



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
IZTACALA

"MEDIDAS DE CALIDAD DE AGUA POTABLE EN LA
CIUDAD DE MEXICO, EN UN PERIODO
DE 9 MESES"

T E S I S

ELABORADA PARA OBTENER EL GRADO DE:

B I O L O G O

P R E S E N T A D A P O R :

MARIA TERESA CASTRO BOBADILLA

Y

MARTHA LETICIA GAYTAN HERRERA

LOS REYES IZTACALA, TLALNEPANTLA, EDO. DE MEXICO; 1992

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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.

D e d i c a t o r i a s

A mis padres:

Ubaldo Castro R

Teresa Bobadilla de C.

con cariño y respeto y por el apoyo que siempre me dieron.

A mis hermanos:

Ciro
Gilberto
Roberto
J. Jesús
Esperanza
Ma. Esther
Carlos E.

por su consejo siempre a tiempo y ayuda cuando la necesitaba, gracias.

En memoria a dos seres que dejaron una enseñanza a seguir:

Ciro y Everardo Castro

A mis tíos, sobrinos y demás familiares.

En especial, un agradecimiento a mi compañera de tesis, Martha L. Gaytán, por su paciencia y solidaridad.

D e d i c a t o r i a s

A mis padres: por el apoyo que me han brindado y por sus consejos que han sido mi guía para la realización de mis metas.

A mis hermanos: Ma. Alma, Jose Luis, Victor Manuel, Rosa Maria, Ma. Elena, Ma. de Lourdes y Graciela, y a sus respectivas familias.

A mis sobrinos: David, Eduardo, Fabiola y Alejandro.

A mis amigos, que me han alentado para continuar en este trabajo.

A mis maestros.

A mi compañera Ma. Teresa Castro.

A todos ellos, porque al concluir esta etapa de mi vida, de uno u otro modo han contribuido en la formación de la persona que soy.

A g r a d e c i m i e n t o s

A las directoras:

M.en C. Patricia Bonilla Lemus en la sección de bacteriológicos.

M.en C. Gloria Vilaclara Fatjó en la sección de fisicoquímicos.

por el apoyo que nos han dado , por la paciencia y el interés que demostraron por que pudiéramos desarrollar nuestro trabajo.

A Alfonso Lugo Vázquez, por su paciencia y dedicación en la asesoría estadística y en la asesoría en el manejo de la computadora, así como por sus acertadas sugerencias.

A Mario Chávez, por su asesoría en el manejo de la computadora y por el apoyo que nos brindó.

A Javier Alcocer, Ma. del Rosario Sánchez, Elizabeth Ramirez, Elvia Gallegos y, en general, a los integrantes del Proyecto de Conservación y Mejoramiento del Ambiente (CyMA) por la ayuda prestada, por el entusiasmo que demuestran en el desempeño de sus labores, pues es un ejemplo a seguir por aquellos que los acompañamos.

Al Biól. Jesus Medina, a la Q.F.B. Esperanza Robles Valderrama, al Biól. Antonio Cisneros Cisneros, al Biól. Angel Durán Díaz, a las directoras, por sus observaciones y sugerencias en la revisión del presente trabajo.

A Marco A. Garzón Zúñiga. por la determinación de la D.Q.O. al Permanganato.

Al Dr. Fermín Rivera Agüero, por haber permitido el uso de las instalaciones del Proyecto de Conservación y Mejoramiento del Ambiente (CyMA), en la U.I.I.C.S.E. de la E.N.E.P. Iztacala, para la determinación de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos.

A todas las personas que colaboraron en la realización de esta tesis.

I N D I C E

RESUMEN.....	I
1. INTRODUCCION.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
2.1 Area de Estudio.....	3
2.2 Características Geológicas.....	3
2.2 Balance Hidrológico.....	6
2.3 Abasto de Agua Potable para la Ciudad de México.....	7
2.5 Calidad del Agua.....	9
2.5.1 Calidad Microbiológica del Agua.....	13
2.5.2 Calidad Fisicoquímica del Agua.....	17
3. JUSTIFICACION.....	21
4. OBJETIVOS.....	21
5. METODOLOGIA.....	22
5.1 Muestreo.....	22
5.2 Análisis Fisicoquímico.....	22
5.3 Análisis Bacteriológico.....	25
5.3.1 Colecta y Preservación de la muestra.....	25
5.3.2 Técnica de Filtro de Membrana.....	26
5.3.3 Técnica del Número Más Probable (Tubos Múltiples).....	27
5.4 Análisis Estadístico.....	27

6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	34
6.1	Análisis de los Resultados de Llave Directa.....	34
6.2	Análisis de los Resultados en Cisternas, Tinacos, Llaves de Cocina y Filtros.....	52
6.3	Correlación entre Variables (Todos los datos).....	56
6.4	Comparación de las Técnicas de Filtro de Membrana y Número Más Probable.....	62
7.	CONCLUSIONES.....	64
8.	RECOMENDACIONES.....	65
9.	BIBLIOGRAFIA.....	66
10.	ANEXO I. Determinación de la constante de la celda VS1 del Conductímetro Beckman.....	70
11.	ANEXO II. Tabla de comparación de los métodos de Filtro de Membrana y Número Más Probable.....	72

RESUMEN

Con el objeto de determinar la potabilidad del agua en la Ciudad de México, se muestreó entre abril y diciembre de 1989 el agua de las llaves directas, de cisternas, de tinacos y de las llaves de cocina de 63 puntos del Area Metropolitana, con un número total de muestras igual a 209. El muestreo se realizó de manera que por lo menos cada Delegación o Municipio (excepto Los Reyes, Chimalhuacán y Milpa Alta), y cada cuadro del Guía Roji 1988 (excepto las filas superior e inferior, además de los cuadros 18,24 y 42, debido a que el área ocupada por ellos presentan poca población) tuviera un muestreo como mínimo.

Los parámetros fisicoquímicos que se determinaron fueron: temperatura, pH, alcalinidad total y a la fenolftaleína, dureza total y de calcio, cloruros, sulfatos, sílice, sólidos suspendidos y totales, conductividad (K_{25}) y D.O.O.al Permanganato. Los indicadores bacteriológicos que se analizaron fueron: coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales.

Mediante un ACP (Análisis por Componentes Principales) se formaron seis grupos de calidad de agua que denominamos Conglomerados. Del Conglomerado A hasta el F se observó una disminución gradual del contenido de sales disueltas (medidas globalmente por la conductividad). Los valores promedio de los indicadores bacteriológicos fueron más elevados para los Conglomerados C y F, encontrándose en menor proporción en los otros Conglomerados.

Cuando los Conglomerados de calidad de agua se localizan en un mapa de la Ciudad de México, encontramos que las mayores concentraciones de sales disueltas corresponden a la zona norte de la ciudad, disminuyendo progresivamente hacia el sur-poniente de la misma. Con base en las muestras analizadas, el agua de los Conglomerados es apta para consumo humano desde el punto de vista fisicoquímico.

Con el propósito de localizar más específicamente zonas con calidad de agua no potable, se efectuó una segunda agrupación de los datos bacteriológicos de las llaves directas. Seis grupos de calidad bacteriológica quedaron conformados con base en criterios de calidad establecidos para diferentes usos del agua.

Los grupos de calidad bacteriológica también se localizaron en un mapa de la Ciudad de México. Encontramos tres zonas con calidad aceptable para consumo humano y tres zonas con calidad de agua no adecuada para tal fin.

El número de muestras analizadas impide concluir de modo definitivo sobre la calidad bacteriológica del agua. Es conveniente realizar un muestreo más intensivo en tiempo y espacio para confirmar los resultados y tomar las medidas correctivas necesarias.

Los datos bacteriológicos de cisternas, tinacos, llaves de cocina y filtros se agruparon de igual forma que los de llave directa. Se calculó el porcentaje de las muestras que quedaron en los grupos 1 y 1' (agua potable), pudiéndose observar que el mismo

disminuye en un 27% en los sistemas de almacenamiento y distribución intradomiciliarios con respecto al encontrado en las llaves directas.

Para tener una idea de cómo se distribuía la variación entre las variables, nuevamente se aplicó un ACP a todos los datos. Los indicadores bacteriológicos presentaron la mayor variabilidad, siguiendo en orden de importancia el contenido de sales disueltas.

De la comparación de las Técnicas de Filtro de Membrana y Número Más Probable se concluyó que los métodos no son comparables bajo las condiciones de este estudio.

1. INTRODUCCION

Después de la energía solar y del aire, es el agua el recurso natural más abundante (Fuentes, 1972). Su utilización en las más diversas actividades realizadas por el hombre, hace que adquiera un gran valor en la sociedad humana. Los abastecimientos de aguas para uso doméstico e industrial -así como para el riego, la energía eléctrica, los alimentos y las diversiones- son sus aportaciones principales (Bassols 1977).

Nuestro sistema de vida está ligado a muchos procesos industriales que requieren de enorme consumo de agua en la elaboración de productos esenciales para la sociedad actual, aun en los casos en que no se use como materia prima ni sea parte de los objetos fabricados.

La población humana y el desarrollo tecnológico (ambos en constante aumento) imponen grandes consumos de agua; la distribución desigual en la superficie de la tierra, la relativamente poca cantidad de agua dulce disponible y su creciente contaminación dificultan su abasto a los núcleos donde se necesita (Wetzel 1981, C.I.C.M. 1983).

La Ciudad de México no se halla exenta de tal problemática. Para satisfacer las demandas de una creciente población y de un anárquico desarrollo económico y tecnológico, se han sobreexplotado las aguas subterráneas del Valle de México (D.D.F. 1986). Aunado a ello, la política de desalojo de aguas pluviales fuera de la cuenca -que viene ejerciéndose desde la época colonial-, la deforestación de los bosques y la creciente urbanización, han provocado una disminución del volumen de recarga de los acuíferos de la zona (Perló 1991, Bassols *op. cit.*, D.G.C.O.H. 1982).

Los efectos no se han hecho esperar. La superficie lacustre ha desaparecido en un 99%, el proceso de desertización se ha acelerado y la ruptura de la estructura del subsuelo -consecuencia de la extracción del agua- persiste, causando hundimientos, agrietamientos y fallas que desarticulan las obras y servicios urbanos en diferentes lugares de la zona conurbada. La calidad del agua extraída ha disminuido. El comportamiento de la hidrología se ha tornado cada vez más irregular, incrementándose la torrencialidad de sus corrientes; los picos de sus avenidas son más pronunciados y se traducen en amenaza de inundaciones en distintos lugares de la cuenca (Perló *op. cit.*).

Las consecuencias negativas se extienden a todo el ecosistema del Valle. La desaparición de áreas verdes y la desertización tienden a agravar la contaminación del aire al mermar su capacidad natural de autopurificación, provocando un número mayor de tolváneras; la pérdida de los cuerpos de agua disminuye la humedad atmosférica, lo que produce variaciones más pronunciadas de temperatura en diferentes zonas del Valle, y, por ello, la fauna y flora locales enfrentan condiciones de reproducción cada vez más precarias (Perló *op. cit.*).

Existen otras situaciones cuyos efectos, sumados todos ellos, contribuyen a hacer más complejo el problema. Entre ellos podemos citar:

- El consumo de agua en la Ciudad de México es sumamente alto (el doble de lo que consumen las sociedades industrializadas); la causa es la casi nula conciencia, por parte de la población, acerca de los problemas reales que en materia acuifera hay en la ciudad y la distorsión de los costos reales al usuario (Fundación Ebert 1991).

- La falta de mantenimiento en la red de distribución provoca que el 40% del agua destinada para esta región se pierda en fugas (Marcial 1989).

- A pesar de que la cuenca constituye una unidad hidrológica, el manejo y la gestión de los recursos hídricos se encuentra dispersa entre diversas agencias y organismos pertenecientes a las distintas unidades político-administrativas que comparten el espacio geográfico del valle, situación que ocasiona duplicación de esfuerzos, falta de coordinación y serias disputas intragubernamentales (Perló *op. cit.*, Marcial *op. cit.*, Poder Ejecutivo Federal 1989).

- El tratamiento de las aguas residuales es insuficiente (lo que finalmente genera la contaminación de los cuerpos de agua), razón por la cual prácticamente toda la industria de la zona metropolitana emplea agua potable para sus procesos industriales y una fracción mayoritaria de las áreas verdes son regadas de la misma forma (Fundación Ebert *op. cit.*, Marcial *op. cit.*).

- Se importa agua de cuencas vecinas con enormes gastos de energía y de recursos económicos, ocasionando verdaderos desastres ecológicos, como en el caso de la Cuenca del Río Lerma (Fundación Ebert *op. cit.*, Contreras *op. cit.*).

La situación amenaza por convertirse en una crisis importante en los próximos 5 años si no logramos revertir las tendencias señaladas, ya que la disponibilidad del agua tiende a disminuir, mientras que la demanda crece a una tasa anual media de 2.5% (Hernández y Medina 1989).

Las soluciones no son sencillas; sin embargo, si se ha podido desarrollar una ciudad tan grande como la de México, es necesario esforzarse por hallar un equilibrio entre desarrollo y conservación de nuestro entorno.

2. ANTECEDENTES

2.1 AREA DE ESTUDIO

La cuenca del Valle de México se localiza en el borde sur de la Mesa Central, entre los meridianos 98°15' y 99°30' y los paralelos 19°00' y 20°15'. Esta rodeada y limitada por cadenas montañosas: al norte, por las sierras de Tezontlalpan y Pachuca; al sur, por las sierras de Cuatzin y Chichinautzin; al poniente, por las sierras del Ajusco, Las Cruces, Monte Alto, Monte Bajo y Tepozotlán, y al oriente, por las formaciones montañosas que se desprenden de la sierra de Pachuca y que dan origen a las antiguas lagunas de Tecocomulco, Tochac y Apan, hasta las sierras de Chapulalpan, Río Frio y Nevada. En el interior de la cuenca destacan formaciones orográficas como las sierras de Sta. Catarina y La Caldera al oriente, en las cuales sobresalen el Volcán de Xu y el Cerro del Pino, además de prominencias aisladas, como el Peñón de los Baños, el Peñón del Marqués y el Cerro de la Estrella (Moreno Mejía 1986)

En la planicie Central se tiene una altitud media de 2240 m.s.n.m., pero hay montañas con elevaciones que sobrepasan los 5000 m.s.n.m. La cuenca ocupa una superficie de 9600 Km²; comprende grandes extensiones territoriales de los Estados de México e Hidalgo, pequeñas porciones de los Estados de Tlaxcala y Puebla y casi la totalidad del Distrito Federal (Fig.1). Esta última entidad se sitúa en la parte sur-poniente de la cuenca del Valle de México, abarca 1500Km² de superficie, equivalente al 15% del área total de la cuenca. Actualmente se encuentran urbanizados 600Km², principalmente en las áreas ubicadas en la zona más baja y más plana de la cuenca, área donde se ha presentado el mayor crecimiento poblacional del País (Moreno Mejía *op.cit.*).

El clima se clasifica como C(w)-según el sistema de Köppen con modificaciones para las características de México- que corresponde a templado subhúmedo con lluvias en verano. La precipitación media anual varía de 749 a 1128 mm. La temperatura media anual es de 16.5 a 19.4 °C, con temperatura media del mes más frío entre -3 y 18°C. Con lluvias de mayo a octubre -el 92% aproximadamente del total de lluvias- y un 2.9% de ese total durante el Invierno (Carta de climas 1:1,000 000, Clave Ciudad de México, S.P.F.- INEGI, García 1988).

2.2 CARACTERISTICAS GEOLOGICAS

Desde el punto de vista geológico el subsuelo se puede agrupar en cuatro unidades (D.D.F. 1986):

BASAMENTO VOLCANICO Y ALUVIAL

Dentro de esta unidad se incluyeron las rocas volcánicas del Terciario Inferior y Medio que forman las sierras del norte, este y oeste del Valle, así como los materiales granulares del Terciario Inferior que -junto con los volcánicos- constituyen el basamento del Valle. El basamento volcánico del Terciario Medio es conocido como Formación Xochitepec.

Sobre esta formación se encuentran entrevolcanes de composición andesítica y dacítica, como son las Sierras de Tepetzotlán y Guadalupe -ambas del Mioceno Superior- y las sierras de las Cruces y Nevada, constituidas por lavas porfidoandesíticas en estrato-volcanes del Plioceno Inferior.

Actualmente afloran en las partes altas de las sierras.

RELLENOS ALUVIALES

En el Valle de México y sobre las rocas mencionadas, se acumularon materiales aluviales producto del intemperismo y erosión de las elevaciones topográficas.

Hacia las estribaciones de las sierras, los materiales son más arcillosos y se depositaron en abanicos aluviales durante el Terciario; reciben el nombre de Formación Tarango y constituyen parte de las Lomas de Mixcoac, Sta. Fe, Chapultepec, etc.

LAVAS Y PIROCLASTICOS

En el Plioceno Superior y Cuaternario se produjo actividad volcánica que dio origen a las sierras de Sta. Catarina y Chichinautzin, formadas por piroclásticos y corrientes lávicas de composición basáltica. Durante el Cuaternario se continuaron acumulando sobre los valles los materiales aluviofluviales interestratificados con suelos y capas de cenizas provenientes de las erupciones volcánicas.

Estos materiales se conocen como Formación Chichinautzin y su emplazamiento modificó la red hidrográfica -convirtiendo la región en una cuenca cerrada- y permitió la formación de los lagos del Valle.

ARCILLAS LACUSTRES

Del Plioceno a nuestra época se depositaron materiales arcillosos en los diferentes lagos existentes, como son los de Zumpango, Texcoco y Xochimilco-Chalco, habiéndose acumulado espesores de arcilla de 60 metros en promedio, aunque en algunos sitios han llegado a detectarse varios cientos de metros.

Geohidrológicamente, los basamentos volcánicos son impermeables. Los materiales aluviales son permeables, principalmente hacia la parte central y las arcillas que los cubren tienen reducida permeabilidad. La Formación Tarango tiene una permeabilidad media. Al sur, los materiales granulares se interdigitan con los materiales de las sierras de Chichinautzin y Sta. Catarina, presentando alta permeabilidad y, junto con la parte plana de la Ciudad de México, bajo las arcillas superficiales, forman su principal acuífero (D.D.F. op. cit.).

2.3 BALANCE HIDROLOGICO

En la época prehispánica, el funcionamiento hidrológico del Valle de México había producido una serie de lagos y lagunas. Extensos bosques cubrían las laderas montañosas y mantenían fijo el suelo de estas áreas, por lo que los escurrimientos arrastraban poco material de azolve. Los depósitos subterráneos, llenos a su capacidad, mantenían el flujo de numerosos manantiales. El volumen de lluvia que no se evapo-transpiraba, se depositaba en los lagos y lagunas y se evaporaba en parte durante la época de secas. El balance hidrológico permaneció así inalterado por los pobladores del Valle (D.G.C.O.H. 1982). Sin embargo, con el transcurso del tiempo, los habitantes del Valle han modificado el funcionamiento descrito:

- La cubierta vegetal se ha alterado debido a una tala inmoderada de los bosques, y la falta de vegetación expone el suelo descubierto a los rayos del sol, de suerte que la humedad que no se filtra se evapora rápidamente (D.G.C.O.H. *op. cit.*, Bassols 1977).
- Se aprovecha una pequeña parte de agua superficial, otra se regula mediante presas y el resto se desaloja fuera de la cuenca a través de canales artificiales, construidos por el hombre. Estos canales llevan las aguas negras y parte de las precipitaciones al río Moctezuma-Pánuco; con ellos se ha evitado que la capital propiamente dicha se inunde en escala importante, pero también han procurado consecuencias negativas, como son: 1) Desecamiento parcial del lago de Texcoco, lo cual provoca tolvaneras y ensalitramiento; 2) Desecamiento casi total de los lagos de Chalco, Xochimilco, Tláhuac, Zumpango, Apan, etc; y de manantiales como los de Chapultepec, Xochimilco, Tacubaya y otros; 3) Mucha del agua que se lleva al río Moctezuma es volumen que podría quedar en otras partes de la propia cuenca, por lo que su salida es perjudicial en este sentido (Bassols *op. cit.*, D.G.C.O.H. *op. cit.*).
- Las zonas de recarga han disminuido por la creciente urbanización.
- Los acuíferos se explotan más allá de su recarga natural (debido a un constante aumento de población y de industrialización) provocando el deterioro en la calidad del agua extraída, la consolidación de las arcillas lacustres, el abatimiento de los niveles piezométricos y el agotamiento de manantiales (D.D.F. 1986).
- Se contamina el agua y desde 1951 ha sido necesario traerla de otras cuencas, ya que la existente en el Valle ha resultado insuficiente para satisfacer las necesidades impuestas por el crecimiento demográfico (D.G.C.O.H. *op. cit.*).

De este modo, tenemos que lo que era una cuenca se ha convertido en un "valle" artificial y que el equilibrio natural que existía en ella ha sido roto por el hombre (Bassols *op. cit.*), por lo que el balance hidrológico se presenta hoy en día como se muestra en la Figura 2.

El volumen de lluvia media anual, dividido entre el número de segundos en un año, arroja un caudal medio equivalente a $213\text{m}^3/\text{s}$. Se estima que de este caudal se evapotranspiran $171\text{m}^3/\text{s}$ que, por lo tanto, no son susceptibles de aprovechamiento. De los $42\text{m}^3/\text{s}$ restantes, 23 recargan el acuífero y 19 escurren superficialmente; de estos últimos, se regulan $3\text{m}^3/\text{s}$ para su aprovechamiento y se desalojan los 16 restantes a través de los drenes del valle para evitar inundaciones.

