

12



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**

**“TRATAMIENTO DE AGUA EN PEQUEÑAS  
POBLACIONES EN EL AMBITO DEL PROGRAMA  
IMSS-SOLIDARIDAD (COPLAMAR)”**

**MEMORIA DE DESEMPEÑO  
PROFESIONAL**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO EN ALIMENTOS**

**PRESENTA:**

**FERNANDO SOSA CHÁVEZ**

**ASESOR: I.A. ANA MA. DE LA CRUZ JAVIER**

282553



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.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS  
U. N. A. M.

FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES CUAUTITLAN



Departamento  
de Exámenes Profesionales

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN  
PRESENTE

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 el Trabajo de:

La Memoria de Desempeño Profesional: "Tratamiento de Agua en Pequeñas

Poblaciones en el Ambito del Programa IMSS-Solidaridad(COPLAMAR)".

que presenta el pasante: Fernando Sosa Chávez

con número de cuenta: 9057051-1 para obtener el TITULO de:

Ingeniero en Alimentos

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

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 11 de Mayo de 2000

PRESIDENTE M. en C. Clara Ines Alvarez Manrique

*Clara Ines Alvarez Manrique*

VOCAL Q.F.I. Leticia Zúñiga Ramírez

*Leticia Zúñiga Ramírez*

SECRETARIO I.A. Ana Ma. de la Cruz Javier

*Ana Ma. de la Cruz Javier*

PRIMER SUPLENTE I.A. Natividad Venegas Herrera

*Natividad Venegas Herrera*

SEGUNDO SUPLENTE I.A. Ana Ma. Soto Bautista

*Ana Ma. Soto Bautista*

**A MIS PADRES:**

Angel Sosa y Altagracia Alejandra, por el amor, educación, protección y apoyo incondicionales que en todo momento me brindaron. Aunque ya no están conmigo, les agradeceré eternamente su bondad, paciencia, comprensión y respeto. Uno de sus mayores anhelos ha sido cumplido, darme una carrera. A ellos, que amare y recordare por siempre, les dedico este trabajo.

**A MIS HERMANOS:**

Alejandro, por sus consejos y ejemplo a seguir, quien me sirvió de inspiración e impulso para continuar adelante con mis metas

Gabriel, por demostrarme el saber levantarse ante la adversidad

**A MI CUÑADA:**

Verónica, por ser la hermana que no tuve

**A MIS SOBRINAS:**

Vianney y Katya, por su luz, ternura y continuidad generacional de la familia

**A MIS FAMILIARES:**

Tíos; Ramón, Rufino, Carmen, Chela, Norberto, Josefina, Franciso, Manuel, Irene, Evangelina y primos; Sara, Ramón, Vicente, Chuy, Daniel, Paty, Rodolfo, Alfredo, Rafa, Irma, Gil, como mis parientes más cercanos y el resto de mi familia que no menciono. Por sus sabios consejos y soportes constantes

**A DIOS:**

Por ser mi acompañante espiritual en mis momentos de soledad y confidente de fe y esperanza

**A MI ESCUELA:**

Por abrirme sus puertas, darme la oportunidad de terminar una profesión, reforzar mi educación y desarrollo personal y por hacer uso de sus instalaciones y servicios

**A MIS MAESTROS:**

Por la sabiduría y experiencia que me transmitieron, por ser tan pacientes y dedicados. En especial, a mis sinodales y directora de la memoria Ana Ma. de la Cruz, por ser mi guía, consejera y amiga en la elaboración del trabajo

**A MIS SERES QUERIDOS Y AMIGOS:**

Imelda M., Pilar, Oscar, Ricardo, Jasso, Lupita, Yolanda, Martín, Estela, Cecilia, Ana Ma., Betty, Marisol A. y demás. Por compartir indistintamente mis momentos adversos y prósperos, de fracasos y éxitos, de temores y alegrías, anhelos e inquietudes, de tranquilidad y coraje, durante mi estancia en la escuela y fuera de ella. Gracias por las experiencias vividas

**ALPROGRAMA IMSS-SOLIDARIDAD Y A MIS COMPAÑEROS DE TRABAJO:**

Raúl, Lucrecia, Guillermo, Nacho, Pilar, Vidal y Rogelio. Por apoyarme, darme innumerables satisfacciones. Por facilitarme información, concretar y hacer una realidad este documento

Y a todas aquellas personas que directa o indirectamente influyeron en mi para la realización de mis anhelos y contribuyeron de una u otra forma en mi vida personal, familiar, escolar y laboral.

# ÍNDICE GENERAL

TITULO	PAG.
RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	
1.0. OBJETIVO (S)	5
2.0. JUSTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	6
3.0. METODOLOGÍA	9
4.0 RESULTADOS ALCANZADOS	10
A) TRATAMIENTO DEL AGUA A NIVEL NACIONAL	10
B) TRATAMIENTO DEL AGUA EN EL PROGRAMA IMSS-SOLIDARIDAD	16
5.0. CONCLUSIONES	30
6.0. COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES	34
ANEXO 1 EQUIPOS UTILIZADOS EN EL PROGRAMA IMSS-SOLIDARIDAD PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA CON CLORO	36
ANEXO 2 EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE CLORO RESIDUAL	51
ANEXO 3 TRATAMIENTO DEL AGUA CON CLORO	54
BIBLIOGRAFÍA	92

**ANEXO 1**

<b>1.0. EQUIPOS UTILIZADOS EN EL PROGRAMA IMSS-SOLIDARIDAD PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA CON CLORO</b>	<b>36</b>
1.1. HIPOCLORADOR RÚSTICO	36
1.2. MODELO CLORIPOZO	37
1.3. HIPOCLORADOR HIDRÁULICO	39
1.4. MODELO CLORIDOSO	43
1.5. HIPOCLORADOR ELÉCTRICO: BOMBA DOSIFICADORA	44
1.6. CELDA ELECTROLÍTICA GENERADORA DE GASES OXIDANTES (CLORO Y OZONO)	48

**ANEXO 2**

<b>2.0. EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA DETERMINACIÓN DE CLORO RESIDUAL</b>	<b>52</b>
--	-----------

**ANEXO 3**

<b>3.0. TRATAMIENTO DEL AGUA CON CLORO</b>	<b>54</b>
<b>3.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL AGUA CONTAMINADA</b>	<b>54</b>
3.1.1. MICROORGANISMOS PATÓGENOS Y ENFERMEDADES RELACIONADAS CON EL CONSUMO DE AGUA CONTAMINADA	56
A) ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR EL AGUA	56
B) ENFERMEDADES RELACIONADAS CON EL AGUA CAUSADAS POR PATÓGENOS LLEVADOS POR INSECTOS QUE ACTÚAN COMO VECTORES MECÁNICOS Y LOS CUALES VIVEN CERCA DEL AGUA	56
C) ENFERMEDADES CAUSADAS POR LA FALTA DE HIGIENE PERSONAL Y POR LA ESCASEZ DE AGUA	56
D) ENFERMEDADES CAUSADAS POR PATÓGENOS QUE TIENEN UN CICLO DE VIDA COMPLEJO Y QUE REQUIEREN UN HUÉSPED INTERMEDIARIO ACUÁTICO	56

	PAG.
<b>3.1.2. HÁBITAT NATURAL DE LOS MICROORGANISMOS PATÓGENOS</b>	<b>58</b>
A) SUELO	59
B) AIRE	59
C) ANIMALES Y LECHE	59
D) FLORA MICROBIANA DEL CUERPO HUMANO	59
E) CRUSTÁCEOS	60
F) AGUA SUBTERRÁNEA Y DE POZOS	60
G) REUSO DE AGUAS DE DESECHO PARA CONSUMO HUMANO	61
<b>3.1.3. MÉTODOS INDICADORES DE CONTAMINACIÓN FECAL Y SU RELACIÓN CON LA EFICIENCIA DE LA DESINFECCIÓN DEL AGUA UTILIZANDO CLORO</b>	<b>61</b>
A) MÉTODO DEL TUBO MÚLTIPLE	62
B) TÉCNICA DE FILTRACIÓN POR MEMBRANA	62
C) MÉTODO DE PLACA	63
D) OTROS INDICADORES: <i>STREPTOCOCOS FECALES</i> , <i>CLOSTRIDIUM PERFRINGENS</i>	63
<b>3.2. LA NECESIDAD DE LA DESINFECCIÓN Y POTABILIZACIÓN DEL AGUA</b>	<b>66</b>
<b>3.3. MÉTODOS DE DESINFECCIÓN DEL AGUA Y SUS MECANISMOS DE ACCIÓN SOBRE LOS MICROORGANISMOS</b>	<b>70</b>
<b>3.3. 1. HIPOCLORACIÓN</b>	<b>70</b>
<b>3.3.1.1. REACCIONES DEL CLORO CON EL AGUA</b>	<b>70</b>
A) AGUA	71
B) COMPUESTOS INORGÁNICOS	71
C) COMPUESTOS ORGÁNICOS	72
D) AMONIACO	72
E) LUZ SOLAR	73

3.3.1.2. REACCIÓN AL PUNTO DE QUIEBRE (CURVAS DE DEMANDA DE CLORO Y CONTROL DE TRIHALOMETANOS)	73
3.3.1.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DESINFECCIÓN DEL CLORO	75
A) MATERIA ORGÁNICA E INORGÁNICA	75
B) pH	76
C) TEMPERATURA	78
D) TIEMPO DE CONTACTO Y CONCENTRACIÓN	80
3.3.1.4. EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA CLORACIÓN DEL AGUA	83
A) EQUIPOS RÚSTICOS	85
B) DIFUSORES	85
C) EQUIPOS QUE UTILIZAN HIPOCLORITO COMO PRODUCTO CONCENTRADO O EN SOLUCIONES	86
D) HIPOCLORADORES HIDRÁULICOS	86
E) EQUIPOS ELÉCTRICOS (BOMBAS DOSIFICADORAS)	86
F) EQUIPOS QUE APLICAN CLORO GAS	87
3.4. DESINFECCIÓN ALTERNATIVA Y SINERGISMO	88
3.5. COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS QUÍMICOS Y FÍSICOS PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA	91
A) CLORO	91
B) PLATA IONIZADA COLOIDAL	91
C) OZONO	91
D) SULFATO DE COBRE	91
E) PERMANGANATO DE POTASIO	91
F) FLUOR	91
G) EBULLICIÓN	91
H) FILTRACIÓN	91
I) LUZ ULTRAVIOLETA	91



## INDICE DE TABLAS

<b>No.</b>	<b>Nombre</b>	<b>Pag.</b>
1	Enfermedades recurrentes presentes en la población que atiende el Programa IMSS-Solidaridad	7
2	Población y municipios atendidos por el Programa IMSS- Solidaridad e infraestructura y personal comunitario de apoyo	17
3	Evolución en la instalación de equipos y aportaciones en el Programa IMSS-Solidaridad para el tratamiento del agua	18
4	Especificaciones del equipo clorinado	45
5	Gasto de agua a clorar de acuerdo a la concentración requerida de hipoclorito de calcio	47
6	Características biológicas, químicas y físicas del agua contaminada	54
7	Contaminantes importantes presentes en las aguas sucias	55
8	Compuestos que producen olores desagradables y que son asociados a la contaminación del agua	55
9	Microorganismos asociados a las enfermedades debidas al consumo de agua contaminada	57
10	Tipos y número de microorganismos encontrados típicamente en aguas domésticas no tratadas y contaminadas	58
11	Tiempo de vida media de bacterias entéricas en agua de pozos	61
12	Indicadores microbiológicos de calidad del agua	65
13	Densidades de coliformes y estreptococos fecales encontrados en heces	65
14	Procesos de tratamiento de agua para remover los contaminantes encontrados en aguas sucias a nivel comunitario	68
15	Métodos para el control de olores por gases presentes en aguas contaminadas	68
16	Comparación de la concentración (mg/l) de los desinfectantes usados para inactivar la mayoría de grupos microbianos	69
17	Destrucción de microorganismos por el cloro	69
18	Efectividad del hipoclorito para remover algunos gases productores de malos olores	70
19	Destrucción de microorganismos por el cloro	83
20	Actividad bactericida de distintos desinfectantes en presencia de <i>V. cholerae</i>	89
21	Eficiencia relativa de algunos métodos de tratamiento de agua para reducir diversos patógenos	90
22	Métodos de tratamiento de agua	91

## INDICE DE GRÁFICAS

No.	Nombre	Pag.
1	Clasificación de localidades en el medio rural de acuerdo al número de habitantes	8
2	Población del país beneficiadas con servicios de agua potable, 1990 - 1997	10
3	Caudal de agua suministrada y desinfectada en el país, 1991-1997	11
	<i>Millones de personas</i>	
4	<i>Población rural atendida con los sistemas de agua potable, 1990-1997</i>	11
5	<i>Determinaciones de cloro residual realizadas en los estados donde opera el Programa IMSS-Solidaridad</i>	12
6	<i>Porcentaje de determinaciones de cloro residual en los estados donde opera el Programa IMSS-Solidaridad, periodo 1996-1997</i>	12
7	<i>Monitoreo de agua, porcentaje de determinaciones con presencia de cloro residual libre, 1997</i>	13
8	<i>Porcentaje de determinaciones en agua con presencia de cloro residual dentro de norma, 1996-1997</i>	13
9	<i>Localidades beneficiadas en el Programa IMSS-Solidaridad</i>	17
10	<i>Cloradores instalados en el Programa IMSS-Solidaridad, periodo 1995 - 1997</i>	19
11	<i>Cloradores instalados en el Programa IMSS-Solidaridad, 1998</i>	20
12	<i>Diagnóstico de los cloradores instalados en el Programa IMSS-Solidaridad, 1998</i>	20
13	<i>Comportamiento de casos en Enteritis y Amibiasis, 1987 - 1998</i>	21
14	<i>Comportamiento de casos de Fiebre tifoidea y Salmonelosis, 1987 - 1998</i>	21
15	<i>Comportamiento de los casos reportados en Ascariasis y Teniasis 1987 - 1998</i>	21
16	<i>Comportamiento de los casos reportados en Tracoma y Sarna, 1987 - 1998</i>	22
17	<i>Comportamiento de los casos reportados en Dengue y Paludismo</i>	22
18	<i>Distribución del rotafolio " Importancia del agua "</i>	25
19	<i>Familias participantes en la vigilancia y cuidado del agua</i>	28
20	<i>Producción de cloro (mg/s) en función del amperaje aplicado</i>	50
21	<i>Reacciones del cloro en el agua al "punto de quiebre" curva de demanda de cloro"</i>	74
22	<i>Distribución del ácido hipocloroso y del ión hipoclorito en agua a diferentes valores de pH y temperatura</i>	77
23	<i>Efecto del pH sobre la cloración manteniendo el tiempo constante (t=60 minutos)</i>	78
24	<i>Efecto de la temperatura (T) sobre el cloro residual combinado en la acción bactericida; tiempo = 60 minutos</i>	79
25	<i>Efecto de la temperatura (T) sobre el cloro residual disponible en la acción bactericida; tiempo = 20 minutos</i>	79
26	<i>Efecto de la temperatura (T) sobre el cloro residual combinado y disponible en la acción bactericida; tiempo=60 y 20 minutos.</i>	80
27	<i>Efecto del tiempo de contacto sobre el cloro residual libre y combinada, para un mismo valor de pH del agua (7.0)</i>	81
28	<i>Efecto de la concentración (mg/l) sobre el cloro residual libre disponible a un pH del agua constante (9.8)</i>	82
29	<i>Efecto del pH del agua, tiempo de contacto y la concentración de cloro, sobre la desinfección</i>	82

## INDICE DE FIGURAS

No.	Título	Pag.
1	Porcentaje de la población que contaba con agua clorada, 1991 - 1994	14
2	Comportamiento del Cólera en el país a partir de 1991	15
3	Vigilancia y cuidado del agua	25-27
4	Hipoclorador rústico	36
5	Hipoclorador. Modelo cloripozo	37
6	Hipoclorador hidráulico	39
7	Hipoclorador hidráulico: Modelo cloridoso	43
8	Hipoclorador eléctrico: Bomba dosificadora	45
9	Celda electrolítica generadora de gases oxidantes	48
10	Kit comparador de cloro	52
11	Kit comparador de cloro marca Taylor	52
12	Kits comparadores de cloro con el reactivo DPD	53
13	Ciclo de infección por bacterias y virus en el agua	67

## RESUMEN

Mi investigación sobre el tratamiento de agua abarcó las 14 mil poblaciones que atiende el Programa IMSS-Solidaridad. Fue realizada del periodo comprendido entre 1995 a 1998. Consistió en determinar la relación entre las acciones implementadas por el Programa y sus impactos en la salud y desarrollo de las comunidades. Los padecimientos asociados al contacto directo con el agua disminuyeron, destacando la Enteritis, Salmonelosis y Cólera. Los logros fueron posibles gracias a los recursos en infraestructura y de personal institucional y comunitario con que contaba el Programa para 1997; 68 Hospitales rurales, 3,539 Unidades Médicas, 4 mil personas que laboran en la institución con perfil multidisciplinario y 92 mil grupos voluntarios de las comunidades donde opera el Programa, cuya función ya sea normativa u operativa permitió llegar a tales resultados. Aun hace falta relacionar un mayor número de padecimientos al deficiente tratamiento del agua y a las contaminación de esta por las excretas, y no sólo se centre la atención hacia enfermedades que son de reporte internacional como el Cólera. Se logró una mayor participación de los organismos operadores y coordinación con otras instituciones y mejor aún, se consiguió la atención de las autoridades municipales, las cuales aportaron en el periodo estudiado, 7 millones de pesos para realizar obras comunales en los sistemas de abastecimiento de agua, entre ellos la implementación de cloradores. De los dispositivos de tratamiento de agua (1,657), con los que se contaba para 1998, los hidráulicos son los que tuvieron mayor preferencia entre las poblaciones, a pesar de la existencia de equipos eléctricos generadores de cloro y ozono, destacando incluso sobre los equipos rústicos. Puebla, fue el estado con el mayor número de cloradores instalados (250) y el más participativo en el tratamiento del agua con cloro. Para apoyar los conocimientos y realizar promoción y difusión sobre la desinfección con cloro, fue distribuido el rotafolio "Importancia del agua", dando prioridad a los estados clasificados como de muy alta marginación como Chiapas y Oaxaca. Fue sustancial la participación de los promotores de acción comunitaria para transmitir los conocimientos adquiridos en el tratamiento del agua al resto del personal operativo, equipos de salud, grupos voluntarios y comunidad. Para detectar y mediar el cloro residual, continúa predominado el uso de la ortotolidina sobre el producto DPD (Difenil 1,4-fenilendiamina); asimismo, la presencia de este desinfectante en el agua, se utiliza ampliamente para determinar la calidad microbiológica del agua. No obstante que resulta muy difícil de realizar, el método de filtración por membrana, es la técnica más generalizada para detectar la presencia de organismos coliformes. Durante las determinaciones para conocer la cantidad de cloro a ser adicionado al agua a desinfectar, aplicación de reglas de tres o el uso de tablas fueron preferidos sobre el uso de fórmulas, por ser más fáciles de entender y aplicar. De los productos del cloro, no obstante su concentración y peligrosidad, el hipoclorito de calcio fue el más utilizado. La ebullición ocupó el primer lugar como método de desinfección del agua, a pesar de la escasez de leña en las comunidades y el cloro a nivel comunitario. El producto alternativo al uso de del cloro que empezó a generalizarse fue la plata coloidal o el comprar agua embotellada. Conceptos sobre el tratamiento del agua ya han sido asimilados por el personal que recibió la capacitación, como el distinguir el cloro disponible del combinado en relación al pH del agua y relacionar el efecto de variables como la temperatura, el tiempo de contacto y la concentración sobre la eficiencia germicida del cloro.

## INTRODUCCIÓN

En 1979 para dar atención médica a más de 10 millones de habitantes de zonas rurales marginadas, el Instituto Mexicano del Seguro Social creó el Programa denominado IMSS-Solidaridad. Esta dependencia, se comprometió, a promover la realización de trabajos comunitarios con el apoyo de otras instituciones, celebrar convenios para la prestación de servicios a las comunidades y acreditar ante el IMSS la participación de la población en acciones permanentes de prevención, por medio de educación para la salud; constantemente, se realizan acciones contra infecciones de las vías respiratorias, **gastrointestinales** y parasitarias intestinales; además, se proporciona atención prenatal, incluida la planificación familiar. Se buscan individuos con padecimientos crónicos, como la tuberculosis y la desnutrición, diabetes, enfermedades venéreas. Se realizan acciones de orientación nutricional, odontológica, saneamiento básico destacando el mejoramiento de la vivienda y el **tratamiento del agua**.

Para dar atención a esta población abierta, el Programa IMSS-Solidaridad contaba para 1997 dentro de su infraestructura, con 3,539 Unidades Médicas Rurales (UMR) denominadas de primer nivel y con 68 Hospitales Rurales, denominados de segundo nivel, que respaldaban a estas Unidades Médicas.

El ámbito de trabajo del Programa lo constituyen 17 estados de la república mexicana distribuidos en 212 zonas; región norte constituidas por los estados de Baja California Norte, Durango, Chihuahua, Sinaloa, Coahuila, Nayarit, Zacatecas, San Luis Potosí y Tamaulipas; en la región centro se encuentra Puebla, Michoacán e Hidalgo; finalmente la región sur-sureste lo constituyen Yucatán, Campeche, Chiapas, Oaxaca y Veracruz.

Para cumplir con la encomienda de atender a la Población, intervienen grupos profesionales y multidisciplinarios, técnicos, auxiliares y miembros de las localidades atendidas por el Programa, que forman parte de la plantilla institucional y comunitaria de acuerdo a su nivel de responsabilidad y a las características propias de cada comunidad, así se compone el Programa de 400 Promotores de Acción Comunitaria distribuidos en las 212 zonas antes señaladas y 43 Supervisores de Acción Comunitaria que fungen en el nivel delegacional repartidos todos ellos en los 17 estados antes mencionados.

Este personal se compromete una vez que ha recibido adiestramiento en el tratamiento del agua a transmitir sus conocimientos, experiencias y habilidades aprendidos, al resto del personal operativo que se encuentra en las 14 mil localidades donde opera el Programa, y que era integrado para 1997 con alrededor de 3,000 equipos de salud (médicos y enfermeras) que atendían el total de las 3,539 Unidades Médicas antes indicadas, 5,600 Asistentes Rurales de Salud, a los cuales se les da capacitación durante 3 meses para que atiendan una localidad llamada de acción intensiva, cercana a la unidad médica. Asimismo, tal personal se constituía de 11,500 Comités de Salud y 75,000 Promotores voluntarios, los cuales están en contacto directo con la población y son los que llevan los mensajes de educación en salud a esta población.

Para dar atención a la población en materia de tecnologías como la desinfección del agua, se requiere mantener en constante capacitación al personal institucional y comunitario antes mencionado; para ello, se elaboran documentos que respaldan las actividades emprendidas por esta gente con las comunidades que son su responsabilidad a nivel del estado, la región y la zona.

Tal como se presenta en la naturaleza, el agua no es realmente pura, puede contener sustancias extrañas disueltas y suspendidas y diversas formas de vida tal como los **microorganismos patógenos**.

Para evitar que el agua sea contaminada por desechos humanos en las comunidades rurales, se deben realizar obras para confinarlos y tratarlos adecuadamente, mediante la construcción de letrinas de pozo y sanitarios ecológicos secos (que separan la orina del excremento y este al

degradarse puede ser utilizado como abono, al paso de 18 meses de reposo) para asegurar la calidad microbiológica del agua, mediante la eliminación de microorganismos de procedencia fecal lo que se reduce la contaminación del suelo; sin embargo, aquella agua que ha sido contaminada, requiere forzosamente ser sometida a procesos de tratamiento, como la filtración, ebullición, cloración, etc

La necesidad de reducir el número de padecimientos ocasionados por los microorganismos patógenos presentes en el agua contaminada, mediante métodos de tratamiento como la cloración, asegura la salud de una comunidad rural.

De este modo, toda agua cruda que se pretende usar para el consumo humano debe estar cuando menos desinfectada, con el método que hasta nuestros días es el más usado y efectivo, la cloración, comparada con el uso de otros productos químicos como la plata, el ozono o físicos como la luz ultravioleta.

Los equipos de mayor demanda para realizar la desinfección con cloro son del tipo hidráulico, ya que aprovechan la misma presión del agua que existe en las redes de distribución para funcionar, son fáciles de manejar y no requieren grandes inversiones; por su parte, los dispositivos eléctricos tienen la ventaja de trabajar en forma continua, algunos de ellos son capaces de producir cloro y ozono en el sitio donde se desee instalarlos, a partir del cloruro de sodio, sin embargo, son más sofisticados en su instalación y operación, finalmente los equipos rústicos son todos aquellos dispositivos que puedan ser utilizados para el tratamiento del agua con cloro, ya sea utilizando depósitos de la solución como un bote, o una venoclisis, aunque tienen los mayores márgenes de error en su construcción resultan ser muy operativos cuando es requerida la desinfección a nivel de la comunidad. Los microorganismos más susceptibles a la cloración son las bacterias, le siguen los virus y finalmente los quistes y gusanos.

Los hipocloritos de sodio y calcio, en cualquiera de sus presentaciones, son los productos más ampliamente utilizados para el tratamiento del agua, se pueden aplicar ya sea en forma directa o introducidos en equipos apropiados. El agua que ha sido contaminada es caracterizada en términos de sus propiedades físicas: como color, olor y sabor y químicas por su contenido de sólidos disueltos, suspendidos y por la presencia de vida, como los microorganismos patógenos, cada una de las cuales le puede conferir al agua su peligrosidad. Las enfermedades producidas por microorganismos patógenos son clasificadas según si estos parásitos son excretados por los desechos humanos y animales que entran en contacto con el agua que se ingiere, si son llevados por insectos, por una mala higiene personal y de los alimentos y aquellos que requieren un huésped intermediario para producirlas. Ejemplo de estas categorías se pueden citar, el Cólera, Dengue, Sarna y Esquistosomiasis.

Los microorganismos patógenos pueden crecer y reproducirse en cualquier lugar que reúna las condiciones para tal fin ya sea el suelo, el aire, en los animales y sus productos como la leche, en la flora del cuerpo humano, entre animales marinos como los crustáceos y sobre todo en el agua. Para determinar su presencia en el agua, existen métodos como la filtración por membrana, la cual permite retener por medio de un filtro los microorganismos más pequeños en el agua que se desea conocer su calidad microbiológica para detectar si el agua ha sido contaminada por materia fecal, lugar donde podemos encontrar los microorganismos patógenos

La eliminación de estos microorganismos indeseables se logra con la aplicación de procedimientos tan sencillos como la ebullición, o por la aplicación de productos químicos como el cloro y sus productos los hipocloritos o por la adición al agua de plata coloidal, productos que actúan a nivel de la pared celular o por el trastorno en el metabolismo de los microorganismos patógenos. Los productos obtenidos de la reacción entre el cloro y el agua conocido como cloro disponible (HOCL y OCL) son los que llevan a cabo la desinfección al actuar sobre los microorganismos patógenos. Sin embargo, el cloro no solamente reacciona con el agua, las sustancias inorgánicas y orgánicas presentes en ella ya sea disueltas o suspendidas, dificultan la formación de los compuestos destructores de los microorganismos y aunque el cloro también tiene

el poder desinfectante para contrarrestar estas sustancias, el exceso en su uso, puede llevar a producir productos no deseables que se sospecha son carcinogénicos, lo que lleva a disminuir la aceptación del usuario por su olor y sabor más marcado dejado en el agua. Para ello, se recomienda primeramente conocer la cantidad de cloro que demandaran estos compuestos, mediante la construcción si es posible de la curva de demanda de cloro, la cual indicará la dosis que se necesitará para por un lado, eliminar aquellos compuestos y dejar suficiente cloro para ejercer la desinfección sobre el agua. Además de tomar en cuenta la presencia de estos compuestos presentes en el agua, existen otros factores que dificultan o aceleran la desinfección. Cuando el agua que se va tratar con cloro tiene valores de pH superiores a 7.5 o mayores, el producto que se formará al agregar el cloro, será una especie débil, el ion hipoclorito  $\text{OCl}^-$ , el cual es menos poderoso que el ácido hipocloroso  $\text{HOCl}$ , de modo que el predominio de una u otra especie estará en función del pH del agua. Igualmente, a valores de pH como los antes indicados, se favorecerá la formación de cloro combinado conocido como cloraminas, que a pesar de ser también desinfectantes, son menos potentes que las especies de cloro disponible. La temperatura del agua también afecta al cloro, las reducciones bacterianas se tornan más lentas cuando la temperatura del agua está comprendida entre 1 a 4.4 grados centígrados y se acelera la destrucción en temperaturas comprendidas entre 20 y 24 grados centígrados. El tiempo de contacto y concentración del cloro agregado también influyen en la eficiencia germicida; aumentando el tiempo, se asegura la acción bactericida aunque se haya agregado una dosis baja de cloro. El introducir desinfectantes alternativos al cloro como la plata coloidal y el ozono o la combinación de ellos como mezclas sinérgicas, permite bajar la concentración de sus componentes, efectos residuales y mayor aceptación por el usuario.

## **1.0. OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Describir la problemática relacionada con el tratamiento de agua en las comunidades rurales que atiende el Programa IMSS-Solidaridad y ofrecer alternativas de solución

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Identificar los obstáculos que limitan el tratamiento del agua en las comunidades rurales que atiende el Programa IMSS-Solidaridad
2. Evaluar las actividades propuestas en el Programa IMSS-Solidaridad para el tratamiento del agua, apoyándose de la implementación de equipos, uso de productos químicos, apoyo de la estructura institucional y comunitaria, recursos económicos, planes de capacitación (cursos y talleres), apoyos didácticos, concertaciones y monitoreo de cloro residual.



## 2.0. JUSTIFICACIÓN Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

En el mundo en desarrollo, unos 1,300 millones de personas no tienen acceso al agua limpia y casi 2,000 millones no disponen de un sistema adecuado para la eliminación de las excretas (16). Las heces depositadas cerca de las viviendas, la contaminación del agua potable, el consumo de pescado procedente de ríos y aguas costeras contaminadas y la utilización de excretas como fertilizantes en la agricultura, representan otros peligros para la salud. La cantidad de agua es tan importante como su calidad. Lavarse las manos después de defecar y antes de preparar los alimentos reviste especial importancia para reducir la transmisión de enfermedades. La falta de saneamiento en el agua es la causa más común de enfermedades entéricas transmitidas en los países en desarrollo.

El agua pura y transparente de hace años, era inocua, dulce y sin contaminación, representando el ideal para el consumo humano. La sola presencia del hombre en grandes números, agrega mayores problemas. Hay que hacer inofensiva el agua que está contaminada por microorganismos que originan enfermedades. Todo esto a un costo bajo para que todo consumidor pueda contar con agua de calidad y en abundancia. Es una suerte, sin embargo, que el hombre pueda disponer de medios adecuados y económicos para proteger y purificar su abastecimiento de agua.

El pozo más profundo puede ser expuesto en cualquier momento a una infiltración de agua contaminada por causa de una rotura accidental en el revestimiento del pozo mismo, por la apertura de un conducto hacia una corriente subterránea contaminada y sin comunicación anterior. Los pozos poco profundos están notablemente sujetos a la contaminación por aguas superficiales contaminadas con desechos humanos, de la vivienda o incluso industriales.

Según el doctor José Manuel Pelayo Juárez (16), las enfermedades intestinales han ocupado los primeros lugares causantes de muerte, ubicándolas dentro de los primeros diez lugares.

Asimismo, de acuerdo F.M. Jesús Arias Chávez (1), Cerca de 40 de las más comunes y peligrosas enfermedades tienen que ver directa o indirectamente con el agua. Atacan con mayor fuerza a la gente de escasos recursos económicos y especialmente a los infantes y ancianos. Tales padecimientos significan millones de pesos y horas – hombre – día de pérdidas y miles de camas de hospitales y clínicas ocupadas.

Como principales motivos de atención en las Unidades Médicas, se encuentran las enfermedades gastrointestinales y las parasitosis, causadas por la contaminación del agua y de los alimentos, con microorganismos patógenos

A principios de los noventa, el índice de enfermedades gastrointestinales en México era uno de los más altos del mundo. En el sistema de salud, se registraron alrededor de 14 mil defunciones anuales causadas por enfermedades gastrointestinales. Las cifras indicaban para 1991, que únicamente el 55% del agua que se distribuía a la población podía ser considerada bacteriológicamente aceptable (4).

A la problemática anterior, como lo señala el Dr. Manuel Martínez Báez (12), se sumaron los primeros casos de cólera en el país, ocurridos en el mes de junio de 1991.

Desde hace ya más de una década continúan prevaleciendo las enfermedades asociadas con deficiencias en el abasto de agua y/o en el alcantarillado, pero sobre todo al deficiente tratamiento de agua en la población adscrita al Programa IMSS-Solidaridad (más de 10 millones de habitantes rurales), desde 1987 han sido las diarreas, Salmonelosis, Cólera y Fiebre tifoidea por citar las más importantes, donde el medio de contacto ha sido por la ingestión de agua

contaminada con esos patógenos, que implica su gran relación con el agua como lo muestra la Tabla 1:

**Tabla 1. Enfermedades recurrentes presentes en la población que atiende el Programa IMSS-Solidaridad**

Grupo de Transmisión	Enfermedad	Ruta de entrada del hombre	Ruta de salida del hombre
Por ingestión del agua	Cólera	Oral	Heces
	Amibiasis	Oral	Heces
	Fiebre Tifoidea	Oral	Heces, urinaria
	Hepatitis infecciosa "A"	Oral	Heces
	Giardiasis	Oral	Heces
	Salmonelosis	Oral	Heces
	Enteritis	Oral	Heces
	Ascariasis	Oral	Heces
Higiene personal	Tracoma	Cutánea	Cutánea
	Sarna	Cutánea	Cutánea
Transmitidas por vectores de hábitat acuático	Esquistosomiasis	Oral	Heces
	Dengue*	Picadura de mosquito	Picadura de mosquito
	Paludismo*	Picadura de mosquito	Picadura de mosquito

Fuente: Programa IMSS – Solidaridad, Sistema Unico de Información (17)

La extensión del territorio nacional y la gran dispersión de miles de comunidades de menos de 2500 habitantes dificultan enormemente el acceso de estas a los servicios básicos como el suministro de agua potable y atención de los padecimientos antes descritos, tal como se puede ver en la Gráfica 1, donde la mayor parte de localidades que se tenían para 1997 (57,017) estaban comprendidas en aquellas comunidades tan apartadas que solamente estaban constituidas de 1 a 99 habitantes.

