

Universidad de Costa Rica
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**Evaluación de las principales tecnologías utilizadas en Costa Rica para la
desinfección del agua**

Tesis de Graduación

Que para obtener el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil

Presenta:

Susan Mora Castro

Directora de Proyecto de Graduación:

Ing. Ana Lorena Arias Zuñiga

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio

Costa Rica

Junio, 2011

Mora Castro, Susan.

Evaluación de las principales tecnologías utilizadas en Costa Rica para la desinfección del agua.

Proyecto Final de Graduación-Ingeniería Civil-San José, Costa Rica:

S. Mora C., 2011

i, 154, [16]h; ils.col. -17 refs,

RESUMEN

Este informe comprende la evaluación de las principales tecnologías utilizadas en nuestro país para la desinfección del agua. Dichas tecnologías son las que utilizan los siguientes desinfectantes: cloro gas, hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio en pastillas e hipoclorito de calcio en forma granular. Para evaluar estas tecnologías de desinfección se seleccionaron cuatro plantas para realizar visitas de campo y observar el funcionamiento de los sistemas. Los parámetros analizados para cada tecnología fueron la facilidad de operación de los equipos, disponibilidad de químicos y elementos requeridos para el funcionamiento, peligrosidad de manejo de químicos en el proceso operativo, costos de los equipos y efectividad en la cloración, mediante las pruebas de laboratorio de cloro residual y coliformes fecales.

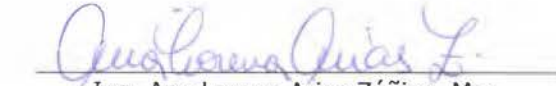
Para realizar este informe primero se procedió a realizar una revisión bibliográfica tanto del tema de la desinfección del agua como de los tratamientos previos a la desinfección. Además se reunió información sobre las tecnologías para la desinfección del agua mencionadas anteriormente. Una vez realizada dicha búsqueda, se efectuaron las visitas de campo donde se pudieron identificar los parámetros propuestos. Ya con la información de campo ordenada y analizada, se realizó la comparación entre las ventajas y desventajas de cada una de las tecnologías utilizadas para desinfectar el agua.

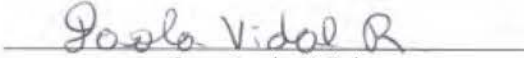
Se desprende del estudio que: para plantas de tratamiento grandes y de ciudades económicamente fuertes, es recomendable utilizar cloro gas para la desinfección del agua, ya que es la tecnología que presenta mayor efectividad a la hora de clorar el agua. Sin embargo, para la operación de esta tecnología se requiere mantenimiento con personal capacitado, proveedores externos especializados y presenta peligro en su manipulación. Para plantas de tratamiento pequeñas los sistemas de desinfección más recomendados son los de hipoclorito de calcio en pastillas y los de hipoclorito de sodio, debido a la fácil importación de materia prima, sencilla manipulación del producto y requerimiento de personal capacitado para la operación y mantenimiento. Es por esta razón que son muy versátiles y aplicables para pequeñas comunidades. Sin embargo, cabe recalcar que actualmente dichas tecnologías no presentan un cien por ciento de efectividad de cloración, debido a la poca o nula capacitación de los operadores en los acueductos rurales. En cuanto al sistema de hipoclorito de calcio en forma granular se puede decir que éste no es muy indicado para clorar agua para consumo humano, más bien debería utilizarse únicamente para situaciones de emergencia o para el lavado de tanques de las plantas, ya que no se tiene un conocimiento adecuado de la dosificación de este químico, por lo tanto podría resultar perjudicial para la comunidad.

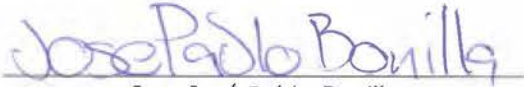
DESINFECCIÓN; EVALUACIÓN; CLORO GAS; HIPOCLORITO DE SODIO; HIPOCLORITO DE CALCIO; FACILIDAD DE OPERACIÓN; DISPONIBILIDAD DE QUÍMICOS; PELIGROSIDAD; EFECTIVIDAD; COSTOS.

Ing. Ana Lorena Arias Zúñiga
Escuela de Ingeniería Civil
Junio, 2011

MIEMBROS DEL TRIBUNAL DE GRADUACIÓN


Ing. Ana Lorena Arias Zúñiga, Msc.
Directora de Proyecto de Graduación


Ing. Paola Vidal
Asesor de Proyecto de Graduación


Ing. José Pablo Bonilla
Asesor de Proyecto de Graduación


Susan Mora Castro
Estudiante

Fecha: 2011, junio, 30

El suscrito, Susan Mora Castro, cédula 1-1270-0299, estudiante de la carrera de Licenciatura en Ingeniería Civil de la Universidad de Costa Rica, con número de carné **A43522**, manifiesta que es autora del Proyecto Final de Graduación **Evaluación de las principales tecnologías utilizadas en Costa Rica para la desinfección del agua**, bajo la Dirección de la **Ing. Ana Lorena Arias Zuñiga Msc**, quien en consecuencia tiene derechos compartidos sobre los resultados de esta investigación.

Asimismo, hago traspaso de los derechos de utilización del presente trabajo a la Universidad de Costa Rica, para fines académicos: docencia, investigación, acción social y divulgación.


Susan Mora Castro
Cédula 1-1270-0922

Nota: De acuerdo con la Ley de Derechos de autor y Derechos Conexos N°6683, Artículo 7 (versión actualizada el 02 de julio de 2001); "no podrá suprimirse el nombre del autor en las publicaciones o reproducciones, ni hacer en ellas interpolaciones, sin una conveniente distinción entre el texto original y las modificaciones o adiciones editoriales". Además, el autor conserva el derecho moral sobre la obra, Artículo 13 de esta ley, por lo que es obligatorio citar la fuente de origen cuando se utilice información contenida en esta obra.

DEDICATORIA

Primeramente doy infinitas gracias a Dios, por haberme dado fuerza y valor para terminar la carrera de Ingeniería Civil.

A mi familia, porque creyeron en mi y porque me acompañaron en este largo camino, dándome ejemplos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ellos, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera y mi vida, siendo luz cuando todo es oscuridad. A mi mamá, Ligia Castro Garro que, cuando llega la recompensa por un esfuerzo no puedo dejar de recordar su cercanía, su complicidad, su devoción y su ejemplo. Que esta sea la recompensa a tantos años de entrega, desvelos y apoyo. A mi papá, Tomás Mora Sánchez, que está detrás de este logro por su apoyo, su esfuerzo siempre sincero y desinteresado, y por alentarme a hacer lo que quiero y ser como soy.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Costa Rica, por la oportunidad de contar con una educación pública de excelente calidad.

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica, por mi enseñanza en el campo de la Ingeniería Civil.

Al Ing. Roberto Fernández Morales por sus consejos y el apoyo desinteresado brindado a los estudiantes durante su cargo de Director de la Carrera de Ingeniería Civil.

A la profesora guía y a los miembros del tribunal de esta tesis de grado, por sus oportunas y acertadas sugerencias.

Al Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados y al Laboratorio Nacional de Aguas, por su ayuda en cuanto a entrevistas y material, para la preparación de este trabajo.

A todas las personas y entidades de los acueductos rurales que amablemente me ofrecieron su ayuda.

A mi compañera de tesis Doris Molina Zamora, con quien he compartido todo este difícil pero satisfactorio proceso, de principio a fin.

A todas las personas que de una forma u otra me han ayudado a cumplir con una meta más en mi vida.

Contenido

Capítulo 1. Introducción	1
1.1 Justificación	1
1.1.1 Importancia	1
1.1.2 Problema específico.....	1
1.1.3 Antecedentes del problema	2
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Objetivo General	3
1.2.2 Objetivos Específicos	3
1.3 Marco teórico e hipótesis	4
1.4 Delimitación del problema	10
1.4.1 Alcances.....	10
1.4.2 Limitaciones	10
1.5 Metodología	11
1.6 Mecanismos de evaluación del proyecto	15
Capítulo 2. Desinfección del agua	17
2.1 Impurezas o características del agua	17
2.1.1 Características físicas del agua	18
2.1.2 Características químicas del agua	20
2.1.3 Características biológicas del agua.....	24
2.2 Procesos unitarios previos a la desinfección del agua para consumo humano	28
2.3 Desinfección del agua	39
2.3.1 Concepto de desinfección	39
2.3.2 Factores que influyen en la desinfección del agua	40
2.3.3 Características deseables de un desinfectante.....	42
2.3.4 Desinfección con cloro	43
2.4 Legislación sobre la desinfección del agua en Costa Rica	51
Capítulo 3. Principales tecnologías utilizadas en Costa Rica para la desinfección del agua	58
3.1 Cloro- Gas	58
3.1.1 Dosificación de cloro gas.....	59

3.1.2Equipos dosificadores de cloro gas.....	59
3.1.3Accesorios	66
3.1.4Casetas de cloración.....	67
3.1.5Cilindros de cloro gas	69
3.1.6Obligaciones diarias del operador	72
3.1.7Operaciones técnicas.....	74
3.1.8Control de fugas	75
3.1.9Equipos de seguridad	79
3.1.10Medidas de Seguridad.....	79
3.2 Hipoclorito de Sodio.....	80
3.2.1Descripción del equipo y su funcionamiento.....	80
3.2.2Dosificación de cloro.....	82
3.2.3Materiales.....	83
3.2.4Selección del sitio de instalación.....	83
3.2.5Mantenimiento del equipo.....	85
3.2.6Equipo de seguridad.....	86
3.2.7Medidas de seguridad.....	87
3.3 Hipoclorito de Calcio en Pastillas	87
3.3.1Funcionamiento del sistema	88
3.3.2Dosificación del cloro.....	91
3.3.3Operación y mantenimiento	92
3.3.4Equipo de Seguridad	92
3.4 Hipoclorito de Calcio en Forma Granular	93
3.4.1Funcionamiento del sistema	93
3.4.2Dosificación del cloro.....	94
3.4.3Equipo de seguridad.....	95
3.4.4Caseta de cloración	95
Capítulo 4. Parámetros de evaluación de las principales tecnologías utilizadas en Costa Rica para la desinfección del agua	98
4.1 Cloro gas	98
4.1.1 Facilidad de operación de las tecnologías	98
4.1.2 Disponibilidad de químicos y elementos requeridos por la tecnología	107

4.1.3 Peligrosidad por la manipulación de los químicos	108
4.1.4 Costos de aplicación de las tecnologías	114
4.1.5 Efectividad de la aplicación según pruebas de laboratorio (Cloro residual y coliformes fecales).....	114
4.2 Hipoclorito de Sodio	115
4.2.1 Facilidad de operación de las tecnologías	115
4.2.2 Disponibilidad de químicos y elementos requeridos por la tecnología	120
4.2.3 Peligrosidad por la manipulación de los químicos	121
4.2.4 Costos de aplicación de las tecnologías	122
4.2.5 Efectividad de la aplicación según pruebas de laboratorio (Cloro residual y coliformes fecales).....	123
4.3 Hipoclorito de Calcio en Pastillas	124
4.3.1 Facilidad de operación de las tecnologías	124
4.3.2 Disponibilidad de químicos y elementos requeridos por la tecnología	128
4.3.3 Peligrosidad por la manipulación de los químicos	129
4.3.4 Costos de aplicación de las tecnologías	131
4.3.5 Efectividad de la aplicación según pruebas de laboratorio (Cloro residual y coliformes fecales).....	131
4.4 Hipoclorito de Calcio en Forma Granular	133
4.4.1 Facilidad de operación de las tecnologías	133
4.4.2 Disponibilidad de químicos y elementos requeridos por la tecnología	135
4.4.3 Peligrosidad por la manipulación de los químicos	136
4.4.4 Costos de aplicación de las tecnologías	138
4.4.5 Efectividad de la aplicación según pruebas de laboratorio (Cloro residual y coliformes fecales).....	139
4.5 Cuadro resumen de los parámetros analizados para cada tecnología	140
4.6 Comparación entre las ventajas y desventajas cada una de las tecnologías	142
Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones	148
5.1 Conclusiones	148
5.2 Recomendaciones	150
Referencias bibliográficas	152
Anexos	154

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Metodología propuesta para el desarrollo del trabajo.....	14
Figura 2: Procesos básico y adicionales para la potabilización del agua.	29
Figura 3: Esquema de los tratamientos básicos para la generación de agua potable.....	30
Figura 4: Desarenador típico para la remoción de partículas.	31
Figura 5: Equipo utilizado para la coagulación y floculación del agua.	32
Figura 6: Sedimentador de una planta potabilizadora.	35
Figura 7: Partes de un sedimentador.	35
Figura 8: Filtro de arena.	38
Figura 9: Esquema general del cloro y sus derivados.....	46
Figura10: Representación gráfica de la Ley de Chick.	49
Figura 11: Comparador de cloro y muestra de agua con el reactivo DPD.....	51
Figura 12: Símbolo del Cloro dado por la NFPA.	59
Figura 13: Instalación típica de un clorador por solución al vacío.....	61
Figura 14: Instalación típica de un clorador por alimentación directa.	65
Figura 15: Plano típico de una caseta pequeña de cloro gas.....	68
Figura 16: Poleas y ganchos especiales para el transporte de los cilindros de una tonelada.	70
Figura 17: Esquema general de un sistema de hipoclorito de sodio.....	81
Figura 18: Sistema de hipoclorito de sodio in situ.....	82
Figura 19: Caseta de cloración típica de un sistema de hipoclorito de sodio.....	85
Figura 20: Esquema general de un dosificador de hipoclorito de calcio.	89
Figura 21: Presentación de las pastillas de hipoclorito de calcio.....	90
Figura 22: Equipos de hipoclorito de calcio.	90
Figura 23: Equipo de seguridad necesario para la operación del sistema de pastillas de hipoclorito de calcio.....	93
Figura 24: Hipoclorito de calcio granulado.	94
Figura 25: Instalación típica de un sistema de hipoclorito de calcio granular.....	96
Figura 26: Sistema de pre-cloración y cilindros utilizados en la Planta Alta de Tres Ríos.	99
Figura 27: Sistema de pre-cloración y cilindros utilizados en la Planta de Guadalupe.....	99
Figura 28: Sistema de post-cloración de Planta Alta de Tres Ríos.	100
Figura 29: Sistema de post-cloración de la Planta de Guadalupe.	100

Figura 30: Tuberías para la dosificación del cloro.	101
Figura 31: Sistema de cloración utilizado en la Planta de Alajuelita.	102
Figura 32: Sistema de cloración utilizado en la Planta de San Antonio de Escazú.	102
Figura 33: Entradas de aire, en las casetas de cloración, para una adecuada ventilación. ..	103
Figura 34: Máscaras existentes en las plantas de cloro gas.	104
Figura 35: Presencia de extintores y respiradores en las plantas de cloro gas.	105
Figura 36: Señalización del peligro presentado por el cloro gaseoso.	106
Figura 37: Etiquetas de los cilindros de cloro, donde se indica la identificación y algunas medidas de seguridad.....	106
Figura 38: Planta de hipoclorito de sodio de Santa Cruz de Turrialba.	116
Figura 39: Equipo de hipoclorito de sodio utilizado en la Parte Alta de Tobosí.....	116
Figura 40: Equipo de hipoclorito de sodio utilizado en la Parte Baja de Tobosí.....	116
Figura 41: Equipo utilizado en Quebradilla de Cartago.....	117
Figura 42: Caseta de cloración de Santa Cruz de Turrialba.....	118
Figura 43: Caseta de cloración de la Parte Alta de Tobosí.	118
Figura 44: Sistema de hipoclorito de calcio, por desgaste, utilizado en Buenos Aires de Juan Viñas.	124
Figura 45: Sistema de hipoclorito de calcio, de cámara húmeda, utilizado en Carmen Lyra de Turrialba.	125
Figura 46: Especificaciones dadas por el fabricante para las pastillas de hipoclorito de calcio.	127
Figura 47: Pastillas de hipoclorito de calcio utilizadas en los sistemas de hipoclorito de calcio en nuestro país.	128
Figura 48: Equipo de hipoclorito de calcio granulado de Bermejo de Quebradilla.	133
Figura 49: Equipo de hipoclorito de calcio granulado en Orosí de Cartago.	134
Figura 50: Presentación del hipoclorito de calcio granulado.....	136

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Familia de las enterobacterias.	25
Cuadro 2: Algunas propiedades químicas del cloro.	43
Cuadro 3: Algunas propiedades físicas del cloro.	44
Cuadro 4: Tipos de reacción del cloro.	46
Cuadro 5: Principales características del cloro y sus derivados.	47
Cuadro 6: Algunos valores de K.	49
Cuadro 7: Cloro mínimo, en la red, para la destrucción de bacterias.	52
Cuadro 8: Algunos parámetros de calidad del agua para el N1.	53
Cuadro 9: Frecuencia mínima de análisis y número de muestras.	56
Cuadro10: Características de los cilindros de cloro gas.	69
Cuadro 11: Concentraciones en porcentaje y en mg/l de cloro.	83
Cuadro 12: Propiedades físicas del cloro puro.	109
Cuadro 13: Reacciones fisiológicas para distintas concentraciones de cloro.	110
Cuadro 14: Comparación de concentraciones letales para diferentes especies.	112
Cuadro 15: Resultados de laboratorio del cloro residual de las plantas que utilizan cloro gaseoso para la desinfección del agua.	114
Cuadro 16: Resultados de laboratorio de coliformes fecales de las plantas que utilizan cloro gas para la desinfección del agua.	115
Cuadro 17: Principales propiedades químicas y físicas del hipoclorito de sodio.	121
Cuadro 18: Resultados de laboratorio del cloro residual de las plantas que utilizan cloro gaseoso para la desinfección del agua.	123
Cuadro 19: Resultados de laboratorio de coliformes fecales de las plantas que utilizan cloro gas para la desinfección del agua.	123
Cuadro 20: Propiedades físicas y químicas del hipoclorito de calcio.	129
Cuadro 21: Resultados de laboratorio del cloro residual de las plantas que utilizan hipoclorito de calcio en pastillas para la desinfección del agua.	132
Cuadro 22: Resultados de laboratorio de coliformes fecales de las plantas que utilizan hipoclorito de calcio en pastillas para la desinfección del agua.	132
Cuadro23: Propiedades físicas y químicas del hipoclorito de calcio.	137

Cuadro 24: Resultados de laboratorio del cloro residual de las plantas que utilizan hipoclorito de calcio en forma granular para la desinfección del agua.	139
Cuadro 25: Resultados de laboratorio de coliformes fecales de las plantas que utilizan hipoclorito de calcio en forma granular para la desinfección del agua.	140
Cuadro 26: Cuadro resumen de los parámetros evaluados para cada tecnología.	141
Cuadro 27: Comparación de las ventajas y desventajas de cada una de las tecnologías utilizadas para la desinfección del agua.	143

Capítulo I
Introducción

Capítulo 1. Introducción

1.1 Justificación

1.1.1 Importancia

La razón fundamental para desinfectar el agua destinada al consumo humano y uso doméstico es asegurar la inactivación o destrucción de los agentes patógenos para el hombre, transmitidos por ésta.

Procesos tales como almacenamiento, sedimentación, coagulación y floculación, y filtración, reducen en grado variable el contenido de agentes patógenos en el agua. Sin embargo, estos procesos no pueden asegurar que el agua que producen sea bacteriológicamente segura, por lo que se necesitará una desinfección final. En casos en los que no se dispone de otros métodos de tratamiento, se puede recurrir a la desinfección como único tratamiento contra la contaminación bacteriana del agua potable.

Es por esto que resulta trascendental realizar una evaluación de las principales tecnologías utilizadas en nuestro país para la desinfección del agua.

1.1.2 Problema específico

En la actualidad, la tecnología de desinfección de mayor uso en Latinoamérica utiliza cloro en estado gaseoso. Se puede decir que han sido probados todos los métodos de cloración por gas (1) . Después de esto, lo más común es el uso de hipocloritos los cuales se agregan a los sistemas de abastecimiento de agua utilizando alguno de los métodos existentes. En una escala mucho menor se han probado ozonizadores, yoduradores, resinas halogenadas y sistemas ultravioleta. No obstante, la cloración continúa siendo el método de desinfección estándar en Latinoamérica.

Se han realizado numerosos estudios que han demostrado que la calidad y funcionamiento las tecnologías de desinfección no son óptimas (1). Las causas que han originado los fracasos en la desinfección del agua son numerosas, encontrándose entre las más comunes el abastecimiento poco confiable de sustancias químicas, repuestos no disponibles para los equipos, requisitos operacionales demasiado complejos para los operadores, reparación de los equipos muy complicada para ser entendida por los operadores, infraestructura

inadecuada para apoyar la compra, transporte y almacenamiento de sustancias químicas, repuestos y suministro, dificultades para el almacenamiento, manipulación, mezcla y medición de los desinfectantes químicos, medidas de seguridad inadecuadas, entre otros.

En Costa Rica las principales tecnologías que se utilizan son el cloro en estado gaseoso, la producción en sitio de hipoclorito de sodio, aplicación de hipoclorito de calcio en su forma granulada y las pastillas de hipoclorito de calcio. Sin embargo, en nuestro país no se han realizado estudios recientes que relacionen la calidad y funcionamiento de las tecnologías utilizadas para la desinfección del agua. Por lo tanto, resulta fundamental realizar una evaluación de las principales tecnologías utilizadas en nuestro país ya que, como se mencionó anteriormente, no se cuenta con dicha evaluación que relacione el costo del equipo, su instalación, operación, mantenimiento y reparación, así como la adquisición y el manejo de los materiales requeridos para sustentar permanentemente una dosificación eficaz.

