UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PRODUCIÓN DE HIPOCLORITO DE SODIO A PARTIR DE SAL COMÚN Y SU APLICACIÓN A SISTEMAS DE DESINFECCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL ÁREA RURAL

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MILTON DANILO SANTIZO CARÍAS

ASESORADO POR ING. Msc. JOSÉ EDMUNDO RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, MAYO DE 2004

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

DL
08
T(5684)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRÁCTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

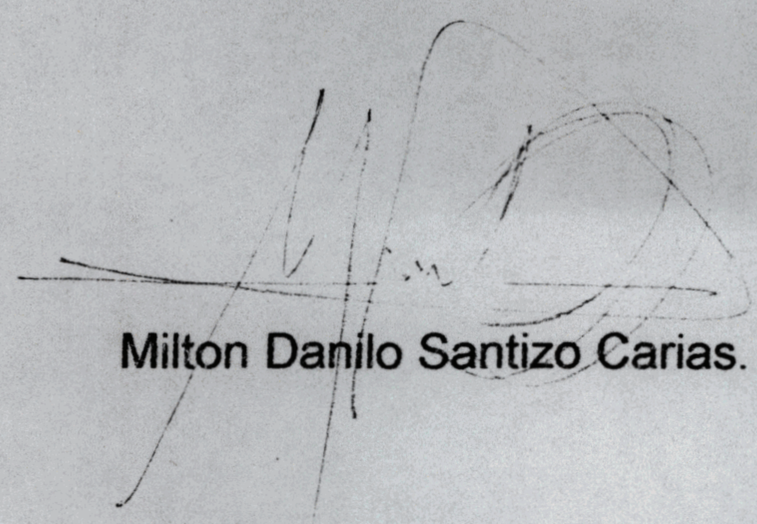
DECANO	Ing. Herbert René Miranda Barrios
EXAMINADOR	Ing. Francisco Guillermo Melini Salguero
EXAMINADOR	Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta
EXAMINADOR	Ing. José Gabriel Ordóñez
SECRETARIA	Ing. Gilda Marina Castellanos Baiza de Illescas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PRODUCCIÓN DE HIPOCLORITO DE SODIO A PARTIR DE SAL COMÚN Y SU APLICACIÓN A SISTEMAS DE DESINFECCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL ÁREA RURAL

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 5 de febrero de 2002



Milton Danilo Santizo Carias.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 05 de marzo de 2004.

Señora
Carmen Marina Mérida Alva
Jefe departamento de hidráulica
Facultad de Ingeniería

Señora Coordinadora:

Por medio de la presente, informo a usted que, como Asesor de trabajo de graduación del estudiante universitario, de la carrera de Ingeniería Civil, MILTON DANILO SANTIZO CARIAS; Procedí a revisar el informe final titulado: **PRODUCCIÓN DE HIPOCLORITO DE SODIO A PARTIR DE SAL COMUN Y SU APLICACIÓN A SISTEMAS DE DESINFECCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL AREA RURAL.**

Los conceptos y criterios plasmados en este trabajo de tesis son responsabilidad del estudiante y del suscrito.

Después de haberlo leído y analizado, considero que satisface los objetivos que motivaron la selección de dicho tema. Por lo tanto procedo a la aprobación del trabajo realizado.

Sin otro particular, me es grato suscribirme.

Deferentemente,

ID Y ENSEÑAR A TODOS

JOSE EDMUNDO RODRIGUEZ
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 2818

Ing. Msc. José Edmundo Rodríguez
ASESOR

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, 13 de Abril de 2003.

Ingeniero
Carlos Salvador Gordillo
Director Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Señor Director:

De la manera más atenta y por este medio, le envío el informe final correspondiente Al trabajo de graduación titulado: **PRODUCCIÓN DE HIPOCLORITO DE SODIO A PARTIR DE SAL COMÚN Y SU APLICACIÓN A SISTEMAS DE DESINFECCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL AREA RURAL.**

Este trabajo, lo desarrolló el estudiante universitario, de la carrera de Ingeniería Civil, MILTON DANILO SANTIZO CARIAS, quien fue debidamente asesorado por el Ingeniero José Edmundo Rodríguez.

Por lo que, habiendo cumplido con los objetivos y los requisitos de ley del referido trabajo; y existiendo la APROBACIÓN DEL MISMO, por parte del Asesor, esta COORDINACIÓN TAMBIÉN APRUEBA SU CONTENIDO; solicitándole darle el trámite respectivo.

Sin otro particular, me es grato suscribirme de usted,

Deferentemente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS.

Inga. Carmen Marina Mérida Alva
JEFE DEPARTAMENTO DE HIDRAULICA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Msc. José Edmundo Rodríguez y del Jefe del Departamento de Hidráulica Inga. Carmen Marina Mérida Alva, al trabajo de graduación del estudiante Milton Danilo Santizo Carias, titulado PRODUCCIÓN DE HIPOCLORITO DE SODIO A PARTIR DE SAL COMÚN Y SU APLICACIÓN A SISTEMAS DE DESINFECCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL ÁREA RURAL, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Ing. Carlos Salvador Gordillo García

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
DIRECTOR
FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, mayo de 2004.

/bbdeb.

Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Decanato
Tels. 4769579 - 4760029 - 4423505 Exts. 101 - 102 - 114
4439500 Ext. 1549
Fax 4760365

Ref. DTG. 155-2004.

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **PRODUCCIÓN DE HIPOCLORITO DE SODIO A PARTIR DE SAL COMÚN Y SU APLICACIÓN A SISTEMAS DE DESINFECCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL ÁREA RURAL,** presentado por el estudiante universitario **Milton Danilo Santizo Carías** procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
DECANO

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
DECANO
FACULTAD DE INGENIERIA

Guatemala, mayo 10 de 2,004

/gdech

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... VII

LISTA DE SÍMBOLOS..... IX

GLOSARIO..... X

RESUMEN..... XIII

OBJETIVOS..... XV

INTRODUCCIÓN..... XVI

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Componentes básicos de los sistemas de convencionales de agua.... 1

1.1.1 Abastecimiento por gravedad..... 1

1.1.1.1 Fuentes superficiales..... 1

1.1.1.2 Fuentes subterráneas..... 2

1.1.2 Abastecimiento por bombeo..... 2

1.1.3 Abastecimiento por sistema mixto..... 3

1.2 Tratamiento de agua para consumo humano..... 3

1.2.1 Sedimentación..... 4

1.2.1.1 Sedimentación simple..... 4

1.2.1.2 Sedimentación secundaría..... 5

1.2.2 Filtración..... 6

1.2.3 Desinfección del agua..... 6

1.3 Tipos de fuente de agua..... 6

1.3.1 Aguas superficiales..... 6

1.3.2 Aguas subterráneas..... 7

1.3.3 Agua de lluvia..... 7

1.4 Contenidos presentes en las aguas..... 7

1.4.1 Parámetros biológicos..... 7

1.4.1.1 Recuento total de bacterias..... 8

1.4.1.2 Investigación de grupo coniforme..... 8

1.4.1.3 Método normal de diluciones..... 8

1.4.1.4 Método de membranas de filtración..... 9

1.4.2 Parámetros físicos..... 9

1.4.1.1 Turbidez..... 9

1.4.1.2 Color..... 10

1.4.1.3 Olor..... 10

1.4.1.4 Sabor..... 10

1.4.3 Parámetros químicos..... 11

1.4.3.1 Dureza..... 11

1.4.3.2 Alcalinidad..... 11

1.4.3.3 Concentración de Iones de hidrógeno, valor de Ph.... 12

1.4.3.4 Cloro residual..... 12

1.4.3.5 Demanda de cloro..... 13

1.5 Incidencia de la aguas para consumo humano no tratadas en la salud.. 13

1.5.1 Enfermedades producidas por el contacto con el agua no tratada..... 13

1.5.2 Importancia de la desinfección del agua..... 14

1.6 Otras opciones de abastecimiento..... 15

1.6.1 Captación de agua de lluvia..... 17

2. MÉTODOS DE DESINFECCIÓN

2.1 Cloración..... 19

2.1.1 Características del cloro..... 19

2.1.2 Eficacia del cloro contra las bacterias..... 20

2.1.3 Eficacia del cloro contra las especies virales..... 20

2.1.4 Efectos sobre la salud..... 20

2.1.5 Eficacia del cloro como desinfectantes..... 21

2.2 Filtración..... 22

2.2.1 Filtros lentos de arena (tratamiento domiciliar)..... 22

2.2.2 Filtros lentos de arena (tratamiento colectivo)..... 25

2.2.3 Filtro casero Carpom..... 26

2.3 Yodación..... 27

2.3.1 Efectos sobre la salud..... 27

2.3.2 Eficacia..... 28

2.4 Radiación ultravioleta(UV)..... 28

2.4.1 Características..... 29

2.4.2 Efectos sobre la salud..... 29

2.4.3 Eficacia..... 30

2.5 Desinfección con ozono 30

2.5.1 Efectos sobre la salud..... 32

2.6 Método de carbón activado..... 34

3. SITUACIÓN ACTUAL

3.1 Cobertura de servicios de agua potable..... 36

3.2 Déficit del servicio..... 37

4. ASPECTOS LEGALES

4.1 Requerimientos del agua para consumo humano..... 39

4.2 Legislación actual..... 40

4.3 Normas nacionales e internacionales..... 41

4.3.1 Normas nacionales..... 42

4.3.2 Normas internacionales..... 42

5. PRODUCCIÓN DE HIPOCLORITO DE SODIO A PARTIR DE SAL COMÚN

5.1 Descripción teórica..... 43

5.2 Descripción del equipo a utilizar..... 45

5.3 Montaje operación y mantenimiento del equipo..... 46

5.3.1 Montaje del equipo..... 48

5.3.2 Selección del sitio de instalación 49

5.3.3 Precauciones de operación 50
5.3.4 Operación del equipo..... 50
5.3.5 Materiales..... 51
5.3.6 Activado del sistema de electrodos..... 51
5.3.7 Fin del ciclo..... 52
5.3.8 Recargo de baterías..... 52
5.3.9 Mantenimiento del equipo..... 53
5.3.9.1 Precauciones de mantenimiento..... 53
5.4 Capacidad de producción 54
5.5 Dosificación de hipoclorito de sodio a la red de agua potable..... 55
5.6 Análisis de costos 56
5.6.1 Costo de desinfección de agua con hipoclorito de calcio..... 57
5.6.2 Costo de desinfección de agua con hipoclorito de sodio..... 57

6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

6.1 Comunidades donde opera el sistema..... 59
6.2 Pruebas realizadas..... 59
6.2.1 Proceso de dilución..... 60
6.2.1.1 Procedimiento..... 60
6.3 Capacidad del equipo instalado..... 61
6.4 Financiamiento y factibilidad..... 62

CONCLUSIONES..... 63

RECOMENDACIONES..... 65

BIBLIOGRAFÍA..... 66

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1. Bomba tipo maya 16
2. Bomba tipo mecate 16
3. Bomba india *Mark* 17
4. Captación de agua de lluvia 18
5. Filtro lento de arena 24
6. Cobertura del servicio de agua potable en el área urbana 36
7. Cobertura de servicio de agua potable en el área rural 36
8. Porcentaje de comunidades con algún tipo de tratamiento de agua Para consumo humano 37
9. Déficit del servicio de agua potable 38
10. Esquema del sistema generador de hipoclorito de sodio 45
11. Sistema generador de hipoclorito de sodio y convertidor AC-DC 46
12. Sistema generador de hipoclorito de sodio 48
13. Panel fotovoltaico 49
14. Diagrama de una instalación típica de hipoclorador de tipo Venturí 56

TABLAS

I. Límite máximo aceptable y máximo permisible para color, turbiedad Ph, temperatura y cloro residual 41

II. Capacidad de producción de diferentes celdas 54

III. Pruebas realizadas con el equipo Sanilec 6 61

IV. Capacidad del equipo Sanilec 6 62

LISTA DE SÍMBOLOS

P.V. C	Cloruro de polivinilo
Q	Caudal en litros por segundo
mg	Miligramo
Ph	Potencial de hidrógeno
G/l	Gramos por litro
HOCl	Ácido hipocloroso
OCl^-	Ión hipoclorito
nm	Nanómetro
UV	Ultravioleta
O_3	Ozono
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPS	Organización Panamericana de la Salud
Gal.	Galones
l/s	Litros por segundo
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas
NGO	Norma Guatemalteca Obligatoria
MOGGOD	Gases oxidantes mezclados en sitio para la desinfección

GLOSARIO

Aforo — Consiste en medir un caudal, utilizando varios métodos (volumétrico, vertederos, molinete, etc.)

Agua potable — Es el agua sanitariamente segura para la salud y agradable a los sentidos. Se encuentra libre de contaminación objetable, y por lo tanto, es adecuada para la salud humana.

Análisis de agua — Es el conjunto de parámetros, que tienen por objeto, definir la calidad de agua, al relacionarlos con normas, las cuales establecen los valores de las concentraciones máximas aceptables y/o permisibles, para el uso benéfico al cual se destine.

Bacterias — Organismos microscópicos unicelulares.

Caudal — Es el volumen de agua que pasa por una sección de flujo por unidad de tiempo. El caudal se expresa en litros por segundo.

Cobertura — Porcentaje de población atendida a través de un medio específico de abastecimiento o fuente de agua.

Contaminación — Es el resultado de descargas contaminantes o de materiales extraños en el aire, en la tierra o en aguas superficiales.

Dotación	Volumen de agua consumida por un habitante en un día y se expresa en litros por habitante por día.
Electrólisis	Parte de la química que trata de la relación entre las corrientes eléctricas y las reacciones químicas y de la conversión de la energía química en eléctrica y viceversa.
Flujo	Número de partículas o fotones que pasan a través de una superficie por unidad de tiempo.
Grupo coliforme	Grupo de bacterias que habitan en intestino grueso del hombre y algunos animales. Cuando éstas se detectan en el agua, indican una contaminación de tipo fecal. Son las principales bacterias cuyo número se busca determinar en un análisis bacteriológico.
Hipoclorador	Aparato que sirve para la dosificación de pequeñas cantidades de hipoclorito de calcio en la entrada de un tanque de distribución de agua potable.
Hipoclorito de calcio	Sal derivada del ácido hipocloroso.
Microorganismo	Materia viviente pequeñísima.
Patógeno	Que causa enfermedad.

Turbidez	Es el efecto óptimo causado por la dispersión o interferencia de los rayos luminosos que pasan a través del agua que contiene pequeñas partículas en suspensión.

RESUMEN

Generalmente, las aguas naturales contienen numerosos gérmenes, algunos de los cuales pueden ser patógenos. Estos gérmenes patógenos suelen estar en el suelo o en las aguas contaminadas con heces de personas o animales. De este modo, el agua se convierte en un vehículo de transmisión de enfermedades como el cólera, tifoidea, paratifoidea, hepatitis, disentería amebiana y viral, entre otras.

Actualmente, la mayor parte del área rural guatemalteca se abastece de agua no apta para el consumo humano. Como consecuencia de ello, los índices de enfermedades relacionadas con el agua son altos, sin embargo, estas enfermedades pueden ser evitadas mediante la desinfección del agua.

La desinfección de agua para consumo humano, mediante la aplicación de cloro o sus derivados, es un proceso aceptado en todo el mundo para suministrar agua de buena calidad bacteriológica. La producción de desinfectante en el mismo lugar de tratamiento, por medio de procesos electroquímicos, es una alternativa que cada día tiene mayor aceptación en el tratamiento de agua para consumo humano en el nivel rural y en algunos casos en el nivel urbano marginal.

La solución de hipoclorito se obtiene mediante la electrólisis de una solución de salmuera preparada con cloruro de sodio o sal común. El proceso de descomposición de la solución de cloruro de sodio se efectúa por medio de una celda electrolítica constituida por dos elementos diferentes.

Los oxidantes mezclados han resultado ser eficaces contra un amplio espectro de microorganismos (algunos de los cuales se encuentran entre los más resistentes a la inactivación mediante desinfección química) sobre un extenso intervalo de condiciones de pH y temperatura. Las pruebas efectuadas hasta la fecha indican que la eficacia del proceso MOGOD por sus siglas en ingles (gases oxidantes mezclados generados *in situ* para la desinfección) como desinfectante de agua es igual o superior a la del cloro.