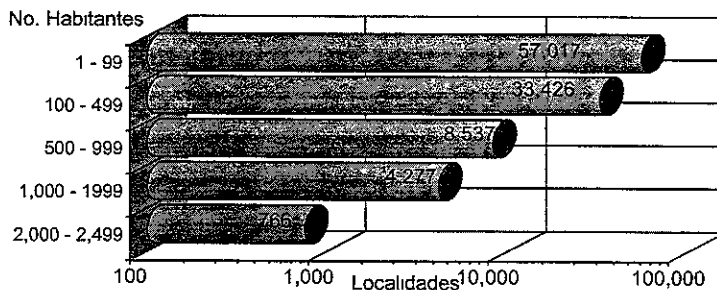
Los sistemas potables de agua tal como el contar con agua desinfectada no existían, o eran escasos y distantes en las zonas rurales con población dispersa, recrudescida más en la población amparada por el Programa IMSS-Solidaridad por tener como universo comunidades rurales indígenas y campesinas clasificadas como de extrema pobreza.

En el mejor de los casos aunque la población del medio rural contará con redes de distribución de agua, lo que les permitía abastecer sus piletas, tambos, tinacos, depósitos, cisternas, no se tenían métodos accesibles para su tratamiento, más que los convencionales, como la filtración y la ebullición. Sin embargo, la escasez de leña y el tiempo (3 horas diarias) y esfuerzo invertidos para su transporte hasta los hogares, siguen ocasionando resistencia para llevar a cabo un tratamiento sobre ella.

---

\* Los mosquitos que causan estos padecimientos, portan los microorganismos patógenos (virus y plasmodios), que adquirieron durante su etapa de alimentación con sangre humana contaminada con estos organismos. Las fases larvarias de estos mosquitos se desarrollan en el agua

**Gráfica 1. Clasificación de localidades en el medio rural de acuerdo al número de habitantes.**



Fuente: Comisión Nacional del Agua. Situación del subsector agua potable alcantillado y saneamiento a diciembre de 1997 (5)

El agua para consumo humano debe estar cuando menos desinfectada y debe ser aplicado tanto a las aguas más puras y claras, como a las más turbias y contaminadas.

En 1987, el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), aplicó una encuesta que cubrió 450 poblaciones rurales y urbanas, revelando que únicamente el 3% de las poblaciones rurales entrevistadas realizaba la desinfección con cloro.

Aunado a la pobreza extrema, la falta de educación, el hacinamiento y la falta de higiene agravan la problemática.

### 3.0. METODOLOGÍA

Para determinar los resultados en las acciones realizadas en el ámbito de trabajo del Programa IMSS-Solidaridad en materia de tratamiento de agua, objetivo de mi memoria, fue aplicada la siguiente metodología:

El periodo de investigación fue realizado del año 1995 a 1998. Fueron utilizadas estadísticas demográficas, de servicios y de actividades relacionados a la desinfección del agua con cloro en el país, para enmarcar el tratamiento de agua realizado por el Programa IMSS-Solidaridad. El universo de trabajo fueron las familias y las comunidades que tratan su agua donde opera el Programa. A nivel familiar fue promovido el tratamiento del agua con cloro y la ebullición contando con la participación del personal comunitario, alrededor de 92 mil voluntarios. En el nivel comunal fueron instalados para 1998, 1,657 equipos entre hidráulicos, eléctricos y rústicos distribuidos en 16 estados de la república mexicana: Puebla, Chiapas, Yucatán, Michoacán, Durango, Tamaulipas, Sinaloa, Chihuahua, Coahuila, Hidalgo, Oaxaca, San Luis Potosí, Veracruz, Baja California Norte, Campeche y Nayarit. Tales equipos fueron adquiridos y promovidos por 3,500 personas que integran la estructura institucional, obtenidos ya sea con recursos del Programa, de otras instituciones o de las autoridades municipales. Para definir donde instalar los dispositivos cloradores, fueron seleccionadas las localidades de mayor riesgo de padecer enfermedades gastrointestinales por los promotores y de acuerdo a un diagnóstico situacional de su región, de este modo, fueron beneficiadas 6,333 localidades en el tratamiento de agua de las 14,715 que atendía el programa para el año de 1997. Se delimitó a estudiar el cloro y sus productos, los hipocloritos, por ser los de mayor uso en el Programa IMSS-Solidaridad y se remarcaron los productos alternativos como la plata coloidal. A cada promotor de acción comunitaria se le proporcionó un equipo para determinar el cloro residual en su universo de trabajo como el de la Figura 10. Se dio capacitación en 1995 sobre el taller "La cloración como un método de desinfección del agua" en tres sedes regionales, al cual asistieron los organismos operadores capacitando a un total de 90 responsables del nivel operativo, los cuales reprodujeron esta capacitación al resto del personal. Fueron distribuidos 3,450 ejemplares del rotafolio "Importancia del agua". Para verificar el impacto en el tratamiento de agua, se gráfico el número de casos de las enfermedades relacionadas con el agua, registradas en el Programa: Enteritis, Ambiasis, Ascariasis, Teniasis, Cólera, Tracoma, Sarna, Dengue y Paludismo. Para la construcción de las gráficas fue tomada la morbilidad a partir del año 1987 hasta 1998, con la finalidad de poder observar con mayor claridad el comportamiento de estos padecimientos. Se realizaron visitas de supervisión a los estados donde opera el Programa entre el periodo en estudio (1995 - 1998), con la finalidad de conocer las actividades realizadas en el tratamiento del agua; evaluar la operación de los equipos cloradores, monitorear el cloro residual, identificar las preferencias hacia los métodos de tratamiento, observar la reproducción de cursos, asimilación de conocimientos, finalmente se verificó el uso de materiales proporcionados y las concertaciones realizadas en estados con la Comisión Nacional del Agua y la Secretaría de Salud.

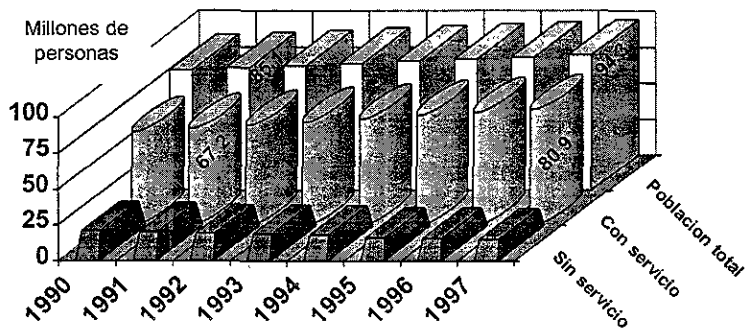
## 4.0. RESULTADOS ALCANZADOS

### A) TRATAMIENTO DEL AGUA A NIVEL NACIONAL

En este inciso se indicarán los resultados alcanzados a nivel nacional, en el tratamiento del agua, esto es, los resultados aquí vertidos incluyen los realizados por la Secretaría de Salud, Comisión Nacional del Agua y desde luego el Programa IMSS-Solidaridad, y posteriormente en el inciso b particularizar los resultados obtenidos en el Programa IMSS-Solidaridad.

De acuerdo con la información del censo General de Población y Vivienda, véase Gráfica 2, en 1991 la población total de México ascendía a 85.1 millones de habitantes distribuidos en 156,602 localidades; de este total, el 79%, 67.2 millones de habitantes contaban ya con servicio de agua potable. Para 1997, la población con servicios de agua aumentó casi un 23%, beneficiándose 80.9 millones de habitantes en relación a 1991.

**Gráfica 2. Población del país beneficiadas con servicios de agua potable, 1990 - 1997**

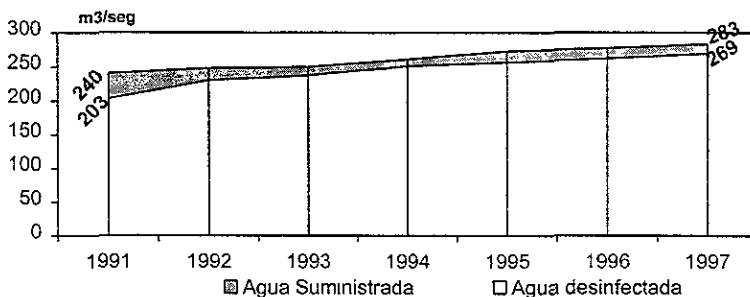


Fuente: Comisión Nacional del Agua, Situación del subsector agua potable alcantarillado y saneamiento a diciembre de 1997 (5)

Para el mismo año 1991, véase Gráfica 3, ya se desinfectaban 203 m<sup>3</sup>/s de agua, es decir, el 85% del caudal total suministrado, 240 m<sup>3</sup>/s, beneficiando a 35.4 millones de habitantes; como se puede observar en la Gráfica. El suministro de agua desinfectada a partir de este año fue aumentando en forma gradual hasta llegar a desinfectar 269 m<sup>3</sup>/s para el año de 1997, que representaba el 95% del total suministrado, 283 m<sup>3</sup>/s; no obstante lo anterior, sólo el 2% de las localidades que contaban con un sistema de agua potable tenían equipos para la desinfección del agua.

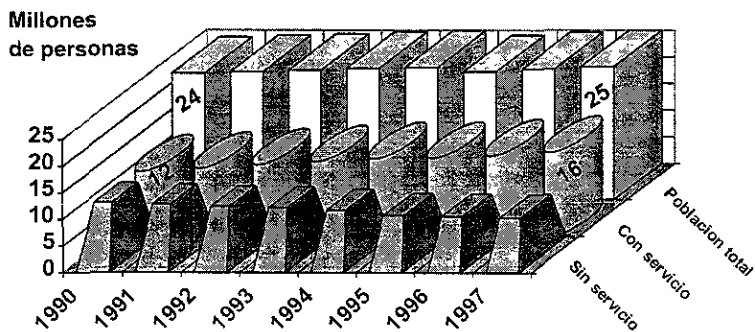
Para ese mismo año, 1991, la población rural del país ascendía a 24 millones de habitantes; de estos el 50%, 12 millones, contaban con servicio de agua potable, cifra superada en 1997 en 4 puntos porcentuales, que representa un total de 16 millones de personas atendidas con servicio de agua potable, tal como se puede observar en la Gráfica 4.

**Gráfica 3. Caudal de agua suministrada y desinfectada en el país 1991-1997**



Fuente: Comisión Nacional del Agua. Situación del subsector agua potable alcantarillado y saneamiento a diciembre de 1997 (5)

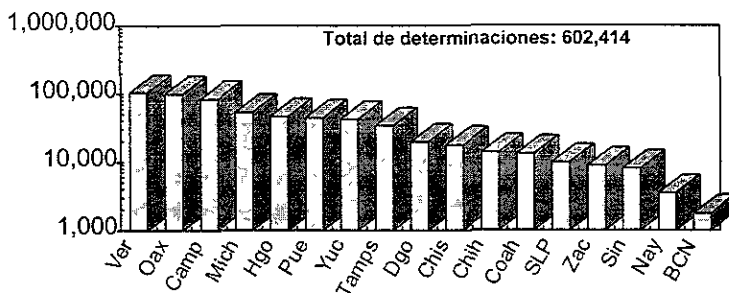
**Gráfica 4. Población rural atendida con los sistemas de agua potable 1990-1997**



Fuente: Comisión Nacional del Agua. Situación del subsector agua potable alcantarillado y saneamiento a diciembre de 1997 (5)

⇒ Como se puede constatar en la Gráfica 5, las determinaciones de cloro residual fueron para 1997 de 602,414 (5); los estados con el mayor número de determinaciones realizadas fueron Veracruz, Oaxaca y Campeche.

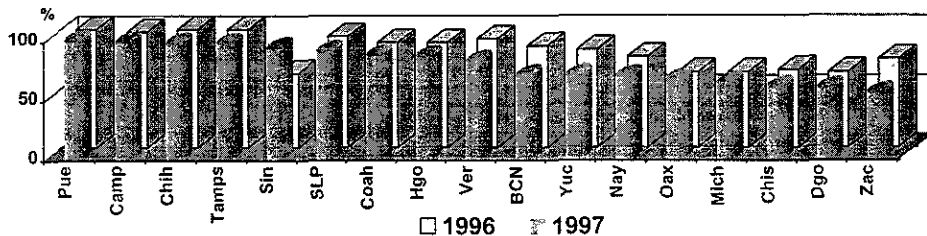
**Gráfica 5. Determinaciones de cloro residual realizadas en los estados donde opera el Programa IMSS-Solidaridad**



Fuente: Secretaría de salud, Boletín de salud ambiental Vol 1 No 7 1997 (18)

⇒ El porcentaje de determinaciones con la presencia del cloro residual aumentó en relación a 1996, destacando los estados de Puebla, Campeche, Chihuahua, Tamaulipas y Sinaloa, como se puede apreciar en la Gráfica 6.

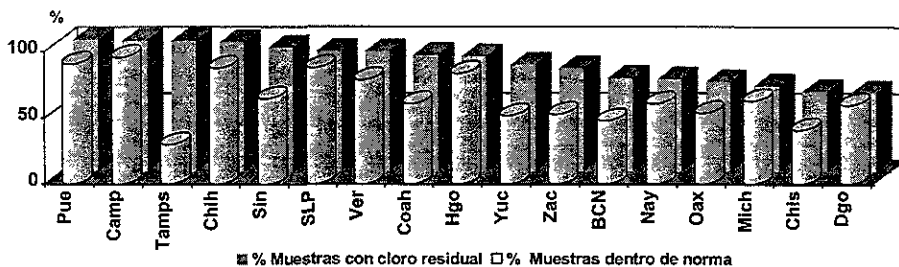
**Gráfica 6. Porcentaje de determinaciones de cloro residual en los estados donde opera el Programa IMSS-Solidaridad, periodo 1996-1997**



Fuente: Secretaría de salud, Boletín de salud ambiental Vol 1 No 7, 1997 (18)

⇒ Gran parte de las determinaciones de cloro residual realizadas se encontraban dentro de la norma establecida para el tratamiento de agua; 0.2 - 15 ppm de cloro residual NOM-127-SSA1 Salud ambiental, agua para uso y consumo humano - Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización del Diario Oficial del Jueves 18 de enero de 1996, destacando nuevamente los estados de Puebla y Campeche, como se puede observar en la Gráfica 7.

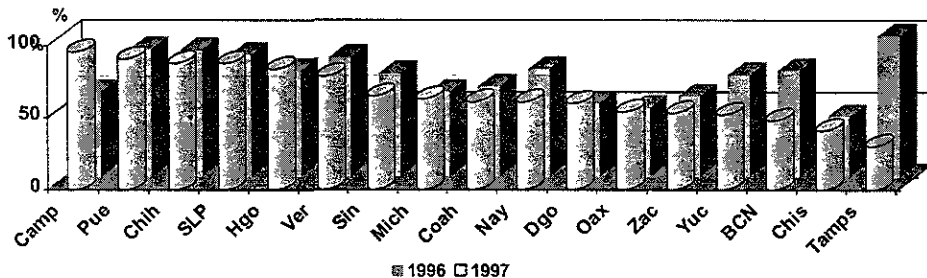
**Gráfica 7. Monitoreo de agua, porcentaje de determinaciones con presencia de cloro residual libre, 1997**



Fuente: Secretana de salud, Boletín de salud ambiental Vol 1 No 7, 1997 (18)

⇒ El porcentaje de determinaciones para conocer el cloro residual dentro de la Norma aunque disminuyó en 1997 en relación a 1996, se continuo realizando intensamente tal como lo ilustra la Gráfica 8; destacando los estados de Campeche, Puebla, Chihuahua, San Luis Potosí, Veracruz y Sinaloa.

**Gráfica 8. Porcentaje de determinaciones en agua con presencia de cloro residual dentro de norma, 1996-1997**

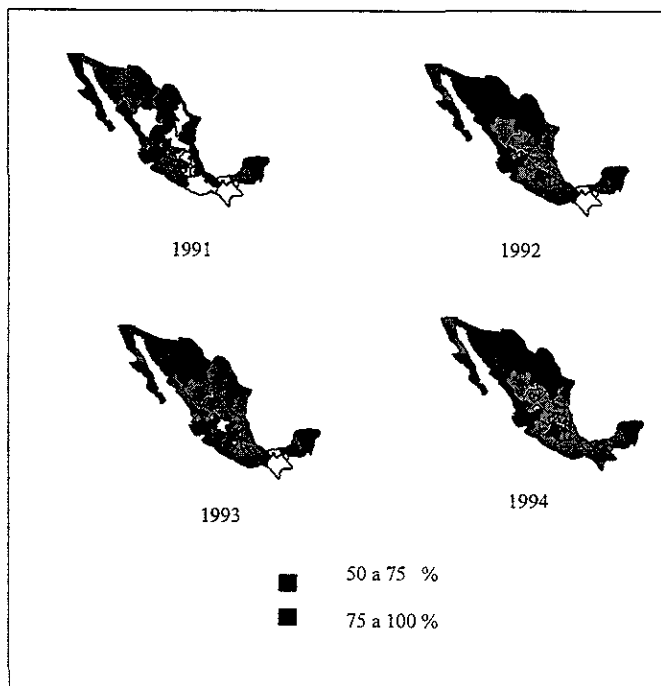


Fuente: Secretana de salud, Boletín de salud ambiental Vol 1 No 7, 1997 (18)



⇒ El porcentaje de la población con agua clorada aumento a partir de 1991 y para 1994 la mayor parte de la población del 75 al 100% del país cloraba su agua que consumía destacando los estados del Sureste como Chiapas, tal aseveración es ilustrada en la Figura 1.

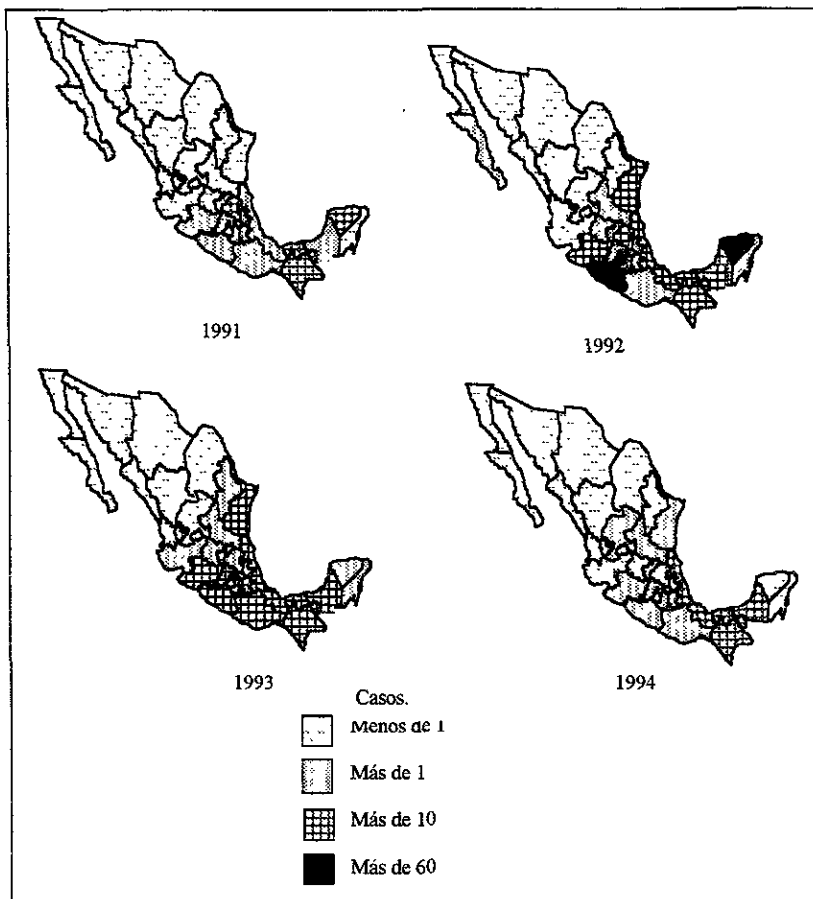
**Figura 1. Porcentaje de la población que contaba con agua clorada, 1991 - 1994**



Fuente: Secretana de salud, Boletín de salud ambiental. Vol. 1 No. 7, 1997 (18)

Cómo se puede constar en la Figura 2, el número de casos de Colera disminuyó significativamente en la clasificación de más de 10 casos para 1994, en relación a los reportados en 1992.

Figura 2. Comportamiento del Cólera\* en el país a partir de 1991



\* Casos por cada 100,000 habitantes

Fuente: Comisión Nacional del Agua. Programa Agua Limpia. Avances y Perspectivas. 1991-1994 (4)

- ⇒ A nivel nacional incluyendo los 17 estados donde opera el Programa, fue implementado un programa permanente de monitoreo para determinar la calidad del agua y la concentración de cloro residual, tanto en las fuentes de abastecimiento como en las redes de distribución, con la supervisión y asesoría de las Comisiones Estatales de Agua Potable y Alcantarillado dependientes de la Comisión Nacional del Agua.
- ⇒ Para 1994, el programa de monitoreo implementado por la Comisión Nacional del Agua, alcanzó una cobertura de 6,032 localidades en las cuales se realizaron mensualmente más de 111 mil determinaciones de cloro residual, así como más de 7,700 muestreos.
- ⇒ Fueron implementadas a nivel nacional incluidas las entidades donde opera el Programa IMSS-Solidaridad, formas de desinfectar alternativas al uso del cloro tal como la aplicación de la plata coloidal.
- ⇒ La tasa de mortalidad por enfermedad diarreica incluyendo la registrada en IMSS-Solidaridad, en niños menores de cinco años, disminuyó; para 1990 la tasa fue de 137.4 por cada 100 mil niños de este grupo de edad, para 1992 se redujo a 67.4 con un decremento del 50.9%. Para 1993 la tasa se redujo a 60.4 con un decremento de 56% con respecto a la tasa de 1990. Para 1994 la tasa se redujo en un 65% con respecto al mismo año comparativo 1990 (4)

Lo anterior significa reducción en el número de defunciones en menores de cinco años; para 1990 se tenían más de 14,000 muertes mientras que para 1993 se tenían 6,500 muertes. Los registros para el primer trimestre de 1994 señalan 2,355 casos (4).

Se estima que entre 1983 y 1993, las medidas de combate a las enfermedades diarreicas evitaron más de 100 mil defunciones (4).

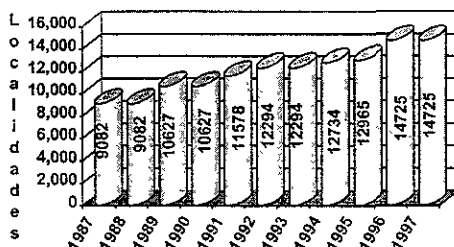
## **B) TRATAMIENTO DEL AGUA EN EL PROGRAMA IMSS-SOLIDARIDAD**

El apoyo para el almacenamiento, distribución y tratamiento del agua con cloro u otro producto, en comunidades rurales con poca población, donde opera el Programa IMSS-Solidaridad, invitan a utilizar procedimientos sencillos, pero eficaces con resultados satisfactorios en beneficio de la salud

La política permanente del Programa IMSS-Solidaridad, consiste en apoyar a los grupos más marginados del país y mejorar su calidad de vida; para cumplir con tal encomienda, cuenta con múltiples recursos humanos e infraestructura para realizar las acciones encaminadas a la desinfección del agua.

Atendía como su universo de trabajo para 1997 a 10.9 millones de habitantes, que representaba el 62% de la población rural para ese año (17.5 millones), distribuidos en 14,725 localidades que representa el 7% del total de localidades en el país para ese año comprendidas de 500 a 2500 habitantes (198,311). Tal cantidad (14 mil comunidades), representa un crecimiento del 150% respecto a 1987, año en el que se atendían tan sólo a 9082 localidades rurales como se puede apreciar en la Gráfica 9.

**Gráfica 9. Localidades beneficiadas en el Programa IMSS – Solidaridad**



Fuente: Programa IMSS-Solidaridad/Sistema Único de Información (17)

Lo anterior se tradujo en haber atendido a 1774 municipios y se apoyó de 3,539 Unidades Médicas Rurales y 68 Hospitales Rurales distribuidos en 17 estados a lo largo del territorio nacional; Baja California Norte, Sinaloa, Chihuahua, Durango, Coahuila, Zacatecas, Nayarit, San Luis Potosí, Tamaulipas, Puebla, Hidalgo, Michoacán, Veracruz, Oaxaca, Chiapas, Campeche, y Yucatán, donde se le ofrece a la población además de la atención, información referente al tratamiento del agua por medio de diversas técnicas de información educación y comunicación, tales como pláticas, cursos, videos, etc., 3,500 equipos de salud compuestos por un médico pasante y una enfermera auxiliar, 42 Supervisores de Acción Comunitaria y cerca de 400 Promotores de Acción Comunitaria.

Por su parte, el reforzamiento de estas acciones se realizó por personal comunitario adscrito al Programa, véase Tabla 2; constituido para 1997 por 10,251 Asistentes Rurales de Salud, 14,888 Comités de salud y 121,336 Promotores Sociales Voluntarios, que forman parte de las mismas comunidades donde opera el Programa. Este personal también es capacitado constantemente para llevar los mensajes de salud que año con año son implementados o retomamos. La demanda creciente de servicios por parte de la población rural indígena y campesina justifica el crecimiento tanto de infraestructura (Unidades Médicas como de hospitales) como de recursos humanos (Asistentes Rurales de Salud, Comités de salud y Promotores sociales voluntarios).

**Tabla 2. Población y municipios atendidos por el Programa IMSS- Solidaridad e infraestructura y personal comunitario de apoyo**

Año	Población	Municipios	Unidades Médicas Rurales	Hospitales Rurales	Asistentes Rurales de Salud	Comités de Salud	Promotores Sociales Voluntarios
1987	10,085,072	1758	2404	50	2832	8789	49633
1988	9,964,687	1758	2323	51	3645	8463	47291
1989	9,809,272	1758	2666	52	2329	8436	46873
1990	10,086,228	1758	3075	53	2255	9421	55731
1991	10,538,332	1775	3249	54	3165	11277	70260
1992	10,954,739	1791	3316	54	4771	12172	82061
1993	10,454,454	1774	3348	57	6062	12552	13636
1994	10,230,987	1774	3374	62	7073	12596	100,384
1995	10,540,050	1774	3441	66	9212	13663	116,172
1996	11,038,703	1774	3539	68	10522	14911	121379
1997	10,902,353	1774	3539	68	10251	14888	121,336
Media	10,418,625.1	1769	3115	57	5647	11560	74,977

Fuente: Programa IMSS-Solidaridad, Sistema Único de información (17)

A través de esta estructura institucional y comunitaria se promovió el uso de una serie de tecnologías de bajo costo, como la incorporación de dispositivos para la confinación de las excretas, la ebullición del agua, la filtración y la **desinfección** de ésta con productos químicos como el **cloro y plata coloidal** y la **instalación de equipos cloradores: rústicos, hidráulicos y eléctricos**. Tal personal selecciona a las familias o comunidades a ser beneficiadas, en donde con los recursos económicos aportados por el programa o de otra índole, son realizadas obras tendientes a mejorar el suministro de agua y la adquisición y puesta en operación de equipos de tratamiento de agua.

Los sistemas de abastecimiento de agua implementados en el Programa IMSS – Solidaridad con aportaciones tanto de la institución como de las propias comunidades a través de las presidencias municipales, se indican en el Tabla 3; se puede observar que a partir de 1990 y hasta 1998 se contaba ya con 1,186 y 519 fuentes de abastecimiento de agua respectivamente, invirtiendo para ello la cantidad de 27.38 millones de pesos, en donde las comunidades beneficiadas aportaron el 41% (11.10 millones) de estos recursos, beneficiando en total a 423,606 familias de 6,888 localidades.

**Tabla 3. Evolución en la instalación de equipos y aportaciones en el Programa IMSS-Solidaridad para el tratamiento del agua**

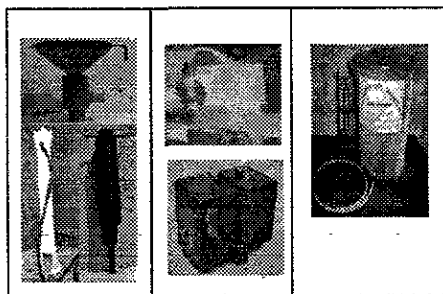
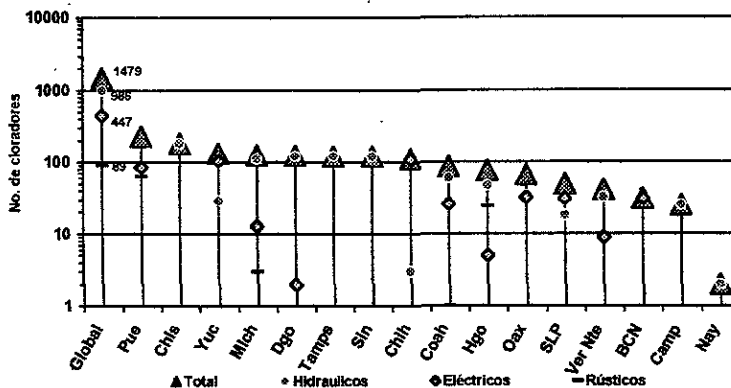
Año	Número			Aportación				Localidades Beneficiadas	Familias Beneficiadas
	Rehabilitaciones	Fuentes	Cloradores	Pronasol	IMSS - Solidaridad	Comunidad	Total		
1990	152	84	0	487,800		448,397	936,197	132	15,085
1991	309	37	0	809,697		948,930	1,758,627	125	16,079
1992	329	59	0	1,000,000		1,247,296	2,247,296	149	14,338
1993	138	51	62	956,700		1,079,335	2,036,035	149	14,338
1995	514	269	132		1,410,000	1,185,695	2,595,695	3,772	47,930
1996	53	7	123		795,288	535,302	1,330,590	595	94,950
1997	438	12	400		4,965,581	2,310,160	7,275,741	976	101,960
1998			469		5,860,526	3,346,794	9,207,320	990	118,926
<b>Total</b>	<b>1,933</b>	<b>519</b>	<b>1,186</b>	<b>3,254,197</b>	<b>13,031,395</b>	<b>11,101,909</b>	<b>27,387,501</b>	<b>6,888</b>	<b>423,606</b>

Fuente: Programa IMSS-Solidaridad, Sistema Único de Información (17)

Para apoyar a la población amparada por el Programa IMSS-Solidaridad en materia de desinfección de agua fueron otorgados recursos económicos para el suministro, instalación y puesta en operación de 1,479 equipos en el periodo comprendido entre 1995 a 1997, de los cuales, el 67% de ellos (986) fueron del tipo hidráulico, 30% (447) eléctricos y el 6% (89) restante rústicos, como lo muestra la Gráfica 10, observe abajo de la Gráfica los equipos a que se hace referencia. En esta Gráfica, se puede observar cuales fueron los estados que tuvieron mayor número de dispositivos en operación para el tratamiento del agua, tal es el caso de Puebla que además de estar a la delantera en el total de equipos instalados (250), ocupó el primer lugar en equipos rústicos (60), le siguieron los estados de Michoacán, Coahuila e Hidalgo en equipos instalados.

Los equipos hidráulicos de tratamiento de agua con cloro, fueron instalados en 16 estados donde opera el Programa, siendo la cifra mayor que 20 excepto Chihuahua y Nayant del periodo comprendido de 1995 – 1997, Gráfica 10. En 9 estados; esto es, Puebla, Yucatán, Chihuahua, Coahuila, Oaxaca, San Luis Potosí, Veracruz Norte y Baja California tenían en operación entre 20 y 100 equipos eléctricos.

**Gráfica 10. Cloradores instalados en el programa IMSS - Solidaridad periodo 1995 - 1997**

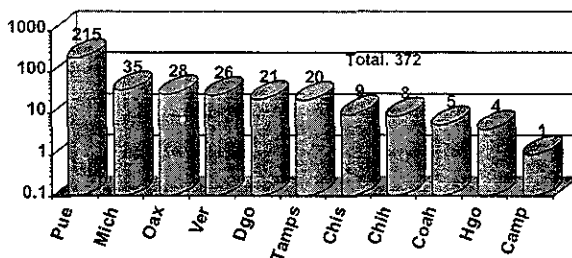


Fuente: Programa IMSS-Solidaridad, Sistema Único de Información (17)

Por su parte, en 1998 fueron instalados 372 dispositivos de cloración tanto hidráulicos, eléctricos y rústicos, en 11 estados de la República Mexicana, Gráfica 11; la mayor parte de ellos como en el caso anterior se encontraban en el estado de Puebla.

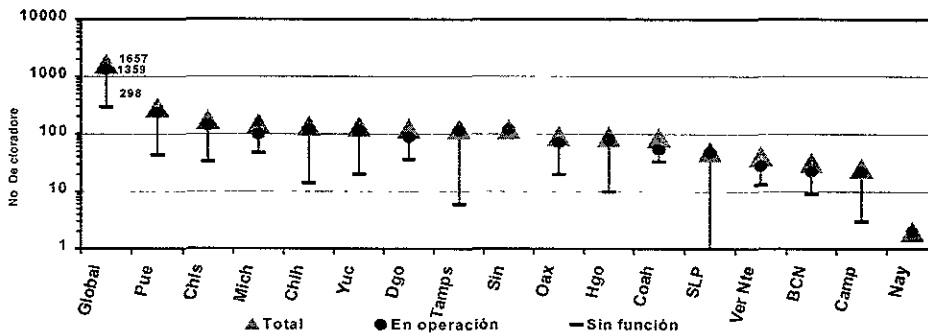
Realizando un diagnóstico sobre los cloradores (como los observados anteriormente) para este año 1998, del total de cloradores instalados, esto es, de 1,657 equipos, tan sólo el 18% (298) no se encontraban en operación, Gráfica 12, entre otros motivos por descompostura, escasez de refacciones y falta de producto químico.

