

10524  
9



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN**

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD BACTERIOLÓGICA DEL  
AGUA DE CONSUMO EN LA FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLÁN CAMPO-1 MEDIANTE EL  
MÉTODO DE FILTRACIÓN POR MEMBRANA**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**  
**QUÍMICA FARMACÉUTICA BIÓLOGA**  
**P R E S E N T A :**  
**MARÍA INÉS CARRILLO ESPEJEL**

**ASESORES: MVZ GERARDO CRUZ JIMÉNEZ  
MVZ JOSÉ ANTONIO LICEA VEGA**

**CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO**

**2003**

A



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

**PAGINACIÓN**

**DISCONTINUA**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN**  
**UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR**  
**DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES**

**ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS**

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLÁN



Departamento de  
Exámenes Profesionales

**DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO**  
**DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN**  
**P R E S E N T E**

**ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares**  
**Jefe del Departamento de Exámenes**  
**Profesionales de la FES Cuautitlán**

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la **TESIS**:

"Evaluación de la calidad bacteriológica del agua de  
consumo en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán  
campo 3 mediante el método de filtración por membrana"

que presenta la pasante: María Inés Carrillo Espejel  
con número de cuenta: 8108132-3 para obtener el título de :  
Química Farmacéutica Bióloga

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

**ATENTAMENTE**

**"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"**

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 03 de Marzo de 2003

**PRESIDENTE**

M.V.Z. Gerardo Cruz Jiménez

**VOCAL**

M.en C. Marina L. Morales Galicia

**SECRETARIO**

Dra. Susana E. Mendoza Elvira

**PRIMER SUPLENTE**

Q.F.B. Virginia Benitez Solís

**SEGUNDO SUPLENTE**

Q.F.B. Leticia Badillo Solís

B

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mis padres, Bardomiano y María Elena:*

*Por creer en mí, por sus enseñanzas y por todo el  
apoyo que siempre me han brindado.  
Su esfuerzo  
nunca ha sido en vano.*

*A mi esposo, Armando:*

*Por su cariño, confianza  
y ayuda desinteresada.*

*A la UNAM y FES Cuautitlán:*

*Alma mater por la que, como muchos,  
tuve la oportunidad de concluir  
una importante etapa de mi  
formación profesional.*

*A los maestros de mi carrera:*

*Especialmente a los sinodales  
de este trabajo por el tiempo  
que dedicaron y las  
sugerencias para mejorarlo.*

*Al Profesor Gerardo Cruz:*

*Por la ayuda incondicional que  
me brindó para concluir  
este trabajo. Mi reconocimiento como  
maestro y amigo.*

*C*

## **DEDICATORIAS**

*A mis compañeros y amigos de la FESC:*

*Por compartir los momentos felices y los difíciles. Nuestro crecimiento no podría haber sido un proceso individual.*

*A mis hermanos:*

*Su presencia, cariño y confianza han sido importantes.*

*A las nuevas generaciones (mis sobrinas):*

*Con la confianza de que alcanzarán las metas que se propongan para ser triunfadores.*

*A mis amigos del trabajo:*

*Deseando que los éxitos se celebren con tanta alegría como voluntad hubiera para lograrlos.*



## INDICE

	PAG.
ABREVIATURAS.....	II
INDICE DE TABLAS Y FIGURAS.....	IV
RESUMEN.....	1
ANTECEDENTES.....	3
1.0.-INTRODUCCION.....	5
1.1.-LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA F.E.S.C. COMO OBJETO DE ESTUDIO.....	5
1.2.-EL AGUA COMO SATISFACTOR.....	7
1.3.-PARAMETROS PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD HIGIENICA DEL AGUA.....	24
1.4.-NORMATIVIDAD NACIONAL E INTERNACIONAL SOBRE EL AGUA POTABLE.....	30
1.5.-METODOLOGIA Y TECNICAS USADAS PARA EVALUAR LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA POTABLE.....	36
1.6.-JUSTIFICACIÓN.....	45
2.0.-OBJETIVOS.....	46
3.0.-METODOLOGÍA.....	47
4.0.-RESULTADOS.....	53
5.0.-DISCUSIÓN.....	66
6.0.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
7.0.-APÉNDICES.....	73
8.0.-BIBLIOGRAFÍA.....	83

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

**OMS** : Organización Mundial de la Salud  
**APHA**: American Public Health Association  
**AWWA**: American Waters Works Association  
**m.o.**: microorganismo  
**OT** :ortotolidina  
**EPA**: Enviromental Proteccion Agency  
**ISO** : Organización Internacional de Estándares  
**NMP**: número más probable  
**UFC**: unidades formadoras de colonias  
**UTN**: unidades de turbiedad nefelométrica  
**NOM**: Norma Oficial Mexicana  
**SSA**: Secretaría de Salubridad y Asistencia  
**USPHS**: Asociación Estadounidense de Sanidad Pública  
**MVZ**: Médico Veterinario Zootecnista  
**FESC**: Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán  
**min** : minutos  
**ppm** : partes por millón  
**mg**: miligramos  
**ED**: electrodialisis  
**OI**: ósmosis inversa  
**NF**: nanofiltración  
**UF**: ultrafiltración  
**COT**: carbono orgánico total  
**MF**: microfiltración  
**OSE**: oasis de servicios escolares  
**OUA**: oasis de la unidad administrativa  
**ODCQ**: oasis de la división de ciencias químicas

OCIT: oasis del centro de investigaciones teóricas

OCQF: oasis de la coordinación de la carrera de Químico farmacobiólogo

OCQI: oasis de la coordinación de la carrera de Químico Industrial

OCIQ: oasis de la coordinación de la carrera de Ingeniero Químico

OC2CQ: oasis de la división de ciencias químicas

LCTC1: llave del comedor de trabajadores de campo 1

LKC1: llave del kiosko de campo 1

FC1: filtro purificador de campo 1

FCC1: comedor de campo 1

CC1: sistema de campo 1

OCIA: oasis de la coordinación de la carrera de Ingeniero en Alimentos

SSF: solución salina fisiológica

QP: químicamente puro

oC: grados centígrados

**A:** afluente

**B:** efluente

CCE: Comunidad Económica Europea

T: transmitancia

M: molar

**Bq:** berquillos

## ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

	Págs.
Cuadro 1: Población de la FESC.....	6
Cuadro 2: Procesos de purificación de agua.....	10
Esquema A: Proceso de potabilización del agua.....	11
Cuadro 3: Orígenes del agua y tratamiento recomendado para su utilización.....	19
Cuadro 4: Enfermedades relacionadas con el agua.....	21
Cuadro 5: Características deseables para el agua de consumo humano.....	32
Cuadro 6: Lineamientos sobre la calidad del agua para beber propuestos por la OMS.....	34
Esquema B: Corte esquemático de un aparato de filtración sobre membrana.....	39
Cuadro 7: Población abastecida y número de muestras de agua para su estudio.....	42
Cuadro 8: Volumen de muestra más adecuado según el origen del agua.....	43
Diagrama de flujo 1: Preparación de material para análisis microbiológico del agua de consumo.....	48
Diagrama de flujo 2: Preparación de material para la determinación espectrofotométrica de cloro residual.....	49
Diagrama de flujo 3: Técnica de análisis microbiológico de agua potable.....	51
Diagrama de flujo 4: Técnica de análisis microbiológico de agua purificada.....	52
Tabla 1: Número de muestras tomadas, localización, tipo de agua y fechas de muestreo.....	54
Gráfica 1: Tipos de agua analizada.....	56
Tabla 2: Determinación de cloro residual en muestras de agua de Campo 1.....	57

<b>Tabla 2: Determinación de cloro residual en muestras de agua de Campo 1.....</b>	<b>57</b>
<b>Gráfica 2: Cloro residual en las muestras de agua de oasis.....</b>	<b>58</b>
<b>Gráfica 3: Cloro residual en las muestras de agua potable.....</b>	<b>58</b>
<b>Gráfica 4: Comparación del cloro residual de los diferentes muestreos.....</b>	<b>59</b>
<b>Tabla 3: Resultados presuntivos para organismos coliformes del cultivo de membranas.....</b>	<b>60</b>
<b>Gráfica 5: Relación cloro residual y UFC en las muestras de agua de oasis.....</b>	<b>62</b>
<b>Gráfica 6: Relación cloro residual y UFC en las muestras de agua potable.....</b>	<b>62</b>
<b>Tabla 4: Resultados de las pruebas bioquímicas realizadas a siete colonias aisladas sobre membranas.....</b>	<b>63</b>
<b>Gráfica 7: Relación cloro residual promedio y UFC en las distintas muestras.....</b>	<b>64</b>
<b>Tabla 5: Propuesta para muestreo y análisis bacteriológico de agua en el Campo -1.....</b>	<b>65</b>

## **RESUMEN**

En la FESC como en otros campus de la UNAM es imprescindible el uso de un recurso natural como el agua. Considerando las diversas actividades que deben realizarse diariamente en este campus y la población con que cuenta actualmente además de los servicios que presta tanto a la comunidad interna como externa, se hace necesario contar con un programa de muestreo para evaluar la calidad de los cuerpos de agua de consumo, mismo que esté acorde con las disposiciones sobre salud pública y saneamiento y la regulación de las Normas Oficiales Mexicanas en materia de agua.

El agua potable para consumo humano debe estar libre de microorganismos, así como de agentes tóxicos, además de olor, color y turbiedad. Por lo anterior, en este trabajo se plantean los resultados obtenidos luego de realizar un programa de muestreo en distintos sitios de la FESC Campo 1 y aplicar procedimientos para evaluar la calidad bacteriológica del agua de consumo de acuerdo a la normatividad nacional.

El presente estudio se centró en la determinación de microorganismos coliformes y la determinación de cloro residual en muestras de agua purificada y agua potable de la red que abastece a Campo 1. Para el análisis, se utilizó el método de filtración por membrana y se procedió de acuerdo a las indicaciones de la norma oficial mexicana NOM –AA-102-1987.

Se reportan resultados respecto al número de m.o. que se desarrollaron después de sembrar cada muestra de agua procedente de cada sitio -15 en total-, así como los datos obtenidos respecto a la determinación del cloro residual. Se encontró que de las 53 muestras analizadas, en cuanto a la calidad bacteriológica todas cumplen con la especificación que indica la norma correspondiente, pues no hubo crecimiento de coliformes; no ocurrió así en cuanto a la cantidad de cloro residual ya que de las

muestras de agua potable analizadas ninguna cumple con las especificaciones y de las muestras de agua purificada el 89 % sí cumple con tal especificación.

Mediante la aplicación de la metodología elegida se logró la cuantificación de los m.o. y se obtuvieron índices presuntivos sobre su calidad. Después de hacer el estudio y de considerar las condiciones de la población de esta *Facultad* se propone un programa de muestreo para realizar el estudio bacteriológico del agua que se consume y de esta forma prevenir riesgos a la salud.

## **ANTECEDENTES**

A través del tiempo y conforme ha ido creciendo el interés por preservar la salud pública también han aumentado los trabajos de investigación que abordan aspectos relacionados con los diferentes tipos de agua así como la forma en que el hombre establece interrelaciones con tal recurso. Hasta ahora no es posible prescindir de este líquido para la sobrevivencia del hombre ni de su ambiente y por ello distintas instituciones y dependencias, en sectores diversos participan de una u otra forma en su explotación, estudios, purificación, suministro, normalización, etc.

En la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán en 1996 se publicaron tres trabajos de tesis que abordan aspectos relacionados con calidad de agua: 1) *Estudio sobre la influencia de la calidad del agua potable en la salud de la población del municipio de Tepotzotlán Estado de México, (51)* que se propuso determinar la calidad del agua potable analizándola física, química y microbiológicamente para conocer el posible efecto de su consumo sobre la salud de la población. Sus autoras reportaron que en cuanto a los aspectos organolépticos el agua no cumplió con los de olor y de sabor, pues prevalecían los del cloro. No se encontraron evidencias de contaminación con coliformes lo cual atribuyeron a la alta concentración de cloro determinado en las muestras de agua estudiada.

Respecto al agua tratada, en el trabajo 2) *Análisis bacteriológico a las aguas del interceptor poniente de la Ciudad de México, tratadas en sistemas SBR (52)*, se propuso la determinación de la calidad bacteriológica de las aguas residuales del citado interceptor utilizando como parámetros bacteriológicos la técnica del NMP y el recuento total de mesófilos aerobios para establecer el tipo de reuso más adecuado para el agua tratada. Sus autoras reportaron, entre otras cosas, que después del tratamiento se logró la remoción de más del 90% tanto para bacterias coliformes como para mesófilos aerobios, tales resultados permiten recomendarla para riego agrícola.

Sobre agua purificada, 3) *Análisis bacteriológico de agua embotellada comercial(45)* se refiere a un análisis bacteriológico hecho a 40 marcas de agua potable embotellada, determinando UFC/ml de m.o. mesófilos, número de conformes totales y fecales mediante la técnica del NMP, determinación de pseudomonas y ppm de cloro. Sus autores reportaron que el 57% de las muestras no cumple con las especificaciones en cuanto a m.o. mesofílicos, 10 % presentó coliformes totales y 25% contenían pseudomonas; el 100% de las muestras no cumplió con las especificaciones en cuanto a cloro.

Como se puede entender a partir de los antecedentes referidos, ninguno de dichos trabajos hace alusión al agua que se consume directamente en las instalaciones de la FES-C campo-1, por lo cual, por medio del presente trabajo se decidió abordar el análisis bacteriológico del agua potable utilizando el método de filtración por membrana.

## **1.0.-INTRODUCCIÓN**

### **1.1.- LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LA F.E.S.C. COMO OBJETO DE ESTUDIO**

#### **1.1.1.-Ubicación del Campus**

La Escuela Nacional de Estudios Profesionales Cuautitlán, inaugurada el 22 de abril de 1974, formó parte del programa de descentralización de la UNAM, y fue creada con el propósito de impulsar la interdisciplina, vincular la investigación y la docencia e integrar la teoría y la práctica. Este campus universitario está localizado en las inmediaciones del municipio de Cuautitlán Izcalli, estado de México.

Por su capacidad para ofrecer programas de posgrado se convirtió en Facultad. Mejor conocida como Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FES Cuautitlán). Actualmente se constituye como un polo de desarrollo académico y cultural de la Zona Norte Metropolitana.

#### **1.1.2.-Población de la Facultad y su distribución**

La población de la FES Cuautitlán está integrada por alumnos de licenciatura, de posgrado y de idiomas; personal docente y administrativo. Hasta el semestre 2002-I se reportaron los siguientes datos al respecto ( cuadro 1 ) (44).

Sectores de la población	Número
Población estudiantil a nivel licenciatura	9 836
Población estudiantil a nivel maestría	120
Población estudiantil a nivel doctorado	8
Población estudiantil atendida en el centro de idiomas (hasta el semestre 2001- II)	3 402
Personal académico	1 280
Trabajadores administrativos	218

**Cuadro 1: Población de la FES-C hasta el semestre 2002-1**

#### 1.1.3.-Servicios que ofrece la Facultad

Como institución universitaria, la FES Cuautitlán desarrolla actividades diversas y no menos importantes unas que otras, como son: docencia, investigación, extensión universitaria, diagnóstico clínico humano, diagnóstico clínico veterinario, elaboración de productos cárnicos y lácteos. Además brinda servicios académicos de apoyo en los que están incluidos la biblioteca, las salas de cómputo, el centro de idiomas, el centro de instrumentos.

#### 1.1.4.-Usos del agua potable

El agua es uno de los recursos naturales más importantes del mundo, de ella depende la vida. A diferencia de muchas otras materias primas, el agua no tiene sustituto en muchas aplicaciones y en el desarrollo de las comunidades, es necesario que su abastecimiento sea seguro para que la comunidad se establezca permanentemente (50).

Para desarrollar la gran mayoría de las actividades en la FES Cuautitlán se utiliza el agua potable, ésta se hace indispensable para el mantenimiento y funcionamiento de sanitarios, lavabos y regaderas, lavado de trastes en los comedores de los trabajadores, riego de áreas verdes servicios en los comedores y kioscos de Campo 1 y de Campo 4. Además esta agua se purifica mediante un proceso de filtración para llenar botellones que abastecen algunos oasis de la facultad.

Otros usos se extienden al lavado de material en laboratorios así como para el mantenimiento del bioterio y de áreas destinadas a la producción y desarrollo de otros animales (requeridos para las prácticas en la carrera de MVZ) .También se requiere el suministro de agua potable para ser utilizada en diversos procesos del taller de productos cárnicos.

## 1.2.-EL AGUA COMO SATISFACTOR

### 1.2.1.-Propiedades físicas y químicas del agua

El compuesto más abundante y a la vez el más importante en la superficie terrestre es el agua. Los antiguos apreciaron su importancia y su carácter representativo y por tanto la incluyeron, junto con el aire, la tierra y el fuego, en la primera clasificación de elementos o principios fundamentales de la constitución de los cuerpos.

El agua es un compuesto químico inorgánico, su composición incluye 88.9 % de oxígeno y 11.1 % de hidrógeno.

Ninguna muestra de agua es completamente pura, sin embargo la fácil obtención de agua y su purificación relativamente sencilla han hecho que se la escoja como norma de varias medidas.

Las cualidades del agua son determinadas por varias interacciones físicas y químicas, por ejemplo, los enlaces intermoleculares conocidos como *punte de hidrógeno* entre las moléculas de agua ejercen algún efecto en casi todas las propiedades físicas del agua líquida.