OBJETIVOS

- **General**

  Verificar y valorar la aplicación y aceptación de la tecnología MOGOD en el medio rural de Guatemala.

- **Específicos**

  1. Valoración de esta tecnología como una manera alterna de generar hipoclorito de sodio en el sitio, en lo referente a eficacia, eficiencia, aceptación , sustentabilidad, costos etc.

  2. Verificar si con el uso de esta técnica es posible garantizar agua sanitariamente segura, principalmente en las comunidades rurales.

INTRODUCCION

En nuestro país la mayoría de sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano adolecen de una serie de deficiencias, la principal es que el agua, en gran número de comunidades, no pasa por un sistema de tratamiento esencialmente para la remoción de patógenos.

El agua es el vehículo para la transmisión de muchas enfermedades tales como el cólera, tifoidea, hepatitis y otras. El método más utilizado de desinfección del agua para consumo humano es mediante cloración. El cloro es un producto que garantiza, utilizándolo correctamente, la eliminación total de patógenos humanos.

Un factor determinante y limitante de la desinfección del agua por medio del cloro es el costo y el manejo del mismo. En este trabajo se propone una técnica de obtención de cloro a partir de sal común, utilizando un generador de hipoclorito de sodio; esta técnica es denominada MOGGOD por sus siglas en ingles, lo cual simplificaría el factor económico, así mismo se propondrá un manual de operación y mantenimiento del equipo y la forma práctica de dosificar el mismo.

En Guatemala, el Código de Salud contempla la calidad del agua como uno de los aspectos más importantes para garantizar la salud y bienestar de la población. Los Artículos 86,87 y 88 incluyen aspectos relativos a las normas, la purificación del agua y los certificados de calidad.

1. **MARCO TEÓRICO**

1.1 Componentes básicos de los sistemas convencionales de abastecimiento de agua potable

Los sistemas convencionales de abastecimiento de agua potable, en el área rural de Guatemala, cuentan con varios componentes.

1.1.1 Abastecimiento por gravedad

Puede hacerse a partir de fuentes superficiales o de fuentes subterráneas.

1.1.1.1. Fuentes superficiales

- Ríos
- Riachuelos
- Lagos
- Lagunas

La captación se realiza a través de una represa o de manera directa. Los componentes generales de un sistema típico de abastecimiento son

- Represa o captación directa
- Sistema de tratamiento (generalmente a través de filtros lentos o Rápidos)
- Conducción por gravedad
- Almacenamiento con dosificador de cloro
- Red de distribución

1.1.1.2 Fuentes subterráneas

- Manantiales
- Nacimientos
- Ojos de agua
- Para el caso de manantiales, nacimientos y ojos de agua, se construyen obras de captación directa (sí son de brote definido). Si son de brote difuso la captación se realiza por medio de galerías de infiltración.

Los componentes generales de un sistema de este tipo son

- Tubería de conducción por gravedad
- Tanque de almacenamiento (según el tamaño de la comunidad)
- Red de distribución
- Conexiones prediales o domiciliares

Adicionalmente se instala un dosificador de cloro al tanque de almacenamiento.

1.1.2 Abastecimiento por bombeo

Generalmente el abastecimiento por bombeo se realiza para

- Pozos perforados: abastecimiento por bombas electromecánicas
- Pozos perforados a mano a través de bombas manuales
- Un sistema de este tipo consta de:
- Pozo mecánico
- Tubería de conducción
- Tanque de almacenamiento con dosificador de cloro

- Red de distribución

1.1.3 Abastecimiento por sistema mixto

En muchas ocasiones, dependiendo de situaciones topográficas de dispersión poblacional y otras, se prefiere un sistema mixto (bombeo + gravedad). En todo caso, además de los componentes indicados para un sistema por bombeo, en este otro se agrega:

- Tubería de conducción a tanque elevado
- Tanque elevado

Es claro que la desinfección puede hacerse en este caso de manera directa o dosificada por goteo.

1.2 Tratamiento de agua para consumo humano

Para que el agua sea apta para consumo humano es necesario que pase por un proceso denominado purificación de agua el cual consta de

a. Sedimentación
b. Filtración
c. Desinfección

1.2.1 Sedimentación

Los sedimentadores son depósitos por los que se hace pasar el agua lentamente, para lograr que las partículas sólidas que el agua tenga en suspensión se asienten por gravedad, es decir, que se depositen en el fondo. La sedimentación puede ser simple y secundaria.

1.2.1.1 Sedimentación simple

La sedimentación simple se emplea para eliminar los sólidos más pesados, sin necesidad de tratamiento especial. Mientras mayor sea el tiempo de reposo, mayor será el asentamiento y consecuentemente, la turbiedad será menor. En el proceso de sedimentación simple, al tiempo que el agua tarda en pasar por el sedimentador se llama tiempo de retención, que es de 6 a 8 horas.

1.2.1.2 Sedimentación secundaria

La sedimentación secundaria (coagulantes) se utiliza en algunas plantas y consiste en agregar antes de la sedimentación productos químicos que tienen el efecto de producir flóculos, o sea una especie de aglomeración de las partículas más finas, lo que hace que se asienten más rápidamente que en la sedimentación simple. Para lograr una buena mezcla en el agua de los productos químicos que se agregan como coagulantes, se necesitan aparatos dosificadores que agregan con exactitud la cantidad de productos químicos. El producto químico más usado como coagulante, es el sulfato de aluminio y, en algunos casos, se agrega también cal para una mejor coagulación.

En este tipo de proceso el tiempo de retención puede reducirse a unas cuatro horas. En los casos en que el agua tiene demasiada turbidez, el proceso de sedimentación con coagulantes es el único que da buenos resultados

1.2.2 Filtración

La sedimentación normalmente no proporciona un tratamiento completo. En el agua aún quedan partículas finas y muchos microorganismos que no se sedimentan, por lo que se requiere la filtración para completar la remoción.

La filtración consiste en hacer pasar el agua por un lecho material filtrante, usualmente formado por una capa de arena seleccionada a un tamaño adecuado al proceso de filtración. Existen dos tipos de filtros: lentos y rápidos.

Los filtros lentos son usados en combinación con los sedimentadores simples. Estos consisten en un lecho más o menos de un metro de espesor de arena fina, soportada por una capa de grava o piedrín fino, entre el cual se colocan tubos perforados que recogen el agua que ha pasado por el lecho filtrante. Se llaman filtros lentos porque el agua se hace pasar lentamente a través de la arena.

Los filtros rápidos son usados en combinación con la sedimentación con coagulantes, y se diferencian de los filtros lentos en que el agua se hace pasar a mayor velocidad, y están provistos de un sistema de limpieza por agua que circula en dirección contraria a la del flujo de filtración. Entre los filtros rápidos hay dos tipos de gravedad y a presión. Los filtros de gravedad son construidos en un depósito abierto. En ellos, el agua pasa a través del material filtrante por la diferencia de nivel que hay entre el agua afuera y adentro del depósito del filtro.

Los filtros a presión son construidos dentro de un depósito cerrado, usualmente con forma de cilindro. En ellos, el agua se hace pasar por presión obtenida fuera del filtro ya sea por bombas o por desnivel con los sendimentadores.

1.2.3 Desinfecciíon del agua

Como última fase del proceso descrito anteriormente se ha removido la mayoría de las materias objetables en el agua, sin embargo pueden haber pasado algunos microorganismos patógenos.

Por esta razón para que el agua cumpla el requisito de calidad necesaria para ser agua potable, se le debe dar un tratamiento de desinfección que destruya los microorganismos patógenos.

Lo anterior se puede conseguir a través de varios métodos; Pero el más usado es el de aplicación de cloro, llamado cloración, por ser considerado más accesible, más económico y efectivo, principalmente por sus efectos residuales. El cloro es un agente químico que aplicado al agua en cantidades muy pequeñas, es capaz de destruir los microorganismos patógenos, sin ocasionar ningún malestar a los seres humanos.

1.3 Tipos de fuente de agua

1.3.1 Aguas superficiales

- Ríos
- Riachuelos
- Lagos

- Lagunas

1.3.2 Aguas subterráneas

- Manantiales, nacimientos, ojos de agua
- Pozos excavados a mano
- Pozos perforados a través de bombas electromecánica

1.3.3 Agua de lluvia

Ésta puede ser aprovechada a través de una adecuada recolección y almacenamiento en cisternas individuales o colectivas.

1.4 Contenidos presentes en las aguas, parámetros biológicos físico y químicos.

1.4.1 Parámetros biológicos

El agua puede contener muchos tipos de bacterias, virus, y hongos cuyo medio habitual sea el suelo, el agua o el aire y forman esporas. El examen bacteriológico del agua está basado en la determinación aproximada del número total de bacterias presentes y de la presencia o ausencia de organismos de origen intestinal o de aguas negras. Los principales organismos indicadores de contaminación intestinal de aguas negras, son bacterias del grupo coliforme, estos son huéspedes habituales del intestino grueso del hombre y animales. La *escherichia coli* y el *aerobacter aerógenes* son las bacterias que forman el grupo coliforme de importancia en el análisis del agua. Las pruebas principales que se hacen son

1.4.1.1 Recuento total de bacterias

Se usa para obtener una estimación del número total de bacterias que se encontrarán en una muestra de agua, la prueba se efectúa en dos diferentes temperaturas, a 35º C que es la temperatura óptima, es decir la temperatura en que las bacterias crecen en mejores condiciones y a 20º C ó a temperatura ambiente con el objeto de observar su desarrollo en la temperatura en que, aproximadamente, se encuentran las bacterias en los medios naturales

1.4.1.2 Investigación del grupo coliforme

La estimación del número de bacterias del grupo coliforme presentes en un determinado volumen de agua será índice o indicación de la intensidad de una contaminación. Existen dos procedimientos para investigarlo

1.4.1.3 Método normal de diluciones

Se efectúan tres pruebas: presuntiva, confirmativa y completa. La prueba negativa presuntiva (sin formación de gas a las 48 horas) indica que el agua es potable, si la prueba presuntiva es positiva (formación de gas) se sospecha que el agua es contaminada y se procede a efectuar la prueba confirmativa. Si esta prueba es positiva a las 48 horas a 35º C, el agua está contaminada con heces fecales, es decir con aguas negras, los resultados de esta prueba se expresan en números más probables en 100 milímetros de la muestra. La prueba completa es para poner en evidencia la procedencia fecal y la presencia de la bacteria *Escherichia coli* en la muestra de agua, tiene importancia en encuestas epidemiológicas.

1.4.1.4 Método de membranas de filtración

La investigación del grupo coliforme se basa en la propiedad que tienen las bacterias que lo forman, de que en un medio con eosina azul de metileno u otro similar llamado endo, crecen colonias de bacterias de color negro pardo, con brillo metálico, en toda la colonia o únicamente en el centro de la colonia, a una temperatura de incubación de 35 º C y de 18 a 20 horas.

Si se presentan colonias típicas de brillo metálico en la membrana, es indicación de la presencia de grupo coliforme, el agua no es potable, los resultados se expresan en bacterias por centímetro cúbico o milímetro.

1.4.2 Parámetros físicos

Estos registran aquellas propiedades que pueden ser observada por los sentidos.

1.4.2.1 Turbidez

La turbidez es el efecto óptimo causado por la dispersión o interferencia de los rayos luminosos que pasan a través del agua que contiene pequeñas partículas en suspensión. Una turbidez mayor de 5 mg/l es fácilmente notada por el consumidor e indica condiciones no satisfactorias. La coagulación y la filtración siempre deben disminuir la turbidez a menos de 5 mg/l y en las plantas que operen con agua de pozo deben disminuir a menos de 1.0 mg/l

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

1.4.2.2. Color

El color del agua es de dos tipos: color verdadero es el que está presente en el agua después de haber removido la materia en suspensión y el color aparente es el color verdadero más cualquier otro color que produzcan las substancias en suspensión.

Se recibirán quejas del consumidor si el color es mayor de 10 a 15 mg/l y es deseable un color de 5 mg/l. Un aumento de color entre el tanque y el sistema de distribución puede indicar corrosión o proliferación en las tuberías.

1.4.2.3 Olor

Los olores del agua son debidos a pequeñas concentraciones de compuestos volátiles; por lo general, el olor es indicación de polución. También es una medida de la aceptación por el consumidor de un abastecimiento y el agua que se entregue debe tener una intensidad de 2 unidades o menos.

1.4.2.4 Sabor

Se relaciona con el olor y es causado por las mismas condiciones. También la materia mineral disuelta puede impartir sabores, pero no olores al agua. Las sales metálicas como las del cobre, zinc o el hierro, pueden causar sabores metálicos. Los cloruros o los sulfatos, en concentraciones mayores de 250 mg/l, hacen que el agua tenga sabor salado.

Interpretación. El sabor es una medida de la aceptación del agua por el consumidor. El agua debe tener una intensidad de sabor de 2 o menos. Un sabor metálico o salino puede indicar polución en el abastecimiento del agua.

1.4.3 Parámetros químicos

Son los análisis que determinan las cantidades de materia mineral y orgánica que hay en el agua y afecta su calidad proporcionando datos acerca de contaminaciones.

1.4.3.1 Dureza

La dureza mide la capacidad del agua para consumir el jabón. Las aguas duras son menos corrosivas que las blandas que contienen compuestos de calcio y magnesio en bajas concentraciones.

Un agua satisfactoria para uso doméstico y lavado de ropa debe contener menos de 50 mg/l de dureza, el agua con dureza de 300 o más no es apropiada para el uso ordinario. Las aguas con poca dureza (blandas) se tratan con cal, para aumentarla.

1.4.3.2 Alcalinidad

La alcalinidad es una medida de los constituyentes básicos (alcalinos) del agua. Interpretación. Si todas las substancias bases (alcalinas) están presentes como sales de calcio y magnesio, la alcalinidad será igual a la dureza. Si la alcalinidad es mayor que la dureza, significa que hay otras sales básicas, además de las de calcio y magnesio y generalmente se tratan de sales de sodio o potasio. Es deseable una alcalinidad menor de 10 mg/l para usos domésticos.

1.4.3.3 Concentración de iones de hidrógenos, valor del ph

La concentración de iones de hidrógeno o valor del Ph mide la intensidad de la reacción ácida o alcalina del agua. El agua que no tiene ácido ni álcali tiene un valor del Ph igual a 7.0, al cual se le llama valor neutro del Ph.

La adición de ácidos fuertes como el ácido sulfúrico o el clorhídrico baja notablemente el valor del Ph; así un álcali aumenta el valor del ph sobre 7.0 dependiendo de la variación de los valores del Ph desde 1.0 hasta 7.0 indican acidez, 7.0 indica neutralidad y los valores de ph desde 7.0 hasta 14.0 indican alcalinidad. La mayoría de las aguas naturales tienen valores de ph entre 5.5 y 8.6.

Los valores de ph menores de 7.0 indican una reacción ácida, un valor de ph menor de 6.0 indicará una acción agresiva o corrósiva del agua sobre los metales que se usan en la tubería.

1.4.3.4 Cloro residual

Cuando se agrega cloro al agua reacciona con substancias orgánicas que destruyen su poder desinfectante, por este motivo es necesario agregar una cantidad de cloro que sea suficiente para que reaccione con todas las substancias y quede una cantidad residual, pues se quiere destruir bacterias y virus.

Este cloro puede quedar disponible en estado libre, el cual tiene un rápido poder desinfectante. Para controlar la cloración se usa la prueba de ortotolidina.

El poder desinfectante del color depende de la forma en que esté presente el cloro residual, del tiempo de contacto, de la temperatura y del ph del agua.

Si el ph es menor de 8.0 un cloro residual de 0.3 mg/l destruirá bacterias en un período de 10 minutos.

1.4.3.5 Demanda de cloro

La demanda de cloro en el agua es la cantidad de cloro que se necesita para que reaccione con las substancias orgánicas y con otras que contenga el agua.

La prueba de la demanda de cloro indica la cantidad de cloro que será necesaria para producir determinados cloros residuales después de un periodo de contacto definido.

Como la materia orgánica que contenga el agua consume cloro, las aguas que contengan color o turbidez intensa tendrán una demanda alta de cloro.