Gráfica 11. Cloradores instalados en el programa IMSS-Solidaridad, 1998



Fuente Programa IMSS-Solidaridad, Sistema Único de Información (17)

Gráfica 12. Diagnóstico de los cloradores instalados en el Programa IMSS-Solidaridad 1998

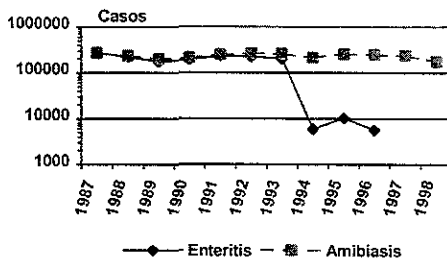


Fuente Programa IMSS-Solidaridad, Sistema Único de Información (17)

Acompañado a la instalación de cloradores y con la finalidad de reforzar las actividades en materia de tratamiento de agua en las comunidades atendidas por el Programa IMSS-Solidaridad fueron realizadas las siguiente actividades:

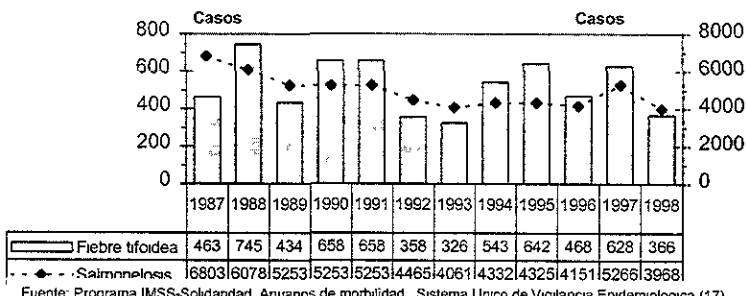
- ⇒ A nivel de escritorio, fue registrada y graficada la morbilidad de los padecimientos asociados al agua entre la población que ampara el Programa IMSS-Solidaridad, desprendiéndose lo siguiente:
- ⇒ El número de casos de enfermedades gastrointestinales causados por microorganismos patógenos se redujo a partir de 1987 y fue más notorio a partir de la introducción de los equipos de tratamiento de agua al Programa en 1995. En la Gráfica 13, se aprecia una clara disminución en el número de casos a partir del año de 1993 en Enteritis, mientras que el número de casos reportados de Ambiasis se ha presentado un comportamiento de ascenso y descenso en forma ligera. Fenómeno similar fue observado en enfermedades asociadas al deficiente tratamiento del agua tal es el caso de la Fiebre tifoidea, véase Gráfica 14, que a pesar haber tenido repuntes en los años de 1988, 1990, 1991, 1995 y 1997 también se han tenido años con disminuciones notorias en el número de casos. Para el caso de la Salmonelosis el número de casos ha decrecido en forma paulatina a excepción del año de 1997 donde se reportaron 5266 casos, como es mostrado en la Gráfica 14

**Gráfica 13. Comportamiento de casos en Enteritis y Amibiasis, 1987-1998**



Fuente: Programa IMSS-Solidaridad, Anuarios de morbilidad, Sistema Único de Vigilancia Epidemiológica (17)

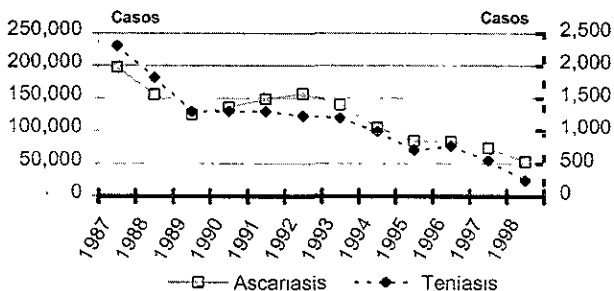
**Gráfica 14. Comportamiento de casos de Fiebre tifoidea y Salmonellosis, 1987 - 1998**



Fuente: Programa IMSS-Solidaridad, Anuarios de morbilidad, Sistema Único de Vigilancia Epidemiológica (17)

⇒ Enfermedades como Ascariasis y la Teniasis tuvieron un franco descenso en el número de casos a partir de 1987, con una etapa de permanencia en los años comprendidos entre 1990 a 1993, tal como se puede apreciar en la Gráfica 15.

**Gráfica 15. Comportamiento de los casos reportados en Ascariasis y Teniasis 1987 - 1998**

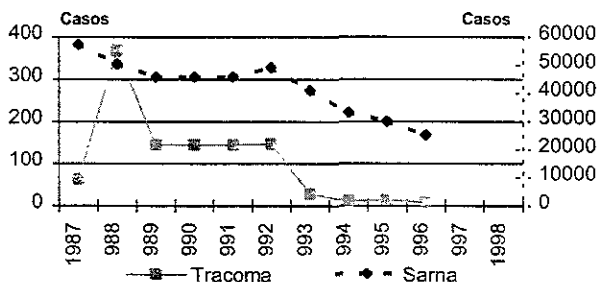


Fuente: Programa IMSS-Solidaridad, Anuarios de morbilidad, Sistema Único de Vigilancia Epidemiológica (17)



⇒ La Sarna y Tracoma, enfermedades de la piel y los ojos asociadas al mal saneamiento básico en el tratamiento del agua y la higiene personal, presentaron comportamientos notablemente descendentes, después de haberse mantenido los casos a partir de 1989 y hasta 1992, lográndose disminuir a partir de 1993, tal como se aprecia en la Gráfica 16.

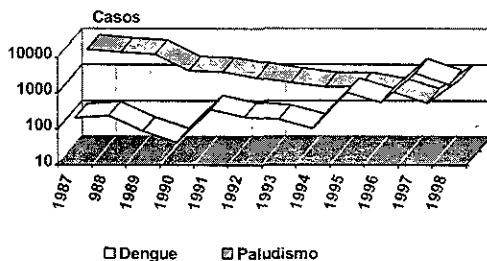
**Gráfica 16. Comportamiento de los casos reportados en Tracoma y Sarna 1987 - 1998**



Fuente Programa IMSS-Solidaridad, Anuarios de morbilidad, Sistema Único de Vigilancia Epidemiológica (17)

⇒ Respecto al Dengue y Paludismo (donde las formas larvarias habitan el agua), han tenido un comportamiento variante puesto que mientras se ha dado un ascenso en el número de casos reportados en Dengue, en Paludismo y a pesar de las terribles lluvias que azotan al país en el Sureste mexicano, el número de casos ha disminuido, como se puede apreciar en la Gráfica 17.

**Gráfica 17. Comportamiento de los casos reportados en Dengue y Paludismo 1987 - 1998**



Fuente Programa IMSS-Solidaridad, Anuarios de morbilidad, Sistema Único de Vigilancia Epidemiológica (17)

⇒ En 1991, la tasa de diarreas en la población amparada por el Programa IMSS-Solidaridad, fue de 2363 solidariorhábientes, mientras que para 1998 se observó un descenso porcentual de 32 puntos con una tasa de 1614 por 100 mil solidariorhábientes (17). Para reducir la incidencia de enfermedades diarreicas en los menores de cinco años, fueron instalados Centros de Rehidratación Oral lográndose una cobertura del 99% de tratamientos de diarreas con hidratación oral (17). En 1991 se presentaron 557 casos de Cólera en IMSS-Solidaridad, con una incidencia de 5.4 por 100 mil solidariorhábientes y una letalidad de 7 por cada 100 casos, por lo que a partir de 1996 fue aplicado el Plan emergente para el control y prevención

del Cólera, por lo que se logró mantener este padecimiento en control epidemiológico, lográndose incluso disminuir la letalidad por debajo del 1% (16).

- ⇒ Los gobiernos de los estados y municipios, así como los organismos operadores como la Secretaría de Salud y las representaciones estatales de la Comisión Nacional del Agua, organismo rector en el tratamiento del agua en el país, realizaron actividades coordinadas con el Programa en la desinfección del agua con cloro u otro producto desinfectante.
- ⇒ En lugares donde no se contaba con los sistemas de tratamiento de agua convencionales, como el uso de equipos eléctricos o hidráulicos, se recurrió a la instalación de 89 dispositivos rústicos como el de la Figura 4, utilizando como desinfectantes los hipoclorito de sodio o calcio. Asimismo, estas sustancias fueron aplicadas en forma directa a los cuerpos de agua, cuando fue requerido.
- ⇒ Junto con la instalación de los equipos de desinfección, se procuró suministrar los reactivos químicos y/o refacciones necesarias para iniciar su operación continua y mantenimiento.
- ⇒ Las acciones anteriores se complementaron con capacitación e intercambio de experiencias para el manejo, instalación y conservación de los diferentes sistemas de desinfección; para ello fueron realizados 3 cursos durante el último cuatrimestre de 1995. Tales eventos se llevaron a cabo en tres regiones de la República Mexicana, teniendo como sedes a los estados de Oaxaca, San Luis Potosí y el estado de Hidalgo, presentado el taller teórico-práctico "La cloración como un método de desinfección de agua", que se describe más adelante en el Anexo 3 "Tratamiento del agua con cloro", el cual se dio al 14% (60) del total (442) de los supervisores y promotores de acción comunitaria.
- ⇒ A nivel familiar, a las familias que atiende el Programa, se les indicó que el cloro que utilizan para la ropa puede emplearse para desinfectar el agua, adicionando dos gotas de los productos por cada litro de agua; que representa estar dosificando a una concentración de 3 partes por millón (o 3 miligramos por litro), y en donde se les mencionó también que en ocasiones habría que agregarle incluso el doble de gotas si el agua a desinfectar estaba muy turbia. Cuando se requirió tratar mayores volúmenes de agua, el personal encargado, determinó el agua a tratar, en las comunidades. Conocido el volumen de agua (calculado de acuerdo a la figura geométrica del recipiente que contenga el agua: cilíndrica, cúbica, rectangular), se aplicó una sencilla regla de tres tomando como base dos gotas de cloro por cada litro de agua o se utilizó la siguiente fórmula que permitió determinar con precisión la cantidad de cloro a ser adicionado; para ello fue necesario conocer además la concentración inicial del producto (%), para realizar el tratamiento ya sea con cloro sólido o líquido y la dosis, en partes por millón (ppm) <en promedio entre 2 y 3 >, a la cual sería desinfectada el agua. Tal fórmula fue la siguiente:

$$\frac{\text{mililitros o gramos de cloro a ser adicionados}}{\text{de cloro a ser adicionados}} = \frac{\text{ppm} \times V}{\% \times 10}$$

Donde:

ppm = Dosis a la cual va ser tratada el agua a desinfectar en partes por millón o miligramos por litro,

V = Volumen de agua a tratar, litros;

% = Concentración inicial del producto (p/p o p/v).

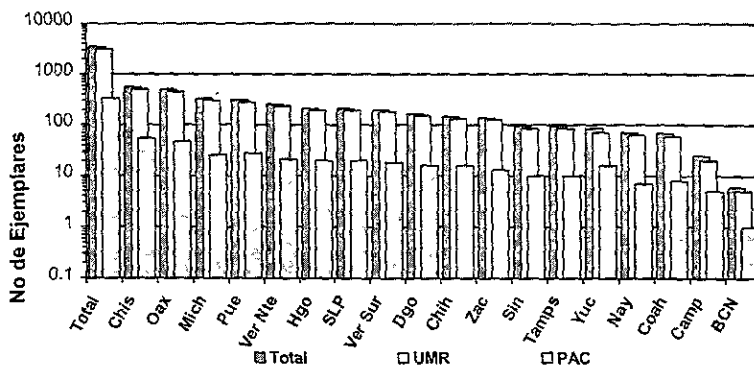
10 = Constante que permite obtener el resultado en mililitros o gramos de cloro, de acuerdo a la presentación del producto (sólido o líquido) Un gramo  $\cong$  1 mililitro, por la densidad del cloro sólido que es de 1.07 g/ml y del líquido 0.90 g/ml

- ⇒ Por su efectividad y la aceptación de las comunidades por sus cualidades organolépticas de no dejar sabor y el olor en el agua, fue incorporada la plata coloidal para la desinfección de esta, a las familias de las localidades, se les indicó al igual que con el cloro, aplicar 1 a 2 gotas por cada dos litros de agua, lo que representó dosificar a una concentración de entre 90 a 180 partes por billón (ppb) o microgramos por litro ( $\mu\text{g/l}$ ), que permite obtener una buena eficiencia germicida y evitar posibles riesgos en el uso excesivo de este producto.
- ⇒ En algunos estados como Hidalgo, Puebla y Yucatán fueron implementados dispositivos rústicos para el tratamiento del agua con cloro descritos en el Anexo 1 "Equipos utilizados en el Programa IMSS-Solidaridad para el tratamiento del agua".
- ⇒ Por su parte, en el ámbito comunitario, fueron implementados dispositivos de cloración hidráulicos, eléctricos y rústicos para el tratamiento de agua, como los que se describen en el Anexo 1.
- ⇒ Para determinar la calidad microbiológica del agua, fueron aplicados dos procedimientos:
 

Se determino la presencia de cloro residual en el agua que fue desinfectada, utilizando los equipos mostrados en las Figuras 10, 11 y 12, del Anexo 2. Se tiene establecido, que a concentraciones por arriba de 0.2 partes por millón de cloro residual presente en el agua tratada con este producto, se logran destruir a la mayoría de organismos patógenos, como esta establecido en la Norma (NOM-127-SSA1-1996).

Fueron realizados análisis microbiológicos para detectar la contaminación fecal en el agua, utilizando el método de filtración por membrana, descrito en el Anexo 3, en el punto 3.2.3. Métodos indicadores de contaminación fecal y su relación con la eficiencia de la desinfección del agua utilizando cloro.
- ⇒ Los monitoreos para determinar la presencia del cloro residual en el agua, fueron realizados a nivel familiar en los recipientes de agua clorada y a nivel comunitario en diferentes puntos de las redes de distribución, al inicio, en alguna ramificación y al final de estas.
- ⇒ Se verificaron entre las familias beneficiadas, los procedimientos que utilizaron para tratar su agua tales como la ebullición, cloración, y plata coloidal.
- ⇒ El convencimiento de la población de hervir o clorar el agua, fue resultado de las actividades de promoción de la salud, consistentes en elaborar en el Programa IMSS-Solidaridad documentos didácticos de apoyo, a través de los cuales las comunidades fueron orientadas sobre los procedimientos a seguir y los métodos a utilizar para desinfectar el agua que consumirían. Uno de estos documentos, fue el rotafolio titulado "Importancia del agua", donde fueron entregados un total de 3,450 ejemplares: 3113 a las Unidades Médicas Rurales (UMR) y 337 fueron entregados a los Promotores de Acción Comunitaria (PAC), Gráfica 18.
- ⇒ Tal rotafolio describe las actividades de promoción a la salud por el personal que labora en el Programa y el personal comunitario para el tratamiento del agua indicados en la Figura 3 A, 3B y 3C.

Gráfica 18. Distribución del rotafolio "Importancia del agua "



UMR= Unidad Médica Rural; PAC= Promotor de Acción Comunitaria  
Fuente: Programa IMSS-Solidandad, Sistema Unico de Información (17)

Figura 3A Vigilancia y cuidado del agua

<p><b>VIGILANCIA Y CUIDADO DEL AGUA</b> Hervido</p>	<p>En las comunidades rurales el método más utilizado para desinfectar el agua es la ebullición; sin embargo, la escasez cada vez más marcada para conseguir leña en estos lugares ocasiona dificultad para realizar este tratamiento.</p>
<p><b>CLORACION CON CLORO LÍQUIDO</b></p>	<p>Como alternativa a la desinfección familiar se ha propuesto el uso de cloro líquido, de fácil manejo, acceso y aplicación</p> <p>Para realizar el tratamiento de desinfección con cualquiera de estos productos comerciales, cuyas concentraciones oscilan de entre 4.5 y 6.0 por ciento (V/V), y asegurar el agua de calidad para el consumo humano, son adicionadas dos gotas de cualquiera de estos productos por cada litro de agua a desinfectar.</p>
<p><b>DOS GOTAS POR LITRO</b></p>	<p>Lo anterior implica estar realizando un tratamiento de 6 partes por millón a partir de estos productos concentrados</p>

Figura 3B. Vigilancia y cuidado del agua

**CLORACION CON CLORO SÓLIDO**




**CLORACION CON CLORO SÓLIDO (Mánantiales)**



**Utilizar una tapa de refresco**



TAPA		
6	DESINFECTA	500 LITROS
3	DESINFECTA	1000 LITROS
1.5	DESINFECTA	1000 LITROS

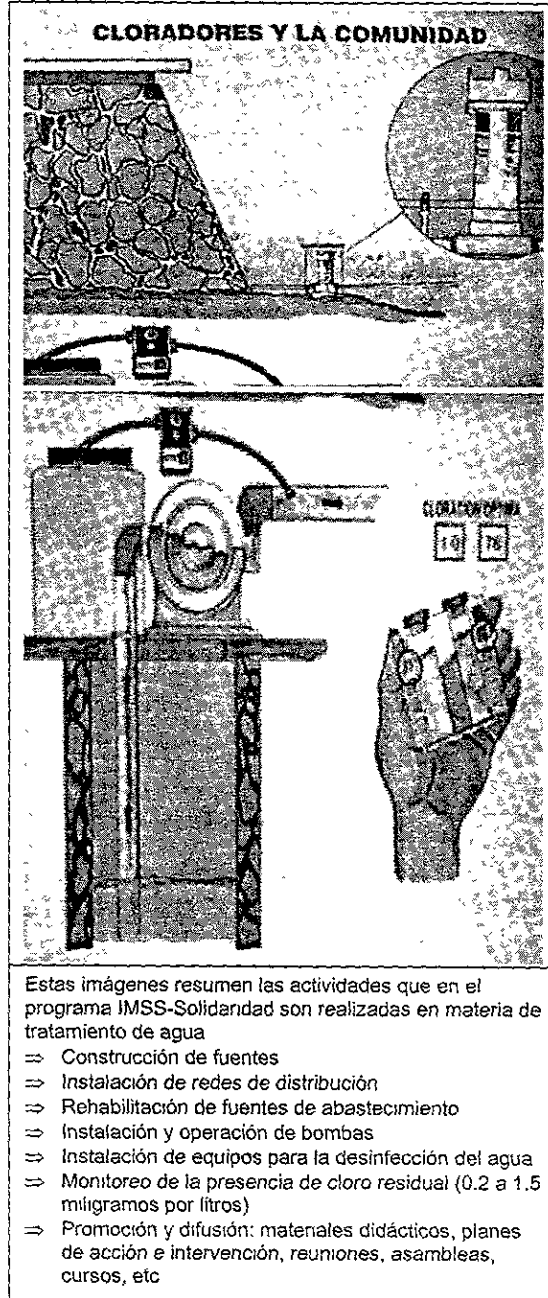
Para realizar el tratamiento de agua, también se puede realizar con cloro sólido (hipoclorito de calcio), el cual se encuentra regularmente a una concentración del 65% (p/p).

Se prepara una solución al 1% de concentración a partir del producto concentrado (65%), para posteriormente aplicar 12 gotas por cada litro lo que significa estar tratando a una razón de 6 partes por millón.

El cloro sólido regularmente encuentra su aplicación en volúmenes de agua superiores a medio metro cúbico (500 litros). La presentación de este producto es frecuentemente en cuñetes o bolsas de pastillas de 7 gramos cada una.

A nivel comunitario se pueden realizar la desinfección del agua utilizando como unidades de medida utensilios con los que se tenga al alcance tal es el caso de las corcholatas de refresco, como es ilustrado arriba. Aquí se indica que para tratar por ejemplo 1000 litros de agua basta adicionar una taparosca de cloro sólido (hipoclorito de calcio al 65%) a esté volumen; esto implica estar dosificando a una dosis de 1.5 partes por millón.

Figura 3C. Vigilancia y cuidado del agua



Norte y Chiapas que no lograron apegarse al rango de cloro residual permisible indicado en la norma, y cuyo número de determinaciones fue inferior a 10,000 en algunas de estas, como Nayarit y Baja California Norte.

- ⇒ En la parte centro y sur del país, el porcentaje con agua clorada de la población era del 50 – 75% y del 75 a 100% en la parte norte de la república, regiones donde son incluidas las entidades federativas que componen el Programa IMSS-Solidaridad (17).
- ⇒ Analizando el comportamiento de los padecimientos descritos en este trabajo, las enfermedades bacterianas como el Cólera, Salmonelosis y Enteritis han tenido un importante descenso, quizás atribuible al cloro y por ser más efectivo sobre esos organismos; sin embargo, en otros padecimientos como la Amibiasis, Ascariasis y Teniasis, que son originados por organismos más complejos y difíciles de eliminar, el cloro aunque cumplió su función, al lograr por menos que no aumentara en el número de casos, las acciones en el tratamiento del agua deben ir acompañadas hacia la higiene personal y de los alimentos, fuentes potenciales de contaminación y vigilarse a los grupos más vulnerables como son los niños y los ancianos.
- ⇒ La introducción de los sistemas de tratamiento del agua empezó a dar resultados importantes; el caso más notable lo representa la disminución tan marcada en el número de casos de cólera.
- ⇒ La participación cada vez más creciente en el número de familias participantes en el cuidado del agua, contribuyó sustancialmente a disminuir los padecimientos antes descritos, ya que se logró pasar del 38 % en 1987 al 94 % en 1998, aumentando casi en forma proporcional esta participación para disponer adecuadamente de las excretas humanas, fuente importante de contaminación del agua, pasando de un 34 % en 1987 a un 85 % en 1998 (17).
- ⇒ La técnica de la filtración por membrana, descrita en el Anexo 3, fue sofisticada y costosa, pues fue necesario contar con un laboratorio para realizar los análisis. Los resultados aplicando tal método, después de varios días, disminuyó el uso de esa técnica para determinar la calidad del agua, por lo que se optó por utilizar el monitoreo de cloro residual.
- ⇒ Después de la realización de los cursos, la inversión económica de los estados fue mayor, la cual se destinó a la compra de equipos y productos químicos, acompañados de programas de capacitación, elaboración de materiales didácticos y se dio un mayor acercamiento con los organismos operadores, organizaciones no gubernamentales y empresas privadas.
- ⇒ De los productos de cloro, el sólido en pastillas o granulado ha tenido mayor aceptación y es más operativo sobre el cloro líquido, a pesar de que este último se encuentra en prácticamente cualquier tienda rural incluidas las más apartadas y lejanas hasta 5 horas del camino más próximo a la carretera y aunque el primero es importado resulta menos difícil su aplicación y ha sido adaptado a los equipos de tratamiento de agua utilizados, de modo que resulta más fácil agregar una pastilla, media, una cuarta parte o una pizca a un depósito de agua a determinar y medir el cloro líquido.

## 5.0. CONCLUSIONES

Las observaciones realizadas en el tratamiento del agua, los monitoreos de cloro residual llevados a cabo y las entrevistas tenidas con el personal que se encarga de esta actividad en los estados donde opera el Programa IMSS-Solidaridad, me permitieron constatar las acciones realizadas en el tratamiento del agua en esta dependencia y contrastarlos con los resultados obtenidos en el escrutinio, que me llevaron a las siguientes conclusiones y hacer los comentarios y sugerencias vertidos en este trabajo y cumplir con los objetivos propuestos.

Los objetivos fueron cumplidos; fue descrita la problemática en el tratamiento de agua en el Programa e identificados los obstáculos que imitaron el tratamiento del agua: gran complejidad para dar atención a 10 millones de solidariohabitantes campesinos e indígenas, alta presencia de enfermedades gastrointestinales, alta dispersión y lejanía de localidades menores de 2500 habitantes, los niveles de la población en educación e higiene personal más bajos del país, comunidades con la mayor pobreza e incluso, gran diversidad cultural. No obstante lo anterior, fueron propuestas, implementadas y evaluadas las actividades encaminadas al tratamiento del agua, cuyos resultados, fueron satisfactorios, por los puntos que a continuación señalo.

- ☞ En las comunidades rurales como las que atiende el Programa IMSS-Solidaridad, donde la disponibilidad de servicios es escasa y el nivel educativo de la población es bajo, la implementación de tecnologías de fácil manejo y operación como los presentados en este documento, implicaron, por un lado, asegurar el éxito en la desinfección del agua y por el otro, reducir la dependencia hacia el manejo y operación de estas.
- ☞ Los conocimientos que fueron adquiridos por este proceso de reproducción en materia de tratamiento de agua en los diferentes niveles operativos que componen el Programa IMSS-Solidaridad, Supervisores y Promotores de Acción Comunitaria, Médicos y enfermeras, Grupos voluntarios y las mismas poblaciones que reciben el servicio, ha permitido plantear medidas tendientes a mejorar la calidad del agua y por ende las condiciones de salud de las poblaciones rurales, a pesar de los obstáculos que implica tratar con ellas, tal como los múltiples dialectos y disponibilidad para recibir la orientación educativa.
- ☞ El comportamiento que presentaron los padecimientos indicados en este trabajo y observados durante 12 años (1987-1998), lleva a suponer que la desinfección, y más con el cloro, ha contribuido enormemente a eliminar o reducir la morbilidad de trastornos tan explosivos como lo fue el Cólera; sin embargo, no se debe dejar toda responsabilidad a este producto, habrá que considerar otras causas que también influyen fuertemente para que exista o no la prevalencia de padecimientos, como son los hábitos y actitudes de la gente que recibe la atención. De lo anterior, se requiere continuar educando a las familias en riesgo y sin descuidar, definitivamente, el tratamiento del agua, ya sea con el cloro u otro producto alternativo
- ☞ El haber podido proporcionar agua de calidad microbiológica, disminuyó el número de casos en enfermedades endémicas asociadas al agua como la Enteritis, Amibiasis, Salmonelosis y epidémicas como Cólera, Dengue y Paludismo, no obstante la prevalencia que tuvieron padecimientos como la Amibiasis y Dengue en el período estudiado, 1987 – 1998
- ☞ La información contenida en este documento, ha permitido identificar los recursos tecnológicos disponibles para realizar las acciones encaminadas a la desinfección del agua; a nivel familiar, se pueden realizar acciones tan simples como adicionar algunas gotas de cloro al agua destinada para beber, hasta el nivel comunitario, donde son utilizados equipos que tratan volúmenes considerables de agua donde son beneficiadas poblaciones tan grandes como 2500 habitantes, cuyos beneficios fueron reflejados en la disminución en la morbilidad de las enfermedades asociadas al agua, anteriormente expuestas y la reducción de gastos por concepto de hospitalización y traslado de personas afectadas.



- ☞ La cloración ha sido delimitada al nivel comunitario, por lo cual los equipos utilizados para realizar el tratamiento del agua fueron adecuados con esta tendencia. La escasez o importación de los componentes de los equipos de tratamiento dificultó la puesta en operación de estos, lo que llevó al abandono de algunos de ellos. Asimismo, el suministro oportuno de insumos aumentó la dificultad para operar estos dispositivos. De aquí fue identificada la necesidad de rehabilitar equipos de cloración y la importancia que representa su óptima operación.
- ☞ La tecnología por sí sola como la instalación de equipos eléctricos generadores de cloro y ozono como el de la Figura 9, en el lugar donde se coloquen, no basta para tener éxito en el tratamiento del agua por más eficiente y de vanguardia, ya que no siempre hay disposición de personal que entienda y realice las actividades de tratamiento, por requerir de tiempo y capacitación.
- ☞ La preferencia a ciertos productos como la detección del cloro por medio de pastillas del producto DPD, o la simple adición de cloro sólido a depósitos de agua, y donde no se requieren grandes conocimientos e inversiones de tiempo, serán las que marque el futuro de las presentaciones comerciales de cloro, tal como las pastillas efervescentes de este producto, que tratan volúmenes de 20 litros de agua a una dosis de 2 o 3 ppm.
- ☞ El producir el cloro en el lugar con equipos como el mostrado en la Figura 9, se encuentran en la fase más difícil en la implementación de una tecnología de esta naturaleza en las comunidades rurales, su aceptación por parte de los usuarios. Una problemática extra consiste en el uso de energía eléctrica para su operación y el apoyo con los insumos como la sosa y la sal y aunque se ha demostrado que es la forma más barata de producir el cloro y por tanto de realizar la desinfección, estos equipos no han sido plenamente apropiados en las comunidades. Por otro lado, se requiere dedicarles más tiempo para cuidarlos y realizar aportaciones económicas, por lo que en una comunidad estos factores aunque difíciles, son alcanzables.
- ☞ Los aparatos para detectar el cloro, aunque sencillos, fueron muy efectivos, cumpliendo su cometido, determinar la presencia y cantidad de cloro residual.
- ☞ El cloro a nivel comunitario continúa siendo el producto más utilizado por las siguientes razones; para el caso de los métodos físicos a ser utilizados a este nivel como la luz ultravioleta es necesario para aplicar este método remover los sólidos suspendidos y mantener limpia la lámpara para conservar un pico de producción de radiación, además el haz de luz sólo penetra unos cuantos milímetros a el agua a desinfectar, esto es, únicamente trata películas delgadas de agua. En relación a otros productos químicos como el ozono, este continúa siendo caro y no es residual, con el caso de la plata esta aún tiene inconvenientes los microorganismos pueden volver reactivarse cuando estos encuentran las condiciones adecuadas para hacerlo como cambiar de ambiente, es decir, del tanque de almacenamiento a la tubería donde la plata puede ser neutralizada por los compuestos de la tubería o por los sólidos presentes.
- ☞ La preferencia al uso de la plata en la acción de desinfección queda confinada no a su poder germicida sino a las características organolépticas dejadas al agua como son el de no transmitir sabor ni el olor, como lo hace el cloro cuando es aplicado a dosis superiores a 6 partes por millón.
- ☞ Se han involucrado más a los miembros de las comunidades en sus problemas de salud y aunque no cuentan con el nivel educativo para entender la complejidad que la cloración representa, saben identificar muy bien cuando el agua de sus comunidades está tratada por el simple hecho de observar un cambio de tonalidad cuando se agrega una sustancia (llamada

ortotolidina) al agua tratada con cloro, y reuniones o asambleas para identificar y dar solución a problemas de salud como el que enfrenta la desinfección del agua.

- ☞ La desinfección del agua con cloro ya ha sido aceptada entre el personal, se considera como parte habitual de las actividades a realizar en el saneamiento de agua; sin embargo, en las comunidades aun no se ha llevado a cabo al cien por ciento.
- ☞ La tendencia de los productos utilizadas para desinfectar el agua o para detectar el cloro residual apuntan hacia el uso de las tabletas, que son muy fáciles de manejar y vienen ya pesadas para tratar cierta cantidad de agua o detectar el cloro residual. Lo anterior se puede ejemplificar con la introducción al mercado de un producto comercial que aplica cloro en tabletas efervescentes para tratar 20 litros de agua a una concentración de 2 ppm. O el uso del producto DPD en pastillas para detectar el cloro residual. De modo que esta presentación en tabletas resulta muy conveniente en las comunidades, lo que se reducen los errores de cálculo, de medición, el uso de formulas, reglas de tres, uso de tablas, que resultan a veces muy complicadas por quien realiza las labores de tratamiento de agua en las comunidades rurales, con estas tabletas, prácticamente cualquier persona esta en la posibilidad de aplicar este producto. Con esto, el cloro nuevamente busca sea dirigido a tratar pequeños volúmenes de agua entre las familias beneficiadas, con lo que se podrá reducir el tiempo dedicado a esta labor, reducir los costos de operación en el consumo de energía eléctrica y desperdiciar menos producto al ser más específico el tratamiento, logrando con ello también menos daños al ambiente, sin embargo el enorme inconveniente aquí sería que las familias rurales lo pudieran llevar a cabo lo que resulta complicado a pesar de las labores de promoción que se hicieran.
- ☞ El método de filtración por membrana para determinar la presencia de organismos coliformes fue el más generalizado por presentar ventajas importantes sobre las otras dos, como la rapidez y facilidad para realizarla; sin embargo, aun esta técnica es complicada para ser adoptada en una comunidad rural, por lo que habrá que buscar equipos que permitan por un lado una rapidez en las pruebas y por otro que permita ser desplazado sin dificultad, la tendencia hacia el uso de reactivos apropiados como los denominados Colilert, han resuelto esta problemática.
- ☞ Ningún de los productos comercializados utilizados para el tratamiento del agua se apegó al ideal, cada uno presentó ventajas algunas de ellas muy claras sobre el cloro, pero el futuro en la preferencia de métodos ya sea físicos o químicos, lo marcará el consumidor y no las instituciones, a pesar de ser estas quienes aportan los productos o deciden cual o cuales procedimientos usar, es por ello que habrá que estudiar más a fondo la parte que me corresponde por pertenecer a una institución de salud, es decir, el efecto que tienen las sustancias que son usadas en el Programa sobre organismos como los virus y quistes o sobre organismos superiores como las larvas de mosquitos que habitan las aguas que se utilizan en las viviendas
- ☞ El haber utilizado campañas permanentes para promover la desinfección del agua, permitió la incorporación, socialización y apropiación del tratamiento del agua.
- ☞ Los retos aún son grandes, por un lado, es necesario seguir capacitando al personal institucional y comunitario que no cuente con los suficientes recursos para poder enfrentar un problema como el que la desinfección representa. La realización de cursos continuos de capacitación, así como el involucramiento de los organismos operadores, permitió dar solución a esta problemática.
- ☞ Las pruebas organolépticas realizadas al agua como el color, olor y sabor del agua continúan siendo una herramienta importante para determinar la calidad física y química de agua.
- ☞ Los conocimientos adquiridos durante mi estancia en la Universidad y en particular, los relacionados al tratamiento del agua, me permitieron entender, relacionar e implementar y

evaluar las acciones realizadas en esta área en el Programa donde me encuentro laborando  
IMSS-Solidaridad

## 6.0. COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES

- ◆ La problemática relacionada al deficiente tratamiento del agua ha sido identificada en las comunidades rurales donde opera el Programa IMSS-Solidaridad, sin embargo, es necesario, continuar con todos los apoyos posibles y dar soluciones viables. Se cuenta con los recursos para lograrlo: fondos destinados para la compra, instalación operación y mantenimiento de equipos, redes de distribución, rehabilitación de fuentes, personal técnico capacitado e infraestructura, para ofrecer atención a las comunidades que atiende el Programa IMSS-Solidaridad.
- ◆ Es necesario y ante la amenaza constante de enfrentar brotes epidémicos de enfermedades asociadas al agua, continuar realizando campañas de orientación a las comunidades.
- ◆ Al implementar estrategias para apoyar a la población en materia de tratamiento de agua, tanto la institución como la población beneficiada crean intereses comunes. Por un lado, la Institución aporta recursos para la instalación y operación de los dispositivos para la desinfección del agua y que además de ofrecer asesoría, capacitación y seguimiento de estos equipos, ha editado una serie de documentos técnicos de apoyo que permiten reforzar los conocimientos que fueron adquiridos. En la población atendida, mejorar su salud es de gran relevancia
- ◆ A lo largo de los años se ha implementado una serie de tecnologías encaminadas al tratamiento del agua, siendo la cloración la que mayor permanencia ha tenido. Sin embargo, no se descarta la posibilidad de continuar utilizando los otros métodos de tratamiento tales como la ebullición, la filtración y el uso de otros productos químicos como la plata coloidal.
- ◆ El destino de los recursos económicos en las comunidades amparadas por el Programa IMSS-Solidaridad, en particular los asignados a los gobiernos municipales, han incrementado su atención hacia las acciones de salud; basta indicar que para la compra de equipos, rehabilitación de fuentes de agua y bombas, en el universo de trabajo del Programa IMSS-Solidaridad hasta 1998, el 40% de estos fondos, fueron aportados por los gobiernos municipales.
- ◆ La inversión realizada para la instalación, operación y mantenimiento de los equipos, ofrecer capacitación y la elaboración de materiales didácticos, se costea al tomar en cuenta los costos de hospitalización o de estancia en los centros de salud y las pérdidas económicas que generan los personas enfermas que se encuentran en edad laboral activa
- ◆ Se tiene la concepción que implementado alguna tecnología como la instalación de un equipo clorador de agua, la solución a las enfermedades asociadas a ella esta resuelta; sin embargo, es necesario verificar el comportamiento en forma continúa que tienen estas con la implementación de equipos como los presentados en esta memoria. El no hacerlo, las acciones podrían fracasar. Además, el esfuerzo debe dirigirse hacia el personal que opera estos dispositivos, a las autoridades que apoyan para la compra de los insumos químicos como el hipoclorito de calcio y sodio para estar abasteciendo en forma continua con estos productos, y prestar mayor atención durante las épocas calurosas
- ◆ Al parecer la solución ideal para el tratamiento de agua se encontraba en implementar un equipo que permitiera producir el cloro in-situ, lo cual es una realidad; sin embargo, se requiere personal que tenga la disposición e incluso sea recompensado para que apoye en el manejo de estos dispositivos.
- ◆ Se debe insistir en la utilización de productos químicos alternativos al cloro para la desinfección del agua, tal como la plata coloidal, más aún cuando se argumentan beneficios obtenidos como

son sabor y el olor conferidos por este producto, y más aún cuando son se contraponen su uso, por el contrario, se habla de mezclas sinérgicas de estos dos desinfectantes.

