad, calidad, usos y conservación del agua, con la participación de los Organismos de Cuenca, en coordinación con los gobiernos de los estados y del Distrito Federal y con los Consejos de Cuenca...”* Artículo 9, Fracción XLVII.

### **Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección del Medio Ambiente**

Señala la integración del Sistema Nacional de Información Ambiental y de Recursos Naturales y su puesta a disposición al público y resalta que se coordinará y complementará con el Sistema de Cuentas Nacionales.

En este Sistema, la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales deberá integrar, entre otros aspectos, información relativa a los inventarios de recursos naturales existentes en el territorio nacional y los resultados obtenidos del monitoreo de la calidad del aire, del agua y del suelo (Internet 2).

## **ANEXO III**

### **Preparación de medios**

#### **Agua de dilución**

Puede usarse agua destilada adicionada de una solución amortiguadora de fosfatos, o bien agua peptonada.

Agua fosfatada. Se preparará una solución madre de fosfatos, disolviendo en 500 ml de agua, 34 g de fosfato monobásico de potasio ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ); se ajusta el pH a 7.2 +/- 0.5 con NaOH 1 N, y se diluye a 1 L. Se añade a 1 L de agua, 1.25 ml de solución madre de fosfatos y 5 ml de sulfato de magnesio (50 g  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}/\text{L}$ ), se distribuye en frascos en volúmenes que permitan obtener 99 +/- 2 ml ó 9 +/- 0.2 ml, después de 15 minutos de esterilización en autoclave a 121° C.

#### **Agar medio m-Endo**

Suspender 51 g en 1 L de agua destilada o desionizada que contenga 20 ml de etanol al 96% y llevar a ebullición para disolver completamente. Autoclave a 45-50° C. Dispensar la cantidad de 4 ml en cajas de Petri (50-60 mm) y dejar que se solidifique. Enfriar a 50° C y verter placas. pH:  $7.2 \pm 0.2$  a 25° C. El medio es de color rojo y opalescente.

#### **Agar medio m-FC**

Suspender 52 g en 1 L de agua destilada o desionizada y llevar a ebullición para disolver completamente. Añadir 10 ml de una solución al 1% de ácido rosólico en 0.2 N NaOH. Continuar calentando durante 1 minuto con agitación frecuente. Autoclave a 45-50° C. Dispensar la cantidad de 4 ml en cajas de Petri (50-60 mm) y dejar que se solidifique. Enfriar a 50° C y verter en placas. pH  $7.4 \pm 0.2$  a 25° C. El medio es claro de color azul a violeta.