1.5 Incidencia de las aguas para consumo humano no tratadas en la salud

1.5.1. Enfermedades producidas por el contacto con el agua no tratada

A menudo, aunque dependiendo de la fuente de abastecimiento y la cercanía de focos de contaminación, se encuentran en el agua gran variedad de microorganismos patógenos como bacterias (*vibrio cholerae*, *E. Coli toxígena*, *salmonella, shigella, campylobacter, yersinia enterocolítica, aeremonas, leptospira*); virus (*enterovirus, hepatitis A, rotavirus, Norwalk*); protozoarios (*entamoeba, giardía, cryptosporidium, balantidium coli*) y helmintos (*echinococus, áscaris, tenia*); que se originan principalmente en las heces humanas o en las de otros animales de sangre caliente.

Estos microorganismos pueden producir enfermedades, las llamadas enfermedades de origen hídrico, que en nuestro país son causa de altos índices de morbilidad y mortalidad infantil y general, ya sea por el uso del agua como bebida o porque la misma contamina los alimentos.

Entre las enfermedades causadas por estos microorganismos se tienen el cólera, la disentería bacilar *(shigelosis*), la disentería amebiana, la gastroenteritis, las infecciones por enterovirus (algunas), la diarrea, la infección por rotoravirus, la infección por *escherichia colí*, enteropátogena y toxígena, la giardiasis, la balantidiasis, la fiebre tifoidea, la fiebre paratifoidea, la leptospirosis (mal de *weil*) y la hepatitis infecciosa que se clasifican como enfermedades de transmisión fecal-oral.

Así también se tienen otras enfermedades asociadas con el agua como las parasitarias (*ascariasis, enterobiasis, tricuriasis*).

Debido al contacto con agua contaminada existen las siguientes enfermedades dérmicas Sepsis de la piel y ulceras (*Staphylococus aureus*), escabiosis (*sarcoptes scabiei*), lepra (*mycobacterium leprae*), tifus exantemático (*Rickettsia prowazekii*).

1.5.2 Importancia de la desinfección del agua

La razón fundamental de la desinfección del agua es disminuir el riesgo de infección de las enfermedades transmitidas por el agua mediante la destrucción o inactivación de los diversos organismos patógenos que están o pueden estar presentes en las fuentes de agua que las personas utilizan para satisfacer sus necesidades básicas.

Cuando se carece de un abastecimiento de agua corriente idóneo y continuo en el hogar, la desinfección y el almacenamiento seguro constituyen las barreras más importantes contra las enfermedades transmitidas por el agua.

Numerosos estudios realizados durante los últimos 50 años han demostrado los beneficios de la desinfección del agua potable. La factibilidad y eficacia de la desinfección y el uso de recipientes de almacenamiento de agua adecuadamente diseñados para asegurar un suministro seguro de agua para beber, cocinar, lavar los platos y cubiertos y para la higiene personal a los hogares individuales, como un medio de impedir la diseminación de enfermedades transmitidas por el agua, se ha confirmado a través de muchas experiencias.

1.5 Otras opciones de abastecimiento

En el caso de comunidades pequeñas que no cuentan con manantiales ni aguas superficiales, se utiliza tecnología sencilla, generalmente para abastecer a partir de pozos perforados o a través de bombas manuales, pozos artesanales y agua de lluvia.

Para abastecimiento por pozos se utilizan bombas manuales como las siguientes:

- Bomba maya
- Bomba remadora
- Bomba de lazo o de mecate
- Bomba india *Mark II*
- Bomba india *Mark III*
- Bomba manual *UNIMADE*

Figura 1 Bomba maya

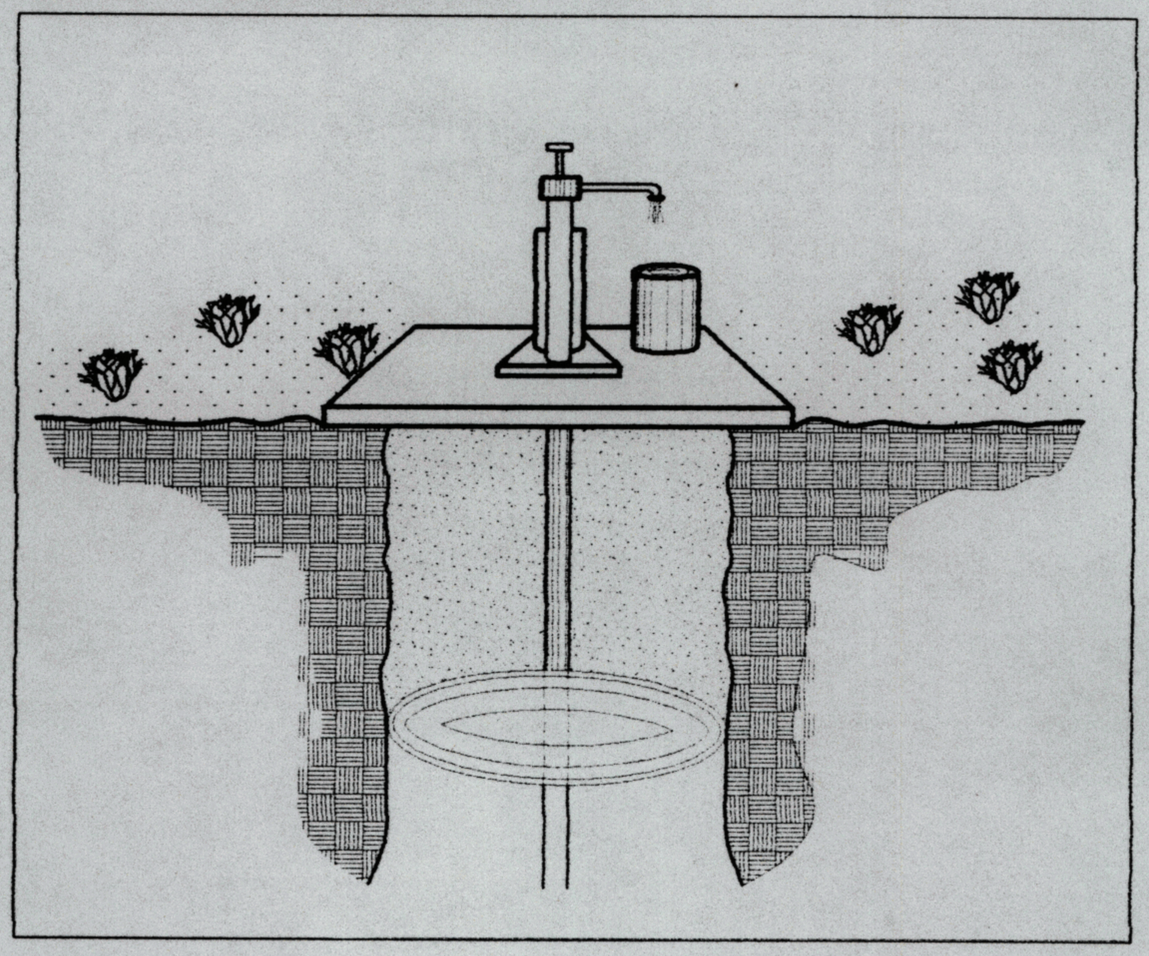


Figura 2 Bomba mecate

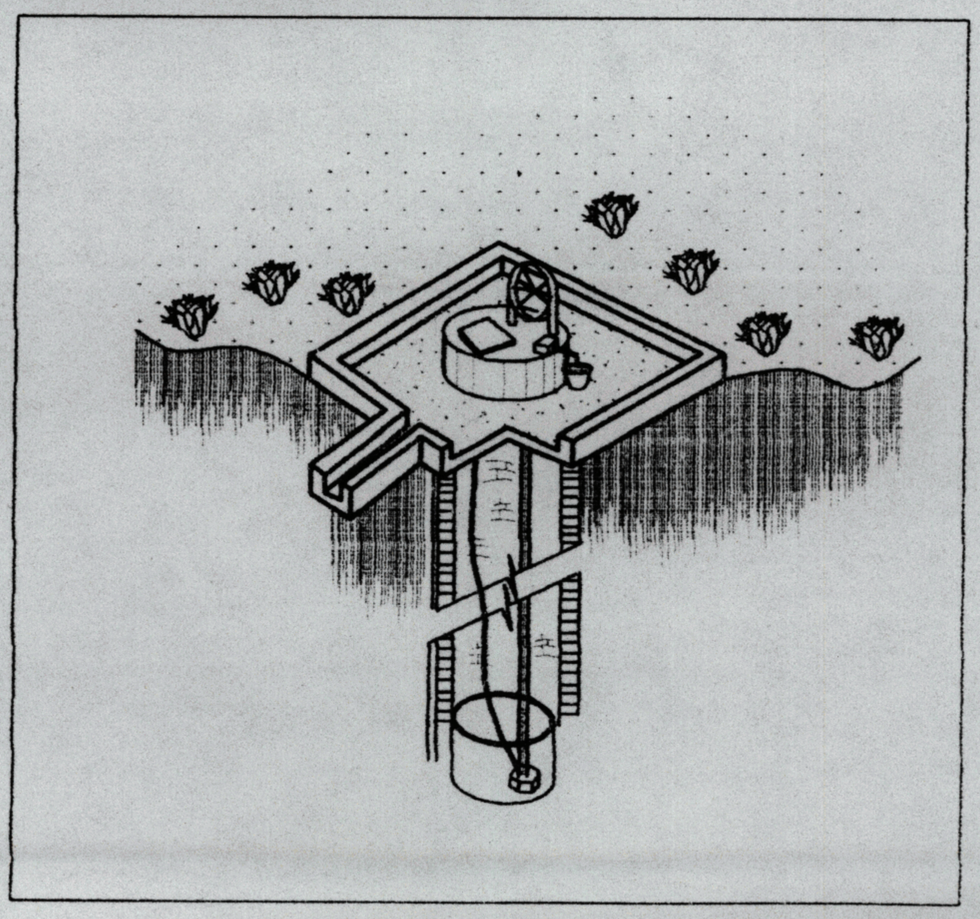
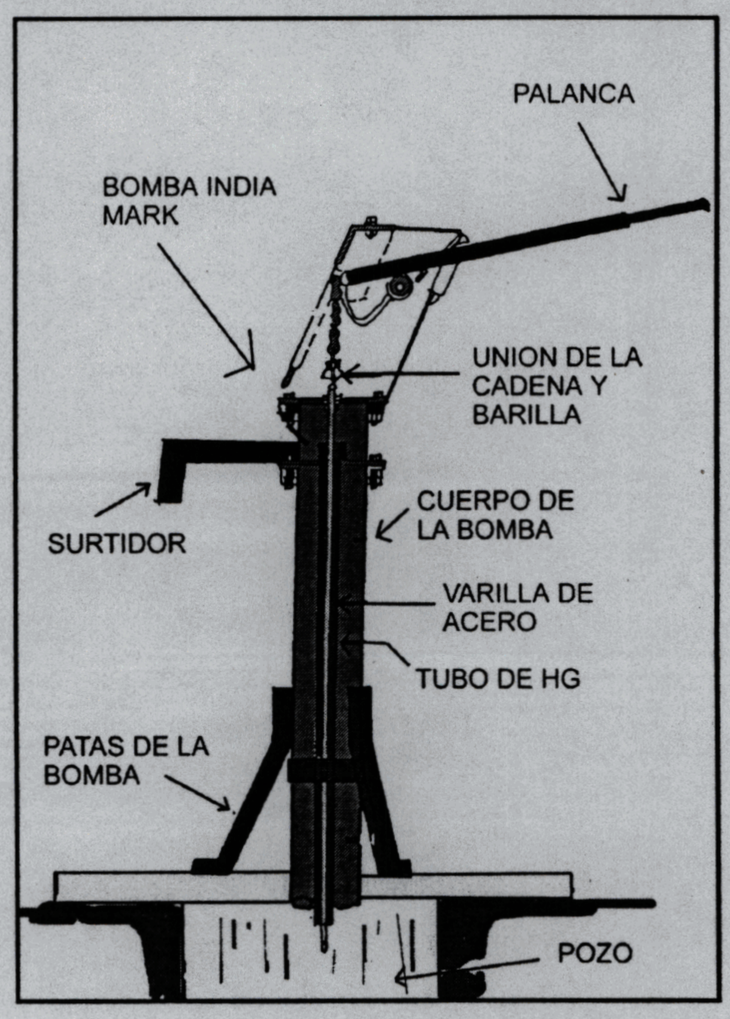


Figura 3. Bomba india *mark*



1.6.1 Captación de agua de lluvia

En comunidades rurales de Guatemala, como en algunas del departamento de el Petén y Alta Verapaz, se utiliza el agua de lluvia captada a través de los techos de las viviendas y depositada en tanques generalmente unifamiliares.

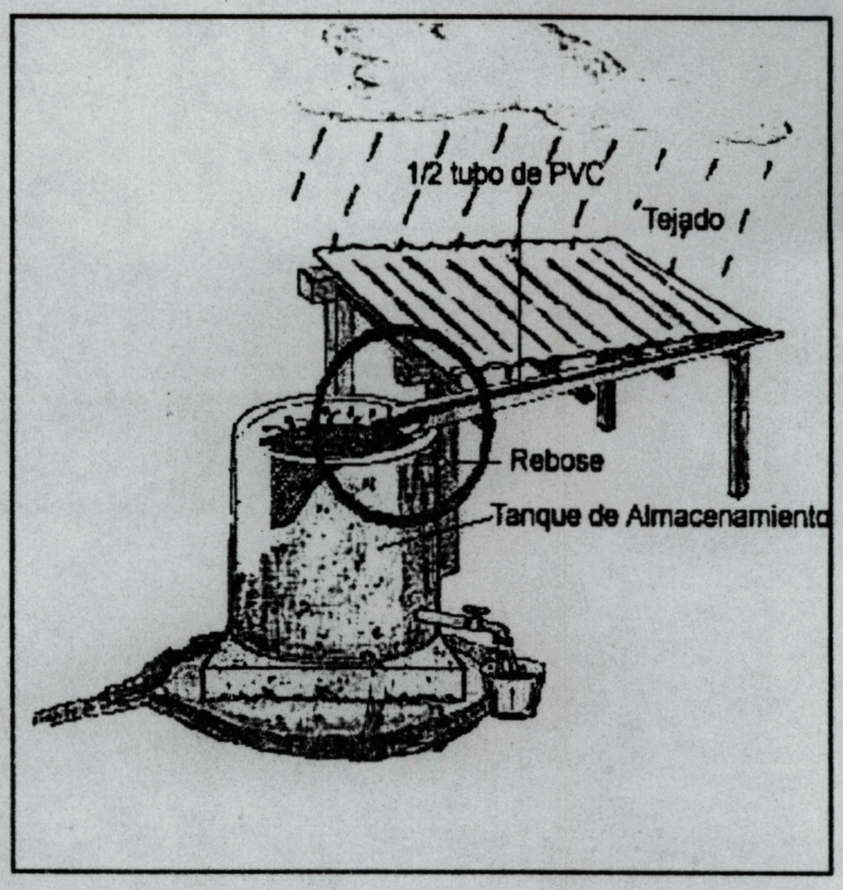
El agua de lluvia generalmente es de buena calidad y aceptable por los usuarios en cuanto a apariencia y sabor. El sistema proporciona agua a lugares que están alrededor de la misma, evitando su acarreo desde grandes distancias para beneficio principalmente de mujeres y niños.

Con un sencillo sistema de filtrado, el agua de lluvia, captada y almacenada en sistemas o tanques puede reducir ostensiblemente el índice de enfermedades gastrointestinales en el área rural principalmente en las comunidades indígenas y también en las áreas urbano –marginales.

Para la utilización del agua de lluvia se necesita los siguientes componentes principales.

- Área de captación (generalmente el techo de la viviendas, siempre que éstos sean de teja, lámina de zinc o fibro –cemento)
- Filtro
- Sistema o tanque de almacenamiento
- Canaletas
- Cubierta del sistema

Figura 4. Captación de agua de lluvia



2. MÉTODOS DE DESINFECCIÓN

2.1 Cloración

El cloro es uno de los desinfectantes de agua más antiguo y de uso común. Su primer uso consistió en controlar los malos olores del agua, pero para fines del siglo XIX comenzaba a aceptarse como desinfectante y para principios del siglo XX se empleaba con este fin en forma sistemática en las plantas de tratamiento de agua en los Estados Unidos y en otros países.