- ◆ Aun hace falta mayor inversión en la materia para realizar los análisis microbiológicos y contar de ser posible con laboratorios portátiles o buscar métodos que sean rápidos de realizar y que pudieran estar presentes, por lo menos en cada hospital rural del Programa, o incluso se tuvieran en las Unidades Médicas Rurales, volviéndose muy significativa la determinación del cloro residual para conocer la calidad del agua, el cual ha sido adaptado de tal manera que pueda llevarse a cabo incluso por una persona que no cuenta con niveles educativos altos, no así para determinar la presencia de microorganismos de procedencia fecal, que requiere tener conocimientos incluso clínicos y experiencia para realizar los estudios.
- ◆ Aun falta personal que atienda y verifique las actividades realizadas en las localidades
- ◆ Los conceptos involucrados en el tratamiento del agua y en particular la desinfección con cloro serán más valiosos cuando se logre entender su importancia en este campo y se atiendan las recomendaciones que ellos indican.
- ◆ Debería de implementarse un programa que permitiera detectar el nivel de trihalometanos en el agua tratada con cloro para en caso de que se excedieran los niveles de este en el agua tratada con cloro, de acuerdo a la Norma, fueran aplicados métodos de tratamiento previos.
- ◆ Habrá que investigar por ser los productos más ampliamente usados para el tratamiento del agua, el sinergismo del cloro y la plata, como se ha demostrado con la combinación de otros productos desinfectantes como son el peróxido de hidrógeno y los iones de plata (10), donde se tienen las ventajas de por un lado compensar la función que realiza uno que no puede realizar el otro y viceversa y la disminuir la cantidad utilizada cuando son mezclados ejerciendo el mismo poder sobre los microorganismos patógenos.
- ◆ Para evitar la formación de compuestos indeseables cuando se adiciona el cloro al agua, como los trihalometanos, que se sospecha son carcinogénicos, se deberá fomentar por un lado, realizar un pretratamiento de clarificación del agua a ser tratada antes de adicionar cloro, para que demande o consuma menos de este producto y por tanto la formación de aquellas sustancias no deseables, y por otra parte no se realicen sobrecloraciones que llevarán a rechazos del cloro por su marcado olor y sabor en el agua y también la cantidad de cloro residual obtenido se encuentre dentro de la cantidad que se especifica en la norma.
- ◆ El uso del cloro seguirá utilizándose más a nivel comunitario hasta que no se logre encontrar algún producto que lo sustituya y lo supere en cuando aceptaciones organolépticas como el sabor y el olor, sino que también ofrezca un rango amplio de efectividad sobre los microorganismos patógenos y sea fácilmente medible y aplicable lo que hasta el momento no se ha encontrado.

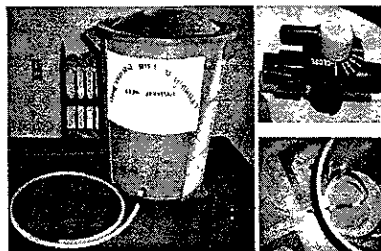
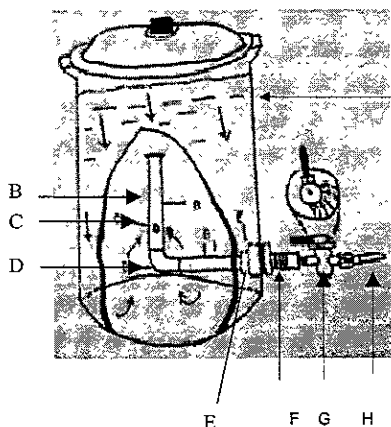
Quizá el único método que cumple con estas condiciones es la ebullición; sin embargo, esta resulta inaccesible y poco práctica, o se descarta cuando la escasez de leña es marcada en las localidades rurales, por lo que este queda delimitado al nivel familiar, cuando se quiera pasar a el nivel comunitario, el cloro es el más recomendable ya que previene la recontaminación del agua se ha establecido que este desinfectante puede durar hasta una semana en condiciones de laboratorio cuando se aplica a razón de 1 ppm.

- ◆ Si se desea utilizar productos alternativos al cloro como la plata ionizada o el hervido del agua, ya sea a nivel familiar o comunitario, habrá que esterilizar con cloro ya sea los recipientes donde será almacenada el agua o la red de distribución donde pasará el agua tratada, esto con la finalidad de aumentar el periodo de efectividad de esos productos.

## 1.0. Equipos utilizados en el programa IMSS-Solidaridad para el tratamiento del agua con cloro

Los equipos instalados en el ámbito de trabajo del Programa IMSS-Solidaridad para la desinfección del agua son descritos a continuación; los equipos rústicos son construidos realizando adaptaciones de acuerdo a los conocimientos que son obtenidos sobre los mismos.

### 1.1. Hipoclorador rústico



- A. Tambo de plástico de 60 litros (mezcla de 30 litros de hipoclorito de sodio al 13% y 30 litros de agua)
- B. Manguera de  $\frac{1}{2}$ ". Se forma un vacío lo que permite mantener una presión constante
- C. Orificio de 2 cms. de diametro (salida de la solución de cloro).
- D. Codo de  $90^\circ$  de  $\frac{1}{2}$ "
- E. Adaptador de PVC de  $\frac{1}{2}$ "
- F. Adaptador de rosca de  $\frac{1}{2}$ " con empaques y tuerca para llave de  $\frac{1}{4}$ "
- G. Válvula de regulación de cloro; el rango es de valor cerrado y abierto 1,2,3,4,5=máximo)
- H. Manguera transparente de  $\frac{1}{4}$ ". Salida de la solución de cloro hacia la caja de almacenamiento

Figura 4. Hipoclorador rústico

Los elevados costos de los equipos comerciales de cloración de agua han limitado que en muchas localidades se puedan adquirir, dificultando con esto la desinfección de los sistemas de agua a nivel comunal.

Como apoyo a las comunidades se ha propuesto una tecnología, véase Figura 4, que por su bajo costo, fácil manejo e instalación, es considerada como una alternativa para la solución a este problema, dicho equipo de cloración, puede ser elaborado por la propia comunidad y se denomina Hipoclorador rústico "Gravamel", ya que la forma en como se realiza el tratamiento es por gravedad; la solución de agua con cloro en el interior del tambor A es forzada a entrar al orificio C de la manguera B de media pulgada. Al entrar la solución en la manguera, independientemente de la cantidad de solución que se tenga en el tambor, se origina una presión constante que es obtenida por el aire atrapado en la manguera B, con lo cual se asegura que la dosificación de cloro permanezca también constante y de acuerdo a la regulación de la válvula de control de cloro G

Para su construcción como se observa en la Figura 4, se requiere de un depósito de 60 litros de plástico (tambor<A>), que contiene una llave de nariz de  $\frac{1}{2}$  pulgada, que es utilizado para

almacenar agua. Aunque esta llave no sirve para la construcción de este dispositivo, el orificio de ½ pulgada para insertar la llave si servirá

Se necesitan además 60 centímetros de manguera transparente de ½ pulgada <B>, a la cual se le cortan 10 centímetros; éste pedazo servirá para unir un extremo del codo de PVC de ½ pulgada <D> y el adaptador de PVC de ½ pulgada <E>, en el otro extremo del codo se conectan los restantes 50 centímetros de manguera, sellándose previamente con fuego el extremo que no fue unido, formando así, un ángulo de 90 grados; en la parte superior del codo, sobre la manguera sellada con fuego; a 2 centímetros, se realiza un orificio <C> con un clavo caliente de tres pulgadas que servirá para la salida de la solución de cloro.

El siguiente paso, consiste en quitar la llave de nariz del tambo de plástico, e instalar el adaptador (con rosca <E>) por la parte exterior del tambo dejando la tuerca y procurando que penetre aproximadamente ½ centímetro el adaptador, para colocarle posteriormente por la parte interna el empaque y así atornillar el adaptador de rosca con el adaptador de PVC <F> hasta apretar, el cual se une con el otro extremo de la manguera de 10 centímetros. El paso siguiente consiste en colocar la válvula reguladora <G> en el adaptador de la rosca por la parte externa. Finalmente se instala la manguera de ¼ de pulgada <H> en la válvula, quedando armado el clorador.

Al clorador (gravamel), una vez cerrada la válvula, se le agregan 30 litros de agua y 50 litros de cloro líquido al 13%, lo que representa una solución final del 6.5%, posteriormente el equipo es purgado abriendo en su totalidad la válvula reguladora, hasta que no aparezcan burbujas.

Este sistema de cloración es colocado en la caja de almacenamiento de agua, en dirección de la caída de agua, misma que proviene del manantial. El goteo de cloro se gradúa de acuerdo al gasto promedio de agua por persona por día y de acuerdo a la prueba de ensayo/error para determinar la cantidad de cloro residual libre existente en la red de agua, esto es, comprendido entre 0.2 a 1.5 partes por millón. Para dar a conocer el equipo se realizó una reunión con las autoridades municipales en la comunidad de Xochicuautla en Zacatlán, Puebla, donde fue piloteado el equipo, participando además los integrantes del comité de salud (presidente, vocales de salud, nutrición y saneamiento) y las familias beneficiadas con el tratamiento del agua, las cuales recibieron capacitación para el manejo y mantenimiento del dispositivo.

## 1.2. Modelo cloripozo

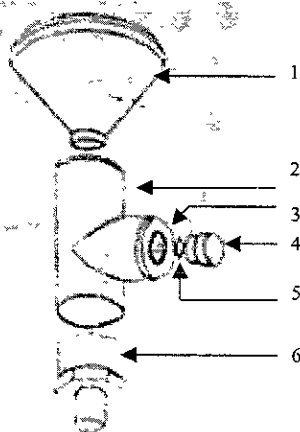
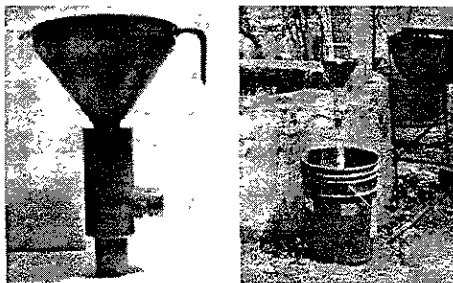


Figura 5. Hipoclorador. Modelo cloripozo



1. Embudo para verter agua
2. Cuerpo superior o central
3. Cilindro/dépósito de pastillas
4. Tapón del cilindro
5. Pastilla de hipoclorito de calcio
6. Reducción y tubo de descarga

En Yucatán, fue implementado un equipo de tratamiento de agua conocido como cloripozo (ver Figura 5); este dispositivo tiene la capacidad de desinfectar 19 litros de agua por cada carga de 12 litros, a una razón de 2 partes por millón, utiliza una pastilla de hipoclorito de calcio al 65%, la cual es colocada en el interior del equipo, que se conecta a través de un orificio con el cilindro del dispositivo lugar donde es recibida el agua que entra en contacto con esta pastilla, el tiempo que tarda el agua en el interior del equipo, permite que el agua sea tratada a una dosis de 2 partes por millón, con la cual se asegura la desinfección.

Con la pastilla en el interior del equipo se pueden tratar alrededor de 2,280 litros de agua. La ventaja que representa este equipo es la facilidad de realizar el tratamiento de desinfección; cualquier persona es capaz de realizar tal actividad. Simplemente basta adicionar una cubeta de agua conteniendo 19 litros por la parte superior y recibir el agua ya clorada a una razón como ya se menciona antes de 2 ppm.

Este equipo es operado al igual que el anterior en forma manual. Como puede observarse en la Figura 4, esta constituido por un cuerpo central que tiene los siguientes componentes:

Embolo (embudo). Este componente tiene la función de facilitar el vertido del agua, dirigir esta al interior del equipo y aumentar la fuerza de gravedad para acelerar el contacto del agua con la pastilla de cloro.

Cuerpo superior. En donde el agua es forzada a permanecer el tiempo necesario para conseguir la concentración de cloro deseada en esta, es decir, 2 partes por millón.

Cilindro (depósito de pastillas) con orificio calibrado, a través del cual se consigue mezclar la pastilla de cloro contenida en el interior del cilindro con el agua proveniente del cuerpo superior.

Tapón del cilindro. Este componente tiene la función de no permitir la salida del agua clorada y de retener el cloro que pudiera ser liberado por evaporación.

Tubo de descarga. Observado en la parte inferior del equipo. Tiene la función de permitir la salida del agua que fue clorada en el cuerpo superior a través de un orificio, cuyo diámetro es menor que el de la entrada de agua del clorador parte del cuerpo superior. La concentración obtenida es de aproximadamente 2 partes por millón. Para conseguirla, el agua es forzada a permanecer en el interior del cuerpo superior (2 de la Figura), mediante la diferencia de diámetros entre la entrada (parte superior del cuerpo central 2 de la Figura) y la salida del equipo del tubo de descarga (6 de la Figura) que es menor al de la entrada, el tiempo suficiente (algunos segundos) para conseguir que el agua penetre al cilindro (3 de la Figura) y sea mezclada con la pastilla de cloro (5 de la Figura) depositado en este, el cual tiene un orificio calibrado para permitir que sea gastada únicamente la cantidad de cloro necesario para obtener la dosis de cloro residual deseada: 2 partes por millón a la salida del equipo (6 de la Figura).

El volumen a clorar para una pastilla de hipoclorito de calcio al 65 % para una demanda de cloro de 2 mg/l (ppm) como dosis recomendada o deseada, es de 2.28 m<sup>3</sup> (2,280 litros). Volumen equivalente a 120 cubetas de 19 litros de capacidad.

Para una cubeta con 19 litros de agua, la cantidad desgastada de la pastilla es de 0.06 gramos, a la demanda de cloro establecida (2 partes por millón).



### 1.3. Hipoclorador hidráulico

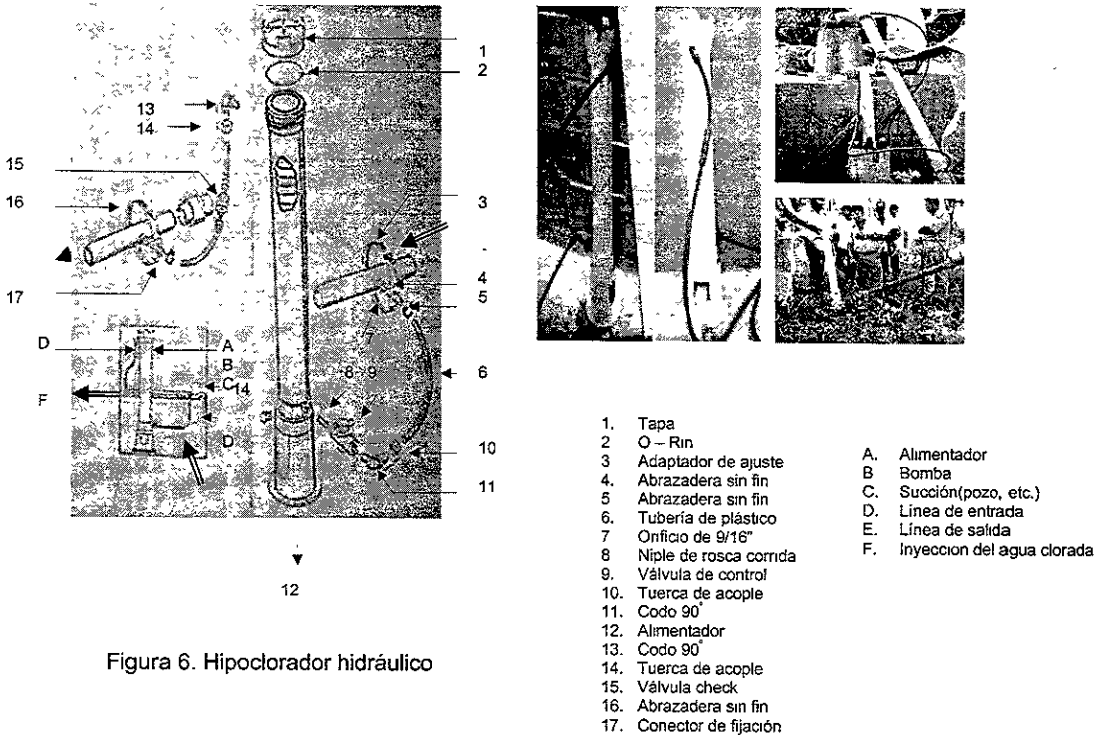


Figura 6. Hipoclorador hidráulico

Estos equipos son instalados después de la bomba extractora de agua que regularmente es de pozo profundo o centrífuga, el funcionamiento de estos equipos inicia cuando el agua de la red, es forzada a pasar a través de estos equipos, con esto se consigue mezclar está con el cloro que se encuentra en el interior del cloro para ser devuelta la solución ya clorada a la red de distribución. La cantidad de cloro aplicado, es controlado con una válvula de regulación, que se encuentra a la salida del equipo. Estos dispositivos tienen una capacidad para almacenar hasta 49 pastillas de hipoclorito de calcio al 65%. Para determinar la cantidad de pastillas en el equipo, es necesario conocer cual es la demanda de agua de la comunidad donde el dispositivo será instalado. Regularmente el calculo consiste en tomar un consumo por habitante de una comunidad rural de 150 litros de agua, por el total de pobladores y el gasto de agua utilizada durante la jornada, por ejemplo de 8 horas.

#### Armado del equipo

##### 1. Conexión de la línea de entrada al alimentador

Envuelva el niple de plástico de ½ puigada con rosca corrida con cinta de teflón (8 de la Figura). Atornille este niple en el orificio de la parte de debajo del alimentador (12). Atornille la válvula de control de cloro (9) en el otro lado del niple (8), quedando de este modo unida esta válvula al alimentador por el niple. Sea cuidadoso al no apretar en exceso. Envuelva el codo de 90° de ½ puigada (11) con cinta de teflón y atornillelo (únalo) a la válvula de control de cloro (9). Empuje la

tuerca de acople (nuez de compresión<10>) al otro lado del codo de 90 grados (11). Empuje la tubería de plástico (6) hacia el final del codo envuelto con cinta de teflón. Apriete la tuerca de acople firmemente con la mano.

## **2. Conexión de la línea de salida del alimentador**

Envuelva el otro codo de 90° de ½ pulgada (13) con cinta de teflón y fíjelo en el orificio de ½ pulgada de diámetro, situado en la parte superior lateral del alimentador (12 superior). Empuje y fije la tuerca de acople (nuez de sujeción <14>), sobre el otro lado del codo, después fije en este extremo la otra parte de tubería. Coloque y fije la válvula reguladora de presión (válvula check <15>), teniendo cuidado de colocarla de modo que la flecha impresa en la válvula apunte en la dirección del flujo de la solución de agua con cloro que sale del alimentador (12 superior).

Una vez armado el equipo clorador se procede a instalarlo en la red de agua.

### **Instalación de la línea de entrada en la tubería de la red (partiendo desde la salida de la bomba)**

Si hay un sistema de bombeo, apague la bomba y los interruptores eléctricos. Perfore un orificio de 9/16 de pulgada en la tubería de la red <7> que se encuentra en la superficie (téngase presente que la presión que ejerza el agua bombeada en este punto sobre la línea de entrada al alimentador deberá ser superior a la presión de la solución de agua clorada a la salida del alimentador y que será inyectada a la red nuevamente). Si la bomba de agua esta funcionando, la perforación deberá *realizarla de preferencia de forma manual utilizando un berbiquí*. Remueva rebabas e instale, ensamble y atornille las abrazaderas sin fin (4) y el conector de fijación (3) a la tubería de la red. Coloque la pequeña abrazadera (7) de acero inoxidable sobre la tubería del alimentador, deslizando esta tubería hacia el sujetador de fijación y asegurándola con la abrazadera al conector.

### **Instalación de la línea de salida en la tubería de la red**

Con la bomba de igual modo apagada:

Perfore un orificio de 9/16 de pulgada en la tubería de la red (este orificio se hará donde se haya decidido o calculado hacer la inyección de la solución de agua clorada; la presión que sea ejercida en este punto deberá ser mayor a la de la salida de la solución de cloro para asegurar la inyección), remueva rebaba, instale, ensamble y fije la abrazadera sin fin <16> y el conector de fijación <17> a la tubería de la red. Sujete la tubería como se indica en el punto anterior.

Con estos pasos la instalación queda concluida.

### **Instrucciones de uso.**

Antes de poner en marcha el alimentador deberá estar propiamente acondicionado (protegido) y el cloro residual cuando se vayan a realizar los monitoreos deberá ser el indicado en la Norma Oficial Mexicana de Calidad del Agua, comprendido entre 0.2 hasta 1.5 partes por millón, teniendo presente que en el punto mas distante de la red durante el monitoreo, su valor de cloro residual deberá ser al menos de 0.2 partes por millón (ppm) o miligramos por litro (mg/l). La demanda de cloro dependerá de entre otros factores de la luz solar, la temperatura del agua, sólidos disueltos y suspendidos en ella, etc. y que esto ayudara para conocer la carga de pastillas al alimentador. Para resolver lo anterior, la válvula de control de cloro deberá ser abierta o cerrada (regulada) mas o menos según las condiciones prevaletientes. Por ejemplo en invierno la demanda de cloro será menor por lo tanto la válvula de control estará menos abierta en relación a si se estuviera en época de verano. Cheque el cloro residual diariamente para encontrar el número ideal de la válvula de control de cloro. De preferencia lleve un registro sobre la determinación del cloro residual en la red de distribución.

## **Instrucciones para la puesta en marcha.**

Tome precauciones cuando este en operación el alimentador. No inhale los gases desprendidos. Use de ser posible equipo protector, mascarilla con dos respiradores.

Si el nivel esta por abajo del nivel de agua, cierre la válvula de control de cloro y drene el agua que esta presente, removiendo el tapón de ¼ de pulgada en la parte inferior del alimentador. Después del drenado, reinstale el tapón (use cinta de teflón para el sellado).

Remueva la tapa del alimentador y llene con las pastillas de hipoclorito de calcio; la cantidad a adicionar de este producto, recuérdese, está en función del volumen de agua que la comunidad consume y la jornada del día, para saber su valor se puede ver el consumo de agua en el medidor de agua (en metros cúbicos por día o litros por día, etc.) de todas las familias que reciben el agua. Además debe también considerar la dosis de cloro que va ser aplicada

Para una máxima velocidad de distribución utilice de preferencia pastillas de 1 pulgada, ya que producen más que las de mayor tamaño. Revise que no este ninguna manguera azolvada, en caso de que haya alguna, procure lavar esta manguera y las que se requieran con regularidad.

Asegúrese de que el anillo este limpio, lubríquelo y colóquelo en su lugar, ponga la tapa del alimentador apretándolo únicamente con las manos.

Encienda la bomba y los interruptores. Abra la válvula de control de cloro en alguna marca (1, 1.5, 2) por un minuto, para permitir que el alimentador se llene con agua. Después ajuste la válvula de regulación de acuerdo a los monitoreos de cloro residual en diferentes puntos de la red de distribución, incluido el punto más distante, el cual deberá alcanzar al menos 0.2 ppm de cloro residual. El tiempo de reposo del cloro con el agua, debe ser al menos de 30 para que el cloro ejerza su efecto germicida.

La válvula de control tiene una escala que va del 0 al 5 teniendo una precisión de 0.25 por cada raya, al abrir más la válvula, habrá por tanto, mayor cantidad de cloro. Es recomendable que el nivel del alimentador sea checado durante los primeros 5 días. Recuerde que en días más calurosos la temperatura del agua se incrementa causando mayor uso de cloro. Cuando sea posible, incremente la alimentación un día o dos por anticipado. Al dejar de bombear agua a la red cierre primero el clorador y apague después la bomba de agua. Si el agua fluye por gravedad coloque el clorador después del tanque de almacenamiento. Abra el clorador por la mañana y ciérrelo por las noches, esto dependiendo del horario de actividades de la población.

### **Como recargar el alimentador**

1. Desconecte la bomba y los interruptores. Abra la válvula de control de cloro.
2. Remueva la tapa del alimentador; esta permitirá que agua y gases sean drenados desde el alimentador
3. Llene el alimentador con pastillas de hipoclorito de calcio, como se indica en el punto 2 del paso anterior (puesta en marcha del equipo)
4. Asegúrese que el anillo este limpio, lubríquelo, colóquelo y apriételo con las manos. Ponga la tapa.
5. Encienda la bomba y los interruptores eléctricos.
6. Deje la válvula de control en el número que eligió (en base a las pruebas de ensayo/error hasta alcanzar la dosis de cloro residual de 0.2 ppm en el punto más distante de la red) por un minuto, esto permitirá que el alimentador se llene con agua. Reajuste la válvula de control a la

marca original. Inspeccione las líneas de entrada y salida del alimentador para saber si esta siendo recargado. Reemplace las líneas cuando sea necesario.

### **Precauciones para el uso del clorador**

Nunca instale el alimentador de modo que la mezcla de agua-cloro se dirija hacia una red con tubería de cobre, ya que esta podría resultar dañada pues se pueden presentar problemas de corrosión no descartando la posibilidad de que esta también se puede dar por velocidades altas del agua y pH del agua.

Para evitar retornos de agua clorada, el alimentador deberá ser instalado por arriba del nivel de agua (se debe buscar una diferencia de presiones entre la entrada de agua al alimentador y la salida de la mezcla de agua con cloro e inyectarse en otro punto de la tubería de la red de distribución),

Si ha sufrido avería en alguno de sus componentes, los repuestos se recomienda deberán ser químicamente resistentes a la corrosión, ya que estarán en contacto con el compuesto químico concentrado, tal es el caso de la válvula check y la válvula de regulación de cloro, por lo tanto el material de construcción deberá ser de plástico

Nunca use ningún tipo de válvula de aislamiento sobre la descarga o salida del alimentador, pues aumentará la presión lo que le causará daño.

Durante el drenado, para prevenir retornos y salpicaduras del agua clorada durante el recambio, el alimentador deberá ser vaciado. Hay un tapón de ½ pulgada en la parte lateral inferior del alimentador que podrá ser removido para realizar el drenado.

### **Sugerencias durante la instalación del clorador**

Todo accesorio de tubería de plástico macho que viene con el alimentador, deberá ser envuelto con 3 o 4 vueltas de cinta de teflón para actuar como sellante. Siempre envuelva en contra de la dirección de las manecillas del reloj (en sentido opuesto a la dirección en que se aprieten estos accesorios). Nunca sobreapriete los accesorios, ya que estos son de material plástico y pueden ser rotos. Usualmente la conexión de estos accesorios será suficiente con 2 o 3 vueltas para prevenir posibles fugas pudiendo apretarlos más si se presentan y donde se deberá apretar con las manos. Pueden ser utilizadas abrazaderas adicionales cuando así se requieran.

Posicione el alimentador cerca del filtro (si es que lo hay) y corte la tubería con la longitud deseada. Sea cuidadoso al cortar el final del tubo de plástico, el corte deberá ser de preferencia recto

## 1.4. Modelo Cloridoso

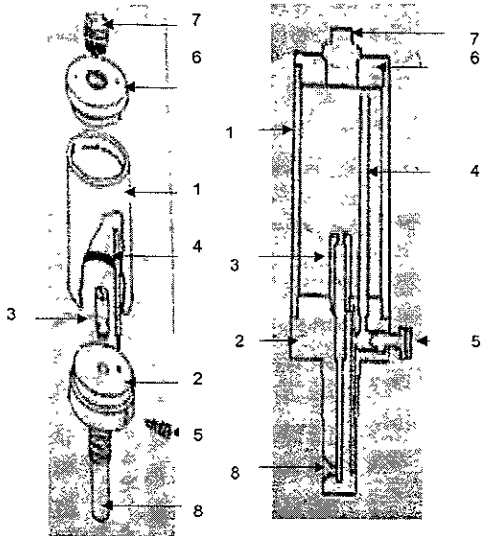
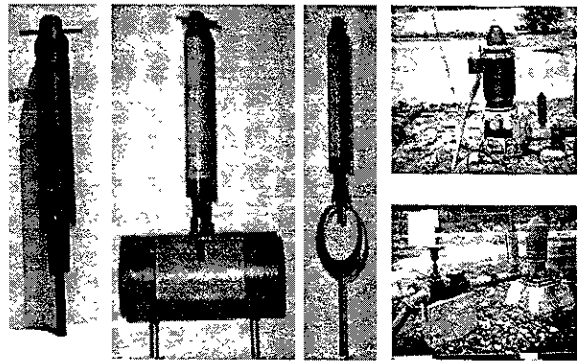


Figura 7 Hipoclorador hidráulico: Modelo Cloridoso



1. Cuerpo cilíndrico
2. Vástago roscado
3. Difusor
4. Tubo vertedor de solución de cloro
5. Válvula de control
6. Tapa roscada
7. Tapón roscado
8. Entrada de agua

Estos equipos de tratamiento tienen el mismo principio de funcionamiento que los dispositivos mostrados en la Figura 6, la diferencia está en la cantidad del agua que trata, la regulación del cloro aplicado de estos dispositivos se logra regulando la presión de la bomba impulsora de agua. Una ventaja importante de estos aparatos es que son de fabricación nacional. Sus componentes son:

1. Cuerpo cilíndrico, en cuyo interior hay pastillas de hipoclorito de calcio ( $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ ) al 65% de concentración.
2. Un vástago roscado, que se introduce en la línea de conducción de agua al instalar el equipo, cuenta con orificios de entrada y salida en dirección opuesta uno del otro, siendo de mayor diámetro el de la entrada.
3. Un difusor, para distribuir el agua y que al paso de la misma el desgaste de las pastillas, depositadas previamente, sea uniforme y se obtenga una solución de cloro concentrada.
4. Tubo, por donde se vierte por sí misma la solución de cloro.
5. Válvula de control manual, cuyo asiento del cuerpo de la misma es de forma cónica truncada, lográndose un cierre hermético y al operarla se obtiene la dosificación requerida, la cual se mezcla con el agua al salir por el orificio del vástago, succionada por la velocidad del agua que corre por la tubería
- 6 Tapa roscada superior del cilindro
7. Tapón roscado que se remueve para introducir las pastillas en el cilindro.

8. Entrada de agua proveniente de la fuente de agua, impulsada por la fuerza proporcionada por una bomba

Se recomiendan estos dispositivos para uso continuo en sistemas pequeños con gastos de 15 litros por segundo(l/s).

Para la selección apropiada del equipo de acuerdo a las especificaciones descritas en el Tabla 4, es necesario conocer el gasto de agua a tratar; por ejemplo, para un gasto de agua de 0.7 litros por segundo, donde el diámetro de la tubería de descarga de la bomba es de ¾ de pulgada se deberá instalar un equipo con las siguientes características: 1 1/2 pulgadas de diámetro y 10 centímetros de longitud, con capacidad para 5 pastillas de hipoclorito de calcio al 65%, con un consumo de una pastilla por hora, para obtener una dosis en la red de distribución de agua de 2 partes por millón.