Por lo que respecta al abastecimiento de agua, para satisfacer los requerimientos de $60\text{m}^3/\text{s}$ de los usuarios en la cuenca en 1982, se importaban $11\text{m}^3/\text{s}$ de la cuenca del río Lerma y $4\text{m}^3/\text{s}$ de la cuenca del río Cutzamala. De los acuíferos del Valle de México se extraían $40\text{m}^3/\text{s}$; de ellos, $23\text{m}^3/\text{s}$ provenían del caudal que se renueva anualmente mediante el proceso de infiltración y $17\text{m}^3/\text{s}$ del volumen almacenado en el subsuelo durante los milenios en que no se explotaron los acuíferos. Para completar el abastecimiento, se empleaban $2\text{m}^3/\text{s}$ de aguas residuales tratadas, así como los $3\text{m}^3/\text{s}$ de aguas superficiales reguladas mencionados anteriormente. De los $60\text{m}^3/\text{s}$, se destinaban al uso urbano $52\text{m}^3/\text{s}$ y al agrícola $8\text{m}^3/\text{s}$.

Como resultado del uso de los caudales señalados, se producían $40\text{m}^3/\text{s}$ de aguas residuales. De este volumen, los $2\text{m}^3/\text{s}$ ya mencionados se trataban y reusaban en el riego de parques, llenado de lagos y usos industriales; además, se utilizaban $8\text{m}^3/\text{s}$ para regar 18 000 ha en el Valle de México y el resto se destinaban al riego de 56 000 ha en el Valle de Tula (D.G.C.O.H. *op. cit.*).

Los datos para 1991 están incompletos y se presentan en la Figura 2.

2.4 ABASTO DE AGUA POTABLE PARA LA CIUDAD DE MEXICO

La Ciudad de México afronta serios obstáculos para proporcionar agua potable a los 17 a 20 millones de habitantes que viven en ella. Dentro de la problemática existente destacan por su importancia los dos factores siguientes:

- I.- El acelerado crecimiento demográfico que ha prevalecido en los últimos años.
- II.- Localización geográfica en un valle cerrado, que actualmente carece de fuentes superficiales, ubicado a más de 2000 m.s.n.m. (Vila Sánchez 1987).

El abastecimiento de agua potable se hace básicamente a partir de los mantos acuíferos, tanto del Valle de México como del de Lerma, por medio de 847 pozos (D.D.F. 1990). A partir de 1982, en que entra en operación la primera etapa del Sistema

Figura 2. BALANCE HIDROLOGICO DEL VALLE DE MEXICO (1982 y 1991). Unidades en m³/seg.

Abastecimiento

Lluvia 1982* 1991	
171 171	
Infiltración 1982* 1991	
23 23	
Escurrimiento 1982* 1991	
19 19	

Sobreexplotación 1982* 1991	
17	
	1982* 1991
	40

Drenaje pluvial 1982* 1991	
16	
	3

Reuso 1982* 1991	
2	
	6***
	2

Importación 1982* 1991	
15	
	15

USOS

Urbano 1982* 1991	
52	

Total 1982* 1991	
60	
	63**

* D.G.C.O.H.; 1982; Sistema Hidráulico del D.F.
 ** Pericó Cohen, M.; 1991; La Gestión Hidráulica en el Valle de México.
 *** Legorreta, Jorge. Programa "Planeta Tierra" transmitido el 4 de julio de 1991 a las 16:30 hrs. en Radio Educación.

Cutzamala, se inicia la importación de aguas superficiales de cuencas cercanas (Echavarría Alfaro 1987). En el Cuadro No.1 se listan los sistemas de pozos que abastecen la ciudad en la parte correspondiente al Distrito Federal, así como el caudal que se extrae de ellos, y en la Figura 3 se puede apreciar la ubicación de los mismos.

El caudal captado se transporta a través de 467 km de líneas de conducción a 240 tanques de almacenamiento y regulación cuya capacidad conjunta es de 1.5 millones de m³, desde los cuales se distribuye a los usuarios mediante 12 617 Km de red (D.D.F. 1990).

Para mantener una calidad adecuada en el suministro, se utilizan 326 estaciones de cloración y 4 plantas potabilizadoras. La verificación de la calidad se realiza mediante inspecciones sanitarias a las instalaciones del sistema y un programa permanente de monitoreo (D.D.F. 1990).

Por otra parte, el Área Metropolitana correspondiente al Estado de México, integrada por 11 municipios conurbados (Huixquilucan, Naucalpan, Tlalnepantla, Tultitlán, Cuautitlán Izcalli, Coacalco, Ecatepec, Nezahualcóyotl, Chimalhuacán, Los Reyes y Atizapán), se abastecía en 1982 de 2 tipos de fuentes: aguas subterráneas por medio de pozos profundos y las superficiales, que eran reguladas en vasos (Estado de México 1981).

Los puntos de procedencia del agua para esta zona y los diferentes caudales aportados eran: Acueducto Lerma, con 1300 l/s; pozos NZT, con 1400 l/s; Presa Madin, con 600 l/s; pozos municipales, con 4400 l/s; pozos CAVM, con 1500 l/s; pozos Ecatepec, con 1300 l/s; pozos municipales, con 2000 l/s; pozos Nezahualcóyotl, con 2000 l/s, y Ramal Tláhuac, con 500 l/s. En la Figura 4 se esquematizan los sitios abastecidos con estos caudales (Estado de México op.cit.).

2.5 CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua depende tanto de la fuente de la que proviene como del uso al que se destine. La calidad de una corriente dada se establece de acuerdo con los requisitos de los sistemas en los que se recibe, o donde se descarga como desecho (ASTM 1982).

El término "calidad del agua potable" expresa el conjunto de caracteres físicos, químicos y biológicos que se deben satisfacer con el fin de que el agua que se suministra sea segura para el consumo humano (D.G.C.O.H. op. cit.).

Es muy importante que el agua destinada al abasto público sea fresca, transparente e incolora y que carezca de sabores u olores desagradables (OMS 1972). Para que sea potable, el agua debe de tener algún grado de mineralización (San Martín 1975) e, idealmente, no debe rebasar el límite de 1.0 g/l de sólidos disueltos totales (OPS, 1985). Debe contener iones disueltos tales como carbonatos, bicarbonatos, sulfatos, cloruros, calcio, magnesio, sodio, potasio y sílice en concentraciones que no

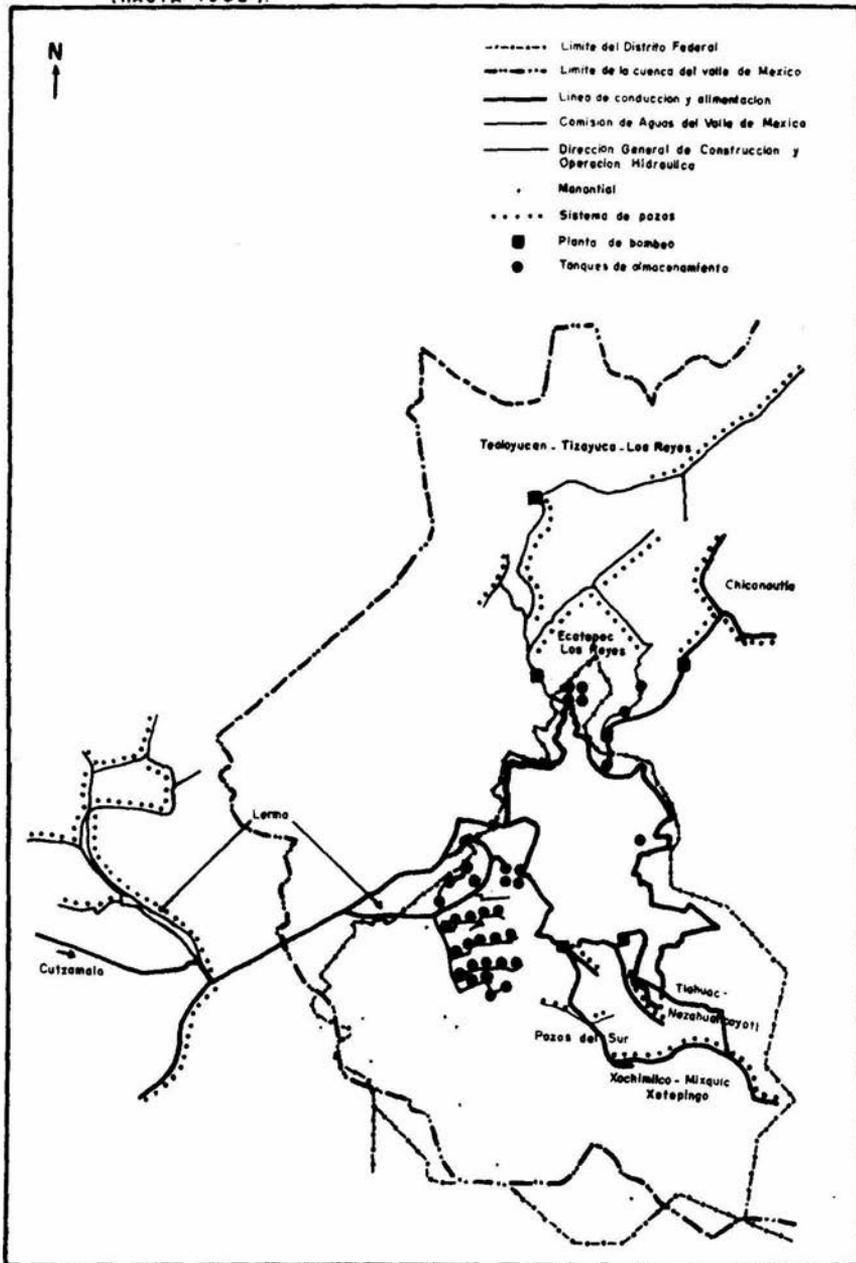
CUADRO 1. SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA EN EL AREA METROPOLITANA EN EL DISTRITO FEDERAL. ¹

	NOMBRE DE LA FUENTE	CAUDAL PROMEDIO m ³ /s	No. DE POZOS
	SISTEMA NORTE		
	*CHICONAUTLA	2.10	39
	*POZOS MUNICIPALES	0.90	23
D.	SISTEMA CENTRO		
	*POZOS MUNICIPALES	2.75	96
	SISTEMA SUR		
	*XOCHIMILCO-MIXQUIC		
	XOTEPINGO		122
D.	*POZOS MUNICIPALES	7.05	21
	SISTEMA ORIENTE		
	*POZOS MUNICIPALES	1.29	41
	*PTA. AGRICOLA ORIENTAL	0.09	
	*PTA. STA. CRUZ MEYEHUALCO	0.06	
F.	SISTEMA PONIENTE		
	*POZOS MUNICIPALES	0.31	18
	*PTA. POT. RIO MAGDALENA	0.19	
	LERMA	5.15	324
	POZOS PARTICULARES	1.08	538
	PARCIAL D. D. F.	20.96	
	SISTEMA NORTE		
G.	*CHALMITA		
	*RISCO	2.79	
	SISTEMA SUR		
A.	*P. AISLADOS		
	*AMP. TLAHUAC		
	*LA CALDERA		
V.	*TLAHUAC		
	*TULYEHUALCO		
	*V. CENTROAMERICANA	4.85	
M.	SISTEMA OJIZAMALA		
	*CRUZ DE LA MISION	4.67	
	*DOS RIOS RAMA SUR	1.99	
	PARCIAL G. A. V. M.	14.30	
	TOTAL AL D. F.	35.26	

¹ Datos proporcionados por la D.G.C.O.H. en el mes de Marzo de 1991.

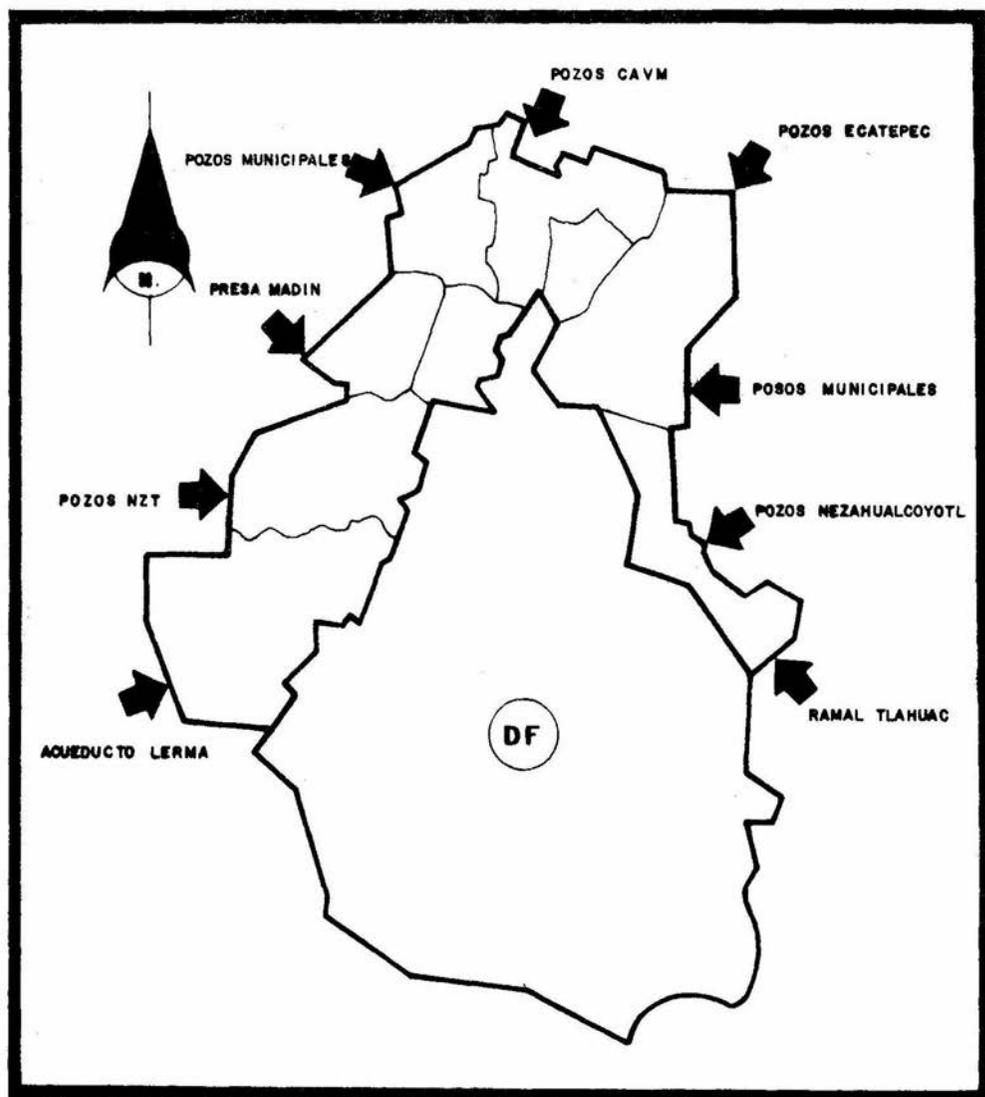
G.A.V.M. - Gerencia de Aguas del Valle de México, lo que anteriormente era la Comisión de Aguas del Valle de México (C.A.V.M., S.A.R.H.)

FIGURA 3. FUENTES DE ABASTO DE AGUA POTABLE PARA EL DISTRITO FEDERAL (HASTA 1982).



FUENTE : D. G. C. O. H. ; Sistema Hidráulico del Distrito Federal.

Figura 4. FUENTES DE ABASTO DE AGUA POTABLE EN EL AREA METROPOLITANA DEL ESTADO DE MEXICO (HASTA 1981)



Fuente: Edo. de México; 1981; Sistema Hidráulico del Área Metropolitana de la Ciudad de México en el Estado de México.

rebasen las presentadas en el Cuadro 6 (página 44). También deben estar presentes oxígeno, nitrógeno y bióxido de carbono: pequeñas cantidades de materia orgánica, sólo indicios de nitritos, hasta 1 mg/l de Nitrógeno Amoniaco, hasta 45 mg/l de nitratos, son permitidos (San Martín *op. cit.*).

El agua abastecida no debe tener sustancias químicas de origen antropogénico -plaguicidas, hidrocarburos policíclicos aromáticos, etc.- o metales pesados a concentraciones que amenacen la salud del hombre (Malevialle 1990), ni tampoco ningún microorganismo patógeno o bacterias indicadoras de contaminación fecal (OMS *op. cit.*).

2.5.1 CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA

Las enfermedades infecciosas transmitidas por el agua -como la tifoidea y el cólera- han sido asociadas con la contaminación de la misma por heces humanas (Pipes 1982).

Las parasitosis intestinales y gastroenteritis bacterianas se encuentran entre los primeros lugares como causa de morbilidad y de mortalidad en nuestro país (Romero 1988) y en el mundo (PNUD 1981). Aunque se ha determinado que el principal factor de contagio son los hábitos deficientes de higiene, no deja de ser importante el papel que desempeña el vital líquido como vehículo de transmisión, sobre todo si no recibe tratamiento para adecuarla al consumo humano (CIECCA 1987).

Los indicadores bacteriológicos se usan para demostrar la contaminación del agua por organismos originarios de los desechos de animales de sangre caliente, incluyendo al hombre, animales domésticos y silvestres y las aves (Greenberg *et al.* 1985). Dichos organismos pueden ser patógenos para el hombre (SEDUE 1988). Los géneros de bacterias patógenas más comunes en los desechos urbanos son: Escherichia, Salmonella, Shigella, Proteus, Alcaligenes, Arizona, Erwinia, Streptococcus, Pasteurella, Leptospira, Vibrio, etc. (Vidal 1982, San Martín *op. cit.*).

Los virus presentes en aguas contaminadas generan enfermedades tales como la poliomielitis, hepatitis infecciosa y algunas enfermedades respiratorias de etiología desconocida.

Los protozoarios y helmintos constituyen una tercera fuente de enfermedades entéricas. Entre estos podemos encontrar Balantidium coli y Entamoeba histolytica, que producen principalmente infecciones gastrointestinales (SARH 1980). Una característica importante de estos parásitos es que son resistentes a la desinfección por cloración en las dosis y tiempos de contacto que se emplean usualmente para la potabilización del agua (10-15 minutos de tiempo de contacto, 0.5 a 2.0 mg/l de concentración de cloro residual) (CIECCA *op. cit.*).

A menudo los indicadores bacteriológicos ofrecen indicios acerca de la procedencia de la contaminación, por ejemplo, de aguas residuales domésticas o industriales, de aguas residuales agrícola-ganaderas (SEDUE *op. cit.*).

Las características que debe presentar un indicador bacteriano de calidad de agua son las siguientes (SARH 1980):

- Debe ser aplicable a todo tipo de agua, ya sea natural o tratada y debe reaccionar respecto al medio natural y a los procesos de tratamiento, incluyendo la desinfección.
- Debe estar siempre presente cuando existan bacterias patógenas de origen fecal.
- Su densidad debe estar asociada con el grado de contaminación fecal.
- Debe desaparecer del agua con cierta rapidez después de la desaparición de los patógenos.
- No debe multiplicarse en el agua.
- Debe de estar ausente en aguas bacteriológicamente seguras y potables.
- No debe ser patógeno para el hombre y animales domésticos.
- Las técnicas para su análisis deben ser sencillas y rápidas (para obtener los resultados en poco tiempo), aplicables a cualquier tipo de agua y no debe presentar interferencias con otras bacterias.

GRUPOS INDICADORES:

Los grupos indicadores que cumplen con un mayor número de los requisitos mencionados y que se usan en pruebas de rutina para determinar la calidad bacteriológica del agua son: Coliformes Totales, Coliformes Fecales y Estreptococos Fecales (SARH 1984, Greenberg et al 1985).

Coliforme:

Dentro de este grupo quedan comprendidos los géneros Escherichia, Klebsiella y Enterobacter, que se diferencian del resto de las enterobacterias por fermentar la lactosa rápidamente a 35°C, ya que se supone que son habitantes exclusivos del tracto intestinal. Sin embargo, investigaciones posteriores han encontrado que algunas especies de estos géneros también son saprófitos de vida libre, por lo que se han reubicado y reclasificado, de manera que en la actualidad el género Escherichia tiene una sola especie, E. coli, que presenta más de 130 subespecies o serotipos diferentes, y que se distingue de Klebsiella y Enterobacter por su propiedad de fermentar la lactosa también a 44.5°C y por tener como hábitat único el tracto intestinal; no obstante, ya se han aislado algunas cepas de Klebsiella que son positivas a la prueba de temperatura alta (SARH 1984).

De este modo el grupo Coliforme se divide en dos, los Coliformes totales y los Coliformes fecales, que se definen como sigue (SARH 1984):

Coliformes totales.-Comprenden todas las bacterias aerobias y anaerobias facultativas. Son bacilos cortos, Gram negativos, no esporulados,

que fermentan la lactosa con producción de acidez y gas a 35°C en 24-48 h.

(Escherichia, Klebsiella y Enterobacter)

Coliformes fecales.-Bacilos cortos, Gram negativos, no esporulados, que fermentan la lactosa con producción de acidez y gas a 35 y 44.5°C en 24-48 h. (Escherichia y algunas cepas de Klebsiella).

Estreptococos fecales.-Cocos, Gram positivos, que se agrupan en cadenas cortas o pares, que crecen en presencia de 7.5% de NaCl, 0.05% de NaNO₂ y 40% de sales biliares a 35°C, pero que resisten a la temperatura de 45°C.

Este último grupo quedó formado por un solo género, Streptococcus, con cinco especies: S. faecalis, S. faecium, S. bovis, S. equinus y S. avium, que son habitantes exclusivos del tracto intestinal, además de tener propiedades bioquímicas que los diferencian de todas las demás especies de ese género.

Por otro lado, algunos estudios han demostrado que los coliformes y estreptococos fecales pueden reproducirse en agua clorada. Esto indica que no debe confiarse en la cloración como único tratamiento para proteger la salud pública contra la ingestión de microorganismos patógenos (CIECCA op. cit.).

Evaluación de los Coliformes Totales como indicadores (SARH 1980):

Ventajas:

- La ausencia de coliformes es una evidencia de la potabilidad bacteriológica del agua.

-La densidad de coliformes es una medida proporcional aproximada de la contaminación por desechos fecales.

-Si están presentes las bacterias patógenas de origen intestinal, las bacterias coliformes deben existir en mayor número, ya que están siempre presentes en el intestino de humanos y animales de sangre caliente, y se eliminan en gran número por las heces.

-Las coliformes persisten más en el medio acuático que las bacterias patógenas de origen intestinal.