Físicamente, si es pura, se le reconoce como una sustancia incolora, insípida e inodora.

El agua presente en nuestro planeta, manifiesta una constante circulación (desde el océano a la atmósfera y desde la atmósfera hacia la tierra y los océanos) que es conocida como *ciclo hidrológico* (21,4,3).

En el llamado ciclo del agua se puede apreciar que por efecto de los cambios de presión y de temperatura, se manifiesta en tres estados de agregación ya conocidos. El agua es un medio de transporte que participa, catalizando multitud de reacciones químicas que ocurren en el medio ambiente. Lo anterior es una condición necesaria para la vida y por esto representa un recurso necesario para el hombre; además sigue siendo el disolvente más barato y de uso más cómodo, pero como cada disolvente, tiene propiedades peculiares (21).

Su gran cualidad como solvente permite que las aguas naturales siempre contengan materias extrañas en solución y en suspensión en proporciones muy variables. Estas sustancias pueden modificar considerablemente las características, efectos y usos del agua (3).

El hombre requiere el agua para variados usos dentro de los que cabe mencionar el doméstico; el industrial; el de servicios como restaurantes, almacenes y diversos establecimientos comerciales. Así mismo se usan cantidades considerables de agua para riegos de parcelas y áreas verdes.

En el Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales se definen los variados usos del agua. De éstos el uso urbano hace alusión a la utilización del agua nacional para centros de población o asentamientos humanos a través de la red municipal (43).

A propósito de este último uso, la demanda de agua varía de 189 a 1136 litros por persona y día, según la cuantía de la población, pues en general el consumo relativo de agua es mayor en las comunidades grandes que en las pequeñas.

Por ejemplo, en el Distrito Federal se distribuyen en promedio 35.4 m<sup>3</sup>/seg y de éste caudal, el 67% es destinado al uso habitacional, el 17% a las industrias y el 16% se emplea en los comercios y servicios. En esta ciudad la dotación promedio diaria para todos los usos es de 290 litros por habitante diariamente. La cantidad mínima de agua que requiere un ser humano para satisfacer principalmente sus necesidades de alimentación e higiene se denomina *dotación de confort*. Varía de acuerdo con el clima y los hábitos de consumo del usuario (40,41,42,21).

### 1.2.2.- Potabilización del agua

La mayoría de las grandes ciudades recurren a las aguas superficiales para satisfacer sus necesidades de agua, mientras que las pequeñas comunidades obtienen agua en cantidad suficiente de los manantiales o de los pozos profundos.

El agua natural por lo regular tiene una composición compleja y su calidad oscila grandemente de una fuente a otra, por ello, el tipo de tratamiento requerido para producir agua potable también varía. Dependiendo de la calidad del agua cruda, el grado de complejidad del tratamiento es diferente. Los procesos de tratamiento se clasifican en tres clases principales:

1. Procesos físicos, éstos dependen esencialmente de las propiedades físicas de las impurezas. Ejemplos de este tipo de procesos son: cribado, sedimentación, filtrado.

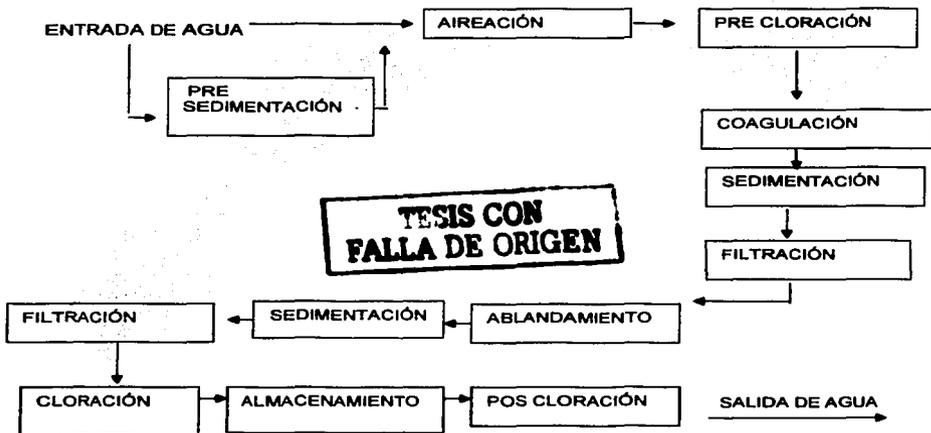
2. Procesos químicos, dependen de las propiedades químicas de una impureza o utilizan las propiedades químicas de reactivos agregados. Algunos ejemplos son: coagulación, precipitación, intercambio iónico, cloración.

3. Procesos biológicos, utilizan reacciones bioquímicas para quitar impurezas solubles o coloidales, normalmente sustancias orgánicas. Ejemplos: lodos activados.

Para que el agua de origen natural sea apta para el consumo humano debe pasar por conjunto de procesos llamado potabilización. Dicho tratamiento incluye la combinación de dos o más de los procesos ya citados según sea la naturaleza de las impurezas que contenga el agua y la calidad final del agua que se desee. En el cuadro 2 se resumen los procesos de purificación de agua más usados en la actualidad y en el diagrama A se muestra un tren de tratamiento para la potabilización, aunque cabe aclarar que puede haber variación en dicho tratamiento ( apéndice B ) según sea la naturaleza del agua a tratar y la calidad deseada.

Proceso	Propósito
<i>Tratamiento preliminar</i>	
Cribado	Remoción de desechos grandes que pueden obstruir o dañar los equipos de la planta de tratamiento.
Pretratamiento químico	Remoción eventual de algas y otros elementos que causan sabor, olor y color.
Presedimentación	Remoción de grava, arena, limo y otros materiales sedimentables.
Aforo	Medida del agua cruda por tratar.
<i>Tratamiento principal</i>	
Aireación	Remoción de olores y gases disueltos; adición de oxígeno para mejorar sabor.
Coagulación / floculación	Conversión de sólidos no sedimentables en sólidos sedimentables.
Sedimentación	Remoción de sólidos sedimentables.
Ablandamiento	Remoción de dureza.
Filtración	Remoción de sólidos finos, floculo en suspensión y la mayoría de los microorganismos.
Adsorción	Remoción de sustancias orgánicas y color.
Estabilización	Prevención de incrustaciones y corrosión.
Fluoruración	Prevención de caries dental.
Desinfección	Exterminio de organismos patógenos.

**Cuadro 2: Procesos de purificación de agua (49,4,29,7)**



Esquema A: Ejemplo de un proceso de potabilización de agua

La sedimentación produce considerable reducción de materia en suspensión, se emplea principalmente cuando el abastecimiento de agua es muy turbia, debido a la presencia de grava u otras partículas. Consiste en dejar el agua quieta o hacerla pasar lentamente por los estanques de sedimentación o decantadores; su finalidad es que por efecto gravitacional, las partículas que contenga el agua se depositen en el fondo de dichos tanques.

La aireación tiene por efecto eliminar los gases indeseables y ciertos olores que puede tener el agua; elimina también el hierro soluble transformándolo en óxido férrico que precipita. Una forma de conseguir la aireación es haciendo pasar el agua por surtidores que la lanzan en chorros finos, o hacerla escurrir en cascadas por medio de escalones. La aireación se puede hacer antes o después de la sedimentación.

La coagulación, también llamada floculación, tiene por objeto acelerar la decantación por medio de sustancias químicas coagulantes, generalmente se consigue mediante la adición de sulfato de aluminio (alúmina), que coagula las materias coloidales que no sedimentaron. Los estanques donde se realiza esta etapa tienen dispositivos especiales para mezclar el coagulante con el agua de manera uniforme. Mediante este proceso, bien controlado, se consigue una notable reducción de las materias en suspensión y de los microorganismos presentes en el agua y esto permite una mayor eficacia de la cloración u otra desinfección química. Por lo anterior se considera que la floculación nunca puede ser considerada como un procedimiento único de tratamiento del agua.

La filtración consiste en hacer pasar el agua a través de lechos especiales compuestos principalmente de arena. Cabe aclarar que fue uno de los primeros métodos de tratamiento de agua. La eficacia de la filtración lenta se estableció en Londres como consecuencia de los resultados logrados en la disminución de enfermedades de origen hídrico (cólera, disentería y fiebre tifoidea). Hay tres sistemas de filtración, por medio de: filtros lentos, filtros rápidos y filtros a presión. Mediante filtración rápida se logra la eliminación de un 40 a 45 % de nemátodos (29,4,39,38).

El ablandamiento se aplica en caso de que el agua a tratar sea dura, entonces se recurre al uso de cal sodada que elimina los sulfatos y los carbonatos, o con zeolitas que son silicatos complejos de sodio y aluminio o hierro.

La desinfección es la inactivación selectiva o destrucción de m.o. que causan enfermedades, es la fase casi final del tratamiento del agua potable y como se puede deducir, constituye una medida de seguridad. Se puede llevar a efecto utilizando agentes o procedimientos químicos o físicos como son cloro, bióxido de cloro, cloramidas, hipocloritos de sodio o de calcio; ozono y luz ultravioleta (1,6, 32,38).

El uso del yodo en la desinfección de las aguas se inició poco más tarde que el del cloro, en situaciones de emergencia. Este desinfectante es de menor reactividad química pues no reacciona con el amoníaco ni con otros compuestos orgánicos nitrogenados (29).

Entre los factores principales que ejercen influencia en la eficacia de la desinfección y, por consiguiente, en el tipo de proceso empleado en el tratamiento del agua, pueden citarse los siguientes:

1. Tipo y concentración de los organismos que deben destruirse
2. Tipo y concentración del desinfectante
3. Tiempo de contacto establecido
4. Características químicas y temperatura del agua que se va a tratar (36,19).

El método de desinfección más generalizado por las múltiples ventajas que ofrece (efectivo, económico, de fácil control y aplicación) es la cloración. Ésta se puede realizar utilizando el cloro o alguno de sus derivados como los hipocloritos de calcio o de sodio.

Las primeras aplicaciones sanitarias del cloro fueron realizadas sobre aguas negras. En Inglaterra se inició su aplicación práctica en aguas de suministro, como medida de emergencia en una epidemia de fiebre tifoidea en 1897. Por lo anterior, la cloración significó uno de los grandes avances en la desinfección de las aguas (29).

En los abastecimientos de agua potable de grandes asentamientos humanos se emplea el gas cloro mientras que para abastecimientos pequeños se pueden emplear los hipocloritos. También se emplea el cloro en estado líquido que se suministra en cilindros a presión.

El cloro generalmente se aplica después de filtrada el agua. Para obtener una desinfección adecuada, el cloro debe estar en contacto con ésta por lo menos 20 minutos. Cuando se añade cloro líquido al agua superficial ordinaria, limpia y no muy contaminada, en proporciones de 0.5 a 1 parte de cloro disponible por 3.78 millones de litros se destruyen las bacterias intestinales ordinarias, incluyendo patógenos.

La dosificación correcta se comprobará mediante pruebas bacteriológicas y determinación del cloro residual.

El cloro en el acondicionamiento del agua para consumo humano, además de la desinfección, se usa para eliminar olores y sabores, decolorar, ayudar a evitar la formación de algas, ayudar a la coagulación de materias orgánicas, ayudar a quitar hierro y manganeso.

El exceso de cloro y el sabor causados por la cloración pueden eliminarse mediante descloración con  $\text{SO}_2$  o con tratamiento de  $\text{KMnO}_4$  o carbón activado.

Para que la cloración sea efectiva, deben considerarse algunos factores que modifican la acción germicida del cloro, por ejemplo:

- Contenido y naturaleza de las sustancias orgánicas
- Temperatura
- pH

Tiempo de contacto (16,31,29,32,38).

### 1.2.3.- Características del agua potable

La calidad del agua que bebemos y que usamos para otros fines es muy importante en relación con la salud. La importancia sanitaria del agua aumenta más aún, si consideramos que puede actuar como factor negativo de nuestra salud al ser un medio por el que se pueden transmitir varias enfermedades (38).

Desde el punto de vista sanitario, las responsabilidades del ingeniero comienzan con el desarrollo de fuentes de agua para proveer un abastecimiento suficiente de agua calificada como potable: es decir, un agua que esté libre de materia suspendida visible, color excesivo, sabor y olor, materia disuelta desagradable, constituyentes agresivos y bacterias indicadoras de contaminación fecal. (50)

La Farmacopea Mexicana define al agua potable como aquella "destinada al consumo habitual como bebida".

En el Diario Oficial, con fecha 18 de enero de 1996 se publicó la *Norma Oficial Mexicana \_ NOM – 127- SSA1 – 1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano...* la cual en el punto 3.3. plantea que el agua para uso y consumo humano es " aquella que no contiene contaminantes objetables, ya sean químicos o agentes infecciosos y que no causa efectos nocivos al ser humano".

La calidad se determina de acuerdo con sus condiciones físicas, químicas y bacteriológicas; respecto a los límites permisibles de calidad del agua, la misma norma establece estas características bacteriológicas:

- Organismos coliformes totales: **2 NMP / 100 ml**  
**2UFC /100 ml**
- Organismos coliformes fecales: **No detectable NMP / 100 ml**  
**Cero UFC / 100 ml**

En cuanto a las características físicas y organolépticas, se deberán ajustar a lo siguiente:

- Color.- 20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto
- Olor y sabor.- Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultados de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico).
- Turbiedad.- 5 UTN o su equivalente en otro método.

Las condiciones físicas y químicas del agua tienen valor sanitario diferente. Las condiciones físicas se refieren principalmente al aspecto estético e impresionan mucho al consumidor, pero tienen escasa significación sanitaria.

El agua de bebida puede alterar la salud produciendo trastornos no microbianos cuando contiene en exceso ciertas sustancias químicas o cuando faltan otras en ella; por ejemplo las aguas ricas en sulfato de calcio y las aguas selenitosas producen trastornos gastrointestinales; las aguas calcáreas son laxantes y colagogas, las aguas alcalinas favorecen estados anémicos; las aciduladas por CO<sub>2</sub> pueden arrastrar plomo o cobre de las cañerías.

Por lo tanto se exige que el contenido de sustancias químicas esté dentro de los límites establecidos en la normatividad (38,20,22 ).

Como se puede observar en las distintas referencias, hay coincidencia en las características esenciales para catalogar a un agua como potable.

#### **1.2.4.-Contaminación del agua y riesgos relacionados**

La calidad del agua subterránea está en función de las características geológicas y edafológicas presentes en el suelo donde se alojan los acuíferos y de la incorporación de sustancias provenientes de lixiviados de suelos contaminados como producto de la actividad humana (41).

Los desechos líquidos y sólidos de una comunidad tienen un potencial considerable para contaminar el ambiente. En las civilizaciones primitivas el remedio para el problema de la contaminación era simplemente trasladar la comunidad a otro lugar; en las civilizaciones más avanzadas tal mudanza es impracticable y se deben tomar medidas para proteger y aumentar el abastecimiento de agua y para eliminar satisfactoriamente los materiales de desecho (50).

Una de las definiciones de contaminación dice que se trata de una acumulación de materia, energía o información en un sistema y que generalmente tiene efectos nocivos. En el caso del agua, los múltiples usos que tiene, la hacen más susceptible de contaminación pues la civilización humana interfiere cada vez más y más en los ciclos que conectan tierra, agua y atmósfera afectándose seriamente su calidad (21,37).

Los diferentes tipos de sustancias contaminantes que se encuentran en el agua, pueden ser agrupadas dentro de tres grandes categorías: agentes físicos, químicos y biológicos.

Los contaminantes físicos representan el tipo de contaminación más fácil de controlar mediante procesos y técnicas simples, debido a que no alteran las propiedades intrínsecas del agua.

De las diversas sustancias químicas presentes en el agua algunas pueden ser benéficas para la salud humana, vegetal o animal, otras en el agua pueden causar condiciones organolépticas desagradables. Su naturaleza puede ser orgánica ó inorgánica (fosfatos, nitritos, sulfatos, cianuros) y su efecto sobre los organismos puede ser tóxico (metales pesados, plaguicidas) o no (materia orgánica, sales). La presencia de metales en el agua subterránea puede ser causada por factores naturales, también es factible el origen de tipo humano por la contaminación con aguas residuales de tipo industrial o doméstico. Dentro de éstos se pueden encontrar al arsénico, cadmio, zinc, cromo, hierro, magnesio, manganeso, mercurio, plomo y selenio.

Algunos parámetros que se determinan en los análisis de las aguas están relacionados con su origen geológico, por ejemplo: conductividad eléctrica, alcalinidad, dureza, cloruros, fluoruros, calcio, sodio, potasio, radón 222 y partículas *a* y *b*. Otros parámetros que manifiestan la presencia de contaminación de origen humano son el nitrógeno en diferentes compuestos (nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal y proteico), bacterias, virus, parásitos y compuestos orgánicos sintéticos (41,37).

Generalmente a la contaminación biológica se le ha dado mayor importancia debido a que a través de la historia ha originado serios problemas sanitarios, ecológicos y económicos. Hasta la fecha se trata de controlar la contaminación de origen biológico (en la que están incluidas especies de bacterias, de virus, de protozoarios, de algas y de hongos) porque juega un importante papel en la transmisión de enfermedades entéricas, en las que la infección se origina por el tubo digestivo y los m.o. causantes se eliminan con las heces (37,32).