**Tabla 4. Especificaciones del equipo cloradoso**

Depósito		Diámetro de partes complementarias					Gasto máximo	Consumo de reactivo
Diámetro (pulgs)	Longitud (cms)	Capacidad (No. de pastillas)	Descarga de bombeo (pulgs)	Inserción (pulgs.)	Entrada	Salida	a tratar (l/s)	(pastillas/hora)
3	25	100	6	1 1/2	3/8	1/8	30	47
3	25	100	4	1 1/2	3/8	1/8	15	24
3	25	100	3	1 1/2	3/8	1/8	8	13
2	15	30	2 1/2	1	5/16	3/32	5	8
2	15	30	2	1	5/16	3/32	3	5
1 ½	15	15	1 1/2	1	1/4	3/32	2	3
1 ½	10	5	1	3/4	1/8	1/16	1	2
1 ½	10	5	3/4	3/4	1/8	1/16	0.7	1

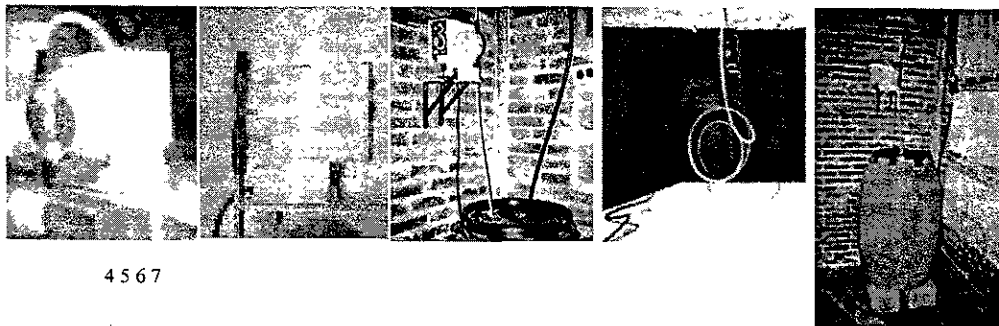
**Nota: para el calculo del consumo de reactivo se considero una demanda de 2 mg/l de cloro**

## 1.5. Hipoclorador eléctrico: Bomba dosificadora

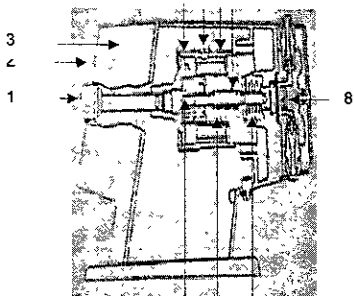
Los equipos eléctricos como el que se muestra en la Figura 8, inyectan soluciones de hipoclorito de sodio (NaOCl), o hipoclorito de calcio a través de ciclos de bombeo que son regulados por una válvula que controla el diafragma del equipo.

Las principales partes (véase Figura 8) que integran una bomba dosificadora son: Carcaza <11 y L>, componentes electrónicos, solenoide <10>, vástago o perno <11>, resorte de retorno <9>, diafragma <8>, cabezal <E>, válvula de succión <I>, válvula de pie <J>, válvula de descarga <A> y válvula de inyección <A>.

Figura 8 Hipoclorador eléctrico: Bomba dosificadora

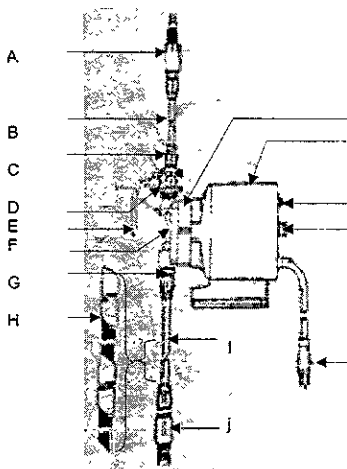


4 5 6 7



11 10 9

1. Ajuste de la longitud de carrera
2. Perilla para la frecuencia de golpeo
3. Compartimento electrónico
4. Polo posterior
5. Ventanilla
6. Bobina del solenoide
7. Balero del vástago
8. Diafragma
9. Resorte de retorno
10. Caja de solenoide en baño de aceite
11. Armazón y vástago



- A. Válvula de Inyección
- B. Tubería de Descarga
- C. Tuerca (abrazadera)
- D. Caja de la válvula
- E. Cabezal de la bomba
- F. Tubería de alivio
- G. Media unión
- H. Tubería rígida
- I. Tubería de succión
- J. Válvula de pie
- K. Caja del solenoide
- L. Armadura de la Bomba
- M. Perilla de Velocidad (No. de pulsaciones)
- N. Perilla de golpeo (Longitud de la carrera)
- Ñ. Cordón de energía

### **Principios de operación:**

Al conectar la bomba dosificadora en el contacto polarizado, la alimentación de corriente energiza el solenoide, de carrera corta, esto ocasiona que el vástago de la armadura se desplace hacia delante.

Al hacer esto, provoca un choque del diafragma con la cámara de succión, lo cual se conoce como golpe de descarga y se efectúa la dosificación de hipoclorito en el punto donde se encuentra instalada la válvula de inyección.

El resorte de retorno efectúa el golpe de succión y cierra la válvula de descarga, esto permite el paso de la solución a llenar la cámara de succión.

Mientras la bomba dosificadora se encuentre trabajando, lo antes mencionado se repite continuamente. Algunas características importantes en estos equipos son que el diafragma es diseñado para aislar el mecanismo del líquido en proceso, también la capacidad de descarga se puede variar por medio de perillas tanto para la longitud como para la proporción de la carrera.

### **Válvula de pie, pichancha**

Partes: Coladera, empaques, asientos, canicas y válvula check cuya función es la de mantener la columna o manguera llena de líquido y no dejar que esta se regrese, también la coladera evita pasar los sólidos que puedan afectar cualquier componente dentro del equipo; esta condición se puede evitar manteniendo la pichancha a una altura aproximada de 20 a 30 centímetros del fondo del depósito y en posición vertical, la cual estará cubierta por la tubería rígida.

### **Válvula de succión**

Permite el paso del líquido dentro de la cámara del cabezal, así como no deja regresar el líquido.

### **Cabezal.**

Esta pieza opera como una cámara de vacío, y su función es extraer y expulsar el líquido a través de la válvula de descarga.

### **Diafragma.**

Es hacer el llenado en la cámara del cabezal y la expulsión por presión en la línea y el punto de descarga; el cual va instalado en la flecha de la solenoide el cual hace el movimiento hacia delante y atrás, dependiendo de la capacidad de inyección que fije en la perilla de ajuste será la dosificación necesaria en el punto de aplicación.

### **Válvula de descarga.**

Permite el paso de la solución hacia la línea de inyección y no deja regresar la solución hacia el cabezal, para evitar saturación de la solución de agua clorada que pasa a través del equipo

### **Válvula de inyección**

Su función principal es inyectar la solución en el interior de la línea que viene de la fuente de abastecimiento, también cuenta con una check la cual tiene la función de contrarrestar la presión de la línea.



## Elaboración de solución desinfectante

Para la elaboración de solución desinfectante, deben adicionarse 300 gramos de hipoclorito calcio al 65% por cada litro de agua

Este hipoclorito en su presentación comercial de pastillas de 7 gramos debe volverse polvo y al mezclarse con el agua es necesario tener mucho cuidado por su reacción exotérmica.

La mezcla debe dejarse reposar durante 24 horas, después de esto se filtra, para separar los sólidos sedimentados, y la solución desinfectante ya filtrada se deposita en las cubetas de 20 litros, de donde la bomba dosificadora succionará la solución y la inyectará en la línea de conducción del agua

## Dosificación y manejo del cloro

La dosificación de hipoclorito de calcio al 65% varía de acuerdo al gasto que se va a clorar y en función de las partes por millón (ppm) que se desean obtener.

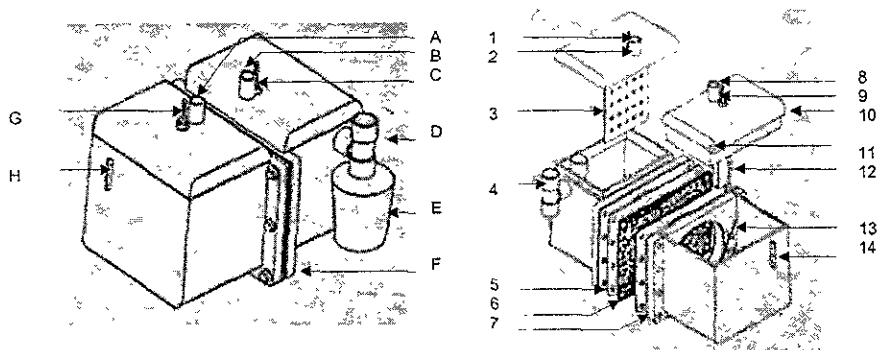
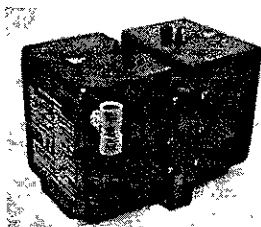
Para ilustrarlo mejor, se describe en el Tabla 5 la capacidad del equipo dosificador.

**Tabla 5. Gasto de agua a clorar de acuerdo a la concentración requerida de hipoclorito de calcio**

Gasto por clorar l/s	Hipoclorito de calcio al 65%			
	2 partes por millón		3 partes por millón	
	l/d	l/h	l/d	l/h
1	0.9	0.04	1.3	0.05
2	1.7	0.07	2.6	.11
3	2.8	0.11	3.9	0.16
4	3.5	0.14	5.2	0.22
5	4.3	0.13	6.5	0.27
10	8.3	0.36	13	0.54
15	13	0.54	19.4	0.81
20	17.3	0.72	25.9	1.06
25	21.6	0.90	32.4	1.35
30	25.9	1.08	38.9	1.62
35	30.2	1.28	45.4	1.89
40	34.6	1.41	51.8	2.16

l/d= Litros por día ; l/h = Litros por hora

## 1.6. Celda electrolítica generadora de gases oxidantes (cloro y ozono)



- A. Salida de gases oxidantes a eyector Venturi
- B. Salida de gas hidrógeno a la atmósfera
- C. Borne de conexión (-) a electrodo de acero inoxidable
- D. Rebosadero
- E. Vaso receptor de solución de hidróxido de sodio
- F. Brida portamembrana
- G. Borne de conexión (+) a electrodo de titanio

- 1. Borne de conexión (-)
- 2. Salida de hidrógeno gas ( $H_2$ )
- 3. Electrodo de acero inoxidable
- 4. Rebosadero
- 5. Junta de neopreno
- 6. Membrana semipermeable
- 7. Brida portamembrana
- 8. Salida de gases oxidantes a eyector venturi
- 9. Borne de conexión (+) a electrodo de titanio
- 10. Tapa con sello hidráulico
- 11. Regulador de presión
- 12. Electrodo de titanio
- 13. Pared separadora de cloruro de sodio sólido
- 14. Mirilla de nivel

Figura 9 Celda electrolítica generadora de gases oxidantes.

Ante la escasez de los reactivos utilizados para la desinfección del agua, se dispone de un equipo generador de cloro y ozono (Figura 9), siendo el primero desprendido del cloruro de sodio para ser inyectado junto con el ozono a la red de distribución de agua.

La celda electrolítica generadora de gases oxidantes, cloro como principal producto y ozono, es un recipiente rectangular de placa policloruro de vinilo (PVC) con dos compartimentos cubiertos con tapa cada uno de ellos (A y B).

Estas tapas tienen características estructurales diferentes que aseguran su correcta posición en el compartamiento correspondiente.

El compartimiento "A", está separado del "B" por una membrana semipermeable sujeta por bridas y por un empaque de neopreno (hule sintético) Estas bridas se atornillan entre sí para unir los dos compartimentos. La membrana es semipermeable porque deja pasar iones sodio y no cloro. Está fabricada de teflón fluorocarbonado.

El compartimiento "A" o anódico tiene un electrodo de titanio recubierto con iridio de triple placa con un área de 107.5 centímetros cuadrados sujeto a la tapa del compartimiento; opera con un volumen de 3.5 litros de solución saturada de cloruro de sodio. También tiene en la tapa una salida con un adaptador donde se coloca la manguera la cual se conecta a un eyector vénturi para la extracción por succión de la mezcla de gases oxidantes.

En este compartimiento anódico de la celda rectangular o tubular, existe un orificio para la compensación de la presión atmosférica durante la succión de la mezcla de gases oxidantes que se forman en ese compartimiento y que son dosificados al agua. Además tal compartimiento cuenta con una pared translúcida que permite observar el nivel de la solución saturada de cloruro de sodio.

También el compartimiento "A" tiene una placa de PVC transparente perforada en su parte superior y que divide a dicho compartimiento en forma diagonal. Este separador sirve para evitar que los cristales de cloruro de sodio (sal de mesa) que se agregan en exceso entren en contacto directo con la membrana y el electrodo.

El compartimiento "B" o catódico, tiene un electrodo de acero inoxidable sujeto a la tapa del compartimiento; opera con un volumen de 3.5 litros de hidróxido de sodio al 10%, tiene en la tapa una salida con un adaptador para conectar una manguera para la expulsión a la atmósfera del hidrógeno gaseoso que se forma en este compartimiento. En una de las paredes tiene un tubo en "T", con rebosadero, para la salida de la solución de hidróxido de sodio diluido, producto de agregar agua en la cantidad necesaria para su adecuado funcionamiento.

Cada tapa de la celda tiene un borde tipo tornillo conectado a un electrodo de distinto material. Uno de los electrodos es de titanio (polo positivo) y el otro es de un acero inoxidable (polo negativo).

#### **Descripción de los aparatos que complementan el equipo para el tratamiento de desinfección del agua.**

Para la operación de la celda electrolítica se requiere de energía eléctrica CA-CD y el eyector Vénturi.

La fuente de energía eléctrica CA-CD posee en la parte frontal un amperímetro en donde puede leerse la corriente que fluye en la celda a partir de la diferencia de voltaje en los electrodos de la misma. En la parte posterior tiene un cable tomacorriente que se puede conectar a la línea de energía eléctrica alterna de 110 o 220 voltios y 60Hz, tiene un interruptor de encendido tipo placa y para su protección cuenta con un fusible de 5 amperes y 250 voltios instalado en el portafusibles

tipo bayoneta. En esta misma parte posterior se ubica un conector con dos terminales eléctricas tipo tornillo (tornillo superior = positivo y tornillo inferior = negativo).

Los electrodos de la celda se conectan a la fuente de energía CA – CD por medio de cables de la siguiente forma: el electrodo de titanio del compartimiento "A" o positivo, se conecta al tornillo superior de la misma fuente, ésta fuente proporciona la energía eléctrica a la celda electrolítica donde se produce la electrólisis.

Al pasar la corriente a través de los electrodos colocados en solución acuosa de cloruro de sodio y de hidróxido de sodio se origina la electrólisis, que produce una mezcla de gases oxidantes formada por cloro y ozono en el compartimiento "A". En este mismo compartimiento se liberan iones sodio, los cuales pasan a través de la membrana al compartimiento "B" de la solución de hidróxido de sodio. En este compartimiento "B" y como consecuencia del proceso electrolítico, se liberan oxidrilos que se unen al sodio e hidrogeno libre que se libera a la atmósfera.

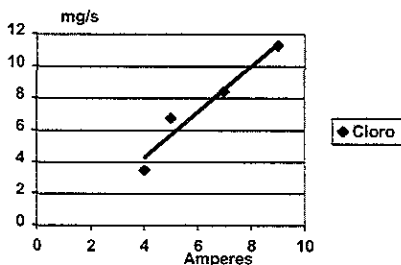
#### **Relación entre corriente y producción de la mezcla de gases oxidantes(Base cloro)**

La mezcla de gases oxidante producida en la celda se obtiene como consecuencia de la electrólisis de una solución acuosa de cloruro de sodio, al aplicar energía eléctrica continua regulada. La cantidad de gases producida es proporcional a la intensidad de la corriente continua que pasa a través de las soluciones acuosas de cloruro de sodio y de hidróxido de sodio, tal como es representado a través de la Gráfica 20.

La corriente de trabajo de la celda se observa en el amperímetro. Se sugiere, para prolongar su duración, que no rebase de 7 amperes aún cuando puede trabajar con corrientes de 10 a 15 amperes por periodos de varias horas. Siendo la capacidad de producción de gases oxidantes de la celda electrolítica de 9 mg/s trabajando a 7.5 amperes, se tiene que esta cantidad puede abastecer hasta un gasto de 8 l/s de agua, por lo que si la fuente de abastecimiento excede este gasto, será necesario instalar dos celdas electrolíticas en paralelo con una sola fuente de energía eléctrica que podrá trabajar hasta 15 amperes de corriente para poder cubrir la demanda de gases que se tenga en el abastecimiento.

**Gráfica 20. Producción de cloro (mg/s) en función del amperaje aplicado**

Intensidad (Amperes)	Cloro (mg/s)
4.02	3.5
5	6.75
7	8.4
9	11.29



## 2.0. Equipos utilizados para la determinación de cloro residual

Para realizar el monitoreo de cloro residual, se utilizan diferentes métodos, los mas usados son los colorimétricos; el indicador para conocer la presencia de cloro residual es la ortotolidina, que al entrar en contacto con el agua la reacción se manifiesta en una tonalidad amarilla, cuya intensidad determina la cantidad de cloro residual existente. El kit o comparador de cloro con el que se cuenta en el Programa, contiene dos celdas donde son colocadas las muestras de agua hasta el aforo; la primera permite determinar cloro residual, los valores impresos en la escala son de 0.3, 0.5, 1.0, y 3.0 partes por millón. La segunda celda mide pH's (ligeramente básicos y ligeramente ácidos) del agua con el reactivo rojo de fenol, los valores indicados en la escala son de 6.8, 7.2, 7.6, 7.8 y 8.2. empleando el equipo para la determinación de cloro, (ver Figura 10).

Las normas nacionales e internacionales para agua potable indican como límites permisibles de cloro el rango comprendido entre 0.2 a 1.5 miligramos por litro o partes por millón como concentración deseable de cualquier fuente de agua y redes de distribución donde se hayan efectuado los tratamientos a base de cloro. De acuerdo a la norma, el valor cerca de la fuente de abastecimiento debe ser máximo 1.5 partes por millón y de 0.2 a 0.5 partes por millón en las partes finales de la red de agua. En caso de no cumplir con estos requerimientos será necesario aplicar una mayor o menor cantidad de cloro hasta obtener los valores deseados.

Para la verificación del cloro residual, son utilizados métodos colorimétricos, volumétricos y amperométricos. Estos últimos son los que tienen mayor sensibilidad, ya que con ellos se puede cuantificar cloro libre y cloro combinado, por su parte los otros procedimientos permiten cuantificar cloro libre, monocloraminas, dicloraminas o cloro combinado, cloro libre y cloro total.

Los métodos colorimétricos tienen la ventaja sobre los volumétricos y amperométricos en que se pueden adaptar con facilidad a equipos portátiles para hacer la determinación con comparación visual. En el Programa IMSS-Solidaridad, estos son los mas ampliamente utilizados para medir la presencia y cantidad de cloro residual.

Los indicadores usados para determinar la presencia de cloro son la ortotolidina y el difenil1,4, fenilendiamina (DPD).

El principio se basa en que en presencia de cloro elemental ( $Cl_2$ ), la ortotolidina reacciona formando un complejo de color amarillo, cuya intensidad es directamente proporcional al contenido de cloro elemental presente en la muestra de agua. Para el caso del DPD, la reacción se torna de color rosa, donde la intensidad indicará como en el caso anterior la cantidad de cloro presente. A continuación se describen estos equipos

### Kit comparador de cloro

Estuche conocido como kit o comparador de cloro, véase la Figura 9, con dos goteros conteniendo los reactivos, ortotolidina y rojo de fenol, para determinar el cloro residual (celda izquierda) en partes por millón y pH (celda derecha) respectivamente. Los reactivos permiten realizar 120 determinaciones. El rango para el cloro residual es de 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, y 3.0 partes por millón. Para el pH el rango es de 6.8, 7.2, 7.8, y 8.2 unidades.

Para determinar el cloro residual, se enjuagan las celdas con la muestra de agua, que se supone ha sido clorada, son llenadas estas con agua hasta el aforo, de tal forma que el lado opaco quede del lado contrario del operador. Son agregadas 5 gotas del reactivo ortotolidina, se coloca el tapón, y se agita para homogeneizar con el reactivo. Realizada esta operación se cuantifica la cantidad de

cloro presente al comparar la intensidad del color amarillo producido al agregar la ortotolidina a la muestra de agua, con el que trae el comparador parte izquierda de la Figura 10.

Figura 10 Kit comparador de cloro

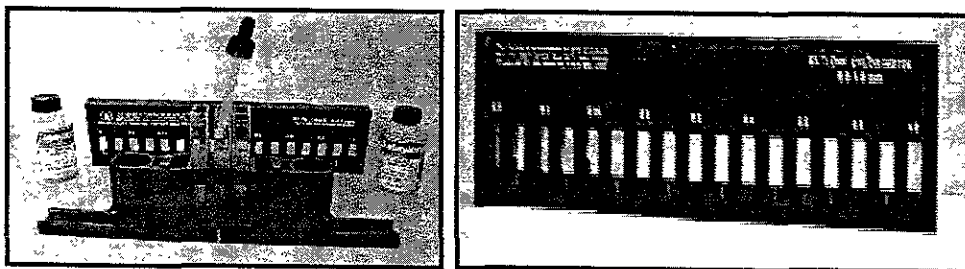


### Kit comparador de cloro marca Taylor

Este dispositivo véase Figura 11, cuantifica también la presencia de cloro residual. Es de mayor precisión. Utiliza al igual que el anterior la ortotolidina para determinar el cloro residual. Sus rangos de operación están comprendidos en escalas de 1, 2, 3 hasta 4 partes por millón con 10 lecturas con una precisión de 0.1, 0.2, 0.3 y 0.4 partes por millón, valores rotulados en la regleta, la cual se desliza sobre una base la cual cuenta con tres celdas; se llenan las celdas con la muestra de agua hasta la marca, de tal forma que el lado opaco quede al lado contrario del operador. A la celda del centro se le agregan 5 gotas del reactivo ortotolidina, se agita la muestra para homogenizarla con el reactivo, se coloca nuevamente la base ranurada del comparador y se deja reposar. Se coloca el cursor con los estándares de color en la base y se efectúa la comparación, moviendo el cursor de derecha a izquierda (de la mayor a la menor concentración), según la intensidad de color hasta igualar los colores de la muestra en la celda y los estándares.

Las lecturas se deben realizar de tal forma que las celdas reciban luz natural, para obtener una lectura más exacta.

Figura 11 Kit comparador de cloro marca Taylor



### Kits comparadores de cloro con el reactivo DPD

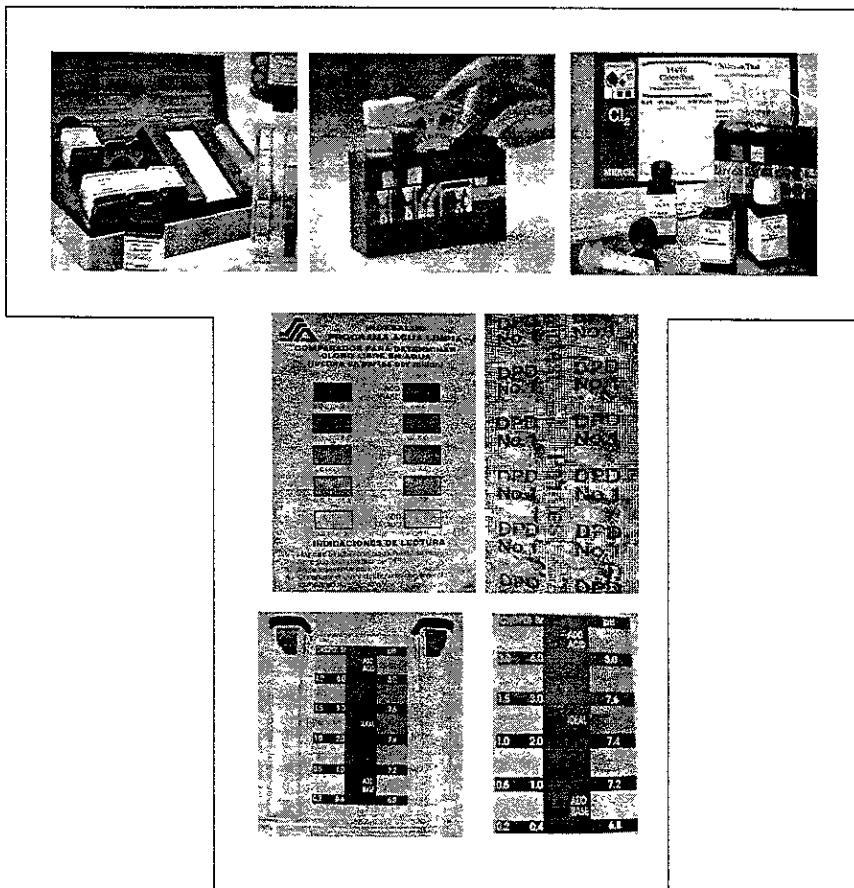
Estos comparadores o determinadores de cloro véase Figura 11, operan en forma similar a los anteriormente descritos; la cantidad de cloro es determinada de acuerdo a la intensidad rosada,

obtenida por el cloro presente en el agua de la muestra con el reactivo difenil 1,4- fenilendiamina (DPD). Estos kits realizan la determinación cuantitativa de cloro por comparación de color o por métodos volumétricos, es decir por titulación, lo que facilita los resultados en forma rápida y confiable. El reactivo utilizado es el difenil 1,4- fenilendiamina conocido como método DPD.

Estos equipos son más precisos y más amplios en sus lecturas; sus rangos oscilan para un modelo de 0.1 a 2.0 y otro más preciso de 0.25 a 15 partes por millón o miligramos por litro, con un rendimiento de 140 y 1000 determinaciones respectivamente.

El modelo mostrado en el centro de la Figura 12 cuenta con un disco comparador giratorio, para facilitar las determinaciones; éste se gira hasta obtener la coloración igual a la de la muestra, y se lee o anota entonces el valor obtenido. Estos equipos empiezan a desplazar a los que utilizan ortotolidina por la sospecha de ser carcinogénica.

**Figura 12 Kits comparadores de cloro, con el reactivo DPD.**



### 3.0. TRATAMIENTO DEL AGUA CON CLORO

La información descrita a continuación, formó parte del material proporcionado al personal del Programa IMSS-Solidaridad, para complementar los conocimientos sobre el tratamiento del agua. Los contenidos de este documento, permitieron entender con mayor precisión la relación y la importancia que tiene el agua para el hombre y su adecuado tratamiento.

#### 3.1. CARACTERISTICAS FISICAS, QUIMICAS Y BIOLÓGICAS DEL AGUA CONTAMINADA

El agua contaminada es caracterizada en términos de sus propiedades biológicas, químicas y físicas; son múltiples las fuentes de contaminación por desechos domésticos, industriales y agrícolas, tal como se puede apreciar en el Tabla 6; el agua al entrar en contacto con estos desechos transporta múltiples microorganismos, muchos de ellos patógenos para el hombre.

Tabla 6. Características biológicas, químicas y físicas del agua contaminada

Contaminantes	Fuente de contaminación
<b>1. Biológicos</b>	
⇒ Animales (Mataderos, etc)	Corrientes de agua abiertas, plantas de tratamiento
⇒ Plantas	
⇒ Protistas;	
⇒ Bacterias	Desechos domésticos, infiltración superficial del agua
⇒ Virus	Desechos domésticos
<b>2. Químicos</b>	
⇒ Carbohidratos(azúcares, celulosa, etc.)	Doméstica, comercial y de industrias de desecho
⇒ Grasas, aceites y combustibles	Doméstica, comercial y de industrias de desecho
⇒ Proteínas	Doméstica, comercial y de industrias de desecho
⇒ Pesticidas	Desechos de la agricultura
⇒ Nitrógeno	Desechos domésticos y de la agricultura, por arrastre del nitrógeno
⇒ Fósforo	Desechos domésticos, comerciales e industriales, corrientes de agua natural
<b>3. Físicos</b>	
⇒ Color	Desechos domésticos e industriales, descomposición de materia orgánica natural
⇒ Olor	Descomposición de aguas de desecho
⇒ Sólidos	Suministro de agua doméstica, erosión del suelo, infiltración

Metcalf and Eddy, Wastewater Engineering Treatment, Disposal, and Reuse, 1991 (13)



En Tabla 7 son enunciadas las repercusiones que representan estas fuentes de contaminación en el agua.

**Tabla 7. Contaminantes importantes presentes en las aguas sucias**

Contaminante	Razones de importancia
Patógenos	Estos son responsables de transmitir enfermedades al estar en el agua que ha sido contaminada, tal como las bacterias <i>E. coli</i> y <i>Vibrio Cholerae</i> , causantes de enfermedades gastrointestinales como las diarreas, y el Cólera respectivamente.
Compuestos orgánicos	Comprende principalmente proteínas, carbohidratos, y grasas. Si estos no son tratados al ser descargados al ambiente puede llevar a reducir las fuentes de oxígeno naturales y al desarrollo de condiciones sépticas.
Compuestos inorgánicos disueltos	Constituyentes inorgánicos como el calcio, sodio y sulfato presentes en los productos de los hogares son descargados a las corrientes de agua.
Nutrientes	El nitrógeno y el fósforo junto con el carbono son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando son descargados a las corrientes de agua, estos nutrientes pueden llevar al crecimiento de vida acuática indeseable. Si son descargados en cantidades excesivas sobre la tierra pueden llevar a la contaminación de pozos de agua.
Sólidos suspendidos	Los sólidos suspendidos pueden llevar al desarrollo de depósitos de lodos o fangos y a condiciones anaerobias cuando el agua contaminada no tratada es descargada en las corrientes de agua.

Metcalfe and Eddy, Wastewater Engineering Treatment, Disposal, and Reuse, 1991 (13)

La naturaleza inodora del agua es indicativa de la presencia de contaminantes, estos son capaces de conferirle olores muy característicos, los más comunes se describen en el Tabla 8.

**Tabla 8. Compuestos que producen olores desagradables y que son asociados a la contaminación del agua**

Compuesto	Olor característico
Aminas (NH <sub>2</sub> )	Pescado
Amoniaco (NH <sub>3</sub> )	Amoniacal
Diaminas (NH <sub>2</sub> -R-NH <sub>2</sub> )	Carne descompuesta
Sulfuro de hidrogeno(H <sub>2</sub> S)	Huevos podridos
Sulfuros orgánicos (R-S-R-S)	Col podrida
Scatol (C <sub>9</sub> H <sub>9</sub> N)	Materia fecal

R= Grupos de carbono e hidrógeno

Metcalfe and Eddy, Wastewater Engineering Treatment, Disposal, and Reuse, 1991 (13)

### 3.1.1. MICROORGANISMOS PATÓGENOS Y ENFERMEDADES RELACIONADAS CON EL CONSUMO DE AGUA CONTAMINADA

El término patógeno es aplicado a aquellos organismos que producen o están involucrados en la producción de una enfermedad. Esta acción directa e indirecta permite clasificar a los organismos en las siguientes categorías:

A) **Aquellas enfermedades que son transmitidas por el agua.** Son enfermedades entéricas causadas por microorganismos que son excretados en grandes números por personas infectadas; la ruta de entrada de estos patógenos es normalmente por ingestión oral de agua que contiene estos patógenos. Las enfermedades más comunes producidas por ingerir agua contaminada con estos organismos son Cólera, Tifoidea, Leptospirosis, Hepatitis y Disentería u otras enfermedades que pueden ser transmitidas por otra ruta que permita que partículas de la materia fecal sean ingeridas, por ejemplo a través de alimentos contaminados.

B) **Enfermedades relacionadas con el agua causadas por patógenos llevados por insectos que actúan como vectores mecánicos y los cuales viven cerca del agua.** Estas enfermedades son muy severas y el control de los insectos y vectores es difícil. Las enfermedades más importantes incluye dos vírales; Fiebre amarilla, transmitida por el mosquito *Aedes spp.* y el Dengue, transportada por el vector *Aedes aegypti*, el cual se reproduce en el agua. Enfermedades causadas por protozoos incluyen al paludismo o malaria, que es causada por el protozoo *Plasmodium sp.* y es transmitida por el mosquito *Anopheles spp.*, el cual se reproduce en agua.

C) **Enfermedades causadas la falta de higiene personal y por la escasez de agua.** La incidencia de estas enfermedades disminuirá si los suministros de agua para el aseo personal son proporcionados en cantidad suficiente y con una calidad microbiológica adecuada, esto es, libres de microorganismos patógenos. Son enfermedades principalmente de áreas tropicales, e incluyen infecciones del tracto intestinal, la piel, y los ojos. Las infecciones intestinales son todas de origen fecal e incluyen enfermedades relacionadas a una higiene personal pobre; hay una creciente evidencia de que la Shigellosis está más relacionada a este comportamiento humano que a la calidad del agua. La mayoría de las infecciones intestinales son enfermedades diarreicas, responsables de la mortalidad entre infantes en climas tropicales. Las infecciones de la piel y las mucosas no son de origen fecal e incluyen Sarna, e infecciones cutáneas fúngicas. En esta categoría se incluyen las enfermedades propagadas por pulgas y piojos tales como la Tifo, y fiebre por los piojos.

D) **Enfermedades causadas por patógenos que tienen un ciclo de vida complejo y que requieren un huésped intermediario acuático.** Estas enfermedades son causadas por gusanos parásitos donde utilizan a crustáceos como huéspedes intermediarios y donde la severidad de la infección depende del número de gusanos infestando al huésped.

Los patógenos en aguas contaminadas residuales son capaces de infectar al hombre y animales por ingestión oral, por la piel o por las vías respiratorias. La ruta de infección más común por patógenos es la ingestión oral, los cuales causan generalmente desórdenes gastro-entericos. El patógeno se multiplica y es excretado con las heces y subsecuentemente es ingerido por el próximo huésped vía agua o alimentos contaminados. De estas especies de patógenos las más importantes son las especies de *Salmonella*, *Shigella*, *E. coli* enteropatógeno, *Vibrio*, *Mycobacterium*, virus entéricos humanos, quistes y larvas de gusanos patógenos.