-Las coliformes son generalmente menos dañinas para el hombre y pueden determinarse por los procedimientos rutinarios del laboratorio.

Desventajas:

-Algunos miembros del grupo coliforme tienen una amplia distribución en el medio ambiente en comparación con su ocurrencia en los intestinos de animales de sangre caliente.

-Algunas cepas del grupo coliforme pueden crecer en aguas contaminadas y, por consiguiente, esto dificulta la evaluación de su ocurrencia o grado de contaminación.

-Otras bacterias pueden interferir con la prueba de los coliformes, dando resultados falsos positivos o falsos negativos,

por ejemplo, A.aerogenes o Pseudomonas.

Evaluación de los Coliformes Fecales como indicadores (SARH 1980):

Ventajas:

- El 95% de los coliformes de origen fecal da positiva la prueba de la temperatura.
- Estos organismos están ausentes si la contaminación no es de origen fecal.
- El tiempo de supervivencia del grupo coliforme fecal en agua es más corto que el de las coliformes no fecales. Por consiguiente, una densidad alta de coliformes fecales indica una contaminación reciente.
- Las coliformes fecales generalmente no se multiplican fuera de los intestinos de los animales de sangre caliente.

Desventajas:

- Un número pequeño de coliformes fecales da negativa la prueba de la temperatura.
- Actualmente se conoce poco acerca de la supervivencia de las coliformes fecales y de las bacterias entéricas patógenas en aguas contaminadas.

Evaluación de los Estreptococos Fecales como indicadores (SARH 1980):

Ventajas:

- Su presencia indica contaminación por desechos fecales.
- Indican una contaminación reciente, porque sobreviven menos tiempo en el agua que los coliformes.
- Sobreviven más tiempo en aguas con elevadas concentraciones de electrolitos, por lo que se pueden aplicar como índices en aguas saladas (SARH 1980, EPA 1986).
- La densidad de estreptococos fecales (EF), en relación con la de coliformes fecales (CF), es indicio del origen humano o animal de la contaminación fecal:

CF/EF = >4 Contaminación fecal de origen humano.

CF/EF = <0.7 Contaminación fecal de origen animal (no humano).

- Desarrollan resistencia a la cloración, en los tiempos y concentraciones utilizados para el agua potable (0.5-2.0 mg/l), por lo que pueden utilizarse como índices en aguas cloradas, bajo las condiciones descritas.

Desventajas:

- Se encuentran en menor proporción que los coliformes.
- Su ausencia no necesariamente evidencia potabilidad bacteriológica, puesto que hay algunos patógenos que pueden estar presentes cuando no hay estreptococos.

2.5.2 CALIDAD FISICOQUIMICA DEL AGUA

Cuando el agua de lluvia cae y se filtra en el terreno, disuelve algunos de los componentes del suelo (Leet y Judson 1980). Los minerales así incorporados le dan su calidad de potable a este líquido (San Martín *op. cit.*). Con mucho, los compuestos que más frecuentemente se encuentran en solución en el agua que escurre en la superficie son los carbonatos, cloruros, sulfatos, nitratos y sílice en forma de aniones, y el sodio, potasio, calcio y magnesio como cationes (Leet y Judson *op. cit.*, EPA 1986).

El término sólidos disueltos se halla asociado con el contenido de sales inorgánicas disueltas y pequeñas cantidades de materia orgánica disuelta. Los aniones y cationes que constituyen la mayor parte de ellos son los que se describieron anteriormente. Un exceso de sólidos disueltos en el agua potable es objeccionable por los posibles efectos fisiológicos, sabor mineral no agradable y altos costos, ya sea por la corrosión o deposición que producen en superficies metálicas, o por la necesidad de tratamiento adicional (EPA 1986). Algunos de los efectos indirectos del exceso de sólidos disueltos en el agua de riego es que afectan o eliminan el crecimiento y desarrollo de las plantas comestibles. Cambios rápidos en la salinidad causan plasmólisis de hojas y tallos tiernos por el cambio en la presión osmótica. Agua con niveles de 1000 a 2000 mg/l de sólidos disueltos deben de utilizarse con precaución en la agricultura (EPA 1986). Con base en el contenido de sólidos disueltos, los requerimientos industriales del agua son muy variables (ASTM 1982, EPA 1986).

El carbono inorgánico (carbonatos, bicarbonatos, ácido carbónico y bióxido de carbono) es importante porque junto con los silicatos, constituye el principal sistema amortiguador en aguas naturales (EPA 1986). Así mismo, carbonatos y bicarbonatos son las principales fuentes de alcalinidad en aguas naturales (ASTM 1982). Cuando se aplica el tratamiento por coagulación, hay un exceso de ácido producido por materiales tales como sulfato de aluminio; en casos así, la alcalinidad natural del agua puede neutralizar el exceso de ácido. En el tratamiento para ablandar el agua y en el control de la corrosión en los sistemas de distribución de agua potable, la alcalinidad total afecta la cantidad de sustancias agregadas para llevar a cabo dichas operaciones (EPA 1986). Los carbonatos y bicarbonatos forman complejos con metales pesados, reduciendo marcadamente su toxicidad. Por esta razón, una alcalinidad mínima de 20 mg/l es recomendada por el National Technical Advisory Committee (NATC) (EPA 1986). La alcalinidad por bicarbonatos y carbonatos con niveles máximos superiores a 400 mg/l CaCO_3 no constituyen un riesgo para la salud. Este tipo de alcalinidad puede incrementar la cantidad de sodio en el agua del suelo, cuando el agua es utilizada para riego (EPA 1986). En la industria la alcalinidad también ayuda a controlar la corrosión de tuberías, pero puede liberar CO_2 en calderas de alta presión y corroer el equipo

(ASTM 1982). Por otro lado, la alcalinidad asociada con calcio (alcalinidad temporal, por asociación con el término de dureza temporal) produce la incrustación y disminución del calibre interior de las tuberías cuando hay basificación del pH por procesos de calentamiento u otros.

Los silicatos, cuando están presentes en gran cantidad, también contribuyen a la alcalinidad. Pueden ser agregados al agua para controlar la corrosión en los sistemas de distribución de agua potable (ASTM 1982). En el uso industrial los silicatos producen depósitos de sílice dentro de las calderas o en las turbinas, los cuales producen sobrecalentamiento del metal y falla en los tubos de las calderas, así como una reducción en la transferencia calórica, por lo que es conveniente eliminarlos del abastecimiento del agua (ASTM 1982).

Los iones sulfato son relativamente abundantes en aguas duras. Cantidades elevadas de ellos (1000 a 1500 mg/l) tienen efectos laxantes e imparten un sabor ligeramente amargo al agua (EPA 1986, ASTM 1982). Los sulfatos producen depósitos duros y cristalinos de sulfato de calcio en las partes internas de las calderas, produciendo fallas frecuentes en las tuberías y reducción en la transferencia de calor (ASTM 1982).

El límite máximo de cloruros en agua potable (250 mg/l) está condicionado más por el sabor perceptible a este nivel, que por efectos nocivos a la salud (EPA 1982). Este ion acelera las reacciones de corrosión de tuberías en proporción a su concentración, porque incrementa la velocidad de disolución del hierro y porque contribuye al contenido de electrolitos en el agua (ASTM 1982). El comportamiento del cloruro en el metabolismo de los organismos está íntimamente ligado al del sodio, por lo que su aumento o disminución ira acompañado del correspondiente aumento o disminución del sodio (EPA 1982).

Los cationes que más contribuyen en la dureza del agua son el calcio y el magnesio, aunque otros cationes polivalentes como el hierro y manganeso pueden contribuir también cuando están presentes (ASTM 1982). Como no se ha demostrado que la dureza represente riesgos para la salud, el propósito de eliminar el calcio y el magnesio del agua es evitar la formación de escamas y lodos suaves en calentadores de agua y calderas a baja presión (EPA 1986), así como el excesivo uso de jabón en el consumidor y problemas en industrias como la del papel (San Martín *op. cit.*). La dureza no es una determinación de interés en el agua para el riego (EPA 1986). La presencia de calcio reduce la toxicidad de metales pesados (EPA 1986, EPA 1982). Una concentración de calcio de 145 mg/l en el agua puede contribuir con un 10% al consumo diario de calcio en el humano (EPA 1982). El sulfato de magnesio tiene efectos laxantes; 120 mg/l de magnesio en el agua pueden contribuir con un 7% al consumo diario de este elemento en los humanos (EPA 1982).

El sodio es un componente común de los sólidos disueltos (EPA 1986). Su consumo en elevadas concentraciones y tiempos prolongados está asociado a la hipertensión, por lo que un nivel máximo de 20 mg/l se recomienda para dietas muy restringidas en sodio, mientras que para dietas moderadamente restringidas, 270 mg/l es el máximo (EPA 1982). Para fines agrícolas, la cantidad

de sodio y el porcentaje de sodio en relación con otros cationes es importante. Además de contribuir a la presión osmótica, el sodio es tóxico para ciertas plantas, especialmente frutas, y frecuentemente causa problemas en la estructura, infiltración y tasa de permeabilidad del suelo (EPA 1986).

El potasio se encuentra presente en todo tipo de aguas, aunque en pequeñas cantidades (ASTM 1982), por lo que su contribución al consumo diario en humanos es baja (menos del 1%) (EPA 1982).

Los sólidos suspendidos proveen de microhábitats donde los microorganismos no llegan a tener contacto con el cloro desinfectante, por lo que es recomendable que no estén presentes en el agua potable (EPA 1986). Su presencia puede tener efectos adversos sobre la vida acuática y pueden formar una costra sobre el suelo, la cual evita la infiltración del agua y la emergencia de plantas, e impide la aereación del suelo (EPA 1986). En las aguas empleadas en procesos industriales, estos sólidos aumentan los problemas de sedimentación y putrefacción, y, en aguas que fluyen a alta velocidad, contribuyen a la erosión de superficies metálicas (ASTM 1982).

El pH es un importante factor en los sistemas químicos y biológicos de las aguas naturales, ya que cambios de pH afectan el grado de disociación de ácidos y bases débiles, lo que a su vez afecta la toxicidad de muchos compuestos (EPA 1986). El pH en agua potable y para la industria tiene importancia porque, sin un ajuste a un intervalo adecuado, puede causar corrosión y dificultar los procesos de tratamiento como la coagulación y cloración. En el agua para irrigación, el pH no es un parámetro crítico por la gran capacidad amortiguadora que posee el suelo (EPA 1986).

El uso del agua dentro y fuera de su ambiente natural es afectado por la temperatura. El empleo doméstico, de recreación, para enfriamiento o para procesos industriales es dependiente de la temperatura. Así mismo, la estructura de las comunidades acuáticas, la dominancia de algunos grupos en esta estructura, la distribución y migración, el metabolismo, el comportamiento, alimentación, crecimiento y reproducción de los organismos son regulados por la temperatura (EPA 1986).

La materia orgánica (M.O.) puede presentarse en forma particulada (viva como plancton y bentos; muerta como sestón, suspendido o ya sedimentado), coloidal (macromoléculas, a veces de difícil biodegradabilidad) y disuelta. A su vez, dentro de estos tres tipos la composición puede variar considerablemente, desde la relativamente homogénea y putrescible de los organismos acuáticos, hasta las poco biodegradables moléculas con anillos aromáticos (naturales de tipo húmico ó transformadas por el hombre, como los hidrocarburos) (Vilaclara 1988c).

El agua que fluye como corriente natural puede contener una gran variedad de microorganismos que contribuyen a aumentar la M.O. presente (ASTM 1982); sin embargo, variaciones considerables de la misma se interpretan como indicio de una posible contaminación (OMS *op. cit.*), debido a que la mayoría de las sustancias introducidas por el hombre en los cursos de agua, resultado de su actividad fisiológica y de su actividad

industrial, son putrescibles (Catalán 1978, Gersenowies 1986). La presencia de M.O. en el agua produce olor, color y sabor, lo cual la hace indeseable para consumo humano (Bassols op. cit., Catalán op. cit., ASTM 1982). Además, puede ser índice de la presencia de organismos patógenos, entre otros, pues son las bacterias las encargadas de degradar la M.O. hasta sus compuestos más simples (Catalán op. cit., Gersenowies op. cit.). En las industrias que producen bebidas refrescantes, las mismas objeciones para el contenido de M.O. son válidas. Algunos de los productos finales de la degradación de la M.O. -CO₂ y amoniaco-, asociados a una falta de oxígeno, pueden causar corrosión en los conductos metálicos y en los equipos de cobre que forman parte de los sistemas de condensación y precalentamiento en las fábricas (ASTM 1982).

Para determinar el contenido de M.O., la OMS (op. cit.), Catalán (op. cit.), Greenberg et al. (1985) y la ASTM (1989) recomiendan los siguientes métodos de análisis:

- Pérdida de peso al rojo
- Demanda química de oxígeno (D.Q.O.)
- Demanda bioquímica de oxígeno (D.B.O.)
- Carbono orgánico total (C.O.T.)

El primero se realiza por combustión, el segundo por vía química, el tercero por intermedio de las bacterias y el cuarto instrumentalmente. Los cuatro oxidan la M.O. fijando el oxígeno.

La determinación del oxígeno consumido con permanganato potásico puede considerarse como una forma de la determinación de la D.Q.O., resultando útil en el análisis de potabilidad del agua (Catalán op. cit., OMS op. cit.) pues da valores parecidos a la D.B.O. en muestras de aguas naturales debido a que se utiliza un oxidante químico menos fuerte que el dicromato (Garzón 1990).

3. JUSTIFICACION

Debido a la enorme concentración de personas que habitan en la Ciudad de México y su Area Metropolitana, la necesidad de agua potable es cada día mayor, razón por la que es progresivamente más difícil controlar su potabilidad y, como ya se mencionó en la sección 2.5.1, la cloración no siempre es un método que garantice su inocuidad.

Por otro lado, no hay estudios publicados que relacionen la calidad bacteriológica y fisicoquímica en el agua potable del Area Metropolitana de la Ciudad de México, por lo cual una investigación como la presente puede aportar datos interesantes para trabajos posteriores.

4. OBJETIVOS

- Determinar la calidad del agua de uso doméstico mediante el análisis de los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos, en dos puntos semanales seleccionados al azar en la Ciudad de México, durante 9 meses.
- Comparar los valores obtenidos con los intervalos recomendados por organizaciones nacionales e internacionales para cada parámetro, y revisar si el agua que es abastecida en los puntos muestreados cubre los requisitos de salubridad e inocuidad para los usuarios.
- Buscar posibles relaciones entre los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos.
- Revisar si el método de Filtro de Membrana para determinación de los grupos indicadores de contaminación fecal brinda resultados comparables con los de NMP.

5. METODOLOGIA.

5.1 MUESTREO

Se realizaron 2 muestreos semanales en casas habitación de la Ciudad de México y su Area Metropolitana, del 5 de abril al 12 de diciembre de 1989. En cada casa se tomó una muestra de la llave de entrada o toma de agua principal, una del tinaco, otra de la cisterna y otra de la llave de la cocina; en las casas donde faltó alguno de los puntos de muestreo mencionados, se procedió a tomar una muestra repetida de alguno de los otros puntos. Los sitios de muestreo se eligieron de tal modo que cada cuadro del Area Metropolitana de la Guía Roji de 1988 (excepto las filas superior e inferior y los cuadros 18,24,42, debido a que el área ocupada por ellos presenta muy poca población) tuviera un muestreo como mínimo, y un muestreo por lo menos en cada Delegación o Municipio (excepto Milpa Alta, Chimalhuacán y Los Reyes). Se muestrearon 63 puntos, con un número total de muestras igual a 209. Primero se tomó la muestra bacteriológica e inmediatamente después la muestra fisicoquímica. También se tomó la temperatura de cada muestra y la hora de muestreo.

5.2 ANALISIS FISICOQUIMICO

Para el análisis fisicoquímico fueron necesarios 4 litros de agua como mínimo por punto muestreado en la casa-habitación (llave directa, cisterna, tinaco, llave de la cocina y filtro). Las muestras se colectaron en garrafrones de plástico previamente lavados con ácido nítrico 0.1 N y enjuagados con agua de grifo y con agua destilada posteriormente.

Al llegar al laboratorio se separó un litro de muestra de cada garrafón, el resto se fijó con cloroformo (1 ml/l de muestra) y se guardó en un refrigerador a 4°C.

Con el litro de muestra que se separó se determinaron: pH in situ, conductividad in situ, alcalinidad total y a la fenoltaleína, dureza total y de calcio y D.Q.O.al permanganato, en las 48 horas posteriores al muestreo como máximo.

En el cuadro 2 se enlistan los parámetros fisicoquímicos que se midieron para determinar la calidad del agua potable, se señala el método que se siguió y el tiempo máximo de almacenamiento permitido para cada uno de ellos (ASTM 1989, Greenberg et al. 1985 y Estrada et al. 1985).

Los parámetros elegidos son pruebas de rutina en un análisis de agua. La conductividad, los sólidos totales y disueltos miden el grado de mineralización del líquido; con la alcalinidad, dureza, cloruros, sulfatos y silicatos se determina la concentración de los principales minerales disueltos, pues de

CUADRO 2. PARAMETROS FISICOQUIMICOS ELEGIDOS PARA EL ANALISIS DE CALIDAD DEL AGUA

PARAMETRO FISICOQUIMICO	METODO DE EVALUACION (Tomado del Standard Methods, Greenberg et al, 1985)	TIEMPO DE ALMAC 2	PRECISION % PROM. D.St. n	EXACTITUD % PROM. D.St. n
TEMPERATURA	Termómetro de Mercurio	in situ	- - -	- - -
pH	Potenciométrico	in situ	98.9 0.7 73	- - -
CONDUCTIVIDAD	Electrométrico	24 hrs.	98.9 1.0 59	- - -
ALCAL.TOT. Y A LA FENOLF.	Titulación con Acido Sulfúrico 0.02N y Potenciométrico	48 hrs.	99.0 0.8 75	- - -
DUREZA TOTAL Y DE CALCIO	Titulación con E.D.T.A.	48 hrs.	98.6 1.1 98	- - -
SOL.TOTALES Y SUSPENDIDOS	Gravimétrico	15 días	96.1 2.9 101	- - -
SILICATOS	Molibdosilicato 1	7 días	94.4 5.1 62	- - -
SULFATOS	Turbidimétrico 1	7 días	97.2 2.1 127	102.1 3.1 135
CLORUROS	Argentométrico	7 días	88.8 4.5 247	93.2 1.9 193
D.Q.O.p	Método Acido Ebullición a 100°C por 10 min. (Fodier, 1981)	7 días	97.8 2.5 210	100.1 0.5 140

1 Métodos tomados del A.S.T.M., 1985.

2 A.S.T.M. 1989, Greenberg et al. 1985, Estrada et al. 1975.

n= número de repeticiones hechas, ver Precisión y Exactitud en Análisis Fisicoquímico

$$\text{PRECISION en \%} = \frac{\text{valor mas bajo de la repetición}}{\text{valor mas alto de la repetición}} \times 100$$

$$\text{EXACTITUD en \%} = \frac{\text{valor observado}}{\text{valor esperado o real}} \times 100$$

ella depende el aprovechamiento que pueda tener este recurso natural. El pH es un parámetro importante porque la corrosión de tuberías aumenta con pH ácidos, disolviéndose así metales que son tóxicos; así mismo, la incrustación es más probable con pH básicos. La temperatura del agua influye de modo decisivo en el uso que pueda tener (enfriamiento, recreación, etc.); los sólidos suspendidos y materia orgánica representan riesgo de contaminación bacteriana y -junto con el pH y la temperatura- tienen una mayor relación con el desarrollo de vida en los cuerpos de agua (EPA 1986).

También se calculó la precisión y exactitud de los métodos enlistados en el cuadro 2 para asegurar la confiabilidad de los datos.

La precisión se mide con la expresión:

$$\text{Precisión \%} = \frac{\text{valor más bajo de la repetición}}{\text{valor más alto de la repetición}} \times 100$$

con valores que oscilan del 0 al 100% y óptimos cuando más cerca se hallen del 100. Para cada análisis se recomienda repetir una muestra al azar, las muestras con valores extremos inferior y superior de la serie y, cuando sea necesario, toda muestra que presente picos de concentración (Vilaclara *et al.*, 1990).

La exactitud y el sesgo se miden con la expresión:

$$\text{Exactitud \%} = \frac{\text{valor observado}}{\text{valor real}} \times 100$$

con un valor óptimo de exactitud alrededor del 100%, y presentándose sesgos negativos (subestimación) por debajo del 100 y positivos (sobrestimación) por arriba del 100. Se determinan en dos formas:

a) Con la curva de concentraciones estándar (mínimo de cinco) se calcula la ecuación de la recta y su coeficiente de correlación (debe ser superior al 98%). Para cada valor de absorbancia estándar se recalcula la concentración correspondiente (=valor observado) y se compara con la concentración estándar conocida (=valor real)

b) Para el análisis donde no sea posible preparar soluciones estándar (oxígeno disuelto, potencial de oxidación-reducción, etc.), se utilizan dos aparatos o dos métodos diferentes en 2 a 3 muestras por análisis y por muestreo. El valor obtenido con el método o aparato señalado como más preciso se considerará como valor real, y al obtenido con el menos preciso como valor observado (Vilaclara *et al.*, 1990)

Se realizó un balance iónico con la suma de los aniones (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-}) y cationes (Mg^{++} y Ca^{++}), y mediante la diferencia de los primeros menos los segundos se calculó la cantidad de ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) (Greenberg *et al.*, 1985).

La salinidad se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Salinidad} = \frac{\text{SOL.TOT.} - \text{SOL.SUSP.}}{1000} = \frac{\text{SOL. DIS.}}{1000} \quad \text{g/l}$$

Y finalmente se revisó, aproximadamente cada 2 meses, la constante de la celda VS1 del conductímetro usado, con el propósito que los valores de conductividad fueran más confiables (ANEXO I).