2.1.1 Características del cloro

El cloro se encuentra a la venta en diversas formas relativamente sencillas de aplicar al agua. Es un bactericida y virucida eficaz en la mayoría de las situaciones y proporciona un residual que puede medirse fácilmente desde el punto de vista de la salud, la desinfección del agua es su uso principal. El residual del cloro en el agua desinfectada también ayuda a proteger el sistema de distribución contra la recontaminación microbiana, impide el recrudecimiento bacteriano y retarda el deterioro microbiológico de las tuberías y demás componentes del sistema.

Además del cloro gaseoso se usan varios compuestos de cloro para desinfectar el agua, como los hipocloritos de sodio o calcio, el bióxido de cloro y las cloraminas. Estas últimas suelen formarse en el agua en presencia de amoníaco, también se pueden añadir como producto químico preformado.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

2.1.2 Eficacia del cloro contra bacterias

La eficacia del cloro contra las bacterias ha sido estudiada extensamente. Existe concenso general de que las salmonellas, las shiguellas, los vibriones y la mayoría de las bacterias intestinales son más susceptibles a la cloración que el microorganismo indicador *escherichia coli*. Por consiguiente, la *escherichia coli* se considera un buen indicador de la contaminación bacteriana del agua. También existe acuerdo general sobre el hecho de que el cloro residual libre es casi 100 veces más eficaz que los residuales de cloro combinados. El cloro residual libre de 0,2 a 0,5 mg/l se considera adecuado para la desinfección bacteriana en la mayoría de las situaciones.

2.1.3 Eficacia del cloro contra especies virales

Los virus generalmente asociados con el agua potable son los rota virus de la hepatitis, de la poliomielitis 1 y 2 de coxsackie y los eco virus. En general , se considera que los virus son más resistentes a temperaturas altas y pH bajo. También causan grandes variaciones en la resistencia a diferentes desinfectantes. Se cree que los rota virus son la causa principal de la diarrea en los niños de todo el mundo. El virus de la hepatitis infecciosa es de especial importancia epidemiológica porque es endémico en la mayoría de los países de la región. Generalmente es transmitido por la vía fecal/oral y con frecuencia es transportado por el agua.

2.1.4 Efectos sobre la salud

Para los seres humanos y los animales, el cloro gaseoso es sumamente tóxico cuando se inhala. A bajas concentraciones, los efectos del cloro son irritación de los ojos y las vías respiratorias superiores.

El umbral del olor irritante del cloro oscila entre 0,006 y 5,8 mg/m^3 (0,02 a 2.0 mg/l), según la sensibilidad de las personas y otros factores. La concentración máxima admisible en el ambiente de trabajo varía de un país a otro. Para la población en general se ha propuesto que si la irritación sensorial y la reducción en capacidad ventilatoria son los efectos críticos, los niveles deben ser inferiores a 0,1 mg/m^3 (1,0 a 2,0 mg/l).

2.1.4 Eficacia del cloro como desinfectante del agua.

Aún después de muchos años de estudio, no se comprende del todo el mecanismo exacto mediante el cual el cloro desinfecta. Una teoría comúnmente aceptada es que el ácido hipocloroso puede penetrar la pared de la células bacterianas, destruyendo su integridad y permeabilidad y, al reaccionar con grupos sulfhídricos, inactiva las enzimas esenciales para el proceso metabólico, matando el microorganismo. Esto ayuda a explicar el porque HOCl (ácido hipocloroso), una molécula neutral pequeña, es un desinfectante mucho mejor que el ión de OCl^- ión hipoclorito, que debido a su carga negativa no penetra fácilmente la pared de la células.

Cualquiera que sea el mecanismo del proceso, desde el punto de vista práctico, existen dos técnicas de cloración: cloración residual combinada cuando el cloro residual que queda en el agua después de un período específico. se halla en forma de cloraminas o de compuestos orgánicos y la cloración residual libre cuando el cloro residual se encuentra ya sea en forma de HOCl (ácido hipocloroso) o de OCl^- (ión hipoclorito). Estas dos formas de cloro residual producen diferentes reacciones en los microorganismos.

En todo caso, la consideración principal siempre deberá ser la eficacia con respecto a la inactivación de los microorganismos patógenos que pueden encontrarse en el agua que se va a desinfectar. En este contexto , la consideración del efecto del valor del pH (potencial de hidrógeno) y la temperatura del agua, el tipo y la concentración del compuesto de cloro, la presencia en el agua de amoniaco y otras sustancias que reaccionan con el cloro, en el tiempo de contacto del cloro con el agua, y el método de aplicación del cloro, son esenciales para determinar la eficacia.

2.2 Filtración

Es una forma de desinfección en la cual existen varios tipos de filtros y estos son algunos.

2.2.1 Filtros lentos de arena (tratamiento domiciliar)

Este filtro utiliza una de las primeras técnicas aplicadas para la depuración del agua para consumo humano. Con este tipo de filtro es posible eliminar impurezas existentes y reducir drásticamente la posibilidad de padecer enfermedades como el cólera.

Esta tecnología puede utilizarse para dar soluciones a pequeña escala y de uso unifamiliar, en lo que a calidad del agua se refiere. Las aguas que tengan un aspecto turbio. pueden pasarse por filtros que desarrollan bacterias colaboradoras útiles para la eliminación de parásitos causantes de enfermedades que podrían tener las aguas a filtrar.

- Recipiente de plástico (barril), ferrocemento o concreto, con tapadera hermética
- Tubos de entrada y de rebose
- Tubo de salida, con grifo
- Capas de grava, gravilla y arena

Características importantes

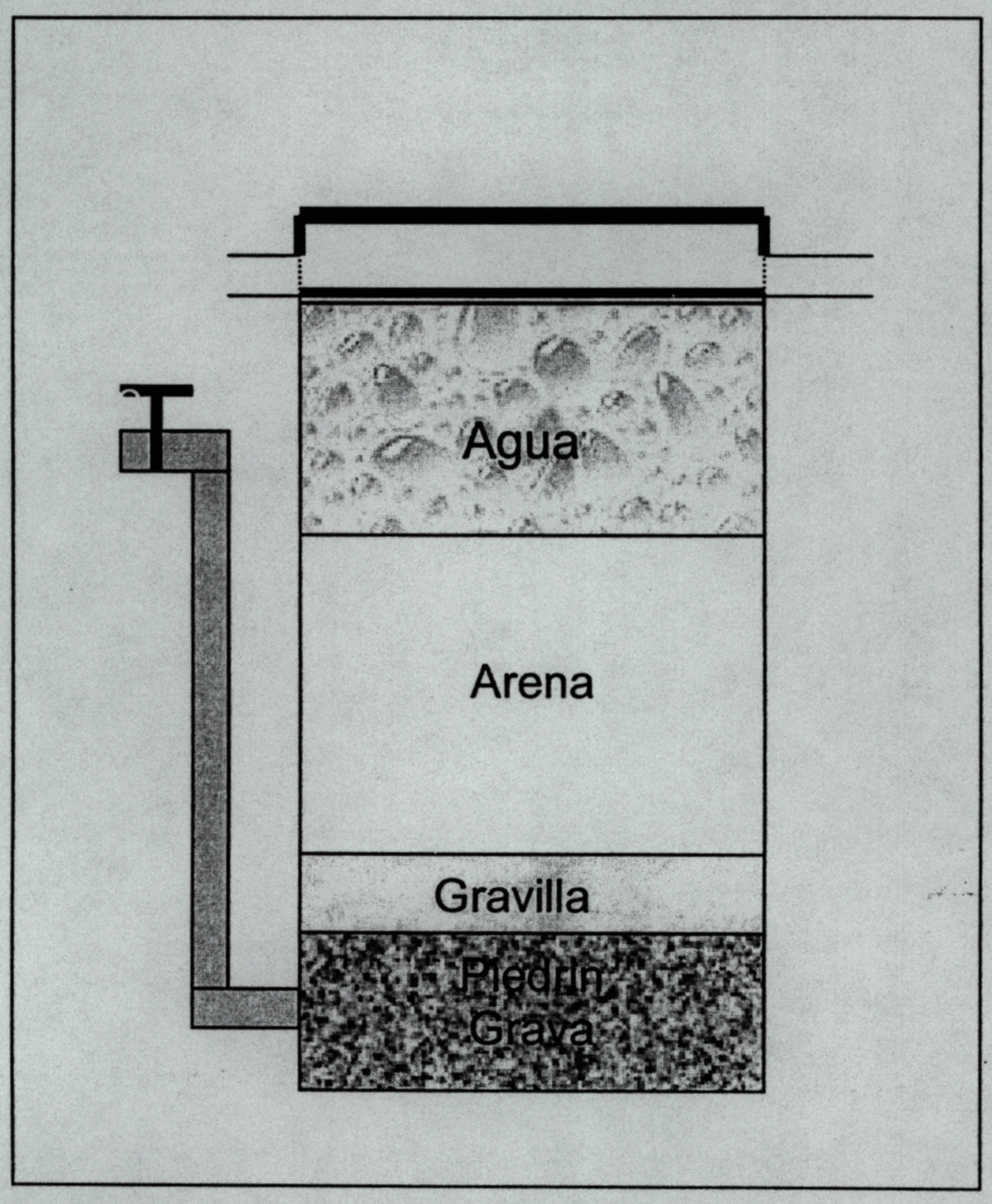
- Se utiliza un recipiente relativamente fácil de conseguir o fabricar en la comunidad
- Para que un filtro nuevo pueda eliminar bacterias y virus deberá ponerse a funcionar entre 2 y 3 semanas antes de que esta capacidad se desarrolle.
- El filtro no debe usarse como recipiente para el almacenamiento de agua.

Alrededor del tubo de drenaje, en el fondo del recipiente, se colocan 7.5 cm. de piedrin (grava) y luego sobre la grava se colocan 5 cm. de arena gruesa (gravilla) y sobre ésta se coloca la arena fina.

- Para mantener siempre húmedo el material filtrante, la salida del tubo por el que se sirve el agua filtrada (tubo de drenaje) deberá estar por lo menos 5 cm más alto que el nivel superior de la arena.
- El agua filtrada puede adicionalmente ser desinfectada por medio de la aplicación de cloro.
- Cuando la velocidad de la salida del agua disminuye demasiado es tiempo de darle mantenimiento.

El mantenimiento del filtro consiste en lavar por separado y con agua limpia, el piedrín la gravilla y la arena, así como el recipiente. En ningún caso debe utilizarse cloro para lavar durante el mantenimiento del filtro lento de arena, porque ello evitará el crecimiento de bacterias colaboradoras.

Figura 5. Filtro lento de arena (tratamiento domiciliar)



2.2.2. Filtros lentos de arena (tratamiento colectivo)

Este filtro es apropiado para pequeñas comunidades rurales. Su diseño sencillo facilita el uso de materiales y mano de obra locales. Requiere poco o ningún equipo especial

Este proceso es diferente a la filtración rápida en arena, principalmente en su naturaleza biológica y su facilidad de operación y mantenimiento, esto último es esencial para pequeñas comunidades rurales e indígenas

Al filtrarse el agua por un sistema como éste, se mejora considerablemente su calidad al eliminarse la turbiedad y reducirse significativamente el número de microorganismo patógenos (bacterias, virus, parásitos).

Componentes

- Entrada de agua
- Tanque de filtración
- Lecho de arena
- Sistema de drenaje
- Capa de agua sobrenadante
- Tanque de captación de agua filtrada con ventilación y desinfección

Mantenimiento

La limpieza del filtro se realiza removiendo unos pocos centímetros de la parte superior del lecho filtrante y reiniciando luego el proceso de filtración.

2.2.3. Filtro casero Carpom

Este es un filtro sencillo que se fabrica con materiales fáciles de conseguir en zonas rurales. La experiencia ha demostrado la facilidad de utilizar para su fabricación materiales como tubería de PVC para el recipiente y el piedrín, arena carbón vegetal y piedra pómez como materiales filtrantes. Su nombre se forma precisamente con las primeras letras de las palabras Carbón y pómez.

Esta tecnología para la depuración del agua funciona muy bien en las casas de familias en zonas rurales dispersas, ubicadas en las riberas de ríos, riachuelos, lagos, lagunas y con dificultades para obtener agua potable.

Componentes

- Recipiente, fabricado de tubo PVC de 45 centímetros de largo, con diámetro de 15 ó 20 centímetros aproximadamente.
- Material filtrante, conformado por capas de piedrín, arena de grano uniforme (tamizada), trozos de carbón vegetal y pedazos de piedra pómez.
- Elemento para la salida del agua filtrada. Se pueden utilizar boquillas de material plástico fabricada para el efecto, o un trozo de tubo PVC de 25 a 50 milímetros de perforado o ranurado uniformemente.
- Cierre de la base de filtro. Puede utilizarse una pieza de madera a *plywood*, con una abertura apropiada para la colocación de la manguera para la obtención del agua filtrada.

2.3 Yodación

El yodo es un elemento no metálico, de color gris oscuro, con peso atómico de 12,692 y es el único halógeno sólido a la temperatura y a la presión normales. También es el menos soluble de los halógenos. Por ser un sólido, su solubilidad aumenta a medida que sube la temperatura mientras que la del cloro (un gas) disminuye. Según la temperatura, la solubilidad puede variar de 200 a 400 mg/l (a 20 °C es de 290 mg/l) El yodo tiene el potencial más bajo de oxidación de los tres alógenos comunes cloro, bromo y yodo.

2.3.1 Efectos sobre la salud

A diferencia de cloro, la preocupación de que el yodo afecte a la salud está más relacionada con el yodo propiamente dicho y no con los productos de sus reacciones con otras sustancias que suelen encontrarse en el agua. Esto se debe principalmente a que el yodo es un oxidante débil y ni la termodinámica ni la cinética de las reacciones con otras sustancias en un ambiente acuoso favorecen su combinación con otras sustancias.

Usar yodo durante periodos prolongados de tiempo para la desinfección de agua ha sido cuestionado por muchos organismos de salud, principalmente debido a los efectos fisiológicos que el yodo puede causar en personas sensibles al mismo.

2.3.2 Eficacia

El yodo ha sido reconocido como un desinfectante de agua potable desde principios de este siglo y se ha utilizado ampliamente para volúmenes pequeños de agua, como suministros de agua individuales de condiciones de campo y de emergencia. El yodo ha tenido uso limitado, pero exitoso, en la desinfección de suministros de agua pequeños semipúblicos, institucionales y agrícolas. Sin embargo, su utilización nunca se ha generalizado en abastecimientos públicos de agua, debido principalmente al estrecho margen de seguridad entre las dosificaciones necesarias para lograr una desinfección adecuada y el umbral para evitar que las personas sensibles al yodo sufran efectos adversos sobre la salud y en parte debido a su alto costo, que es cerca de 10 veces más que el del cloro.

2.4 Radiación ultravioleta

La desinfección con la radiación ultravioleta se ha venido utilizando ampliamente en los sistemas de abastecimiento de agua de hospitales, en industrias de alimentos y bebidas, en hoteles y en buques, recientemente se ha incrementado su uso también para el tratamiento del afluente de plantas de tratamiento de aguas servidas y ha vuelto a recibir atención como desinfectante de pequeños abastecimiento de agua, debido a su capacidad de desinfectar sin producir cambios químicos notables en el agua tratada. En proyectos de demostración para sistemas de abastecimientos de agua de comunidades pequeñas en Brasil, Canadá, Estados Unidos y Europa, se ha utilizado la luz ultravioleta para la desinfección primaria, que suele ir seguida de un desinfectante químico secundario (generalmente cloraminas) para obtener un residual adecuado que asegure que no vuelvan a desarrollarse microorganismos en el sistema de distribución.

2.4.1 Características

La desinfección del agua con luz ultravioleta puede lograrse con longitudes de onda de luz entre 240 y 280 nanómetros (nm) obteniéndose la máxima eficacia germicida cerca de los 260 nm. Casualmente las lámparas de arco de mercurio a baja presión que se encuentra en el mercado producen una longitud de onda ultravioleta de cerca de 253,7 nm. La temperatura del agua tiene poca o ninguna influencia en la eficacia de desinfección de la luz ultravioleta de cerca de 253,7 nm La temperatura del agua tiene poca o ninguna, influencia en la eficacia de desinfección de la luz ultravioleta pero sí ejerce un efecto sobre el rendimiento operativo de la lámpara de luz ultravioleta. En teoría, el agua puede desinfectarse a cualquier grado por este método, sin embargo, hay varios factores que disminuyen la presentación de los rayos ultravioletas en el agua, y en el caso del tratamiento de agua esto en una consideración importante porque afecta la eficiencia del proceso de desinfección.