1.1.3 Antecedentes del problema

La desinfección de los abastecimientos del agua es una medida esencial de salud pública que data de principios del siglo XX (1). El tratamiento y la desinfección adecuada del agua permitieron reducir considerablemente la incidencia de tifoidea y el cólera en muchos países, antes de que se descubrieran los antibióticos y vacunas. En todos los lugares donde se ha realizado adecuadamente, la desinfección del agua ha aportado beneficios de salud para los usuarios.

La desinfección del agua fue introducida en Latinoamérica hace más de 50 años y en la mayoría de sistemas de abastecimientos de agua se han instalado diversos dispositivos de desinfección en los últimos 25 años (1). Sin embargo, la desinfección real alcanzada dista mucho de haber sido exitosa. Las encuestas realizadas por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) han demostrado que la desinfección es inadecuada o poco segura en un gran número de abastecimientos públicos de agua, a pesar de las demostradas ventajas que conlleva para la salud, aun cuando se cuente con las instalaciones para ello.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Evaluar las principales tecnologías utilizadas en Costa Rica para la desinfección del agua.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Revisar la teoría de las principales tecnologías utilizadas en Costa Rica para la desinfección del agua.
- Comprobar en cada planta de tratamiento bajo análisis, la efectividad operativa de las tecnologías de desinfección.
- Investigar la disponibilidad de químicos y elementos requeridos para la desinfección de aguas en nuestro país.
- Analizar el peligro presentado por la manipulación de los químicos, utilizados para la desinfección del agua, en el proceso operativo.
- Comparar por medio de una prueba de cloro residual y una prueba de coliformes fecales la efectividad de cada una de las tecnologías aplicadas.
- Realizar una comparación de los costos de los equipos para cada tecnología.
- Analizar ventajas y desventajas de la aplicación de cada una de las tecnologías para la desinfección del agua en Costa Rica.

1.3 Marco teórico e hipótesis

Teoría de la desinfección

La desinfección es el último proceso unitario de tratamiento del agua y tiene como objetivo garantizar la calidad de la misma desde el punto de vista microbiológico y asegurar que sea indefensa para la salud del consumidor.

Si bien la práctica muestra que los procesos de coagulación, sedimentación y filtración remueven el mayor porcentaje de microorganismos patógenos del agua, la eficiencia de los mismos no llega al cien por ciento. Por otro lado, las aguas suministradas por una planta de tratamiento de agua para consumo humano pueden sufrir una posterior contaminación en los tanques de almacenamiento o en las redes de distribución antes de ser distribuidas a la población. La desinfección debe protegerlas también de estas situaciones de riesgo posteriores al tratamiento. En términos prácticos, desinfectar el agua significa eliminar de ella los microorganismos existentes, capaces de producir enfermedades.

En la desinfección se usa un agente físico o químico para destruir los microorganismos patógenos, que pueden transmitir enfermedades utilizando el agua como vehículo pasivo. Es un proceso selectivo: no destruye todos los organismos presentes en el agua y no siempre elimina todos los organismos patógenos. Por eso requiere procesos previos que los eliminen mediante la coagulación, sedimentación y filtración.

El uso de la desinfección como parte de un proceso de tratamiento del agua puede obedecer a los siguientes objetivos:

- a) Reducir el contenido inicial de contaminantes microbiológicos en el agua cruda (pre-desinfección). Este proceso se utiliza solo en casos especiales.
- b) Desinfectar el agua luego de la filtración. Constituye el uso más importante.
- c) Desinfección simple de un agua libre de contaminantes fisicoquímicos que no requiere otro tratamiento.

Para que la desinfección sea efectiva, las aguas sujetas al tratamiento deben encontrarse libres de partículas coloidales causantes de turbiedad y color, las cuales pueden convertirse

en obstáculos para la acción del agente desinfectante. La desinfección alcanza una eficiencia máxima cuando el agua tiene una turbiedad cercana a la unidad. Por ello es indispensable desplegar los esfuerzos necesarios para que los procesos de tratamiento previos sean efectivos y eficientes.

Características deseables en un desinfectante de agua

Para que sea idóneo, un desinfectante de agua para consumo humano, debe satisfacer ciertos criterios generales (1), entre los cuales se encuentran los siguientes:

- Debe poder destruir o inactivar, dentro de un tiempo dado, las clases y números de microorganismos patógenos que pueden estar presentes en el agua que se va a desinfectar.
- El análisis para determinar la concentración de desinfectante en el agua debe ser exacto, sencillo, rápido y apropiado para hacerlo tanto en el terreno como en el laboratorio.
- El desinfectante debe ser fiable para usarse dentro del rango de condiciones que podrían encontrarse en el abastecimiento de agua.
- Debe poder mantener una concentración residual adecuada en el sistema de distribución de agua para evitar una posterior contaminación o que los microorganismos se reproduzcan.
- El desinfectante debe ser razonablemente seguro y conveniente de manejar y aplicar en las situaciones en que se prevé su uso.
- El costo del equipo, su instalación, operación, mantenimiento y reparación, así como la adquisición y el manejo de los materiales requeridos para sustentar permanentemente una dosificación eficaz, debe ser razonable.

Tecnologías de desinfección del agua

El cloro continúa siendo la sustancia química más económica, y con mejor control y seguridad se puede aplicar al agua para obtener su desinfección.

La desinfección requiere, dependiendo del tipo de agua, un mayor o menor período de contacto y una mayor o menor dosis del desinfectante. Generalmente, un agua relativamente clara, pH cerca de la neutralidad, sin muchas materias orgánicas y sin fuertes contaminaciones, requiere de unos cinco a diez minutos de contacto con dosis menores a un mg/l de cloro. En cada caso deberá ser determinada la dosis mínima requerida para que permanezca un pequeño residuo libre que asegure un agua exenta en cualquier momento de agentes patógenos vivos.

Cuando se aplican soluciones, como las de hipoclorito de calcio o de sodio, deberá tomarse en cuenta su contenido de cloro, expresado en la forma de ácido hipocloroso, con objeto de fijar las dosificaciones. También deben considerarse las concentraciones de las soluciones.

El cloro se encuentra en tres estados físicos: gaseoso, líquido o sólido. El equipo requerido para la dosificación del cloro depende del estado en que éste se vaya a dosificar.

- Cloro gaseoso en solución acuosa. El cloro viene embalado en cilindros y para poder pasarlo a una solución acuosa se requiere de agua a presión. Por la complejidad y peligrosidad en el manejo del cloro gaseoso, este sistema es más utilizado en plantas de purificación convencionales para acueductos de gran tamaño.
- Aplicación directa del cloro gaseoso. Este sistema de aplicación del cloro gaseoso es utilizado en instalaciones relativamente pequeñas, pero teniendo en cuenta que se requiere una cierta infraestructura y adiestramiento de los operarios.
- Aplicación del cloro sólido o líquido. En instalaciones pequeñas resulta ser más económico y fácil el empleo del cloro en cualquiera de estos dos estados.

Los hipocloritos (sales del ácido hipocloroso) pueden ser obtenidos comercialmente en cualquiera de estas formas. Algunos de ellos son:

- Hipoclorito de calcio: El hipoclorito de calcio más usado es el HTH (High Test Calcium Hypochlorite), el cual viene en forma granular, polvo o tabletas. Su aplicación puede ser directa o mediante la preparación previa de una solución acuosa.
- Hipoclorito de sodio: Este hipoclorito viene en forma líquida en diferentes concentraciones.

El cloro es un elemento muy corrosivo y por lo tanto se debe tener precaución en su manejo; adicionalmente los equipos empleados deben ser de materiales resistentes a la corrosión.

Los hipocloritos líquidos son dosificados mediante el empleo de "hipocloradores", los cuales son bombas de desplazamiento positivo, de diafragma o pistón, con elementos resistentes a la corrosión del cloro.

En la práctica, el cloro líquido se obtiene en cilindros a presión con capacidades de 100, 150 y 2.000 libras (46-88 y 908 Kg.). El cloro líquido se gasifica en cuanto deja de estar sometido a presión y los aparatos dosificadores (cloradores), y lo aplican como tal o bien disuelto en agua. El cloro se obtiene en la forma de hipoclorito de calcio o sodio y se aplican como suspensiones. Para dosificaciones que requieran gran exactitud se utiliza el gas cloro aplicado con aparatos cloradores de alta precisión.

Sistemas de dosificación de cloro gaseoso

Los cloradores operan generalmente bajo el principio de vacío total y solamente son usados para la cloración directa. En el tratamiento de agua, cloración indirecta significa que una solución de cloro es producida in situ utilizando cloro gaseoso y agua. Esta solución sirve como desinfectante. Desde la introducción de cloradores al vacío total, las objeciones en contra del uso del cloro gaseoso, con respecto a la seguridad, han ido a menos. Vacío total significa que existe un vacío en toda la instalación, por ejemplo: desde el cilindro de cloro, hasta el punto de inyección.

No puede haber una fuga de cloro en caso de una falla, ni desde el suministro de cloro ni por la línea que va al inyector. Una fuga sólo ocasionará que el aire entre al sistema, de modo que el riesgo de que el cloro gaseoso se escape, queda excluido. Así, el principio de vacío total es garantía de óptima seguridad. Iniciando desde la válvula que se conecta al cilindro, la presión del cloro gaseoso en el cilindro, es reducida para llegar a contar con una presión menor. De esta forma se asegura que no habrá escape de cloro gaseoso, en el caso de una fuga, o incluso por la ruptura de una línea. Mediante una unidad de cambio automático de cilindro es posible cambiar de cilindros vacíos a llenos, asegurando una dotación ininterrumpida de cloro gaseoso. Como equipo adicional en las salas donde el cloro se almacena ya medido, se debe proveer la instalación de un detector de fugas.

Sistemas de dosificación del hipoclorito de sodio

En la cloración de los volúmenes más pequeños de agua, se puede usar hipoclorito de sodio para la desinfección del agua potable. Se dispone comercialmente como una solución al 150-170 g/l de cloro efectivo y puede ser adquirido desde los proveedores químicos. Estas soluciones de hipoclorito se pueden almacenar sólo por un período de tiempo limitado. Se descomponen gradualmente y el grado de cloro efectivo disminuye.

La descomposición se acelera por la exposición a la luz, el calor y por impurezas tales como las trazas de metal. La mayoría de las bombas de diafragma, que son controladas por un sistema automático de medición de residual y de control, dosifican el reactivo directamente en el flujo del agua.

Las desventajas del limitado tiempo de almacenamiento, pueden excluirse produciendo directamente la solución, en el sitio de uso. Aquí se preparan soluciones de una más baja concentración, que son consumidas sin tiempos intermedios de almacenamiento tan largos.

Sistemas de dosificación del hipoclorito de calcio

El hipoclorito de calcio es un compuesto sólido de cloro, disponible en el comercio en forma de tabletas o de gránulos. Para preparar una solución medidora, se usan sólo gránulos del 65 al 75 por ciento de cloro efectivo, dependiendo del producto.

Deben utilizarse tanques de disolución y medición, de fondo inclinado, en la preparación de la solución medidora, ya que el hipoclorito de calcio contiene cerca de un 10 por ciento de materiales no solubles. Estos se depositan en el fondo inclinado de los tanques, y después de un tiempo de asentamiento de unos 30 minutos, se obtiene una solución clara de hipoclorito de calcio, con la cual se puede llenar el tanque de suministro. Para su dosificación se prefieren bombas de diafragma, que son controladas por un sistema automático de medición y control.

Hipótesis

Resumiendo, aunque el cloro y sus derivados no son los desinfectantes perfectos, muestran las siguientes características que los hacen sumamente valiosos:

- Tienen una acción germicida de espectro amplio.

- Muestran una buena persistencia en los sistemas de distribución de agua, pues presentan propiedades residuales que pueden medirse fácilmente y vigilarse en las redes después que el agua ha sido tratada o entregada a los usuarios.
- El equipo para la dosificación es sencillo, confiable y de bajo costo. Además, para las **pequeñas comunidades hay dosificadores de "tecnología apropiada" que son fáciles** de usar por los operadores locales.
- El cloro y sus derivados se consiguen fácilmente, aún en lugares remotos de los países en desarrollo.
- Es económico y eficaz en relación a otras tecnologías, en cuanto a su costo.

Los productos de la familia del cloro, disponibles en el mercado de nuestro país, para realizar la desinfección del agua son:

- Cloro gaseoso
- Hipoclorito de sodio
- Hipoclorito de calcio en forma granular y pastillas.

Entonces para elegir cuál de estos productos se ha de emplear, así como el mecanismo para suministrarlo, los responsables de esta selección deberán basar su decisión en la respuesta a las siguientes interrogantes:

- ¿Qué cantidad de desinfectante se necesita?
- ¿Cuáles son las posibilidades de abastecimiento del producto?
- ¿Con qué capacidad técnica se cuenta para el uso, la operación y mantenimiento de los equipos?
- ¿Existen los recursos necesarios para evitar que los trabajadores estén expuestos a riesgos a la salud durante el almacenamiento y manipulación?
- ¿Se dispone de la capacidad económica y financiera para asumir los costos del equipo?

Para responder estas preguntas será necesario realizar un diagnóstico de las condiciones técnicas necesarias para la aplicación de cada una de las tecnologías antes mencionadas. Por lo tanto en este trabajo se pretende elaborar una comparación de dichas tecnologías.

1.4 Delimitación del problema

1.4.1 Alcances

Los alcances de este estudio, fueron claramente definidos, de manera que la profundización de los campos evaluados, partió de las condiciones bajo las cuales se llevó a cabo la investigación.

Los siguientes fueron los alcances del este trabajo:

- Se evaluaron las principales tecnologías, utilizadas en Costa Rica, para la desinfección del agua las cuales son específicamente: cloro-gas, hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio en forma granulada e hipoclorito de calcio en pastillas.
- La evaluación de las tecnologías mencionadas anteriormente se basó concretamente en los siguientes parámetros: facilidad de operación, disponibilidad de químicos, peligrosidad, costo de los equipos y efectividad en cloración.
- La efectividad de la cloración se midió únicamente con pruebas de laboratorio de cloro residual y coliformes fecales.
- Se seleccionaron cuatro sistemas de cloración, instalados en distintas zonas del país, para cada tipo de tecnología, y de esta manera se realizó la evaluación de los parámetros.

1.4.2 Limitaciones

- Por motivo de tiempo, como se mencionó anteriormente, solo se evaluaron cuatro sistemas de cloración por cada tipo de tecnología, por lo que el resultado obtenido puede no ser muy representativo del resto de sistemas de cloración de agua con similar tecnología. Sin embargo, los resultados podrán aportar información para mejoras en dichas plantas.
- Gran parte de la información fue obtenida en campo y, ésta fue aportada por los operadores y fontaneros de los sistemas de cloración, por lo que esto podría presentar una limitación en el desarrollo de la investigación.
- No se contó con la información de la calidad inicial del agua, siendo dicha información muy importante en el tema de la desinfección del agua.

1.5 Metodología

La metodología que se utilizó para la realización de este trabajo se dividió en cuatro etapas claramente definidas. Dichas etapas fueron recopilación de información, redacción del informe, revisiones e informe final. A continuación se detallan las actividades que se realizaron en cada una de las cuatro etapas.

- Recopilación de información

En esta etapa se efectuó una revisión bibliográfica sobre el tema propuesto. Se recopiló información sobre la desinfección del agua en general. Es decir, qué es, en qué consiste, su importancia en la salud pública, características, entre otras cosas. Además se estudiaron los procesos realizados para el tratamiento del agua para el consumo humano.

Seguidamente se recopiló y se analizó información sobre las tecnologías que se emplean en nuestro país para la desinfección del agua. Una vez recopilada la información teórica sobre las tecnologías, se seleccionaron cuatro sistemas de cloración por cada tipo de tecnología utilizada en el país para la desinfección del agua. Es decir, cuatro plantas que utilizan cloro en estado gaseoso para la desinfección, otras cuatro que realizan producción en sitio de hipoclorito de sodio, otras cuatro que utilizan hipoclorito de calcio en su forma granulada y otras cuatro que utilizan las pastillas de hipoclorito de calcio para desinfectar el agua.

Se efectuaron las visitas a los sistemas de cloración seleccionados para observar los parámetros establecidos para el análisis. Esta información consistió en caracterizar de cada una de las tecnologías. La información que se recopiló para cada tecnología es la siguiente:

- Esquemas de instalación del equipo cada tecnología
- Operación y mantenimiento del equipo
- Disponibilidad de químicos y elementos requeridos para el funcionamiento
- Peligrosidad de manejo de químicos en el proceso operativo
- Prueba de cloro residual y coliformes fecales
- Costo del equipo

Además se realizaron entrevistas a profesionales a cargo y a los operadores de dichos sistemas con el fin de recopilar la información necesaria para este trabajo.

Seguidamente se analizaron las pruebas de laboratorio de cloro residual y de coliformes fecales, suministradas por el Laboratorio Nacional de Aguas, con el fin de verificar la eficiencia de los sistemas en estos parámetros.

- Redacción del informe

Esta etapa se dividió adicionalmente en cuatro fases explicadas a continuación:

- Redacción del marco teórico

En esta fase se realizó la descripción general del trabajo. Es decir, se introdujo toda la teoría necesaria para desarrollar este proyecto.

Además se definieron los términos empleados en el informe con el fin del buen entendimiento de los conceptos.

- Fundamentos teóricos e información obtenida en campo

En esta etapa se desarrollaron los fundamentos base del proyecto. Además se reunió formalmente toda la información recopilada para cada una de las tecnologías.

Además se recopiló toda la información obtenida en campo para así desarrollar las características más relevantes de cada una de las tecnologías. Es decir, se redactó toda la parte teórica del trabajo, para así poder realizar el análisis de cada una de las tecnologías y así comparar la teoría con lo que se encontró en campo.

- Entrevistas

En esta etapa se recopiló toda la información técnica dada por operadores y funcionarios que tenían relación con cada una de los sistemas analizados. Esto porque la información obtenida presentó un aporte enriquecedor para el trabajo.

- Documentación adicional

Se adjuntó al trabajo toda la información adicional necesaria de manera que presente una contribución adicional a la ya aportada.

- Comparación final de las tecnologías

Una vez recopilada toda la información teórica y la obtenida en campo se procedió a realizar la comparación y evaluación final de las tecnologías estudiadas.

- Revisiones

Esta etapa consistió en la revisión del presente trabajo. Dicha revisión se efectuó en dos etapas. La primera revisión la ejecutó la directora de la tesis, la Ing. Ana Lorena Arias. La segunda revisión la realizó la asesora Ing. Paola Vidal y el asesor Ing. José Pablo Bonilla. Dichas revisiones se efectuaron con el fin de que el trabajo cumpliera con los objetivos propuestos.

- Informe final

El informe final constituyó la última etapa del proyecto. Básicamente esta etapa consta de tres fases las cuales son:

- Entrega del informe escrito

Una vez revisado el trabajo se realizó la entrega formal del trabajo escrito.

- Entrega del informe digital

El informe escrito fue transferido a una forma digital y se procedió a entregarlo.

- Presentación oral

En la fecha establecida se hizo la presentación oral del informe y se concluyó el proyecto.

La metodología anteriormente descrita se muestra en la Figura 1.

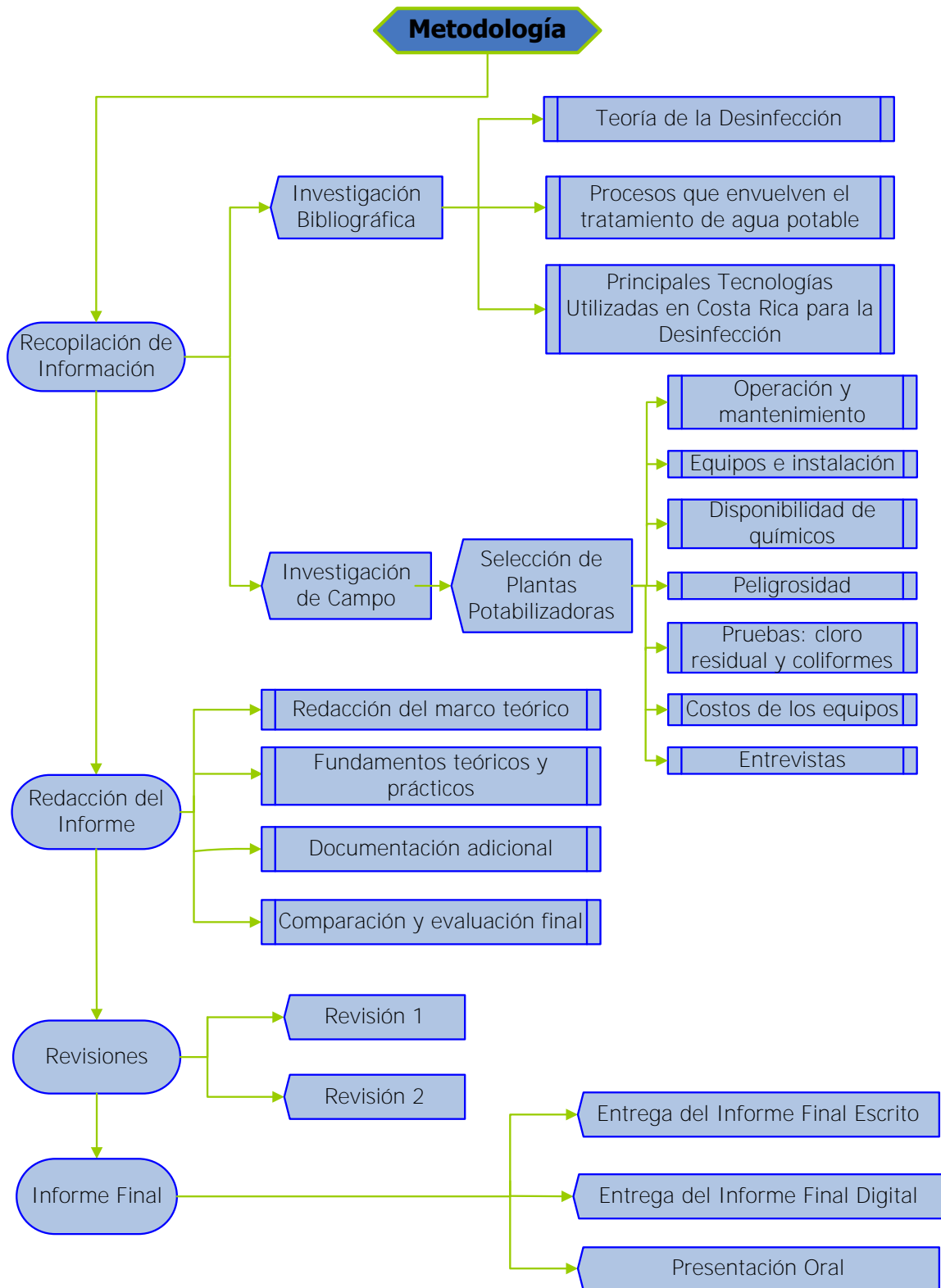


Figura 1. Metodología propuesta para el desarrollo del trabajo.