5.3 ANALISIS BACTERIOLOGICO

5.3.1 COLECTA Y PRESERVACION DE LA MUESTRA

Para el muestreo bacteriológico se utilizaron frascos de vidrio de 1000 ml con tapón de rosca, previamente esterilizados a 121°C y 15 libras de presión durante 15 minutos, a los que se les añadió 1 ml de tiosulfato de sodio al 10% previo a la esterilización (para neutralizar los efectos del cloro) (SARH 1984).

Para muestras extraídas de cisternas y/o tinacos, se llenaron los frascos a las 3/4 partes de su capacidad con el propósito de dejar un espacio que permitiera homogeneizar la muestra y proporcionara oxígeno a las bacterias. Antes de tomar las muestras de grifos, se dejó correr el agua libremente durante 1-2 minutos para limpiar la llave de posibles impurezas, después se llenaron los frascos a las 3/4 partes de su capacidad, se taparon y se transportaron al laboratorio en hielo. Las muestras se analizaron dentro de las 24 horas posteriores al muestreo como máximo (Greenberg *et al.*, *op.cit.*).

Las muestras se mantuvieron en refrigeración hasta su análisis, en el mismo día de la colecta.

Los métodos que se usaron para la detección de organismos indicadores de contaminación fueron el de Filtro de Membrana y el NMP.

5.3.2 TÉCNICA DE FILTRO DE MEMBRANA

Esta técnica se originó en Alemania durante la II Guerra Mundial y en la actualidad se aplica en muchos campos de la industria, así como en el análisis bacteriológico de aguas naturales y residuales (Greenberg *et al.*, 1985).

Para el agua potable, el volumen de muestra que debe filtrarse es de 100 ml por cada membrana. Este volumen se hace pasar por una Unidad de Filtración conectada a un sistema de vacío, de tal manera que las bacterias quedan atrapadas en una membrana de nitrato de celulosa, con 0.45 μm de diámetro de poro, cuadrículada y estéril.

Una vez filtrada la muestra, se enjuaga 3 veces el embudo con 10 ml de agua de dilución previamente esterilizada, con el propósito de que las bacterias adheridas a las paredes del vidrio sean arrastradas a la membrana. El agua de dilución se prepara de la siguiente manera: Se agrega 1.25 ml de una solución madre de fosfatos y 5 ml de sulfato de magnesio (50 g. $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}/1$) a un litro de agua destilada. Para la preparación de la solución madre de fosfatos se disuelven 34 g. de fosfato monobásico de potasio (KH_2PO_4) en 500 ml de agua destilada, se ajusta el pH a 7.2 con NaOH 1 N y se diluye a 1 litro con agua destilada.

Después de enjuagar con agua de dilución, se separa la membrana con las pinzas estériles para colocarla en una caja Petri de 60x15mm de diámetro. La caja tiene un cojín absorbente estéril empapado con el medio específico (los medios se prepararon siguiendo las indicaciones del fabricante). Una vez que se deposita la membrana, las cajas se sellan con Masking-tape y se meten a incubación.

Al cabo de 24-48 hrs, se toma la lectura de cada una de ellas. El conteo de colonias se realiza con el auxilio de un estereomicroscopio a un aumento de 10-15X.

Criterio para el conteo de colonias :

-Cuando hay de 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/100ml.

-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 /100ml.

-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 /100ml.

-Cuando el número de colonias por cuadro es mayor de 20, se reporta el conteo total como >2000 (Greenberg *et al.*, *op.cit.*).

Las colonias de los indicadores bacteriológicos se identifican por una coloración característica inducida por el indicador químico usado en el medio correspondiente. Las figuras 5,6 y 7 son una representación de la técnica de Filtro de Membrana. En ellas se señalan las variaciones del método para los grupos bacteriológicos analizados.

5.3.3 TECNICA DEL NUMERO MAS PROBABLE (TUBOS MULTIPLES)

El método de NMP es una técnica que se basa en la propiedad que tienen los coliformes de fermentar la lactosa a ciertas temperaturas y los estreptococos de crecer en medios específicos. Para su determinación, se utilizan series de tubos con dispositivo Durham (tubos de fermentación), los cuales por lo menos incluyen tres cantidades de la muestra, que pueden ser 10,1, y 0.1 ml; por cada cantidad o dilución debe de haber tres ó cinco tubos. La técnica consiste de tres partes: la prueba presuntiva, la prueba confirmativa y la prueba completa (Greenberg *et al.* 1985).

Se utilizó el método del NMP siguiendo la técnica propuesta en el Standard Methods (Greenberg *et al.*, *op.cit.*) para comparar ambas técnicas (NMP y Filtro de Membrana) y confirmar los resultados que se obtuvieron del método del Filtro de Membrana. La técnica se aplicó en 55 muestras con las diluciones 10,1,0.1ml en tres tubos cada dilución (del muestreo 30 al 45).

Se hizo una modificación en el número y volumen de tubos sembrados: se inocularon 10 ml en 10 tubos, aumentando la concentración del medio para evitar que ocurriera una dilución; todo esto en 50 muestras (del muestreo 46 al 62). El cambio tuvo como propósito aumentar el volumen de muestra analizado, pues se consideró que el volumen de muestra anterior no era el adecuado para agua potable, con una baja concentración intrínseca de bacterias.

En las Fig. 8 y 9 se esquematiza el método de NMP.

5.4 ANALISIS ESTADISTICO

Como análisis exploratorio de datos y con el fin de tener una idea acerca de cómo se distribuía la variación entre las variables, se aplicó un ACP (Análisis de Componente Principal), el cual se basa en la transformación lineal de las observaciones originales. Estas transformaciones lineales son básicamente la extracción de los valores y vectores propios de la matriz de correlación de las variables originales. Las transformaciones o componentes principales generados deben de ser matemáticamente

Figura 5 . ESQUEMA DE LA METODOLOGIA PARA DETECTAR COLIFORMES TOTALES POR LA TECNICA DE FILTRO DE MEMBRANA.

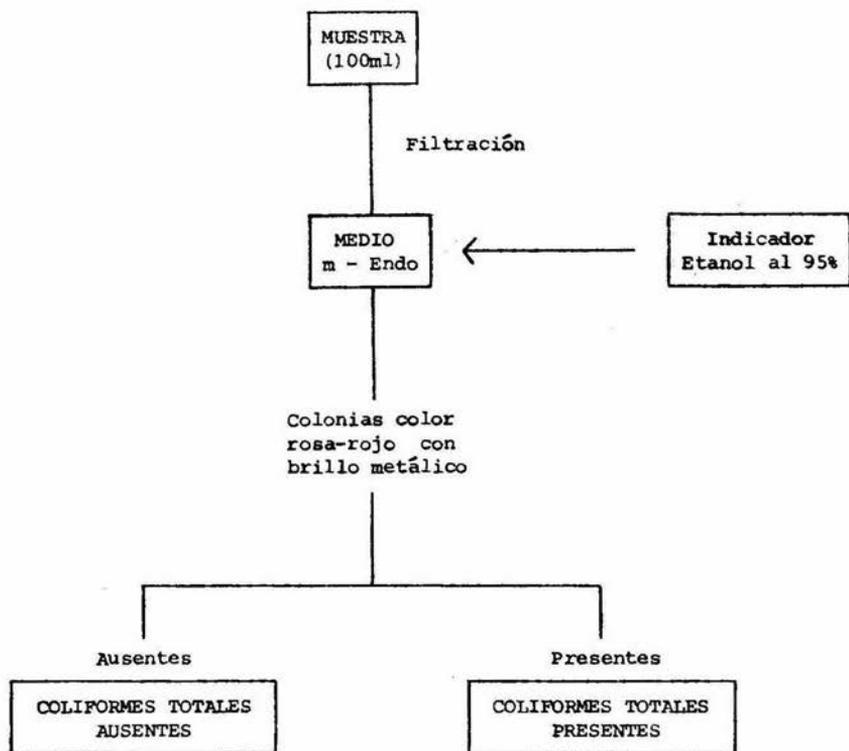


Figura 6 . ESQUEMA DE LA METODOLOGIA PARA DETECTAR COLIFORMES
FECALES POR LA TECNICA DE FILTRO DE MEMBRANA.

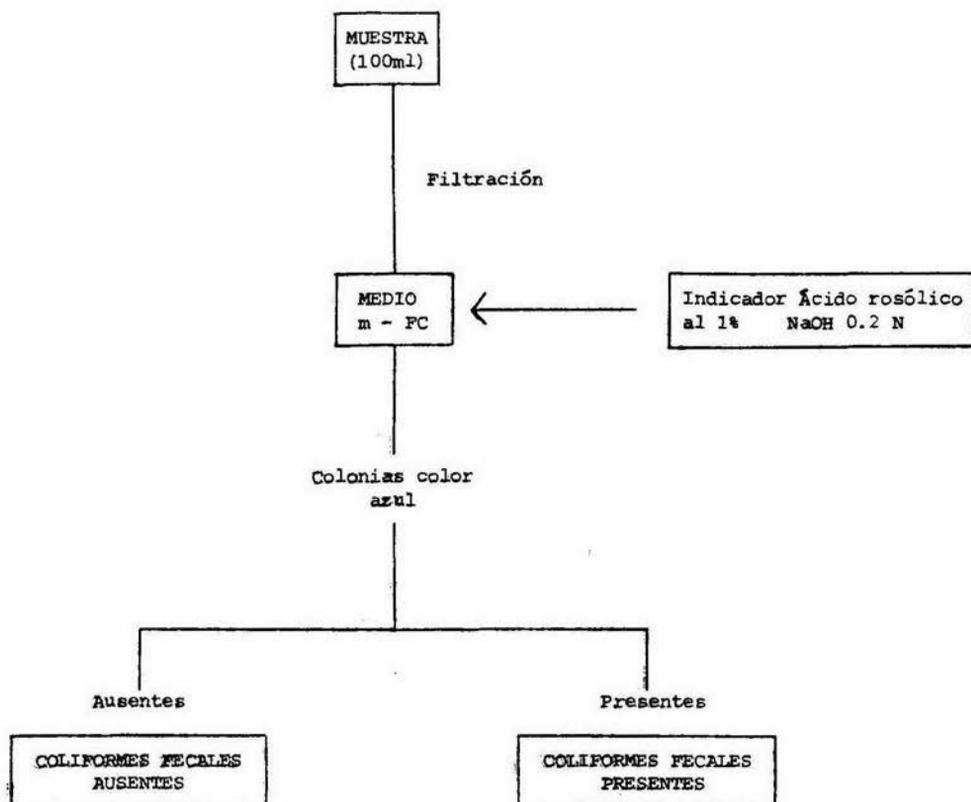
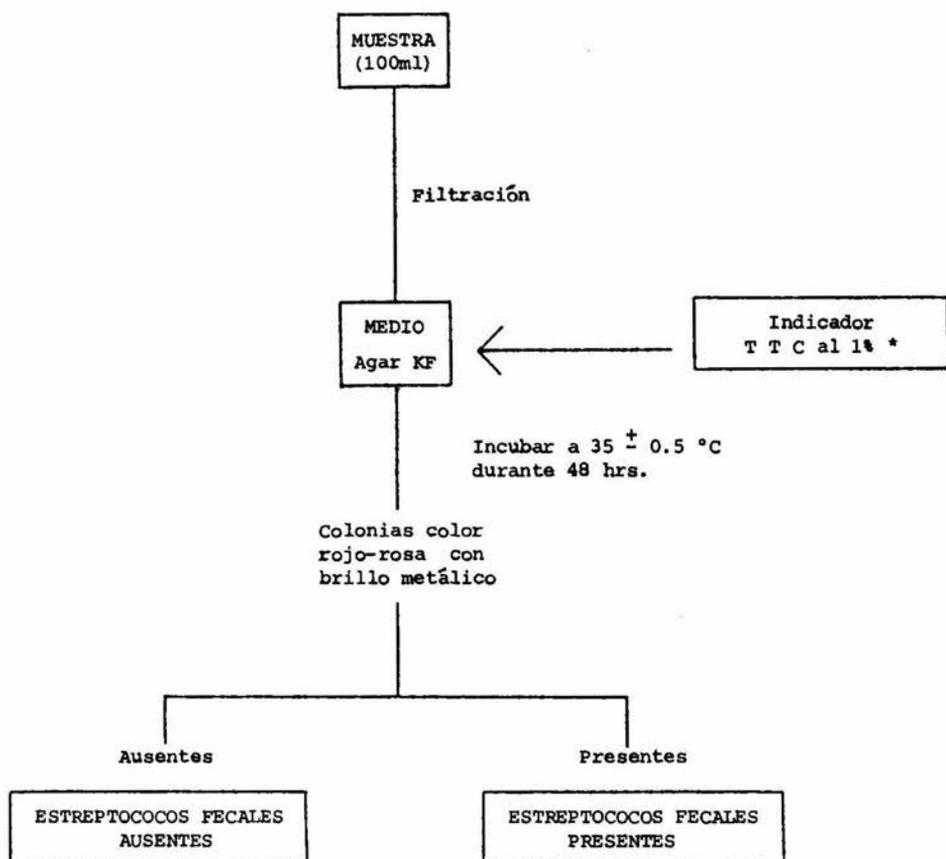


Figura 7 . ESQUEMA DE LA METODOLOGIA PARA DETECTAR ESTREPTOCOCOS
FECALES POR LA TECNICA DE FILTRO DE MEMBRANA.



* T T C - Cloruro de 2,3,5 trifenil-tetrazolio.

Figura 8 . ESQUEMA DEL METODO DE N.M.P. PARA DETECTAR COLIFORMES TOTALES Y FECALES

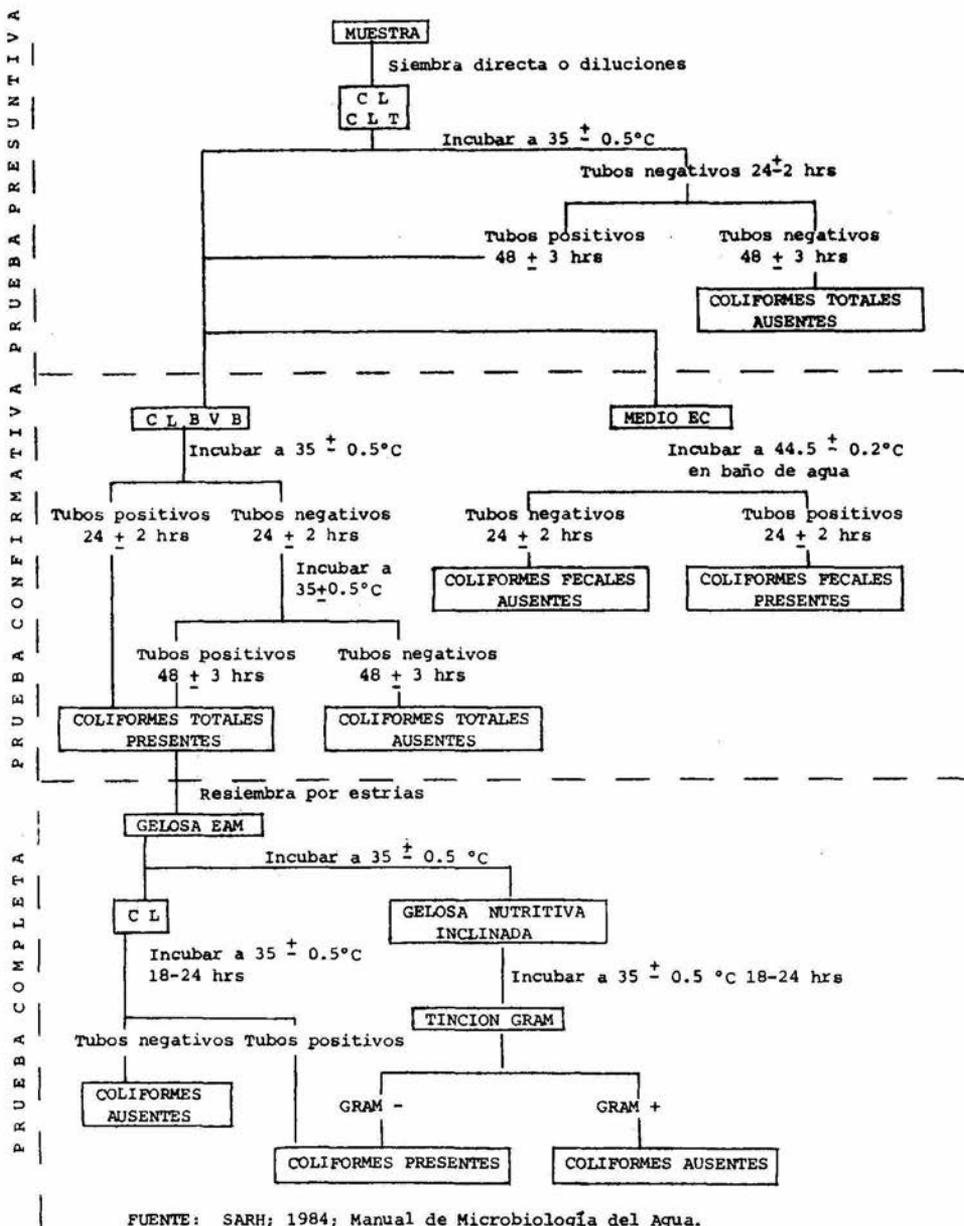
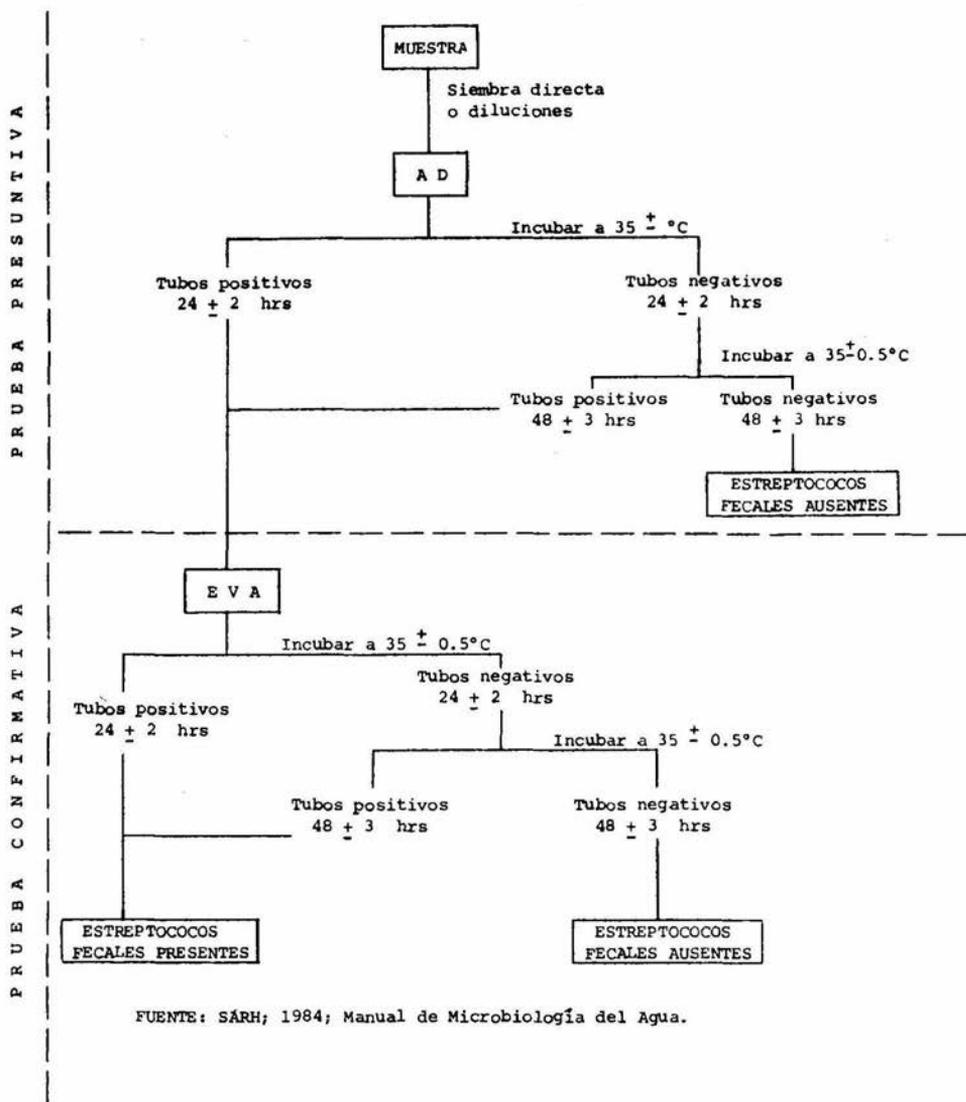


Figura 9 . ESQUEMA DEL METODO DE N.M.P. PARA DETECTAR ESTREPTOCOCOS
FECALES.



FUENTE: SARH; 1984; Manual de Microbiología del Agua.

independientes unos de otros y deben sintetizar en forma decreciente la variabilidad total del conjunto original de datos (Pla 1986, Jeffers 1978).

Para muestreos en los que se utilizó tanto el método de Filtro de Membrana como el de NMP, una prueba Z fue efectuada para revisar si los dos métodos son comparables (Sokal 1980, Spiegel 1982).

Para el manejo de datos se empleó una computadora personal marca Printaform modelo 5640. Para la base de datos el programa Lotus 123 versión 2.0 (1985). El análisis estadístico se hizo con el programa Statgraphics versión 2.1 (1985). El procesador de palabras empleado en la tesis fue Word Perfect versión 5.0 (1982, 1988). Las gráficas se elaboraron con el programa Harvard Graphics versión 2.12 (1987).

6. ANALISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIONES

6.1 ANALISIS DE LOS RESULTADOS DE LLAVE DIRECTA

Con la finalidad de buscar agrupaciones con calidad de agua parecida, a los datos obtenidos de las llaves de entrada se les aplicó un Análisis por Componentes Principales (ACP). Los grupos encontrados a través de este análisis ayudan a simplificar la información recopilada y, de este modo, se facilita su interpretación. Se eligieron las llaves de entrada sin tomar en cuenta cisternas, tinacos y llaves de cocina, con el propósito de eliminar los efectos que pudiera acarrear la manipulación del agua dentro de la casa-habitación sobre la calidad de la misma.