2.4.2 Efectos sobre la salud

No se conoce que haya efectos directos adversos sobre la salud de los consumidores de agua desinfectada con luz ultravioleta. En el proceso de desinfección no se le agrega ninguna sustancia al agua no hay ningún riesgo de formación de trihalometanos y la luz ultravioleta no altera el sabor ni el olor del agua tratada. En la dosificación y frecuencia utilizada para la desinfección, no se conoce que exista la formación de derivados. La sobredosis del agua con luz ultravioleta tampoco resulta en ningún efecto nocivo.

No obstante, el operador del equipo de desinfección con luz ultravioleta debe usar anteojos y ropa protectoras para evitar exponerse a radiación de alta energía de luz ultravioleta.

2.4.3 Eficacia

Para su grado determinado de inactivación de microorganismos, el tiempo requerido de exposición del agua a la luz ultravioleta es inversamente proporcional a la intensidad de la luz que penetra el agua, teniendo en cuenta la capacidad de absorción del agua y la dispersión de la luz debida a la distancia. En 1975 se demostró que, independientemente de la duración y la intensidad de la dosificación, si se suministra la misma energía total, se obtiene el mismo grado de desinfección. La energía necesaria para la destrucción o inactivación de un microorganismo específico se expresa en unidades de segundos microvatio por centímetro cuadrado (mv.Sec/cm2).

2.5. Desinfección con ozono

La primera detección de ozono tuvo lugar en 1785 cuando Van Marum, de los países bajos, notó un olor característico mientras trabajaba con su máquina electrostática para generar chispas eléctricas. En 1800 Ruickshank detectó el mismo olor en el gas generando en el ánodo durante la electrólisis del agua. En 1840, Schombein postuló que el olor se debe a una nueva sustancia a la que el llamó ozono, a partir de la palabra griega *ozein* que significa oler. El olor característico del ozono en el aire es detectado por el olfato a concentraciones tan bajas como 0,01 mg/l.

El ozono es un gas alótropo del oxígeno, que combina tres átomos de este elemento, y se representa por el símbolo 0_3 su densidad es 1,5 veces la del oxígeno, y es 1,7 veces más pesado que el aire.

La solubilidad del ozono en el agua es de 14 a 20 veces la del oxigeno. Como oxidante, ocupa el segundo lugar en potencia de oxidación entre los productos químicos de fácil disponibilidad, siguiendo únicamente al flúor. A la temperatura y presión ambiente es un gas inestable que se descompone rápidamente para volver a la molécula de oxígeno, 0_2 de la cual se formó, debido a estas características no se puede almacenar o envasar, si no que debe generarse en el lugar y usarse inmediatamente.

En 1886 el francés Meritens demostró por primera vez las propiedades germicidas del ozono. Este gas se ha empleado para muchos fines en los abastecimientos de agua desde sus primeras aplicaciones como desinfectante en Francia, Holanda y Alemania a comienzos del siglo XX. Por lo general, suele utilizarse simultáneamente como oxidante y como desinfectante. Hoy en día existen más de 1,000 plantas de tratamiento de agua en todo el mundo que utilizan el ozono, sin embargo, su aplicación en América Latina ha sido muy limitada hasta el momento.

La gran mayoría de las instalaciones de ozonación se encuentran en ciudades grandes en fuentes de agua altamente contaminadas y se ha usado muy poco en las comunidades pequeñas. En vista que la calidad de los recursos hidráulicos disponibles para abastecimientos de agua de las comunidades pequeñas se está deteriorando, la ozonación resulta cada vez más aceptable como alternativa para el tratamiento de agua.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN
Biblioteca Ce
ATEMALA

Coincidentemente se están produciendo instalaciones de ozonación de capacidad menor que son económicamente factibles, lo que permite su aplicación en comunidades pequeñas.

Técnicamente la ozonación ha sido ensayada y probada extensamente, sin embargo para las comunidades con menos de 10,000 habitantes probablemente se debe considerar como un proyecto de demostración desde el punto de vista operativo, administrativo y de infraestructura. El inconveniente principal para las comunidades pequeñas ha sido el costo inicial y el de operación, seguido de las dificultades operacionales y de mantenimiento

2.5.1. Efectos sobre la salud

El ozono en el aire que se respira constituye una verdadera amenaza para la salud, considerándose riesgoso a una concentración de tan solo 0,02 mg/l. Como en la desinfección con ozono no se puede trasferir todo el gas generado al agua que se está tratando habrá ozono en el gas que escapa de la cámara de contacto, que se debe disponer de manera segura.

El nivel de concentración empleado de ozono para la desinfección del agua de consumo humano no se conoce ningún efecto adverso directamente sobre la salud. Pero como es tan reactivo. Hay preocupación por lo efectos indirectos que puede resultar de los subproductos de la ozonación. Investigaciones de laboratorio han revelado que la ozonación de diversas sustancias puede producir productos nocivos. En la presencia de bromuros el ozono puede formar bromoformos, que se consideran están entre los subproductos más tóxicos de la desinfección.

La importancia principal de los procesos de oxidación para la desinfección es que gran parte del ozono generalmente será consumido por otras sustancias que suelen estar presentes en el agua y habrá que satisfacer esta demanda antes de asegurar la desinfección. También significa que el ozono no proporcionará un residual estable aunque sea un desinfectante primario excelente que logra la destrucción de los microorganismos. Por lo tanto, habrá que añadir un desinfectante secundario para proporcionar ese residual a fin de proteger el agua en el sistema de distribución para que no vuelvan a contaminarse o para que no vuelva a crecer lo microorganismos. Por estas razones y debido a que el costo es relativamente alto, raras veces se emplea el ozono solamente para desinfectar, sino que más bien se usa cuando es necesario mejorar simultáneamente otros aspectos de tratamiento mediante su poder de oxidación.

La capacidad del ozono para reaccionar con sustancias orgánicas puede aprovecharse para eliminar los compuestos convertidos que se han hecho biodegradables mediante una filtración subsiguiente a la ozonación.

Otra consideración es que, del mismo modo que con otros desinfectantes, para que sea eficaz el ozono debe entrar en contacto con los microorganismos, la agrupación de éstos podría proteger algunos. Igualmente, la distribución inadecuada del desinfectante puede no poner a los microorganismos en contacto con el ozono antes que se disipe.

Desde el punto de vista económico, el uso más favorable del ozono parece ser cuando, además de la desinfección, se emplea simultáneamente para otros fines en el tratamiento de agua, como descomponer sustancias orgánicas sintéticas, eliminar fenoles, evitar la formación de trihalometanos, mejorar la floculación y para otras funciones similares.

Tal como se indicó con anterioridad, el ozono es un oxidante tan fuerte que casi siempre se utiliza con propósitos múltiples en el tratamiento de suministro de agua, en lugar de usarlo solamente como desinfectante.

2.6 Método de carbón activado

Desde tiempos remotos los egipcios descubrieron que el carbón de madera podía utilizarse para purificar otros productos e incluso usarse con fines medicinales. En la actualidad, el carbón activado es utilizado para remover color, olor y sabor de una infinidad de productos, por lo cual se usa en aplicaciones tan sencillas como peceras, tratamiento de aguas residuales o delicados sistemas de elaboración de antibióticos.

Para poder comprender mejor como es que el carbón activado realiza su función en conveniente analizar primero el proceso de absorción . La absorción es un proceso por el cual los átomos en la superficie de un sólido, atraen y retienen moléculas de otros compuestos. Estas fuerzas de atracción son conocidas como fuerzas de *Van Der Waals*. Por lo tanto al ser un fenómeno que ocurre en la superficie mientras mayor área superficial disponible tenga un sólido, mejor absorbente podrá ser . El carbón activado es un producto que posee una estructura cristalina reticular similar a la del grafito; extremadamente poroso y puede llegar a desarrollar áreas superficiales del orden de 1,500 metros cuadrados o más, por gramo de carbón.

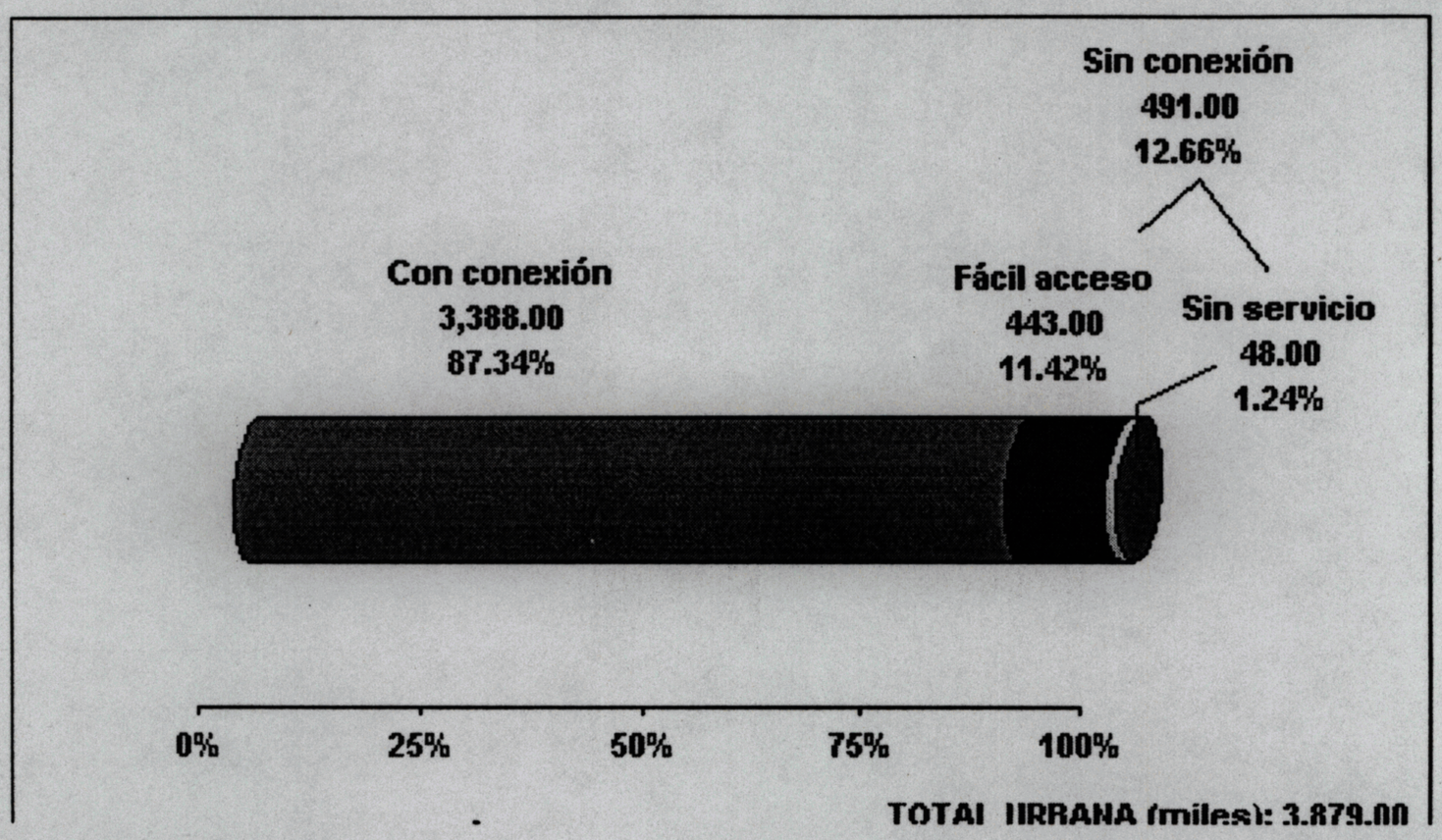
3. SITUACIÓN ACTUAL

La situación actual de la cobertura de servicios de agua potable en el área urbana y rural incluye cualquier conjunto de obras, instalaciones y servicios destinados a producir y distribuir agua en una comunidad, en calidad y cantidad requeridas según las necesidades de la población, para fines de consumo humano.

3.1 Cobertura de servicios de agua potable

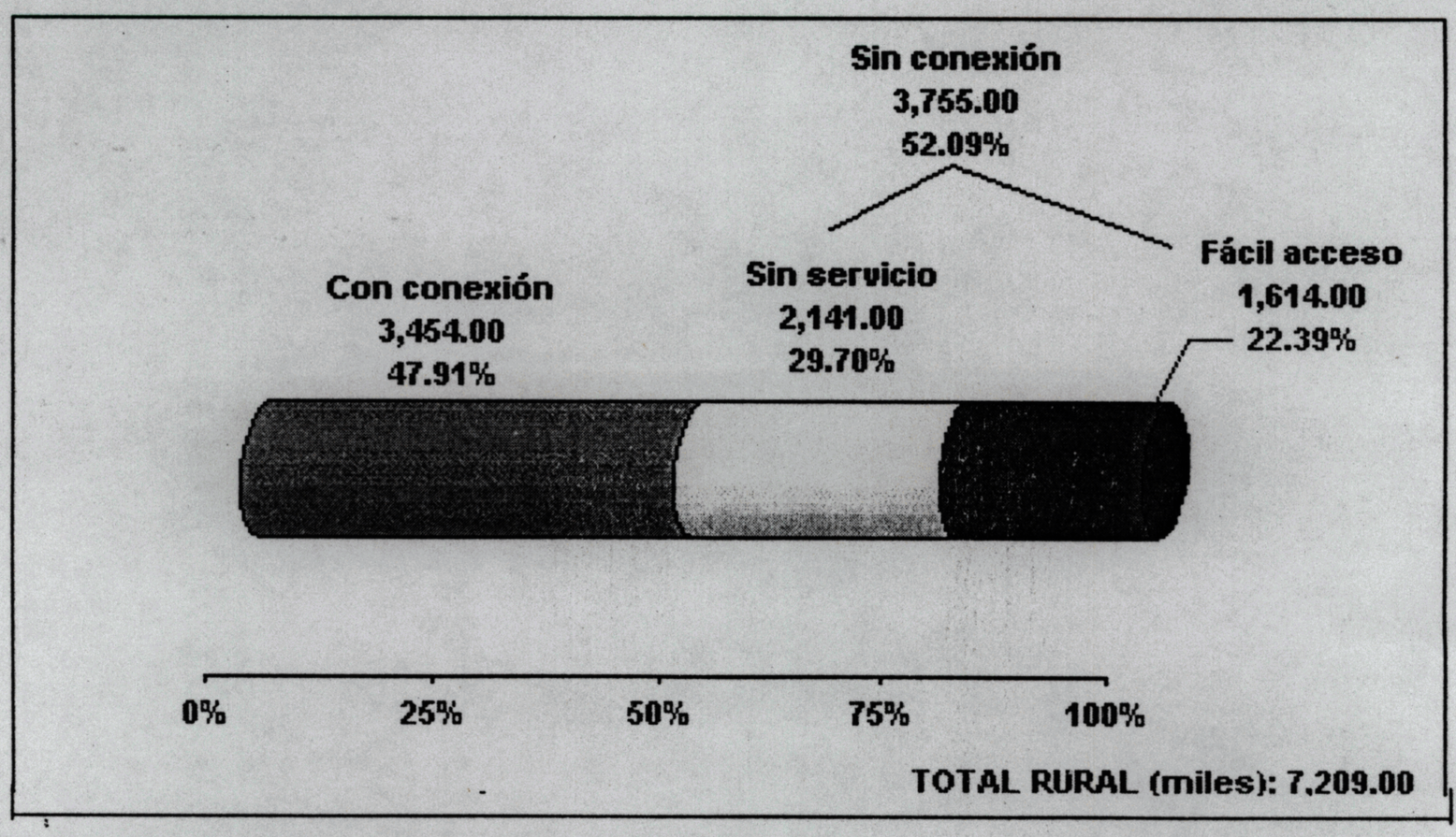
Comprende la evaluación del los sistemas de agua potable tomando en cuenta cada componente que lo conforma desde la captación hasta la red de distribución. El conteo incluye tanto la población urbana como la rural que cuenta con un sistema de agua, el cual puede ser por medio de conexiones intradomiciliares, prediales o llenacántaros.