Las fuentes más frecuentes de este tipo de contaminación del agua son:

- Del suelo: *Pseudomonas spp.*, *Proteus spp.*, *Micrococcus spp.*, *Enterobacter cloacae*, *Clostridium ssp* y levaduras, entre otros.
- Del aparato intestinal humano o animal: *Clostridium perfringens*, *Shigella spp.*, *Salmonella spp.*, *Streptococcus faecalis*, *Vibrio cholerae*, *Escherichia coli*, *Yersinia enterocolitica*, *Legionella spp.*; *Entamoeba histolytica*.
- De las aguas residuales: *Entamoeba histolytica*, *Giardia lamblia*, *Balantidium coli*; *Ascaris lumbricoides*, *Ancylostoma duodenale*, *Trichuris trichura*, *Taenia solium*; *Enterovirus (a)*, *Virus de la hepatitis A*, *Adenovirus (b)*; además de las bacterias presentes en las heces (39).

La contaminación del agua con excretas humanas puede efectuarse no sólo indirectamente por medio del suelo sino también en forma directa, como consecuencia de las densidades de población humana y de los asentamientos urbanos y generalmente depende de que las aguas negras de una región se viertan en un curso de agua que abastece a otra.

Diversos factores ambientales influyen en el contenido de bacterias en el agua: entre los principales están la cantidad de materia orgánica que contenga y la temperatura, el tipo de sales y el pH (32).

El agua de bebida debe estar esencialmente libre de enterovirus humanos a fin de asegurar que el riesgo de transmisión de infecciones víricas sea insignificante.

En el cuadro 3 se citan algunos tratamientos recomendados para distintas fuentes a fin de obtener agua con un riesgo insignificante de presencia de virus (39).

<b>Tipos de fuente</b>	<b>Tratamiento recomendado</b>
<b>Aguas subterráneas</b>	
Pozos profundos protegidos; libres de contaminación fecal	Desinfección
Pozos superficiales no protegidos; contaminación fecal	Filtración y desinfección
<b>Aguas superficiales</b>	
Aguas embalsadas protegidas en tierras altas; libres de contaminación fecal	Desinfección
Aguas embalsadas o río en tierras altas no protegidos; contaminación fecal	Desinfección y filtración
Ríos no protegidos en tierras bajas; contaminación fecal	Desinfección previa o almacenamiento, filtración, desinfección
Cuenca hidrográfica no protegida: contaminación fecal considerable	Desinfección previa o almacenamiento, filtración, tratamiento suplementario y desinfección
Cuenca hidrográfica no protegida: contaminación fecal manifiesta	No se recomienda su utilización para el abastecimiento de agua potable

**Cuadro 3: Diversos orígenes de agua y tratamiento recomendado para su utilización**

**Nota:** para todas las fuentes, antes de la desinfección final no se debe superar una mediana de turbiedad de 1 unidad nefelométrica(UNT) ni 5 UNT en muestras aisladas.

La desinfección final debe producir una concentración residual de cloro en estado libre de  $> 0 = 0.5\text{mg/L}$  tras 30 min

Por lo menos de contacto con el agua a un  $\text{pH} < 8.0$  o debe ser un proceso de desinfección equivalente en cuanto al grado de inactivación de los enterovirus ( $>99.99\%$ ).

La filtración debe realizarse lentamente con arena o rápidamente y debe ir precedida por suficiente coagulación-floculación.

El tratamiento suplementario puede consistir en filtración lenta con arena, ozonación con adsorción por carbón granular activado o cualquier otro que permita obtener una reducción de los enterovirus  $>99\%$ .

El conocimiento de que el agua es capaz de transmitir enfermedades es muy antiguo. Hipócrates ya recomendaba la ingestión de agua hervida con objeto de evitar enfermedades, pero la intervención del agua en la transmisión de éstas fue puesta de manifiesto por Snow y Budd (29).

El primer avance importante de la higiene del medio ambiente se hizo al descubrir la intervención del agua en la transmisión de enfermedades como la fiebre tifoidea y el cólera.

Estas enfermedades gastrointestinales ocupan lugares preponderantes como causa de mortalidad infantil en regiones donde la pobreza y la desnutrición son comunes. Los patógenos oportunistas están presentes en el medio ambiente y no están catalogados como agentes en sentido propio aunque pueden causar enfermedades a personas cuyos mecanismos de defensa locales o generales están deprimidos, por ejemplo niños o ancianos, quienes han sufrido quemaduras o heridas extensas, los enfermos sometidos a un tratamiento inmunosupresor o los que padecen el síndrome de inmunodeficiencia adquirida. Así mismo, las enfermedades parasitarias crónicas causan debilidad conduciendo al individuo a un mayor riesgo de sufrir infección por otros m.o.

Las bacterias causantes de dichas enfermedades no son las únicas que pueden estar presentes, ya se han mencionado, además, protozoarios de importancia médica como la *Entamoeba histolytica* y virus como el de la hepatitis (14,32,39,36).

A continuación, en el cuadro 4, se citan las principales enfermedades relacionadas con el agua.

Enfermedades	Tipo de relación con el agua
Cólera Hepatitis Leptospirosis Paratifoidea Tularemia Tifoidea	Transmitida por el agua
Disentería amibiana Disentería bacilar Gastroenteritis	Por el agua o por el agua para el aseo personal
Ascariasis Conjuntivitis Lepra Sarna Sepsis y úlcera de la piel Tiña Tracoma	Por el agua para aseo
Esquistosomiasis Gusano de Guinea	Desarrolladas en el agua
Paludismo Oncocercosis Enfermedad del sueño Fiebre amarilla	Insectos vectores relacionados con el agua

**Cuadro 4: Enfermedades relacionadas con el agua (50)**

No es posible establecer valores guía para los protozoarios y helmintos ni para los organismos patógenos que viven en estado libre; sólo se puede decir que no deben estar presentes en el agua de bebida porque uno solo o un número muy reducido de ellos basta para producir infección en los seres humanos. Los métodos de análisis para detectar la presencia de protozoarios son relativamente costosos y requieren mucho tiempo, por lo que no puede recomendarse su utilización sistemática. No obstante, ya se están normalizando métodos para concentrar las fases de

transmisión de *Giardia* y *Cryptosporidium* procedentes de grandes volúmenes de agua.

Los parásitos más comunes transmitidos por el agua son los que poseen una alta infecciosidad o una gran resistencia fuera del organismo.

Aparte de los contaminantes biológicos del agua ya citados, se pueden agregar las algas. Estos organismos utilizan los productos finales de la descomposición bacteriana de la materia orgánica para producir oxígeno y mantener un sistema aerobio, en ausencia del insumo orgánico, el crecimiento de las algas depende de los minerales contenidos en el agua. En un agua dura las algas obtienen CO<sub>2</sub> de los bicarbonatos, con lo que disminuyen la dureza e incrementan el pH.

La presencia de las algas en el agua es importante debido a que algunas especies pueden causar severos problemas de sabor y olor.

En los lagos y depósitos utilizados para el abastecimiento de agua de bebida se desarrollan formaciones de *Cianobacterias*, que pueden producir tres tipos de toxinas según la especie: hepatoxinas (producidas por especies de *Microcystis*, *Oscillatoria*, *Anabaena* y *Nodularia*), neurotoxinas (producidas por especies de *Oscillatoria*, *Anabaena*, *Nostoc*, *Lyndospermum* y *Aphanizomenon*) y lipopolisacáridos. Algunas veces el ganado muere después de beber agua que contiene productos de algas (39,50).

#### 1.2.5.-Otros procesos para purificar el agua

En los últimos años se ha observado un incremento de la presión jurídica que regula el tratamiento tanto para aguas potables como para residuales; a la vez, también se ha incrementado la demanda de agua, lo cual ha implicado explotar otros recursos de menor calidad que los utilizados previamente, por ejemplo, la desalación para suministro de agua potable. Estos factores han propiciado el crecimiento del interés por nuevas tecnologías para tratar el agua, tal es el caso de los procesos de

membrana. Las membranas sintéticas se habían desarrollado desde 1960. Actualmente pueden clasificarse por el tipo de sustancias separadas y por las fuerzas directoras empleadas:

- Microfiltración (MF)
- Ósmosis inversa (OI)
- Electrodiálisis (ED)
- Nanofiltración (NF)
- Ultrafiltración (UF)

La MF y la OI son dos procesos de membrana que utilizan la presión para transportar agua a través de la membrana. Las membranas MF son capaces de separar sólo partículas, mientras que las OI retienen muchos solutos a medida que el agua permea a través de ellas. La ED también es capaz de separar solutos iónicos del agua, pero en este caso los iones son transportados a través de la membrana y la fuerza impulsora es un potencial eléctrico.

Al final de los años ochenta la NF despertó un considerable interés en la eliminación de la dureza del agua y más recientemente para la remoción de los subproductos de la desinfección.

El objeto de la UF no es resolver problemas como desalación, ablandamiento o remoción de microcontaminantes, sino reemplazar a la clarificación y desinfección fisicoquímica convencional por una unidad de operación que utilice membranas para filtrado más fino que el de los filtros de arena.

El rango potencial de aplicaciones para los procesos de membrana en el tratamiento del agua y de las aguas residuales es muy amplio, por ejemplo, las nuevas reglamentaciones sobre filtración, desinfección y subproductos de la desinfección han generado un elevado interés por el uso de las membranas para remover materias orgánicas que pueden ser precursoras de subproductos de desinfección y para la remoción de organismos patógenos (protozoos específicos, virus y bacterias).

Otro ejemplo importante de aplicación de los procesos de membrana es la desalación del agua de mar y del agua subterránea salina, principalmente en las regiones áridas de Oriente Medio. Cabe aclarar que la tecnología de destilación había dominado el escenario de la desalación hasta 1970.

La UF y la MF han demostrado ser tecnologías de pretratamiento efectivo para desalación.

En lugares donde las aguas subterráneas contienen elevadas concentraciones de iones divalentes como calcio y magnesio o elevadas concentraciones de materia orgánica natural (MON) se está utilizando la llamada *nanofiltración* o membranas suavizantes, pues son capaces de eliminar elevados porcentajes de MON y de iones a presiones considerablemente menores que las requeridas por la OI.

Entre las ventajas que tiene la tecnología de membranas se citan el hecho de que pueden reemplazar los procesos convencionales de clarificación y desinfección, mejor y más fiable calidad del agua, la no utilización de agentes químicos así como la automatización. Entre sus desventajas está el alto costo, no compatible con el precio relativamente bajo del agua potable.

Los últimos desarrollos en tecnología de membranas para tratamientos de agua potable incluyen tratamientos combinados de UF/adsorción con carbono activado pulverizado para asegurar la remoción de microcontaminantes orgánicos, UF/oxidación para eliminar hierro y manganeso y ED o combinación de UF/ biorreacción para remoción de nitratos.

### **1.3.- PARÁMETROS PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD HIGIÉNICA DEL AGUA**

En la mayor parte del mundo los parámetros microbiológicos son de los más importantes para determinar la calidad del agua para uso potable.

Los organismos que se encuentran en el agua son importantes para el control de la calidad de ésta, sin considerar:

- Si tienen su medio natural de vida en el agua o pertenecen a poblaciones transitorias introducidas por el hombre y sus obras
- Si su crecimiento lo propician los nutrientes presentes en el escurrimiento natural y en aguas residuales municipales o lo inhiben las sustancias tóxicas del ambiente
- Si son capaces de infectar al hombre y a los animales superiores o si poseen la capacidad de destruir residuos orgánicos y restituir al agua su pureza natural.

Las comparaciones de calidad se basan —entre otros aspectos- específicamente en un número de organismos cuantitativamente determinables y significativos.

Las normas de calidad microbiológica se basan esencialmente en la necesidad de asegurar la ausencia de bacterias indicadoras de contaminación por desechos humanos (50).

Con el fin de homologar los resultados analíticos se han definido gérmenes indicadores, y normalizado y descrito las técnicas a seguir en la investigación de los mismos, refiriendo siempre los resultados a un volumen determinado de muestra, generalmente 100 ml (29).

Como posibles organismos indicadores se han sugerido tres grupos de bacterias: el coliforme, el de bacterias anaerobias esporuladas y el de estreptococos fecales (21).

### 1.3.1.-Coliformes totales y coliformes fecales

En 1885, Escherich aisló ciertas bacterias de heces humanas encontrándolas en tal número que las denominó "organismos característicos de las heces humanas". Él les dio el nombre de *Bacterium coli comúne* y *Bacterium lactis aerogenes*.

En 1895 Migula renombró a la primera con el nombre de *Escherichia coli comune*. Estudios posteriores demostraron que las descritas eran, de hecho, un complejo bacteriano de diferentes especies y variedades. Este grupo no sólo está presente en las heces humanas sino que se encuentra en otros ambientes como son aguas negras, el suelo o aguas dulces superficiales (19).

La colimetría designa los métodos bacteriológicos que permiten investigar y contar los coliformes en una muestra de agua. Este examen bacteriológico es muy importante y el más frecuentemente realizado al agua con fines sanitarios. Se empleó con estos propósitos desde 1892 (19,15).

Existen dos tipos de bacterias coliformes principales: los coliformes totales y los coliformes fecales; la mayoría de los países los ha adoptado como representantes más genuinos y de mayor validez para determinar la contaminación de las aguas, aún cuando la investigación de otros m.o. proporcione datos que complementan el valor de este índice (29).

En el coliforme están incluidas cierto tipo de especies bacterianas pertenecientes a la familia de las *Enterobacteriaceae* y cuya característica clásica es la fermentación de la lactosa con producción de gas, además de que son bacterias en forma de bastoncillo, no esporógenas, Gram-negativas, aerobias y facultativamente anaerobias, oxidasa negativas, motilidad positiva con variantes negativas.

Se trata de un grupo bastante heterogéneo desde el punto de vista taxonómico, pero su interés se debe principalmente a que un gran número de coliformes vive en las materias fecales de los animales de sangre caliente ya que resisten a los agentes antisépticos, principalmente al cloro siendo esta resistencia parecida a la de las bacterias patógenas.

Comprende también especies que nunca o casi nunca se encuentran en las heces y que pueden multiplicarse en aguas potables de calidad relativamente buena, por ejemplo, *Serratia fonticola*, *Rahnella aquatilis* y *Buttiauxella agrestes* (39).

En algunas normas internacionales se registran definiciones no taxonómicas, pero sí prácticas para este grupo pues incluyen en la definición el período de producción de gas que suele comprender hasta 48 horas.

El hábitat natural de los coliformes fecales es el intestino del hombre y de otros animales de sangre caliente. *Escherichia coli* es el tipo de coliforme de hábitat fecal exclusivo.

La característica más sobresaliente de este tipo de coliformes es una mejor resistencia a las temperaturas de cultivo elevadas (44 – 45 °C), se reproduce en medios complejos, fermenta la lactosa y el manitol liberando ácido, gas, y produce indol a partir del triptófano. Algunas cepas pueden desarrollarse a 37 °C pero no a 44 °C y algunas no liberan gas. *E.coli* no produce oxidasa ni hidroliza la urea. Su identificación completa es un tanto complicada para utilizarla en forma sistemática (39).

Como no se dispone de un m.o. indicador ideal, en América y debido algunas ventajas como el tiempo de incubación y costos de análisis, se elige generalmente al coliforme como indicador microbiológico, pese a que tiene el inconveniente de ser muy similar a ciertas bacterias que crecen en el suelo. *E. coli* se eligió especialmente como indicador de contaminación fecal (21,37,19,15).

La técnica para la determinación de bacilos coliformes fue estandarizada por la APHA y la AWWA revisándose periódicamente. Incluye tres partes:

- Prueba presuntiva
- Prueba confirmativa
- Prueba completa

La microbiología estándar para agua pública y de consumo humano está basada en el número de coniformes totales, los cuales incluyen coliformes de fuentes diferentes a heces humanas y de animales de sangre caliente (por ejemplo *Escherichia sp* y m.o. de los géneros ya citados).

### 1.3.2.- Mesófilos

El recuento de bacterias mesofílicas aerobias en placa permite hacer una estimación del número total de bacterias presentes en una muestra después de haberlas dejado proliferar de 35 - 37° C durante 24 horas en las condiciones de nutrición y de humedad óptima. La prueba es útil en la vigilancia de la efectividad del proceso de potabilización, también sirve para verificar la limpieza de los tanques caseros de almacenamiento pero no sirve como criterio para evaluar la calidad sanitaria de un suministro.

La cuenta estándar en placa (SPC) es un método cuantitativo directo de aerobios y anaerobios facultativos en agua ambiental. Esta prueba es normalmente trabajada por suspensión de la muestra en un medio de cultivo específico (agar cuenta estándar), con el subsecuente crecimiento y conteo de las colonias por placa, pero también puede ser obtenida de las colonias de la superficie del crecimiento, por placa extendida o por filtración a través de membrana. Se practica este método con los siguientes propósitos:

- Determinar la densidad bacteriana en agua potable
- Control de calidad y estudio en proceso de tratamiento
- Determinar la eficiencia en un proceso de desinfección
- Determinar si hay un cambio en la calidad bacteriológica de aguas de estanques
- Indicador de la eficiencia de la cloración en sistemas de distribución
- Determinar la posible existencia de conexiones cruzadas y problemas internos de las líneas de distribución
- Monitorear los cambios de calidad en agua embotellada o agua utilizada en contingencias (15).

### 1.3.3.- *Streptococos* fecales

Bajo el término general de *estreptococos* fecales se entiende el conjunto de bacterias que poseen la sustancia antigénica característica del grupo D de Lancefield: *S. faecalis*, *S. faecium*, *S. durans*, *S. bovis* y *S. equinus*.