Una amplia variedad de patógenos entéricos pueden ser detectados en aguas residuales (Tabla 9) y la frecuencia y densidad de la población de estos es un reflejo del grado de infección dentro de la comunidad. Especial cuidado deberá ser tomado cuando hay epidemias de enfermedades dentro de la comunidad. Hay una amplia variedad de patógenos especialmente *Salmonella* y parásitos intestinales que son asociados con el procesamiento de la carne (mataderos de reses y pollos).

**Tabla 9. Microorganismos asociados a las enfermedades debidas al consumo de agua contaminada**

ORGANISMO	ENFERMEDAD	SINTOMAS
<b>1. Bacterias</b>		
<i>Escherichia coli</i> (Enteropatógena)	Gastroenteritis	Diarreas
<i>Salmonella typhi</i>	Fiebre tifoidea	Fiebre alta, diarrea, ulceración del intestino delgado
<i>Salmonella</i>	Salmonelosis	
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera	Diarrea severas, dolores estomacales, deshidratación, muerte
<b>2. Virus</b>		
Adenovirus	Enfermedades respiratorias	
Enterovirus (polio, echo, coxsackie)	Gastroenteritis, anomalías del corazón, meningitis)	
Hepatitis A	Hepatitis infecciosa	Ictericia, fiebre
Reovirus	Gastroenteritis	Vomito
Rotavirus	Gastroenteritis	
<b>3. Protozoos</b>		
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amibiasis (disentería amibica)	Diarrea prolongada con sangrado, abscesos del riñón
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiasis	Diarreas de ligera a severa, nauseas, indigestión
<b>4. Helmintos</b>		
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariasis	Infestación por solitarias
<i>Taenia solium</i>	Taeniasis	Gusano de la carne de puerco
<i>Taenia saginata</i>	Taeniasis	Gusano de la carne de res

Metcalf and Eddy, Wastewater Engineering Treatment, Disposal, and Reuse. 1991 (13)

En la hepatitis infecciosa "A", hay una relación directa entre la contaminación de los suministros de agua y el agua utilizada para bañarse y la infección. El nivel de infección dependerá de factores tales como la densidad de los patógenos en el agua, la invasividad del patógeno y toxicidad del patógeno, el grado de contacto entre este y el huésped, y de la inmunidad innata o adquirida de los individuos

La mayoría de los patógenos son parásitos altamente especializados, los cuales crecen mejor a temperaturas de 37° C y en un ambiente disponible de nutrientes. Una vez excretados, los patógenos están en un ambiente hostil y su número declina rápidamente, sin embargo, la posibilidad de infección disminuye después del tratamiento, después de la descarga y dilución en aguas receptoras, y con el tiempo, así que la posibilidad de infección por contaminación fecal por efluentes tratados es extremadamente baja. La Tabla 10 indica las densidades de microorganismos encontrados en aguas contaminadas

**Tabla 10. Tipos y número de microorganismos encontrados típicamente en aguas domésticas no tratadas y contaminadas**

Organismo	Concentración (número de m.o. /ml)
Coliformes totales	100,000 - 100,000,000
Coliformes fecales	10,000 - 100,000
<i>Streptococo fecal</i>	1,000 - 10,000
Enterococo	100 - 1,000
Shigella	Presente
Salmonela	1 - 100
<i>Pseudomona aeruginosa</i>	10 - 100
<i>Clostridium perfringens</i>	10 - 1,000
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	Presente
Quistes de protozoos	10 - 1,000
Huevos de helmintos	0.02 - 10
Virus enterico	10 - 100

Metcalfe and Eddy, Wastewater Engineering Treatment, Disposal, and Reuse, 1991 (13)

### 3.1.2. HABITAT NATURAL DE LOS MICROORGANISMOS PATÓGENOS

La superficie gastrointestinal está protegida en gran medida por el ácido clorhídrico en el estómago, el cual es hostil para muchas formas microbianas de vida. Sin embargo, esta condición, puede ser modificada por la ingesta de alimentos u otras sustancias que neutralizan el ácido. El medio ambiente normalmente desfavorable puede ser superado por un gran número de microorganismos (m.o.).

Enfermedades infecciosas requieren que el agente parásito se adhiera a cierta superficie corporal; por ejemplo *E. coli* patógeno y *Vibrio Cholerae* se adhieren al epitelio del intestino delgado y la *Shigella dysenteriae* se adhiere al epitelio del intestino grueso.

Los m.o. están presentes en todas partes bajo las condiciones que permitan la existencia de alguna forma de vida. Están comprometidos en la síntesis de nuevos compuestos orgánicos y en la degradación de tejidos animales y vegetales complejos.

La diversidad de condiciones físicas y químicas presentes en diferentes medios, da como resultado la segregación de m.o. en diferentes nichos físicos que dependen de los nutrientes disponibles, la temperatura, la humedad y otras condiciones.

El conocimiento de la flora de diversos hábitats naturales, es importante para la comprensión de la adquisición de la enfermedad por el hombre

Muchos cuerpos de agua fresca y salinos contienen m.o., los cuales están adaptados a condiciones adversas; por ejemplo, bacterias psicrófilas que soportan fríos extremos, halofílicas que toleran concentraciones salinas, y termofílicas que aguantan altas temperaturas. Sin embargo, las bacterias patógenas no están presentes excepto en aguas contaminadas por la orina y heces del hombre y animales. Entre los organismos patógenos que a menudo llegan al agua que se emplea para beber o con propósitos de recreación se encuentran las especies de *Salmonella* y *Shigella*, el vibrión del Cólera, virus de la Hepatitis, virus de la polio y otros enterovirus. *E. coli* que persiste durante periodos más largos, sirve como índice de contaminación fecal.

## A) SUELO

Aunque la mayoría de microorganismos que alberga el suelo no son patogénicos, este es capaz de alojarlos. Algunos de estos m.o. patógenos, llegan al suelo en las excretas o cadáveres de animales, otros, son propios del suelo. Entre los patógenos que pueden estar presentes en el suelo se encuentran *Clostridium tetani* y *Clostridium perfringens*, agentes etiologicos de tétanos y gangrena, cuyo origen pudo ser el crecimiento natural en este medio o por heces de animales y hombre. *Clostridium botulinum*, causante de botulismo, también esta presente en el suelo y desde esté puede hallar su camino hacia alimentos mal procesados o a través de las heridas. Especies de *Clostridium* y *Bacillus* producen endosporas que permiten que la bacteria sobreviva, ya que confieren resistencia en condiciones ambientales adversas. La inhalación de esporas vaporizadas desde el suelo, da como resultado el ingreso del microorganismo al aparato respiratorio del hombre y de otros animales que da como resultado el inicio de la infección (7).

## B) AIRE

El aire libre rara vez contiene patógenos, probablemente debido a los agentes bactericidas de la desecación, ozono y radiación ultravioleta. En ambientes cerrados, esté puede contener virus y bacterias patógenas que se desprenden de la piel, manos, vestimentas y especialmente de las vías aéreas superiores del hombre <nariz y boca> (7).

## C) ANIMALES Y LECHE

Los animales son huéspedes de muchos de los m.o. que producen enfermedades en el hombre (Brucelosis, Salmonelosis, Peste, enfermedades por virus, etc. y Ricketistas acarreados por insectos y enfermedades parasitarias. Enfermedades que pueden ser transmitidas por vacas u ordeñadores enfermos incluyen Tuberculosis, Salmonelosis, difteria, Shigellosis, Brucelosis, e Intoxicación alimentaria estafilococica (7).

## D) FLORA MICROBIANA DEL CUERPO HUMANO

El hombre es bombardeado constantemente por muchas cantidades de microorganismos que ocupan su medio ambiente. Sin embargo, el hombre no proporciona un hábitat favorable a la mayoría de estos saprofitos, ya que deben competir con la flora comensal que ya esta adaptada al medio humano. Los organismos son deglutidos desde la boca y son destruidos por el ácido clorhídrico y enzimas de las secreciones gástricas o pasan rápidamente hacia el intestino delgado, donde los movimientos de contracción mantienen la esterilidad. El colón está fuertemente colonizado y es el principal hospedero de microorganismos del cuerpo.

Ciertas áreas tienen particular riesgo de contaminación; ya sea aguas para bañarse y costeras que reciben grandes volúmenes de aguas no tratadas y residuales estancadas <donde el efecto de la dilución puede ser reducido por corrientes y acción de las olas>; crustáceos comestibles creciendo en aguas contaminadas y aguas de estuarios que acumulan patógenos; contaminación de aguas superficiales y de pozos por depósitos sépticos, fugas de aguas de alcantarillados o desechos de la agricultura y agua que se ha reutilizado varias veces para propósitos de suministro de agua.

En aguas recreacionales las actividades que la gente realiza, implican un riesgo latente de contaminación fecal, presentándose problemas de irritación de la piel, infecciones de los ojos, oídos, nariz y garganta, e infecciones gastrointestinales asociados con aguas contaminadas costeras. Las infecciones son transmitidas de persona a persona en albercas,

especialmente infecciones de la piel, causadas por *Pseudomonas aeruginosa* y *Mycobacterium marinum*, Conjuntivitis causada por *Chlamydia trachomatis* e infecciones respiratorias. Otras enfermedades más serias asociadas al agua fresca y de aguas de mar recreacionales incluyen Tifoidea, Paratifoidea, Polio y Leptospirosis (7).

## E) CRUSTÁCEOS

Enfermedades enteropatógenas se sabe son transmitidas por el consumo de crustáceos contaminados en particular, mejillones, ostras, almejas y conchas. Este riesgo se conoció a finales del siglo XIX cuando la Tifoidea fue transmitida vía crustáceos contaminados y desde entonces la lista de enfermedades ha crecido e incluye Cólera, Paratifoidea, Hepatitis infecciosa y otros desórdenes gastro-entericos. Todos los crustáceos descritos anteriormente filtran los alimentos que ingieren y excretan su materia fecal junto con otros desechos. Microorganismos que pudieran estar presentes en los alimentos que ingieren estos animales marinos como los patógenos, no son digeridos o incluso inactivados; en cambio, acumulan a estos parásitos en la superficie branquial y el canal alimentario. Estos crustáceos son comunes en estuarios y aguas costeras que reciben contaminación orgánica, lo que incrementa el riesgo de transmisión de las enfermedades antes señaladas.

El mayor riesgo de salud se presenta cuando se comen los crustáceos crudos. El riesgo es minimizado al cocerlos o por inmersión en tanques de agua de mar limpia para permitirles que ellos mismos se limpien (7).

## F) AGUA SUBTERRÁNEA Y DE POZOS

Los virus y bacterias son capaces de moverse a través del suelo y contaminar pozos y aguas subterráneas. Se encuentran en aguas residuales, tratamiento de terrenos y depósitos sépticos filtrados. El movimiento de estos patógenos, depende de factores como el tamaño y forma de los microorganismos, el suelo, el género, las características superficiales del suelo y la viscosidad del agua.

Las bacterias pueden viajar más rápido en tierras altamente permeables (mayor a 30 m/día) que en suelos con baja permeabilidad <menor a 12 m/día> (13).

Coliformes fecales viajan grandes distancias horizontalmente a través de los suelos (mayor a 100 m) y a velocidades por arriba de 15 metros por hora.

Por su parte, los virus por su tamaño pequeño, son capaces de penetrar profundamente y más lejos que las bacterias, aunque no sobreviven largos periodos. Han sido encontrados a profundidades de 2.6 metros por abajo de la superficie después de una intensa lluvia. La retención de los virus disminuye proporcionalmente al incrementar la velocidad de flujo. La adsorción es mayor a valores de pH bajos, con algunos complejos metálicos que rápidamente adsorben virus. La presencia de sustancias orgánicas solubles ha mostrado reducir la capacidad de adsorción. El tiempo de vida media de algunos microorganismos presentes en aguas contaminadas de pozos se muestran en la Tabla 11.

**Tabla 11. Tiempo de vida media de bacterias entéricas en agua de pozos**

Especie	Tiempo de vida media(horas)
<i>Salmonella paratyphi B</i>	2.4
<i>Streptococcus bovis</i>	4.3
<i>Vibrio Cholerae</i>	7.2
<i>Salmonella paratyphi A</i>	16.0
Bacterias coliformes	17.0
<i>Shigella disenteriae</i>	22.4
<i>Enterococci</i>	22.0
<i>Aeromonas</i>	72.0

Gray N.F., Biology of Wastewater Treatment, 1992 (7)

### **G) REUSO DE AGUAS DE DESECHO PARA CONSUMO HUMANO**

En áreas muy pobladas se deben buscar fuentes de agua alternativas como los ríos, que han recibido aguas residuales de otros pueblos río arriba para suministrar sus necesidades de agua aunque también puede causar enfermedades al beber el agua por los consumidores cuando esta ha sido contaminada.

El método más efectivo para reutilizar el agua es combinar el tratamiento de residuos de aguas de desecho con procedimientos físicos y químicos, como son la filtración y desinfección de las descargas, cuando haya disponibilidad de las autoridades locales o estatales

El suministro adecuado de agua para beber es una de las mayores causas de la disminución en la incidencia de enfermedades ocasionadas por el agua

#### **3.1.3. MÉTODOS INDICADORES DE CONTAMINACIÓN FECAL Y SU RELACIÓN CON LA EFICIENCIA DE LA DESINFECCIÓN DEL AGUA UTILIZANDO CLORO**

La mayoría de los países requiere que el agua para beber sea regularmente examinada para asegurar que esta este libre de organismos que causaran enfermedad (patógeno) y sea por lo tanto segura para el consumo.

Para hacer un examen rutinario de aguas de suministro, se requiere prueba. Como las enfermedades son de origen intestinal, las bacterias de origen fecal son importantes para los exámenes de agua. Los organismos más ampliamente usados son las bacterias no-patogénicas, en particular coliformes (*E. coli*), *Streptococcus fecalis* y *Clostridium perfringens*, que encuentran su hábitat natural en el intestino del hombre. Su presencia puede ser determinada por crecimiento conveniente en medios de cultivo selectivos a estas bacterias, y posterior recuento del número total de bacterias presentes y de la presencia de organismos de origen intestinal o de aguas negras. De este modo, se busca un organismo indicador no patogénico, pero que es característico de las evacuaciones intestinales de los animales de sangre caliente y, por tanto, de la contaminación con aguas negras. De este modo queda establecido el uso de organismos indicadores para pruebas de agua por contaminación fecal.

Tres grupos son normalmente usados para indicar contaminación fecal, coliformes totales o *Escherichia coli*, *Streptococcus fecalis*, y *Clostridium perfringens*. Los 3 grupos son capaces de sobrevivir por diferentes periodos de tiempo en ambientes acuáticos. *Streptococcus fecalis* muere rápidamente afuera del huésped y su presencia es una indicación de reciente contaminación. *E.coli* puede sobrevivir por varias semanas bajo condiciones ideales y

son más fácilmente detectados que las otras bacterias indicadoras, por esto, es la prueba más ampliamente usada, aunque las otras son utilizadas frecuentemente para confirmar contaminación fecal si el grupo *E. coli* no es detectado. *Clostridium perfringens* es una forma esporulada anaeróbica que puede existir indefinidamente en el agua; cuando *E. coli* y *Streptococcus fecalis* están ausentes, su presencia indica contaminación tiempo atrás o intermitente. Las esporas son resistentes a los contaminantes industriales más que los otros organismos indicadores y estas son especialmente útiles en aguas recibiendo tanto desechos industriales como domésticos. Se asume que estos organismos no crecen afuera del huésped, y en general, esto es cierto. Sin embargo, en regiones tropicales se sabe que *E. coli* se multiplica en aguas templadas cálidas y hay evidencia de su capacidad de reproducirse en aguas enriquecidas.

Las bacterias coliformes son parte de la familia Enterobacteriaceae y lo conforman el género *Escherichia*, *Citrobacter* y *Klebsiella* (enterobacteria) y son los principales indicadores de contaminación intestinal o de aguas negras. *E. coli* es exclusivo de origen fecal, la cual está presente en heces recientes (frescas) en números mayores a cien millones de organismos, mientras que los otros coliformes son habitantes normales de la tierra y el agua.

Todos los miembros del grupo coliforme fermentan lactosa con la formación de un ácido y un gas; crecen aeróbicamente y no forman esporas.

Para el conteo de coliformes totales son usados tres métodos: tubo múltiple, la técnica de filtración por membrana y el recuento en placa; con estas técnicas, se pueden estimar densidades de coliformes en agua.

## A) MÉTODO DEL TUBO MÚLTIPLE

### Fundamento

El principio de la prueba se basa en que varios volúmenes de la muestra de agua son inocuados en una serie de tubos conteniendo un medio el cual es selectivo para bacterias coliformes. Con el patrón de tubos positivos y negativos, el número de *E. coli* o coliformes totales puede ser estimado en base a una prueba estadística conocida como número más probable (NMP) de coliformes por cada 100 mililitros de agua.

### Ventaja

Es el método más ampliamente usado para estimar densidades de coliformes totales y *E. coli*. Es especialmente útil para análisis de rutina de agua para beber, donde el conteo de coliformes se espera sea bajo.

## B) TÉCNICA DE LA FILTRACIÓN POR MEMBRANA

### Fundamento

Volúmenes conocidos de agua (usualmente 100 mililitros cuando el agua ha sido clorada o entubada) son pasados a través de un filtro de membrana (tamaño del poro  $0.45 \mu\text{m}$  = micrometros) que retiene las bacterias presentes (por ejemplo, retiene a todas las especies de la familia *Enterobacteracea* que miden entre  $2 \times 0.5 \mu\text{m}$ ;  $1 \mu\text{m} = 0.000001 \text{ m}$ ). La membrana es colocada sobre un medio de cultivo (M-ENDO para coliformes totales y MF-CBROTH para fecales), el cual contiene un detergente para inhibir a las bacterias no intestinales, y es entonces incubado. La técnica supone que cada bacteria retenida por el filtro de la membrana crecerá y formará una colonia pequeña visible. Durante el periodo de incubación, los nutrientes se



difunden con el medio de cultivo a través de la membrana y los coliformes son capaces de multiplicarse y formar colonias reconocibles. El volumen del agua filtrada producirá entre 10 a 100 colonias. El número real de coliformes es determinado contando el número de colonias y es expresado como el *número de unidades formadoras de colonias* (UFC) por cada 100 ml. de agua. Las membranas cuentan con un cuadrículado impreso sobre la superficie para ayudar al conteo. Como las otras pruebas bacteriológicas, es esencial realizar las pruebas bajo condiciones estériles, tanto en el ambiente como en el equipo e instrumentales utilizados.

### **Ventajas**

La marca de la membrana y el tamaño del poro pueden tener un efecto significativo sobre los conteos obtenidos.

Esta técnica está reemplazando al método de tubos múltiples debido a que en esta última, es necesaria la preparación de grandes cantidades de tubos con los medios de cultivo y tubos invertidos que consumen mucho tiempo. La filtración por membrana es mucho más rápida, es más sencilla de usar, y no requiere capacitación especializada.

### **Desventajas**

Es comparativamente caro si las membranas son compradas ya preparadas.

El método no es adecuado para efluentes turbios que son difíciles de filtrar; la prefiltración a través de una serie de filtros gruesos supera el problema de la filtrabilidad, sin embargo, la estimación de coliformes será muy reducida.

## **C) MÉTODO DE PLACA**

### **Fundamento**

Pequeñas muestras de agua son inoculadas directamente sobre el medio de cultivo. Las placas o platos son incubados a 30 °C por 4 hr seguido de 20 hr., ya sea a 37° o 44°C para producir conteos de coliformes o *E. coli* respectivamente. Cuando los coliformes están presentes, el medio de cultivo M-ENDO, es cambiado a un color amarillo translúcido debido a la producción de ácido. Las colonias de coliformes son contadas directamente sobre la placa o plato.

### **Ventaja**

Este método es frecuentemente usado cuando el conteo de coliformes se hace en aguas muy contaminadas.

## **D) OTROS INDICADORES: *STREPTOCOCOS FECALES, CLOSTRIDIUM PERFRINGENS***

### ***STREPTOCOCOS FECALES***

#### **Fundamento**

Los estreptococos normalmente se encuentran en heces humanas y animales. Todas las especies son indicativas de contaminación fecal, una prueba en conjunto para este grupo es suficiente para utilizar esta prueba como indicador.

*Streptococcus fecales* son cocos Gram-positivos de 1  $\mu\text{m}$  de diámetro, no forman esporas y no son móviles. Pueden ser igualmente tan abundantes como los coliformes especialmente en tormentas de agua y en efluentes con unidades de crianza de puercos, pero bajo circunstancias normales, serían menos abundantes. Los métodos de aislamiento y enumeración son los mismos para los coliformes, excepto que difieren en el medio de cultivo y las condiciones de incubación.

El *estreptococo fecal* puede fermentar lactosa y otros azúcares pero no produce gas, los tubos invertidos no son necesarios en el método de tubo múltiple. El crecimiento ocurre a 45 ° C en la presencia de un compuesto de sodio o potasio, el cual inhibe las bacterias Gram-negativas, incluyendo coliformes.

Los tubos son incubados a 37° C por 72 hr., y si el indicador de pH en el medio ha cambiado de púrpura a amarillo, indicando producción de ácido, entonces un inóculo de cada tubo positivo es transferido al medio fresco y reincubado a 45° C por 48 hr.; entonces los tubos son usados para calcular el número más probable (NMP).

La técnica de filtración por membrana es la misma que para los coliformes, excepto que los filtros de membrana tienen al medio de cultivo M-ENDO y son incubados por 4 hr a 37° C seguido de 44 hr a 45° C. Las colonias aparecen de color rojo o marrón y son directamente contados.

Ambos grupos, coliformes y streptococos, son matados por pH extremo. El pH adecuado para que sobrevivan es de 4 a 9.

## CLOSTRIDIUM PERFRINGENS

### Fundamento

*Clostridium perfringens*, es una bacteria anaeróbica Gram-positivo en forma de bastón formador de esporas que es encontrada en heces humanas y animales; su presencia en agua es un indicador positivo de contaminación fecal. Esta mide 5x1  $\mu\text{m}$

Es menos abundante que otras bacterias indicadoras, siendo encontradas entre cien mil a diez millones por 100 ml. de agua. A diferencia de coliformes o estreptococos, sus esporas pueden sobrevivir indefinidamente, considerado esto útil para identificar una contaminación tiempo atrás (lejana). Las esporas son muy resistentes y son capaces de soportar el calentamiento. Puede fermentar lactosa, produciendo grandes cantidades de gas, y es capaz de reducir sulfito a sulfuro.

Para determinar este organismo indicador es usada la técnica de filtración por membrana y el método del tubo múltiple.

Dos etapas se dan con el método de NMP para aislar y enumerar *C. perfringens*. Primero, la muestra de agua es calentada a 75 ° C (para destruir a las bacterias vegetativas y no se presente interferencia) y después de enfriarla es inoculada directamente al medio de cultivo e incubada a 37° C por 48 hr. Después del tratamiento de calor preliminar para destruir bacterias vegetativas, un volumen de muestra es filtrada a través de la membrana e incubada anaeróbicamente en un medio de cultivo de agar conteniendo sulfito. El conteo de los clostridios es realizado contando las colonias negras que se han formado (7).

En el Tabla 12, se da un resumen de estos indicadores microbiológicos de calidad del agua.

**Tabla 12. Indicadores microbiológicos de calidad del agua**

<b>Parámetro Microbiológico</b>	<b>Método de análisis</b>
Coliformes totales por cada 100 ml de agua  Coliformes fecales por cada 100 ml de agua	Fermentación en tubos múltiples subcultivo de tubos positivos sobre un medio confirmatorio y conteo de acuerdo al Número más Probable (NMP) ó método de Filtración por Membrana y cultivo sobre un medio apropiado e identificación de colonias supuestas, reportado como las Unidades Formadoras de Colonias (UFC). La temperatura de incubación es variable de acuerdo a si se investigan coliformes totales (37° C) o coliformes fecales (44°). El método de tubos múltiples tiene una duración aproximada de 3 días y el de Filtración por Membrana es de sólo 24 horas
Estreptococos fecales	Mismos métodos: conteo por Número Mas Probable (NMP), por el método de tubos múltiples ó Unidades Formadoras de Colonias (UFC) por la técnica de filtración por membrana.

Gray N F., Biology of Wastewater Treatment, 1992 (7)

La Tabla 13, especifica la cantidad de microorganismos (entre ellos los patógenos), que pueden ser encontrados en las heces del hombre y animales; de aquí la importancia de disponer adecuadamente de ellas para reducir las fuentes de contaminación y por tanto la transmisión de enfermedades

**Tabla 13. Densidades de coliformes y estreptococos fecales encontrados en heces**

<b>Fuente fecal</b>	<b>Coliformes fecales (millones de m.o.)</b>	<b>Estreptococos fecales (millones de m.o.)</b>
Hombre	13,000,000	3,000,000
Vaca	230,000	1,300,000
Puerco	3,300,000	84,000,000
Ovejas	16,000,000	38,000,000
Caballo	12,600	6,300,000
Pato	33,000,000	54,000,000
Pollo	1,300,000	3,400,000
Guajolote	290,000	2,800,000
Gato	7,900,000	27,000,000
Perro	23,000,000	980,000,000
Conejo	20	47,000
Rata	189,000	78,900,000
Paloma	10,000	11,500,000

Gray N.F., Biology of Wastewater Treatment, 1992 (7)

No obstante que se han desarrollado técnicas para determinar de una manera más rápida y confiable estos microorganismos, aún resultan inaccesibles y son muy costosos para utilizarlos en el medio rural, en particular en las comunidades mas alejadas y apartadas del país.

Una forma indirecta y la más ampliamente para conocer la calidad del agua se basa en la eficiencia de la desinfección por la utilización de algún procedimiento físico o la aplicación de productos químicos.

Por muchos años, se ha establecido el hecho de que la existencia de cloro residual en los depósitos y redes de distribución de agua en las llaves de los habitantes de la comunidad, se garantizará que esté exenta de organismos patógenos.

## 3.2. LA NECESIDAD DE LA DESINFECCIÓN Y POTABILIZACIÓN DEL AGUA

El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y, para lo cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características bacteriológicas, químicas, organolépticas, físicas y radiactivas. Con el fin de asegurar y preservar la calidad en los sistemas, hasta la entrega al consumidor, se debe someter a tratamientos de potabilización.

La Norma Oficial Mexicana describe a la desinfección del agua, como la destrucción de organismos patógenos por medio de la aplicación de productos químicos (como el cloro) o procesos físicos (como la filtración o ebullición), mientras que a la potabilización la define como el conjunto de operaciones y procesos, físicos y/o químicos que se aplican al agua a fin de mejorar su calidad y hacerla apta para uso y consumo humano.

*Límite permisible*; lo describe como la concentración o contenido máximo o intervalo de valores de un componente, que garantiza que el agua será agradable a los sentidos y no causará efectos nocivos a la salud del consumidor.

### Límites permisibles de calidad del agua

*Límite permisible de características bacteriológicas*: El contenido de organismos resultante del examen de una muestra simple de agua. Los resultados de los exámenes bacteriológicos son reportados en unidades de NMP/100 ml (Número Más Probable por 100 ml), si se utiliza la técnica del Número Más Probable o UFC/100 ml (Unidades formadoras de Colonias por 100 ml), si se utiliza la técnica de filtración por membrana. Para ambas técnicas se establecen como límites permisibles la presencia de **2 NMP/100 ml** o **2 UFC/100ml** para la determinación de **Organismos coliformes totales** y **No detectable NMP/100 ml, cero UFC/100 ml** para **Organismos coliformes fecales**.

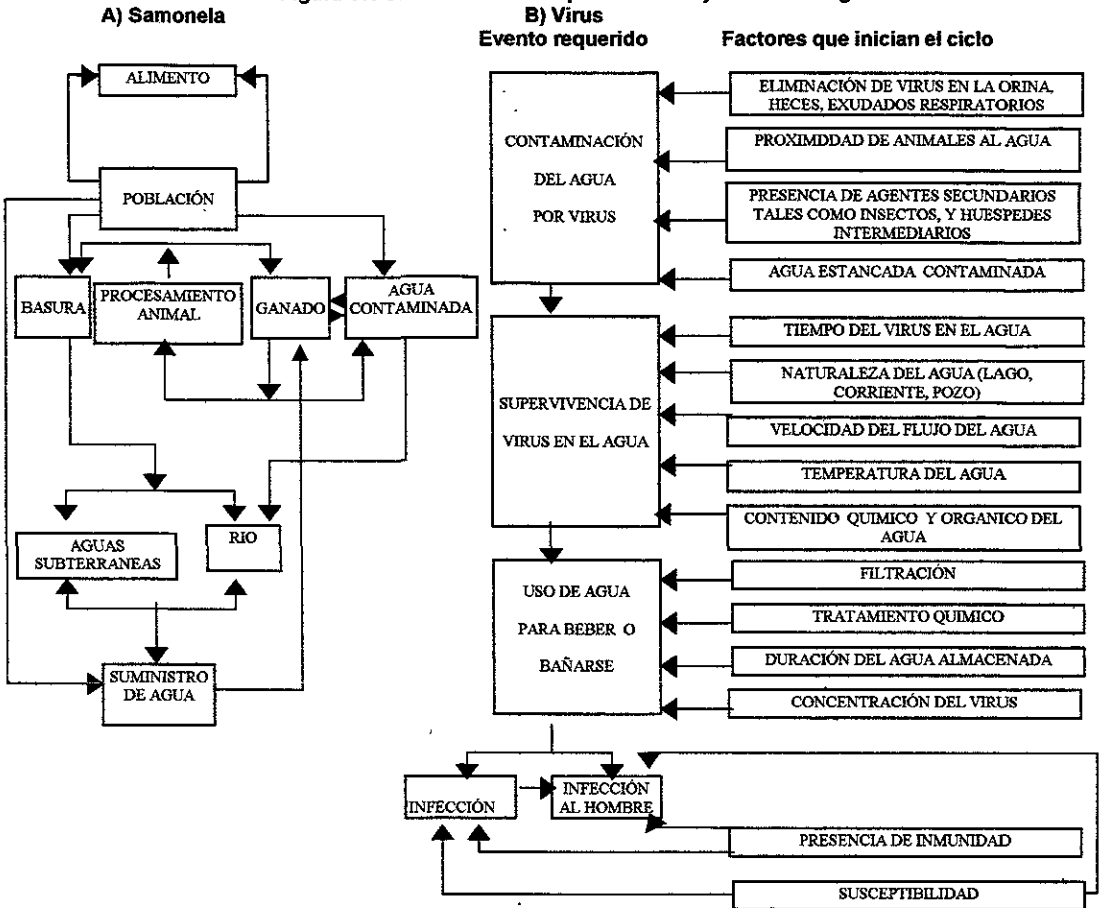
*Límites permisibles de características físicas*. Las indicaciones establecidas en norma indican que el agua deberá ser **agradable** (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores)

*Límites permisibles de características químicas*: El contenido de constituyentes químicos deberá ajustarse a lo establecido en la norma. Los límites se expresan en mg/l Para el caso del **cloro** el límite permisible estará comprendido entre los valores de **0.2 a 1.5 ppm**

El agua, incluso la tratada con algún desinfectante como el cloro, la plata, el ozono, etc., es sometida a múltiples factores que implican una recontaminación de los microorganismos patógenos en los cuerpos de agua Figura 13, El ciclo de infección de las bacterias como *Salmonella* involucra la relación del hombre con los animales domésticos, basura, la contaminación de aguas superficiales como ríos o subterráneas y contaminación de los suministros de agua por las fugas de aguas negras. La ruta de contaminación provocada por los virus que pueden sobrevivir desde unas horas hasta 200 días (2) y donde la adaptabilidad de estos organismos a vivir en todas partes de acuerdo a las condiciones prevalientes como el tiempo del virus en el agua, la

naturaleza de las aguas incluso a su preferencia de supervivencia en las estaciones del año y la falta de un tratamiento adecuado como la filtración y desinfección puede provocar la supervivencia de estos organismos hasta llegar infectar al hombre.

**Figura 13. Ciclo de infección por bacterias y virus en el agua**



Fuente: Gray N.F., *Biology of Wastewater Treatment*, 1992 (7); y Chermisioff N.P., *Treatment and Waste Recovery Advanced Technology and Applications*, 1993 (2)

Para la desinfección y purificación del agua, han sido utilizados diversos procedimientos físicos y químicos ya sea solos o en conjunto como la sedimentación, filtración, ebullición el uso del cloro el ozono, los iones metálicos como la plata coloidal, etc., El método más generalizado continua siendo la cloración. En el Tabla 14, son especificados los procedimientos, a ser utilizados, de acuerdo al contaminante presente.

**Tabla 14. Procesos de tratamiento de agua para remover los contaminantes encontrados en aguas sucias a nivel comunitario**

Contaminante	Proceso o tratamiento
Sólidos suspendidos	Adición de compuestos químicos para obligar a sedimentarlos, coagulación, filtración.
Compuestos orgánicos	Filtración
Orgánico volátiles	Adsorción por carbón activado
Patógenos	Cloración, hipocloración, ozonización, radiación ultravioleta, plata iónizada, bromo, yodo, etc.

Metcalf and Eddy, Wastewater Engineering Treatment, Disposal, and Reuse, 1991 (13)

Para la eliminación de olores en el agua, generados por contaminantes se proponen en el Programa los procedimientos físicos y químicos descritos en la Tabla 15

**Tabla 15. Métodos para el control de olores por gases presentes en aguas contaminadas**

Método	Descripción y/o aplicación
<b>1. FISICO</b>	
Adsorción por carbón activado	Gases olorosos pueden pasar a través de carbón activado para ser removidos . Es usado además como método para absorber el cloro cuando este se encuentra en exceso o se desea eliminarlo
Adsorción sobre arena y grava o camas compuestas	Gases olorosos como el sulfuro de hidrogeno (H <sub>2</sub> S), pueden ser forzados a pasar a través de la arena, grava, o camas compuestas
<b>2. QUIMICO</b>	
Oxidación	El control de los olores por medio de la oxidación de compuestos clorados es uno de los métodos mas usados. Cloro, ozono, peróxido de hidrogeno y permanganato de potasio, están entre los oxidantes que son y han sido utilizados. El cloro además limita el desarrollo de capas de limo o cieno

Metcalf and Eddy, Wastewater Engineering Treatment, Disposal, and Reuse, 1991 (13)

La eliminación de organismos patógenos (bacterias, virus, esporas) mediante la desinfección del agua se lleva a cabo utilizando dosificaciones de compuestos del cloro como es descrito en la

Tabla 16; nótese como los virus y las esporas requieren mayores cantidades de cloro para ser eliminados.