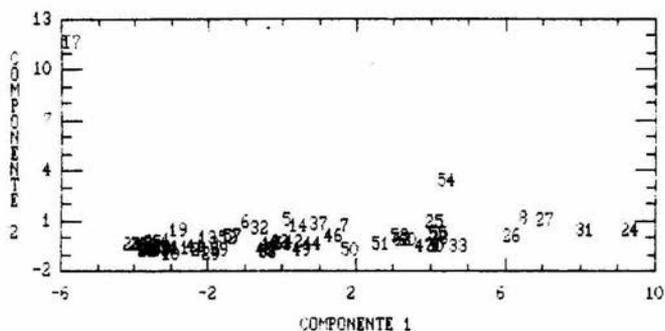
Las agrupaciones o conglomerados que se obtuvieron del ACP se pueden observar en la Figura 10. El Cuadro 3 proporciona la variabilidad explicada por cada componente obtenido en el análisis y en el Cuadro 4 observamos que en el Componente 1 -que explica el 57% de la variabilidad total- tuvo mayor peso la alcalinidad total, bicarbonatos, sólidos suspendidos y conductividad. El segundo Componente Principal -que explica el 13% de la variabilidad- tiene mayor peso en el Valor al Permanganato, los sólidos suspendidos, estreptococos fecales y coliformes totales. Como la agrupación de los datos está dada sólo en dos ejes, representando el Componente 1 y el Componente 2, entonces se explican los dos Componentes sin tomar en cuenta los demás. Así, analizando la Figura 10 encontramos que la agrupación estuvo mayormente influenciada por la conductividad y sales disueltas, más que por variables biológicas (indicadores bacteriológicos).

Por lo tanto y con base en la figura 10, las muestras se distribuyeron en los siguientes conglomerados:

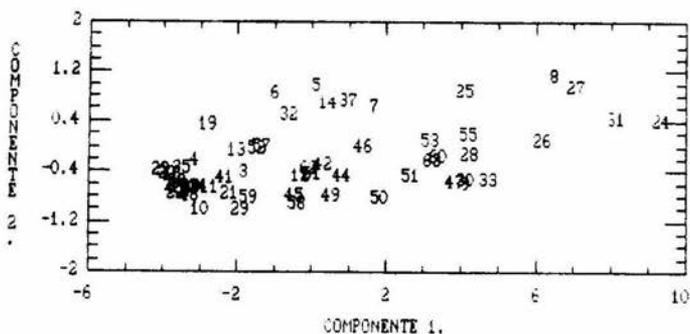
CONGLOMERADO	A	B	C	D	E	F
MUESTRAS	8, 24, 26, 27, 31	9, 25, 28 30, 33, 47, 51, 53, 54, 55, 60, 63	1, 2, 5, 6 7, 12, 14 32, 37, 42, 44, 45, 46, 49, 50, 58, 61, 62	3, 13, 21 29, 41, 52, 56, 57, 59	1, 4, 11, 15, 18, 19, 20, 22, 23, 34, 35, 36, 38, 39, 40, 43, 48	16, 17

Figura 10. CONGLOMERADOS DE CALIDAD DE AGUA ENCONTRADOS PARA LA CIUDAD DE MEXICO.

a)



b) Amplificación de la Figura 10.



CUADRO 3. VALORES PROPIOS DEL ANALISIS POR COMPONENTES PRINCIPALES
 APLICADO A LAS MUESTRAS DE LLAVE DIRECTA

Número de Componente	Porcentaje de Variación (%)	Porcentaje Acumulado (%)
1	57.39	57.39
2	13.09	70.47
3	8.39	78.86
4	5.62	84.48
5	4.61	89.10
6	2.68	91.75
7	2.55	94.33
8	1.97	96.29
9	1.47	97.76
10	0.99	98.74
11	0.75	99.50
12	0.32	99.82
13	0.07	99.89
14	0.06	99.94
15	0.04	99.99
16	0.01	99.99

CUADRO 4. VECTORES PROPIOS DEL ANALISIS POR COMPONENTES PRINCIPALES APLICADO A LAS MUESTRAS DE LLAVE DE ENTRADA

VARIABLES	VECTORES 1	PROPIOS 2
TEMPERATURA	0.1129	-0.2321
pH	0.0139	-0.0030
ALC. TOTAL	0.2800	0.0034
DUREZA TOT.	0.2767	0.0303
DUREZA Ca ⁺⁺	0.2763	0.0055
DUREZA Mg ⁺⁺	0.2685	0.0433
BICARBONATOS	0.2800	0.0030
CLORUROS	0.2457	0.0175
SULFATOS	0.2191	0.1054
CALCIO	0.2767	0.0029
MAGNESIO	0.2685	0.0400
Na ⁺ y K ⁺	0.2374	0.0228
SILICE	0.1991	-0.0487
SOLIDOS TOT.	0.2797	0.0813
SOLIDOS SUSP.	-0.0656	0.5465
SOLIDOS DIS.	0.2829	0.0280
CONDUCTIVIDAD	0.2825	0.0101
COL. TOTALES	0.0244	0.3045
COL. FECALES	0.0626	0.0581
ESTR. FECALES	-0.0017	0.4824
V. PERMANGANATO	-0.0734	0.5407



U.N.A.M. CAMPUS
 IZTACALA

Al revisar las conductividades de los conglomerados, se puede observar que hay un decremento de la concentración de sales del conglomerado A hasta el F (Gráfica 1, Cuadro 5).

Los compuestos que en conjunto se miden por la conductividad (carbonatos, calcio, magnesio, cloruros, sodio y potasio) también son mayores en el conglomerado A y disminuyen gradualmente hasta el conglomerado F (Gráfica 2 hasta la 5, Cuadro 5).

Los indicadores bacteriológicos tienen un comportamiento que difiere de las sales disueltas en los 6 conglomerados formados. Las coliformes totales son más abundantes en los conglomerados F y C (valor promedio de >2000 y 582 colonias/100ml respectivamente, Cuadro 5) y su número disminuye en los conglomerados A y B (valor promedio de 215 y 225 colonias/100ml respectivamente), en los conglomerados D y E sus valores son bajos (valor promedio de 27 colonias/100ml, Cuadro 5, Gráfica 6).

Las coliformes fecales son más numerosas en el conglomerado C (valor promedio de 134 colonias/100ml); en los otros conglomerados, su número es menor de 6 colonias/100ml (valores promedio, Gráfica 7).

Los estreptococos fecales son abundantes en el conglomerado F (23 colonias/100ml); en los otros conglomerados, su número es <3 colonias/100ml (valores promedio, Gráfica 8, Cuadro 5).

En lo que respecta a los sólidos suspendidos y Valor al Permanganato, los cuales tienen mayor relación con los organismos indicadores, sus valores son altos en el conglomerado F (Gráficas 9 y 10), en los otros conglomerados son muy pequeños (<2mg/l de sólidos suspendidos y <2.1 mg/l de Oxígeno para Valor al Permanganato).

Si los conglomerados formados se localizan en un mapa del área estudiada (Figura 11), vemos que las mayores conductividades se encuentran en el norte de la Ciudad, donde se localizan los conglomerados A, B y C -donde las fuentes de abasto son Presa Madín, pozos municipales de Cuautitlán, Sistema Teoloyucan-Tizayuca-Los Reyes (GAVM), pozos municipales de Ecatepec (Chiconautla), pozos Nezahualcóyotl y pozos municipales de la Ciudad de México en el oriente. Hacia el sur y poniente, la conductividad va decreciendo (Conglomerados D, E y F). Las fuentes de abasto correspondientes son pozos NZT, Sistema Lerma, Sistema Cutzamala, manantiales, Sistema Xochimilco-Mixquic-Xotepingo, Sistema Tláhuac-Nezahualcóyotl (GAVM), pozos municipales de la Ciudad de México (DGCOH 1982, Estado de México 1981).

El conglomerado A tiene un gran contenido de sales disueltas (valor promedio de 772 mg/l de sólidos totales, Cuadro 5), no rebasa los límites permisibles (1500 mg/l para sólidos totales según la OMS 1972, Cuadro 6) pero sobrepasa los óptimos (500 mg/l según la fuente anterior, Cuadro 6). Esta agua es alcalina (valor promedio de 405 mg/l como CaCO_3); algunas muestras en las que se alcanzan 500 mg/l -Atizapán- deberían de vigilarse, puesto que podrían coadyuvar a agudizar los casos de anemia (San Martín 1975). La dureza es alta (valor promedio de 282 mg/l como CaCO_3), lo que provocará gastos excesivos de jabón cuando se utiliza para lavado; propiciará asimismo la formación de capas de sulfato y carbonato de calcio y silicatos de magnesio en los calentadores

CUADRO 3. VALORES PROMEDIO DE 6 CONGLOMERADOS DE CALIDAD DE AGUA FORMADOS PARA LA CIUDAD DE MEXICO (DATOS DE LLAVE DIRECTA).

PARAMETROS	C O N G L O M E R A D O S																							
	A			B			C			D			E			F								
	PROM.	D.St.	Min.	Max.	PROM.	D.St.	Min.	Max.	PROM.	D.St.	Min.	Max.	PROM.	D.St.	Min.	Max.	PROM.	D.St.	Min.	Max.				
pH	7.2	50	6.5	7.6	8.0	34	6.5	7.9	7.0	33	6.8	8.1	7.4	18	7.0	7.6	7.3	25	6.7	7.7	7.1	04	7.0	7.1
ALC.TOT.	405	71	338	500	331	29	273	389	214	41	128	296	137	30	82	178	80	14	41	114	34	0.6	33	35
ALC.FENCOLF.	0				0	0			0	0			0	0			0				0			
DUREZA TOT.	282	27	236	318	206	22	169	257	128	17	77	155	101	22	88	161	62	8	46	80	22	0.9	21	23
DUREZA Ca++	108	8	98	116	80	8	67	98	58	9	35	68	37	6	30	51	28	3	25	35	13	0.1	13	13
DUREZA Mg++	174	21	138	203	127	22	102	181	78	15	32	101	64	17	49	110	33	7	20	45	9	1	8	10
CO3=	0				0				0				0				0				0			
HCO3-	247	43	206	305	202	18	166	237	131	25	78	181	84	18	50	109	49	9	25	70	21	0.4	20	21
OH-	0				0				0				0				0				0			
Cl-	120	48	72	198	66	24	38	120	38	24	4	101	18	13	5	40	8	3	5	15	1	0.9	0	2
SO4=	66	20	43	95	42	19	14	90	17	10	3	42	16	9	3	32	11	5	5	22	6	0.2	5	6
Ca++	43	3	39	47	32	3	27	39	20	4	14	27	15	3	12	20	11	1	10	14	5	0	5	5
Mg++	42	5	34	49	31	5	25	44	19	4	8	25	16	4	12	27	8	2	5	11	2	0.2	2	2
Na+ Y K+	92	54	37	169	53	20	21	108	28	20	0	89	12	16	0	42	2	2	0	5	2	0.5	2	2
SiO2	76	2	73	79	72	9	56	89	69	17	49	115	52	9	36	63	39	11	26	80	35	0.5	34	35
SOL.TOT.	772	139	640	946	562	58	502	732	361	56	260	450	232	43	183	309	150	24	123	196	184	82.5	101	266
SOL.SUSP.	1	60	0	1	1	2.52	0	9	1	1.12	0	5	1	1.50	0	5	2	1.74	0	5	161	0*		
SOL.DIS.	1	14	64	95	1	06	50	73	0.4	06	26	45	0.2	0.04	0.18	0.31	0.1	0.03	0.12	0.19	0.1	0.01	0.10	0.11
K25	1095	221	855	1392	923	70	725	991	513	101	343	691	338	85	245	486	198	29	144	254	72	1.6	71	74
TEMPERATURA	22	1.6	20	24	22	2.1	18	25	21	2.1	17	25	18	3.1	15	25	20	1.4	19	25	16	0.8	16	17
COL.TOT.	215	220	0	>2000	225	559	0	>2000	582	857	0	>2000	27	68	0	220	27	96	0	400	>2000	0*		
COL.FEC.	6	10	0	>2000	1	5	0	15	134	495	0	>2000	0		0	0	1	2	0	10	6	0*		
ESTREP.FEC.	1	1	0	2	3	7	0	25	1	2	0	8	0		0	0	0	0.3	0	1	23	0*		
VAL.PERM.	1.8	0.5	1.0	2.2	0.7	0.8	0	2.8	1.6	1.4	0	4.3	0.9	0.7	0	2	2.1	0.97	0.8	3.6	51.2	0*		

* Un único valor.

Unidades:

Temperatura en °C

Alcalinidades y Durezas en mg/l

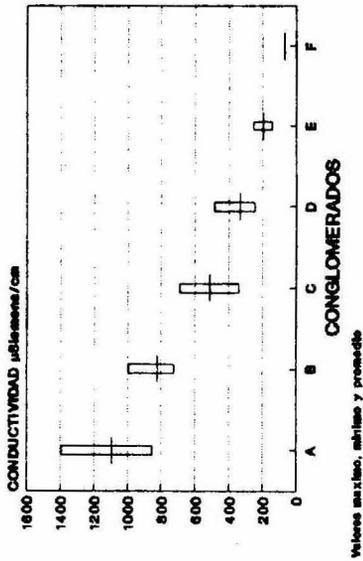
K25 en Siemens/cm

Indicadores biológicos en Número de Colonias/100 ml

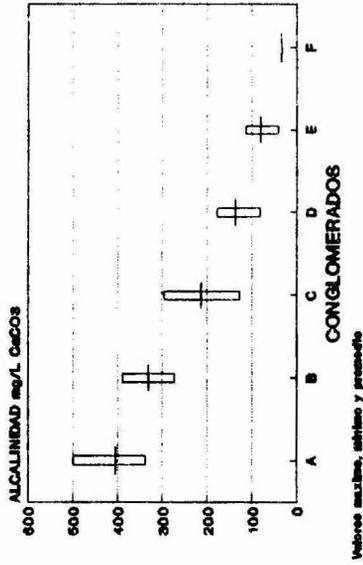
Sólidos disueltos en g/l

Los demás se encuentran expresados en mg/l

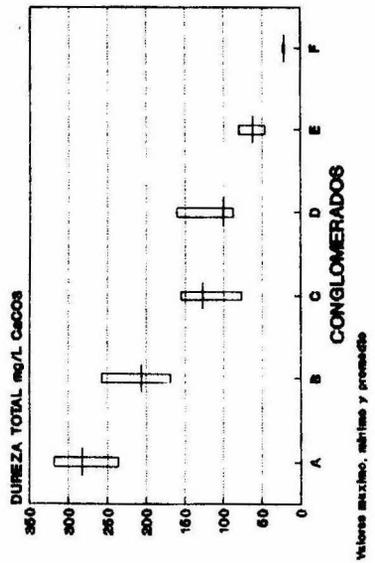
Grafica 1. Conductividad de los 6 Conglomerados de calidad de agua.



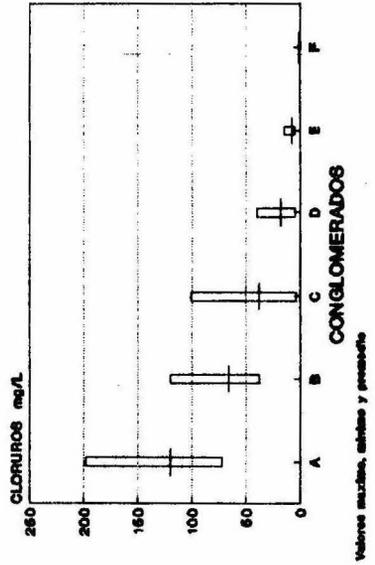
Grafica 2. Alcalinidad de los 6 Conglomerados de calidad de agua.



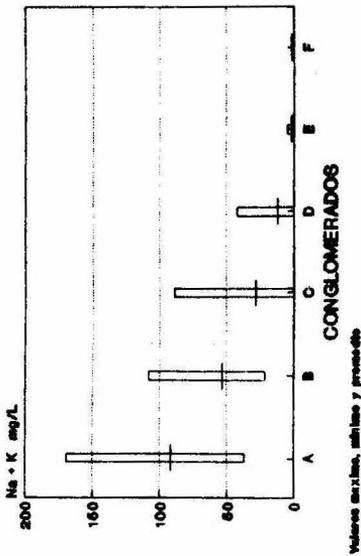
Grafica 2. Dureza Total de los 6 Conglomerados de calidad de agua.



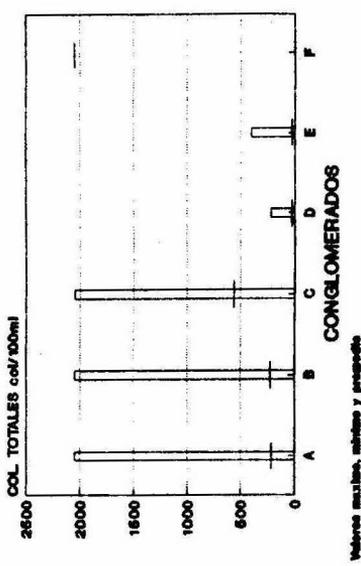
Grafica 4. Cloruros de los 6 Conglomerados de calidad de agua.



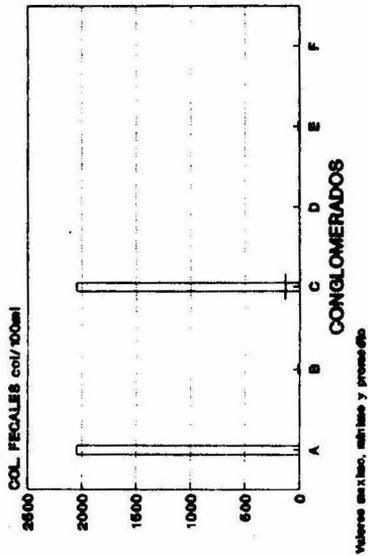
Gráfica 5. Sodio y Potasio de los 6 Conglomerados de calidad de agua.



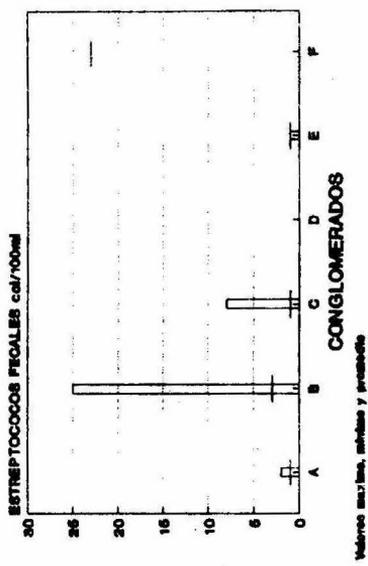
Gráfica 6. Coliformes Totales de los 6 Conglomerados de calidad de agua.



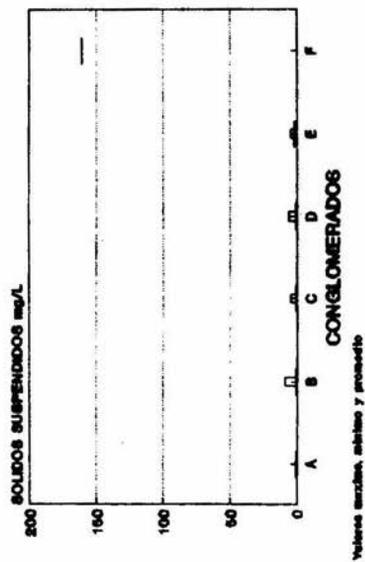
Gráfica 7. Coliformes Fecales de los 6 Conglomerados de calidad de agua.



Gráfica 8. Streptococos Fecales de los 6 Conglomerados de calidad de agua.



Grafica 9. Solidos Suspendidos de los 6 Conglomerados de calidad de agua.