1.6 Mecanismos de evaluación del proyecto

El proyecto se evaluó de la siguiente manera:

- Eficiencia: se demostró la eficiencia de las plantas mediante las pruebas de laboratorio de cloro total y de cloro residual.
- Eficacia: al final del proyecto se hizo una comparación entre los objetivos propuestos y los objetivos cumplidos, de esta manera se pudo observar la eficacia del proyecto.
- Impacto: este se puede ver reflejado en la utilización del proyecto de graduación para mejoras en los sistemas de desinfección del país.
- Pertinencia: este trabajo se evaluó como pertinente por el hecho de que no existen trabajos de graduación recientes sobre el tema de desinfección, por lo que este trabajo aporta una fuente bibliográfica reciente a la universidad.
- Perdurabilidad: los resultados obtenidos se podrán utilizar para futuras mejoras en las plantas de potabilización de agua, ya que se propusieron una serie de recomendaciones con base a los resultados obtenidos.

Capítulo II
Desinfección del agua

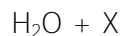
Capítulo 2. Desinfección del agua

2.1 Impurezas o características del agua

El tratamiento del agua tiene como finalidad producir en ella los cambios físicos, químicos y biológicos, necesarios para acondicionarla para el consumo humano. Las características de las aguas están sujetas a cambios, ya sea por las condiciones naturales o por las alteraciones producidas por el hombre. La proliferación de organismos puede también contribuir a realizar grandes cambios en las características de las aguas. Estos cambios pueden ir desde el color y olor, hasta convertir las aguas en peligrosas para la salud, debido a la presencia de organismos patógenos. Por otro lado, la capacidad de autopurificación de las corrientes de agua es debida a la acción de organismos vivos, entre los cuales las bacterias y algas juegan un papel muy importante.

Es necesario dejar establecido que las características o impurezas que contiene el agua, no son de algún modo estáticas, sino muy por el contrario, son sumamente cambiantes, tanto en tiempo como en espacio.

El agua químicamente pura (H_2O), es prácticamente imposible de encontrar en la naturaleza y más aún de obtener en el laboratorio. Por lo tanto, se debe considerar para fines prácticos, que la fórmula del agua, tal como se encuentra en ríos, lagos, manantiales, pozos, mares, etc. es la siguiente:



donde X representa las características o impurezas del agua, pudiendo ser estas físicas, químicas y biológicas.

Siendo el agua un solvente universal, casi no existen sustancias que no se disuelvan en ella, por lo que es difícil imaginar la enorme cantidad y variedad de sustancias que se pueden encontrar disueltas en el agua.

La variabilidad de la calidad del agua depende de la fuente de donde proviene. Se debe tener presente que la cantidad de impurezas que contenga el agua, en ciertos casos, por muy pequeña que sea, es suficiente para hacerla inapropiada para el consumo humano.

Las características o impurezas del agua se dividen en físicas, químicas y biológicas.

2.1.1 Características físicas del agua

Entre las características físicas más significativas del agua se encuentran la turbiedad, el color, el olor, el sabor y la temperatura.

Turbiedad

Es la característica que hace parecer al agua como sucia o barrosa. La turbiedad es causada por partículas suspendidas y coloides que limitan el paso de la luz a través del agua. El tamaño de las partículas suspendidas dependerá de la velocidad de arrastre o turbulencia del cuerpo de agua que la conlleva. Estas partículas pueden ser minerales u orgánicas (limos, arcillas, hierro, zinc, manganeso, aserrín, fibras orgánicas, microorganismos, etc.). El origen de las partículas que causan la turbiedad es variado. Puede ser causada por la erosión ejercida por los ríos, por desechos domésticos e industriales, por el crecimiento de microorganismos, etc. El grado de turbiedad dependerá de la concentración de partículas, de su tamaño, de la dispersión de las mismas y de las propiedades de absorción de la luz que posee la suspensión.

Si bien es cierto, no existe correlación directa entre el aspecto del agua y su contaminación con organismos patógenos, el consumidor siempre rechazará un agua que tenga aspecto ofensivo y buscará un agua más clara y limpia. Por lo tanto, es necesario que el agua que se distribuye para el consumo humano, no solo sea segura desde el punto de vista sanitario sino también que sea estéticamente atractiva.

Las partículas que enturbian al agua constituyen defensas para los microorganismos, ya que éstos pueden escudarse dentro de ellas y de esta manera resguardarse contra los agentes desinfectantes, especialmente contra el cloro. El cloro necesita estar en contacto con los organismos durante cierto tiempo para que los pueda eliminar, pero si los organismos se encuentran protegidos, puede ser necesario un tiempo mayor de contacto y una mayor cantidad de desinfectante para producir la reducción bacterial deseada, presentando de esta manera un mayor costo de desinfección.

Color

El color que presentan las aguas puede de ser de origen mineral, tal como el que producen los compuestos de hierro y manganeso, o vegetal como los producidos por

materia orgánica en suspensión, algas, semillas y protozoos. El color de las aguas puede deberse también a desechos industriales.

En el agua debe distinguirse el color aparente del color verdadero. El color real o verdadero es aquel que se debe a sustancias en solución solamente. El color aparente o total es el debido a sustancias tanto en suspensión como en solución.

Al igual que sucede con la turbiedad, no existe correlación directa entre el color del agua y su índice de contaminación, pero debe tenerse en cuenta que un agua altamente coloreada despertará sospechas en los consumidores. Es importante anotar que el color del agua es extremadamente dependiente del valor del pH, el color aumenta a medida que se eleva el valor del pH (11).

Olor y sabor

Los olores y sabores desagradables que se presentan en algunas aguas son debidos a una gran variedad de sustancias, siendo los principales organismos microscópicos vivos o vegetación en estado de descomposición, incluyendo semillas, bacterias, hongos y algas.

La dificultad de diferenciar entre el olor y sabor del agua por estar estos dos sentidos ligados en el organismo humano, y porque casi siempre las sustancias que causan estos problemas están combinados, ha hecho que sea impráctico, para análisis de origen rutinarios, el separar estas dos características. Lo que se determina comúnmente es el olor.

Algunas sustancias que imparten olor al agua, lo hacen en concentración tan baja, que no pueden ser detectadas por ninguna técnica analítica y se hace necesario recurrir al sentido del olfato, a pesar de su falta de precisión.

Los problemas de olor en el agua pueden agravarse en los embalses y en general en cualquier sistema en que se deje almacenar el agua cargada de materia orgánica, ya que esta materia se sedimentará y al ir al fondo tenderá a sufrir descomposición.

Temperatura

Aunque a primera vista el efecto de la temperatura puede pasar inadvertida, en realidad el cambio de temperatura en una fuente de agua puede tener gran efecto y muchas veces este es un factor crítico.

Los organismos aeróbicos necesitan de una cantidad de oxígeno en el agua. Además a una mayor temperatura menor solubilidad de gases y mayor actividad biológica. Por tanto, el aumento de la temperatura disminuirá la cantidad de oxígeno, aumentará la actividad bacteriana y puede por tanto llegar a producir una condición séptica, con los consiguientes problemas de malos olores y sabores.

Los efectos de la temperatura no solo se evidencian en la creación de las zonas deficientes de oxígeno, sino también en el sabor del agua, influyen en los distintos procesos de tratamiento, como en el caso de la coagulación química, filtración, desinfección, etc.

2.1.2 Características químicas del agua

Potencial de hidrógeno

El pH del agua es una forma de expresar la concentración del ión hidrógeno. El agua se compone de dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H_2O), pero tiene la capacidad de ionizarse, o sea, de separarse en iones de hidrógeno (H^+) y en (OH^-). De acuerdo a la ley de acción de masas tenemos la siguiente expresión:

$$\frac{[H^+]\cdot[OH^-]}{H_2O} = K$$

pero como la concentración del agua no ionizada es tan grande en relación a la parte ionizada, puede considerarse constante y entonces la expresión se escribe así:

$$[H^+]\cdot[OH^-] = K_w$$

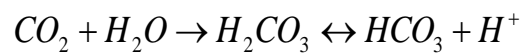
a esta expresión se le denomina constante de ionización del agua. A 25° se tiene:

$$[H^+]\cdot[OH^-] = 10^{-7} \times 10^{-7} = 10^{-14}$$

Si se agrega un ácido al agua, la concentración de hidrógeno aumentará y para que la igualdad anterior subsista, la concentración OH^- debe disminuir. Si se agrega una base al agua, la concentración de OH^- aumenta y debe disminuir la concentración de H^+ .

Acidez

Se puede definir la acidez del agua como su capacidad para neutralizar el OH^- . La acidez en las aguas naturales es generalmente debida a la presencia del CO_2 el cual tiende a combinarse con el agua dando origen al ión H^+ .



El CO_2 proviene en pequeña cantidad de la atmósfera, pero la principal fuente es el producto final de la descomposición aerobia y anaerobia de la materia orgánica.

Otra fuente de acidez en el agua constituye la presencia de ácidos minerales, especialmente por los minerales usados en la industria y en la elaboración de materiales orgánicos.

Alcalinidad

La alcalinidad del agua puede definirse como la presencia de OH^- y su capacidad para neutralizar la acidez. La presencia de OH^- en el agua se debe generalmente a la acción de sales provenientes de ácidos débiles y bases fuertes, siendo los más comunes los carbonatos y bicarbonatos.

En algunas aguas la presencia de algas puede producir alcalinidad, debido a que estas consumen CO_2 dentro de sus actividades fotosintéticas.

Aunque la alcalinidad se debe a la presencia de OH^- y a la ionización de las sales provenientes de ácidos débiles y bases fuertes, como se mencionó anteriormente, no es extraño encontrar en muchos textos que la alcalinidad se debe a la presencia de bicarbonato, carbonato e hidróxido. Esto se debe, naturalmente a que estos compuestos son muy abundantes en el agua.

La alcalinidad tiene muy poca importancia en la ingeniería ambiental, con excepción del hecho que las aguas con una alta alcalinidad son las que presentan sabor. Es más, las alcalinidades altas son indeseables porque pueden producir precipitación de sales de calcio

en tuberías y artefactos reduciendo su capacidad. También una alcalinidad alta puede producir un pH inadecuado para ciertos tratamientos biológicos.

Dureza

La dureza de las aguas se debe a la presencia de cualquier catión polivalente (Ca^{++} , Mg^{++} , Al^{++} , Fe^{++} , etc.) pero generalmente solo se considera el calcio y el magnesio por ser los más abundantes en aguas naturales.

La presencia de estos cationes impiden la formación de espuma del jabón y causa gran desperdicio del mismo. Otro gran problema que causa la dureza es la formación de precipitados dentro de las tuberías y accesorios, la cual reduce su capacidad.

No se ha demostrado ninguna correlación entre las aguas con alto contenido de dureza y daños al organismo. Los problemas son más bien del tipo doméstico e industrial.

Hierro y manganeso

El hierro y el manganeso constituyen un serio problema cuando están presentes en el agua. Estos cationes entran en solución generalmente en forma bivalente (Fe^{++} , Mn^{++}), aunque también pueden encontrarse formando complejos orgánicos.

Los problemas que crean el hierro y manganeso en el agua son principalmente el mal sabor, el color, las manchas que causan en la ropa y artefactos sanitarios, la contribución a la proliferación de bacterias del hierro, la cual a su vez acelera los problemas de corrosión de tuberías, pues dan origen a la producción de ácidos.

Cloruros

Aunque los cloruros no son perjudiciales para la salud, imparten al agua un sabor salobre que la hace inapropiada para el consumo humano. Cabe recalcar que antes de que existieran los métodos bacteriológicos para determinar la calidad potable del agua, se hacía uso de la concentración de cloruros como índice de contaminación. Esto debido a que el cloruro es uno de los compuestos más abundantes en los desechos humanos y animales.

Nitrógeno

Los compuestos nitrogenados al igual que los cloruros son índices químicos de contaminación y su estudio tiene importancia en el tratamiento de aguas potables. El nitrógeno es un elemento esencial en los diferentes procesos vitales y su presencia es siempre detectable en la transformación de materia orgánica.

Un alto contenido de nitritos o nitrógeno amoniacal sugiere una actividad biológica grande. En cambio un alto contenido de nitratos y bajo de nitritos y amoniacó es indicio de una etapa mayor de mineralización de los compuestos nitrogenados. La ausencia o baja concentración de amoniacó en el agua es evidencia de que existe poco material proteínico en estado de descomposición.

Flúor

Con la demostración cada vez más aceptada se tiene que, consumir agua con una cantidad adecuada de flúor en la niñez, puede ser de gran efecto para la disminución de las caries humanas.

Cuando la cantidad de flúor en el agua es alta, puede causar fluorosis (manchas marrones en los dientes).

Sulfatos

Los sulfatos son uno de los aniones más abundantes en las aguas naturales. Causan varios problemas, entre los cuales se pueden enumerar los siguientes:

- En combinación con calcio y magnesio son responsables de incrustaciones duras que se encuentran comúnmente en los artefactos donde se conduce, se calienta o se evapora.
- En combinación con la materia orgánica y las bacterias sulforreductoras, causan problemas de corrosión, principalmente en la corona de tuberías de concreto.
- En altas concentraciones, los sulfatos tienen acción laxante en el hombre.
- Los sulfatos pueden contribuir a crear problemas de malos olores al ser reducidos por las bacterias reductoras.

Sodio

El sodio es un elemento ampliamente distribuido en la naturaleza y las sales de sodio son sumamente solubles, por este motivo se le encuentra en casi todas las aguas. Este elemento es perjudicial para las personas que sufren de enfermedades del corazón y de los riñones.

Potasio

El potasio también es un elemento muy abundante en la naturaleza y sus sales son muy solubles, motivo por el cual se encuentran muchas aguas con este elemento. El potasio en altas concentraciones tiene efecto laxante. Este elemento es perjudicial también en las plantas.

Sustancias tóxicas

Ocasionalmente el agua puede contener sustancias tóxicas que pueden causar daño específico a la salud. Las más comunes son el plomo, el selenio, el arsénico, el cromo, el cianuro, el cadmio y el bario.

En realidad la cantidad de sustancias tóxicas que una persona puede soportar varía mucho de individuo a individuo. Concentraciones que para una persona son nocivas para otra no lo son tanto.

Algunas sustancias como el selenio pueden encontrarse naturalmente en las aguas que pasen por suelos o formaciones seleniosas, otras en cambio como el plomo rara vez se encuentran en aguas naturales. Su presencia se debe al uso de tuberías o artefactos de plomo que se disuelven en pH bajo. Tanto el plomo como el selenio y el arsénico son venenos que se acumulan con el tiempo en el organismo y producen graves trastornos del sistema nervioso como ceguera o parálisis.

2.1.3 Características biológicas del agua

Toda agua natural contiene microorganismos. Estos provienen del suelo, del aire, de los objetos, de las personas y de los animales. Su mayor o menor concentración es una de las características de cada fuente de abastecimiento.

Los microorganismos en el agua pueden ser perjudiciales o beneficiosos según el caso. En ocasiones pueden producir enfermedades específicas (cólera, disentería, tifoidea), ser responsables de la muerte de los animales y destruir la vida acuática, entre otras cosas. En ocasiones en cambio, la actividad bacteriana sirve para producir el proceso de autopurificación de la corriente y estabilización de la materia orgánica lo que representa un considerable beneficio sanitario. En las plantas de tratamiento de líquidos residuales se utilizan los microorganismos para esta labor.

Por lo tanto es indispensable distinguir entre los organismos causantes de enfermedades o patógenos y los otros. En la práctica de laboratorio se han ideado las siguientes pruebas:

a) Recuento bacteriano

La cuenca bacteriana se realiza sembrando en un medio nutriente especial una dilución adecuada del agua que se quiere examinar, incubando por 24 horas a 36°C dicha siembra y contando el número de colonias que hayan aparecido al final del período de incubación. Por lo general esto se hace en pequeñas cajas cilíndricas planas llamadas cajas de Petri.

El recuento bacteriano no es una cuenta total, en el sentido de que contabilice todas las bacterias que haya en el agua de la muestra, sino solamente un recuento parcial de aquellas que puedan desarrollarse en el mismo medio, a la misma temperatura y en el mismo tiempo, hasta formar colonias claramente visibles. Por esta razón es que el significado de esta prueba es limitado. Sin embargo, como un indicador aproximado de la mayor o menor población bacteriana existente que puede crecer a la temperatura del cuerpo humano. Por lo tanto, un recuento bacteriano demasiado alto puede considerarse sospechoso.

b) Prueba para determinar el grupo coliforme

El grupo coliforme si bien no está constituido por organismos especialmente patógenos (excepto la E. Coli) pertenece a la misma familia de las enterobacteriaceas, a la que pertenecen las Salmonellas, productoras de Tifoidea y Shigellas productoras de disentería bacilar. En el Cuadro 1 se muestra la familia de las enterobacteriaceas, según el Manual de Bergey.

Cuadro 1: Familia de las enterobacterias.

Tribu I	Escherichias	Fermentan la lactosa anaeróbicamente
Tribu II	Erwinias	
Tribu III	Serratias	
Tribu IV	Proteas	No fermentan la lactosa anaeróbicamente
Tribu V	Salmonellas	

Fuente: Jorge Arboleda Valencia (10).

A primera vista se pensaría que el método más lógico para saber si un agua entraña o no peligro para la salud, sería el examinarla para saber si contiene o no salmonella o shigellas. Por desgracia, no se ha encontrado un método de cultivo para detectar la presencia de dichos microorganismos, ni es posible identificarlos al microscópico, en la práctica de laboratorio. De aquí que se haya pensado en escoger un grupo bacterial afín, íntimamente asociado con los organismos patógenos y cuya presencia puede detectarse fácilmente y considerarse por tanto como un índice de contaminación. Este grupo es el llamado **"Coliforme"** y se define así: es el formado por todas las bacterias aeróbicas y facultativas anaeróbicas, muy negativas y no formadoras de esporas, que fermentan la lactosa con formación de gas, dentro de 48 horas a 35°C. Estos organismos son característicos del intestino del hombre y todos los animales de sangre caliente. Cada defecación contiene varios millones de ellos. Diariamente el hombre escruta entre 150 y 400 mil millones. Su presencia confirmada en el agua indica por tanto que ésta ha sido contaminada con materia fecal.

De acuerdo con el Manual de Bergey, el grupo coliforme se subdivide así:

Género I. Escherichias:

- a) Escherichias Coli: habitante ordinario del intestino del hombre y de los vertebrados. Puede causar infecciones del tracto genitourinario. Está ampliamente distribuido en la naturaleza.
- b) Escherichias Freundii: normalmente encontrado en el suelo y en el agua, y en ocasiones en el intestino del hombre y de los animales. Muy distribuido en la naturaleza.
- c) Escherichias Aurescens: se encuentra en las heces humanas y de animales. También se encuentra en los ojos de personas con infecciones oculares.

d) Escherichias Intermedia: se le halla en el suelo y en los canales intestinales del hombre y animales. Está ampliamente distribuida.

Género II. Aerobacter:

a) Aerobacter Aerogena: normalmente encontrada en granos, plantas, leche, agua y en proporción variable en el intestino del hombre y de los animales. Se encuentra muy distribuido en la naturaleza.

b) Aerobacter Cloacal: encontrado en las materias fecales del hombre y de los animales así como en el suelo y en el agua.

Como se puede observar estos microorganismos puede aparecer en las materias fecales o en el suelo.

En general, se puede decir que las escherichias, que constituyen el 90% de los coliformes de las heces, son las que más comúnmente se hallan en el tracto intestinal, mientras que las aerobacterias se originan más frecuentemente en el suelo y las plantas.