**Tabla 16. Comparación de la concentración (mg/l) de los desinfectantes usados para inactivar la mayoría de grupos microbianos (Tiempo de contacto = 30 minutos)**

Desinfectante	Bacterias Entéricas	Virus	Esporas
HOCl (Acido Hipocloroso)	0.020	0.40	10.00
OCl (Hipoclorito)	2.000	720.00	1000.00
NH <sub>2</sub> Cl (Monocloramina)	5.000	100.00	400.00
Cl <sub>2</sub> (CLORO GAS)	0.040	0.80	20.20
O <sub>3</sub> (OZONO)	0.001	0.10	0.20

Gray N.F., Biology of Wastewater Treatment, 1992 (7)

En la Tabla 17, son indicadas las cantidades de cloro residual que se necesitan para eliminar a los organismos patógenos. Aquí se observa como para los helmintos (quistes) se necesita una mayor cantidad de cloro para eliminarlos, requiriendo 3.0 ppm mientras que los organismos más susceptibles al cloro, son las bacterias (*E. coli*), requiriendo tres veces menos cloro para ser destruidos.

**Tabla 17. Destrucción de microorganismos por el cloro**

Microorganismo	Residuo de cloro en el agua ppm (mg/l)
<i>E. coli</i>	0.20 -1.00
Virus de la polio	0.10
Organismos de la tuberculosis	0.20 -1.00
Virus de hepatitis	0.40 -1.10
Virus coxsackie	0.50
Quistes de la disentería amibica	3.00

Gray N.F., Biology of Wastewater Treatment, 1992 (7)

### 3.3. MÉTODOS DE DESINFECCIÓN DEL AGUA Y SUS MECANISMOS DE ACCIÓN SOBRE LOS MICROORGANISMOS

#### 3.3.1. HIPOCLORACIÓN

##### 3.3.1.1. REACCIONES DEL CLORO CON EL AGUA

En el tratamiento de agua, la desinfección suele realizarse mediante procedimientos físicos y químicos. Dentro de los físicos la ebullición, la filtración y la luz ultravioleta (UV) son los más importantes. Los químicos involucran el uso del gas cloro ( $Cl_2$ ), los hipocloritos de calcio ( $Ca(OCl)_2$ ) y sodio ( $NaOCl$ ), dióxido de cloro ( $ClO_2$ ) y las cloraminas derivadas del cloro; hidroclorazone sulfocloramina. Implica también el uso del ozono ( $O_3$ ); plata iónizada ( $AgNO_3$ ); flúor (F); permanganato de potasio ( $KMnO_4$ ); sulfato de cobre ( $CuSO_4$ ).

Los desinfectantes derivados del cloro mas utilizados son los hipocloritos (Hipoclorito de Calcio y Sodio), por presentar ventajas importantes sobre los otros agentes químicos; como son:

- ⇒ Fácil manejo y aplicación.
- ⇒ Su fuerza en las aguas es persistente.
- ⇒ El residuo de cloro dejado en el agua puede ser medido fácilmente por métodos colorimétricos.
- ⇒ Puede eliminar materia orgánica (algas y bacterias que se alimentan de limo) e inorgánicas(ferro, manganeso),
- ⇒ Puede controlar olores al destruir al ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ), que produce un olor a pescado muerto en las aguas, como se indica en la Tabla 18.

**Tabla 18. Efectividad del hipoclorito para remover algunos gases productores de malos olores.**

Gas	Eficiencia de remoción Esperado(%)
Acido sulfhídricó	98
Amoniaco	98
Dióxido de sulfuro	95
Mercaptanos	90
Otros compuestos Oxidantes	70-90

Gray N.F., Biology of Wastewater Treatment, 1992 (7)



⇒ Elimina sabores si son aplicados al agua en forma adecuada y racional.

El hidróxido de sodio (NaOH) y calcio (Ca(OH)<sub>2</sub>) <cal apagada>, productos usados en la manufactura de los hipocloritos, son utilizados únicamente para estabilizar los productos ya sea hipoclorito de sodio ó hipoclorito de calcio respectivamente.

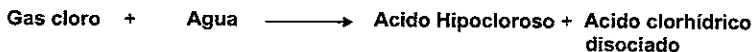
La única diferencia entre las reacciones de los hipocloritos y el cloro gas son los productos finales de la reacción. La reacción con los hipocloritos incrementa los iones hidroxilo (OH<sup>-</sup>) para la formación de hidróxido de sodio (NaOH) o hidróxido de calcio (Ca(OH)<sub>2</sub>) incrementando por tanto aunque ligeramente, el valor del pH del agua; la reacción con cloro gas incrementa la cantidad de iones hidrogeno (H<sup>+</sup>) por la formación de ácido clorhídrico disociado (H<sup>+</sup> + Cl<sup>-</sup>).

La selección entre el uso de los hipocloritos y el cloro gas favorecería a este último en la desinfección del agua, si el único criterio fuera el costo del producto químico; sin embargo, el tamaño y complejidad en el costo de la instalación, personal altamente capacitado para su manejo, y alta peligrosidad del cloro gas, llevará a favorecer a los hipocloritos.

El cloro pertenece al grupo VII – A de la tabla periódica de los elementos, llamado familia de los halógenos y al igual que sus compañeros bromo y yodo, posee una toxicidad característica que les confiere su poder desinfectante. El cloro en estado gaseoso es de color amarillo verdoso y 2.48 veces más pesado que el aire. En su forma líquida es de color ámbar y 1.44 veces más pesado que el agua.

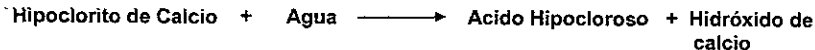
La adición del cloro en el agua a tratar, produce el ácido hipocloroso y el ácido clorhídrico:

#### A) AGUA



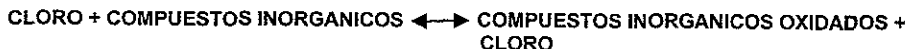
Para el caso de los hipocloritos las reacciones de estos con el agua y estos son:

**Hipocloración:**

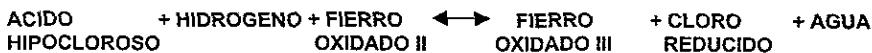


#### B) COMPUESTOS INORGÁNICOS

Las reacciones con los compuestos inorgánicos como las sustancias suspendidas y disueltas en el agua como el hierro, manganeso, calcio, nitritos, azufre, etc., es la siguiente:



Ejemplo:



### C) COMPUESTOS ORGÁNICOS

Los compuestos orgánicos como las lamas, excremento de humanos y animales, desechos de plantas y organismos que se desarrollan y mueren en los cuerpos de agua tienen como la siguiente reacción principal:



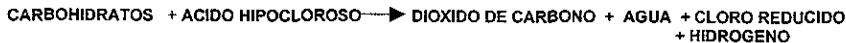
Ejemplo:

Reacción con nitrógeno orgánico:



### REACCIONES DE OXIDACIÓN CON CARBOHIDRATOS, GRASAS Y ACIDOS GRASOS

Ejemplo:



### FORMACIÓN DE TRIHALOMETANOS

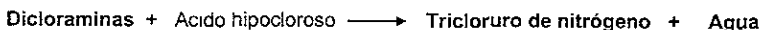


Ejemplo:



### D) AMONIACO

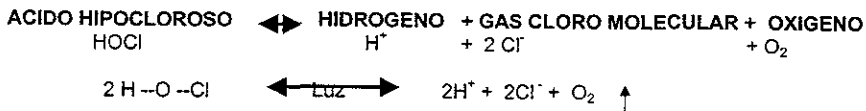
El amoniaco es un compuesto muy común en el agua, debido a que este es arrastrado o es formado por los desechos agrícolas, desechos urinarios de humanos y animales y desechos domésticos.



- Valores de pH del agua inferiores a 9.3 implica el predominio del amoníaco(NH<sub>3</sub>)

## E) LUZ SOLAR

El cloro es un compuesto muy sensible a la luz solar, al contacto con está, el cloro es descompuesto, reduciendo su capacidad desinfectante.



Descomposición del cloro.

### 3.3.1.2. REACCIÓN AL PUNTO DE QUIEBRE (CURVAS DE DEMANDA DE CLORO Y CONTROL DE TRIHALOMETANOS)

La finalidad de mostrar la Gráfica 21 incisos A), B) y C) es con el propósito de entender un concepto de importancia en la cloración: la curva de demanda de cloro, entendida como la cantidad de cloro que se necesita para eliminar las sustancias disueltas y suspendidas en el agua y para realizar la desinfección, el no realizarla podría llevar a una sobredosificación, formándose compuestos indeseables, y rechazos por el sabor y el olor.

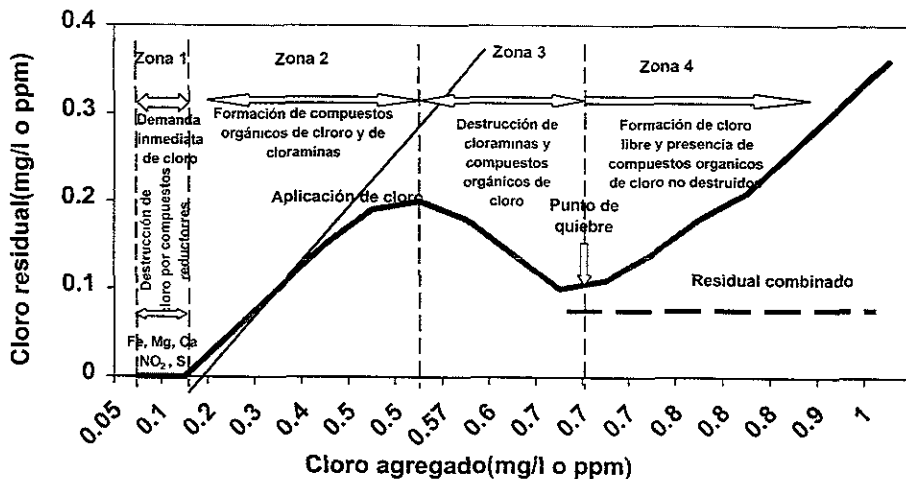
Las ventajas importantes de clorar al punto de quiebre que es definido como el punto en el cual se logran eliminar la mayor parte de las sustancias que interfieren en su poder desinfectante son en parte reducir los olores y sabores anormales y asegurar una desinfección certera y rigurosa.

El cloro en el agua es un agente químico muy activo. Si una pequeña cantidad se agrega al agua, Gráfica 21 A), reaccionará con la gran cantidad de sustancias disueltas o suspendidas en ella, y entonces su poder como agente desinfectante quedara destruido.

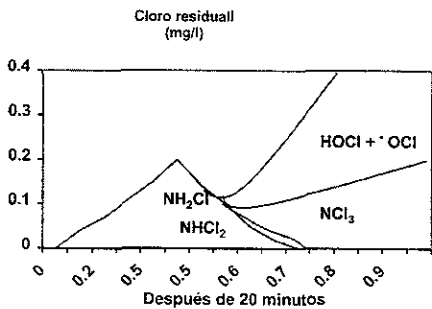
Por ejemplo, el cloro reacciona rápidamente con el ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), lo cual da como resultado que no habrá desinfección; el manganeso (Mn<sup>++</sup>) y el Hierro (Fe<sup>++</sup>), y los nitritos reaccionan en forma similar con el cloro y por ello no se lleva a cabo ninguna desinfección (zona 1 de la Gráfica 21 A). Si se agrega la cantidad suficiente de cloro para que reaccione con estos compuestos, llamados compuestos reductores, entonces, un poco mas de cloro que se agregue reaccionara con cualquier materia orgánica presente, para producir compuestos orgánicos de cloro, los cuales tienen poca o ninguna acción desinfectante y pueden causar por el contrario olores y sabores desagradables, zona 2 de la Gráfica 21 A). En esta zona también se ilustra la reacción que hay con el amoníaco (NH<sub>3</sub>) para formar cloro libre combinado, es decir cloraminas (mono, di, y triclорaminas vistas en las reacciones del cloro con el agua anteriormente, que aunque son considerados como germicidas su poder de desinfección es mucho mas bajo que el cloro libre disponible (HOCl y OCl). Si se agrega cloro en cantidad suficiente para que reaccione con todas las sustancias reductoras, la materia orgánica y el amoníaco serán destruidos (zona3), agregando un poco mas de cloro permitirá producir el cloro residual libre disponible (zona 4), originando una mayor efectividad en la destrucción de los microorganismos patógenos durante el tratamiento. Observe como se ha logrado llegar al punto de quiebre en esta

zona. Lo anterior puede ser resumido en la Gráfica 21 A). Note como se logra apreciar con más detalle en la Gráfica 21 B) y 21 C), la formación del cloro residual libre ( $\text{HOCl} + \text{OCl}^-$ ) y combinado.

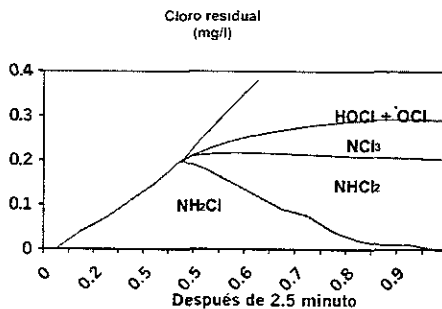
Gráfica 21. Reacciones del cloro en el agua al "punto de quiebre: curva de demanda de cloro"



A)



B)



C)

Fuente: Herman E. H., et. al., Manual de Tratamiento de Aguas, 1991 (10), Geo Clifford W., Disinfection of Wastewater and Water for Reuse, 1978 (3)

## CONTROL DE TRIHALOMETANOS

La cloración de aguas superficiales conteniendo cantidades altas de sustancias húmicas (conjunto de materiales parcial o totalmente descompuestos del suelo) de fuentes naturales de agua, tales como la descomposición vegetal, produce trihalometanos (THM) donde el cloroformo ( $\text{CHCl}_3$ ) y el bromodiclorometano, ( $\text{C}_2\text{H}_2\text{BrCl}_2$ ) son las formas químicas más usuales. Los trihalometanos son sospechosos de ser carcinógenos y tienen un nivel de contaminación máximo permitido de 0.20 mg/l en agua para beber (según la Norma Oficial Mexicana de calidad del agua).

La práctica de la cloración al punto de quiebre cuando hay altos contenidos de materia orgánica implica adicionar más cloro como un paso inicial en el acondicionamiento de aguas superficiales para la desinfección y control de sabor y olor, contribuye a la formación de THM. Además manteniendo un cloro residual libre alto, incrementa la concentración de THM con el tiempo. Los siguientes métodos de tratamiento de aguas son recomendados para reducir el nivel de THM en el agua tratada con cloro: aplicación de este producto después de una coagulación, sedimentación o filtración; mejorar los procesos de clarificación; usar en la medida de lo posible desinfectantes alternativos o combinados con el dióxido de cloro, ozono, plata coloidal; y la aplicación de carbón activado para absorber THM y sustancias húmicas.

Aplicar el cloro en etapas posteriores al tratamiento físico de separación de partículas gruesas aguas superficiales, es el método más fácil para reducir la formación de los THM. Los beneficios de aplazar la cloración, implica una reducción en la dosis requerida y remoción de sustancias húmicas antes de aplicar cloro. Si es necesario, el carbón activado puede ser aplicado durante etapas de tratamiento tempranas para absorber sustancias húmicas, o aplicar cal de construcción para flocular las partículas suspendidas en el agua, y reducir el cloro utilizado. La aproximación más conveniente para el control de THM es la prevención más que su remoción después de su formación.

La turbiedad de una muestra de agua vista bajo un recipiente de vidrio transparente y posterior sedimentación es una forma sencilla de ver la separación de partículas grandes en el agua.

### 3.3.1.3. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DESINFECCIÓN DEL CLORO

#### A) MATERIA ORGÁNICA E INORGÁNICA

Las aguas naturales están formadas de soluciones complejas de muchas sustancias, la mayoría de ellas pueden ignorarse, pero algunas de ellas influyen sobre la cloración en forma decisiva (Tablas 7 y 8) ya que tienden a reaccionar con el cloro y lo eliminan (Gráfica 21).

- ⇒ El amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) reacción con el cloro libre para formar compuestos de cloro y que aunque tienen cualidades desinfectantes, son menos eficaces que las del cloro libre ( $\text{HClO}$  y  $\text{OCl}^-$ ).
- ⇒ Los nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ) reaccionan con el cloro libre y lo eliminan, y pueden además producir un color falso cuando se realiza la prueba de la ortotolidina.
- ⇒ Con el manganeso y el hierro, se causan errores de lectura cuando se usa la prueba de la ortotolidina para determinar el cloro residual. Cuando hierro y manganeso están en su forma reducida ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ), reaccionan también con el cloro y por lo tanto debe agregarse una cantidad adicional de cloro o la requerida para la desinfección (Gráfica 21 A).

- ⇒ Los sólidos suspendidos (sólidos disueltos y sedimentables), pueden poner una barrera a los microorganismos patógenos protegiéndolos de la acción destructora del cloro
- ⇒ La materia orgánica, como lamas excrementos humanos y animal, desechos de plantas y organismos que se desarrollan y mueren en las fuentes de abastecimiento, desechos domésticos, industriales, son otras barreras para la acción eficiente del cloro (Gráfica 21 A).

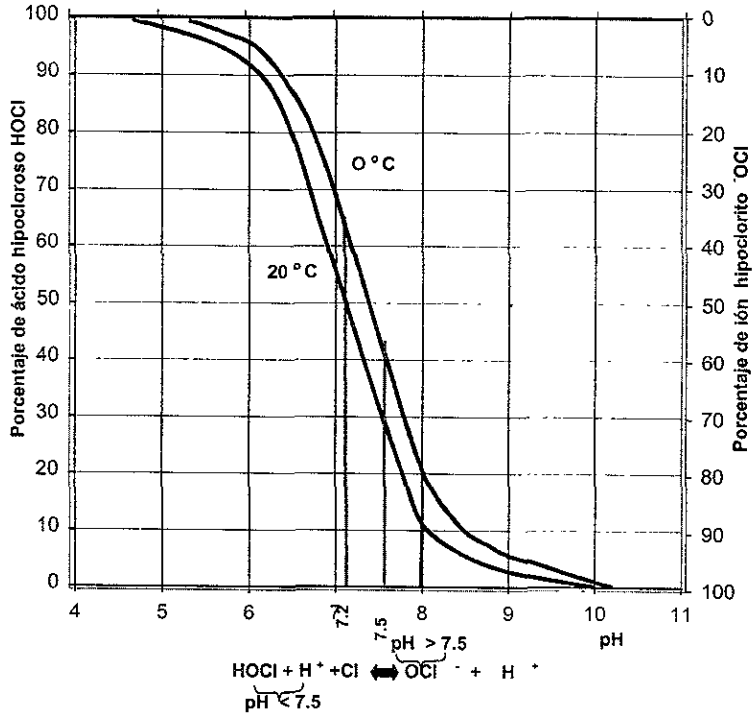
## B) pH (ACIDEZ O ALCALINIDAD DEL AGUA)

El pH, es un importante parámetro de calidad de los compuestos biológicos y químico de aguas naturales y de aguas contaminadas. Su valor puede ser medido en el agua por papeles o soluciones indicadoras (como el rojo de fenol) por un cambio de color que después se compara con tarjetas ya definidos para diferentes valores de pH.

Las aguas de baja alcalinidad y pH, son más fácilmente desinfectadas, por ejemplo las aguas con un pH menor de 7.2 en comparación con las que tiene un pH mayor que 7.6

Como ya se ha visto de entre todos los compuestos que se forman al adicionar ya sea hipoclorito de calcio ( $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ ) o hipoclorito de sodio ( $\text{NaOCl}$ ), el ácido hipocloroso ( $\text{HOCl}$ ) y el ión hipoclorito ( $\text{OCl}^-$ ) conocidos como cloro libre disponible son los productos que ejercen la desinfección al actuar sobre los microorganismos patógenos, en donde la forma no disociada ( $\text{HOCl}$ ), tiene un poder de desinfección 30 veces superior a la forma iónica ( $\text{OCl}^-$ ). La existencia y predominio de estos compuestos en relación al pH del agua se ilustra en la Gráfica 22. Cuando las aguas tienen valores de pH menores a 7.5 (véase además la reacción abajo de la Gráfica 22, el ácido hipocloroso será el que se encuentre en mayor proporción en relación al ión hipoclorito cuyo poder de desinfección es mayor requiriendo por tanto un tiempo de contacto y cantidad de cloro menor para ejercer la desinfección, como se observa en la Gráfica 22. Por ejemplo si el pH del agua fuera 7.2, al adicionar el cloro en la forma de hipocloritos para llevar a cabo la desinfección, se esperaría que el ácido hipocloroso estaría presente en una proporción del 70 u 80% ver Gráfica 22, mientras que el ión hipoclorito estaría en una proporción del 30 o 20% presente en el agua de acuerdo a la Gráfica 22. Por el contrario, si el pH del agua hubiera dado un valor de 8.0 de acuerdo a esta Gráfica el predominio sería para el ión hipoclorito con una presencia en el agua del 70 o 60% mientras que el ácido hipocloroso estaría presente tan solo en un 30 o 40% Como se puede apreciar a valores de pH del agua arriba de 9.5 el cloro existe casi completamente como ión hipoclorito ( $\text{OCl}^-$ ).

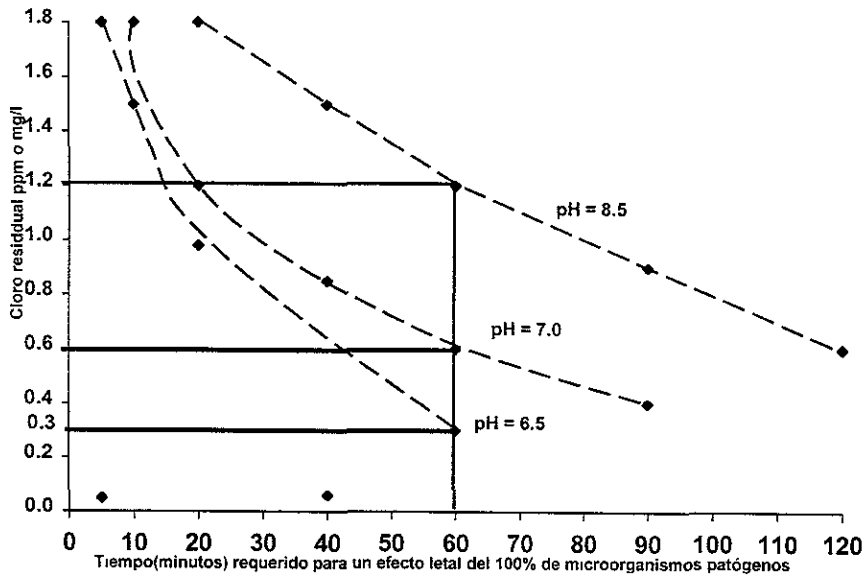
**Gráfica 22.** Distribución del ácido hipocloroso y del ión hipoclorito en agua a diferentes valores de pH y Temperatura



Fuente: Cheremisionoff, N.P., Treatment and Waste Recovery Advanced Technology and Applications, 1993 (2); Herman E. H., et al., Manual de Tratamiento de Aguas, 1991 (10)

En la Gráfica 23, se puede observar como a un pH de 6.5 (líneas discontinuas que representa el cloro combinado) con una dosis de 0.3 mg/l de cloro residual combinado se logra un efecto letal del 100% en las bacterias. A la misma temperatura pero ahora a un pH de 7.0 el cloro residual combinado debe aumentarse hasta 0.6 mg/l y a un pH de 8.5 debe aumentarse aun más, hasta 1.2 mg/l, para lograr el mismo efecto letal sobre las bacterias para un mismo tiempo de contacto de 60 minutos. Para el caso del cloro libre disponible el efecto del pH es similar al anterior.

**Gráfica 23. Efecto del pH sobre la cloración manteniendo el tiempo constante (t=60 minutos)**



Fuente: Herman E. H., et al., Manual de Tratamiento de Aguas, 1991 (10)

Lo anterior significa que medir el pH permitirá saber cual puede ser el comportamiento cuando se adiciona cloro al agua, incluso dentro del mismo cloro disponible y saber que de acuerdo al valor del pH del agua se sabrá por tanto, que especie predominará, ya sea ión hipoclorito, ácido hipocloroso como cloro disponible o cloro combinado (cloraminas); si se tiene antecedente además de que el producto que va predominar de acuerdo al pH es débil, menos activo que las otras especies, en lugar de adicionar mas cloro lo mejor será aumentar el tiempo de contacto o de reacción para obtener los mismos resultados germicidas del tratamiento

#### D) TEMPERATURA

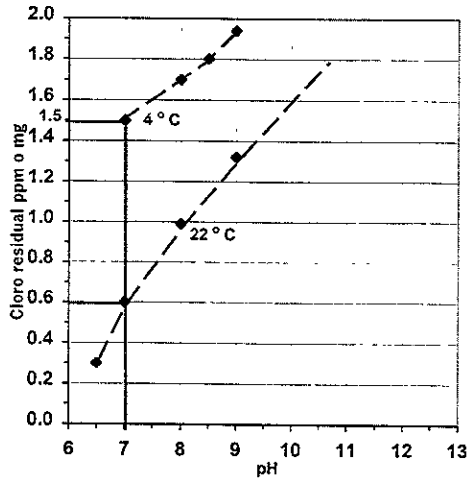
Se ha demostrado que la efectividad germicida del cloro libre y combinado está marcadamente afectada con la disminución de la temperatura. Las reducciones bacterianas son más lentas entre 1.6 a 4.4° C y más efectivas entre 21.1 a 23.80 ° C, suponiendo los otros factores cómo el pH o concentración iguales. Por otro lado, el cloro es más estable en agua fría y permanecerá mayor tiempo en ella. Esto compensa la menor velocidad de desinfección en agua fría.

En la Gráfica 24 se puede observar como a un pH del agua de 7.0 a 22 ° C y a un tiempo de contacto de 60 minutos, se necesitarían 0.6 mg/l de cloro combinado disponible para lograr la misma acción bactericida, mientras que a 4 ° C con las mismas condiciones (pH de 7.0 y t=60 minutos) se requerirían 1.5 mg/l de cloro combinado, es decir, más del doble. Para el caso del cloro libre disponible Gráfica 25, el efecto de la temperatura se ve más marcado a valores de pH del agua superiores a 8.5 cuyo análisis sería similar al anterior.



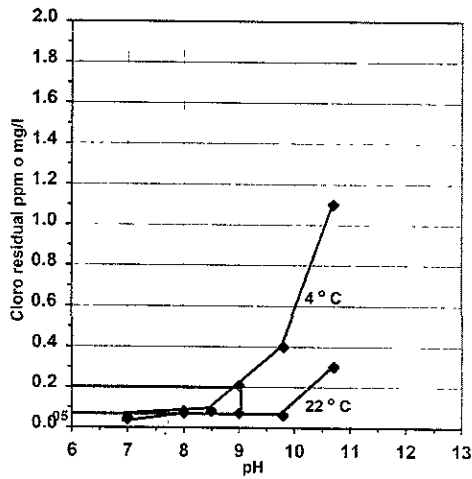
SALA DE ESTUDIOS DE BIBLIOTECA

Gráfica 24. Efecto de la temperatura (T) sobre el cloro residual combinado en la acción bactericida; tiempo = 60 minutos



Fuente: Herman E. H., et. al., Manual de Tratamiento de Aguas, 1991 (10)

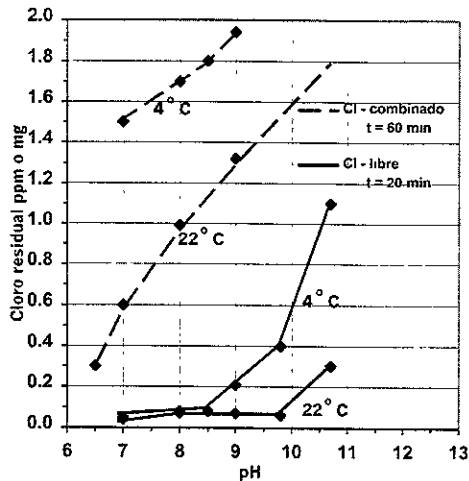
Gráfica 25. Efecto de la temperatura (T) sobre el cloro residual disponible en la acción bactericida; tiempo = 20 minutos



Fuente: Herman E. H., et. al., Manual de Tratamiento de Aguas, 1991 (10)

Se hace notar que a medida que aumenta el pH del agua se requiere mayor cantidad de cloro. En la Gráfica 26 se integran las dos clases de cloro; disponible y combinado.

**Gráfica 26. Efecto de la temperatura (T) sobre el cloro residual combinado y disponible en la acción bactericida; tiempo = 60 y 20 minutos .**



Fuente: Herman E. H., et. al., Manual de Tratamiento de Aguas, 1991 (10)

Esto significa que si el agua a tratar tiene temperaturas bajas lo recomendable será no aplicar mas cantidad de cloro sino dejar mas tiempo la reacción, pues como se sabe la reacción se torna se vuelve más lenta, con una dosis inferior de cloro.

Estos factores afectan directamente el tiempo que se necesita para la exposición y la cantidad de cloro que se debe adicionar.

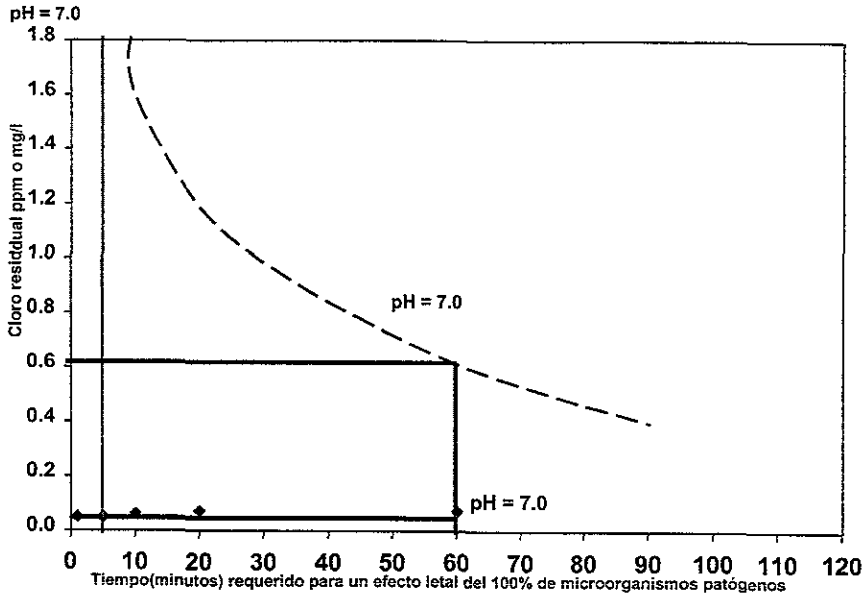
## E) TIEMPO DE CONTACTO Y CONCENTRACIÓN

Estos dos factores se consideran como mutuamente ligados, pues por medio de ambos se toma en consideración la duración del periodo de reacción disponible para la desinfección, así como la cantidad y clase de cloro residual. Para el caso del cloro combinado (cloraminas) que es un desinfectante débil, debe proporcionarse una mayor cantidad de cloro, necesitando por tanto un tiempo mayor para realizar su función. Por otro lado si se va a mantener el cloro residual libre ( $\text{HOCl}$  y  $\text{OCl}$ ), el cual es una especie más activa, entonces el periodo de reacción puede ser proporcionalmente menor

En la Gráfica 27, se puede observar que teniendo una dosis de cloro residual libre (línea continua) de 0.05 mg/l, con un periodo de reacción de 10 minutos a un pH del agua de 7.0, mata las bacterias igual que un cloro residual combinado (línea discontinua) de 0.6 mg/l a un tiempo de contacto de reacción de 60 minutos al mismo pH de 7.0 Cuando el tiempo de reacción de que se disponga, desde el momento de la aplicación hasta el momento en que se consuma el agua, sea corto, por ejemplo 5 minutos un cloro residual libre disponible de 0.05

proporcionara una desinfección eficaz a no ser de que se use un cloro residual combinado del orden de 1.8 a 2.0 mg/l para el mismo pH de 7.0 y para el mismo tiempo (5 minutos).

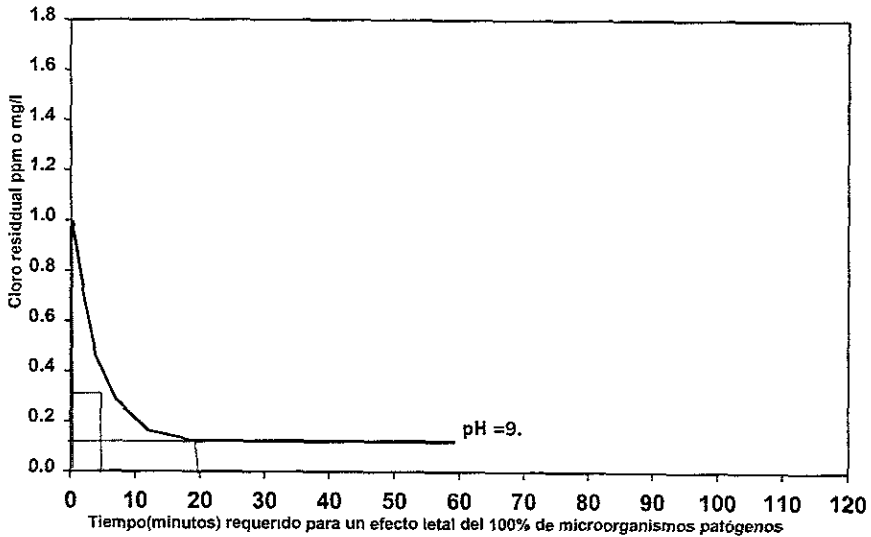
Gráfica 27. Efecto del tiempo de contacto sobre el cloro residual libre (—) y combinado (---), para un mismo valor de pH del agua (7.0).