Figura 6. Cobertura de servicio de agua potable (población urbana)



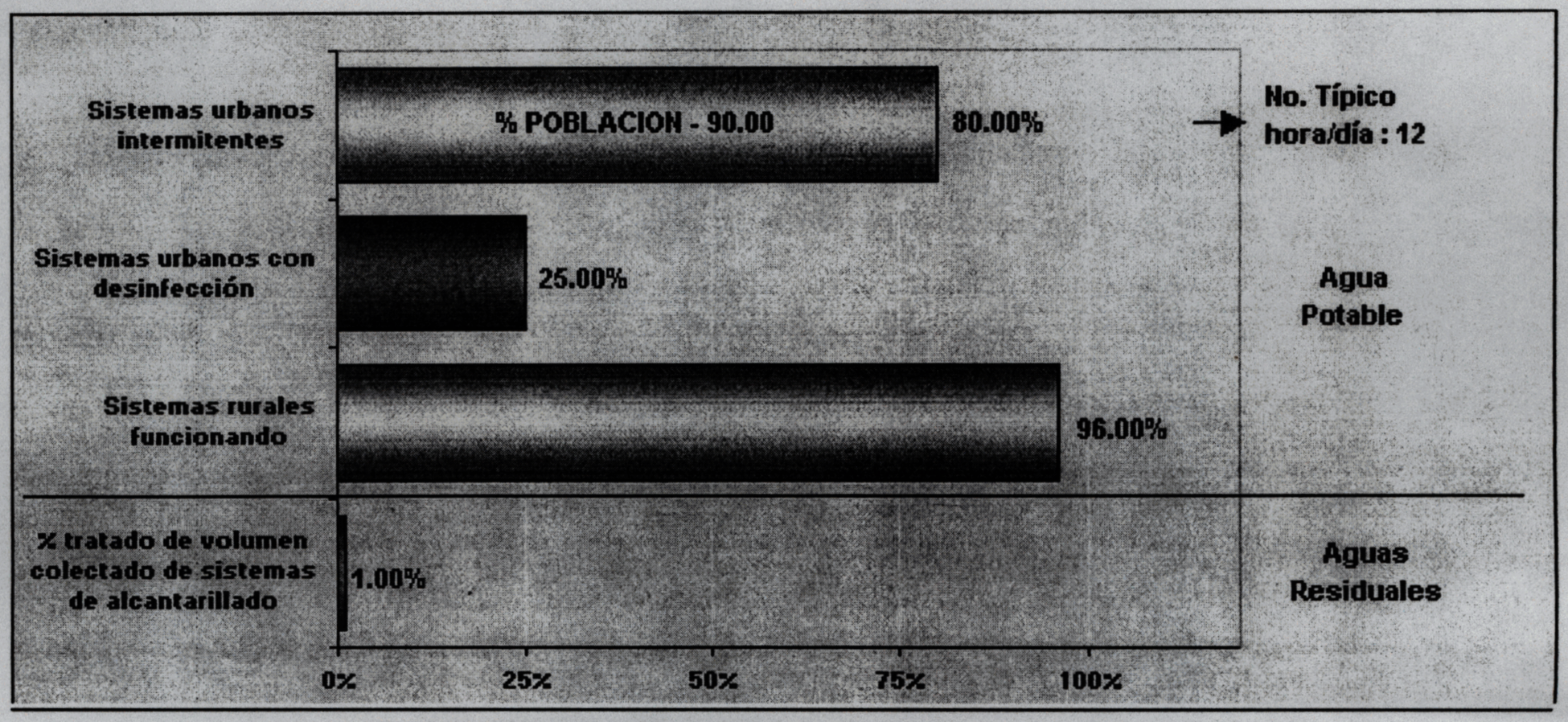
FUENTE: Estadisticas de la Organización Mundial de la Salud evaluación 2000

Figura 7. Cobertura de servicio de agua potable(población rural)



FUENTE: Estadisticas de la Organización Mundial de la Salud evaluación 2000

Figura 8. Porcentaje de comunidades con algún tipo de tratamiento

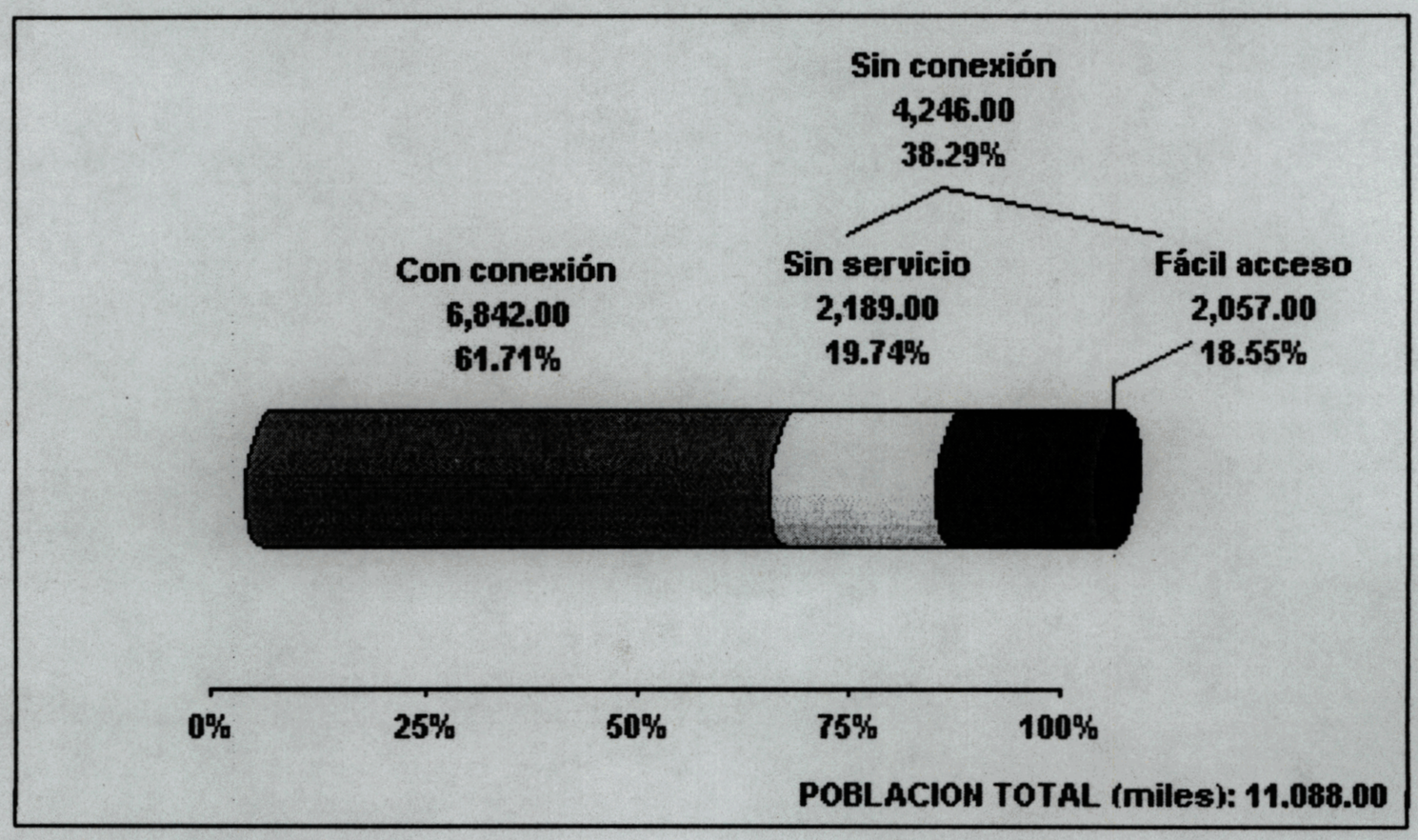


FUENTE: Estadísticas de la Organización Mundial de la Salud evaluación 2000

3.3 Déficit del servicio

Como se puede observar en la figura 9 el déficit del servicio es poco menos del 50% y en la parte de la población que cuenta con conexión de agua potable sólo el 10 % tiene un tratamiento aceptable.

Figura 9. Déficit del servicio de agua potable



FUENTE: Estadisticas de la Organización Mundial de la Salud evaluación 2000

4. ASPECTOS LEGALES

4.1 Requerimientos del agua para consumo humano

El agua es un compuesto químico formado por dos partes de hidrógeno y una de oxígeno. Su fórmula es H2O.

Para que el agua sea apta para el consumo humano debe llenar ciertas condiciones, tales como

- Incolora en pequeñas cantidades o ligeramente azulada en grandes masas.
- Inodora, insípida y fresca.
- Aireada sin substancias en disolución y sobre todo sin materia orgánica.
- Libre de microorganismos que puedan ocasionar enfermedades.

Agua potable debe ser libre de microorganismos que puedan dar origen a enfermedades y de sustancias químicas que puedan ocasionar turbidez, olores o sabores objetables o que puedan ser tóxicas de efecto inmediato o acumulativo a la especie humana. En pocas palabras es el agua que se considera de segura para beber, usos domésticos y propósitos industriales.

Agua contaminada es aquella que contiene aguas negras, desechos industriales o cualquier otro material dañino u objetable.

Los exámenes de laboratorio son muy importantes para ayudar a formar una opinión acerca de lo adecuado que sea el agua de un abastecimiento para uso público.

4.2 Legislación actual

La legislación guatemalteca contempla la cloración como único método de desinfección para el caso de sistemas de abastecimiento, esto ocurre por las ventajas combinadas del cloro en los aspectos de eficacia comprobada en la desinfección, facilidades para su dosificación, aplicación, y efectos residuales para desinfección posterior en las redes de distribución. Según el Código de Salud, Decreto 90-97 la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano es responsabilidad del Ministerio de Salud. Se ejecuta a través de los servicios de salud de todo el país. La OPS/OMS, desde hace algunos años ha venido apoyando al Ministerio de Salud en esta actividad, tanto asesoría técnica como financiera.

La norma guatemalteca obligatoria es la COGUANOR NGO 29 001: 99 esta norma constituye la primera revisión a la norma COGUANOR NGO 20 001 agua potable especificaciones publicada en el Diario Oficial del 18 de octubre de 1985, a la cual sustituye.

De acuerdo a la norma COGUANOR 29001 se especifica que la cloración de los abastecimientos públicos de agua representa el proceso más importante usado en la obtención de agua de calidad sanitariamente segura, potable. La desinfección por cloro y sus derivados significa una disminución de bacterias y virus hasta una concentración inocua por lo que en la tabla I se hace una referencia a los límites adecuados de concentración de cloro libre residual, el color , el pH, la temperatura y la turbiedad en el agua para consumo humano.

Tabla I. Límites máximo aceptable y máximo permisible para color turbiedad, pH, temperatura y cloro residual

Caracteristica	Límite máximo aceptable	Limite máximo permisible
Color	5,0u	35,0u
Turbiedad	5,0u	15,0u
PH	7,0 - 7,5	6,5 - 8,5
Temperatura	15,0 °C - 25,0 °C	34,0 °C
Cloro residual	0,5 mg/L	1,0 mg/L

Fuente: (COGUANOR NGO 29001, 1ª. Revisión)

4.3 Normas nacionales e internacionales

En lo referente a las normas nacionales existen leyes que en algunos casos se contradicen. En 1997 se aprobó el nuevo Código de Salud delegando al Ministerio de Salud competencias eminentemente normativas. Existe la ley de Conservación y Mejoramiento del Medio Ambiente que ha establecido alguna normativa quedando todavía mucho por formular.

El anteproyecto de la ley general de aguas que fue presentado en el Congreso Nacional en 1993 aún se encuentra esperando discusión. Por carácter principalmente político, en el sentido que enfrenta numerosos intereses de grupo, la posibilidad de que sea pasada a discusión a corto plazo es remota. En cuanto a las municipalidades, las leyes de Guatemala las colocan como la principal responsable de velar por el bienestar de la población, que incluye la provisión de servicios públicos.

PROPIEDAD DE LA UNIVER. SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

4.3.1 Normas nacionales

- Ley de Protección y Mejoramiento Ambiental, Decreto 68-86 del 5 de diciembre de 1986. Artículos 11,12 inciso a, y 15 inciso a.
- Código Municipal, Decreto 12-2002 publicado el 9 de mayo de 2002. Articulo 68 incisos a y j.
- Decreto 90-97 del Congreso de la República código de salud Articulo 52 y artículo 86.
- Normas COGUANOR NGO 29001

4.3.2 Normas internacionales

- *American Waters Association*
- *River Valley Water Sanitation Commision.*
- Normas y criterios internacionales para el agua potable establecidos por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y la Organización Mundial de la Salud (OMS).

5 PRODUCCIÓN DE HIPOCLORITO DE SODIO A PARTIR DE SAL COMÚN

5.1 Descripción teórica

La Organización Panamericana de la Salud acuñó el término MOGGOD como una sigla en inglés (*Mixed Oxidant Gases Generated On-site for Disinfection*) para describir de manera genérica el proceso de producción de gases oxidantes mezclados en el sitio para la desinfección. La idea de producir hipoclorito de sodio localmente para la desinfección de agua potable ha sido estudiada repetidamente a través de los años y se han registrado muchas patentes. Sin embargo, salvo por algunos dispositivos, la mayoría han sido demasiado costosos o muy complejos desde el punto de vista técnico para permitir su aplicación generalizada, particularmente en paises en desarrollo.

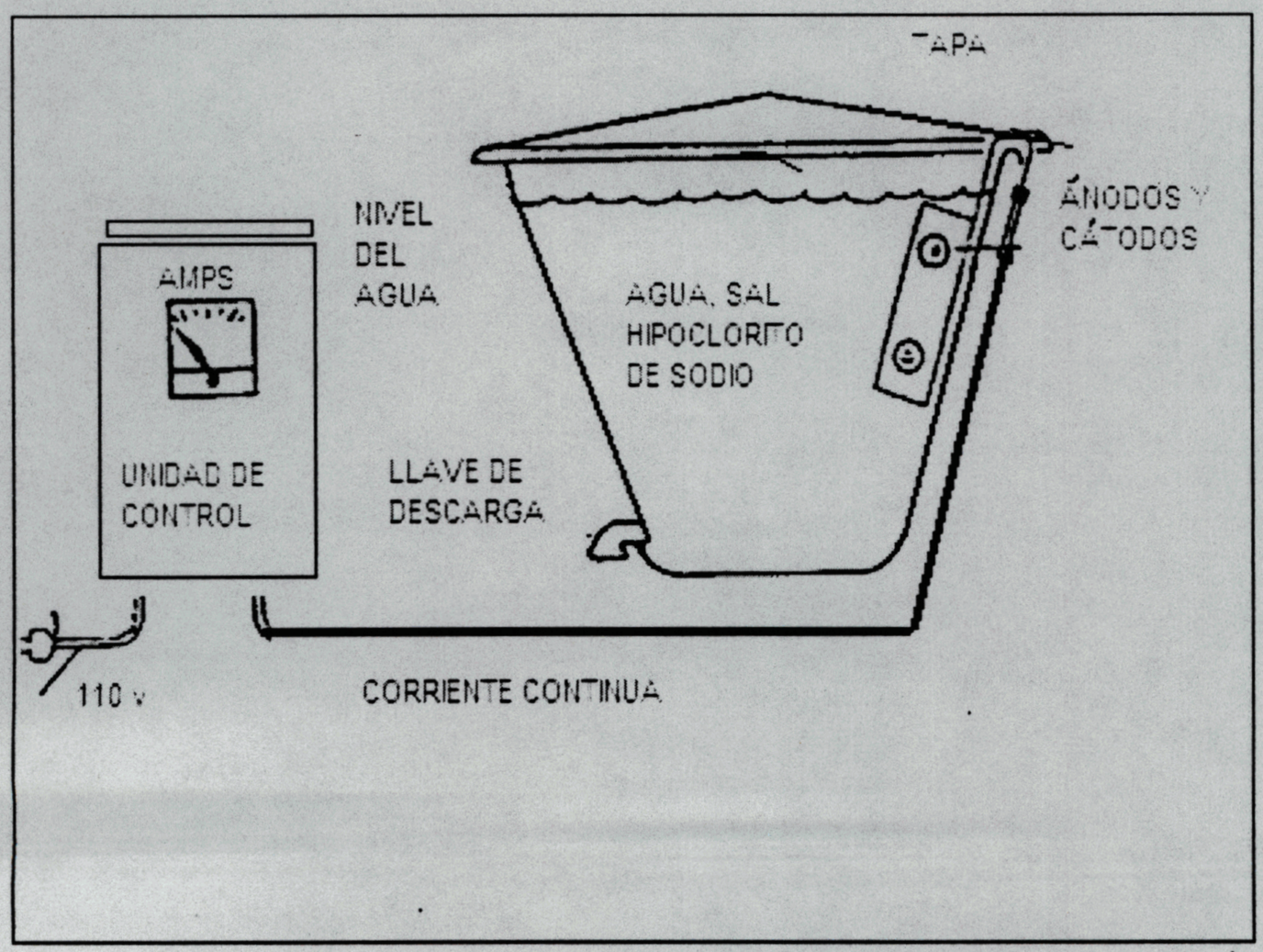
En los últimos años se ha renovado el interés en este asunto, la razón de este nuevo interés en la producción local se debe en parte a que el hipoclorito no se produce en muchos países de desarrollo y tiene que ser importado, con los problemas relacionados de las restricciones de divisas y otros, Además, los altos costos de transporte (en particular hasta áreas remotas y pueblos pequeños), con riesgos de seguridad durante el almacenamiento y transporte. Estas circunstancias han hecho renacer el interés en la producción de hipoclorito in situ mediante la electrólisis de la sal (cloruro de sodio), en particular para su uso en suministros de agua rurales y pueblos pequeños.