Grafica 10. Valor al Permanganato de los 6 Conglomerados de calidad de agua

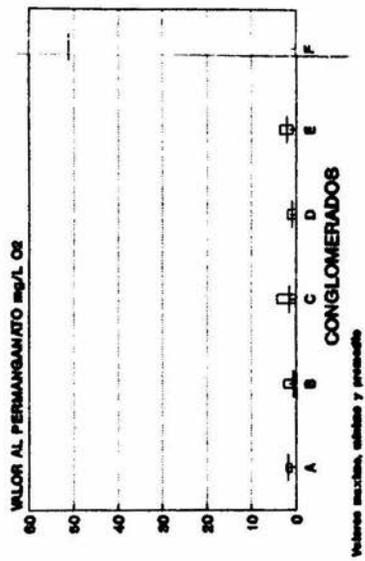
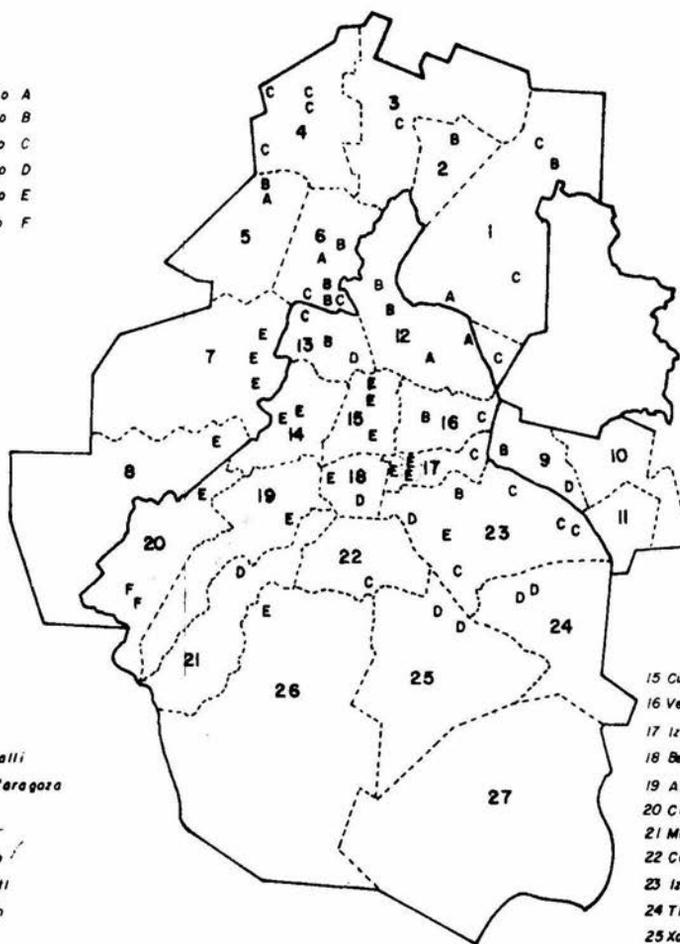


Figura No. II. DISTRIBUCION DE LOS CONGLOMERADOS DE CALIDAD DE AGUA ENCONTRADOS EN EL VALLE DE MEXICO

Claves

- A Conglomerado A
- B Conglomerado B
- C Conglomerado C
- D Conglomerado D
- E Conglomerado E
- F Conglomerado F



Claves

- 1 Ecatepec
- 2 Coacalco
- 3 Tultitlán
- 4 Cuautitlán Izcalli
- 5 Atizapán de Zaragoza
- 6 Tlalneantla
- 7 Naucalpan
- 8 Huixquilucan
- 9 Nezahualcóyotl
- 10 Chimalhuacán
- 11 Los Reyes
- 12 Gustavo A Madero
- 13 Atzacotalco
- 14 Miguel Hidalgo

- 15 Cuautémoc
- 16 Venustiano Carranza
- 17 Itzamalco
- 18 Benito Juárez
- 19 Alvaro Obregón
- 20 Cuajimalpa
- 21 Magdalena Contreras
- 22 Coyoacán
- 23 Iztapalapa
- 24 Tláhuac
- 25 Xochimilco
- 26 Tlalpan
- 27 Milpa Alta

CUADRO 6. CRITERIOS DE CALIDAD PARA AGUA POTABLE

PARAMETROS	SARH(1)	OMS(2)	DIARIO OFICIAL(3)	EPA(4)	SSA(5)
pH	6.5-8.5	7.0-8.5	6.9-8.5	5-9 a	6-8
Alc.Total			400	20-400	400
Alc.Fenolf.					15+0.4
Dur.Total		100-500			300
Dur.Calcio		75-200			
Dur.Magnesio		30-150 b	125		125
Cloruros		200-600		250	250
Sulfatos		200-400	250	250	250
Na+ y K+				270 c	100,12 d
Sol.Totales		500-1500			1000
Sol. disueltos	≤1000			500	
K25					1250 d
Col.Totales			2	4	
Col.Fecales			0	0	
Val.Perm.			3		3
Temperatura	C.N.+2.5°C				12-25 d

Unidades: mg/l y colonias/100ml para Coliformes

C.N. Condiciones normales (temperatura ambiente)

a- Antes de la entrada al sistema de abastecimiento

b- En presencia de sulfatos.

c- Para dietas moderadamente restringidas en Na+,
20 mg/l para dietas muy restringidas en Na+

d- Comunidad Europea de Naciones (1975).

(1) SEDUE;1988; Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de aguas

(2) OMS;1972; Normas Internacionales para el Agua Potable.

(3) Diario Oficial de la Federación; 1988; Reglamento de la ley general de Salud en materia de control sanitario

(4) Environmental Protection Agency;1986; Quality Criteria.

(5) D.G.C.O.H.;1982; Sistema Hidráulico de la Ciudad de México.

de agua y generadores de vapor en las industrias; sin embargo, es posible que al beberla no cause ningún efecto adverso. En los municipios de Atizapán y Tlalnepantla, los cloruros son muy altos (198 mg/l) y aunque no sobrepasan los límites establecidos (200-600mg/l. Cuadro 6), si contribuyen a una oxidación notable de las superficies metálicas con las que entra en contacto*. Como no sobrepasa los valores óptimos y permisibles, se considera que no afectan fisiológicamente de modo negativo. La capacidad oxidativa (lo que la EPA 1986 maneja como corrosividad, pero que nosotros denominamos de esta forma para distinguirla de la disolución directa) del conglomerado es alta por el exceso de sales. Aunque hay presencia de coliformes totales, la cantidad de indicadores fecales es baja (Gráficas 7 y 8), razón por la cual la contaminación parece ser de bajo riesgo; no obstante, deben de tomarse precauciones cuando se utilice para beber. Se recomienda que el agua se ablande o se diluya con agua de menor conductividad a fin de evitar las consecuencias de su empleo. De hecho, la dilución ocurre, ya que la red primaria de distribución es abierta y se halla muy interrelacionada: en ella entra el agua extraída de los diferentes puntos (Alónimo 1991), pero la mezcla se debe realizar antes de enviarla a la red, porque dentro de ella el mezclado no es completo y la distribución de agua del conglomerado A se hace más localizadamente. También se recomienda que se limpien las generadoras de vapor y calentadores de agua en esta zona, para aumentar la eficiencia en el calentamiento, así como para evitar que ocurran fallas en tales sistemas (ASTM 1982).

El conglomerado B tiene 562 mg/l de sólidos totales (valor promedio), rebasando ligeramente el límite superior óptimo recomendado. Como el contenido de sales disueltas (sólidos totales, sólidos disueltos y conductividad) es menor que en el conglomerado A, la capacidad oxidativa será menor que el de aquél. La alcalinidad (valor promedio de 331 mg/l) no rebasa el límite superior permitido (400 mg/l como CaCO_3 , Cuadro 6), tal concentración ayuda a evitar la disolución de metales pesados de las tuberías con las que entra en contacto el líquido. El agua del conglomerado se caracteriza por ser muy dura (valor promedio de 206 mg/l de Dureza total como CaCO_3), entonces se comportará de modo semejante al conglomerado A. La concentración de cloruros (66 mg/l) no representa riesgos para la salud. Los indicadores bacteriológicos nuevamente no representan un problema serio, pues no hay organismos fecales. Sin embargo, es conveniente que se tomen las debidas precauciones.

El conglomerado C tuvo como valor promedio 361 mg/l de sólidos totales, concentración que se ajusta al nivel superior óptimo permisible. La alcalinidad es de 214 mg/l (valor promedio), tratándose de un nivel adecuado para la prevención de

* Específicamente y a nivel doméstico, se denota por la frecuencia con que se deben de cambiar los flotadores de cobre de los sistemas automáticos de llenado de tinacos.

la corrosión de tuberías, además de no representar un riesgo para la salud. La dureza total tiene un valor promedio de 128 mg/l como CaCO_3 (agua dura) y tendrá los mismos efectos que los conglomerados A y B, aunque en menor grado. La concentración promedio de cloruros fue de 38 mg/l y se considera como inofensiva cuando es bebida. Sin embargo, en algunos puntos -como los municipios de Nezahualcóyotl e Iztapalapa- aparecieron cloruros en mayor proporción (119 mg/l), situación que puede provocar mayor corrosión que la de las otras zonas integrantes de dicho conglomerado. La contaminación bacteriológica es alta (valor promedio de 582 colonias de coliformes totales/100ml) y riesgosa (valor promedio de 134 colonias de coliformes fecales/100ml). Se recomienda intensificar las medidas preventivas, como son hervir y clorar el agua y monitorear frecuentemente la zona, de modo que se detecten las fuentes de contaminación o se evite la incidencia de enfermedades gastrointestinales.

El agua de los conglomerados D y E es aceptable en el aspecto fisicoquímico. El contenido de sales disueltas entra en los intervalos óptimos. Existen variaciones en las concentraciones de iones de una zona a otra, pero no son muy importantes. El grado de dureza corresponde a lo que se marca como "moderadamente dura" (valores promedio de 62 y 101 mg/l como CaCO_3 respectivamente); por ello, el gasto de jabón se reducirá en las zonas de los conglomerados mencionados. En el aspecto fisiológico, el calcio y el magnesio no repercutirán negativamente en la salud de los consumidores. Desde el punto de vista bacteriológico, el agua presenta una baja contaminación (valores promedio de 27 colonias de coliformes totales/100 ml), no existiendo indicadores de origen fecal. Por consiguiente, su calidad es adecuada para el consumo humano.

El conglomerado F tiene poca mineralización, lo que lo hace atractivo para uso doméstico. Sin embargo, la alcalinidad se encuentra cerca del límite inferior permitido (20 mg/l como CaCO_3 , EPA 1986). Por su dureza total (valor promedio de 22 mg/l como CaCO_3), se considera blanda. Es recomendable vigilar los niveles de alcalinidad y dureza porque si descienden mucho, el pH puede acidificarse con la consiguiente disolución de metales y metales pesados de las tuberías. El contenido de cloruros (valor promedio de 1 mg/l) no constituye ningún problema cuando el agua es utilizada para beber. En lo que respecta a la contaminación bacteriológica, la misma es alta (>2000 colonias de coliformes totales/100ml) y riesgosa (23 colonias de estreptococos fecales/100ml). Aunque no existen coliformes fecales en abundancia, los estreptococos indican que la contaminación es reciente, proveniente de desechos fecales. Los abundantes sólidos suspendidos y valores altos de materia oxidable (analizada a través del Valor al Permanganato) complementan el criterio de que el agua necesita manejarse con mucho cuidado. Se sugiere que se intensifique el muestreo para revisar si la calidad del agua es uniforme o sólo es un problema muy local. Si se concluye que la calidad encontrada es general, entonces deben de aplicarse tratamientos de sedimentación, filtración, cloración y/o ebullición de

líquido.

En ninguna muestra la cantidad de sulfatos y de sodio más potasio rebasan los límites establecidos (Cuadro 6).

Los silicatos estuvieron presentes en cantidades elevadas en todas las fuentes de abasto. Por ello, el uso industrial para calderas que generan vapor quedará restringido a previo tratamiento del agua para la eliminación del sílice. En los conglomerados D, E y F, los silicatos son benéficos, pues ayudan en la neutralización de la acidez formada en los sistemas de distribución, impidiendo la posible disolución de metales pesados cuando el líquido está en contacto con tuberías metálicas, pero en los conglomerados A, B y C es un contribuyente más en la oxidación y en la incrustación de sales en los calentadores de agua.

La concentración de calcio no rebasó el límite máximo establecido por la OMS (1972) de 200 mg/l como CaCO_3 en ninguna muestra y los conglomerados C, D, E y F no rebasan los límites óptimos (75 mg/l como CaCO_3), por lo que se concluye que no representa riesgo para la salud.

El magnesio rebasó el límite máximo establecido por la OMS (1972) de 150 mg/l como CaCO_3 en el conglomerado A, mientras que sólo el conglomerado F no rebasa el límite óptimo establecido por la OMS (1972) de 30 mg/l como CaCO_3 . Sin embargo, se considera que ninguna muestra contiene magnesio en concentraciones que representen peligro para la salud.

Los valores de pH encontrados (6.5 a 8.1) rebasan los valores óptimos (7.0 a 8.5) pero no los permisibles (6.5 a 9.2) según los valores de la OMS (Cuadro 6), por lo cual no causará trastornos graves en los consumidores.

El intervalo de temperatura fué de 15 a 25 °C, considerándose apta para consumo humano.

Los resultados bacteriológicos de las muestras de llave de entrada se agruparon de tal forma que cada grupo esté definido por los valores permisibles asignados para diferentes usos de agua (Cuadros 6 y 7), además que los valores permisibles vayan de mayor a menor restricción. Decidimos agrupar nuevamente los datos bacteriológicos porque en los conglomerados formados por el ACP, los valores proporcionados son resultado de un promedio; dicho valor puede comprender regiones de la ciudad sin contaminación junto con regiones con alta contaminación, pero el promedio no permite que se reflejen más claramente esas regiones. La agrupación adicional de datos bacteriológicos sí logra señalar con mayor nitidez zonas con contaminación y zonas sin contaminación, completando así el análisis de los conglomerados.

El Cuadro 8 proporciona la simbolización para los 6 grupos conformados y los intervalos de contaminación que se les asignaron.

Los grupos de calidad bacteriológica quedaron integrados de la siguiente manera:

CUADRO 7. CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUA PARA DIFERENTES USOS.

PARAMETRO	USO RECREATIVO a		USO RECR. FLORA FAUNA		USO AGRICOLA		USO INDUSTRIAL f	
	SARH *	EPA **	SARH *	EPA **	SARH *	EPA **	SARH *	EPA **
pH	6.5-8.5		6-9	6.5-9	6-9	4.5-9	6-9	5-8.9
Alc. Tot.								50-500
Sol. Tot.							≤1000	
Sol. Dis. K25	≤1000		≤2000		≤2000 e			
Col. Tot.			10000 c		1000 f			
Col. Fec.	200/100ml b	200/100ml	2000 d				1000 h	
Val. Perm.								
Temp.	C.N.+2.5°C i		C.N.+2.5°C i		C.N.+2.5°C i		C.N.+2.5°C i	

UNIDADES: mg/l y colonias/100ml para coliformes.

C.N.- Condiciones Normales. (Temperatura ambiente)

a-Contacto corporal.

b-Este límite, en no más del 10% del total de las muestras mensuales (5 mínimo), podrá ser mayor a 2000 coliformes fecales.

c-10000 colonias como promedio mensual, ningún valor mayor de 20000

d-2000 colonias como promedio mensual, ningún valor mayor de 4000.

e-Conductividad no mayor de 2000 μ mhos/cm. Boro 0.4 mg/l.

Para valores superiores, la autoridad competente fijará el valor definitivo.

f-Para riego de legumbres que se consuman sin hervir o frutas que tengan contacto con el suelo. Concentración libre si no son de estas características los cultivos.

g-Estos valores son para industrias que requieren calidad de agua cercana a la potable.

Hay otros usos industriales que soportan un amplio intervalo de calidades.

h-Este límite en no más del 10% del total de las muestras mensuales (5 como mínimo), podrá ser mayor a 2000 coliformes fecales.

i-Máximo 30°C, excepto cuando sea causada por condiciones naturales.

* SEDUE; 1988; Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas.

** Environmental Agency Protection; 1986; Quality Criteria.

Cuadro 8. GRUPOS DE CALIDAD BACTERIOLOGICA FORMADOS DE ACUERDO A LOS CRITERIOS ESTABLECIDOS PARA DIFERENTES USOS.

GRUPO	CRITERIO	VALORES MAXIMOS PERMITIDOS (No. de colonias/100 ml)		
		Col.Tot.	Col.Fec.	Estr.Fec.
1	Potable	2 ¹	0 ¹	
1 ¹	Sólo rebasa ligeramente el límite de agua potable.			
2	Uso recreativo con contacto directo.		200 ²	61 ²
3	Uso agrícola para irrigar vegetales cuyas partes se hallan cerca del suelo y son comestibles.	<1000 ³		
4	Uso industrial con necesidad de agua cercana a la potable que requiere de algún tratamiento.		<1000 ³	
5	Uso recreativo sin contacto directo. Conservación de Flora y Fauna.	<10000 ³	<2000 ³	

¹ Diario Oficial de la Federación; 1988; Reglamento de la Ley General de Salud en materia de control sanitario.

² Environmental Protection Agency; 1986; Quality Criteria.

³ SEDUE;1988;Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de aguas.Serie Normatividad Ecológica No. 4.

GRUPO DE CALIDAD BACTERIOLOGICA	1	1'	2	3	4	5
MUESTRAS	3, 4, 10, 11, 12, 13, 18, 20, 21, 22, 23, 26, 28, 30, 31, 34, 40, 42, 43, 44, 45, 47, 48, 51, 55, 56, 57, 58, 59	1, 9, 29, 36, 38, 39, 52, 60	14, 15, 33, 35, 41, 46, 49, 50, 61, 62, 63	24, 27, 53, 54,	5, 17, 25, 32, 37	7, 8

Los resultados bacteriológicos de llave de entrada, previamente clasificados en los grupos antes mencionados, se localizaron en un mapa de la Cd. de México (Figura 12). Se encontraron zonas donde la calidad del agua fue aceptable y otras zonas donde las muestras tomadas no reunieron esa característica.

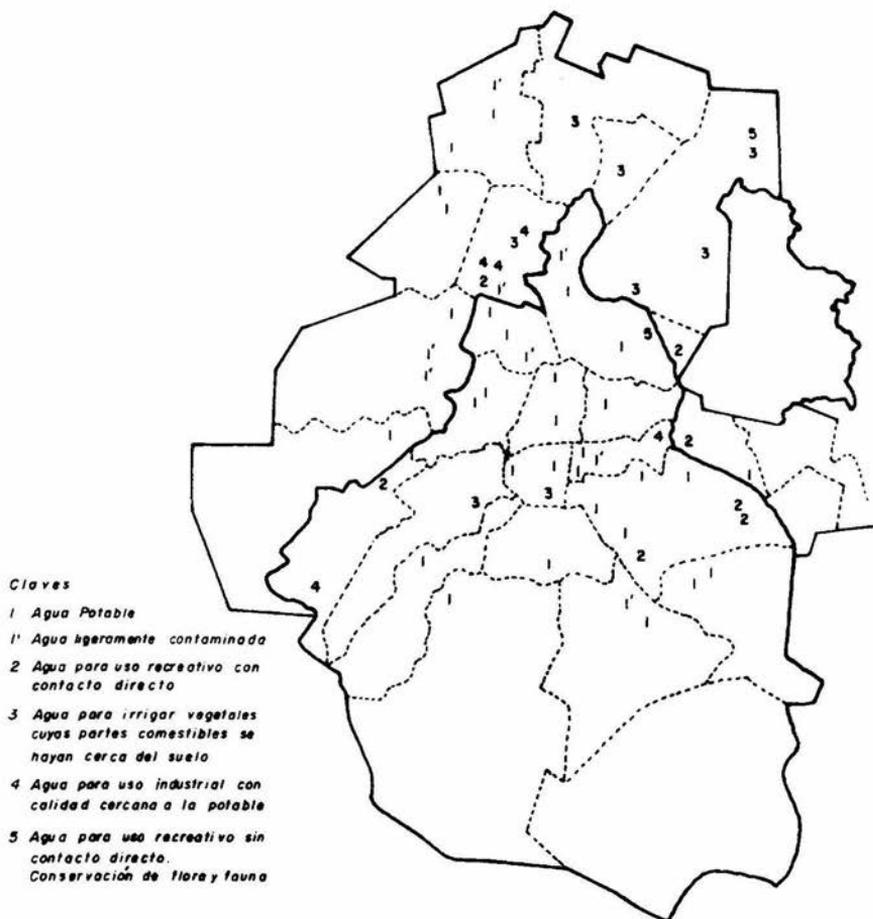
Al analizar la Figura 12 descubrimos tres zonas donde las muestras cubrieron los requisitos de aceptabilidad. Una de ellas se ubica hacia el norte, en los municipios de Atizapán de Zaragoza y Cuautitlán. La otra zona se encuentra comprendida por los municipios de Naucalpan, Huixquilucan, Atzacapotzalco, Gustavo A. Madero, Miguel Hidalgo, Cuauhtémoc, Venustiano Carranza, Benito Juárez, Coyoacán y la zona más occidental de Iztacalco e Iztapalapa. La tercera zona se localiza en el sur, en las delegaciones de Magdalena Contreras, Tlalpan, Xochimilco y Tláhuac.

Se determinaron otras tres zonas de calidad de agua donde los valores rebasan poco o mucho los criterios de aceptabilidad. La primera se encuentra hacia el noreste, en los municipios de Tultitlán, Coacalco, Ecatepec y Tlalnepantla; los valores de contaminación encontrados oscilaron desde el grupo 2 hasta el 5. Una segunda zona quedó comprendida por las delegaciones de Cuajimalpa y Alvaro Obregón; los resultados fluctúan desde el grupo 2 hasta el grupo 4. La tercera zona se halla comprendida por la parte occidental del municipio de Nezahualcóyotl, incluyendo la zona oriente de Iztacalco e Iztapalapa; aquí, los valores oscilan desde el grupo 2 hasta el grupo 4.

Las posibles causas que pueden originar la contaminación de las zonas señaladas son: un tratamiento inadecuado de desinfección del agua abastecida, roturas en la red de distribución o falta de mantenimiento de la misma, interconexiones cruzadas (OMS 1972), etc.

El número de muestras que analizamos no permite llegar a conclusiones definitivas, es necesario intensificar el muestreo y verificar si en las zonas con contaminación bacteriológica

Figura No. 12. DISTRIBUCION DE LOS GRUPOS DE CALIDAD BACTERIOLOGICA ENCONTRADOS EN EL VALLE DE MEXICO



realmente siempre se presenta la misma. En caso de que así ocurra, entonces deberían de tomarse las medidas correctivas.

Algunas muestras cuyos resultados no concuerdan con los obtenidos en la zona donde se colectaron se explicarían por una contaminación *in situ* (Delegación Gustavo A. Madero), o bien por alguna fuente de contaminación muy local (muestra 41, delegación Benito Juárez).

En los lugares donde se encuentran valores altos de algunos parámetros, como sólidos suspendidos y valor al permanganato, se deben tomar mayores precauciones. Ello se debe a que a pesar que los indicadores biológicos se encuentren ausentes, cuando los niveles de cloro residual descienden o se combina el cloro presente por el tratamiento de desinfección- completamente con materia oxidable, bacterias atrapadas en los sólidos suspendidos tienen la posibilidad de sobrevivir y reproducirse (EPA 1986), más aún cuando la materia orgánica (analizada por el valor al permanganato) proporciona los nutrientes suficientes para su desarrollo (Catalán *op.cit.*). Los sitios donde los muestreos tuvieron altos valores de sólidos suspendidos (>4mg/l) fueron: Naucalpan, Iztacalco, Iztapalapa, Benito Juárez, Tlalnepantla y Cuajimalpa (siendo muy altos en Contadero, Cuajimalpa con 161 mg/l). Muestras con valores superiores a 3mg/l de D.Q.O.p se colectaron en Iztacalco, Iztapalapa, Miguel Hidalgo, Alvaro Obregón, Benito Juárez, Coyoacán y Cuajimalpa (51 mg/l en una muestra de esta delegación).