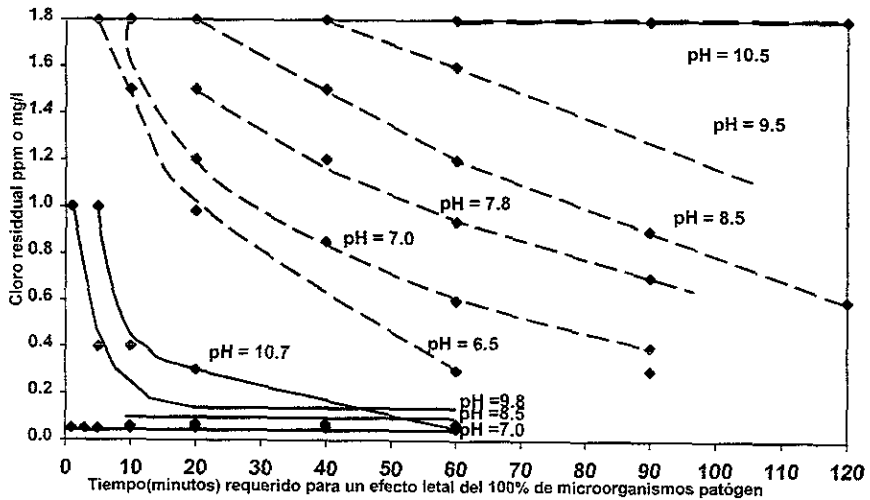
Fuente: Herman E. H., et al., Manual de Tratamiento de Aguas, 1991 (10)

Para esta misma cantidad de 0.05 mg/l de cloro residual libre a un pH de 7.0 se puede observar en la Gráfica 27, como se puede lograr y asegurar el efecto germicida si el tiempo de reacción se aumenta (10, 20, 40, 60 minutos) lo que llevará a evitar sobredosificar el agua lo que asegurará que esta sea aceptada por su olor y sabor. En el caso contrario, por ejemplo, si se contará con agua a pH de 9.8 de acuerdo a la Gráfica 28, si se quisieran alcanzar los efectos germicidas inmediatos se necesitaría tener un residual libre de 1.0 mg/l en un tiempo de contacto de un minuto, lo que traería problemas de sobredosis manifestándose en olor y sabor a cloro, mientras que a este mismo pH de 9.8 aplicando 0.30 mg/l en 5 minutos, o 0.1 mg/l pero ya no en 5 sino en 20 minutos lo que si se compara con la cantidad que se adicionó en 1 minuto que fue 1.0 mg/l se estaría reduciendo la concentración 10 veces menos en relación a adicionar 0.1 mg/l con los mismos efectos germicidas, donde en lugar de adicionar más se esperaría ya no un minuto sino 20 minutos. El mismo análisis sería dado si se tuviera cloro combinado. Así alrededor de 0.1 mg/l de residual libre en 20 minutos ejercerá los mismos efectos lo que llevaría como se explico antes a reducir tanto la cantidad de cloro, como la formación de olores y sabores y la formación de trihalometanos. En la Gráfica 29, se pueden apreciar tres factores juntos que influyen en la desinfección: tiempo de contacto, concentración y pH.

Gráfica 28. Efecto de la concentración(mg/l) sobre el cloro residual libre disponible a un pH del agua constante (9.8)



Gráfica 29. Efecto del pH del agua, tiempo de contacto y la concentración de cloro, sobre la desinfección



Fuente: Herman E. H., et. al., Manual de Tratamiento de Aguas, 1991 (10)

Lo anteriormente expuesto puede ser ejemplificado en el Tabla 19. Por ejemplo para alcanzar la destrucción de *E. coli*, a una concentración de 0.20 mg/l se requerirían para asegurar la desinfección 30 minutos, mientras que con 1.0 mg/l se podría alcanzar el mismo resultado a los 15 minutos. Para el caso del pH obsérvese como se necesita para eliminar a los quistes de la *Disentería amibica* a un pH de 7.0 se necesitan 3.0 mg/l mientras que a este mismo pH, se necesitan 0.1 mg/l para obtener los mismos resultados pero a un tiempo más largo.

**Tabla 19. Destrucción de microorganismos por el cloro**

Microorganismos	Residuo de cloro(mg/l)	pH del agua	Tiempo de contacto (min.)
<i>Esch. Coli</i>	0.20 - 1.0		15-30
Virus de la polio	0.1	7.0	30
Organismos de la tuberculosis	0.20 - 1.0		30
Virus de hepatitis	0.40 - 1.10		
Virus coxsackie	0.50	7.8	36.50
Quistes de la <i>Disentería amibica</i>	3.0	7.0	

Gray N.F., Biology of Wastewater Treatment, 1992 (7)

### 3.3.1.4. EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA CLORACIÓN DEL AGUA

No obstante que ya fueron indicados los equipos que son utilizados en el Programa IMSS-Solidaridad para desinfectar el agua, a continuación se da la clasificación de los equipos utilizados para el tratamiento del agua de acuerdo al grado de complejidad, costo y operación, describiendo primeramente los productos del cloro que son utilizados para estos equipos.

En el abastecimiento del agua, el cloro es el desinfectante utilizado casi universalmente y el término cloración se utiliza de manera común para indicar que el agua ha sido tratada con un agente esterilizante.

Puesto que la cloración es la salvaguarda final de la calidad del agua, nunca se puede dar demasiada importancia a la necesidad de una aplicación de cloro continua y efectiva. El equipo utilizado para su aplicación debe ser digno de confianza, y también debe ser capaz de operar dentro de límites de exactitud. El cloro en cantidades demasiado pequeñas es ineficaz, en cantidades demasiado grandes causa problemas de sabor y olor. La operación del clorador debe de ser posible automática, esto es, la cantidad de cloro alimentada al agua debe ser proporcional al volumen de flujo y la demanda de cloro del agua. El cloro debe aplicarse en un punto del sistema tal que se asegure una buena mezcla del cloro con el agua; y este punto debe estar localizado de modo que el periodo de contacto entre el agua y el cloro sea de entre 20 y 30 minutos antes de servir al primer consumidor. Este periodo de contacto cumple el doble propósito de proporcionar el tiempo necesario para destruir los organismos patógenos del agua y reducir el efecto de una posible sobredosis de cloro con los efectos acompañantes de sabor y olor como se explico antes

El cloro se utiliza en el tratamiento de agua no solo para su desinfección, sino también para el control de algas o de otros organismos en los depósitos.

El cloro es usado en el tratamiento de agua para destruir microorganismos patógenos y para control de la oxidación.

Como oxidante es usado para la remoción de fierro y manganeso, para la destrucción de compuestos que causan olor y sabor al agua y para la eliminación del nitrógeno amoniacal mencionado antes.

### CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO DE LOS HIPOCLORITOS

El cloro usado para la desinfección como ya se menciona, se encuentra disponible en tres formas, gas licuado, o como sales del ácido hipocloroso ya sea sólido < hipoclorito de calcio ( $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ ) > o líquido <hipoclorito de sodio ( $\text{NaOCl}$ )>.

Las dosis tolerables según sus formas son para el cloro gas de 3.5 mg/l (partes por millón); a esta concentración tiene un olor detectable. Irritación de la garganta se puede dar a los 15 mg/l y a 50 mg/l es considerado peligroso incluso a exposiciones cortas, por tanto cuando vaya a ser esterilizado un depósito de agua o una red de distribución por arriba de esta concentración de 50 mg/l, se deberá tener mucho cuidado que el agua con esta concentración no sea ingerida y desechada a la corriente de agua. Arriba de 1,000 ppm, la exposición puede ser fatal.

La aplicación de hipocloritos en el tratamiento de agua alcanza los mismos resultados que el cloro gas.

**Hipoclorito de calcio ( $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ ).** Es relativamente estable en condiciones normales; sin embargo, este puede sufrir reacciones con materiales orgánicos, por lo que deberá ser almacenado en áreas aisladas de preferencia en aquellas donde la temperatura sea lo mas baja posible, en áreas secas y deberá permanecer el sobrante siempre tapado. Fuego espontaneo puede ser causado por un almacenamiento impropio. Puede ser deteriorado en la presencia de humedad del ambiente convirtiéndose en una pasta corrosiva, de lo anterior deben almacenarse en recipientes de cerámica, plástico, vidrio o caucho herméticamente cerrados y no usar envases de cartón o de hojalata. Esta presentación es más difícil de manejar, debido a los problemas de mantenimiento resultado de la deposición de iones calcio a través del sistema de agua. Si el producto va ser transferido del contenedor original a otro, el producto deberá ser rotulado con detalle en el nuevo recipiente. Para tomar una porción de este, se debe procurar no acercarse demasiado o se podrá usar un trapo para taparse la boca y nariz y guantes y de preferencia deberán usarse goggles para los ojos si el desprendimiento del cloro es alto ya que puede producir quemaduras en las fosas nasales

**Hipoclorito de sodio ( $\text{NaOCl}$ ).** Los envases conteniendo el hipoclorito de sodio deben ser de plástico y deberán mantenerse en lugares secos y frescos, no los deje al alcance de los niños o animales y también deberán estar aislados de la luz solar ya que esta los degrada. Los hipocloritos de sodio no pierden su fuerza a una velocidad constante por día. La descomposición de estos se puede reducir si son almacenados en las áreas donde la temperatura sea lo mas baja posible (recuérdese que la temperatura torna las reacciones más lentas, lo que implica disminuir su deterioro). Por ejemplo una solución comercial al 16% almacenado a 26°C disminuirá su fuerza en un 10% en 10 días, 20% en 25 días, y 30% en 43 días. De modo que si la solución se almacenará en un lugar donde se logre reducir esta temperatura a la mitad (13 °C) se doblará el tiempo de deterioro de la solución.

## PREPARACIÓN DE SOLUCIONES CON LOS HIPOCLORITOS PARA EL TRATAMIENTO DE VOLUMENES PEQUEÑOS DE AGUA.

La estabilidad de soluciones de hipocloritos es afectada por el calor (temperatura), por la luz y por el tiempo. Estas se deterioran a varias velocidades dependiendo de los siguientes factores:

1. Si aumenta la temperatura, se incrementa la velocidad de deterioro, por ello deben estar almacenadas los sitios más fríos.
2. Si aumenta la concentración a preparar, el deterioro es más rápido. La mayoría de las soluciones estables son aquellas que se preparan a concentraciones bajas (0.3 a 1% de cloro disponible)
3. La presencia de metales como el fierro, cobre, nickel aceleran la velocidad de deterioro de las soluciones de hipoclorito, es por ello que al preparar las soluciones de preferencia el agua deberá estar lo más blanda y clara posible.
4. La influencia de la luz sobre las soluciones de hipoclorito de sodio es fácil de mostrar vaciando una parte en un recipiente limpio y otra en un recipiente ámbar y exponerlos ambos a la luz solar. El tiempo de vida media de una solución de 10-15% de cloro disponible se reducirá a cerca de 3 o 4 veces por la luz solar. De modo que para ello son preferibles los compuestos que tienen concentraciones superiores a estas y de los cuales son preparados ya que se reduce el tiempo de vida hasta 6 veces.

### A) HIPOCLORADORES RÚSTICOS

Los hipocloradores rústicos, como el descrito en la Figura 4, consisten en un recipiente de PVC el cual en la parte inferior se le ha perforado para colocar y adaptar un niple y en la parte exterior se le coloca una contratuerca con un empaque de neopreno, el niple así reforzado se le coloca un adaptador para manguera de media pulgada 1/2" de rosca interior de PVC en la cual se le coloca la cantidad de manguera necesaria y en ella se inserta la venoclisis que va ser la que controle la aplicación de hipoclorito de sodio al 13% u otra concentración. Esto dependerá del volumen de agua que se va a clorar o desinfectar, mediante goteo; véase la descripción del hipoclorador rústico Figura 4 descrito en el Anexo 1.

A este equipo se le puede colocar una mirilla o manguera indicadora del nivel de la solución interior, para evitar que esta se deteriore y desde luego el equipo podrá fabricarse con recipientes de PVC de capacidad mayor al volumen especificado (60 litros).

La capacidad de estos equipos queda restringida a tanques de almacenamiento superficial, carcamos y para volumen de agua a tratar relativamente bajos.

### B) DIFUSORES

Otra forma de aplicación rústica sobre todo en sistemas rurales que no cuentan con tanques superficiales ni carcamos y donde su sistema de bombeo opera mediante una bomba sumergible pero tienen tanque elevado, son colocando pastillas requeridas según el cloro residual deseado. Se amarra una bolsa con hilo de pioja, en la parte inferior se coloca un contrapeso para evitar que la bolsa flote. La bolsa se perfora en el fondo, el tamaño del hoyo es aproximadamente el diámetro de un lápiz. La bolsa así preparada se coloca donde haya mayor turbulencia a la mitad de la columna de agua, es decir, se suspende en el tanque. El propósito de dejar suspendida la bolsa en el sitio de mayor turbulencia es con la finalidad de llevar a cabo la dosificación.

Cuando el agua entra en la bolsa disuelve lentamente las pastillas de cloro y por el lado contrario sale la solución clorada, lográndose de esta manera la desinfección del agua a distribuir a la población.

### C) EQUIPOS QUE UTILIZAN HIPOCLORITO COMO PRODUCTO CONCENTRADO O EN SOLUCIONES

Los hipocloritos de calcio y sodio son los compuestos que dadas sus grandes ventajas en relación al cloro gas son su costosa y compleja instalación, se utilizan ampliamente en las comunidades rurales, tal como los descritos en las Figura 4 y 5.

El método mas utilizado consiste en preparar una solución de una concentración conocida de hipoclorito como en la Figura 4, y luego añadiría al agua que se va a tratar por succión y posterior inyección, en forma directa aplicando esta solución o aplicar el producto en forma directa sin preparar antes una solución, Figura 5.

Dado que estas soluciones son corrosivas se requiere que los equipos estén fabricados con materiales que no sean corrosivos tal es el caso del policloruro de vinilo (PVC)

### D) HIPOCLORADORES HIDRÁULICOS

Para lugares que buscan ahorrar energía eléctrica o que incluso no cuentan con energía eléctrica pueden utilizarse aquellos equipos que aprovechan la misma fuerza impulsora del agua como el mostrado en la Figuras 6 y 7, por gravedad o por medios mecánicos cuando no se cuenta con corriente eléctrica o donde la columna de agua ejerce una presión lo suficientemente alta para poder vencer la presión propia del equipo proveniente de la fuente de abastecimiento, donde se mezcla el producto químico y el agua para ser reinyectados como solución de hipoclorito a la misma red de distribución de agua.

La función de estos equipos, consiste en aprovechar la misma fuerza impulsora de la bomba de agua o la proporcionada por gravedad y canalizar el agua para que sea mezclada con el cloro en los equipos y posteriormente sea reinyectada la solución de hipoclorito de calcio, nuevamente a la red de distribución de agua. Estos equipos ofrecen ventajas importantes en relación a los dispositivos que aplican cloro gas; fácil instalación y mantenimiento, no requieren energía eléctrica para su operación, ser construidos de PVC (cloruro de polivinilo) material anticorrosivo y no tener la necesidad de realizar preparaciones previas de soluciones a partir del producto concentrado regularmente al 65%; utilizan el producto tal y como el proveedor lo manufactura, es decir, pastillas que se pueden almacenar en recipientes de plástico cerrados herméticamente y que en lugares templados, pueden conservarse sin descomposición por más de un año. La carga de pastillas se calcula de acuerdo al volumen de agua que se va a tratar durante un día, que además servirá también para limpiar y checar que no se presenten azolves en el conector y válvula check, operación que deberá llevarse a cabo antes del inicio o reinicio del bombeo.

### E) EQUIPOS ELÉCTRICOS: BOMBAS DOSIFICADORAS

La fuente de impulso de las soluciones de cloro es como lo indica el título por medio de energía eléctrica, como el descrito en la Figura 8, Hipoclorador eléctrico: bomba dosificadora.

Los más utilizados son las bombas de diafragma Figura 8, que pueden dosificar por gravedad o en contra presión; pueden regular con bastante exactitud la dosificación y son adaptables a controles semiautomáticos. La capacidad de dosificación de estos equipos es limitada y generalmente se utiliza con soluciones de hipoclorito de sodio al 13 % de cloro activo como en la Figura 8.

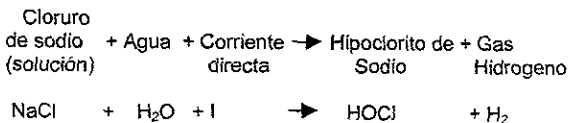


Hay sistemas como se especifica en la Figura 9, Celda electrolítica generadora de gases oxidantes, para la producción de gases como el cloro y el ozono en el lugar de uso (On-Site) por electrólisis evitando además los riesgos de manejar el cloro líquido-gas en contenedores a presión. Estos equipos cuentan con celdas electrolíticas (Figura 9), que usan agua de mar, aguas salobres, o salmueras concentradas de sal. El cloro es producido en igual forma que el cloro líquido-gas, excepto que hay que separar el cloro gas ( $Cl_2$ ) y el hidróxido de sodio (NaOH) que son los productos obtenidos de la electrólisis llevada a cabo en las celdas. Estos equipos, eliminan la necesidad de ácido sulfúrico requerido para secar el gas cloro en la manufactura del cloro gas-líquido. Además de la formación del cloro gas, el gas hidrógeno ( $H_2$ ) es también un producto de la acción electrolítica (compartimiento B- Figura 9; éste es diluido con aire y desahogado a la atmósfera en cantidades bajas para considerarlo como combustible. El equipo para la producción del cloro en el lugar incluye como se observa en la Figura 9 además de las celdas electrolíticas de interruptores eléctricos y fuentes de poder <con indicadores del amperaje aplicado a la solución de cloruro de sodio (NaCl) contenida en el compartimiento A <+>, venturi, componentes tanto para la forma rectangular como para la tubular, bombas auxiliares y los insumos para producir el gas cloro, esto es, bolsas de sal de mesa y sosa cáustica.

El éxito de la operación de las celdas esta de acuerdo al uso de una salmuera pura. El mejor producto, es la sal refinada grado alimenticio extraída del agua de mar. Las impurezas presentes en la sal afectan la operación y mantenimiento de cualquier tipo de celda.

La característica más importante de estas celdas es la membrana véase Figura 9, la cual separa el comportamiento B ánodo (+), del compartimiento A cátodo (-), el flujo de iones se da por tanto del compartimiento A al B, es decir del ánodo (+), al cátodo (-), originándose un intercambio iónico. La membrana inhibe los iones negativos (aniones) pero permite el paso de los iones positivos ( $Na^+$ ,  $K^+$ ) que pueden moverse libremente a través de ella.

El cáustico producido (NaOH), Figura 9, en el cátodo (compartimiento B) es descargado por un costado del equipo (rebosadero). Las reacciones son las siguientes:



#### F) EQUIPOS QUE APLICAN CLORO GAS

La cantidad de cloro aplicado es regulado mediante aparatos especiales a través de válvulas de reducción de presión que funcionan por medio de diafragmas mecánicos o flotadores operados hidráulicamente.

Estos equipos utilizan gas cloro licuado contenido en recipientes a presión en donde el cloro puede ser aplicado por la misma presión aprovechando la misma presión que tiene dentro del recipiente llevándolo hacia la tubería por medio de un difusor o por vacío que succionan el cloro por la presión generada en un venturi inyector del gas que se mezcla con el agua y es llevado como solución al punto de aplicación.

### 3.4. DESINFECCIÓN ALTERNATIVA Y SINERGISMO

La ocurrencia de altas cuentas bacterianas en sistemas de distribución desinfectados, se sabe es asociado al recrecimiento de bacterias y que puede ser asociado con la protección de m.o. entéricos por capas o biopelículas, o al desarrollo de resistencia.

Para resolver esta situación una de las tendencias es la de usar una combinación de dos a más agentes desinfectantes los cuales presentan ventajas sinérgicas considerables, como utilizar concentraciones mas bajas de la combinación mas efectivas de los desinfectantes en relación a que si se utilizaran solos lo que bajaría los niveles de contaminación permitidos, bajando los niveles de exposición hacia el consumidor por el agua que ingieren minimizando los riesgos de salud y que son complementarios a las poblaciones de microorganismos. Entre los productos químicos a combinar se pueden citar dióxido de cloro con cloro, cloro con cobre o plata (agentes oxidantes con iones metálicos), peróxido de hidrogeno y ozono, peróxido de hidrógeno y plata, ozono y luz ultravioleta, etc.

El uso de desinfectantes alternativos son indicativos del uso exclusivo del cloro como uno de los mayores desinfectantes de agua para el hombre.

Desinfectantes alternativos que no forman THM son las cloraminas, el dióxido de cloro y el ozono. El uso de cloraminas que son desinfectantes débiles para bacterias y mucho menos efectivos que la inactivación de virus, incrementa el riesgo de patógenos en el agua tratada para beber. A pesar de esto, estas cloraminas pueden ser usadas como un desinfectante secundario estableciendo un residual combinado introducido en los sistemas de distribución.

La combinación de desinfectantes incluye, baja toxicidad de sus componentes y efectos residuales largos.

A pesar de los beneficios en la protección de la salud humana, los estudios han llevado a la inevitable conclusión de que cada producto químico desinfectante es asociado con algunos productos químicos indeseables que se forman con el agua a tratar. Como ejemplos se pueden mencionar el dióxido de cloro que produce cloruro y clorito y que además es mas usado como un controlador del sabor y olor; el ozono que produce formaldehído, o como las monoclорaminas que tienen una capacidad desinfectante media y su presencia con otros compuestos puede formar nitritos o dicloraminas olorosas.

Se ha determinado el efecto bactericida de las soluciones saturadas de cal común (1500 mg/l) y de hidróxido de calcio comparándolas con los desinfectantes constituidos por soluciones de plata coloidal 0.33% (0.0016 mg/l) bicarbonato de sodio (9 mg/l) e hipoclorito de sodio (5 mg/l) en el lavado de alimentos en microorganismos como el *Vibrio cholerae*, *E. coli*, *Salmonella* y *Shigella*, en la Tabla 20.

El mayor efecto bactericida se obtuvo con el *V. cholerae* 01 y se observó a los 3 minutos

La finalidad de usar cal común (como agente alcalino) es la de saturar el agua con cal de construcción a razón de 1.5 g/l lográndose un pH de 12.3.

**Tabla 20. Actividad bactericida de distintos desinfectantes en presencia de *V. cholerae***

Desinfectante	Tiempo (minutos)	UFC
Plata coloidal al 0.33 % (0.0016 mg/l)	60	$6.8 \times 10^8$ a $4.6 \times 10^9$
Hipoclorito de sodio (5 mg/l)	10	$6.4 \times 10^3$ a $3.7 \times 10^5$
Cal hidratada (1500 mg/l)	0	0

Carlos Muñoz Ruiz, et. al., Efecto Bactericida de la cal hidratada en solución acuosa, 1995 (14)

El mecanismo de acción del sobrenadante del hidróxido de calcio en solución acuosa se produce en la membrana externa bacteriana.

El hipoclorito de sodio en aguas contaminadas a concentraciones de 25 y 50 ppm no se recomienda por el efecto carcinogenico de las nitrosaminas producidas cuando este entra en contacto con materias orgánicas.

La cal común no es un compuesto ajeno a la dieta de México y Centroamérica, puesto que se utiliza en la nixtamalización o hidrólisis térmica alcalina del maíz para elaborar tortillas. La cal común se utiliza también como agente floculante en aguas con partículas sólidas en suspensión. Esta práctica se remonta a épocas prehispánicas y perdura en ciertas comunidades. En las tortillas el sabor de la cal es imperceptible y lo mismo sucede cuando se desinfectan frutas y legumbres se recomienda que la cal hidratada se pueda introduzca como agente desinfectante en zonas donde el cólera es endémico.

#### PLATA

La desinfección con plata ionizada es un proceso relativamente nuevo basado en el hecho de que el agua adquiere propiedades bactericidas después de un periodo largo de contacto con los metales. El agua a ser tratada debería ser baja en turbiedad, ya que las partículas de materia suspendida absorben partículas de plata e interfieren el funcionamiento de esta. A pesar de que el consumo de plata no es alto, el costo del tratamiento es mayor que el invertido en la esterilización con cloro. Una ventaja de tratar el agua con plata es que el agua queda libre de olores y sabores, de irritación sobre los ojos, la piel, etc., que puede ocurrir por el descuido en el uso de otros agentes químicos como el cloro.

La ingestión de suficiente plata (alrededor de 1 gramo) puede producir una permanente e irreversible decoloración grisácea de la piel, ojos y las membranas de la mucosa. La plata es ingerida y depositada en un cuerpo integumentado, 10 µg/l puede ser ingerida durante muchos años o 50 µg/l puede ser ingerida por alrededor de 27 años sin exceder el valor de 1g.

Los iones de plata son depositados sobre partículas de carbón activado granular un material que tiene un área superficial alta para el depósito de la plata. Agua cargada de bacterias conteniendo el carbón activado impregnado de plata, libera diminutas cantidades de plata, 25 a 40 partes por billón (ppb), que sirve como desinfectante. Los estándares de agua para beber en México no están establecidos; sin embargo, en otros países son de entre 50 hasta 90 ppb de plata, concentraciones que no están basados sobre la toxicidad humana, sino como ya se explico sobre una protección contra la argirosis de significancia estética, la cual ocurre cuando concentraciones altas de plata son consumidas. Las ventajas de la utilización de iones de plata se acentúan en instalaciones pequeñas donde el manejo y el control de los

compuestos de cloro es un problema. Intentos en el pasado para usar la plata con otras técnicas ha tenido un uso limitado debido al alto costo, y al hecho de que la plata puede ser bacteriostática más que bactericida.

Los iones de plata han mostrado inactivar un número de microorganismos incluyendo bacterias y virus. Aunque la velocidad es baja cuando se compara con el cloro, combinándolo con cobre y cloro el resultado da un efecto aumentado antimicrobial, atribuido a los diferentes mecanismos que cada desinfectante utiliza para la inactivación de estos microorganismos, sugiriendo un efecto sinérgico (13).

La plata es considerada por tanto un agente bacteriostático/bactericida la cual es usada en los filtros basados con carbón activado. La plata no causa como ya se dijo efectos adversos a la salud y las concentraciones máximas permisibles fijadas tienen consideración cosmética; la exposición crónica de la plata puede originar argiria, es decir, decoloración grisácea de la piel.

Los iones de plata no son considerados por tanto como virucidas ni quisticidas en concentraciones aceptables, pero son bactericidas. Es lenta la desinfección a las concentraciones bajas empleadas, tan reducidas como 15 microgramos por litro. Esto constituye una debilidad de la plata. En la adición de plata sin energía eléctrica (proceso Katadyn) se introduce el agua en recipientes de plata, entonces se disuelve una pequeña cantidad de iones de plata (efecto oligodinámico) que mata a las bacterias existentes. En este proceso no es posible dosificar los iones de plata, por lo que su acción desinfectante resulta dudosa.

La eficiencia de algunos tratamientos físicos y químicos como los que se describen en el Tabla 21, esta de acuerdo a los organismos patógenos que se desee eliminar.

**Tabla 21. Eficiencia relativa de algunos métodos de tratamiento de agua para reducir diversos patógenos**

Tratamiento	Reducción relativa		
	Pobre	Moderado	Buena
Tratamiento por calor			Virus, bacterias, huevos de helmintos
Radiación	Huevos de ascaris		Bacterias, virus
Filtración fina		Bacterias, virus	Huevos de ascaris, quistes
Cloro		Quistes, entamoeba, huevos de ascaris	Bacterias, virus

Gray N.F., Biology of Wastewater Treatment, 1992 (7)

A continuación se presentan en el Tabla 22, los métodos de tratamiento de agua alternativas al uso del cloro, donde se indican sus principales ventajas desventajas y su nivel de aplicación.

### 3.5. COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS QUÍMICOS Y FÍSICOS PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA

El método de la cloración representa uno de los métodos mas eficaces en relación a los otros procedimientos tanto químicos y aún sobre los físicos, tal como se describe en el Tabla 22.

**Tabla 22. Métodos de tratamiento de agua**

MÉTODO	VENTAJAS	DESVENTAJAS	ACCESIBILIDAD
<b>1. QUÍMICOS</b>			
A) Cloro	Es un elemento muy activo que oxida la materia orgánica y destruye los microorganismos. Su costo es accesible.	Es un producto corrosivo y en concentraciones altas de cloro residual es tóxico, forma sustancias indeseables.	Es el método mas difundido para la desinfección del agua. Se utiliza a nivel industrial, comunitario y familiar.
B) Plata ionizada coloidal	La acción de iones metálicos es efectiva sobre bacterias, se considera como un agente bacteriostático/bactericida. Se puede utilizar en solución, o en pasta (gel).	Su proceso de desinfección es lento, utilizado para aguas claras, el contenido de sólidos del agua puede interferir en su acción bactericida se puede dar la tendencia al recrecimiento de microorganismos, aunque se almacena en el cuerpo su efecto es estetico ya que puede causar decoloración de la piel. No se sabría la concentración de iones en el agua no hay forma de medirlo.	Se puede utilizar a nivel domiciliario.
C) OZONO (O <sub>3</sub> )	Eficiente agente desinfectante que no deja residuos peligrosos en el agua, elimina microorganismos, materia orgánica, olores sabores y en ocasiones colores en el agua.	Poco práctico comparado con el cloro, su costo es alto y se requiere equipo que forme el ozono y lo mezcle con el agua, no tiene poder residual.	Su utilización es a nivel industrial.
D) Sulfato de Cobre (Cu <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Su aplicación es fácil preparando una solución concentrada. Es un agente oxidante utilizado en la desinfección del agua, elimina olores y sabores.	Su costo es alto.	Utilización únicamente a nivel industrial.
E) Permanganato de potasio (KmnO <sub>4</sub> )	Destruye algas en tanques de almacenamiento.	Su eficiencia en la destrucción de las algas está en función de la susceptibilidad de estas por lo que no es un bactericida efectivo. Su utilización en aguas alcalinas precipita hidróxido de cobre insolubles y carbonatos básico.	Su utilización es a nivel industrial.
F) Flour	Es un elemento activo que se combina prácticamente con todos los compuestos indeseables en el agua destruyendo la materia orgánica y los microorganismos.	Es mas costoso que el cloro.	Se utiliza para la potabilización de fuentes en poblaciones grandes.
<b>2. FÍSICOS</b>			
G) Ebullición	Sumamente efectivo en cuanto a su poder desinfectante.	Se requiere de un combustible, es inestable a nivel comunitario, no deja poder residual y cambia el sabor del agua, por lo que se debe oxigenar para recuperarlo.	Su uso se limita a nivel familiar. Esta restringido a la escasez de leña.
H) Filtración	Es recomendado como pretratamiento de aguas para consumo humano, el filtro se puede fabricar rústicamente y su costo es bajo, no requiere de energía y equipo especial o mano de obra calificada.	La filtración es lenta, requiere de un método suplementario de purificación de agua, no garantiza la desinfección del agua y remoción de sustancias disueltas.	Se utiliza a nivel comunitario y familiar.
I) Luz ultravioleta	Los rayos ultravioletas tienen un fuerte poder germicida en bacterias y esporas. No existe peligro de sobreoxidación además de que no producen olores ni sabores.	El proceso es costoso y no deja poder residual. Puede ser inhibida por la presencia de turbiedad en el agua.	Se utiliza a nivel industrial.

## Bibliografía

1. Arias CJ. **Fundación de Ecodesarrollo Xochicalli, A.C.** Consultores Técnicos Asociados.
2. Chermisíonoff NP. **Water Treatment and Waste Recovery Advanced Technology and Applications.**, Prentice Hall Englewood Cliffs. USA. 1993
3. Clifford WG. **Disinfection of Wastewater and Water for Reuse**, Environmental Engineering Series. 1978. pp 387
4. Comisión Nacional del Agua. **Programa Agua Limpia, Avances y Perspectiva. 1991-1994**
5. Comisión Nacional del Agua, **Situación del Subsector Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento a Diciembre de 1997**
6. Dur PM, et. al. **Efficacy of combined system of copper and silver and free chlorine for inactivation of Naegleria fowleri amoebas in water**, Wa.Sci. Tech., 1995, Vol. 31, No. 5-6, pp115-118,
7. Gray NF. **Biology of Wastewater Treatment.** University Press USA. 1992
8. Hammer JM. Wiley and Sons., **Water and Wastewater Technology**, USA. 1986
9. Heining FC. **Research Note: O<sub>3</sub> or O<sub>2</sub> and Ag: A New Catalyst technology for Aqueous Phase Sanitation.** Ozone Science & Engineering Vol. 15, pp. 533-546
10. Herman EH, et. al. **Manual de Tratamiento de Aguas**, Limusa, México, 1991
11. James MM. **Water Treatment Principles and Design.**, Wiley- Interscience, USA., 1985
12. Martínez BM. **Enfermedades Tropicales en México: Diagnóstico, tratamiento y distribución geográfica.** Instituto Nacional de Diagnóstico y Referencia epidemiológicas, Secretaría de salud, 1994
13. Metcalf and Eddy, Inc. **Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse.** McGraw-Hill, U.S.A., 1991
14. Muñoz RC. et. al. **Efecto Bactericida de la cal hidratada en solución acuosa**, Bol. Oficina Sanit Panam 118(4), 1995
15. Pedahzur R, et. al. **The interacción of silver ions and hydrogen peroxide in the activatin of E. coli: a preliminary evaluation of a new long acting residual drinking water disinfectant.** 1995, pp 123-129
16. Pelayo JJ, Manchola MT. Seminario **"El agua y la Salud"** Depto., Saneamiento Ambiental. Instituto Mexicano del Seguro Social
17. Programa IMSS-Solidaridad: **Sistema Unico de Información; Anuarios de morbilidad; Sistema Unico de Vigilancia Epidemiológica.**
18. Secretaría de salud, **Boletín de Salud Ambiental**, Vol 1. No. 7, 1997