Para que los generadores de hipoclorito de sodio sean eficaces y apropiados para las condiciones existentes en zonas rurales y pueblos pequeños de América Latina y el Caribe, tienen que:

- Ser económicos de adquirir, operar y mantener,
- Ser capaces de usar sal refinada (cloruro de sodio) disponible localmente
- Tener una capacidad de producción entre 0,5 y 2,0 kg. De cloro disponible en un período de veinticuatro horas.

El aparato consiste de un sistema de electrodos generadores de cloro, y de un sistema solar para generar, almacenar y proporcionar energía al sistema de electrodos (panel fotovoltaico). El sistema de electrodos generador convierte una salmuera al 3% de concentración de una solución de hipoclorito de sodio equivalente a 0.6% de cloro. Esta solución puede ser usada para cualquier uso que requiera cloro

Figura 10. Esquema del sistema generador de hipoclorito de sodio



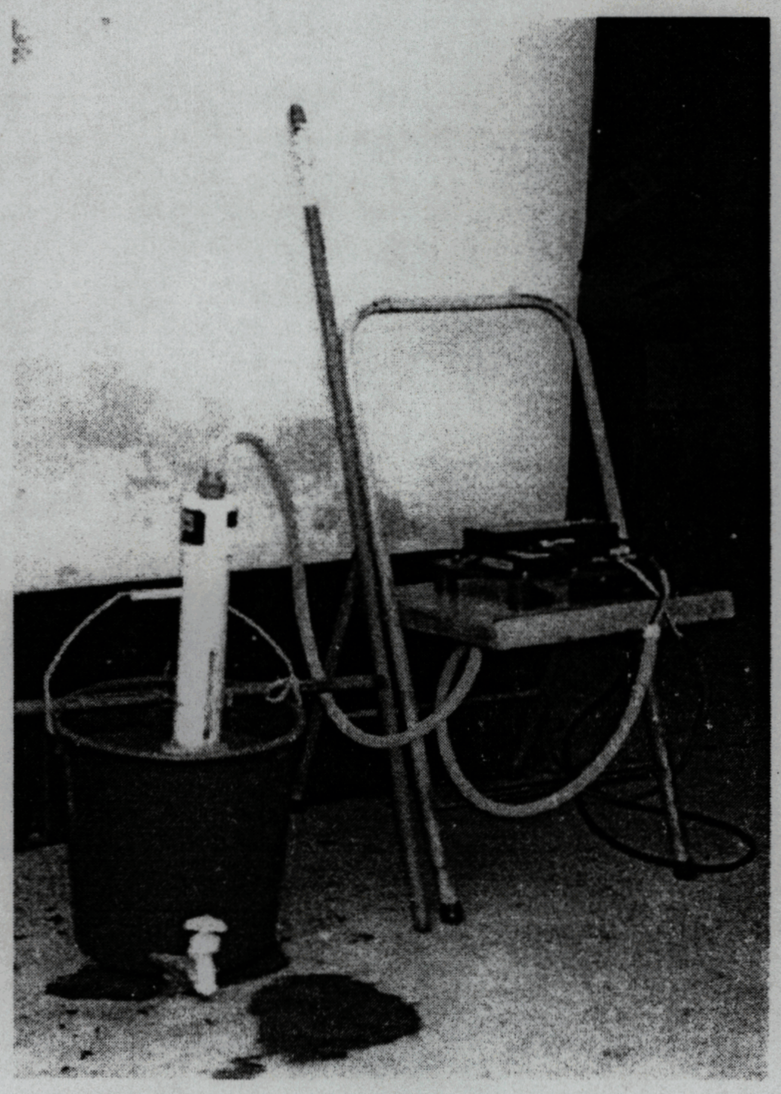
5.2 Descripción del equipo a utilizar

El sistema generador de cloro consiste de una celda electrolítica, un recipiente de electrólisis, una celda fotovoltaica para producir electricidad, una batería recargable un controlador de carga, y un convertidor de corriente AC- a –DC. La batería recargable y el recipiente para la electrólisis deberán ser obtenidos localmente de acuerdo a las especificaciones siguientes.

El recipiente de electrólisis contiene la salmuera mientras la misma se convierte en hipoclorito de sodio. El recipiente deberá ser de un material resistente al agua salada y al hipoclorito de sodio.

Recipientes de PVC o de polipropileno son adecuados. Recipientes metálicos no son adecuados. Debido a que el sistema de electrodos generador de cloro es sumergido en la salmuera las dimensiones del recipiente de electrólisis son importantes para el funcionamiento del sistema. El nivel de la salmuera deberá cubrir por lo menos uno de los agujeros de escape en el contorno del sistema de electrodos.

Figura 11. Sistema generador de hipoclorito de sodio y convertidor de corriente



5.3 Montaje, operación y mantenimiento del equipo

- Coloque el convertidor AC-a-DC fuera de la posibilidad de dañarlo debido a un derrame de líquidos.
- Asegúrese que la batería esté conectada correctamente. Invertir la polaridad del convertidor AC-a-DC.

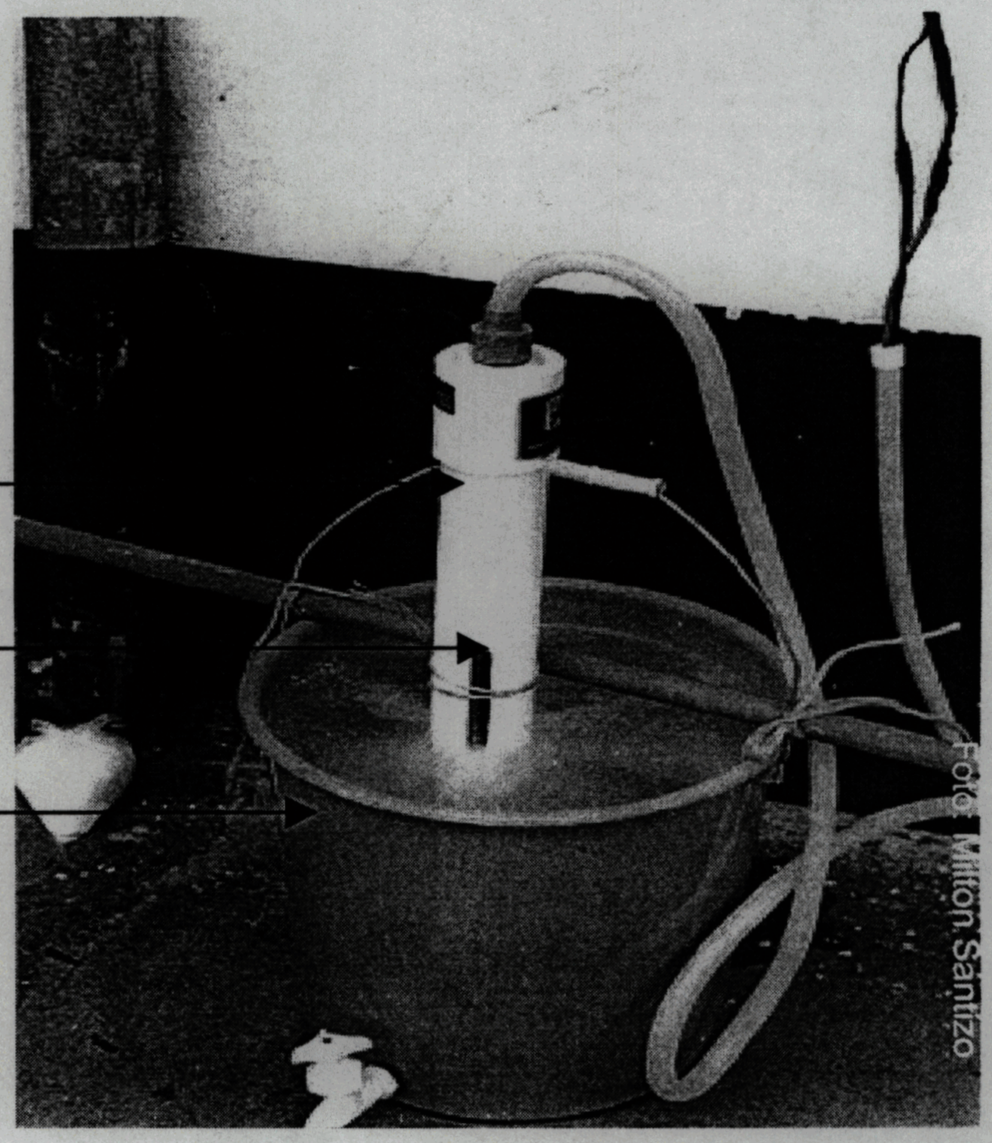
- La producción de cloro genera pequeñas cantidades de hidrógeno. Instale el sistema en un sitio con ventilación adecuada.

Se recomienda un recipiente para predisolver la sal. En este recipiente se disuelve la sal para facilitar la preparación de salmuera. Generalmente un pequeño balde de dos galones es adecuado.

Un recipiente para medir la sal puede ser usado en vez de una balanza. Este recipiente deberá tener marcas volumétricas correspondientes al peso de la sal en el recipiente. Debido a que la densidad de la sal puede variar, es necesario calibrar el recipiente de acuerdo a la sal usada.

El recipiente de mantenimiento se usa para limpiar el electrodo generador después de cada uso. Este recipiente se llena con vinagre blanco puro, o con una solución de ácido clorhídrico (ácido muriático) no mayor al 5% de concentración. En este recipiente se sumerge el sistema de electrodos generador.

Figura 12. Sistema generador de hipoclorito de sodio



5.3.1 Montaje del equipo

El hipoclorador está diseñado para ser instalado permanentemente.

La instalación consiste en obtener el equipo adicional necesario, seleccionar un sitio de instalación adecuado, instalar permanentemente el panel fotovoltaico el cual está constituido por paneles solares que utilizan energía del sol a través de celdas y almacena esta energía en acumuladores como se muestra en la figura 13 , y luego completar las instalaciones eléctricas.

Figura 13. Panel Fotovoltaico

5.3.2 Selección del sitio de instalación

El sitio para la instalación permanentemente del sistema debe ser relacionado de acuerdo a las especificaciones y consideraciones de seguridad previamente delineadas.

El panel fotovoltaico debe ser instalado permanentemente en un sitio protegido de impactos y de vandalismo. Además, el sitio debe recibir la luz del sol durante el día sin obstrucciones.

Para obtener el mayor funcionamiento del panel fotovoltaico durante todo el año, el panel debe tener una orientación e inclinación específica. Generalmente, este ángulo es igual a la latitud local más 20° sexagesimales. El panel debe ser orientado hacia el Sur en latitudes Norte del Ecuador, y hacia el Norte en latitudes al Sur del Ecuador.

El sistema de generación no es inmune a los elementos. En particular, el convertidor AC-a-DC es electrónico y vulnerable a la humedad. Además, el proceso de generación produce pequeñas cantidades de hidrógeno, el cual debe ser ventilado a la atmósfera. Es recomendable instalar el aparato en un sitio que proteja al convertidor AC-a-DC. De los elementos, y a su vez, este suficiente suficientemente ventilado para prevenir la acumulación del hidrógeno.

La producción de hipoclorito de sodio tiene algunos peligros solamente personas debidamente entrenadas y concientes de estos peligros deben tener acceso al equipo.

5.3.3 Precauciones de operación

- Es importante no mantener fuego ni fumar cerca de el equipo
- Asegúrese de no contactar la solución de cloro con los ojos o con la piel
- Asegúrese de no contactar la solución de cloro con la ropa
- No opere el electrodo más de lo recomendado. Esto solamente consume energía sin incrementar significativamente la cantidad de cloro
- El agua para preparar la salmuera debe de estar libre de partículas visibles. Si es necesario, filtre el agua con un filtro de tela.

5.3.4 Operación de el equipo

Para operar el sistema, primero prepare la salmuera disolviendo 30 gramos de sal por cada litro de agua. Las cantidades de sal para distintos volúmenes de agua están tabuladas en la tabla I. El electrodo generador se coloca en la salmuera, se activa el convertidor AC-a-DC conectando las dos terminales marcadas "1" y remueva el electrodo generador del agua. La salmuera ha sido convertida en una solución de hipoclorito de sodio y está lista para ser usada.

5.3.5 Materiales

La producción de hipoclorito de sodio requiere solamente agua, sal y energía. El agua debe de estar lo más limpia posible. Aunque no es necesario que esta agua sea potable, es recomendado que en ella no se encuentren partículas visibles. Al igual, la sal debe de ser la más pura que se puede obtener con facilidad . Impurezas en la sal incrementan la acumulación de calcio en el interior del electrodo, lo cual requiere mantenimiento adicional.

5.3.6 Activado del electrodo

Antes de introducir el electrodo en la salmuera, con el convertidor AC-a-DC necesita estar apagado. El reloj de ciclo debe de estar apagado.

Después de haber preparado la salmuera, se introduce el sistema generador en la salmuera y se ajusta el tiempo del ciclo en el reloj. El reloj automáticamente activa el sistema generador. El tiempo de electrolisis depende del volumen de agua.

Es importante no sumergir el sistema de electrodos generador en la salmuera mientras en convertidor AC-DC está activado ya que esto puede dañar el convertidor y los electrodos.

Mientras está activado, el sistema generador produce hidrógeno, el cual se manifiesta como un burbujeo que desemboca por agujeros de escape. Además, la luz roja cerca del reloj debe estar encendida.

5.3.7 Fin del ciclo

El reloj desconectará la corriente al electrodo automáticamente al terminar el ciclo. Al haber terminado el ciclo se remueve el electrodo de la salmuera.

La concentración equivalente de cloro de la solución en el recipiente de electrólisis después de haber terminado el ciclo es de por lo menos 6 gramos por litro, en 0.6% esta solución se puede usar para desinfectar grandes cantidades de agua para tomar. La cantidad de desinfectante que debe de usar depende de muchos factores y debe de ser determinado por un experto en purificación de agua.

5.3.8 Recargado de baterías

El controlador de carga automáticamente regula el nivel de energía almacenada en la batería de ácido. El panel fotovoltaico siempre se debe de mantener conectado al controlador y el controlador siempre se debe mantener conectado a la batería, aun cuando el electrodo no está en uso. La cantidad de energía producida por el panel fotovoltaico depende de la latitud local de instalación.

5.3.9 Mantenimiento del equipo

5.3.9.1 Precauciones de mantenimiento

El convertidor debe de estar desactivado antes de introducir el electrodo generador en el recipiente de impureza.

- El sistema generador de electrodos se enjuaga con agua antes de introducirlo en el recipiente de limpieza y después de removerlo del mismo.
- El ácido de limpieza no se tiene que mezclar con hipoclorito de sodio.