En las zonas con contaminación bacteriana sería conveniente que se intensificara el muestreo en espacio y tiempo y se comprobaran los niveles de contaminación; con base en los resultados, las autoridades correspondientes deberían de aplicar los tratamientos convenientes a fin adecuar el agua para consumo humano. Las mismas recomendaciones son válidas para los lugares donde se encontraron valores altos de sólidos suspendidos o valor al permanganato, por las razones antes expuestas.

6.2 ANALISIS DE LOS RESULTADOS EN CISTERNAS, TINACOS, LLAVES DE COCINA Y FILTROS.

Los datos bacteriológicos obtenidos de cisternas, tinacos, llaves de cocina y filtros se agruparon de tal forma que cada grupo esté definido por los valores permisibles asignados para diferentes usos de agua (Cuadro 6 y 7), de la misma manera como se agruparon los datos bacteriológicos de las llaves de entrada (Cuadro 8).

El número total de muestras para cada grupo se encuentran en el Cuadro 9. Los datos se agruparon a manera de tablas de distribución, quedando los grupos ordenados de menor a mayor grado de contaminación (grupo 1 al 5).

De 59 muestras colectadas en llaves de entrada, 30 de ellas (37%) sobrepasan el criterio de agua potable o "ligeramente contaminada".

De las 31 cisternas muestreadas, 21 de ellas (68%) sobrepasan el criterio de agua potable o "ligeramente contaminada", es decir, en la mayoría de ellas el agua no es apropiada para el consumo humano; en 19 de ellas (61%) la contaminación se produjo por inadecuada manipulación del agua y no porque llegue tan contaminada de la red de distribución.

En los tinacos, de un total de 46 muestras tomadas, 26 de ellas (57%) tuvieron calidades de agua diferentes a potable o "ligeramente contaminada"; en 19 de ellas (41%) el grado de contaminación aumentó en comparación con el de la llave de entrada.

En las llaves de cocina o baño, de 62 muestras colectadas, 40 de ellas (65%) rebasaron la calidad óptima y aceptable (Grupos 1 y 1') para consumo humano y en 30 muestras (48%) la contaminación aumentó con respecto a la de la red de distribución.

De 7 filtros muestreados, en 5 de ellos la calidad del agua obtenida fue potable o "ligeramente contaminada" y en 2 de ellos se obtuvo un agua apta para "uso recreativo" con contacto corporal (<200 col. de coliformes fecales). Sin embargo, es importante aclarar que el agua que los 2 filtros recibieron durante el muestreo estuvo más contaminada y se observó una disminución de la contaminación gracias a ellos.

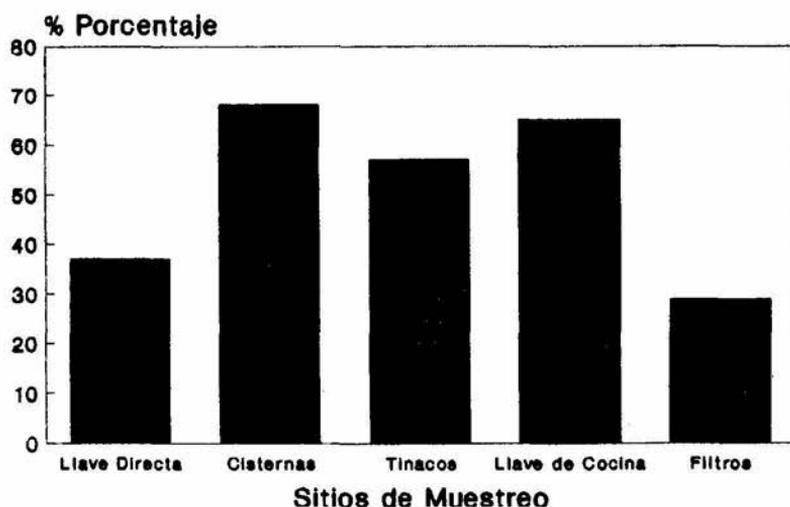
En la Gráfica 11 se encuentra representado el porcentaje de muestras que rebasaron la calidad de "aceptable" en las llaves directas, tinacos, cisternas, llaves de cocina y filtros. Los porcentajes señalados indican que en las muestras de tinacos, cisternas y llaves de cocina frecuentemente se produce un aumento de contaminación con respecto a las llaves de entrada y que en el 65% de las llaves, el agua no es apta para consumo humano. Si consideramos que en las llaves de entrada, el 37% de las muestras no fueron aptas para consumo humano, entonces se puede apreciar que la contaminación bacteriológica aumentó en 27% en las llaves de la cocina y las razones pueden ser diversas:

El agua que llega de buena calidad por las llaves de entrada se puede contaminar dentro de la vivienda, ya sea porque ni

CUADRO 9. TABLA DE DISTRIBUCION DE LOS DATOS BACTERIOLÓGICOS DE LOS DIFERENTES SITIOS DE MUESTREO (CISTERNA, TINACO, LLAVES DE ENTRADA, FILTROS), ORDENADOS DE ACUERDO A LOS CRITERIOS DE CALIDAD INDICADOS EN EL CUADRO 8.

Sitios de muestreo	Grupos de Calidad Bacteriológica						Total de muestras
	1	1'	2	3	4	5	
Llaves de entrada	29	8	7	8	5	2	59
Cisternas	5	5	4	2	13	2	31
Tinacos	13	7	8	4	12	2	46
Llaves de cocina	11	11	10	14	14	2	62
Filtros	4	1	2				7

Gráfica 11. Porcentaje de muestras con calidad de agua "No aceptable"



cisterna ni tinaco están bien cerrados (se recomienda que lo estén tan herméticamente como sea posible), ya sea porque hay un problema de tuberías de la vivienda que permite la contaminación directa.

Todos los esfuerzos que se hagan por asegurar la potabilidad bacteriológica (la cloración, el uso de filtro, etc..) son vanos si no se contribuye con un aseo adecuado de todo el sistema de distribución doméstico. Los resultados obtenidos así lo demuestran.

Cuando se cuenta con filtro en la cocina -util para eliminar quistes y bacterias-, debe de lavarse a menudo (cada semana) para que el mismo no se convierta en fuente de contaminación.

Si no se dispone de filtro, el usuario tiene la opción de hervir el agua durante 10-15 minutos; de esta manera los organismos esporulados y no esporulados son destruidos (San Martín 1975). Para pequeñas cantidades de agua, se puede usar el yodo en solución al 2%, agregando al agua 2 gotas/l; o bien tintura de yodo corriente en cantidad de 5 a 10 gotas/l (San Martín op.cit.). Más usado es el hipoclorito de sodio o de calcio al 2%, en cantidad de 1 ó 2 gotas de la solución/l de agua. Si el agua es bastante clara, basta con una gota de la solución. Para preparar la solución de hipoclorito al 2% debe conocerse el contenido de cloro libre que tenga el hipoclorito (generalmente es de 25% de cloro activo) (San Martín op.cit.).

Desde el punto de vista fisicoquímico, los tinacos, cisternas y llaves de cocina no varían mucho con respecto a la llave de entrada, salvo en el pH, la temperatura, los sólidos suspendidos y el valor al permanganato (Cuadro 10). Los valores divergen más en las variables mencionadas por las condiciones encontradas en los diferentes sitios muestreados.

Por ejemplo, se observa un ligero aumento de pH en aquellas cisternas en que no hay mucho flujo de agua; o bien, hay una disminución de sólidos suspendidos en los sistemas intradomiciliarios porque los mismos se pueden sedimentar en las cisternas. La temperatura varió según la hora de muestreo y la época del año.

CUADRO 10. VALORES PROMEDIO, DESVIACION ESTANDAR, VALOR MINIMO Y VALOR MAXIMO OBTENIDOS DE LOS DIFERENTES PUNTOS DE MUESTREO DE LAS VIVIENDAS, INCLUYENDOSE EL PROMEDIO DE TODOS LOS DATOS.

PARAMETROS	TODOS LOS DATOS				LLAVES DE ENTRADA				CISTERNAS				TINACOS				LLAVES DE COCINA				UNIDADES
	PROM.	DESV ST	MIN	MAX	PROM	DESV ST	MIN	MAX	PROM	DESV ST	MIN	MAX	PROM	DESV ST	MIN	MAX	PROM	DESV ST	MIN	MAX	
TEMPERATURA	20	2.94	10	37	20	5	15	25	21	2.6	16	26	20	2.3	10	25	21	3.7	14	37	°c
pH	7.5	0.35	6.5	8.6	7.3	0.3	6.5	8.1	7.6	0.5	6.5	8.6	7.5	0.3	6.7	8.1	7.5	0.3	6.7	8.1	
ALCAL.TOT.	203	110	33	500	199	115	33	500	224	113	34	445	199	109	47	468	199	108	33	455	mg/l CaCO3
ALCAL.FENOF.	0.2	1.61	0	20	0	0	0	0	1	4.1	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	mg/l CaCO3
DUREZA TOT.	133	68	21	326	130	71	21	318	139	66	21	292	131	68	47	113	131	65	21	326	mg/l CaCO3
DUREZA Ca++	53	25	12		51	26	13	116	57	25	12	11	52	26	24	114	53	25	13	113	mg/l CaCO3
DUREZA Mg++	80	44	8	212	79	46	8	203	82	43	8	182	79	44	21	199	79	42	8	212	mg/l CaCO3
CO3=	125	70	20	411	0	0	0	0	0.6	2.4	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	mg/l
HCO3-	0.1	1	0	12	121	70	20	305	136	69	21	271	122	66	28	285	125	75	20	411	mg/l
OH-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	mg/l
Cl-	38	36	0	198	38	39	0	198	45	41	0	158	37	36	4	146	36	34	0	146	mg/l
SULFATOS	23	19	2	95	23	21	3	95	22	18	2	78	22	19	2	92	22	17	2	86	mg/l
CALCIO	21	10	5	47	21	10	5	47	23	10	5	44	21	10	10	46	21	10	5	45	mg/l
MAGNESIO	20	11	2	52	19	11	2	49	20	10	2	44	19	11	5	48	19	10	2	52	mg/l
Na+ y K+	27	32	0	169	28	34	0	169	34	37	0	150	27	32	0	154	25	30	0	149	mg/l
SILICATOS	60	20	21	119	59	19	26	115	64	21	29	119	61	21	23	118	60	19	21	115	mg/l
SOLIDOS TOT.	354	194	92	946	351	200	101	946	387	199	92	800	347	194	116	854	344	189	101	850	mg/l
SOLIDOS SUSP.	2	11	0	161	4	20	0	161	2	2.8	0	14	1	1.5	0	8	1	1.5	0	8	mg/l
SOLIDOS DIS.	0.36	0.20	0.09	0.95	0.4	0.2	0.1	0.95	0.4	0.2	0.1	0.8	0.4	0.2	0.1	0.9	0.4	0.2	0.1	0.95	g/l
K25	507	291	71	1392	494	302	71	1392	559	301	80	1200	496	290	144	1263	493	283	71	1238	µSiemens/cm
COL.TOTALES	576	838	0	>2000	251	601	0	>2000	1005	921	0	>2000	634	893	0	>2000	635	831	0	>2000	col/100ml
COL.FECALES	94	391	0	>2000	35	258	0	>2000	175	472	0	>2000	90	401	0	>2000	89	370	0	>2000	col/100ml
ESTR.FECALES	10	56	0	600	1	4.4	0	25	45	135	0	600	5	17.4	0	113	4	25	0	200	col/100ml
VALOR AL																					
PERMANGANATO	1.9	3.8	0	51.2	2.4	6.3	0	51	1.8	1.4	0.1	6.3	1.7	1.6	0	6.9	1.8	1.8	0	10	mg/l O2

5.3 CORRELACION ENTRE VARIABLES (TODOS LOS DATOS).

Un segundo análisis por Componentes Principales se efectuó con los datos de todas las muestras colectadas (209 en total), con el propósito de buscar correlaciones entre los parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos. De existir correlaciones, la interpretación de las relaciones entre los parámetros se simplifica.

Para la realización del ACP, primero se procedió a estructurar una matriz de correlación entre variables (Cuadro 11), en cuya elaboración se ocuparon los datos de todas las muestras obtenidas. Luego se extrajeron los valores y vectores propios de dicha matriz. Los vectores propios constituyen los componentes principales en sí; en ellos se resume la variabilidad existente en los datos originales.

Al revisar la matriz de correlación se pueden deducir algunas asociaciones:

Alcalinidades, durezas, bicarbonatos, calcio y magnesio se hallan fuertemente correlacionados positivamente (coeficiente de correlación, $r > 0.88$). Se correlacionan positivamente con sílice ($r = 0.67$ a 0.76) y con cloruros y sodio más potasio ($r = 0.78$ a 0.83). Las altas correlaciones entre alcalinidades, durezas, bicarbonatos, calcio y magnesio se explican porque los valores de bicarbonatos, calcio y magnesio se calculan a partir de la alcalinidad y durezas. Además, en la naturaleza los iones de bicarbonato tienden a estar unidos al calcio principalmente y al magnesio. La correlación entre los compuestos antes mencionados y el sílice se explica por el hecho de que este último contribuye a la reserva alcalina del agua, al igual que los bicarbonatos. La correlación entre los bicarbonatos, calcio y magnesio con los cloruros, sodio más potasio tiene su explicación en el grado de mineralización del agua. Cuando la concentración de algún ion aumenta en el medio acuoso, es probable que la concentración de los demás también aumente debido al hecho de un mayor tiempo de contacto entre agua y sustratos minerales, fenómeno más frecuente en aguas subterráneas.

Los cloruros y sodio más potasio se correlacionan fuerte y positivamente ($r = 0.91$). También se asocian con los sulfatos ($r = 0.76$). En la naturaleza los cloruros frecuentemente se encuentran asociados con el sodio, ya sea si se analizan desde el punto de vista mineral, fisiológico o en los sistemas acuáticos. El sodio y el potasio tienen relación entre sí porque son cationes monovalentes, que pertenecen al mismo grupo en la tabla periódica, compartiendo propiedades similares. La característica de monovalentes probablemente causa la mayor afinidad con el cloruro. La salinidad del agua de mar tiene una estrecha relación con la presencia de cloruros y sulfatos, hay, pues, una evidencia de afinidad entre los dos iones que explica la correlación encontrada.

Los sólidos totales, sólidos disueltos y K25 (asociados entre ellos) se correlacionan más estrechamente con los cloruros, sodio más potasio, bicarbonatos, calcio y magnesio ($r = 0.79$ a 0.98). La correlación encontrada es fácil de interpretar, porque los iones descritos son los más abundantes en aguas dulces. Como

Faltan páginas

N° 57

el agua distribuida en la Cd. de Mexico se clasifica dentro de tal categoría y los sólidos totales, sólidos disueltos y K25 (conductividad) miden los minerales totales del agua, entonces están midiendo las sales más abundantes de las muestras.

Los coliformes totales se correlacionan positivamente con los coliformes fecales ($r=0.51$), relación esperable puesto que las coliformes fecales se contabilizan dentro de las totales. No obstante, el valor relativamente bajo del coeficiente de correlación nos indica que existen factores que causan diferentes efectos en los grupos bacteriológicos mencionados, fenómeno que se explica por el diferente hábitat de ambos grupos, puesto que mientras los coliformes totales son saprófitos o habitan los intestinos de animales de sangre caliente, este último hábitat es característico de los coliformes fecales. La correlación encontrada confirma que una buena proporción de las coliformes totales fueron de origen fecal.

No existe prácticamente dependencia entre coliformes y estreptococos fecales ($r=0.39$).

Con respecto al análisis por componentes principales, se decidió trabajar con los primeros cuatro componentes principales -siguiendo el criterio de ondas propuesto por Pia (1986) - ya que en ellos se explica la mayor parte de la variabilidad total (89.8%, Cuadro 12).

El primer componente o vector propio -que explica el 51.5% de la variabilidad- se halla definido por los coliformes totales y fecales (Cuadro 13) y nos indica que estas determinaciones fueron las que más variabilidad tuvieron (Desde 0 hasta >2000 col/100ml, Cuadro 10, Promedio de todos los datos).

En el segundo componente -que explica el 22.9% de variabilidad- los parámetros que mayor peso tuvieron fueron los cloruros, sodio más potasio, sulfatos, alcalinidades, conductividad y sólidos totales (Cuadro 13). Después de los indicadores bacterianos, es el contenido de sales lo que más variación tuvo en las muestras analizadas (de 92 a 946 mg/l de sólidos totales, Cuadro 10, promedio de todos los datos).

En el tercer componente (que está explicando el 10.7% de la variabilidad), los coliformes fecales se separan de los coliformes totales (cuyo peso en el vector es negativo). Como ya se mencionó, los coliformes totales son saprófitos, o bien, habitan los intestinos de animales de sangre caliente, mientras que los coliformes fecales tienen como hábitat exclusivo este último lugar. Así, ambos grupos han desarrollado adaptaciones a las diferentes condiciones a que están sometidos (temperatura, tipo de nutrientes, presencia de oxígeno, etc.) y los factores medioambientales pueden provocar respuestas diferenciales que se reflejan en el componente.

En el cuarto componente (que explica el 4.6% de variabilidad) son los estreptococos fecales los que mayor peso tuvieron.

La Figura 13 muestra de modo general las relaciones de los parámetros si se toman en cuenta los dos primeros componentes principales.

En conclusión, los indicadores bacterianos fueron los que mayor variabilidad presentaron, seguidos por la concentración de

CUADRO 12. VALORES PROPIOS DEL ANALISIS POR COMPONENTES PRINCIPALES
 APLICADO A TODOS LOS DATOS

Numero de Componente	Porcentaje de Variación (%)	Porcentaje Acumulado (%)
1	51.52	51.52
2	22.92	74.44
3	10.73	85.17
4	4.60	89.77
5	3.19	92.97
6	2.43	95.39
7	1.33	96.73
8	1.20	97.92
9	1.06	98.98
10	0.41	99.39
11	0.25	99.64
12	0.14	99.79
13	0.08	99.87
14	0.07	99.94
15	0.04	99.97
16	0.01	99.98
17	0.01	99.99

CUADRO 13. VECTORES PROPIOS DEL ANALISIS POR COMPONENTES PRINCIPALES APLICADO A LAS VARIABLES.

VARIABLES	VECTORES PROPIOS			
	1	2	3	4
TEMPERATURA	-0.0014	0.0169	0.0010	-0.0065
pH	0.0511	0.0159	0.1064	-0.1684
ALC. TOTAL	0.0870	0.2099	-0.0041	-0.0802
DUREZA TOTAL	0.0709	0.1829	0.0063	-0.0707
DUREZA Ca ⁺⁺	0.0641	0.1511	0.0093	-0.0565
DUREZA Mg ⁺⁺	0.0745	0.2123	-0.0002	-0.0945
BICARBONATOS	0.0876	0.2117	-0.0064	-0.0826
CLORUROS	0.1478	0.3734	-0.0482	0.0751
SULFATOS	0.0910	0.2519	0.0369	0.0409
CALCIO	0.0632	0.1515	0.0090	-0.0560
MAGNESIO	0.0737	0.2120	0.0015	-0.0954
Na ⁺ y K ⁺	0.2363	0.5396	-0.0527	0.1710
SILICE	0.0396	0.0776	-0.0029	-0.0817
SOLIDOS TOT.	0.0864	0.1954	-0.0053	-0.0130
SOLIDOS SUSP.	0.0157	-0.0617	-0.0540	0.2933
SOLIDOS DIS.	0.0207	0.0439	-0.0013	-0.0002
CONDUCTIVIDAD	0.0905	0.2270	-0.0105	-0.0414
COL. TOTALES	0.8301	-0.3561	-0.4078	-0.1238
COL. FECALES	0.3702	-0.1192	0.8933	-0.1224
ESTR. FECALES	0.1671	-0.0426	0.1210	0.8615
V. PERMANGANATO	0.0089	-0.0557	-0.0036	0.1592

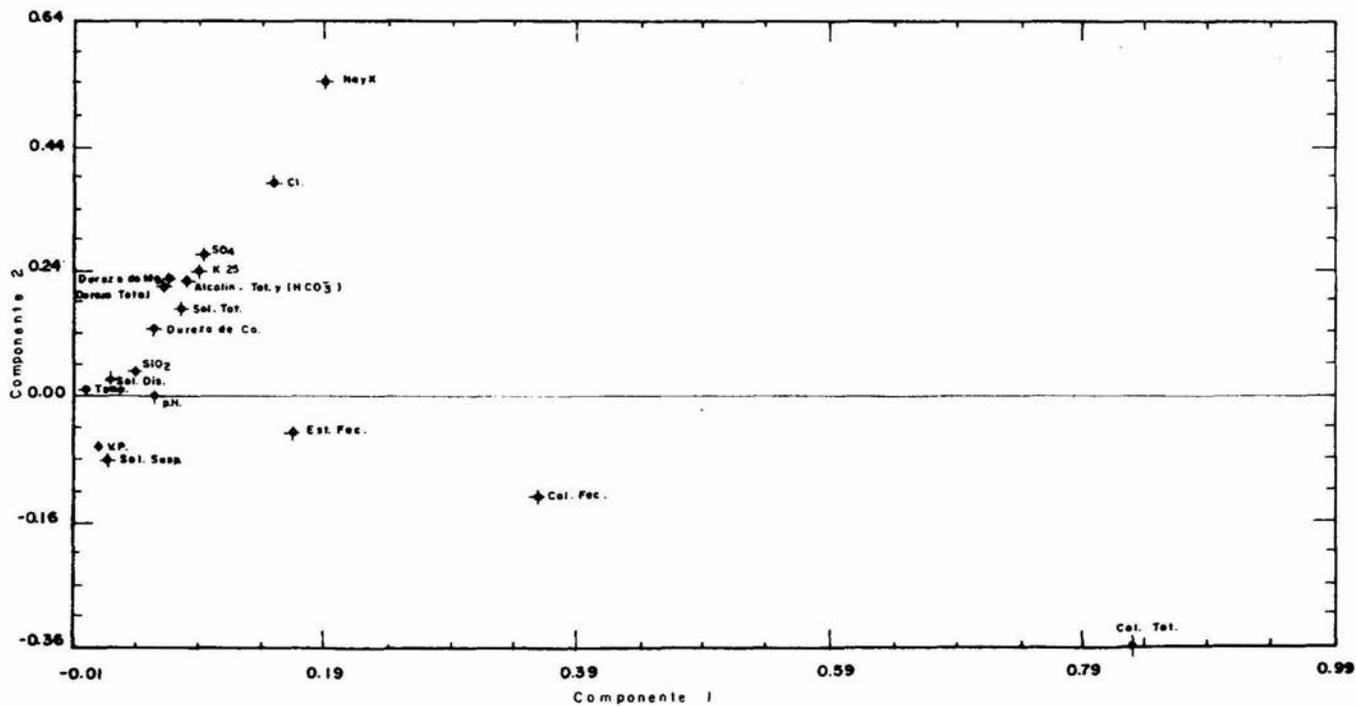


Figura 13. Ubicación de las variables respecto de los dos primeros C.P.

sales representadas por la conductividad y los sólidos totales.