Taxonómicamente pertenecen al género *Streptococcus* variedad *enterococcus*. Este género comprende ahora a todos las bacterias que comparten determinadas propiedades bioquímicas y toleran bien las condiciones de desarrollo desfavorables como *E. Avium*, *E. Casseliffavus*, *E. cecorum*, *E. durans*, *E. faecalis*, *E. faecium*, *E. gallinarum*, *E. hiraе*, *E. maloduratus*, *E. mundtii* y *E. solitarus*.

Son m.o. que se caracterizan por ser Gram –positivos, de forma esférica u ovoide, de menos de 2  $\mu\text{m}$  de diámetro, se agrupan en pares o cadenas; son homofermentativos y catalasa negativos.

Crecen a 45 ° C y toleran temperaturas mayores a los 60°C. Son muy resistentes a las condiciones alcalinas. Todos dan reacción de hemólisis *alfa* o *gamma* en agar sangre con excepción de *S. faecalis* que produce hemólisis tipo *beta*.

Una de las características comunes a todas las especies de este grupo es una fuerte resistencia a los inhibidores bacterianos, por ejemplo la azida de sodio que inhibe el crecimiento de las enterobacterias (19,14).

Cuando están presentes indican una contaminación peligrosa y demuestran que ha ocurrido recientemente, ya que en aguas no contaminadas nunca se encuentran (15).

#### **1.3.4.- Microorganismos patógenos**

En este apartado están incluidos m.o. de especies como *Salmonella thyphi*, *Shigella spp.*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Vibrio cholerae*; y que son transmisores de enfermedades infecciosas para el hombre (fiebres tifoideas, cólera). Algunos son de hábitat fecal, y otros no necesariamente, pero también afectan al hombre no por ingestión, sino por vía cutánea o rinofaríngea; por ejemplo los piógenos como los estafilococos patógenos, que resisten a los tratamientos de cloro, pueden penetrar en las mucosas o las pseudomonas que causan infecciones locales.

La investigación de estas bacterias no se lleva a cabo en los exámenes de rutina del agua, solamente cuando existe una sospecha de casos patológicos o cuando se presentan epidemias.

La presencia de una bacteria patógena en agua se prueba por medio de su aislamiento e identificación. El riesgo a que se expone el consumidor depende de la utilización a que la destine (19).

#### **1.4.- NORMATIVIDAD NACIONAL E INTERNACIONAL SOBRE EL AGUA POTABLE**

El término calidad del agua se refiere al grado de conveniencia del agua para propósitos específicos. Los criterios y estándares para el agua varían ampliamente de una nación a otra. En 1978 la EPA publicó unos criterios recomendados para 52 de los más comunes constituyentes y características del agua que influyen sobre su calidad (21).

#### **1.4.1.- Estados Unidos Mexicanos**

**México fue el primer país latinoamericano que adoptó una ley en el ámbito del agua (en 1992) la cual establece conceptos recomendados por los organismos internacionales para la gestión del agua. Algunos aspectos relevantes de esta ley son:**

- El manejo del agua se establece por cuencas hidrográficas (y no por límites administrativos)**
- La aplicación del principio "el que usa o contamina, paga" (derechos de agua), lo que instituye un valor económico al agua.**
- La creación de comités de cuenca agrupando a usuarios y representantes de los diferentes niveles de gobierno (42).**

**La Ley de Agua Nacionales es reglamentaria del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales;... sus disposiciones son de orden público e interés social y tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable (43).**

**El 12 de enero de 1994 se publicó el Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales, el cual tuvo varios precedentes (apéndice D).**

**En México, además de la Ley de aguas nacionales (1992), se han publicado varias normas que abordan diferentes aspectos relacionados con el tema del agua (apéndice D).**

**Las especificaciones sanitarias que indica la NOM-041 – SSA1-1993 y las que establece la NOM -127-SSA1-1994 se citan en el cuadro 5 mostrado a continuación.**

<b>Organolépticas y físicas</b>	<b>Agua purificada envasada</b>	<b>Agua potable</b>
Olor	Inodoro	Agradable
Sabor	Inapido	Agradable
Color	Límite máximo: 15 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN)	5 unidades UTN
<b>Fisicoquímicas</b>		
pH	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5
Alcalinidad total como CaCO <sub>3</sub>	300.00 (mg/l) límite máximo	No se indica
Aluminio	0.20	0.20
Arsénico	0.05	0.05
Bario	0.70	0.70
Cadmio	0.005	0.005
Cianuros como CN-	0.05	0.07
Cloro residual libre	0.10	0.2 – 1.50
Cloruros como Cl-	250.00	250.00
Cobre	1.00	2.00
Cromo total	0.05	0.05
Dureza total como CaCO <sub>3</sub>	200.00	500.00
Fenoles	0.001	0.001
Hierro	0.30	0.30
Fluoruros	0.70	1.50
Manganeso	0.05	0.15
Mercurio	0.001	0.001
Nitratos	10.00	10.00
Nitritos	0.05	0.05
Nitrógeno amoniacal	0.50	0.50
Nitrógeno orgánico total	0.10	No se indica
Oxígeno consumido en medio ácido	2.00	No se indica
Ozono al envasar	0.40	No se indica
Plata	0.05	No se indica
Plomo	0.02	0.025
Sodio	No se indica	200.00
Sólidos disueltos totales	500.00	1000.00
Sulfatos como SO <sub>4</sub> =	250.00	400.00
Sustancias activas al azul de metileno	0.50	0.50
Trihalometanos totales	0.10	0.20
Zinc	3.0	5.0
<b>Microbiológicas</b>		
Microorganismos mesofílicos aerobios	100 UFC/ml	No se indica
Microorganismos coliformes totales	No detectable ( técnica de número más probable NMP)	2 NMP/100ml

Microorganismos coliformes totales	Cero UFC/ml ( método de filtración por membrana)	2 UFC /100ml
Microorganismos coliformes fecales	No se refiere como tal	No detectable NMP /100ml Cero UFC /100 ml
Vibrio cholerae	Negativo	No se refiere
<b>Plegucidas (microgramos/l)</b>		
Aldrin y dieldrin	0.03	0.03
Clordano (total de isómeros)	0.30	0.30
DDT	1.00	1.00
Hexaclorobenceno	0.01	0.01
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.03	0.03
Acido 2,4- diclorofenoisocético	30.00	50.00
<b>Características radiactivas(Bq/l)</b>		
Radiactividad alfa global	No se indica	0.1
Radiactividad beta global	No se indica	1.0

**Cuadro 5: Características deseables para el agua de consumo humano según las normas oficiales mexicanas NOM-041 – SSA1-1993 Y NOM -127-SSA1-1994**

#### 1.4.2.- Organización Mundial de la Salud.

En el intento de unificar criterios, un organismo internacional, la Organización Mundial de la Salud (OMS), emprendió la tarea de estudiar los aspectos relacionados con el condicionamiento exigido al agua, de manera que sirviera de guía a los países más desarrollados y facilitara una normatividad adecuada a otros con menos recursos técnicos y económicos. También recopiló estándares en el sentido de juntar sistemas y prácticas comunes de análisis de agua y los procedimientos que se sugieren. Por ejemplo se propone el control sanitario del agua en piscinas y balnearios basado en exámenes bacteriológicos (29,32).

Algunas de las aportaciones en esta materia y a lo largo de las últimas décadas del siglo XX son, por ejemplo, las Normas Internacionales Para el Agua Potable (NIPAP), que la OMS publicó en 1958 en inglés y en francés para que los países las adaptaran. Además se citaron en el Reglamento Sanitario Internacional, considerándolas aplicables a las decisiones sobre pureza y aceptabilidad de las aguas con que se abastecen puertos y aeropuertos.

A la fecha han aparecido otras ediciones de European Standars for Drinking Water, editadas por la OMS (5).

En 1982 en Ginebra, la OMS da a conocer *Guidelines for Drinking Water Quality*, algunos de los ejemplos de lineamientos para la calidad del agua se muestran en el cuadro 6. En estas recomendaciones se usa el término "nivel de acción" para indicar el nivel por encima del cual debe investigarse la presencia de cualquier constituyente con miras a tomar una acción de remedio efectiva (50).

Característica	Nivel de acción
Arsénico	0.05 mg/l
Cadmio	0.005 mg/l
Fluoruro	1.5 mg/l
Mercurio	0.001 mg/l
Nitrógeno de nitritos	1.0 mg/l
Dureza como carbonato de calcio	500 mg/l
Cloroforno	30 mg/l
Color	15 UUC
Turbiedad	5 UNT
Sabor	No desagradable al 90 % de los consumidores
pH	6.5 a 8.5
Coliformes	Ausentes en 100 ml

**Cuadro 6: Lineamientos sobre la calidad del agua para beber propuestos por la OMS (50)**

La Organización Internacional de Normalización (ISO) también ha publicado normas para la detección y el recuento en el agua de bacterias indicadoras fecales, en el apéndice E se citan algunas.

### 1.4.3- Estados Unidos de Norteamérica

Los principales estándares fueron primeramente propuestos para proteger la salud pública siendo establecidos por la Asociación Estadounidense de Sanidad Pública (USPHS).

El primer criterio de calidad del agua fue adoptado por el Departamento Treasury en octubre de 1914 y se basó en las recomendaciones desarrolladas por la USPHS, dichos estándares especificaban los límites de calidad bacteriológica. Revisiones subsecuentes incluyeron estándares físicos y químicos definiendo los análisis mínimos requeridos de acuerdo al tamaño de la población servida. Estos estándares fueron revisados y proporcionaron las bases para las Normas Europeas e Internacionales desarrolladas por la OMS.

Posteriormente la AWWA afinó esos estándares adoptando los criterios para la calidad del agua potable, los cuales son más estrictos que los de la USPHS. Algunos de los principales son:

- "El agua deberá ser: de un origen exento de contaminación; ó de un abastecimiento purificado debidamente por agentes naturales; ó protegido adecuadamente por tratamiento artificial."
- "El sistema de abastecimiento de agua deberá estar libre en todas sus partes de fallas antihigiénicas y de riesgos para la salud, y tales fallas y riesgos deberán eliminarse sistemáticamente con rapidez satisfactoria..."
- "...El examen bacteriológico de aguas considerado en esta sección deberá ser de las muestras recogidas en puntos representativos del sistema de distribución."
- "El número mínimo de muestras recogidas mensualmente en el sistema de distribución y examinadas... deberá ser el indicado en la tabla siguiente..."

En el apéndice G se citan los datos que se recomendaba tomar en cuenta al realizar el muestreo de agua para su estudio.

Con la formación de la EPA en 1970 se iniciaron programas específicos para el control de la contaminación del agua.

La APHA publica *Standard Methods for the Examination of Water and Sewage*. Algunas de sus ediciones se han publicado con la colaboración de la AWWA (3).

#### 1.4.4.-Francia

Según la reglamentación francesa sobre el agua potable, ésta no debe contener ni *Escherichia coli* en 100 ml, ni estreptococos fecales en 50 ml, ni *Clostridium* sulfitorreductores en 20 ml.

Las recomendaciones de la OMS han exigido criterios más severos para la calidad bacteriológica del agua: ausencia de *Salmonella* en una muestra de 5 l de agua y la ausencia de bacterias de origen fecal probada (coliformes fecales y estreptococos fecales) y de bacteriófagos fecales en una muestra de 100ml; no tolerar más que 5 a 10 coliformes no fecales y de 5 a 10 *Clostridium* sulfitorreductores por ejemplo en 100 ml y m.o. sin significación fecal como los mesófilos aerobios, de 10 a 20 en 1 ml. (19).

Lo citado en los puntos anteriores se complementa con la información presentada en el apéndice F, donde se comparan las normas para el agua de consumo entre EUA, la OMS, la CEE y Francia.

#### 1.5.- METODOLOGÍA Y TÉCNICAS USADAS PARA EVALUAR LA CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA POTABLE

La vigilancia de la calidad del agua potable tiene teóricamente dos componentes:

- el control permanente y sistemático de la calidad para confirmar que el tratamiento y la distribución respondan a los objetivos y reglamentaciones establecidos;
- actividades periódicas de vigilancia microbiológica y de salud pública de todo el sistema de abastecimiento de agua, de la fuente al consumidor.

Los exámenes bacteriológicos del agua se realizan principalmente para determinar la posible presencia de microorganismos patógenos; dichos exámenes pueden ser cualitativos o cuantitativos. Actualmente las pruebas dan relativa importancia al grupo de bacterias comúnmente conocidas como coliformes, las cuales están presentes en el tracto intestinal del hombre y de otros animales. Si estos m.o. están presentes en el agua en número suficiente, esto es tomado como evidencia de que otras bacterias patógenas pueden también estar presentes.

El análisis bacteriológico de las aguas permite:

- investigar las bacterias patógenas
- evaluar los riesgos de contaminación debidos a las bacterias patógenas
- controlar la eficacia de los tratamientos de las aguas (19).

Una prueba estándar usada para determinar la presencia del grupo coliforme es llamada *técnica de los tubos múltiples de fermentación o prueba presuntiva*.

#### 1.5.1.- Método de tubos múltiples de fermentación o del número más probable

Este método se divide en dos etapas; prueba presuntiva y prueba confirmativa.

La prueba de presunción de la presencia de bacterias del grupo coli se obtiene inoculando cantidades graduales (múltiplos y submúltiplos de 1, por ejemplo, 10, 1.0, 0.1 ml) del agua que se analiza, en tubos o frascos de caldo con lactosa que contienen una trampa de gas invertida.

Si se produce gas en los tubos en 24 ó 48 horas la prueba se considera positiva y debe presumirse la presencia del grupo coli. La ausencia de gas al final de 48 horas indicará una prueba negativa, es decir ausencia de coliformes y por lo tanto el análisis quedará concluido.

Para realizar la prueba confirmativa, se resiembran los tubos positivos de la prueba presuntiva en caldo lactosado bilis verde brillante y se incuban a 35°C. Se examinan los tubos a las 24 horas y / o las 48 horas. Los que presenten formación

de gas consideran positivos y esto constituye una prueba confirmativa de la presencia de conformes. Por el contrario, la ausencia de gas al final de las 48 horas indicará la ausencia de estos m.o.

Esta prueba se puede complementar si de los tubos positivos se siembra con un asa por estrías en cajas con medio de agar Endo, incubar a 35 oC y se leen resultados a las 24 horas. La presencia de colonias típicas (nucleadas y con brillo metálico) se considera como prueba positiva.

El procedimiento del NMP bien podría complementarse o realizarse de forma simultánea con el de filtración por membrana pues por este método las colonias típicas se pueden detectar directamente sobre la membrana luego de la incubación.

A continuación se describe este método.

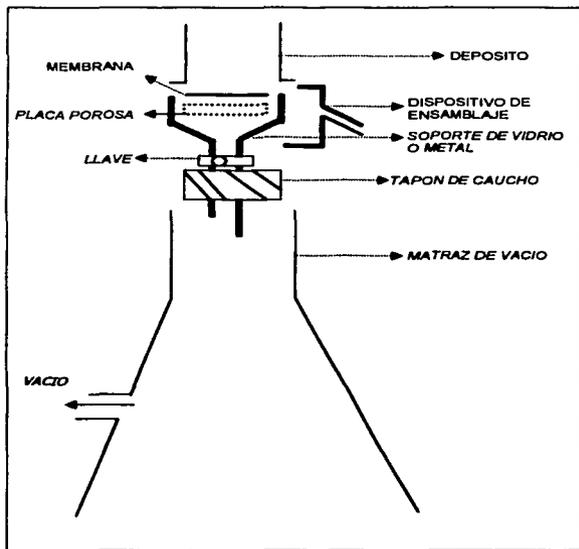
#### 1.5.2.- Método de filtración por membrana

Este método de contar bacterias en el agua fue introducido por Goetz en Alemania en 1947 y luego se estudió con mayor amplitud en Estados Unidos de Norteamérica. Consiste en hacer pasar una cantidad determinada de agua a través de una membrana estéril y un tamaño de poro de 0.45 micras, en cuya superficie quedan retenidos los microorganismos de tamaño mayor al poro, que es precisamente el caso de las bacterias que se van a determinar. En el esquema B se ilustran las partes que se utilizan para realizar este procedimiento. El equipo se utiliza consta de:

- un depósito cilíndrico o cónico, de vidrio o de acero inoxidable, con capacidad normalmente de 50 a 500 ml , éste contiene la muestra a analizar;
- un soporte de vidrio que forma una especie de cubeta cónica cuyo borde superior lleva en su cara interna una hendidura que contiene la placa porosa, de superficie circular plana (generalmente de 50 mm de diámetro) y que soporta una membrana filtrante del mismo diámetro. La parte inferior de esta cubeta queda

prolongada por un tubo hueco que permite la aspiración por vacío y la evacuación del líquido filtrado;

- un dispositivo a manera de pinza o abrazadera de presión que permite fijar fuertemente el depósito sobre la cara de la cubeta, evitando la fuga del líquido;
- un material de unión que soporta el conjunto anterior y lo conecta a la fuente de vacío; la versión más simple es un matraz Kitasato unido a la bomba de vacío provista de un manómetro.



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**Esquema B: Corte esquemático de un sistema para filtración sobre membrana.**

*Nota: Las partes que integran este aparato se pueden esterilizar en autoclave (19).*

La membrana es colocada posteriormente en una caja de Petri en la que se ha depositado un medio de cultivo (medio Endo, puede ser caldo o agar) e incubada a 35 -37 °C para coliformes y a 44 -45 °C para coliformes fecales durante 24 - 48 horas. Si después de este tiempo las colonias muestran características tales como mostrar un color rojo con brillo metálico (en agar Endo), esto se considera como evidencia positiva de la presencia del grupo coliforme.