A pesar de esta dificultad la presencia de coliformes y en especial de E. Coli se considera el mejor criterio para saber si un agua está o no contaminada por las siguientes razones (8):

- No hay un ensayo práctico y rutinario para detectar la presencia de bacterias patógenas en el agua.
- Todos los microorganismos infecciosos entran en el agua solamente por la contaminación con materias fecales de personas enfermas.
- Las aguas negras frescas siempre contienen gran cantidad de E. Coli.
- E. Coli rara vez se encuentra en agua limpia.
- E. Coli se puede detectar fácilmente y con tal precisión que no puede haber una apreciable cantidad de materia fecal sin que el ensayo para coliformes deje de revelarlo.
- Se sabe que las bacterias patógenas son por lo menos igualmente sensible que las E. Coli a las condiciones ambientales. De manera que si la E.Coli ha desaparecido por cualquier motivo, se puede concluir que las bacterias patógenas han desaparecido también.

2.2 Procesos unitarios previos a la desinfección del agua para consumo humano

Una planta de tratamiento de agua puede diseñarse para cumplir diversos fines, entre los que se encuentran:

- Desinfectar el agua
- Clarificar el agua
- Remover de ella determinadas sustancias químicas o aumentar el contenido de otras
- Una combinación de las anteriores

Cuando el agua, que se va a destinar para consumo humano, cumple con todos los requisitos físico-químicos pero no los bacteriológicos bastará con hacerle un proceso de desinfección antes de distribuirla. Es el caso de ciertas fuentes de montaña de baja turbiedad y escasa contaminación bacterial. En otros casos es definitivamente turbia y contaminada. Por lo tanto, para clarificarla se procede primero a agregarles coagulantes. Para que el proceso de coagulación se lleve a cabo es necesario aplicar mezcla rápida, que consiste en un mezclado fuerte, turbulento, en algunos casos producto de la liberación de energía por efecto de salto hidráulico, o bien por efectos inducidos basados en retromezcladores. Normalmente en las plantas de nuestro país se usan dos sistemas de mezcla rápida, mezcladores de flujo pistón y retromezcladores. De aquí el flujo pasa a un tanque de mezcla lenta, para darle oportunidad a las partículas que se aglutinen y luego se asienten en el sedimentador de donde se toma el sobrenadante para pasarlo al filtro, el cual se lava invirtiendo el flujo por medio del agua almacenada en un lugar adecuado. El efluente filtrado recibe inyección de cloro y luego se lo almacena para distribuirlo a la población. Para controlar las dosis de los coagulantes o desinfectantes, se suele poner afloradores de flujo tanto a la entrada como a la salida de la planta.

En ciertas circunstancias en las cuales lo que se trata de remover son sustancias químicas, como el hierro, el manganeso o la dureza excesiva, o se quiere mantener el agua dentro de determinado pH o rango de alcalinidad o tal vez suprimir sustancias aromáticas que causan olor se requiere diseñar un tratamiento especial.

Lo más común, sin embargo, sobre todo en aguas superficiales, es que se necesite tanto clarificar el agua como remover alguna sustancia química, que no se ajusta dentro de los límites aceptados, y que por lo tanto requiera una combinación de los procesos.

Para efectos prácticos los tratamientos se pueden dividir en tratamientos básicos y adicionales. Los tratamientos básicos son aquellos que generalmente sufren todas las aguas que se quieren clarificar y los tratamientos adicionales son los que se utilizan cuando se desea remover o adicionar al agua ciertas sustancias químicas. En la Figura 2 se puede observar la división antes mencionada.

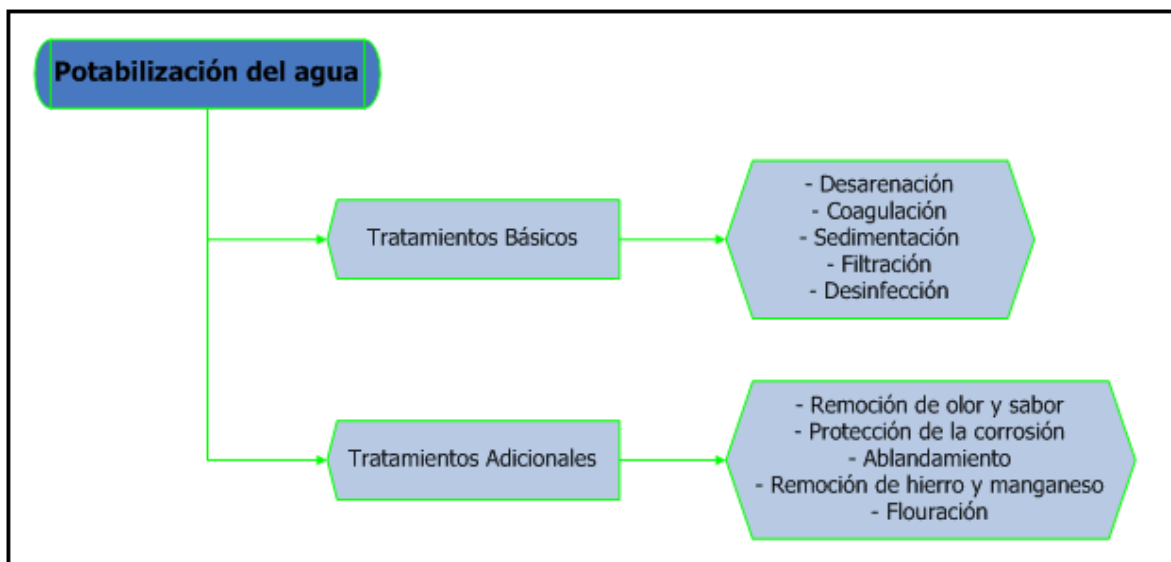


Figura 2: Procesos básico y adicionales para la potabilización del agua.

A continuación se detallan cada uno de los procesos básicos previos a la desinfección del agua. El conjunto de estos cinco procesos unitarios (desarenación, coagulación, floculación, sedimentación y filtración) recibe el nombre de clarificación del agua.

El orden en que se presentan los procesos de clarificación está determinado por su capacidad de remover eficientemente las partículas de un tamaño establecido, de manera que en el transcurso del proceso las partículas de mayor tamaño son eliminadas primero.

En la Figura 3 se muestra el esquema de los tratamientos básicos para la generación de agua potable.

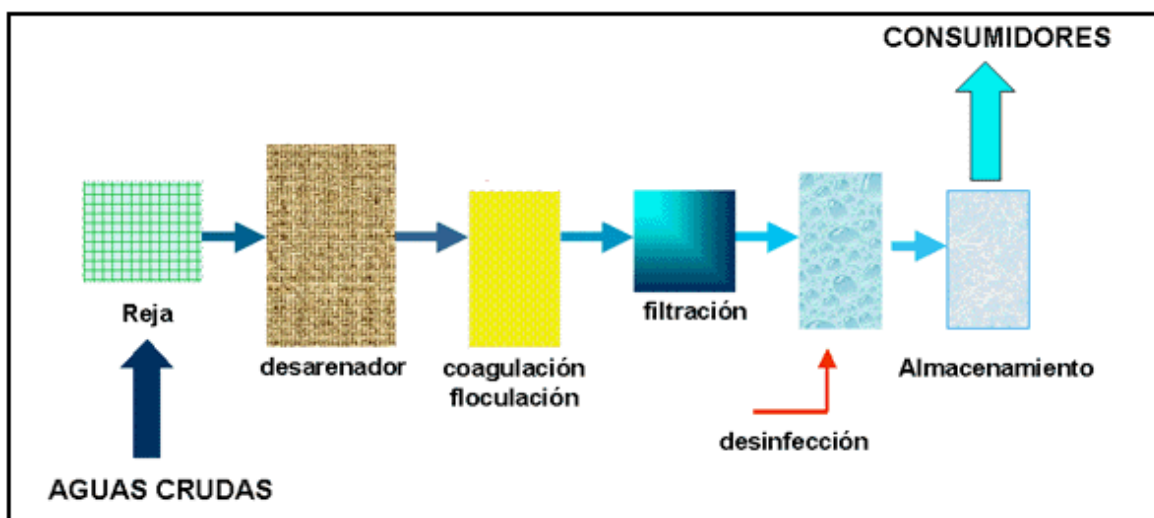


Figura 3: Esquema de los tratamientos básicos para la generación de agua potable.

Desarenador

Los desarenadores tienen la función de eliminar la grava fina (arena) y en general, los sólidos que son arrastrados por el agua en los canales de conducción y ríos. El desarenador se diseña para remover un tamaño de partículas específico, por lo cual es necesario considerar las características de las partículas, la naturaleza del flujo de dicha partícula y la concentración de los sólidos en suspensión en el agua. Los canales o estanques permiten disminuir la velocidad del agua que se aproxima, generando la sedimentación de las partículas. El material que es decantado es retirado mecánicamente o por gravedad utilizando desagües en los canales o estanques antes mencionados.

La frecuencia de la limpieza del desarenador varía de acuerdo con las características del agua tratada, y dependiendo de esto se utilizan desde espátulas y escobillas aceleradas, hasta soluciones de sulfato de cobre, para el control de algas.

Al utilizar un desarenador como proceso unitario, permite reducir la abrasión en los instrumentos utilizados en las fases posteriores. El rendimiento del desarenador es mayor cuando la turbiedad del agua es alta. Este instrumento remueve partículas con diámetros mayores a los 0.2 mm. En la Figura 4 se muestra un desarenador típico utilizado para la remoción de partículas.

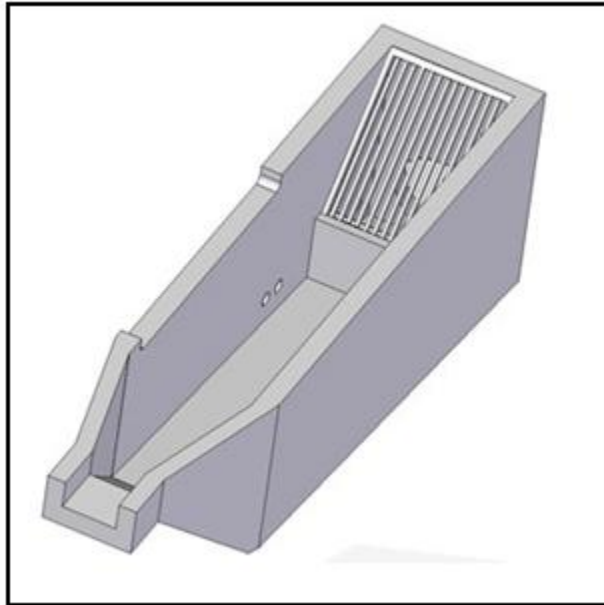


Figura 4: Desarenador típico para la remoción de partículas.

Fuente: Perruolo, J. (16).

Coagulación y floculación

La coagulación y la floculación son procesos de preparación, esto porque hacen que el agua posea condiciones que facilitan el desarrollo adecuado de los procesos unitarios siguientes.

La coagulación es la desestabilización de partículas suspendidas. Se inicia con la adición de una sustancia química (coagulante) al agua cruda, en una unidad de mezcla rápida. Inmediatamente se producen una serie de reacciones físicas y químicas, en las cuales participa la alcalinidad de agua, las partículas en estado coloidal y el agua misma. Para que todo lo mencionado anteriormente ocurra, se presenta el fenómeno de adsorción-desestabilización, en el que intervienen las fuerzas electrostáticas tanto de atracción como de repulsión. La superficie del coloide es el puente en que ocurren las diferentes reacciones. Existen diferentes mecanismos para lograr la adsorción-neutralización de las partículas en estado coloidal. La teoría afirma la existencia de fuerzas electrostáticas en las partículas, que las rodean sobre una capa eléctrica doble.

La floculación, por su parte, es una mezcla lenta o difusión, en la que las partículas chocan unas con otras, se aglomeran y forman un flóculo. Este fenómeno se puede dar de dos formas:

- floculación ortocinética inducida al líquido por fuerzas externas (mezcladores de flujo pistón o retromezcladores).
- floculación pericinéctica generada por el movimiento browniano de las partículas y es proporcional a la cantidad de ellas.

Debe señalarse que la totalidad de los flóculos formados no se eliminan en este proceso, por lo que es necesario complementar el tratamiento con otros procesos, tales como la filtración.

El equipo para realizar la coagulación y floculación del agua se muestra en la Figura 5.



Figura 5: Equipo utilizado para la coagulación y floculación del agua.

Fuente: Perruolo, J. (16).

Existen diferentes teorías acerca de la manera de lograr la coagulación:

- Por neutralización de la carga del coloide por otros iones de carga eléctrica de signo opuesto y que reemplacen a los primeros en la capa;
- Por puente químico, las moléculas poliméricas pueden ser adsorbidas químicamente en las partículas coloidales y formar cadenas;
- Por medio de la compresión de la doble capa por medio de la adición de una sal neutra que altera la forma de la curva de las fuerzas coulómbicas;
- Por incorporación, que se produce cuando se agrega una concentración de coagulante tan alta que se excede el límite de solubilidad del mismo en el agua; se produce entonces una masa esponjosa que precipita y atrapa en su caída a los coloides y partículas suspendidas.

Sin embargo, los mecanismos mencionados anteriormente no son excluyentes sino que normalmente la coagulación se realiza por la combinación de ellos. Los microflóculos, formados en la primera etapa, no tienen la capacidad de sedimentar por acción de la gravedad, de manera que es necesaria la dispersión del coagulante para promover la formación de coágulos que al hidratarse también aumentan su tamaño.

La mezcla rápida es indispensable en el proceso de coagulación. Posteriormente la agitación lenta y continua, promueve el crecimiento de los flóculos, dado que la superficie activa en el microflóculo absorbe impurezas del agua al estar en contacto con ellas, a la vez que aumenta su densidad alcanzando una mejor homogeneidad de los flóculos.

Los agentes coagulantes utilizados con mayor frecuencia son las sales de aluminio o hierro: sulfato de aluminio, $Al_2(SO_4)_3$; aluminato de sodio, $Na_2Al_2O_4$; sulfato ferroso, $FeSO_4 \cdot 7H_2O$; cloruro férrico, $FeCl_3$; sulfato férrico $Fe_2(SO_4)_3$ y almidón $(C_5H_{10}O_5)_n$. En Costa Rica el agente coagulante más utilizado es el sulfato de aluminio.

Los factores que intervienen en el proceso de coagulación-floculación son muchos, sin embargo entre los más importantes se pueden mencionar los siguientes:

- Tipo de coagulante que se utilice, así como la cantidad de dicho coagulante.
- Cantidad y característica de la turbiedad y color del agua, además de las características químicas de ella.
- Intensidad de agitación.

- Tiempo de mezcla y floculación
- Temperatura del agua.
- Concentración del ión hidrógeno (pH) del agua.

Sedimentación

La sedimentación se basa en la atracción gravitacional que influye sobre las partículas más pesadas, ellas tienden a precipitar con velocidad propia. La coagulación, es un proceso de la sedimentación en el que se adicionan productos químicos para lograrlo.

Se hace necesario incluir tanques de sedimentación en las plantas de tratamiento, de acuerdo con las propiedades del agua que se desee tratar, con el fin de lograr la remoción de:

- Impurezas precipitadas, hierro y dureza
- Sedimentos que se asientan con facilidad
- Impurezas coaguladas, color y turbiedad

La sedimentación de los flóculos se denomina sedimentación floculenta o decantación, las partículas por su propio peso tienden a asentarse en el fondo del sedimentador. Las partículas floculadas chocan unas con otras, de manera que las de mayor tamaño arrastran a las más pequeñas, con lo que la velocidad de sedimentación de las primeras aumenta, dado que el gradiente de velocidad, por medio de esas partículas, también lo hace.

Aparte de la concentración de los sólidos en suspensión, existen otros factores que influyen en la velocidad con que las partículas sedimentan, entre ellos el tamaño y forma de la partícula, su densidad y por supuesto las características del sedimentador. En la Figura 6 se muestra un sedimentador y en la Figura 7 se observa las cuatro partes o zonas en las que se puede dividir dicho sedimentador.



Figura 6: Sedimentador de una planta potabilizadora.

Fuente: Perroulo, J. (16).

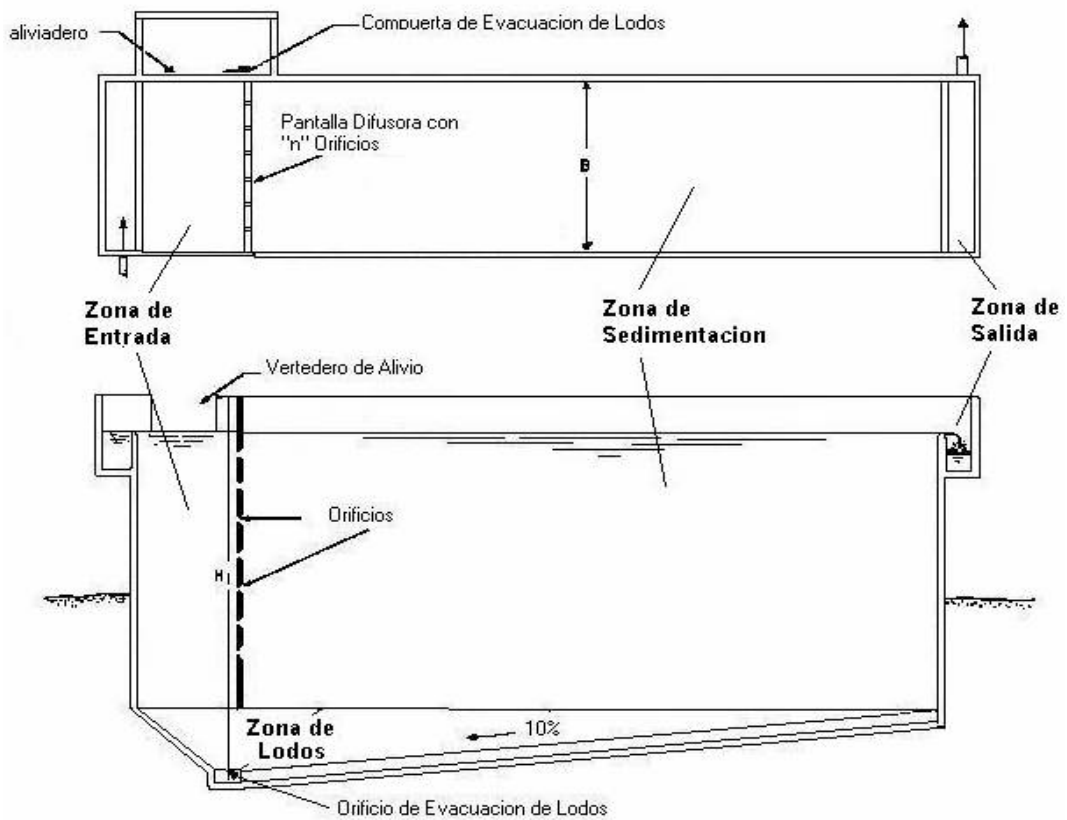


Figura 7: Partes de un sedimentador.

Fuente: Perroulo, J. (16).

a) Zona de entrada

Estructura hidráulica de transición, que permite una distribución uniforme del flujo dentro del sedimentador.

b) Zona de sedimentación

Consta de un canal rectangular con volumen, longitud y condiciones de flujo adecuados para que sedimenten las partículas. La dirección del flujo es horizontal y la velocidad es la misma en todos los puntos, flujo pistón.

c) Zona de salida

Constituida por un vertedero, canaletas o tubos con perforaciones que tienen la finalidad de recolectar el efluente sin perturbar la sedimentación de las partículas depositadas.

d) Zona de recolección de lodos

Constituida por una tolva con capacidad para depositar los lodos sedimentados, y una tubería y válvula para su evacuación periódica.

La eficiencia de la sedimentación en tanques se reduce por las corrientes que pueden ser originadas por turbulencias creadas por la inercia del flujo que entra, superficies producidas por el viento en tanques abiertos, verticales de convección de origen térmico y la densidad, lo que produce que el agua fría o pesada recorra el tanque en la parte inferior y el agua caliente o liviana lo haga por la parte superior, creando cortos circuitos en el flujo.

Filtración

El objetivo básico de la filtración es remover las partículas y microorganismos objetables que no han quedado retenidos en los procesos de coagulación y sedimentación. Por lo tanto, el trabajo que desempeñan los filtros depende de la eficiencia de los procesos preparatorios. En un diseño tradicional la coagulación y sedimentación remueve entre el 80% y 95% de los sólidos sedimentables y entre el 50% y el 60% de los

microorganismos. La filtración elimina casi la totalidad de los sólidos y microorganismos restantes.

Inicialmente se creía que la filtración era un proceso de cernido, en el que las partículas quedan retenidas en el medio poroso, porque el tamaño de los poros es menor que el de los sólidos suspendidos. Tal concepto es solo parcialmente cierto, pues el tamaño de las partículas en suspensión (no coaguladas) que suele contener el agua, puede ser hasta 100 veces menor que el de los poros del filtro y no obstante, quedan retenidas. Igualmente las bacterias, cuyo tamaño es inferior a 10μ , en buena parte son reducidas en el proceso.

Con la filtración se remueve gran cantidad de partículas, cuyo tamaño varía desde algunos flóculos no sedimentados hasta virus, bacterias y partículas coloidales. Estas partículas se adhieren a la superficie de los granos en el lecho filtrante.

El material filtrante utilizado generalmente es la arena. Frecuentemente se utiliza arena de lecho de río, playa, bancos naturales o cuarzo triturado.

La eficiencia de los filtros depende de varios factores, los siguientes se consideran los más importantes: profundidad del medio filtrante, distribución granulométrica del medio filtrante, características del material empleado, periodo del trabajo del filtro y altura estática disponible para la pérdida de carga.