Impurezas contenida en el agua y la sal usadas para preparar la salmuera se acumulan en el interior del electrodo. Esta acumulación debe de ser removida periódicamente usando una solución de ácido diluida. Si la acumulación de impurezas no es removida, el electrodo generador y el convertidor AC-a-DC puede sufrir daño.

El sistema generador debe de ser limpiado después de cada uso en la siguiente manera.

- Lavar el sistema generador con agua sin cloro
- Sumergir al menos las 5" inferiores de la cápsula portante de los electrodos en vinagre puro o en una solución al 5% de concentración.
- Después de 15 minutos remueva el sistema de electrodos y enjuáguese con agua y cloro.

5.4 Capacidad de producción

La capacidad de producción varía en cada aparato en cuanto tamaño y marca pero como se muestra en la tabla II se evaluaron cuatro marcas y capacidades diferentes y como se puede observar el modelo *clorid L-30* no cumplió con lo ofrecido por el fabricante

Tabla II. Capacidad de producción de diferentes celdas

MARCA	MODELO	CONCENTRACIÓN g Cl_2/L		Tasa* g Cl_2/amp-hr	
		Fabricante	Observado	Fabricantes	Observado
Sanilec	2	5 - 6	cumple	1,05	1,02
	6	5 - 6	cumple	1,90	2,22
	Mini	5 - 6	cumple	2,06	1,09
Dipcell	A	5 - 6	cumple	1,80	1,82
	B	5 - 6	cumple	1,42	1,56
	C	5 - 6	cumple	1,64	1,74
Clorid	L-30	10	no cumple**	1,15	0,78
Aquachlor	AC - 5	5 - 6	cumple	1,0	1,75
	AC - 25	5 - 6	cumple	1,25	1,64

5.5 Dosificación de hipoclorito de sodio a la red de agua potable

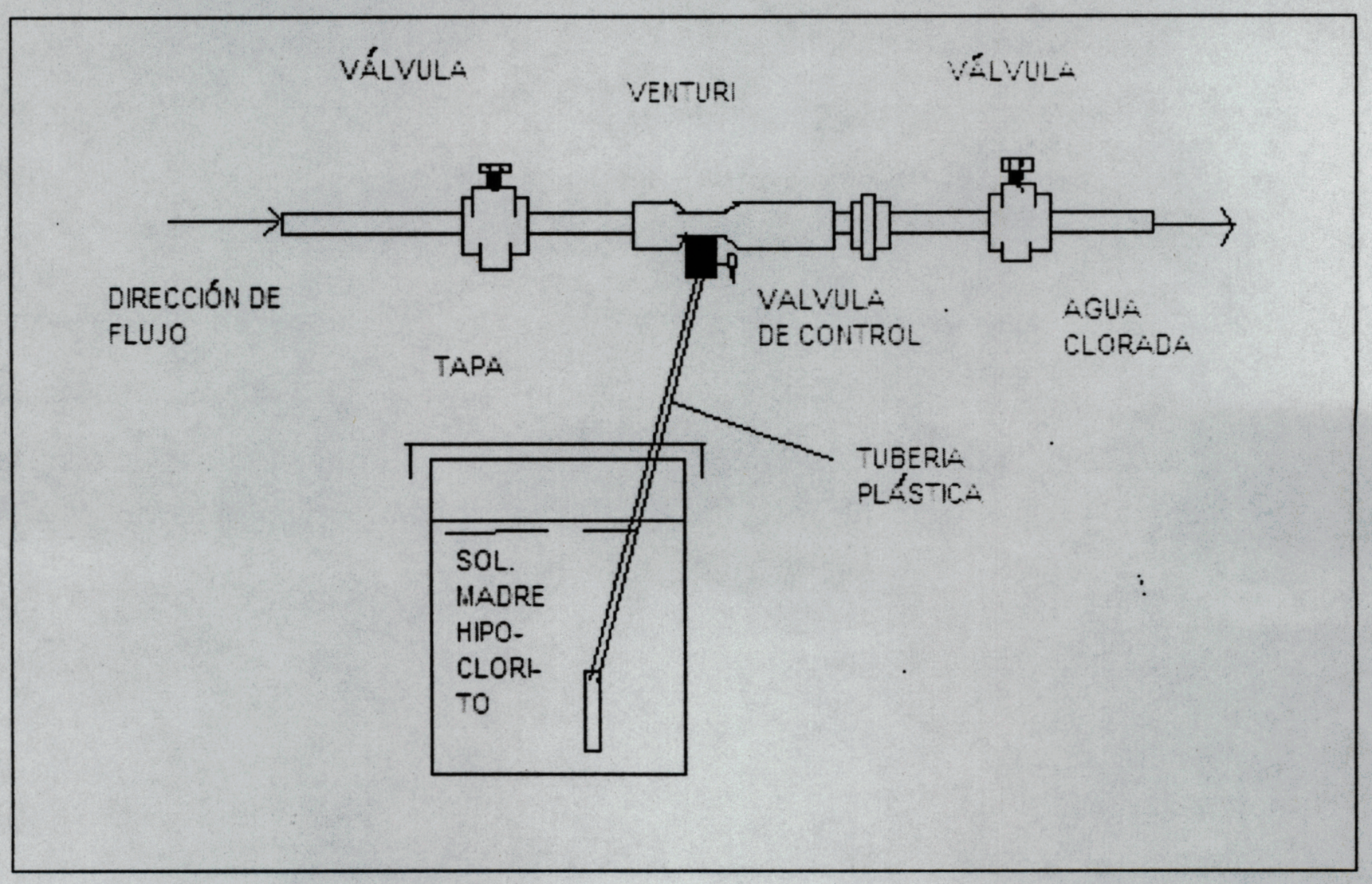
Para dosificar el hipoclorito de sodio a la red de agua se propone el uso del hipoclorador tipo Vénturi. Este tipo de clorador usa el vacío creado por el flujo de agua a través de la tubería y en este punto el Vénturi succiona la solución de hipoclorito y la descarga directamente en la corriente de agua principal o en una corriente de derivación. La dosificación se regula ajustando una válvula de aguja. En la figura 14 se muestra un diagrama de instalación típica.

El hipoclorador tipo Vénturi se obtiene fácilmente en el mercado y es producido por varios fabricantes en varíos países de la región. El costo es relativamente bajo y es fácil de instalar, operar y mantener. La capacidad de dosificación varía de alrededor de 1 a 25 litros/hora. Una ventaja importante es que si no fluye agua por el dispositivo, no se suministra solución de cloro, lo que reduce la probabilidad de una sobredosificación.

El hipoclorador del tipo Vénturi no requiere una fuente de energía separada si existe presión suficiente en el sistema de abastecimiento de agua en el punto de aplicación de la solución de cloro, para producir un flujo adecuado de agua por el Vénturi. En otros casos, se necesitaría una fuente de energía eléctrica fiable para bombear una cantidad pequeña de agua a través del Vénturi.

Cuando no existe una red de distribución si no alguna otra forma de abastecimiento como captación de agua de lluvia, llena cantaros etc. se puede producir el cloro y distribuirlo en cada casa junto con la dosis correcta de aplicación para determinado volumen para que sea aplicado manualmente por los mismos usuarios. Tal es el caso de la cabecera municipal de Jalapa donde se usa este sistema.

Figura 14. Diagrama de una instalación típica de hipoclorador de tipo Vénturi



5.6 Análisis de costos

Para determinar la diferencia de costo del hipoclorito de sodio hecho en el lugar con el hipoclorito de calcio, que es el que regularmente se usa en las comunidades del área rural guatemalteca, primero se detallaran los costos por separado. Para la comparación se tomó como base el consumo de cloro para la desinfección de agua en el sistema de agua en el municipio Concepción Las Minas Chiquimula. Caudal de diseño 15 litros/seg.

5.6.1 Costo de desinfección de agua con hipoclorito de calcio

Para el costo de desinfección de agua con hipoclorito de calcio se tomó en cuenta básicamente el costo del mismo y los siguientes factores en un periodo de un mes.

- Cantidad de cloro utilizado en un mes 116 libras
- Cloro residual en la red. 0.5 mg/L
- Dimensiones del tanque dosificador de 5 metros cúbicos.
- Cantidades de solución necesaria de la inyección a la red es de 54 litros por hora.
- Tiempo en desocuparse el tanque dosificador 93 horas.
- Costo de cloro granular en un mes es de Q1,500.00

5.6.2 Costo de desinfección de agua con hipoclorito de sodio

- Se utilizaron 3 aparatos de la marca DIPCEL
- La producción de hipoclorito de sodio fue de 300 litros en 12 horas
- Cantidad de sal utilizada en un mes 225 libras.
- Cantidad de solución necesaria para inyectar a la tubería 250 litros por hora.
- Cloro residual en la red. 0.5 mg/L
- Concentración de hipoclorito de sodio conseguida con el aparato Dipcel.
- Costo de hipoclorito de sodio hecho en el lugar en un mes incluyendo el costo de mantenimiento del equipo. Q300.00

Como se puede observar en las dos secciones anteriores se compara la desinfección por medio de hipoclorito de calcio y la desinfección usando hipoclorito de sodio de lo cual se determina que el hipoclorito de sodio producido en el lugar es un 80% más económico que el hipoclorito de calcio.

6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

6.1 Comunidades donde opera el sistema

Los existentes están a cargo del ministerio de Salud y han sido distribuidos a los centros de salud en los siguientes lugares

- En el departamento de Guatemala en el centro de salud de Amatitlan y Villa Canales
- En Huehuetenango en el centro de salud de la cabecera departamental.
- En Jalapa la cabecera departamental y San luis Jilotepeque.
- En Chiquimula en el municipio de Concepción Las Minas.

6.2 Pruebas realizadas

Para asegurarse de la eficacia del desinfectante, la concentración del hipoclorito de sodio producida por el sistema debe de ser verificada periódicamente. Existen varios procesos para medir la concentración de hipoclorito de sodio en el agua, en este caso por estar muy lejos del laboratorio se usó el proceso de dilución. Es fácil de aplicar y lo suficientemente preciso para determinar la efectividad del desinfectante.

6.2.1 Proceso de dilución

Equipo

- Pipeta graduada de 5ml.
- Probetas de 10ml (2)
- Medidor de cloro colorimétrico tipo DPD (comúnmente usados para piscinas
- Agua destilada.

6.2.1.1. Procedimiento

- Usando la pipeta graduada de 5ml se mezcla en una probeta. 1ml de la muestra con 9 ml de agua destilada.
- En la segunda probeta mezcle 0.1ml de la solución en la primer probeta con 9.9 ml de agua destilada.

Se midió la concentración de cloro de la segunda probeta usando el medidor de cloro colorimétrico DPD de acuerdo a las instrucciones del mismo.

Las condiciones del aparato fueron las siguientes en la mediciones para un tiempo de 24 horas se puso la corriente del aparato en 24.0-28.5 A el voltaje en 9.2-9.4 Volts y el volumen fue de 100 litros.

Tabla III Pruebas realizadas con el equipo Sanilec 6

RESULTADOS						
EQUIPO	TEMPERATURA °C Inicial	TEMPERATURA °C Final	pH	CONCENTRACIÓN DE CLORO EN PORCENTAJE %	VOLUMEN TOTAL LITROS	CANTIDAD DE TIEMPO HORAS
Sanilec 6	25,0	37,0	8.8	0.5	225	12
Sanilec 6	25,0	37,5	8,8	0.6	225	12
Sanilec 6	23,0	55,5	8.8	0.6	225	12
Sanilec 6	25,0	38,0	8,7	0.5	225	12
Sanilec 6	23,0	34,0	8.8	0.5	225	12
Sanilec 6	25,0	40,0	8.8	0.5	225	12
Sanilec 6	23,0	31,5	8.8	0.5	225	12
Sanilec 6	25,0	37,0	8,4	0.5	225	12
Sanilec 6	25,0	37,0	8,8	0.6	225	12

Como se puede observar en la tabla III el promedio de la concentración del aparato Sanilec, el cual funciona en el centro de salud de la cabecera municipal de Jalapa, es de 0.5% esto significa que 0.5g de cloro /100 ml de solución.

6.3 Capacidad del equipo instalado

El equipo instalado en la cabecera departamental de Jalapa es de la marca *Sanilec* 6 y su capacidad depende del tiempo que se use. En la tabla IV se indica para cada tiempo su producción de hipoclorito de sodio.

Tabla IV. Capacidad del equipo Sanilec 6

Horas de producción al día	Volumen de cloro al día (litros)	Volumen de cloro a la semana (5 días) (litros)	Volumen de cloro al mes (4 semanas) (litros)
5	100	500	2000
8	150	750	3000
12	227	1135	4540
24	455	2275	9100

6.4 Financiamiento y factibilidad

Todos los equipos que se encuentran operando en el área rural de Guatemala, están a cargo de el ministerio de Salud Publica y asistencia social los cuales han sido donados por organizaciones no gubernamentales y por esa razón al comparar costos, no se tomó en cuenta la depreciación del equipo.

CONCLUSIONES

1. Utilizando la tecnología MOGOD, los costos de producción in situ de hipoclorito de sodio, son significativamente inferiores a los costos de otrosdesinfectantes, por lo que son claramente adecuados para ser usados en el área rural de Guatemala.

2. Los aparatos para producir cloro que se describen en este trabajo sólo pueden ser usados en pequeños sistemas de distribución de agua debido a la producción diaria y la concentración de cloro utilizando esta tecnología.

3. La inmersión de la celda es un factor importante en la producción del desinfectante. En celdas sumergidas parcialmente, donde los electrodos están sin carga de salmuera, con respecto a la totalmente sumergida, es necesario un mayor tiempo para producir una solución de hipoclorito de sodio de igual concentración.

4 En la producción de hipoclorito se puede emplear sal refinada, sin perjuiciode la concentración final del mismo. El empleo de sal industrial conduce a obtener una menor concentración del desinfectante con el perjuicio que este tipo de sal, por sus impurezas, puede afectar notablemente la tasa y la vida útil del sistema de electrodos por la rápida incrustación de los ánodos de la celda electrolítica.

5. La concentración de la salmuera tiene una relación directa con el amperaje que circula por los electrodos de la celda; si ésta no tiene una concentración adecuada, el equipo trabajará entregando un menor o mayor amperaje que lo requerido, con la consiguiente incertidumbre en la concentración de la solución de hipoclorito.

6 La operación y mantenimiento, es la base del éxito de los sistemas productores de hipoclorito de sodio en el lugar.

RECOMENDACIONES

1. Definir la dependencia encargada de centralizar información actualizada del estado en que se encuentran los sistemas de agua potable y de desinfección de la misma, y así poder planificar una estrategia para la distribución y el tratamiento del agua para consumo humano a nivel nacional.

2. Mantener un monitoreo constante en la producción de hipoclorito de sodio para garantizar que la concentración de la mezcla sea la optima para poder realizar una desinfección correcta.

3. No intentar obtener concentraciones de solución de hipoclorito de sodio mayor a 6 mg/L, por la significativa caída en la eficacia de las celdas electrolíticas.

4. Emplear sal de cocina como insumo para la preparación de la salmuera y evitar el uso de sal industrial debido a la baja eficacia de producción.

5. Utilizar siempre una salmuera al 3% (30 g/L) a fin de estandarizar la concentración final de la solución desinfectante después de un tiempo especificado de operación.

BIBLIOGRAFÍA

1. LEMUS Cifuentes, Josué Edmundo. Diseño y planificación del sistema de abastecimiento de agua potable, para el caserío San Vicente y Aldea La Puc, del municipio de Chicamán, departamento del El Quiché. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2003. 121 p.

2. PÉREZ Carrion, J. Serie filtración rápida manual I y II. **Calidad y tratamiento para consumo humano. Criterios de selección.** Revisión técnica y edición: Organización Panamericana Para la Salud/ Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) 1992. 145p

3. VARGAS Rodríguez, Sergio Antonio. **Parámetros de calidad de las aguas naturales de la República de Guatemala.** Ministerio de Comunicaciones y Obras Publicas 1969. 205p

4. WITT, VINCENT M. REIFF, FRED, M **Tecnologías de desinfección del agua para comunidades pequeñas y zonas rurales**. Revisión técnica y edición: Organización Panamericana para la Salud/ Centro panamericana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del ambiente (CEPIS).1995.125p