El volumen de agua requerido para este método es de 100 ml para agua que se presume contiene menos de 100 coliformes por 100 ml.

Una de las ventajas de este método es la rapidez con la que se efectúa, pero es inadecuado en los casos siguientes:

- aguas de alta turbidez y pocos organismos coliformes
- aguas cuya proporción de organismos no coliformes es elevada (su crecimiento interfiere al de los coliformes)
- en agua con predominio de organismos no fermentadores de lactosa se produce una elevada proporción de resultados positivos falsos (29,32,19).

### 1.5.3.- Técnicas y tipos de muestreo

Se le llama muestreo a las actividades desarrolladas para obtener volúmenes de agua en un sitio determinado del sistema de abastecimiento, de tal manera que sean representativos, con el propósito de evaluar características físicas, químicas y/o bacteriológicas. En el cuadro 8 se citan los volúmenes recomendados para distintas muestras de agua (28).

Un plan de toma de muestras debe establecerse de modo que ocasione el menor número posible de operaciones de muestreo y de análisis. La obtención de muestras representativas y el mantenimiento de sus condiciones de origen son partes críticas de cualquier programa de monitoreo.

El muestreo puede realizarse de manera manual y de forma automática. Algunas ventajas del muestreo manual son: bajo costo, no requiere mantenimiento, se pueden notar situaciones inusuales, se pueden coleccionar muestras extras en ciertos tiempos, cuando es necesario.

Para cada programa de muestreo se deben considerar cuatro factores:

- número de muestras
- frecuencia de muestreo
- parámetros a medir
- locaciones de muestreo

Al respecto se puede plantear lo siguiente: la frecuencia de muestreo vendrá determinada por los recursos disponibles, pero se debe aclarar que cuanto más frecuentemente se examine el agua, más probable será que se detecte cualquier contaminación accidental.

Por otra parte, las posibilidades de detectar una contaminación que se produce periódicamente, más que al azar, aumentan si las muestras se toman en distintos momentos del día y en distintos días de la semana. Los estudios frecuentes por métodos sencillos resultan más útiles que los menos frecuentes basados en una o varias pruebas complejas.

En cuanto a la frecuencia del muestreo, ésta debe ser mayor cuando se abastece a gran número de consumidores ya que en ese caso, será mayor el número de personas expuestas. En el cuadro 7 se indican las frecuencias mínimas recomendadas de la toma de muestras del agua de bebida en el sistema de distribución (38).

<b>Población abastecida</b>	<b>Número de muestras mensuales</b>
Menos de 5 000	1 muestra
De 5 000 a 10 000	1 muestra por 5 000 usuarios
Más de 100 000	1 muestra por 10 000 usuarios, más 10 muestras adicionales

**Cuadro 7: Población abastecida y número de muestras de agua recomendadas para su estudio en el sistema de distribución.**

Los estudios frecuentes por métodos sencillos resultan más útiles que los menos frecuentes basados en una o varias pruebas complejas.

Es importante considerar las recomendaciones sobre el tipo de prueba, por que de esto depende el tipo de material y equipo para realizar el muestreo, por ejemplo para las pruebas bacteriológicas de agua potable o con cloro residual, deben esterilizarse frascos de muestreo en estufa a 170 ° C por un tiempo mínimo de 60 min o en autoclave a 120 ° C durante 15 min y al frasco debe adicionarse un preservador como tiosulfato de sodio al 3 %. Otros preservadores químicos comunes son ácido clorhídrico, hidróxido de sodio, ácido nítrico; y su finalidad es mantener la integridad de la muestra durante su transporte y antes del análisis en el laboratorio. En este caso se debe adicionar 0.1 ml por cada 125 ml de capacidad del frasco.

Para la prueba de cloro residual el material del frasco muestreador puede ser de vidrio o de plástico, pero se debe lavar perfectamente y enjuagarse con agua desionizada o destilada.

Sobre los puntos de muestreo, éstos deben ser representativos de los lugares más susceptibles de contaminación, por ejemplo: zonas de baja presión, zonas con antecedentes de problemas de contaminación, zonas con fugas frecuentes, zonas densamente pobladas, zonas periféricas del sistema más alejadas de las instalaciones de tratamiento (39,5,15,13).

<b>Fuente</b>	<b>Volumen de muestra filtrada (ml)</b>
Agua potable	100
Agua de albercas	100
Pozos	100
Lagos, tanques	100, 50, 10
Tomas de suministro	10, 1.0, 0.1
Playas de recreo	10, 1.0, 0.1
Ríos	1.0, 0.1, 0.001
Aguas tratadas	1.0, 0.1, 0.001
Aguas de desecho	0.1 A 0.0001

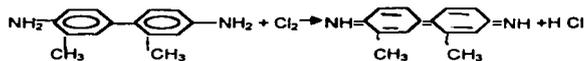
**Cuadro 8: Volumen de muestra más adecuado según el origen del agua**

#### 1.5.4.- Determinación del cloro residual

Se le llama cloro residual a la cantidad de cloro en ppm que queda en el agua después de cierto tiempo de contacto.

La importancia del análisis de cloro residual es comprobar que la desinfección del agua se realizó adecuadamente y que tiene la protección necesaria contra una contaminación futura.

Para la determinación del cloro residual se han propuesto varias técnicas, una de ellas implica el uso de un compuesto aromático llamado ortotolidina (OT), que en solución ácida se oxida con el cloro y otros oxidantes para producir un complejo amarillo cuya tonalidad es proporcional a la cantidad de cloro.(ver reacción )



*ortotolidina*

*holoquinona (amarilla)*

Este ensayo colorimétrico es especialmente adecuado para la determinación rutinaria del cloro residual cuando la concentración es de 0.01 mg/L, pero no superior a 10 mg/L, aproximadamente; además es sensible, relativamente rápido y sencillo.

## 1.6.-JUSTIFICACIÓN

Los múltiples usos que el hombre actualmente le da al agua potable en su vida cotidiana, así como el creciente aumento de población que de ella se abastece, plantea la necesidad de que este recurso visto ya como un servicio insustituible, sea de una calidad adecuada, de tal forma que su consumo no ponga en riesgo la salud del usuario.

Sabemos que a nivel mundial la preocupación por las consecuencias epidemiológicas relacionadas con el consumo del agua y las acciones encaminadas a garantizar su control sanitario se inició hace muchos años. En nuestro país, así mismo, existen diversas dependencias cuyo campo de acción incluye los monitoreos y los estudios microbiológicos del agua potable, así como de otros cuerpos naturales de agua. Tales acciones tienen su fundamento en las normas oficiales mexicanas en materia de salud ambiental.

Considerando el ejercicio de esta actividad, así como su importancia en el ámbito de la salud pública y ambiental planteo una propuesta para realizar la evaluación bacteriológica del agua de consumo en nuestra Facultad de acuerdo con un programa que permita analizar los resultados de las pruebas y que constituya una forma eficaz de prevención de enfermedades por consumo de agua.

## **2.0.-OBJETIVOS**

### **I.-GENERAL**

**Evaluar la calidad del agua de consumo humano de la FESC Campo-1 aplicando el método de filtración por membrana y con base en las especificaciones de las Normas Oficiales Mexicanas.**

### **II.-PARTICULARES**

**1.-Realizar muestreos piloto de agua en diferentes sitios de la FESC Campo-1 para obtener índices presuntivos sobre su calidad.**

**2.-Aplicar el método de filtración por membrana como parte inicial del análisis bacteriológico de las muestras de agua.**

**3.-Cuantificar los microorganismos hallados en las muestras de agua de consumo humano.**

**4.-Determinar el cloro residual en las muestras de agua a estudiar.**

**5.-Proponer un programa de muestreo para analizar bacteriológicamente el agua de consumo en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Campo-1.**

### **3.0.-METODOLOGÍA**

La parte experimental incluye los muestreos piloto en diferentes sitios de la FESC-campo 1, así como la determinación de cloro residual y el estudio microbiológico de las muestras. El procedimiento es el que se describe:

I.-Se seleccionaron 15 lugares del *Campus* para realizar el muestreo del agua: 9 correspondieron a sitios donde el agua se consume o usa para beber y otros 6 donde tiene otros usos como lavado de trastos, preparación de alimentos, depósito, etc.

II.-Se preparó el material para realizar los muestreos en cada sitio, para lo cual en cada frasco limpio y enjuagado con agua destilada se adicionaron 0.1ml de tiosulfato de sodio al 10% antes de esterilizarlo. También se le colocó una tira de papel estraza entre la boca esmerilada y la tapa. Luego de taparlo se cubrió con papel aluminio la parte superior de cada frasco, o sea, desde el cuello hasta el tapón.

III.-Para realizar el muestreo previamente se limpió la llave de cobre o del servidor (oasis) con alcohol al 70% y con gasa. Después se dejó correr un chorro de agua por espacio de 10 " antes de recolectar una muestra de, aproximadamente las tres cuartas partes de la capacidad del frasco.

En un tubo de 30 x 150 con tapón de rosca se recolectó una muestra de aproximadamente 20 ml de agua para realizar la determinación del cloro residual. Cada frasco y tubo con sendas muestras se etiquetó con una clave, así como la fecha y hora de muestreo.

Para transportar las muestras al laboratorio se utilizó un termo con bolsas congelantes.

IV.-Las cajas de Petri empleadas también se lavaron, enjuagaron, secaron y se colocaron en un portacajas para después ser esterilizadas por 15 min a 121 o C al igual que los frascos para muestreo.

Cuando se requirieron pipetas estériles, a éstas se les colocó en la boquilla una pequeña porción de algodón y se colocaron en un pipetero o bien se envolvieron con papel bond para ser esterilizadas 15 min a 121 o C.

En el diagrama No. 1 se citan de manera esquemática estos procedimientos.

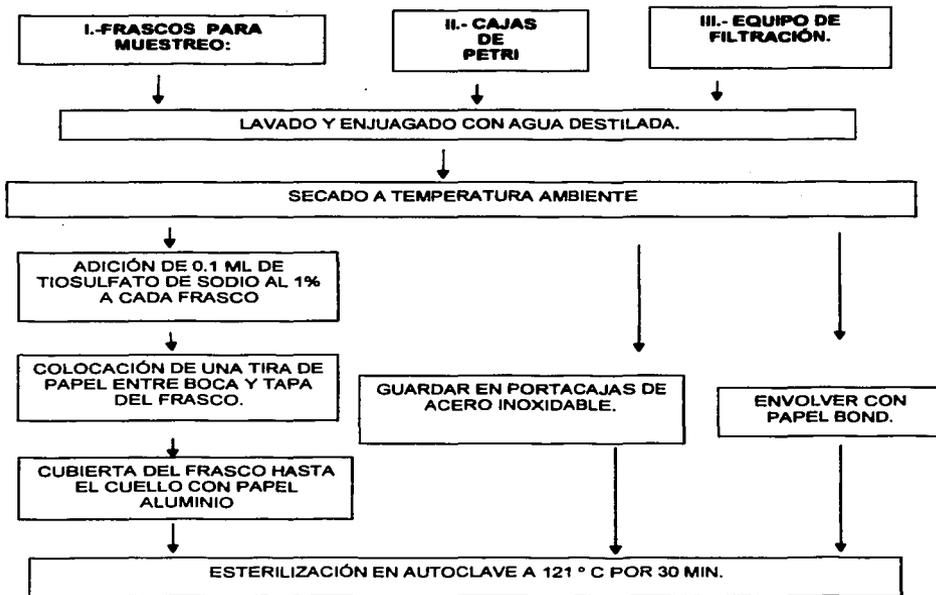
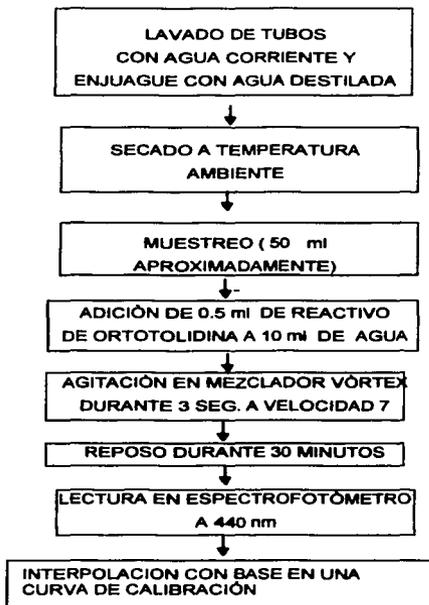


Diagrama de flujo 1: Preparación de material para análisis microbiológico del agua de consumo

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Para la determinación del cloro residual se procedió de acuerdo al procedimiento que se describe en el diagrama 2:



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Diagrama de flujo 2: Preparación de material para la determinación espectrofotométrica de cloro residual por el método de la ortotolidina.**

La lectura de cada tubo para obtener el % de transmitancia se realizó a una longitud de onda de 440 nm como lo indica la técnica. El blanco utilizado para calibrar lo constituyó la solución tampón 0.1 M. (ver apéndice A)

VI.- La SSF se preparó mezclando cloruro de sodio (Q.P.) con agua destilada a razón de 8.5 g/L de solución; se distribuyó esta solución en tubos con tapón de rosca en volúmenes de 9 y otros de 45 ml. Se esterilizaron y posteriormente se utilizaron para realizar las diluciones decimales del cultivo de *E.coli*.

VII.-Se prepararon otros medios de cultivo: caldo verde brillante, agar cuenta estándar, agar rojo violeta, agar Mac Conkey, agar Endo; y se esterilizaron todos de acuerdo a las especificaciones del fabricante.

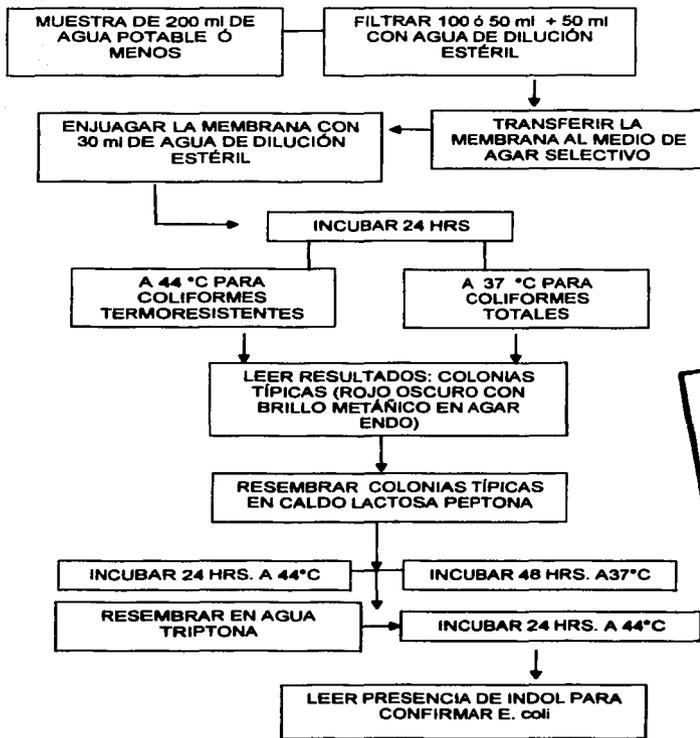
VIII.-Se realizó una prueba de crecimiento de los medios de cultivo, para su realización, se contó con una cepa ATCC- 8739 de *E.coli*, la cual se sembró en caldo lactosado (éste se preparó de acuerdo con las especificaciones del fabricante, a razón de 13 g/l de agua y se esterilizó a 121 o C

15 minutos). Después de 3 horas de incubación con agitación se realizaron diluciones de este cultivo utilizando SSF estéril. En los medios sólidos se sembró por estría a partir de las diluciones 10-3 y 10 -4 en el medio Mac Conkey; por vaciado se sembró 0.1ml de las diluciones 10-3 y 10-4 en los medios rojo violeta y agar cuenta estándar; por el método de filtración por membrana se hicieron pasar 50ml de diluciones 10-3 y 10-4 a través de las respectivas membranas para sembrar en el medio de agar Endo. En el medio líquido se sembraron 1ml de las diluciones 10-3 y 10-4 en tubos con caldo verde bilis que contenía campana de Durham. Todos se incubaron a 36 o C por 24 horas, con excepción del caldo verde bilis que se incubó por 48 horas. En cada caso se incluyó una caja o tubo testigo, respectivamente.

Se cuidó que el área de trabajo permaneciera en condiciones de esterilidad, así que antes de colocar el material,-medios de cultivo, cajas y otros recipientes- se limpió la superficie de la mesa

con solución de fenol al 10% y además se utilizaron los correspondientes mecheros a ambos lados del área.