La filtración se define como tal en dos etapas. Primero se presenta el transporte de partículas, etapa en la que involucran mecanismos de cernido, sedimentación, impacto intersticial e intercepción. Luego las fuerzas de Van Der Waals y un puente químico participan en este proceso, al hacer que la materia en suspensión se adhiera a las partículas del medio filtrante.

Existen distintos métodos de filtración: filtración lenta, filtración rápida y filtración directa. La ejecución de uno u otro método depende, entre otras cosas, de las características del agua que se quiera tratar.

La filtración lenta se caracteriza por ser un proceso predominantemente biológico, por lo que tiene un alto rendimiento bacteriano y son capaces de eliminar cierta proporción de sabor y olor. Los microorganismos quedan adheridos en la parte superior del medio, formando una membrana de biomasa que se remueve periódicamente.

Los filtros lentos son menos eficientes en los casos que el agua posee cantidades importantes de partículas en suspensión, la membrana biológica se obstruye en poco

tiempo pues la porosidad es muy baja y la tasa de filtración también lo es. Por lo tanto, es necesario lavar la arena.

La filtración rápida se aplica siempre y cuando existan tratamientos previos, como lo son la coagulación y la sedimentación. El margen de turbiedad tratable, es en mucho, superior al que se alcanza con los filtros lentos.

El proceso de filtración directa es una alternativa eficiente para la purificación de agua con alto contenido de material coloidal y que requiere coagulación química. Tiene la capacidad de remover altos valores de turbiedad y color.

A continuación, se muestra un ejemplo de un filtro de arena en la Figura 8.

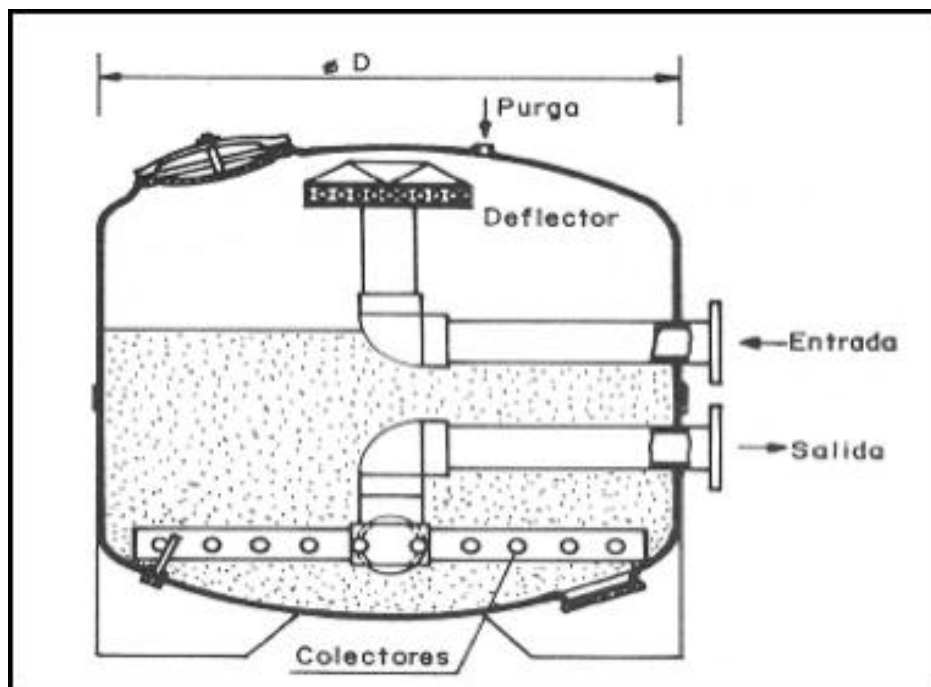


Figura 8: Filtro de arena.

Fuente: Perroulo, J. (16).

2.3 Desinfección del agua

2.3.1 Concepto de desinfección

La desinfección del agua es un proceso unitario de tratamiento que tiene como objetivo garantizar la potabilidad desde el punto de vista microbiológico asegurando la ausencia de microorganismos patógenos en el agua. Al mismo tiempo aminora otros problemas estéticos del agua como la oxidación del hierro, destrucción de compuestos orgánicos causantes de olores, recontaminación, etc.

En términos prácticos, desinfectar el agua significa eliminar de ella los microorganismos existentes, capaces de producir enfermedades. En la desinfección se usa un agente físico o químico para destruir los microorganismos patógenos, que pueden transmitir enfermedades utilizando el agua como vehículo pasivo.

De acuerdo con estudios efectuados a lo largo de la historia, se han definido varios grupos de enfermedades con serias consecuencias en la salud de las personas y que tal vez tienen relación directa con el agua. Las enfermedades pueden ser transmitidas por ingestión del agua contaminada, por simple contacto con ella o, actuar como un vector, por ejemplo el caso del dengue cuyo transmisor es un mosquito, pero el agua constituye el lugar necesario para su criadero. Como es lógico, la eliminación de estos microorganismos resulta un proceso indispensable en el tratamiento potabilizador del agua para garantizar a la población la protección contra muchas enfermedades entre ellas la tifoidea, el cólera, disentería bacilar, hepatitis infecciosa y enfermedades entéricas, entre otras.

Sin embargo, la desinfección es un proceso selectivo: no destruye todos los organismos presentes en el agua y no siempre elimina todos los organismos patógenos. Por eso se requieren procesos previos que los eliminen mediante la coagulación, sedimentación y filtración. Para diferenciar claramente los conceptos referidos a la destrucción de organismos patógenos del agua, es necesario distinguir los siguientes términos:

- a) Agente esterilizante: es aquel capaz de destruir completamente todos los organismos (patógenos o no).
- b) Desinfectante: es el agente que inactiva los gérmenes patógenos.
- c) Bactericida: es el agente capaz de inactivar las bacterias.

d) Cisticida: es aquel agente que tiene la capacidad de inactivar los quistes.

El uso de la desinfección como parte de un proceso de tratamiento del agua puede obedecer a los siguientes objetivos:

- Reducir el contenido inicial de contaminantes microbiológicos en el agua cruda (predesinfección). Este proceso se utiliza solo en casos especiales.
- Desinfectar el agua luego de la filtración. Constituye el uso más importante.
- Desinfección simple de un agua libre de contaminantes fisicoquímicos que no requiere otro tratamiento.

Para que la desinfección sea efectiva, las aguas sujetas al tratamiento deben encontrarse libres de partículas coloidales causantes de turbiedad y color, las cuales pueden convertirse en obstáculos para la acción del agente desinfectante.

La desinfección alcanza una eficiencia máxima cuando el agua tiene una turbiedad cercana a la unidad. Por ello es indispensable desplegar los esfuerzos necesarios para que los procesos de tratamiento previos sean efectivos y eficientes.

2.3.2 Factores que influyen en la desinfección del agua

Los factores que influyen en la desinfección del agua son los siguientes:

- Los microorganismos presentes y su comportamiento

El tipo de microorganismos presentes en el agua tiene influencia definitiva en el proceso de desinfección. La reacción de los microorganismos frente a un desinfectante parece estar determinada por la resistencia de sus membranas celulares a la penetración del mismo y por la relativa afinidad química con las sustancias vitales del microorganismo.

Las bacterias como las del grupo coliforme y las salmonelas son las menos resistentes a la desinfección, pues su respiración se efectúa en la superficie de la célula.

El número de microorganismos presentes en el agua no afecta el proceso de desinfección. Ello quiere decir que para matar una gran cantidad de microorganismos se requiere la

misma concentración y tiempo de contacto del desinfectante que para eliminar una cantidad pequeña, siempre y cuando la temperatura y pH del agua sean los mismos.

Cuando las bacterias forman aglomerados celulares, las que se encuentran protegidas en el interior pueden sobrevivir luego del proceso de dosificación del desinfectante. Para evitar que esto ocurra, es necesario favorecer la distribución uniforme de los microorganismos en el agua, lo cual se puede lograr mediante la agitación.

- La naturaleza y concentración del agente desinfectante

Desinfectantes como el cloro y derivados pueden formar en el agua una serie de especies químicas cloradas, de diferente eficiencia desinfectante. Por otro lado, la concentración del desinfectante determinará el tiempo de contacto necesario para destruir todos los microorganismos presentes en el agua.

- La temperatura del agua

Por lo general, la temperatura favorece el proceso de desinfección.

Sin embargo, es necesario tener en cuenta que la solubilidad de los agentes desinfectantes en estado gaseoso es inversamente proporcional a la temperatura. Por tanto, en condiciones extremas de temperatura —por ejemplo, en lugares donde el agua llega a menos de 5 °C o en otros donde puede tener 35 °C—, la cantidad del desinfectante disuelto en el agua variará considerablemente; será menor a mayor temperatura y viceversa.

- La naturaleza y calidad del agua

La materia en suspensión puede proteger a los microorganismos existentes en el agua e interferir en la desinfección. La materia orgánica puede reaccionar con los desinfectantes químicos y cambiar su estructura.

En ciertos casos, si en el agua persisten compuestos orgánicos que no han sido removidos en los procesos previos a la desinfección, se pueden generar derivados tóxicos o

compuestos que confieren sabor u olor al agua, muchos de ellos desagradables, lo que cambiaría su calidad organoléptica.

- El pH

El pH del agua es de suma importancia para la vida de los microorganismos acuáticos, ya que valores muy altos o muy bajos ofrecen a los microorganismos un medio adverso, con excepción de los quistes de amebas, que soportan pH tan altos como 13 ó tan bajos como 1. Por otra parte, la acción de los desinfectantes es fuertemente influenciada por el pH del agua. De acuerdo con su naturaleza, cada desinfectante tiene un rango de pH de mayor efectividad. Sin embargo, la práctica demuestra que cuanto más alcalina es el agua requiere mayor dosis de desinfectante para una misma temperatura y tiempo de contacto.

- El tiempo de contacto

Cuanto mayor es el tiempo de contacto, mayor será la posibilidad de destrucción de los microorganismos para una cierta dosis de cloro aplicado.

2.3.3 Características deseables de un desinfectante

Para que sea idóneo, un desinfectante de agua para consumo humano, debe satisfacer ciertos criterios generales entre los cuales se encuentran los siguientes (1):

- Debe poder destruir o inactivar, dentro de un tiempo dado, las clases y números de microorganismos patógenos que pueden estar presentes en el agua que se va a desinfectar.
- El análisis para determinar la concentración de desinfectante en el agua debe ser exacto, sencillo, rápido y apropiado para hacerlo tanto en el terreno como en el laboratorio.
- El desinfectante debe ser fiable para usarse dentro del rango de condiciones que podrían encontrarse en el abastecimiento de agua.

- Debe poder mantener una concentración residual adecuada en el sistema de distribución de agua para evitar una posterior contaminación o que los microorganismos se reproduzcan.
- El desinfectante debe ser razonablemente seguro y conveniente de manejar y aplicar en las situaciones en que se prevé su uso.
- El costo del equipo, su instalación, operación, mantenimiento y reparación, así como la adquisición y el manejo de los materiales requeridos para sustentar permanentemente una dosificación eficaz, debe ser razonable.

2.3.4 Desinfección con cloro

Propiedades del cloro

El elemento cloro fue descubierto en 1774 por el químico sueco C.W.Scheele; en 1805 Thomas Northuore licuó el gas por primera vez, y en 1810 fue identificado como elemento por Sir Humphrey Davy, quien le dio el nombre de cloro. El cloro existe como un gas amarillo-verdoso a temperaturas ordinarias. Algunas propiedades químicas del cloro se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2: Algunas propiedades químicas del cloro.

Nombre	Cloro
Número atómico	17
Valencias	+1,-1,3,5,7
Estado de Oxidación	-1
Masa Atómica(g/mol)	35,453
Densidad(g/ml)	1,56
Punto de Ebullición(°C)	-34,7
Punto de Fusión(°C)	-101,0

Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (3).

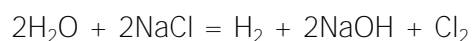
El cloro seco es algo inerte, pero húmedo se combina directamente con la mayor parte de los elementos. Actualmente se produce cloro en el ámbito comercial por medio de una oxidación anódica de cloruro sódico en solución acuosa:



Simultáneamente, se producen hidrógeno e hidróxido de sodio en el cátodo,



Por lo tanto, la reacción total, es la siguiente:



El gas se licúa por presión a 1.75 kg/cm², a una temperatura entre -4°C y -18°C. En el Cuadro 3 se presentan algunas propiedades físicas del cloro.

Cuadro 3: Algunas propiedades físicas del cloro.

Nombre	Cloro
Temperatura crítica	143,5 °C
Presión crítica	76,1 atm
Densidad	0,56 g/cm ³
Gravedad específica (líquido)	1,57 g/cm ³
Punto de ebullición (líquido)	-34,05 °C
Punto de congelación (líquido)	-102,4 °C
Solubilidad en el agua	7300 mg/L a 20°C y 1 atm
Peso molecular	70,96 g/mol

Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (3).

Como se puede apreciar en el cuadro anterior, el cloro presenta una solubilidad de menos del 1 en el agua. Por lo tanto, es preciso utilizarlo en cilindros y no en soluciones acuosas para el abastecimiento de plantas de agua potable.

Cloración

La cloración es un proceso de desinfección que hasta el presente reúne las mayores ventajas en un desinfectante, ya que es eficiente, barato, fácil de aplicar y deja un efecto residual que se puede medir por sistemas simples y al alcance de todos. Este último se comprime a 1,74 atm y se enfría a 4 ó 18 °C hasta licuarlo, hecho esto se envasa en cilindros metálicos resistentes que lo conservan a alta presión.

Sin embargo, la cloración con cloro tiene algunas desventajas como por ejemplo que es corrosivo y en algunos casos puede producir un sabor desagradable en el agua.

El cloro gaseoso en altas concentraciones resulta tóxico y hay que manejarlo por consiguiente con mucha precaución. En lo posible debe existir en la planta un equipo de protección que consiste en una máscara y guantes que el operador pueda disponer cada vez que entra al depósito de cloro o cuando se presumen averías o escapes en aparatos. Puede aplicarse también el cloro utilizando algunas sales. Las más conocidas de éstas son: el Hipoclorito de Calcio y el Hipoclorito de Sodio, ya sea en forma granular, tabletas o líquido. El cloro y los hipocloritos producen reacciones similares en el agua y su eficiencia bactericida es idéntica. La única diferencia es que el cloro baja un poco el pH y el hipoclorito lo sube ligeramente. El cloro se emplea más que todo en plantas medianas y grandes. Los hipocloritos en plantas pequeñas, en piscinas y pozos, ya que los hipocloradores son más sencillos y baratos, ya que son simples bombas dosificadoras. El costo de hipoclorito es más alto que el de la cloración con cloro gaseoso, pero en lugares en donde no se puede transportar cilindros de cloro, como los que se mencionó anteriormente, o para situaciones de emergencia, es la única alternativa posible.

Al agregarle Cloro al agua ocurren las siguientes reacciones:

- Parte del Cloro se combina con el agua formando ácido hipocloroso, HOCl y ión hipoclorito OCl. A éstos compuestos se les llama Cloro Residual.
- Si hay amoníaco o nitrógeno orgánico en el agua, otra parte del cloro reacciona también con él y forma monoclaramina, NH_2Cl , dicloramina NHCl_2 y en ciertas ocasiones tricloruros de nitrógeno NCl_3 . A estos compuestos se les llama Cloro Residual Combinado.
- Si existe la presencia de materia orgánica en el agua, así como diversas sustancias químicas, el Cloro por último reacciona con éstas.

Lo anteriormente mencionado se puede sintetizar en la siguiente Figura 9.

A la cantidad de Cloro gastado en la oxidación de dichos compuestos se le conoce como demanda.

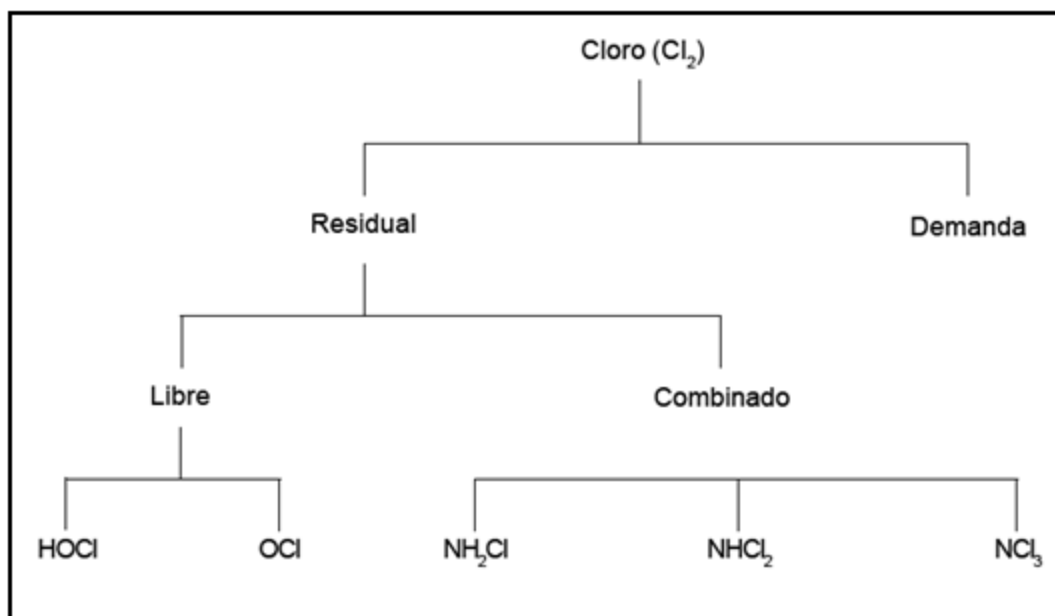


Figura 9: Esquema general del cloro y sus derivados.

Los tipos de reacción del cloro en el agua y su efecto en el proceso de desinfección se pueden observar en el Cuadro 4.

Cuadro 4: Tipos de reacción del cloro.

Reaccionantes	Productos	Nombre	Efecto Desinfectante
Agua	HOCl, OCl ⁻	Cloro libre	Potente
Nitrógeno amoniacal	Cloraminas	Cloro combinado	Pobre
Materia orgánica, Fe, Mn, SO ₂ , H ₂ S, etc.	-	Demanda cloro consumido	Nulo

Fuente: Organización Panamericana de la Salud (1).

A continuación, en el Cuadro 5, se muestran las principales características del cloro y sus derivados.

Cuadro 5: Principales características del cloro y sus derivados.

Fórmula	Cl₂	Cl₂	NaOCl	Ca(OCl)₂
Peso molecular	70,9	70,9	74,45	142,99
Estado	Gas	Líquido	Líquido	Granular
Color	Verde	Verde	Amarillo	Amarillo
Peso específico	2,48	2,48	1,2	0,8
Punto de congelación		-100,98		
Punto de licuefacción	-34,5°C	-35,5°C		
Cloro disponible	99,80%	99,80%	12 -15%	70%
Forma de empaque		Cilindros	Barriles	Barriles,sacos
Materiales que resisten el ataque	Seco: Hierro negro, cobre y acero.Húmedo: vidrio,plata, caucho.	Seco:Hierro negro, cobre y acero.Húmedo: PVC, teflón, polietileno.	Cerámico, vidrio, plástico ó caucho.	Cerámico, vidrio, plástico ó caucho.

Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (3).

Tasa de desinfección química

El progreso de la desinfección del agua no es instantáneo sino que se realiza progresivamente, con más o menos velocidad a través del tiempo y se considera terminado cuando el 100% (99.99%) de los organismos que se tratan de destruir han muerto. La forma como este proceso se realiza puede describirse matemáticamente, considerando que se trata de una reacción de primer orden y que por lo tanto el número de organismos destruidos en la unidad de tiempo es proporcional al número de organismos remanentes en el tiempo t.

Cuando los microorganismos son expuestos, bajo condiciones ideales, a la acción de un desinfectante la tasa de destrucción sigue la Ley de Chick. Esta ley señala que el número de microorganismos destruidos por unidad de tiempo es proporcional al número de microorganismos remanentes. Esto se explica de la forma siguiente:

$$-\frac{dn}{dt} = kn$$

donde:

n = número de microorganismos por litro

t = tiempo en minutos

k = constante de velocidad

Integrando el primer término de esta expresión entre n_0 (número de organismos en el tiempo $t=0$) y n (número de organismos en el tiempo $t=t$) y el segundo término, entre $t=0$ y $t=t$, se obtiene:

$$\int_{n_0}^n \frac{dn}{n} = -k \int_0^t dt$$

$$\log n - \log n_0 = -kt$$

$$\frac{n}{n_0} = e^{(-kt)}$$

Al aplicar los logaritmos en la expresión anterior se tiene que:

$$T = \frac{1}{k \cdot \ln\left(\frac{n_0}{n}\right)}$$

En consecuencia, se obtendrá una línea recta en los casos en los que se cumple la Ley de Chick como se muestra en la Figura 10. Sin embargo, no siempre el proceso de destrucción de microorganismos es una reacción de primer orden, y por lo tanto se presentan frecuentemente desviaciones a la Ley de Chick.