Significativas y elevadas correlaciones entre algunos de los parámetros son ya conocidas sobradamente (bicarbonatos, calcio, magnesio y sílice; cloruros, sodio más potasio y sulfatos, etc.).

6.4 COMPARACION DE LOS RESULTADOS BACTERIOLÓGICOS OBTENIDOS POR LAS TÉCNICAS DE FILTRO DE MEMBRANA (FM) Y EL NÚMERO MÁS PROBABLE (NMP).

Como se mencionó en la metodología, la técnica del Número Más Probable se utilizó con el fin de comprobar los resultados obtenidos por la técnica de Filtro de Membrana (FM). Diluciones de 10, 1, 0.1 ml en tres tubos se sembraron en 55 muestras (del muestreo 30 al 45). Posteriormente se aplicó un volumen de 10 ml inoculado en 10 tubos, en 50 muestras (del muestreo 46 al 63).

Se calcularon los estadísticos promedio (\bar{x}) y varianzas (s) a partir de los resultados de los análisis de los indicadores biológicos. El cálculo se realizó tomando en cuenta todas las muestras (del muestreo 30 al 63) primeramente, y después con los resultados de los muestreos 46 al 63. Los estadísticos se calcularon por cada método utilizado y por cada grupo indicador. Los valores que se generaron se presentan en el Cuadro 14.

CUADRO 14. PROMEDIOS (\bar{x}) Y VARIANZAS (s) CALCULADOS A PARTIR DE LOS RESULTADOS GENERADOS POR LOS METODOS DE FILTRO DE MEMBRANA Y NUMERO MAS PROBABLE

INDICADORES BACTERIOLÓGICOS	METODO DE ANALISIS					
	F.M.			N.M.P.		
	\bar{x}	s	n	\bar{x}	s	n
COLIFORMES TOTALES (muestreo 30 al 63)	550.8	587,117	107	41.6	59,551	103
COLIFORMES FECALES (muestreo 30 al 63)	20.8	6,939	107	31.1	57,661	103
ESTREPTOCOCCOS FECALES (muestreo 30 al 63)	13.1	4,599	107	1.9	20	103
COLIFORMES TOTALES (muestreo 46 al 63)	543.7	582,708	50	15.9	769	46
COLIFORMES FECALES (muestreo 46 al 63)	25.4	9,146	50	5.2	155	46
ESTREPTOCOCCOS FECALES (muestreo 46 al 63)	5.9	288	50	1.7	7	46

Para comparar los dos métodos generalmente se utiliza una prueba t o un Análisis de Varianza; pero como las varianzas no son homogéneas, entonces no es posible aplicarla. Sin embargo, no sólo las varianzas sino también los promedios difieren mucho de un método a otro. Por lo tanto, sin aplicar un análisis podemos concluir que los dos métodos no son comparables, ni cuando se analizan todas las muestras, ni tampoco cuando se analizaron las muestras en las que se emplearon cinco tubos con tres diluciones (muestreo 46 al 63). Tales resultados posiblemente se debieron a un volumen no adecuado de muestra sembrado, pero considerando que en el método del Número Más Probable no se utilizan medios tan específicos como en el Método de Filtro de Membrana, entonces probablemente se propicia el desarrollo de crecimientos bacterianos que dan resultados negativos falsos (ver Anexo III).

De cualquier manera, como en el método de Filtro de Membrana se detectaron más bacterias indicadoras de contaminación, los conteos obtenidos por dicho método son los que se reportan en los resultados y los conteos por el Número Más Probable sólo se utilizaron para comparar los métodos.

En otros trabajos publicados, la comparación ha llevado a conclusiones opuestas: unas dicen que los métodos son comparables (Vidal *op.cit.*, CIECCA *op.cit.*), otras afirman que no es así (Maul 1985). Las ventajas que ofrece el Filtro de Membrana -rapidez, conteo de colonias bacterianas directo, medios más específicos, disminución de resultados positivos y negativos falsos- conducen a la elección del mismo cuando se analizan aguas potables.

7. CONCLUSIONES

- De los 6 conglomerados de calidad de agua formados del análisis de las muestras de llave de entrada, las mayores conductividades se localizaron al norte de la Ciudad de México, correspondiendo al conglomerado A. Es en esta zona donde pueden presentarse mayores problemas por el relativamente alto contenido de sales disueltas. El agua distribuida en el centro y sur de la ciudad probablemente no causa grandes problemas por su baja concentración de sales disueltas.

- En los conglomerados C y F, al oriente y sur-poniente de la Ciudad de México, la contaminación bacteriológica se detectó alta y riesgosa por ser de origen fecal. Los conglomerados A y B al norte de la ciudad presentaron contaminación, pero no fue fecal. Una gran región que comprendería el poniente, centro, sur, y algunas partes del norte de la ciudad presentó agua bacteriológicamente aceptable.

- Dado el número de muestras, en el aspecto bacteriológico no es posible generalizar o aplicar los resultados obtenidos por zonas; sin embargo, las regiones localizadas sirven como guía de las tendencias de calidad de agua y, además, demuestran la necesidad que hay de examinar exhaustiva y periódicamente la calidad sanitaria del agua de la Ciudad de México.

- El 63% de las muestras de llave directa fue aceptable en el aspecto bacteriológico, mientras que en los otros puntos muestreados (cisternas, tinacos, llaves de cocina, filtros) sólo el 35% de las muestras, como promedio, presentó una buena calidad. Lo anterior nos lleva a concluir que hay un porcentaje alto de contaminación originado dentro de las viviendas, por lo que es recomendable ampliar las medidas de higiene dentro de las casas.

- En contraposición a la conclusión anterior, los sistemas de conducción y almacenamiento del agua potable dentro de las viviendas no afectan la calidad fisicoquímica de la misma.

- Los métodos de Filtro de Membrana y el Número Más Probable arrojan resultados no comparables bajo las condiciones particulares de nuestro estudio.

3. RECOMENDACIONES

En la introducción y en lo que corresponde al Balance Hidrológico, se hizo ver que la situación en materia de agua no es nada alentadora para nuestra ciudad. Algunas acciones han sido sugeridas y algunas de ellas ya se han puesto en práctica. Sin embargo, conviene señalarlas para complementar la información proporcionada.

-Es conveniente impedir que el agua pluvial sea desalojada de la cuenca de modo tan masivo. Muchas represas se están construyendo con este fin, pero es importante elaborar un programa integral para aprovechar esta fuente y darle una continuidad (Fundación Ebert op.cit.).

-Es necesario tratar mayores volúmenes de agua residual doméstica e industrial con el propósito de disminuir la contaminación (Lara 1988), así como para reusarla principalmente en la industria. Al racionalizar la reglamentación, se incentiva a la planta productiva para que instalen pequeñas unidades de pretratamiento que permitan el reuso (Fundación Ebert op.cit.).

-Urge que se detenga el crecimiento de la ciudad. La estabilización del crecimiento demográfico y tecnológico conduce a una demanda constante del líquido con un aprovechamiento racional del mismo (Wetzel op.cit.). De esta manera, ya no se "traerían masivamente los ríos a las ciudades", eliminando los planes de conducción de agua de cuencas remotas, fomentando así la conservación de los recursos naturales nacionales. Al detener la urbanización, se conservarían los puntos de recarga del acuífero que aún funcionan y se cuidaría que no se contaminase el recurso en tales sitios.

-Se necesita concientizar a la población a través de campañas serias y prolongadas para que haga un uso más eficiente del agua, complementando la medida con un buen mantenimiento de la red de distribución, que evite fugas (Fundación Ebert op.cit., Hernández y Medina op.cit.), además de revisar las tarifas actuales, demasiado bajas en relación con el costo.

-Promover la investigación y el desarrollo de tecnología en el área. Un impulso en este sentido ofrece alternativas para dar solución al problema. 1) Un tratamiento adecuado de aguas residuales proporciona volúmenes del recurso que se podrían inyectar a los mantos acuíferos, recargándolos artificialmente, lo cual ayudaría a dar solución a los hundimientos que se registran en la ciudad (D.D.F. 1986); 2) Proporcionaría mejores bases a la solución de tratar agua para reusarla; 3) Se intentaría la desalinización del agua de mar tal vez en escala menor (Marcial op.cit.).

-Unificar criterios sobre las políticas que se deben seguir, para solucionar de forma integral problemas tales como la contaminación, la deforestación o el abatimiento de acuíferos, que afectan a toda la Cuenca del Valle de México (Perlo op.cit.).

Seguramente, al ir dando solución a cada uno de los puntos señalados, se contribuirá paulatinamente a la solución del problema de la calidad del agua, el cual es uno de los más relevantes en relación con el desarrollo nacional (Poder Ejecutivo Federal 1989).

3. BIBLIOGRAFIA

- Alónimo; 1991; DDF. Comunicación personal.
- American Society for Testing and Materials (A.S.T.M.): 1989; Annual Book of A.S.T.M. Standards, Part 31, Water; Amer.Soc.Test & Mat., Philadelphia. 1232 pp.
- A.S.T.M.: 1982; Manual de Aguas para Usos Industriales; Ed. Limusa, México, D.F., 457pp.
- Bassols,Angel; 1977; Recursos Naturales en México. Teoría, Conocimiento y Uso; México, Ed. Nuestro Tiempo. 345pp.
- Beckman; 1989; Instruction Manual for the Conductivity Bridge Model RC-20; Beckman Instruments, Inc. U.S.A. 37pp.
- Carta de Climas 1:1 000 000, Clave Ciudad de México; E.U.M., S.P.P. Coordinación General de los Servicios Nacionales de Estadística, Geografía e Informática, Dirección General de Geografía de Territorio Nacional (hoy I.N.E.G.I).
- Catalán, José Gabriel; 1978; Problemática de la Polución del Agua; Capitulo 2 en Técnicas de Defensa del Medio Ambiente. Vol. I, Ed.Labor, Barcelona. 721pp.
- C.I.E.C.C.A.; 1987; Diagnóstico de la Calidad del Agua para Consumo Humano; S.A.R.H., México,
- C.I.C.M.; 1983; Agua Potable y Alcantarillado; D.G.C.O.H., México. 87pp.
- Contreras D, Wilfrido; 1991; Problemática del agua en el Valle de Toluca; Ciudades 3(10): 3-9.
- D.D.F.: 1986; Actividades Geohidrológicas en el Valle de México para localizar sitios y estructuras para recarga artificial de Aguas Tratadas; Elaborado por Lesser y Asociados S.A. para la D.G.C.O.H. Tomo I y II.
- D.D.F.: 1988; Piezometría y Balance Geohidrológico del Valle de México; Elaborado por Lesser y Asociados S.A. para la D.G.C.O.H.
- D.D.F.; 1990; Memoria: Programa de Uso Eficiente del Agua; México, Secretaria General de Obras, DGCOH. 50 pp.
- Diario Oficial de la Federación; 1988; Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios; Tomo CDXII No.11, 1a.Ed. México. 26pp.

D.G.C.O.H.: 1982; Sistema Hidráulico del D.F.; Secretaría de Obras Y Servicios del D.D.F.

Dominguez,A.: 1986; Cutzamala reafirma su importancia; Agua Potable 1(25):17-18.

Echavarría Alfaro,F.J.,Rivas Arceo,E.; 1987; Control de la Contaminación en Vasos de Almacenamiento para Abastecimiento de Agua Potable. Agua Potable 1(29):19.

Environmental Protection Agency (EPA): 1980; Drinking Water & Health; Washington,U.S. Department of Commerce National. Technical Information Service. 415pp.

Environmental Protection Agency (EPA): 1986; Quality Criteria for Water; Office of Water Regulation and Standard. Washington. 300pp. Apendices A y B.

Estado de México: 1981; Sistema Hidráulico del Area Metropolitana de la Ciudad de México en el Estado de México. Reunión Internacional sobre Sistemas Hidráulicos en las Grandes Urbes: México, D.G.C.O.H.; 32pp.

Estrada,M.; Fios,J.; Lavall,A.; Miracle,M.R., Planas,M.D.; Riera,T.; Ros,J.D.; Vallespinos,F.; 1975; Prácticas de Ecología; Departamento de Ecología, Facultad de Biología, Universidad de Barcelona. 173pp.

Fundación Ebert; 1991; "Consume el D.F. el doble de agua que países industrializados": Excélsior jueves 28 de marzo de 1991; 5A y 18A pp.

Fuentes Aguilar,L.; 1972; Regiones Naturales del Estado de Puebla; Dto.de Geografía, U.N.A.M., México. 141pp.

García de Palacios Roji,C.; 1988; Ciudad de México. Area Metropolitana. alrededores y Códigos Postales; 55a.Ed., México, Guía Roji S.A. de C.V. 236pp.

García,E.: 1988; Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen; Offset Larios S.A.Ed., México, 217pp.

Garzón Zuñiga,M.; 1990; Caracterización Saprotrofica de los Lagos Cráter de la Región de los Llanos. Puebla; U.N.A.M., E.N.E.P. Iztacala.

Gersenowies,R.; 1986; Un método alternativo para la medición de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO); E.N.E.P. Iztacala, U.N.A.M. 32pp.

Greenberg,A.E.; R.R.Trussell; L.C.Clesceri y M.A.H.Franson; 1985; Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater; 16th Ed. APHA, AWWA, WPCT. Washington. 1268pp.

Hernández,A: Medina,J: 1989: México está al borde de la crisis en materia acuifera: El Financiero lunes 6 de febrero de 1989: 62pp.

Jeffers, John N.R.: 1978; An Introduction to System Analysis: with ecological application; Edward Arnold (Publishers) limited, Great Britain. 198pp.

Lara,Othón; 1988; Aguas residuales: La industria fuera de las normas; Gaceta UNAM No.2297. CU 16 de mayo 1988, 14-15pp.

Leal H., M.del P.: 1980: Comparación del Método Tradicional para la Determinación de Coliformes Fecales con los Métodos A-1 y EC Directo; Facultad de Química, U.N.A.M., México. 67pp.

Leet,L.Don; Judson,Sheldon; 1980; Fundamentos de Geología Física; Ed.Limusa, México,D.F. 450pp.

Mallevalle,J.; Chamboile,T; 1990; La Calidad del Agua; Mundo Científico 10(104), 768-778.

Marcial,Juan; 1989; El agua, futuro incierto en México; Gaceta UNAM No.2, 346, 5 de enero de 1989 CU, 18-19pp.

Maul,A.; Block,J.C. and El-Shaarawi A.H.; 1985; Statistical approach for comparison between methods of bacterial enumeration in drinking water; Journal of Microbiological Methods 4(1985):67-77.

Moreno Mejía,S.;Noreña Casado; 1986; El Agua en el Desarrollo de Zonas Urbanas; Agua Potable 1(25): 24-25,28.

O.M.S.; 1972; Normas Internacionales para el Agua Potable; O.M.S., Ginebra. 76pp.

O.P.S.; 1985; Guías para la Calidad del Agua Potable; Vol.I, Recomendaciones. Publicación Científica No. 481. Washington. 137pp.

Perló Cohen,M; 1991; La gestión hidráulica en el Valle de México; Ciudades 2(10):26-32.

Pipes,O.W; 1982; Bacterial Indicators of Pollution; Ed. C.R.C. Press., Florida; U.S.A. 174pp.

P.N.U.D.; 1981-1990; Agua y Saneamiento para la Salud; Hacia el año 2000; O.N.U., U.S.A. 17pp.

Pla,E.; 1986; Análisis Multivariado. Método de Componentes Principales; Secretaria General de la O.E.A., Washington D.C., 93pp.

Poder Ejecutivo Federal; 1989; Plan de Desarrollo Nacional 1989-1994; S.P.P., México. 143pp.

- Romero, A.H.: 1988: Agua como Bien Cultural; Agua Potable 3(42): 39.
- Rodier, J.: 1981: Análisis de Agua; Aguas Naturales, Aguas Residuales, Agua de Mar; Ed. Omega, Barcelona. 1050pp.
- SARH: 1980: Curso de Microbiología del Agua; DGPE, 2a.Ed., Vol.I. México. 237pp.
- SARH: 1984: Manual de Microbiología del Agua; CIECCA, México, 286pp.
- SEDUE: 1988: Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de aguas; Serie Normatividad Ecológica, No. 4.
- San Martín, H.: 1975: Salud y Enfermedad; La Prensa Médica Mexicana; 819pp.
- Sokal R., Robert; Rohlf, F. James: 1980: Introducción a la Bioestadística; Ed. Reverte, Barcelona. 362pp.
- Spiegel, M.R.: Ph.D.: 1982: Teoría y Problemas de Probabilidad y Estadística; McGraw-Hill. Serie de Compendios Schaum, México. 372pp.
- Sheppard, T.P.: 1981: Acondicionamiento de Aguas para la Industria; Limusa, México. 631pp.
- Vidal, C.E.: 1982: La Contaminación Bacteriológica de las Corrientes Subterráneas que abastecen a Cd. Juárez, Chihuahua; sus Implicaciones Sanitarias y solución. E.N.E.P. Iztacala, U.N.A.M., México. 93pp.
- Vila Sánchez, R.: 1987: Saneamiento Ambiental en México; Agua Potable 3(36):25.
- Vilaclara, G.: 1988: Parámetros para determinar el contenido de materia orgánica en Aguas Naturales y de Desecho Doméstico y Criterios de buen o mal funcionamiento de los Sistemas con base en estas determinaciones; Conferencia impartida el 17-08-88 en el Curso "Avances en el diseño de Lagunas de Estabilización", Facultad de Ingeniería, U.A.E.M., Toluca.
- Vilaclara, F.G.; Lugo, V.A.; Chávez, A.M.; 1990: Control de Calidad Analítica de Bajo Costo en Estudios de Calidad de Agua; pág. 25 en Memorias del VI Curso y Simposio Internacional sobre Biología de la Contaminación, efectuado del 9 al 13 de julio de 1990. E.N.E.P. Iztacala. U.N.A.M. 181pp.
- Wetzel Robert G.: 1981: Limnología; Ed. Omega, Barcelona. 679pp.

A N E X O I

DETERMINACION DE LA CONSTANTE DE LA CELDA VS1 DEL CONDUCTIMETRO BECKMAN.

Quando la constante de la celda del conductímetro es desconocida, o se conoce sólo aproximadamente, se puede determinar usando una solución de conductancia específica. Este mismo proceso debe de llevarse a cabo cada determinado periodo de tiempo, pues los sensores se van desplatinizando con el uso y la constante aumenta.

Una solución estándar comúnmente usada se prepara disolviendo 0.7440 g de KCl puro. Previamente, este reactivo se pone a secar en una estufa a 105°C y se deja enfriando en un desecador durante varias horas hasta que alcance la temperatura ambiente. La solución se prepara con agua bidestilada o desionizada y su conductancia específica a 25°C es de 1409 $\mu\text{s}/\text{cm}$.

El aparato (Beckman, Conductivity Bridge Modelo RC-20) da lecturas de conductividad mediante la multiplicación de los valores en carátula por la constante de la celda que se va a determinar.

Con la celda VS1 se mide la conductividad del agua bidestilada empleada en este análisis y a la lectura resultante en el aparato se le denomina β .

Con la misma celda se leen los valores del aparato para la solución estándar de KCl y a la lectura se le denomina α

Si x es la constante desconocida de la celda, tenemos que:

$$(\alpha - \beta) x = 1409$$

de donde

$$x = \frac{1409}{(\alpha - \beta)}$$

y de este modo tenemos el valor de la constante de la celda VS1.

RESULTADOS

FECHA: Jun/89

Lectura tomada a 1KHz

$$\beta = 1.794$$

$$\alpha = 1361$$

$$x = \frac{1409}{(\alpha - \beta)} = \frac{1409}{1359.206} = 1.036634$$

Lectura tomada a 85 Hz

$$\beta = 1.508$$
$$\alpha = 1331$$

$$x = \frac{1409}{(\alpha - \beta)} = \frac{1409}{1329.506} = 1.059797$$

FECHA: Sep/89

Lectura tomada a 1KHz

$$\beta = 2.526$$
$$\alpha = 1313$$

$$x = \frac{1409}{(\alpha - \beta)} = \frac{1409}{1310.475} = 1.075183$$

Lectura tomada a 85Hz

$$\beta = 2.212$$
$$\alpha = 1295$$

$$x = \frac{1409}{(\alpha - \beta)} = \frac{1409}{1292.788} = 1.089893$$

ANEXO II

TABLA DE COMPARACION DE LOS METODOS DE F.M. Y N.M.P.¹

	N.M.P.	F.M.
Tamaño de la Muestra	10ml/tubo	100ml/filtro
Medio de Cultivo	50-150ml/muestra	2ml/muestra
Interpretación de Resultados	Únicamente estimación Estadística	Cuenta directa
Conservación prolongada	No es posible	Cultivos preservables
Pruebas de Campo	No se practican	Equipos portátiles disponibles
Resultados Positivos Falsos	Sinergismo o formadores de esporas	Rara vez se presentan
Resultados Negativos Falsos	Debido a la presencia de inhibidores	Rara vez se presentan (se eliminan con enjuague)

¹ Millipore News. Información para directores, investigadores y técnicos. Publicación 5, página 2.