IX.-Después de realizar el muestreo de los distintos tipos de agua se procedió de acuerdo a lo planteado en los siguientes diagramas: ( diagramas de flujo 3 y 4)



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**Diagrama de flujo 3: Técnica de análisis microbiológico de agua potable  
(NOM - AA - 102 - 1987)**

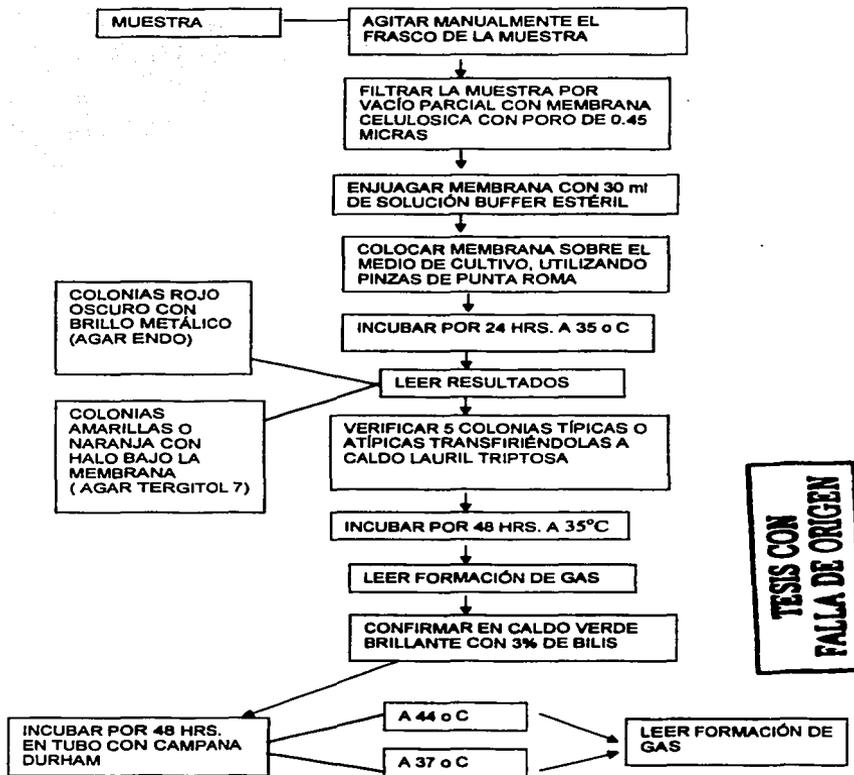


Diagrama de flujo 4: Técnica de análisis microbiológico para agua purificada (NOM -041-SSA1 - 1993)

## **4.0.-RESULTADOS**

### **4.1.-Muestreo.**

El agua utilizada en la FESC Campo-1 es potable y proviene de la red municipal, pero dentro de las instalaciones es almacenada en cisternas y también una mínima cantidad es sometida a un proceso de filtración para luego ser embotellada y abastecer algunos oasis. En sitios como el comedor, el comedor de los trabajadores y el kiosko el agua se utiliza tal como llega de la red por medio de la tubería. Se eligieron como sitios de estudio aquéllos en los que existe un depósito de agua para consumo. Al estudiar el agua para bebida o purificada se consideró en conjunto con la unidad de servicio (oasis) pues a través de ésta como se obtienen para ingerirla. Las muestras fueron simples y obtenidas en tres o cuatro períodos distintos.

En la tabla No. 1 se citan los 14 sitios de muestreo en Campo-1 junto con otros datos generales

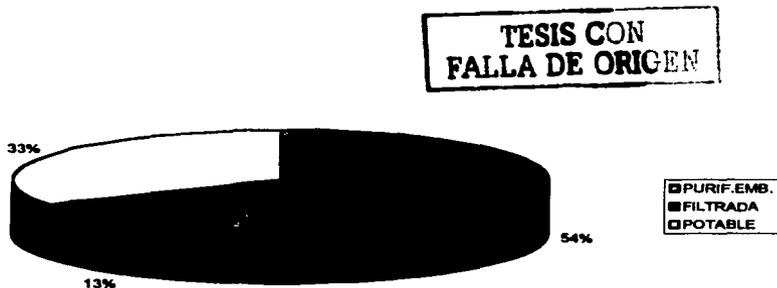
SITIO Y CLAVE	DEPÓSITO	TIPO DE AGUA	NÚMERO DE MUESTRAS	FECHAS DE MUESTREO
OFICINA DE SERVS. ESCOLARES (OSE)	OASIS	PURIFICADA ENVASADA	4	28 05 98 18 06 98 09 07 98 29 11 00
OFICINA DE LA UNIDAD ADMINISTRATIVA (OUA)	OASIS	PURIFICADA ENVASADA	3	28 05 98 18 06 98 25 06 98
OFICINA DE LA DIVISIÓN DE CIENCIAS Q.(ODCQ)	OASIS	PURIFICADA ENVASADA	3	04 06 98 25 06 98 09 07 98
OFICINA DEL CENTRO DE INVEST. TEÓRICAS (OCIT)	OASIS	PURIFICADA ENVASADA	3	04 06 98 03 09 98 11 09 98
OFICINA DE LA COORDINACIÓN DE Q.F.B. (OCQF)	OASIS	PURIFICADA ENVASADA	3	18 06 98 25 06 98 09 07 98
OFICINA DE LA COORDINACIÓN DE Q.I. (OCQI)	OASIS	PURIFICADA ENVASADA	3	04 06 98 03 09 98 11 09 98
OFICINA DE LA COORDINACIÓN DE I.Q. (OCIQ)	OASIS	PURIFICADA ENVASADA	4	04 06 98 18 06 98 01 07 98 29 11 00
OFICINA DE LA DIVISIÓN DE CIENCIAS Q.( CUB. 2) (OC2CQ)	GARRAFÓN	PURIFICADA ENVASADA	3	25 06 98 03 09 98 11 09 98
COMEDOR DE LOS TRABAJADORES (LCTC1)	LLAVE	POTABLE	4	28 05 98 18 06 98 02 07 98 29 11 00

COMEDOR CAMPO - 1 (LCC1)	DE	LLAVE	POTABLE	4	04 06 98 25 06 98 03 09 98 29 11 00
KIOSKO DE CAMPO - 1 (LKC1)		LLAVE	POTABLE	4	26 05 98 04 06 98 11 06 98 29 11 00
COMEDOR CAMPO - 1 (FCC1)	DE	LLAVE	POTABLE PURIFICADA POR FILTRACIÓN	3	04 06 98 25 06 98 03 09 98 11 06 98
CISTERNA DE CAMPO - 1 (CC1)		CISTERNA	POTABLE ALMACENADA	4	11 06 98 25 06 98 02 07 98 29 11 00
OFICINA DE LA COORDINACIÓN DE ING. EN ALIM. (OCIA)	DE	OASIS	PURIFICADA ENVASADA	4	04 06 98 03 09 98 11 09 98 29 11 00

**Tabla 1: Número de muestras tomadas, localización, tipo de agua y fechas de muestreo.**

La forma en que se realizó el muestreo en cuanto a condiciones generales como la cantidad de muestra, el tipo de recipiente, el uso de preservativo químico, etc. fue de acuerdo a las recomendaciones de las NOM así como de otros manuales consultados (11,13,15,20,25).

Las muestras de agua que se estudiaron fueron agrupadas en los siguientes tipos (sólo para fines de este trabajo):



**Gráfica 1: Tipos de agua analizada**

Como se puede observar en esta gráfica la mayoría de muestras corresponden al tipo de agua en oasis que se adquiere embotellada (en garrafones).

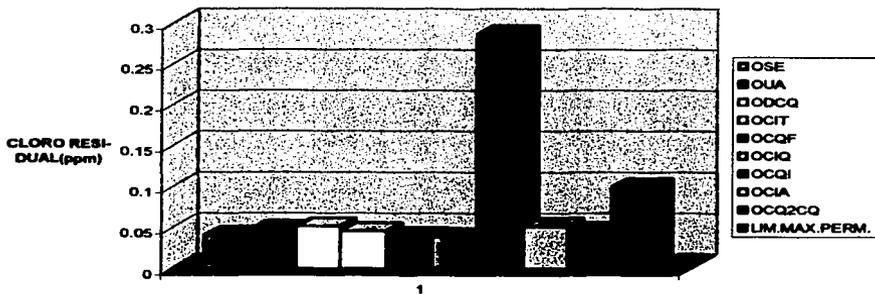
4.2.-La determinación de cloro residual en las muestras estudiadas también fue un parámetro importante para evaluar su calidad. En la tabla 2 se reportan resultados al respecto y como se puede observar, se encontró que el agua obtenida de los oasis presenta una concentración de cloro residual por abajo del límite máximo permitido (0.1 ppm), con excepción de un sitio en el cual la concentración promedio fue casi tres veces mayor que dicho límite. Ver gráfica 2. En cuanto al cloro residual de las muestras de agua potable, pero no embotellada, la cantidad de cloro residual encontrada no llega al límite inferior señalado en la norma. Ver gráfica 3.

SITIOS DE MUESTREO	CLORO RESIDUAL EN CADA MUESTRA (ppm)			PROMEDIO	CALIDAD CON BASE EN LA ESPECIFICACIÓN*
	1º.	2º.	3º.		
OSE	0.02	0.052	0.052	0.041	SI
CUA	0.04	0.052	0.052	0.048	SI
ODCQ	0.052	0.052	0.052	0.052	SI
OCIT	0.052	0.052	0.035	0.046	SI
OCQF	0.035	0.035	0.052	0.040	SI
OCIQ	0.052	0.019	0.047	0.039	SI
OCQI	0.378	0.378	0.105	0.287	NO
OCIA	0.052	0.052	0.052	0.052	SI
OC2CQ.	0.035	0.052	0.052	0.046	SI
LCTCT	0.030	0.019	0.043	0.030	NO
LCC1	0.196	0.043	0.035	0.091	NO
LKC1	0.014	0.32	0.047	0.127	NO
FCC1	0.043	0.01	0.043	0.018	NO
CC1	0.096	0.016	0.052	0.054	NO

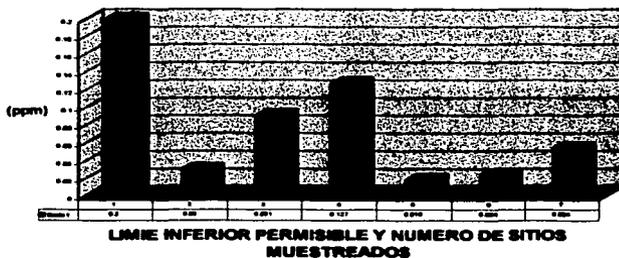
**Tabla 2: Determinación de cloro residual en muestras de agua de Campo -1**

\*El límite máximo de cloro residual para el agua purificada es de 0.1 ppm de acuerdo a la NOM - 041-SSA1-1993

y de 0.2 a 1.5 ppm para el agua potable de acuerdo a la NOM-127 SSA1-1994.



Gráfica 2: Cloro residual en muestras de agua en oasis

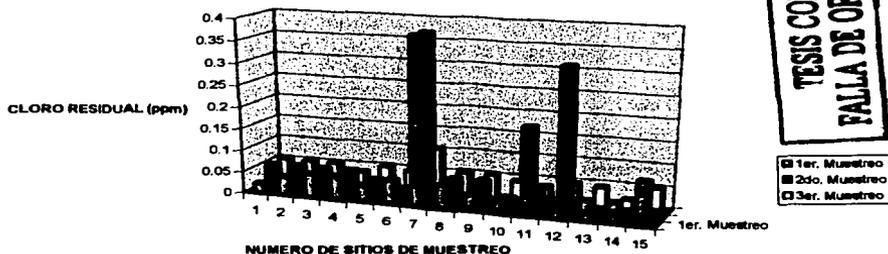


Gráfica 3: Cloro residual promedio en muestras de agua potable .

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

0.000

También se observa que de los sitios donde se hicieron por lo menos tres muestreos sólo 2 no presentaron variación en cuanto a la cantidad de cloro residual, pero los otros sí. Como se puede observar en la gráfica 4:



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1er. Muestreo	0.02	0.04	0.052	0.052	0.035	0.052	0.378	0.052	0.035	0.03	0.196	0.014	0.043	0.043	0.096
2do. Muestreo	0.052	0.052	0.052	0.052	0.035	0.019	0.378	0.052	0.052	0.019	0.043	0.32	0.01	0.01	0.016
3er. Muestreo	0.052	0.052	0.052	0.035	0.052	0.047	0.105	0.052	0.052	0.043	0.035	0.047	0.043	0.02	0.052

Gráfica 4: Comparación del cloro residual en los muestreos

4.3.-Los resultados del cultivo de las muestras estudiadas se reportan en la tabla 3, en la cual se registró el número de UFC observadas sobre la superficie de la membrana utilizada para filtrar cada una de las muestras. Se observó crecimiento bacteriano en el 64% de las muestras en la fase o prueba presuntiva, a partir de estos resultados se realizó la siguiente fase que fue la prueba confirmativa en la que los resultados no fueron positivos. También se pudo observar una variación del número de bacterias entre un muestreo y otro. Los sitios donde menor cantidad de UFC se desarrollaron fueron en orden creciente: filtro del comedor de campo-1, oasis

de la unidad administrativa, oasis del cubículo de la coordinación de I.Q.I., filtro de campo-1.

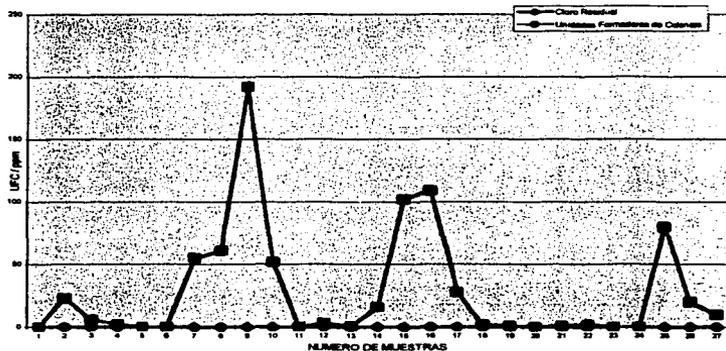
CLAVE	N.P.	VOLUMEN FILTRADO(mi)	RESULTADOS PRESUNTIVOS (UFC)	RESULTADOS CONFIRMATIVOS (UFC)	CUMPLE ESPECIFICACION NORMATIVA
OSE 1	1	97	0	NFN*	SI
OSE 2	2	26	23	NEG.**	SI
OSE 3	3	14	6	NEG.	SI
OSE 4	4	100	72	NEG.	SI
OUA 1	5	56	2	NEG.	SI
OUA 2	6	32	0	NFN	SI
OUA 3	7	112	0	NFN	SI
ODCQ 1	8	117	55	NEG.	SI
ODCQ 2	9	15	61	NEG.	SI
ODCQ 3	10	18	192	NEG.	SI
OCIT 1	11	105	5 2	NEG.	SI
OCIT 2	12	9	0	NFN	SI
OCIT 3	13	5	3	NEG.	SI
OCQF 1	14	42	1	NEG.	SI
OCQF 2	15	14	16	NEG.	SI
OCQF 3	16	24	102	NEG.	SI
OCIQ 1	17	117	109	NEG.	SI
OCIQ 2	18	28	28	NEG.	SI
OCIQ 3	19	42	2	NEG.	SI
OCIQ 4	20	100	0	NFN	SI
OCQI 1	21	127	1	NEG.	SI
OCQI 2	22	164	0	NFN	SI
OCQI 3	23	59	1	NEG.	SI
OCIA 1	24	110	2	NEG.	SI
OCIA 2	25	108	0	NFN	SI
OCIA 3	26	120	0	NEG.	SI
OCIA 4	27	112	16	NEG.	SI
OCQ2CQ 1	28	18	80	NEG.	SI
OCQ2CQ 2	29	10	20	NEG.	SI
OCQ2CQ 3	30	15	10	NEG.	SI
LCT 1	31	50	19	NEG.	SI
LCT 2	32	120	6	NEG.	SI
LCT 3	33	50	18	NEG.	SI
LCT 4	34	100	0	NFN	SI
LCC 1	35	140	0	NFN	SI
LCC 2	36	102	17	NEG.	SI
LCC 3	37	32	49	NEG.	SI

LCC 4	38	100	0	NFN	SI
LKC 1	39	53	0	NFN	SI
LKC 2	40	125	15	NEG.	SI
LKC 3	41	100	86	NEG.	SI
LKC 4	42	120	0	NFN	SI
FCC 1	43	57	0	NFN	SI
FCC 2	44	100	0	NFN	SI
FCC 3	45	54	0	NFN	SI
FC 1	46	81	2	NEG.	SI
FC 2	47	200	3	NEG.	SI
FC 3	48	120	25	NEG.	SI
FC 4	49	110	0	NFN	SI
CC-1 1	50	100	0	NFN	SI
CC-1 2	51	213	110	NEG.	SI
CC-1 3	52	110	53	NEG.	SI
CC-1 4	53	100	0	NFN	SI

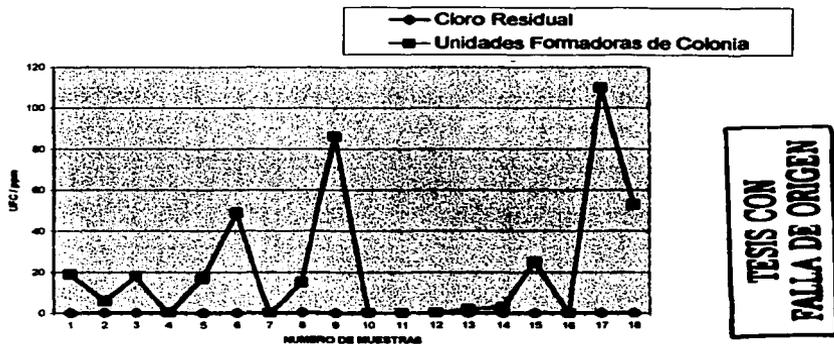
**Tabla 3: Resultados presuntivos para organismos coliformes del cultivo de membranas en las que se filtraron las muestras de agua estudiadas.**

- Indica que no fue necesaria
- \*\* Refiere un resultado negativo o crecimiento nulo

Los datos registrados de cloro residual y el número de colonias desarrolladas en la membrana donde se filtró cada muestra, no presentaron una relación directa, pues en el sitio de muestreo con menos cloro residual promedio no hubo crecimiento bacteriano, pero algo similar ocurrió en las muestras que si presentaron mayor cantidad de cloro residual promedio, por ejemplo en el sitio de muestreo 7 que en dos ocasiones presentó desarrollo de 1 UFC pese a que el cloro residual promedio fue de 0.287 ( casi 16 veces más que el sitio con menor concentración de cloro residual).Para visualizar esto se pueden observar las gráficas 5 y 6.