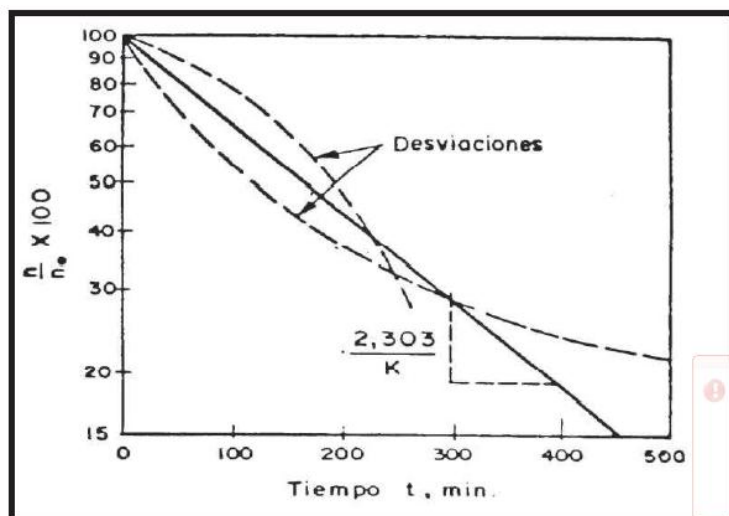


Figura10: Representación gráfica de la Ley de Chick.

Fuente: Jorge Arboleda Valencia (10).

En resumen, la Ley de Chick plantea que la tasa de mortalidad es proporcional al número de microorganismos presentes en un tiempo específico. Esto implica una susceptibilidad uniforme de todas las especies presentes, para un desinfectante en particular, una concentración constante de desinfección y la ausencia de interferencia de otros componentes.

El valor K ha sido evaluado para distintos microorganismos y desinfectantes (10), lo que permite conocer la relación concentración-tiempo necesario para realizar la desinfección. Algunos valores de K se pueden observar en el Cuadro 6.

Cuadro 6: Algunos valores de K

Organismo	HOCl	OCl	NH ₂ Cl
E. Coli	0,24	15,6	66,0
Virus poliometitis	1,20	---	---
Virus coxsakie A2	6,30	---	---

Fuente: Jorge Arboleda Valencia (10).

Comparadores de cloro

Existen dos métodos de medición, el de Ortotolidina y el de DPD (dietil-p-fenilen diamina). El más utilizado es el de DPD ya que el otro ha caído en desuso porque según diversos

estudios la ortotolidina podría producir cáncer (5). Se encuentran gran variedad de equipos en el mercado, dentro de los principales que usan el método de DPD, están los comparadores de disco y los comprobadores de placa.

Para el caso del comparador de disco, que utiliza el método DPD, el procedimiento a seguir es el siguiente:

- Se debe enjuagar bien la botella mezcladora con el agua a analizar. Una vez enjuagada, se debe llenar la botella con el agua a analizar hasta la marca de 25 ml.
- Con unas pinzas se debe abrir la almohadilla de reactivo DPD para cloro libre. Se vierte el contenido de la almohadilla en la botella. Se debe mover en círculo para mezclar. El reactivo en polvo no tiene que disolverse completamente, para obtener un resultado satisfactorio.
- Luego se debe llenar uno de los tubos de ensayo, hasta aproximadamente una pulgada debajo del borde superior.
- Se debe poner el adaptador, para mirar la muestra en profundidad, con el comparador de cloro.
- Luego se debe poner el tubo con la muestra preparada, en la abertura del comparador.
- Seguidamente se debe orientar el comparador con la boca de los tubos, mirando hacia una ventana o hacia la luz. Se debe mirar, entonces, a través de las ventanillas que hay en la parte delantera del comparador. Se debe tener especial cuidado de que a la hora de estar mirando, no derramar las muestras de los tubos, ya que éstos deben estar destapados.
- Se debe girar el disco de color hasta que los colores del disco y del tubo coincidan. Antes de que pase un minuto de haber preparado la muestra, se debe leer la concentración del cloro en la ventanilla inferior que el comparador tiene para la lectura. Ya con esta medición se debe dividir el valor observado por 5 para obtener los mg/l de cloro libre.

En la Figura 11 se muestra tanto el comparador de cloro, como la muestra de agua con el reactivo DPD.



Figura 11: Comparador de cloro y muestra de agua con el reactivo DPD.

2.4 Legislación sobre la desinfección del agua en Costa Rica

Como se ha mencionado anteriormente, el proceso de desinfección se utiliza como una serie de procesos y operaciones de tratamientos unitarios en una planta potabilizadora de agua. Sin embargo, en acueductos rurales se aplica como único tratamiento de aguas naturales (aguas subterráneas o de manantial) para garantizar la ausencia de indicadores de contaminación fecal entre el punto de aplicación y el punto de entrega al usuario. Además la desinfección debe aplicarse para mantener un nivel residual, que garantice la calidad del agua de contaminaciones eventuales a través de todo el sistema de distribución.

La dosis de desinfectante que se aplica al agua corresponde a cantidades de partes por millón (mg/L) que se aplica al agua. La dosis que se debe aplicar varía con la demanda de cada agua en particular.

La desinfección con cloro es función del tipo residual que se tenga. Para la destrucción de bacterias indicadoras el mínimo de cloro, en la red, dependiendo del pH del agua y el tiempo mínimo de contacto, se recomienda lo descrito en el Cuadro 7.

Cuadro 7: Cloro mínimo, en la red, para la destrucción de bacterias.

Valor del pH	Cloro Residual Libre(mg/L) Tiempo mínimo de contacto de 20 minutos	Cloro Residual Combinado(mg/L) Tiempo mínimo de contacto de 60 minutos
6.0-7.0	0.3	1.0
7.1-8.0	0.5	1.5
8.1-9.0	0.6	1.8

Fuente: Reglamento sobre la calidad del agua potable.

Los puntos de adición del desinfectante deben ser a la salida de los procesos de tratamiento de la plantas, asegurándose que exista el periodo de contacto adecuado antes de que el agua entre al sistema de distribución.

Los puntos de redesinfección pueden ser:

- Al final de una línea larga de alimentación dentro del sistema de distribución.
- En un punto donde una tubería principal deriva agua hacia otra comunidad próxima.
- En un punto del sistema donde exista una estación de bombeo, en el tanque de almacenamiento.

Para todos los efectos de regulaciones en la calidad del agua potable abastecida, los organismos operadores se sujetarán al Reglamento de la Calidad del Agua Potable que contiene los valores para los parámetros físicos, químicos, biológicos y microbiológicos en sus aspectos estéticos, organolépticos y de significado para la salud.

En el reglamento, antes mencionado, se establecen cuatro niveles de Control de Calidad del Agua:

- Nivel Primero (N1): corresponde al programa de control básico junto con la inspección sanitaria, para evaluar la operación y mantenimiento en la fuente, el almacenamiento y la distribución del agua potable. Los parámetros en este nivel son: coliformes termotolerantes (fecales), Escherichia Coli, color aparente, turbiedad, olor, sabor, temperatura, pH, conductividad, y cloro residual libre o combinado. Si la inspección sanitaria establece otros riesgos de contaminación,

deberán adicionarse al programa de control básico, los parámetros necesarios. Los valores admisibles, para los parámetros estudiados en este trabajo, se muestran a continuación en el Cuadro 8.

Cuadro 8: Algunos parámetros de calidad del agua para el N1.

Parámetro	Unidad	Valor Recomendado	Valor Máximo Admisible
Coliforme fecal	NMP/100 mL	Ausente	Ausente
Escherichia coli*	NMP/100 mL	Ausente	Ausente
Cloro Residual Libre	mg/L	0,3	0,6
Cloro Residual Combinado	Mg/L	1,0	1,8

*El indicador bacteriológico más preciso de contaminación fecal es la Escherichia coli.

Fuente: Reglamento sobre la calidad del agua potable.

- Nivel Segundo (N2): corresponde al programa de control básico ampliado (N1), el análisis de tendencias temporales de variaciones de calidad en las fuentes de abastecimiento, a ser aplicado en muestras de agua potable en la fuente, su almacenamiento y distribución. Los parámetros en esta etapa de control son todos los establecidos en el nivel N1, ampliados con: dureza total, cloruro, fluoruro, nitrato, sulfato, aluminio, calcio, magnesio, sodio, potasio, hierro, manganeso, zinc, cobre, plomo.
- Nivel Tercero (N3): corresponde al programa de control avanzado del agua potable. Comprende la ejecución de los parámetros del nivel N2 ampliados con: nitrito, amonio, arsénico, cadmio, cromo, mercurio, níquel, antimonio, selenio y residuos de plaguicidas.
- Nivel Cuarto (N4): corresponde a programas ocasionales ejecutados por situaciones especiales, de emergencia o porque la inspección sanitaria identifica un riesgo inminente de contaminación del agua. Los parámetros a analizar según sea la situación identificada pueden ser: sólidos totales disueltos, sulfuro de hidrógeno, cianuros, sustancias orgánicas de significado para la salud, desinfectantes y

subproductos de la desinfección. Otros parámetros como: *Siguella* sp., *Salmonella* sp., *Estreptococos* fecales, *Vibrio cholerae* 01 toxigénico, *Aeromonas hydrophila*, nemátodos, *Entamoeba hystolytica*, *Cryptosporidium*, Virus de Hepatitis A., Enterovirus y cianobacterias tóxicas, deben estar ausentes en las muestras analizadas. Como indicadores e vulnerabilidad de un sistema pueden utilizarse los coliformes totales.

Las entidades públicas y privadas que fungen como operadores de servicios públicos, deben tomar las acciones requeridas para que se cumpla:

- El programa de control hasta el nivel primero en todos los acueductos del país.
- El programa de control hasta nivel segundo en todos los acueductos con población abastecida superior a 10.000 habitantes.
- El programa de control hasta el nivel tercero en todos los acueductos con población abastecida superior a 50.000 habitantes.

Para implementar el Programa de Control de Calidad del Agua, el ente operador debe cumplir como mínimo con:

- Identificar la zona de abastecimiento

La zona de abastecimiento corresponde al área geográfica del sistema, de características homogéneas en relación con la fuente y sus componentes relacionados: almacenamiento y sector de la red de distribución. Además en sistemas con más de una fuente, la recolección de muestras debe ser realizada teniendo en cuenta el número de habitantes abastecido con cada fuente.

- Puntos de recolección de muestras

Los puntos de recolección de muestras deben ser seleccionados de modo que sean representativos de las zonas de abastecimiento; iniciando con la fuente, almacenamiento y terminando en la red de distribución. El grifo de muestreo debe estar ubicado lo más

próximo a la conexión domiciliar controlada por el operador, libre de la influencia de la cisterna, tanque elevado o cualquier otro tipo de almacenamiento intradomiciliar de agua.

Los puntos deben ser uniformemente distribuidos en cada zona de abastecimiento.

El número de muestras bacteriológicas y físico-químicas, en la red de distribución, debe ser proporcional al número de habitantes atendidos en cada zona de abastecimiento.

Los puntos deben ser ubicados: a la salida de la planta de tratamiento, salida de tanques de almacenamiento, salida de las fuentes subterráneas (pozos, manantiales, galerías de infiltración, etc.), en la red primaria y secundaria de distribución.

- Frecuencia de recolección de muestras

Con la finalidad de asegurar que el agua de abastecimiento satisface los requisitos del Reglamento de la Calidad del Agua Potable, es necesario recolectar las muestras con la periodicidad que establece en el Cuadro 9.

Cuadro 9: Frecuencia mínima de análisis y número de muestras.

Población abastecida (base del cálculo: 200 litros por habitante y por día)	<u>Análisis N1</u> ^a		<u>Análisis N2</u> ^b	<u>Análisis N3</u> ^c
	Frecuencia/ No. de muestras en		Frecuencia/ No. de muestras	Frecuencia/ No. de muestras
	Fuentes	Redes		
Menos de 2.000	Semestral	Semestral/3	Anual/1	Anual/1
2.001 a 5.000	Trimestral	Trimestral/3	Anual/1	Anual/1
5.001 a 10.000	Mensual	Mensual/3	Semestral/1	Anual/1
10.001 a 15.000	Mensual	Quincenal/3	Semestral/1	Anual/1
15.001 a 20.000	Mensual	Quincenal/6	Semestral/1	Anual/1
más de 20.000	Mensual	Quincenal/ ^d	Trimestral/1	Semestral/1
más de 100.000	Mensual	Diario/ ^e	Trimestral/1	Semestral/1

¹ La frecuencia y número de muestras para los análisis del nivel 4, serán establecidos de acuerdo a cada situación particular.

^a En cada visita, se deberá recolectar muestras bacteriológicas en las fuentes y el almacenamiento y de la red de distribución. Los puntos de análisis físico-químicos, en la red de distribución, son los mismos de los bacteriológicos, pero con frecuencia semestral o trimestral, cuando se tenga identificada la línea base de calidad. El procedimiento de recolección de muestras en estructuras de almacenamiento debe asegurar la representatividad de la muestra.

^{b c} En estos niveles solamente, se recolectan muestras en las fuentes de abastecimiento, a no ser que la inspección sanitaria lo establezca, para la red de distribución.

^d Una muestra adicional, por cada 5 000 habitantes.

^e Una muestra adicional por cada 10 000 habitantes.

Fuente: Reglamento sobre la calidad del agua potable.

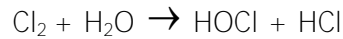
Capítulo III

Principales tecnologías utilizadas en Costa Rica para la
desinfección del agua

Capítulo 3. Principales tecnologías utilizadas en Costa Rica para la desinfección del agua

3.1 Cloro- Gas

El gas cloro (Cl_2) desinfecta el agua de acuerdo a las siguientes reacciones:



El ácido hipocloroso, HOCl, se descompone en el ion hipoclorito, ClO^- . Este ion hipoclorito es el cloro libre disponible o agente verdadero de la desinfección. La mitad del cloro dosificado en forma de ácido clorhídrico (HCl) que no es un desinfectante, por lo que la mitad del cloro dosificado se pierde.

El cloro gaseoso es cerca de 2.5 veces más pesado que el aire. A presión atmosférica normal, entra en punto de ebullición a -34°C transformándose en gas. Un litro de cloro líquido se transforma en 460 litros de cloro gaseoso. Disperso en la atmósfera el olor del cloro se hace perceptible a una concentración de 0,003 litros por metro cúbico de aire. El cloro concentrado a $0,0015 \text{ L/m}^3$ causa irritación en las mucosas. Concentrado a $0,03 \text{ L/m}^3$ se vuelve fatal matando instantáneamente.

El cloro, tanto líquido como gaseoso en ausencia de humedad no ataca los metales ferrosos, pudiéndose almacenar con seguridad en cilindros de acero. En cambio, el cloro bajo un ambiente de humedad se convierte en un agente corrosivo para los metales por lo que para la cloración propiamente dicha deben utilizarse cloradores construidos con materiales resistentes a su acción corrosiva como lo son el PVC, el polietileno y la fibra de vidrio.

El símbolo para el Cloro establecido por la Asociación Nacional para la Protección contra el Fuego (NFPA) se muestra en la siguiente Figura 12.



Figura 12: Símbolo del Cloro dado por la NFPA.

3.1.1 Dosificación de cloro gas

Los cloradores de gas disponen de un rotámetro o dispositivo de medición que permite la calibración del equipo. Sin embargo, la mejor manera de determinar la tasa real de cloro gas es a través de la fluctuación del peso de los cilindros. Por lo tanto, es obligatorio el uso de balanzas apropiadas que permitan determinar este gasto en el tiempo.

La cantidad de cloro a dosificar se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$M = D \times Q$$

Donde:

M (gCl/mh) = cantidad de cloro a dosificar

D (gCl/m³) = dosis de cloro

Q (m³/h) = caudal de cloro a tratar

3.1.2 Equipos dosificadores de cloro gas

Existen dos formas de dosificar el cloro gas con cilindros a) por solución al vacío, y b) por alimentación directa. En Costa Rica la forma de cloración utilizada es por solución al vacío. Por esta razón se ahondará más en dicha forma.

a) Cloración por solución al vacío

Este tipo de cloración consiste en disolver primero el gas en un flujo de agua pequeño y luego inyectar la solución resultante dentro del flujo de agua a desinfectar. Utiliza la succión y la presión del cilindro para extraer el cloro gas.

La operación de este tipo de cloradores está basada en el vacío parcial creado por una válvula llamada eyector, que se coloca inmediatamente antes del punto de inyección del cloro al agua, que al hacer pasar el flujo de agua crea una subpresión que se comunica a todas las válvulas y conductos del clorador, induciendo la apertura del regulador inicial del gas, esto hace que todas las válvulas y conductos se llenen de cloro gaseoso, el cual circula en ellos a una presión inferior a la atmosférica. En la Figura 13 se muestra la instalación típica de un clorador por solución al vacío.

Características:

- El punto de aplicación debe escogerse suficientemente cerca del clorador, para evitar una línea de descarga demasiado larga.
- Debe instalarse para la operación del clorador un eyector que opera con una línea de agua.
- Si no se tiene una presión de agua disponible que sea suficiente, entonces habrá que instalar una bomba que la supla.

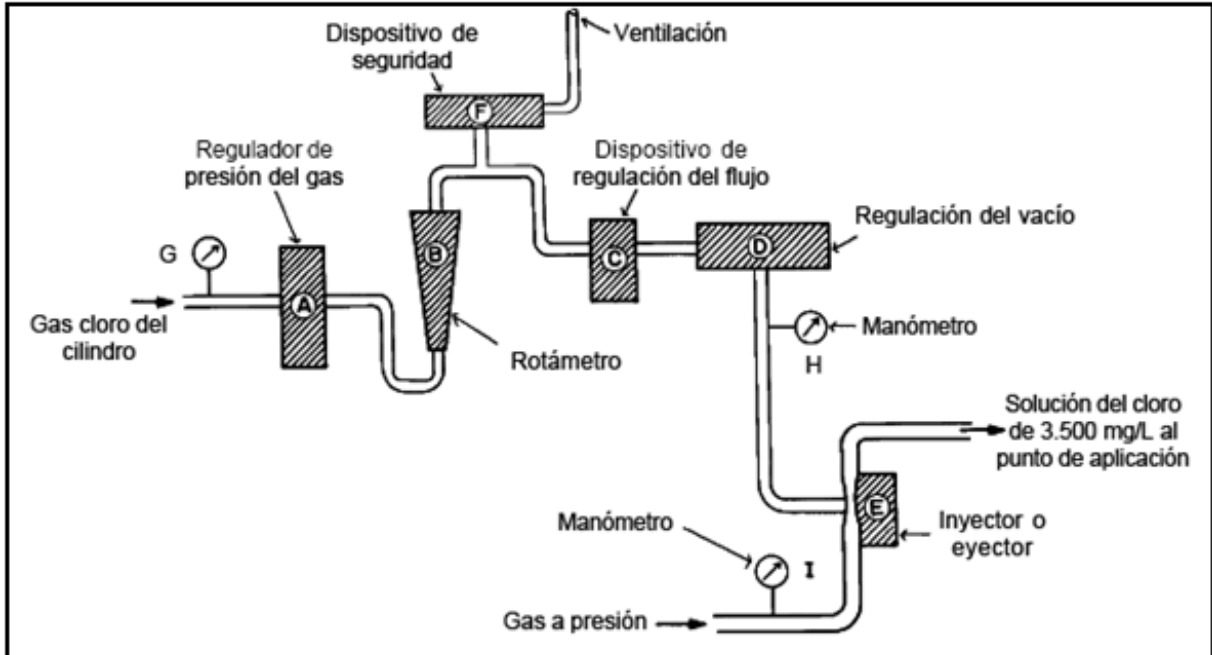


Figura 13: Instalación típica de un clorador por solución al vacío.

Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (5).

Este sistema consta de los siguientes elementos:

- Regulador de presión del gas

El gas que sale de los cilindros a través de la tubería matriz entra al clorador a través de la válvula A, que contiene un diafragma presionado por un muelle, y que regula y mantiene el vacío en el aparato. El vacío en el clorador tiene que ser mayor que la fuerza que desarrolla el muelle para que el diafragma se abra y pueda entrar gas.

- Rotámetro

El gas cloro que sale de la válvula A pasa a través de un rotámetro B que mide el flujo que está pasando. Cada aparato tiene un juego de rotámetros que pueden instalarse para medir diferentes rangos de caudales. El rotámetro se debe solicitar según la capacidad del equipo que se requiera en la planta de tratamiento.

- Dispositivo de regulación del flujo

Los dispositivos de regulación del flujo varían según la marca y la clase de aparato. En algunos casos, se usa un orificio en V que puede desplazarse hacia arriba o hacia abajo, y aumentar o disminuir el área de paso. En otros, en cambio, se usa un cono dentro del caudal que mueve una pieza que puede aumentar o disminuir la sección. Por último, otros fabricantes incluyen un orificio regulado por una válvula de aguja. Estos dispositivos permiten controlar la tasa de flujo con la cual trabaja el clorador y pueden ser operados en forma manual o automática, según el modelo de que se trate.

- Regulación del vacío

Esta válvula tiene por objeto regular el vacío después del orificio medidor C. Consiste en una caja que contiene un diafragma operado por un muelle que regula la posición de éste, de acuerdo con el vacío producido por el eyector.

- Inyector o eyector

Consiste en un tubo Venturi a través del cual pasa una corriente de agua, que crea una subpresión en un diafragma metálico, lo que obliga a este a desplazarse y crear un vacío parcial en todos los conductos y válvulas del clorador. En el inyector o eyector, el gas cloro se mezcla con el agua y produce una solución cuya concentración debe ser de unos 3.500 mg/L.

- Dispositivos de seguridad

Todos los aparatos cloradores deben tener diferentes dispositivos de seguridad que impidan la disminución o aumento excesivo del vacío o de la presión del agua, lo que podría dañar los equipos. Entre estos dispositivos se cuentan los siguientes:

- **La válvula de alivio (F), que se abre cuando el vacío excede de cierto** límite o permite que el clorador succione aire para evitar que salga gas a la atmósfera.
- **La válvula check que va junto al inyector o es parte de él, y que impide** que penetre agua dentro del clorador y se mezcle con el gas, lo que podría dañar todos los elementos internos.

- Controles del clorador

Los cloradores suelen tener los siguientes aparatos de control:

- **Manómetro de presión de entrada del gas.**
- **Manómetro de vacío.**
- **Rotámetro con escala graduada para medir la tasa de flujo que está** pasando por el clorador.
- **Perilla de ajuste** que cambia la posición del orificio variable dentro del clorador y fija el flujo de gas cloro que se quiere aplicar.

- Abastecimiento de agua

Para alimentar el clorador, el agua debe —dentro de lo posible— tener baja turbiedad; no debe contener partículas en suspensión y, sobre todo, debe estar libre de arena. Salvo en contados casos, se requiere instalar una bomba que suministre la presión que necesita el inyector. Dicha bomba debe ser capaz de producir altas presiones al trabajar con flujos pequeños. Los flujos se calculan teniendo en cuenta que la concentración de la solución debe ser de 3.500 mg/L.

Para el correcto funcionamiento del sistema de bombeo, deben incluirse los siguientes elementos:

- Válvula de cierre de la succión
- Criba que retenga las impurezas que puedan bloquear el inyector y, al mismo tiempo, permita extraer lo que haya quedado retenido, sin necesidad de desconectar las tuberías.
- Válvula de aguja para graduar el flujo de recirculación.
- Válvula check colocada después del inyector y antes del clorador. En muchos diseños esta válvula check está incorporada dentro del inyector.
- Manómetro para medir la contrapresión.
- Válvula check de la impulsión para evitar que el agua de la tubería donde se inyecta el cloro pueda devolverse hacia el inyector.
- Válvula de cierre de la tubería de impulsión.

b) Cloración por alimentación directa

Este tipo de cloración consiste en añadir el cloro gaseoso en forma directa. Utiliza solamente la presión del cilindro para extraer el cloro gas.

Los cloradores de alimentación directa funcionan cuando entra el cloro gas a la presión normal a la que está en el cilindro, y llega a la válvula reguladora de presión, en la cual ésta se reduce a 1.4 kg/cm^2 . De allí pasa por el medidor de caudal o rotámetro calibrado en kg/h o lb/día. Luego el gas pasa por un sistema de ajuste que permite fijar la rata de flujo con que se quiere hacer trabajar el clorador y por último, pasa por la válvula de retención al punto de inyección. El cloro se inyecta a la tubería de o tanque por medio de un difusor. En la Figura 14 se muestra la instalación típica de un clorador de alimentación directa.

Características

- La presión en el punto de aplicación debe ser menor de 20 psi, los cloradores por alimentación directa no pueden clorar contra grandes presiones, ya que están limitados por la presión interna del cilindro.
- El punto de aplicación debe estar a menos de 7.5 metros del clorador. No pueden usarse líneas muy largas.
- La aplicación debe hacerse en un punto que brinde adecuado tiempo de contacto y mezcla antes de que llegue a las bombas, válvulas, etc.

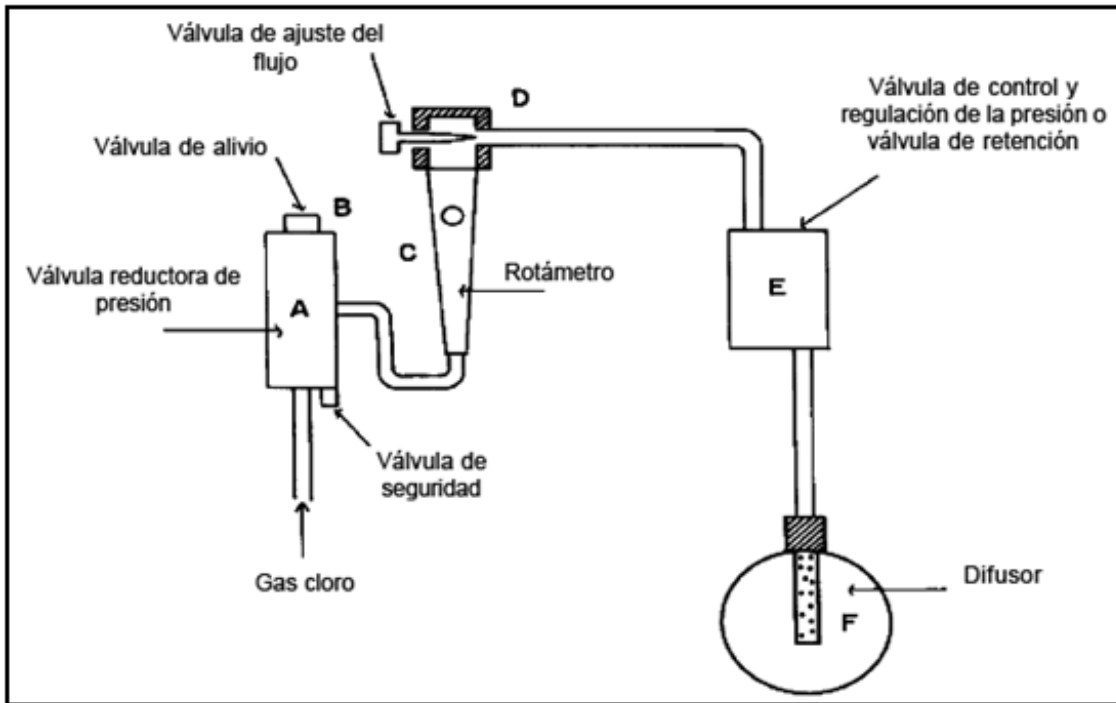


Figura 14: Instalación típica de un clorador por alimentación directa.

Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (5).

Como se mencionó anteriormente los cloradores de alimentación directa funcionan de la siguiente forma: el gas cloro entra a la presión normal a que está en el cilindro, que es de 5,3 a 6,3 kg/cm² y llega a la válvula reguladora de presión del gas A, en la cual esta se reduce a 1,4 kg/cm². La contrapresión en el punto de inyección no puede ser mayor de la mitad de este valor. De allí pasa por el medidor de caudal C, que suele ser un rotámetro calibrado en lb/día o kg/h. Después del rotámetro, el gas pasa por un sistema de ajuste D, que permite fijar la tasa de flujo con que se quiere hacer trabajar el clorador y por último un sistema E que regula automáticamente la presión. En algunas marcas, esta es solamente una válvula de retención.

El cloro se inyecta a la tubería por medio de un difusor F. Una válvula de seguridad impide que el exceso de presión pueda causar un accidente.

Según el fabricante, los dispositivos anteriores pueden ser piezas independientes montadas en un pedestal o integradas en un solo conjunto para ser puestas directamente en los cilindros de cloro. En estos casos, se incluye, además, una válvula de alivio B de

acción manual que permite extraer el cloro que haya quedado en el aparato antes de hacer el cambio de envases. Estos equipos se usan poco por no ser muy seguros.

La selección de uno u otro método depende de los requerimientos y limitaciones de cada caso, tales como, la preferencia personal, máxima presión que pueda darse en el punto de aplicación, distancia del clorador al punto de aplicación, si se dispone del suministro de agua, etc.

Los cloradores por solución se usan más ampliamente y son preferibles en la mayoría de los casos, debido a su capacidad de disponibilidad, a la flexibilidad en el control e instalación y a la adaptabilidad a cualquier requerimiento.

Los cloradores por alimentación directa son más aptos para situaciones de emergencia y en pequeñas instalaciones donde no es posible obtener agua adecuada para abastecer el equipo de cloración por solución.

3.1.3 Accesorios

Dentro de los accesorios más comunes para instalaciones de cloradores, los cuales tienden hacer el trabajo del operador más sencillo, tener mayor seguridad y realizar una cloración más eficiente, están los siguientes:

- Alarmas y dispositivos de emergencia de varios tipos que indiquen cualquier fallo posible.
- Distribuidores de la solución de cloro. Para llevar el cloro a varios puntos de aplicación, provenientes de un mismo clorador.
- Máscara especial para el gas. Para protección del personal en caso de escapes de gas.
- Comparadores de cloro. Para que el operador pueda estar controlando el cloro residual en cualquier sitio y pueda así controlar el equipo.
- Balanzas de varios tipos. Sirven para llevar el control del peso de los cilindros y poder así determinar la cantidad de cloro que se va gastando y poder determinar entonces el suministro de nuevos cilindros.

- "kit" para emergencias. El Instituto del Cloro de los Estados Unidos fabrica diferentes tipos de herramientas que vienen en sus cajas especiales y sirven para el taponamiento de fugas, tanto en cilindros de 68 kg como en los de 908 kg.

3.1.4 Casetas de cloración

En instalaciones de baja dosificación, los cilindros y aparatos cloradores pueden estar en un solo compartimiento y deben montarse directamente en la pared. En instalaciones de alta dosificación, los cilindros y los cloradores deben estar ubicados en ambientes separados.

Las áreas de cloración y almacenamiento deben ser ventiladas, fácilmente accesibles y a la temperatura ambiente normal. La instalación debe estar construida de tal forma que se evite un calentamiento directo sobre los cilindros.

En el área de almacenamiento o cerca de ésta no debe permitirse la presencia de combustibles o materiales inflamables.

Para las instalaciones de baja dosificación será suficiente la ventilación natural. En cambio, para las instalaciones de alta dosificación se deberá prever ventilación forzada por medio de extractores o ventiladores a nivel del piso, de modo que sea posible la descarga de cloro en caso de fuga hacia áreas externas libres, donde no exista posibilidad de causar daños personales o materiales. Se debe además proveer adicionalmente entradas de aire fresco de modo que se permita la ventilación cruzada que propicie la evacuación del cloro gaseoso, si llegara a fugarse.

El área de almacenamiento no debe estar a un nivel inferior al suelo para evitar el depósito del cloro gaseoso en caso de fuga, lo que ocurriría por ser una sustancia más pesada que el aire. Además no debe permitirse ninguna comunicación con escaleras de acceso por la razón antes mencionada.

La sala de cloración no deberá tener un área inferior a los seis metros cuadrados, sin excepción.

La puerta de acceso a la sala de cloración será recomendable que abra para afuera con el propósito de asegurar, en caso de fuga, la evacuación del cloro gaseoso por ventilación natural o por extracción mecánica si se dispone del sistema.

La sala de cloración de alta dosificación deberá disponer de un detector de cloro especial que actúe con una señal luminosa o sonora cuando haya escape de cloro en la zona de operación o almacenamiento.

El cloro, como se ha mencionado anteriormente, es un gas peligroso, por lo que debe manejarse con cuidado. Para garantizar la mayor seguridad y economía, los sistemas de cloración de gas deben ser diseñados e instalados por personas experimentadas y deben ubicarse lejos de laboratorios, almacenes, oficinas, salas de operación, etc., para evitar la contaminación ante una posible fuga. En la Figura 15 se muestra un plano típico para la instalación pequeña de cloración con gas.

Los cilindros de cloro deben guardarse en una habitación separada, diseñada específicamente para ese fin. Además, como se mencionó anteriormente, los cilindros de cloro nunca se deben guardar donde les dé la luz solar directa para evitar que se calienten. Se debe proporcionar la ventilación adecuada a las instalaciones, siempre en el nivel del piso ya que el cloro es más pesado que el aire. Los cilindros de una tonelada de capacidad se colocan en posición horizontal, por lo cual deberán contar con grúas para su recambio y de un sistema de anclaje para evitar su rodamiento.

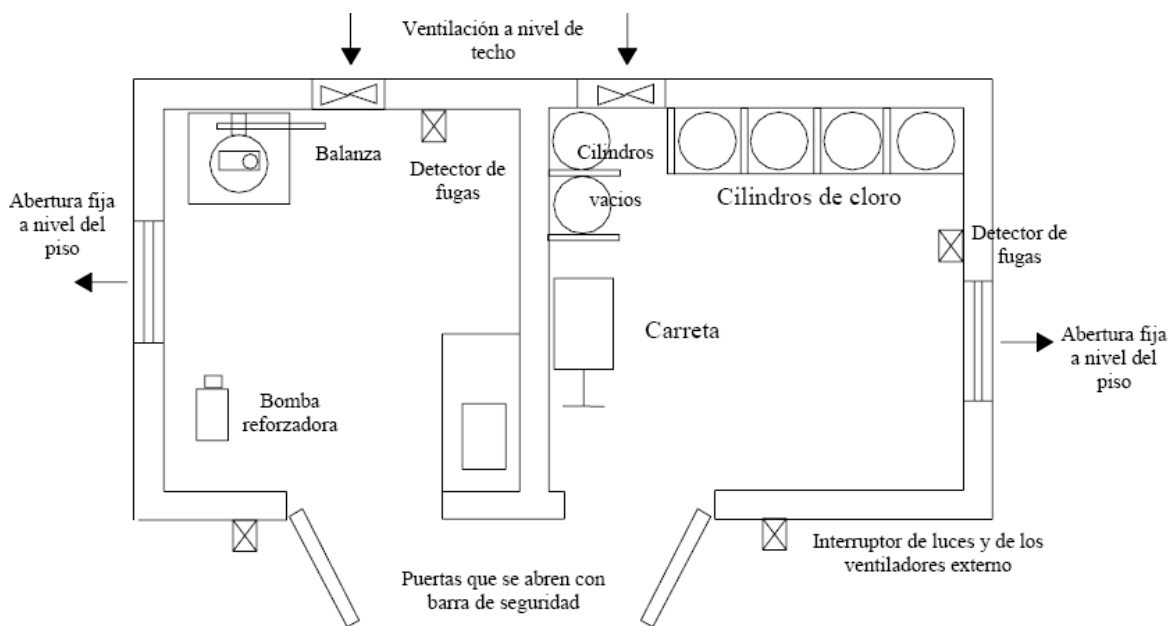


Figura 15: Plano típico de una caseta pequeña de cloro gas.

Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (5).

3.1.5 Cilindros de cloro gas

Características de los cilindros

El cloro gaseoso se obtiene comercialmente envasado a presión en forma líquida, en cilindros metálicos de diferentes capacidades. El máximo flujo de gas que se puede extraer de un cilindro depende del tamaño del mismo, como se indica en el Cuadro 10.

Cuadro10: Características de los cilindros de cloro gas.

Capacidad	Tara	Diámetro Exterior	Longitud
kg	Kg	mm	Mm
45	29-52	210-273	1003-1499
68	39-64	260-273	1346-1422
907	590-748	762	2026-2096

Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (3).

El número de cilindros que se deben mantener en planta dependerá del grado de facilidad y confiabilidad del suministro de cloro en el país. La reserva que se puede mantener en almacén puede variar según el caso. Adicionalmente, hay que tener en cuenta los cilindros vacíos que están en espera y los llenos que están en camino.

Si (Q) es el consumo de cloro, en kg/día, (t) el tiempo de almacenaje en días considerado seguro y (C) la capacidad del cilindro de cloro (75 kg ó 1.000 kg), el número (N) de cilindros que deben adquirirse se podría hallar con la siguiente expresión:

$$N = \frac{1.25Qt}{C} + 6$$

A partir de estos datos, se puede establecer el espacio disponible que se necesita tener para el almacenaje y la forma de hacerlo. Cuando se trata de cilindros pequeños de 50 y 75 kg, cuyo peso total lleno es de 83 a 117 kg, el manejo de los envases puede hacerse manualmente. En cambio, cuando se usan cilindros de una tonelada, cuyo peso total lleno

alcanza aproximadamente 1.680 kg, se necesita emplear poleas montadas sobre rieles y ganchos especiales, como lo muestra la Figura 16.

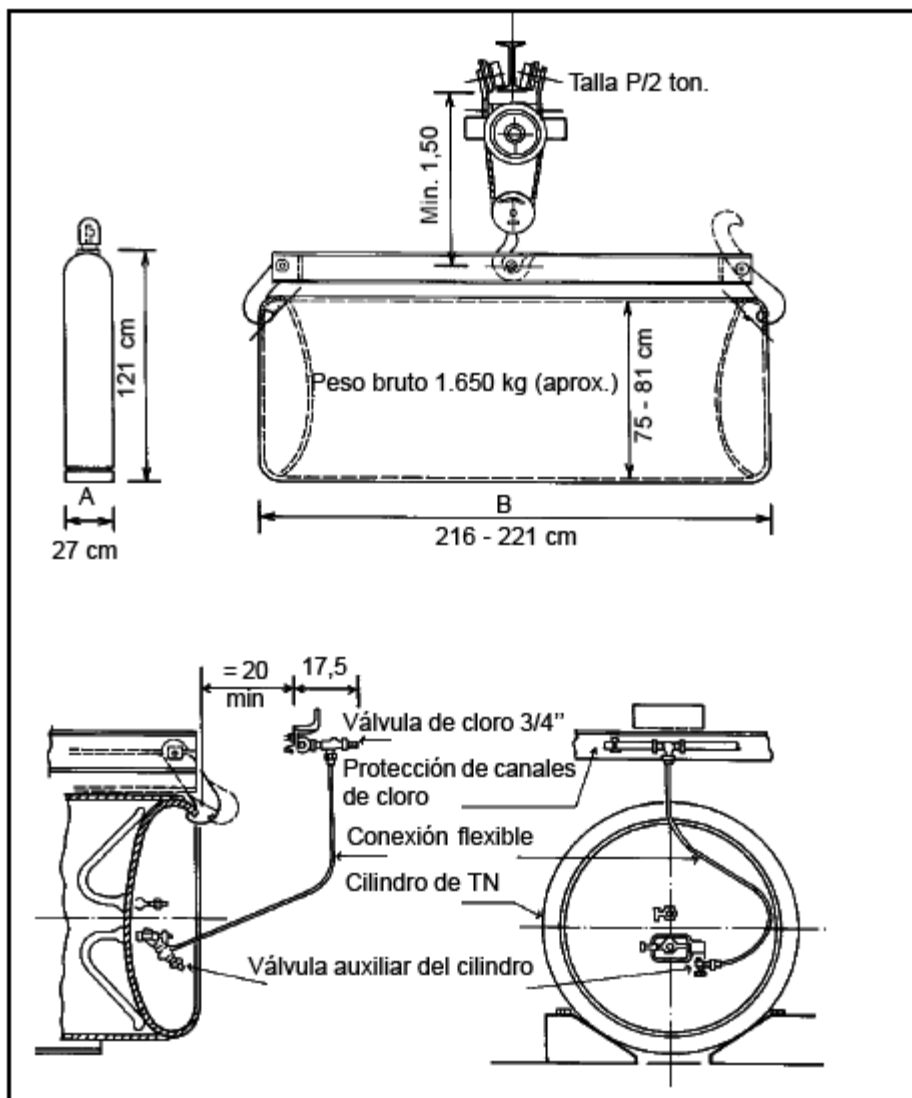


Figura 16: Poleas y ganchos especiales para el transporte de los cilindros de una tonelada.

Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (5).

Transporte de los cilindros

Los cilindros deberán transportarse y manipularse con el cuidado máximo que requieren, evitándose caídas bruscas y golpes contra objetos.

Los cilindros de cloro bajo ninguna circunstancia deberán utilizarse como rodillos de transporte de objetos o volúmenes pesados.

Los cilindros de 45, 53 y 68 kg deben transportarse en carritos de mano apropiados, soportados en 2/3 partes de su altura por una abrazadera. No es aconsejable levantar los cilindros, salvo en casos de fuerza mayor en los que se deberá utilizar un levantador con abrazaderas únicamente. Cualquier otro sistema de levantado no es aceptable.

No deben suspenderse los cilindros por su cabeza ya que el sistema de sujeción al cilindro resulta insuficiente para soportar el peso del conjunto.

Los cilindros de 908 kg deben levantarse por guindantes de cadena apoyadas en soportes aéreos móviles adecuados. Una cadena equipada con ganchos fuertes que enganchen en los bordes de las extremidades de los cilindros es un dispositivo satisfactorio para el levantamiento y transporte de los cilindros grandes. Alternativamente si se dispone del espacio suficiente se permite remover los cilindros de 908 kg del punto de almacenamiento al punto de utilización y viceversa, empleando un carrito especialmente equipado para el efecto.

Los cilindros deberán devolverse inmediatamente después de vaciados. Antes de devolverlos se debe asegurar que todos los cilindros estén completamente vacíos y sus válvulas perfectamente cerradas.

No se deben despachar cilindros parcialmente llenos pues aumentan los riesgos en la manipulación. Si se debe despachar un cilindro lleno debe verificarse previamente que no exista fuga.

Almacenamiento de los cilindros

Los cilindros deben ser almacenados, como se mencionó anteriormente, en un local seco y ventilado, protegidos de los rayos solares directos y de la lluvia. Deben quedar distantes de las fuentes de calor y materiales combustibles, de preferencia en compartimientos a prueba de fuego.

La zona circundante a la sala de cloración deberá mantenerse limpia de desperdicios para evitar el riesgo de incendio.

Nunca se deben almacenar los cilindros de cloro cerca de otras sustancias químicas como los hidrocarburos u otros materiales inflamables.

Los cilindros no deberán almacenarse sin que los casquetes protectores estén colocados en su lugar. Además deben conservarse los cilindros llenos y los vacíos en forma separada, colocándolos de manera ordenada, a fin de manipularlos lo menos posible para evitar que puedan caer; se deben seleccionar lugares de almacenamiento donde se proteja a los cilindros de conmociones mecánicas, especialmente las producidas por objetos en movimientos.