Gráfica 5: Relación cloro residual – UFC



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Gráfica 6: Relación cloro residual – UFC en muestras de agua potable

4.4.-Sobre la identificación de los organismos aislados de las membranas, en la tabla 4 se muestran resultados de algunas pruebas bioquímicas realizadas con dicho fin. Como se puede observar, los datos de esta tabla no coinciden con las características bioquímicas de ningún género de importancia médica.

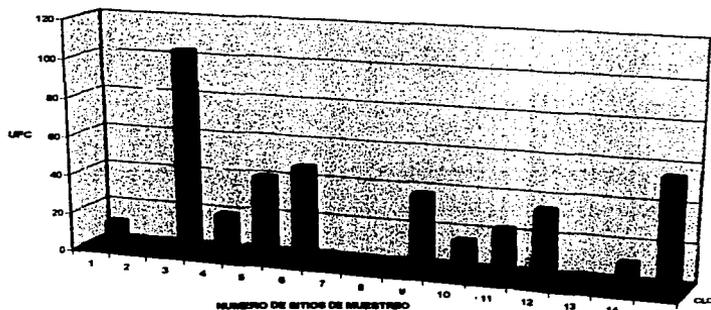
CLAVE: PRUEBAS:	Control	4-1	4-2	4-3	4-4	4-5	27-1	27-4
Morfología y tinción Gram	Bacilos G -	Bacilos G -	Cocobacilos G -	Cocobacilos G-	Cocobacilos G -	Cocobacilos G-	Bacilos G -	Cocobacilos G -
TSI								
Pico Fondo	Acido Acido	Acido Acido	Acido	Acido Acido	Acido	Alcalino S/c	Acido Acido	Alcalino
Gas	+	+	-	+	-	-	-	-
Oxidasa	-	-	+	-	+	-	+	-
NO3	-	+	+	+	+	+	+	+
MR	+	+	-	+	+	-	-	-
VP	-	-	-	-	-	-	-	-
H2S	-	-	-	-	-	-	-	-
LIA	+	+	+	+	+	+	+	+
MIO	-	+	+	+	+	+	+	+
Indol	+	-	-	-	-	-	-	-
Motilidad	+	+	-	+	-	D	-	-
Urea	-	+	-	-	-	-	-	-
Malonatos	+/+	+	+	+	+	-	-	+
Gas(BVB)	+	-	-	+	-	-	-	-
Citratos	-	+	+	+	+	D	-	+
Mc Conkey	+	+	+	+	+	+	+/+	+
EMB	+	+	+	+	+	+	+	+
XLD	+	+	-	+	-	-	-	-
VB	-	+	+	+	+	+	+	+

Tabla 4: Resultados de las pruebas bioquímicas realizadas a siete colonias bacterianas aisladas sobre membranas en las que se filtró agua procedente de dos oasis de Campo 1

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

4.5.-En las tablas precedentes se pueden observar resultados de dos parámetros para evaluar la calidad del agua de consumo humano: uno químico –la determinación del cloro residual- y otro biológico –referente a la cuantificación de microorganismos aislados a partir de las muestras estudiadas-, mismos que se han contrastado con los datos de referencia planteados en las Normas Oficiales Mexicanas sobre el tema del agua purificada y sobre el agua potable.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Serie1	0.041	0.048	0.052	0.048	0.04	0.039	0.297	0.052	0.048	0.03	0.091	0.127	0.018	0.024	0.088
Serie2	9.8	0.88	102.8	18.3	38.8	48.3	0.88	0.88	38.8	14.3	22	33.88	0	10	84.3

Gráfica 7: Relación cloro residual promedio y UFC

4.6.-Con base en los resultados anteriores así como en los datos obtenidos a partir de las referencias consultadas se puede proponer un esquema a seguir para realizar el muestreo así como la determinación del cloro residual y el análisis bacteriológico del agua que se consume en el *campus*.

TIPO DE AGUA	LOCACIONES	NUMERO DE MUESTRAS MENSUALES	PERIODICIDAD	PARAMETROS A MEDIR	VOL. (ml)
POTABLE	KIOSKO *	3 A 7*	1 CADA SEMANA	CLORO RESIDUAL, m.o COLIFORMES	100
	COMEDORES	3 A 7	1 CADA SEMANA	CLORO RESIDUAL, m.o COLIFORMES	100
	CISTERNAS	3 A 7	1 CADA 10 DÍAS	CLORO RESIDUAL, m.o COLIFORMES	100
PURIFICADA	FILTRO	1	MENSUAL	CLORO RESIDUAL, m.o COLIFORMES	200
	COMEDORES	1	MENSUAL	CLORO RESIDUAL, m.o COLIFORMES	200
	OASIS	1	MENSUAL	CLORO RESIDUAL, m.o COLIFORMES	200

Tabla 5: Propuesta para muestreo y análisis bacteriológico de agua en el Campo -1

- La frecuencia de muestreo se debe aumentar cuando se produzcan epidemias, inundaciones u operaciones de emergencia y después de las interrupciones del abastecimiento o reparaciones (39).

\* Nota: a partir del semestre 2003-2 en esta instalación ya no se brinda el servicio que se registró cuando este trabajo fue iniciado.

## **5.0.-DISCUSIÓN**

El agua que se utiliza para satisfacer los requerimientos de este líquido en la FESC es potable, no obstante, otros procedimientos adicionales de purificación a nivel industrial o comercial o sistemas de filtración local dieron la pauta para realizar una clasificación (gráfica 1) del agua que se utiliza en nuestra Facultad y debido al distinto uso que se le da. Así pues, no es igual el tratamiento ni el cuidado si está destinada para bebida o para preparar alimentos que si es para uso en sanitarios, en riego de áreas verdes o en un bioterio.

Con base en esa clasificación, el estudio se hizo considerando dos de entre varios parámetros que plantean las NOM tanto para agua potable como para agua purificada embotellada: cloro residual y organismos coliformes.

Respecto al muestreo realizado para analizar el agua de consumo, los sitios fueron los adecuados pues los criterios para su elección se basaron en la cantidad de personas que recurre a ellos para consumir o utilizar el agua que proveen, bien sea agua potable o purificada; además, las personas que consumen agua en esos sitios representan a diferentes sectores de la población de Campo- 1. La forma en que se realizó el muestreo en cuanto a condiciones generales ya citadas, debe entenderse que se hizo de esa manera para garantizar el control de factores que pudieran influir en los resultados en esta primera etapa que fue la del muestreo.

El método elegido en este trabajo para iniciar el estudio bacteriológico de las muestras de agua fue el de filtración por membrana, por tratarse de agua potable y/o purificada que, de acuerdo a los parámetros de calidad, no deben presentar organismos coliformes y el uso de este método es recomendable cuando se presume que el agua contiene menos de 100 coliformes por 100 ml., lo cual concuerda con los resultados obtenidos pues no hubo desarrollo de m.o. coliformes en las muestras estudiadas; además de que como se plantea en una de las NOM (11), este método es aplicable a todo tipo de agua, exceptuando a las de alto contenido salino.

Una consideración más fue sobre el hecho de que el agua a estudiar no presentaría turbidez, ya que si hubiera tenido esta característica, el método de filtración por membrana habría sido inadecuado.

Se sabe que en la actualidad se cuenta con más métodos para realizar la determinación de m.o. no obstante las NOM han recomendado el *método de los tubos múltiples de fermentación (NMP)* y el de filtración por membrana (MFM), éste tiene la ventaja de que es más rápido que el otro, el cual de haberse utilizado también habría implicado mayor gasto o utilización de material y de medios de cultivo. Al aplicar el citado método se tuvo también la ventaja de que el conteo de las UFC fue relativamente fácil y de manera directa al observar la superficie de la membrana.

Con base en los resultados ya presentados, se observó que pese a que el muestreo y el análisis del agua se realizó por la misma persona y bajo condiciones controladas, el hecho de haber comprendido dos épocas estacionales distintas generó resultados variables en los parámetros de interés (tabla 1). Por ejemplo, con base en los resultados presuntivos se pudo determinar la densidad bacteriana (UFC/ml) de los distintos tipos de agua muestreada y la variación fue marcada aun entre las muestras procedentes del mismo sitio (tabla 3).

En cuanto a la cantidad de cloro residual se presentaron fluctuaciones en esa concentración en casi todas las muestras, con excepción de dos, en las cuales la concentración no varió. En una de las muestras los niveles de cloro residual siempre estuvieron por arriba del límite permisible (tabla 2), esto debido a que la persona encargada de recibir la dotación de agua purificada para uno de los oasis por cierta desconfianza, adiciona más cloro al garrafón antes de instalarlo en el servidor. Ante este resultado cabe recordar que a ciertas concentraciones el cloro actúa como bactericida y a esto se debe que en tales muestras el crecimiento bacteriano no se haya presentado. Sin embargo, un exceso de la cantidad de cloro residual rebasa

los límites permisibles y esto, como ya sabemos, significa riesgos toxicológicos por la ingestión de cloro en el agua.

Ocho de nueve muestras procedentes de agua de garrafón sí cumplen con los límites de cloro residual al momento de que se consumen, esto significa que la calidad en cuanto a este parámetro puede cumplirse desde el momento que se envasa y permanece hasta el momento en que se obtiene por medio del dosificador (oasis).

No obstante la densidad bacteriana alta registrada, los resultados de la prueba confirmativa fueron negativos.

De las seis muestras de agua potable (gráfica 3), ninguna cumple con el límite mínimo para cloro residual propuesto en la Norma Oficial Mexicana sobre agua potable, cuando llega al consumidor.

Lo anterior puede deberse a la presencia de materia orgánica en el trayecto de la planta potabilizadora a la red de distribución o bien, a un deficiente proceso de cloración durante la potabilización del agua.

De acuerdo a lo que se muestra en las gráficas 5, 6 y 7 no existe una relación clara entre la cantidad de cloro y el número de UFC que se desarrollaron a partir de cada muestra, esto da pauta a pensar, que en este caso, la cantidad de cloro no es el principal factor limitante del crecimiento bacteriano, sin embargo debemos pensar en otros como la densidad bacteriana y la resistencia de ciertas cepas bacterianas a esta sustancia así como el tiempo de contacto con ésta. Estos resultados hasta cierto punto concuerdan con los reportados en trabajos precedentes (45).

Respecto a los datos del crecimiento de m.o. sobre la membrana no se puede establecer relación alguna entre volumen y número de bacterias que se desarrollaron, no obstante que los volúmenes filtrados de muestra no necesariamente fueron los mismos para cada muestra, esto es, la densidad o relación m.o./ vol fue variable para cada sitio en el que se presentó algún tipo de crecimiento bacteriano. Con base en los resultados presuntivos se pudo determinar la densidad bacteriana (UFC /ml) de cada muestra estudiada y como ya se comentó, se encontró una variación grande aún entre las muestras provenientes del mismo

sitio. El significado de estos resultados es que más allá de las condiciones de análisis, existen otros factores que interfieren con la calidad *sanitaria* del agua que se está consumiendo en Campo-1 y que pueden ser:

el procedimiento de purificación, la calidad y limpieza del envase (sanitizado), las condiciones del envasado; así como el estado en que se encuentran los dispensadores o dosificadores del agua, en este caso los oasis.

Cabe resaltar los casos de mayor densidad bacteriana, como el de la muestra No. 10, correspondiente a la muestra del oasis de la División de Ciencias Químicas, con 11 bacterias / ml, este resultado sería menos crítico si se tratara de otro tipo de agua y no de agua purificada envasada.

Aunque de las 53 muestras trabajadas, en 35 hubo desarrollo de m.o. (tabla 3) éstas cumplen con las especificaciones que señalan las Normas Oficiales Mexicanas en las que basó este estudio pues al realizar las pruebas confirmativas para organismos coliformes y termotolerantes, los resultados no corresponden con los de una prueba confirmativa. Así mismo, al realizar las pruebas bioquímicas y comparando con una cepa control positivo (tabla 4), tales resultados tampoco coinciden con las reacciones bioquímicas propias de los organismos coliformes como son los de los géneros *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter* o *Klebsiella*... ni de otros de importancia médica.

Para el caso de las muestras de agua potable, hubo dos que presentaron mayor densidad bacteriana y que corresponden, una a la de la llave del comedor de Campo -1 y otra, al agua de la llave del kiosco de Campo-1 (ver tabla 3). En general, en las muestras de agua potable, los resultados sobre cloro residual y densidad bacteriana (gráficas 6 y 7) pueden orientar hacia el análisis de otros factores que pudieran influir, por ejemplo, la temperatura ambiente del sitio de almacenamiento, el flujo de agua, el tiempo de contacto con el cloro adicionado, etc. El hecho de haber encontrado valores similares en cuanto a la densidad bacteriana en distintos tipos de agua no tiene el mismo significado ya que una está predestinada casi

exclusivamente a su ingestión y la otra, además, a otros usos como el de limpieza o el sanitario y por tanto, no afectarían de igual manera al consumidor.

Sobre la variación del volumen filtrado este factor no es determinante sobre los resultados obtenidos, porque en las NOM se presenta la relación matemática para determinar el número de m.o. coliformes por unidad de volumen siempre y cuando se hayan obtenido resultados confirmativos para este tipo de m.o.

El programa propuesto para el análisis bacteriológico del agua de consumo, está basado por un lado en las ventajas que representa el tipo de muestreo manual, y por otro en la posibilidad o factibilidad de realizarlo en un laboratorio básico de microbiología de los varios con los que cuenta esta Facultad. Tal programa no es simplemente un monitoreo, sino una necesidad de evaluar permanentemente la calidad del agua que se consume, más aún cuando se han encontrado variaciones en los resultados de los parámetros que se estudiaron.

## **6.0.-CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Bajo las condiciones de trabajo en que se realizaron los muestreos, los resultados aportan información importante desde el punto de vista de la salud sobre el comportamiento de un parámetro químico, como es el cloro residual, y de uno bacteriológico en los suministros de agua potable, así como de los depósitos y unidades de consumo dentro de este *campus*.

- ❖ Al aplicar el método de filtración por membrana se confirmaron sus ventajas y esto permite recomendarlo para posteriores estudios bacteriológicos sobre agua potable y agua purificada.
- ❖ El método de filtración por membrana permitió la cuantificación de las UFC en la fase presuntiva del estudio y los resultados de las posteriores etapas fueron no necesarios o no confirmativos de la presencia de la familia coliforme y que al no corresponder con características del género *Escherichia* no comprometen la salud del consumidor.
- ❖ El hecho de que las muestras de agua potable no presentaran la concentración mínima de cloro residual amerita un muestreo más continuo o permanente, así como el envío de los reportes sobre este parámetro a las instancias correspondientes a fin de que se atienda para dar la solución que más convenga.
- ❖ Cuanto más frecuentemente se analice el agua, más probable será que se detecte cualquier contaminación accidental, ya sea de tipo biológico, físico o químico; por lo que es importante emprender un programa permanente para el estudio de la calidad del agua y que esté acorde con los principios de la salud pública en su apartado de saneamiento.

- ❖ Los resultados obtenidos en este trabajo hacen ineludible la necesidad de establecer o desarrollar un programa de muestreo con base en las NOM vigentes sobre agua de consumo y si se requiere las de reciente publicación.

## 7.0.-APÉNDICES

### APÉNDICE A

#### CURVA DE CALIBRACIÓN PARA DETERMINACIÓN DE CLORO RESIDUAL

Para la determinación del cloro residual se optó por el método de la ortotolidina que es una prueba espectrofotométrica. Se prepararon los reactivos para la elaboración de una curva de calibración: (19)( págs.47 y ss.)

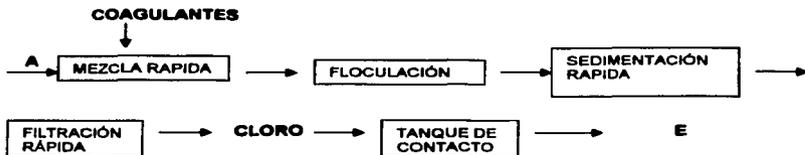
- 1.-Solución tampón madre de fosfatos disódico y monopotásico
- 2.-Solución tampón hija de fosfatos 0.1M a partir de la primera.
- 3.-Solución de cromato – dicromato de potasio anhidros.

No. De matríz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Vol. De la Soln.cromato – Dicromato (ml)	1	5	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100
Vol. De la Soln.tampón0.1 M (ml)	99	95	90	85	80	75	70	60	50	40	20	0
Conc. De cloro (mg/L)	0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.30	0.40	0.50	0.60	0.80	1.0
% de T determina da	97.5	90	81	73	66	60	55	46	38	38	24	19

## APÉNDICE B

### PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA EMPLEADOS EN DISTINTAS PLANTAS

#### I).-PARA REMOCION DE COLOR, TURBIDEZ Y MICROORGANISMOS

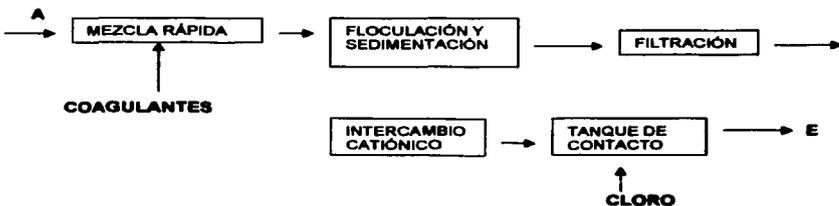


#### II).-PLANTA DE REMOCIÓN DE HIERRO Y MANGANESO



**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

#### III).-PLANTA DE ABLANDAMIENTO



## **APÉNDICE C**

### **MATERIAL Y EQUIPO DE LABORATORIO**

#### Material de cristalería:

- 40 tubos de ensayo de 20 x 200 mm con tapón de rosca
- 80 tubos de ensayo de 16 x 150 mm con tapón de rosca
- 30 campanas de Durham
- 10 pipetas graduadas de 1.0 ml; 5 de 2.0 ml; 10 de 5.0 ml y 5 de 10 ml
- 8 matraces Erlen Meyer de 250 y 2 de 500 ml
- 2 matraces aforados de 50 ml; 3 de 100 ml ;2 de 250 ml; 2 de 500 ml y 1 de 1000 ml
- 3 vasos de precipitados de 100 ml; 2 de 250 ml y 2 de 500 ml
- 1 embudo de vidrio
- 10 pipetas Pasteur
- 1 probeta de 100 ml y 1 de 250 ml
- 1 crisol
- 1 termómetro de 380 o C
- 2 matraces Kitasato de 1 L
- 12 frascos de vidrio con tapón esmerilado de 125
- 2 celdas para espectrofotómetro
- 20 tubos de ensayo de 16 x 150mm
- 70 cajas de Petri
- 1 equipo para filtración por membrana
- 1 desecador

#### Equipo de laboratorio:

- 1 balanza analítica
- 1 horno/ mufla
- 1 agitador magnético
- 1 potenciómetro
- 1 agitador vórtex
- 1 balanza granataria
- 1 parrilla eléctrica y para agitación
- 1 autoclave
- 1 baño termostático
- 1 estufa bacteriológica
- 2 mecheros Bunsen y 2 Fisher

- 1 espectrofotómetro
- 1 bomba de vacío
- 1 refrigerador

**Material auxiliar:**

- manguera de látex
- papel aluminio
- papel bond
- encendedor
- marcador indeleble
- etiquetas
- termo
- bolsas congelantes
- papel filtro
- bolsas de polietileno
- algodón y gasa
- cinta adhesiva
- guantes de látex
- 1 pinzas para crisol
- 2 pipeteros
- 1 espátula
- 2 asas bacteriológicas
- cubrebocas
- 4 gradillas
- 1 piseta
- 2 portacajas Petri

**Medios de cultivo y reactivos**

- Agar nutritivo(BIOXON)
- Agar cuenta estándar (DIBICO)
- Agar endo (DIFCO)
- Caldo lactosado(MERCK)
- Caldo verde brillante (BIOXON)
- Agar rojo violeta (BIOXON)
- Agar Mc Conkey (MERCK)
- Agar tergitol 7

- Caldo urea
- Medio MR- VP
- Agar TSI
- Agar XLD
- Medio SIM
- Medio LIA
- Medio MIO
- Caldo de nitratos
- Caldo de malonatos
- Ortotolidina
- Etanol
- Tiosulfato de sodio
- Fenol
- Cloruro de sodio
- Agua destilada
- fosfatos disódico
- fosfato monopotásico
- dicromato potásico anhidro
- cromato potásico anhidro

## APÉNDICE D

### ANTECEDENTES DEL REGLAMENTO DE LA LEY DE AGUAS NACIONALES Y NORMAS SOBRE ASPECTOS RELACIONADOS CON EL AGUA EN MÉXICO

El Reglamento de la Ley de Aguas de Propiedad de la Nación, del 24 de marzo de 1936, publicado en ese mismo año.

El Reglamento de la Ley de fecha 29 de diciembre de 1956, en materia de aguas de subsuelo publicado en 1958.

El Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas, publicado en 1973.

El Reglamento del Artículo 124 de la Ley Federal de Aguas, publicado en 1975 (43).

- **NOM 012-SSA1-1993.**Requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano públicos y privados.
- **NOM 041-SSA1-1993.**Agua purificada envasada. Especificaciones sanitarias.
- **NOM 003-CNA-1996.**Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos.
- **NOM 014-SSA1-1993.**Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados.
- **NOM AA-42-1981.** Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales. Método de tubos múltiples de fermentación.
- **NOM AA-42-1987.**Determinación del número más probable de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y *Escherichia coli* presuntiva.
- **NOM AA-102-1987.**Detección y enumeración de organismos coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* presuntiva. Método de filtración por membrana.
- **NOM 001-ECOL-1996.** Criterios ecológicos de calidad del agua.
- **NOM 127 – SSA1 – 1994.** Salud ambiental, agua para uso y consumo humano.Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

APÉNDICE E

NORMAS ISO SOBRE LA CALIDAD DEL AGUA

Número de norma de la ISO	Título de la norma
6461 -1: 1986	Detección y recuento de esporas de organismos anaeróbicos reductores del sulfito ( <i>clostridia</i> )-Parte 1: método de enriquecimiento en un medio líquido.
6461-2 :1986	Detección y recuento de esporas de organismos anaeróbicos reductores del sulfito ( <i>clostridia</i> )- Parte 2: método de la membrana filtrante.
7704: 1985	Evaluación de los filtros de membrana utilizados para los análisis microbiológicos.
7899-1:1984	Detección y recuento de estreptococos fecales -Parte 1: método de enriquecimiento en un medio líquido.
7899-2:1984	Detección y recuento de estreptococos fecales- Parte 2: método de la membrana filtrante.
9308-1:1990	Detección y recuento de organismos coliformes, organismos coliformes termorresistentes y presuntos <i>Escherichia coli</i> - Parte 1: método de la membrana filtrante.
9308-2:1990	Detección y recuento de organismos coliformes, organismos coliformes termorresistentes y presuntos <i>Escherichia coli</i> -Parte 2: método de los tubos múltiples (número más probable).

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

APÉNDICE F

COMPARACIÓN DE LAS NORMAS PARA EL AGUA DE CONSUMO ENTRE EUA, LA OMS, LA CEE Y FRANCIA

País, organización u referencia	Unidades	EUA	OMS	CEE	FRANCIA
		Concentración máxima	Nivel recomendado	Concentración máxima permitida	Límite de calidad
<b>Organolépticos</b>					
Color	mg/l Pt/Co	15	15	20	15
Turbidez	NTU	0.5 - 1.0	5	4	2
Olor	Diluciones (25 oC)	3		3	3
Sabor	Diluciones (25 oC)			3	3
<b>Físicoquímicos</b>					
pH	Unidades de pH	6.5 - 8.5		6.5 - 8.5	6.5 - 9.0
Conductividad	MicroS/cm (20°C)			400	400
Cloruros	mg/l	250	250	200	200
Sulfatos	mg/l		250	250	250
Calcio	mg/l			100	100
Magnesio	mg/l			50	50
Sodio	mg/l		200	150	150
Potasio	mg/l			12	12
Aluminio	mg/l	0.05 - 0.2	0.2	0.2	0.2
Oxígeno disuelto	% de saturación			> 75	>75
Nitratos	mg/l		50	50	50
Nitritos	mg/l	1	3	0.1	0.1
Boro	mg/l		300	1000	1000
Hierro	mg/l	300	300	200	200
Manganeso	mg/l	50	500	50	50
Cobre	mg/l	1 300	1 000		
Zinc	mg/l	5 000	3 000	5 000	5 000
Fluoruro	mg/l	4 000	1 500	1 500	1 500

Arsénico	mg / l	50	10	50	50
Cadmio	mg / l	5	3	5	5
Cianuros	mg / l	200	70	50	50
Cromo total	mg / l	100	50	50	50
Mercurio	mg / l	2	1	1	1
Piomo	mg / l	15 (nivel de acción)	10	50	50
<b>Pesticidas</b>					
Clordano	mg / l	2	0.2	0.1	0.1
2,4 D	mg / l	70	30	0.1	0.1
DDT	mg / l		2	0.1	0.1
Lindano	mg / l	0.2	2	0.1	0.1
1,2 dicloropropano	mg / l	5	20	0.1	0.1
Atracina	mg / l	3	2	0.1	0.1
<b>Microbiológicos</b>					
Coliformes totales	N / 100 ml		0 (95%)	0 (95%)	0 (95%)
Coliformes termotolerantes	N / 100 ml		0	0	0
Estreptococos fecales	N / 100 ml			0	0
Clostridios	N / 20 ml			1	1
<b>Radioactividad</b>					
Alfa global	Becquerel / l	15	0.1		
Beta global	Becquerel / l		1.0		
Radio 226/228	Pico curio/l	20			
Uranio	mg / l	20			
Radon	Pico curio/l	300			

NOTA: En los espacios en blanco la referencia (46) no indica cantidad alguna.

**APÉNDICE G****RELACIÓN ENTRE NÚMERO DE HABITANTES Y EL NUMERO DE MUESTRAS RECOMENDADAS PARA SU ESTUDIO**

<b>Población servida</b>	<b>Número mínimo de muestras mensuales</b>
<b>2 500 y menos</b>	<b>1</b>
<b>10 000</b>	<b>7</b>
<b>25 000</b>	<b>25</b>
<b>100 000</b>	<b>100</b>
<b>1 000 000</b>	<b>300</b>
<b>1 000 000</b>	<b>390</b>
<b>5 000 000</b>	<b>500</b>

## **8.0.-BIBLIOGRAFÍA**

- 1.- Nordell, Eskel. **Tratamiento de agua para la industria y otros usos.** Compañía Editorial Continental. México. 1981. Págs. 258, 259.
- 2.- Rheinheimer, Gerhard. **Microbiología de las aguas.** Editorial Acrcbia .España. 1989. Págs. 251-253
- 3.- Jenkins, David y L. Snoeyink, Vernon. **Química del agua.** Editorial Limusa. México. 1990. Págs. 425-427.
- 4.- Kemmer, Frank N .**Manual del agua NALCO, su naturaleza, tratamiento y aplicaciones.** Editorial Mc Graw Hill. México. 1989. Págs. 476-490.
- 5.- **Standard Methods for the examination of water and wastewater.** 18<sup>th</sup> edition. 1992. USA.
- 6.- S.A.R.H. **Curso de microbiología del agua.** México. 1982.
- 7.- Purschel, Wolfrang. **La calidad de las aguas y su tratamiento.** T.3. Editorial URMO. España. 1978. Págs. 11-13
- 8.- J. Maier, Franz. **Fluoruración del agua potable.** Editorial Limusa. 1974.
- 9.- Norma Oficial Mexicana NOM- AA42-1981. **Análisis de Aguas. Determinación del número más probable de coliformes totales y fecales. Método de tubos múltiples de fermentación.**
- 10.- Norma Oficial Mexicana NOM- AA-42-1987. **Calidad del Agua. Determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y Escherichia coli presuntiva.**
- 11.- Norma Oficial Mexicana NOM- AA-102-1987. **Calidad del Agua. Detección y enumeración de organismos coliformes termotolerantes y Escherichia coli presuntiva. Método de filtración por membrana.**
- 12.- **Gaceta ecológica. Criterios ecológicos de calidad del agua CE-CCA-001** 9. Secretaría de Ecología. Enero de 1990.

- 13.- **Plan de muestreo de agua potable, alcantarillado y saneamiento 1994 - 2000.** Gobierno del Estado de México.
- 14.- **Microbiología de Zinsser,** 4ª. Edición. Editorial Hispanoamericana. México. 1971.
- 15.-Manual del curso **Muestreo y preservación de muestras de agua y agua residual.** Gerencia del laboratorio del agua. C.E.A.S. México. 1996. Págs.147-194.
- 16.-Secretaría de Salubridad y Asistencia. **Manual de saneamiento: agua.** Centro Regional de Ayuda Técnica para el Desarrollo Internacional. Mexico,1964. Págs.2-47.
- 17.-Secretaría de Recursos Hidráulicos. **Métodos de análisis de agua y agua residual.** Centro de Investigación y Entrenamiento para la Calidad del Agua. 3ª. Edición. México.
- 18.-T. Powell, Sheppard. **Acondicionamiento de aguas para la industria,**3ª. reimpresion.Editorial Limusa. Mexico. 1979.
- 19.-Rodier J.,Geoffray et al . **Análisis de las aguas: aguas naturales, aguas residuales, agua de mar.**1ª. reimpresión. Ediciones Omega. Barcelona. 1989.Págs. 477-490,675-699,733,735,897-901.
- 20.-Norma Oficial Mexicana NOM – 041-SSA1-1993. **Bienes y servicios. Agua purificada envasada. Especificaciones sanitarias.**
- 21.- Kirk – Othmer. **Encyclopedia of chemical technology.** 3ª. Edición. V.24.Ediciones John Wiley and Sons Inc. U.S.A. 1978.
- 22.- **Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos.** 5ª- Edición. Secretaría de Salubridad y Asistencia. México. 1988.
- 23.- **Ingeniería Ambiental.** Año 2. No. 5. México. 1989. pág. 6
- 24.- **Obras.** Año XXI. Vol. XXI. No. 251. México. 1993. Pág. 115.
- 25.- Norma Oficial Mexicana NOM – 012 – SSA1 – 1993. **Requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano públicos y privados.**
- 26.- Norma Oficial Mexicana NOM – 003 – CNA – 1996. **Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos.**

- 27.- **Revista del consumidor**. No. 256. México. 1998. Págs. 33 – 39
- 28.- Norma Oficial Mexicana NOM – 014 – SSA1 – 1993. **Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados**.
- 29.- De la Puente Catalán, Cabo. **Bacteriología y potabilidad del agua**. Editorial Blume. España. 1972. Págs.207-217.
- 30.- Norma Oficial Mexicana NOM – 001 – ECOL – 1996.
- 31.- Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica. Dirección General de Desarrollo Tecnológico. Subdirección de Investigación y Entrenamiento. **Manual de Microbiología del Agua**. 3ª. Edición. México. 1983.
- 32.- Freeman H., Bob. **Tratado de Microbiología de Burrows**. 21ª. Edición. Interamericana. México. 1983. Págs. 277 –285.
- 33.- Jawetz, Ernest. **Manual de Microbiología Médica**. 5ª. Edición. El Manual Moderno. México. 1975. Págs.225-230.
- 34.- Departamento de Sanidad del Estado de New York. **Manual de Tratamiento de Aguas**. 8ª.Edición. Limusa. México. 1984. Págs. 99 – 101.
- 35.- Subsecretaría de Infraestructura Hidráulica. Dirección General de Desarrollo Tecnológico. Subdirección de Investigación y Entrenamiento. **Aspectos generales sobre contaminación del agua**. 4ª. Edición. México. 1976.
- 36.- Enríquez E., C., H. G., Carlos, Cortés M, J. et al. **Manual del taller de adiestramiento sobre Microbiología del Agua**. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua – Comisión Nacional del Agua. México. 1990. Págs. 55 y 56.
- 37.- Lugo Vázquez, Alfonso. **La contaminación del agua y su control**. Proyecto de la Norma Oficial Mexicana NOM – 001 – ECOL – 1996.
- 38.- San Martín, Hernán. **Salud y enfermedad**. La Prensa Médica Mexicana. México. 1996. Págs.185-195
- 39.- EPA. **Guidelines for water reuse**. 1992

40.-Dirección General de Construcción y Obras Hidráulicas. **Agua 2000.Estrategias para la Ciudad de México.** Departamento del Distrito Federal.

41.- Dirección General de Construcción y Obras Hidráulicas. **Revista hidráulica urbana.** No. 3. Noviembre de 1997. Departamento del Distrito Federal.

42.-**Principios Generales de la Cooperación Franco-Mexicana. Ejercicio 1998-1999.**  
Embajada de Francia en México. México D.F. 1999.

43.-**Ley de Aguas Nacionales y su reglamento.** Comisión Nacional del Agua. México, D.F. 1994.174 págs.

44.-Montaraz Crespo, Juan Antonio. **Informe de actividades 2001. Editado en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.** Cuautitlán Izcalli.2001.56 págs.

45.-Avilés Robles,Guadalupe y Zamudio Castellanos, Cuauhtémoc. **Tesis: Análisis bacteriológico de agua embotellada comercial.**1996.

46.- **Techniques et exploitation de l'eau potable.** Embajada de Francia en México. Francia.1999.

47.-Norma Oficial Mexicana NOM – 127- SSA1 – 1994. **Salud ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.**

48.-Mallevalle,Joel, Odental Peter E. y Wiesner Mark R. **Tratamiento del agua por procesos de membrana.**Edt.Mc.Graw Hill. España.1998.Págs. 1-17.

49.-Ramos Rojas, Jairo A. **Potabilización del agua.3ª. Edición.**Alfaomega.México.1999. Págs.15-23.

50.-T.H.,Y.Tebbutt. **Fundamentos de control de la calidad del agua.7ª.reimpresión.** Limusa.México. 1999.Págs.13-20,25-31,43-52,55-62105-110.

51.-Ruiz Zavala Graciela y Sánchez Islas Norma. **Tesis: Estudio sobre la influencia de la calidad del agua potable en la salud de la población del Municipio de Tepotzotlán, Estado de México.** 1996.

52.-González Fermín Graciela y Ortiz Vázquez Bertha. **Tesis: Análisis bacteriológico a las aguas del Intceptor poniente de la Ciudad de México, tratadas en sistemas SBR.** 1996.