No se deben almacenar cilindros con residuos de cloro, para hacerlo deben pesarse y verificar que su peso total en relación con el peso del cilindro vacío. Si éstos dos coinciden el cilindro podrá ser retirado.

En sistemas de alta dosificación resulta indispensable colocar el cilindro sobre la plataforma de una romana durante su uso, con este sistema el peso del cloro contenido en el cilindro será conocido en cualquier instante.

Al finalizar el vaciado del cilindro su presión interna cae bruscamente. En este instante el cilindro debe ser rápidamente aislado del resto de la instalación, si ésta operación no se realiza podría darse un retorno del líquido en cloración hacia el cilindro, produciéndose un efecto corrosivo en las paredes internas. Para reducir la posibilidad del retorno deberá instalarse en la línea de descarga un dispositivo de seguridad, cuya función es provocar una reducción automática de la presión de vacío a presión atmosférica.

Debe realizarse una inspección periódica de los cilindros llenos en almacenamiento. Una falla detectada en su fase inicial puede ser fácilmente corregida.

Las capuchas de protección de las válvulas deben ser conservadas en su lugar, excepto cuando los cilindros estén siendo utilizados.

Los cilindros de 45, 63 y 68 kg deben ser almacenados en posición vertical (de pie) y los cilindros de 908 kg en posición horizontal (acostados).

Debe tenerse en cuenta que las válvulas y tapones metálicos fundibles no están diseñados para soportar caídas y choques.

3.1.6 Obligaciones diarias del operador

Entre las obligaciones diarias del operador, de un sistema de cloro gas, se encuentran:

- Comprobar la existencia de fugas de cloro.

El orden de comprobación debe ser el siguiente: primero las válvulas de los cilindros llenos almacenados; luego válvulas del o de los cilindros en uso;

seguidamente se deben revisar las juntas de las tuberías que conducen el cloro a presión; luego se procede a revisar las cámaras reductoras de presión, los controles de dosificación y los dispositivos donde exista cloro a presión; y por último se deben revisar las tuberías de ventilación.

- Controlar la dosis de cloro y regular la tasa de alimentación en el rotámetro.
Para el control de la dosis de cloro se utiliza la Ortotolidina, líquido que tiñe de color amarillo verdoso al agua clorada y la DPD, sustancia que tiñe de color rosado el agua clorada. Para determinar la dosis de cloro se usan los comparadores de color.

- Controlar las presiones de trabajo.
Se deben controlar las presiones de trabajo en la estación de cloración y en caso de que no coincidan los valores normales se debe reportar.

- Registrar el peso del cilindro.
El peso del cilindro se debe anotar en la hoja de control. Se debe registrar el peso del cilindro al iniciar y terminar la cloración, además se debe registrar dicho peso cada 4 horas durante el proceso de la cloración, al cambiar un cilindro vacío y también si se cambia la dosificación.

- Cambiar el cilindro de cloro gas.
El cilindro está vacío cuando: cuando están abiertas las válvulas del cilindro y la del rotámetro y la bolita indicadora marca cero dosificación; y cuando el equipo está en funcionamiento y se activa el botón de alarma de la cámara reductora de presión.

- Llenar las hojas de control diario.

- Limpiar exteriormente el aparato y las instalaciones.

- Colaborar en todas las operaciones que realice el técnico en cloración y personal de superior jerarquía.

3.1.7 Operaciones técnicas

Conexiones

Todas las tuberías que se utilicen en las instalaciones de cloración deben ser de un material resistente al cloro, teniéndose en consideración que el cloro húmedo es extremadamente corrosivo. Las tuberías de cloro gas bajo presión desde los cilindros hasta el clorador deberán ser de cobre de pared gruesa y las tuberías desde el clorador hasta el eyector podrán ser de PVC. Por ninguna razón se debe instalar una tubería PVC con fluido de cloro gaseoso o líquido a presión superior a la atmosférica.

Las roscas externas de las válvulas de los cilindros no deben ser utilizadas para interconectar el cilindro a los tubos. Estas roscas serán usadas solamente para la fijación de la tapa de la válvula. Para unir el cilindro con los tubos de conexión deben utilizarse **piezas "yoke" y el accesorio de salida.**

Al hacerse una conexión se debe emplear un empaque nuevo de calidad y material adecuados, asegurándose que las conexiones queden bien apretadas.

Las tuberías, además debe disponer de una válvula auxiliar colocada en el inicio o inmediatamente después de la válvula del cilindro, esto resulta conveniente porque se evita la manipulación constante de la válvula del cilindro y se facilita además el cambio de los cilindros.

Válvulas

Todas las válvulas que se utilicen en las instalaciones de cloración deben ser de un material resistente al cloro, teniendo en cuenta, que como se dijo anteriormente, el cloro húmedo es extremadamente corrosivo. Además las válvulas de los cilindros deben permanecer completamente cerradas durante el transporte y el almacenamiento.

El cierre final de la válvula del cilindro debe hacerse imprimiendo un golpe seco y fuerte en la extremidad de la llave con la palma de la mano. El procedimiento para abrirla debe ser el mismo, girando el eje de la válvula en el sentido contrario a las manecillas del reloj.

Una vuelta completa permitirá una máxima descarga. No se debe forzar la válvula más allá de ese punto. Ocasionalmente las válvulas ofrecen dificultad de funcionamiento, sin embargo la mayoría de estas fallas se deben al uso de métodos violentos o la falta de instrucciones sobre cómo proceder para su apertura. La válvula debe abrirse lentamente utilizando exclusivamente la llave apropiada y nunca se deben utilizar llaves de cabo largo.

Operación de descarga del cloro

Los cilindros de 45, 53 y 68 kg colocados en posición vertical (de pie) descargan cloro en estado gaseoso; cuando se colocan en posición vertical invertida descargan cloro en estado líquido.

Los cilindros de 908 kg operan siempre en posición horizontal (acostados) con ambas válvulas en plano vertical. En esta posición en el tubo de alimentación de la válvula superior fluirá cloro gaseoso y en el tubo de alimentación de la válvula inferior fluirá cloro líquido.

No es recomendable que se hagan conexiones en paralelo de cilindros con descarga de cloro líquido a una batería de cilindros con descarga de cloro gaseoso. Tampoco deberá conectarse un cilindro nuevo a una batería a menos que tenga la misma temperatura de los cilindros conectados al sistema.

El cilindro de 908 kg debe ponerse en una báscula de plataforma al ser descargado.

Los cilindros de cloro o sus válvulas jamás deben calentarse o sumergirse en un baño caliente para aumentar la velocidad de descarga. Además se debe asegurar la inaccesibilidad de agua o cualquier otro líquido en los cilindros de cloro en servicio o sometidos a gradientes de presión para evitar la formación de vacío en el cilindro y que se produzca por ese efecto succión. No se deben dejar abiertas las válvulas del cilindro cuando no se está usando.

3.1.8 Control de fugas

Resulta de suma importancia controlar a la brevedad cualquier posible fuga detectada aunque sea leve para evitar mayores consecuencias. En caso de que la corrección de la fuga no esté al alcance de quien la descubre, deberá informarlo de inmediato al encargado correspondiente.

En caso de una fuga comprobada deberán presentarse técnicos entrenados provistos del equipo de seguridad adecuado para aplicar las medidas correctivas con urgencia, siguiendo los siguientes pasos:

- Localizar el punto exacto de escape, aproximado a los puntos sospechosos un trozo de tela, sostenido con un alambre, empapado en una solución acuosa de amoníaco.
- Confirmar la reacción química (humo denso blanco) y el punto de escape.
- Comprobada y detectada la fuga de cloro debe cambiarse la posición del cilindro de forma que el hoyo quede localizado en el extremo superior. En esa posición solamente escapará cloro gaseoso que es 15 veces menor.
- Reparar el cilindro con cinta adhesiva especial para fugas de gas presurizado.

Si se detecta un escape en el equipo de cloración deberá cerrarse inmediatamente la válvula del cilindro. Después de reparado el defecto se podrá reiniciarse la dosificación de cloro normalmente. Si se detecta una fuga por la descarga de la válvula deberá conectarse el cilindro a la instalación tan rápidamente como sea posible, siempre y cuando la magnitud de la fuga lo permita. Si se detecta una fuga alrededor del eje de la válvula puede usualmente detenerse cerrando la propia válvula o apretando la tuerca de la válvula (tuerca de cerrado). Todas las válvulas cierran en el sentido del reloj. Si el escape fuera en el tapón metálico fundible, en la rosca cónica que une la válvula al cilindro o en las paredes del cilindro y no fuera posible detenerse la fuga se deberá remover con el equipo de protección adecuado hacia un local o espacio al aire libre aislado de cualquier asentamiento humano, hasta que se vacíe completamente. En este caso hay que advertir a las personas que eventualmente puedan aproximarse a la zona de peligro para que se mantengan alejadas.

No se debe aplicar agua en los agujeros. La acción conjunta del cloro y del agua aumentaría la velocidad de la corrosión del cilindro y el hoyo se tornaría cada vez mayor. Además de ese inconveniente la energía transmitida por el agua causaría una evaporación más rápida del cloro, agravando la situación.

En caso de retirarse un cilindro por una fuga no controlable de cloro en el proceso normal de operación, debe aplicarse un dispositivo absorbente conteniendo una solución alcalina altamente concentrada de soda cáustica, carbonato de sodio o cal hidratada en cantidades

proporcionales por kilogramo de cloro absorbido. El dispositivo absorbente debe ser un recipiente preferiblemente de acero donde se prepara la solución alcalina. El cilindro con la fuga puede sumergirse en la solución o bien se hace llegar una manguera de hule desde el fondo del recipiente hasta adherirla en el punto de fuga.

Deberá considerarse rigurosamente en caso de fuga el siguiente procedimiento:

- El menor olor a cloro puede indicar una fuga y debe exigir atención inmediata, porque las fugas pequeñas pueden ampliarse fácilmente.
- Deben destinarse dos hombres para la reparación o corrección de una fuga de cloro, uno de ellos en posición de observador de seguridad.
- Deben hacerse con mucho cuidado las conexiones al cilindro; cuando se utilizan conexiones de rosca, debe comprobarse que las roscas de los dispositivos y uniones son las mismas que las de las válvulas de descarga del recipiente; nunca se debe forzar las conexiones que no se ajustan, pues invariablemente dan lugar a fugas.
- En el caso de utilizar cilindros o recipientes de 908 kg para obtener el cloro gaseoso, se deben colocar de tal manera que las dos válvulas idénticas que aparecen en uno de los extremos o cabezas del cilindro, estén en línea vertical una arriba de otra y conectarse de la válvula superior, puesto que ésta entrega cloro gaseoso y la inferior cloro líquido.
- El usuario de la tecnología del cloro nunca debe alterar o reparar los recipientes o válvulas, excepto para atacar las fugas alrededor de los vástagos de las válvulas, apretando la tuerca de la prensa de estopas. Nunca se deben tocar o apretar los dispositivos de seguridad del recipiente. El recipiente de 908 kg se encuentra equipado con seis tapones metálicos fusibles, fabricados para que se derritan a los 70°C, permitiendo en esta forma la descarga máxima.
- Deben abrirse lentamente las válvulas de los recipientes; no deben utilizarse llaves de más de 15 cm de longitud, debido a que el empleo de llaves más grandes o llaves de cañería daña a las válvulas.
- Para descubrir fugas de cloro debe usarse un hisopo o pedazo de tela fijado en extremo de una varilla, el cual se empapa con agua amoniacal con 10% de NH_3 y se lleva al punto sospechoso. También puede utilizarse un pequeño frasco provisto

de un aspirador. Si existe alguna fuga tiene que formarse una nube blanca de cloruro de amonio.

- El personal que usa o manipula cloro deberá disponer de máscaras anticloro gaseoso, y conocer bien su utilización.
- Todas las instalaciones que empleen cloro deben tener a la mano un equipo para la reparación de fugas de cloro, que consiste en mordazas, martillos, llaves y otras herramientas para servicio de emergencia de cilindros.
- Cuando se presenta una fuga en una sala de cloración de alta dosificación deberá tomarse en marcha inmediatamente el sistema de ventilación.
- Para investigación de fugas de cloro solo debe intervenir personal autorizados y adiestrado. El resto del personal deberá permanecer alejado de la zona afectada. Si la fuga se presenta en el exterior de un edificio, todas las personas no autorizadas deben mantenerse en el lado opuesto hacia donde sopla el viento.
- Cuando se presenta una fuga en el equipo que utiliza cloro, antes que nada, deben cerrarse las válvulas de los recipientes de cloro.
- Si un recipiente con cloro se encuentra en una posición en la que escapa cloro líquido, debe hacerse girar o levantar el recipiente para que únicamente descargue cloro gaseoso. La cantidad de cloro gaseoso que escapa de una fuga es apenas, de aproximadamente, de 6,23% de la cantidad de una fuga de líquido que escapa de una perforación del mismo tamaño.
- Se retarda considerablemente la evaporación si se dispone de hielo y se puede empacar alrededor del recipiente con fuga; si no se puede detener la fuga, debe sumergirse todo el cilindro en un tanque de absorción de solución alcalina.
- Un cilindro con fuga debe vaciarse totalmente antes de devolverse a la fábrica de envasado de cloro y notificarlo incorporando una etiqueta sobre el mismo.
- Nunca debe utilizarse grasa en las conexiones de cloro. Pueden aplicarse con moderación ciertos tipos de grasas de silicones en vástagos de las válvulas y en las conexiones de hule duro.
- Antes de desmontar las conexiones flexibles que van desde los recipientes al colector múltiple debe cerrarse la válvula del cilindro y seguidamente debe extraerse el gas a presión en el múltiple y en las conexiones flexibles, antes de cerrar la válvula del cabezal.

- Si estallara un incendio deben hacerse todos los esfuerzos por proteger los cilindros o retirarlos de la zona de peligro. Se debe informar a los bomberos con respecto a su localización y a su naturaleza tóxica.

3.1.9 Equipos de seguridad

Toda persona que penetre en un área contaminada por fuga de cloro gaseoso deberá estar obligatoriamente equipada con los dispositivos de seguridad, a saber: máscara anticloro de protección facial completa tipo "canister", traje de protección contra ataques de gases y vapores químicos, equipo de herramientas, guantes y en casos de fugas graves equipo de aire comprimido en sustitución de la mascarilla. Cabe recalcar que la máscara tipo "canister" debe reemplazarse periódicamente y no sirve para altas concentraciones de cloro en el ambiente. Además es importante mencionar que existen otros dos tipos de máscaras: la máscara con tanque de aire que permite trabajar hasta 35 minutos y la máscara de oxígeno que tiene una duración de 45 minutos.

Toda sala de cloración deberá disponer de un gabinete donde colocar permanentemente el equipo de seguridad. El gabinete deberá estar ubicado en un lugar relativamente alejado de la sala de cloración de forma tal que en caso de fuga no se dificulte el acceso para utilizar los mismos.

3.1.10 Medidas de Seguridad

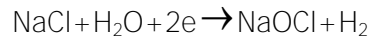
Deben considerarse permanentemente en la operación de este sistema las siguientes medidas de seguridad:

- Nunca deben voltearse bruscamente los cilindros de cloro.
- No se deben forzar bajo ninguna circunstancia la válvula del cilindro.
- No se debe aplicar un chorro de agua sobre una fuga con el pretexto de absorber el cloro que se escapa.
- No se debe sumergir en agua el cilindro de cloro en caso de un escape importante.
- No debe permitirse el retorno del líquido en cloración hacia el cilindro.
- No debe calentarse la válvula del cilindro bajo ninguna circunstancia.

- No debe utilizarse la válvula del cilindro para regular el caudal, puesto que con ese fin se utiliza una segunda válvula instalada en serie con la primera.

3.2 Hipoclorito de Sodio

El hipoclorito de sodio generado por el sistema es producido de acuerdo a la siguiente reacción:



El hipoclorito de sodio (NaOCl) y el ácido hipocloroso (HOCl), se descomponen para formar el ión hipoclorito ClO^- , el cual constituye el cloro libre disponible que es usado en la desinfección.

3.2.1 Descripción del equipo y su funcionamiento

Este sistema es un proceso electrolítico simple y seguro para la generación de soluciones de hipoclorito de sodio en el sitio por medio de la descomposición o electrólisis de una solución de salmuera. La solución de salmuera se prepara disolviendo sal en agua, cuya cantidad varía según el modelo y el equipo utilizado. La celda se sumerge en la solución de salmuera, y una corriente eléctrica suministrada por un transformador/rectificador se aplica a la celda durante un periodo, de acuerdo al volumen de la solución de salmuera. El transformador/rectificador suministra corriente directa a las celdas causando la disociación de la sal (NaCl) y el agua (H_2O) con la consiguiente formación de cloro disponible (contenido en una solución de hipoclorito de sodio, con gas hidrógeno como subproducto). El hipoclorito permanece en solución mientras que el hidrógeno debe ser venteado a la atmósfera. El transformador/rectificador está diseñado de tal manera que se obtenga una operación óptima sin necesidad de ajustes manuales, está protegido por un interruptor de circuito, lo cual elimina la necesidad de comprar y almacenar fusibles.

El sistema consiste de un electrodo y de una fuente de poder. El electrodo generador convierte la salmuera al 3% de concentración salina en una solución de hipoclorito de sodio a 0.6% (6 000 ppm) de concentración de cloro.

Variaciones en la dureza del agua, puede causar que se formen carbonatos de calcio y magnesio en la superficie de los cátodos dentro de la celda durante los periodos de

electrólisis. Por esta razón, se requiere que la celda se inspeccione y se lave periódicamente con vinagre. En casos extremos requerirán de ácido clorhídrico para esta limpieza.

La concentración del hipoclorito generada es inofensiva al operador y al medio ambiente, al mismo tiempo de ser un poderoso desinfectante.

Los componentes principales de este sistema son los siguientes:

- Celda
- Transformador/rectificador
- Tapón de limpieza
- Tanque de preparación de salmuera
- Tanque de almacenamiento de hipoclorito
- Vinagre blanco
- Recipiente para medir la sal

En la Figura 17 se muestra el esquema general de un sistema de hipoclorito de sodio. En la Figura 18 se muestra el equipo de dicha tecnología.



Figura 17: Esquema general de un sistema de hipoclorito de sodio.

Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (5).

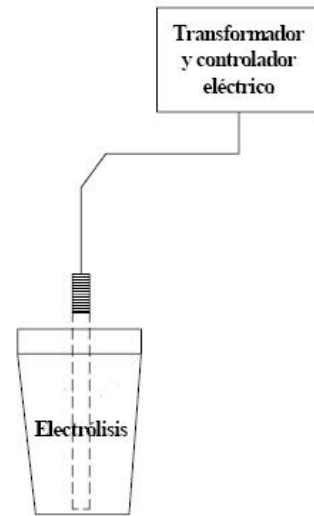
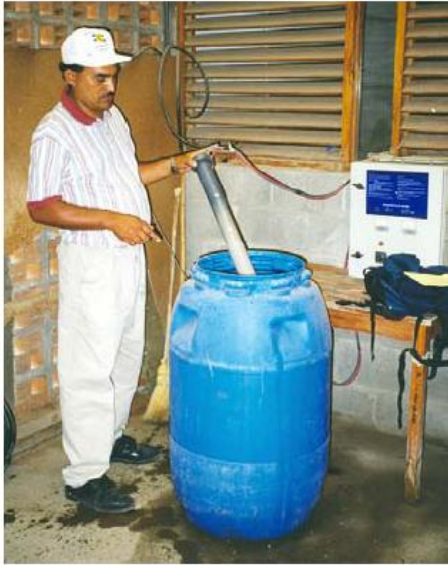


Figura 18: Sistema de hipoclorito de sodio in situ.

Fuente: Perroulo, J. (16).

3.2.2 Dosificación de cloro

Para calcular el volumen de cloro líquido, en teoría, a aplicar a un volumen de agua para consumo humano, se utiliza la siguiente fórmula:

$$V_{\text{cloro}} = \frac{V_{\text{agua}} \times D_{\text{agua}}}{C_{\text{cloro}}}$$

Donde:

V cloro: cantidad de cloro que se agregará, expresado en litros.

V agua: volumen de agua que se va a desinfectar, expresada en litros.

D agua: dosis de cloro a agregar en el agua a desinfectar, expresada en mg/l.

C cloro: concentración del producto de cloro indicado por el fabricante en mg/l o en porcentaje.

La C cloro en la fórmula hay que colocarlo en mg/l; por ello si la concentración estuviera en porcentaje, hay que pasar de porcentaje a mg/l, según el Cuadro 11.

Cuadro 11: Concentraciones en porcentaje y en mg/l de cloro.

	Concentración (%)	Concentración (mg/l)
C cloro	0.5	5 000
C cloro	1.0	10 000
C cloro	5.0	50 000

Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (5).

En la práctica el AyA calcula la cantidad de cloro a dosificar en un sistema de hipoclorito de sodio de la siguiente manera: se tiene el caudal de entrada al tanque de almacenamiento, entonces calculan la cantidad de cloro sabiendo que se necesita dosificar 10 ml de cloro por cada l/s de agua entrante.

3.2.3 Materiales

Para generar hipoclorito de sodio solamente es necesario contar con sal, agua y electricidad. El agua para la salmuera de electrólisis debe ser lo más limpia posible. No debe contener partículas visibles en suspensión. Si es necesario se debe filtrar el agua con un filtro de tela. Al igual que el agua, la sal debe ser lo más limpia posible. Impurezas en la sal incrementan la acumulación de durezas en el cátodo.

3.2.4 Selección del sitio de instalación

Algunas consideraciones que hay que tomar en cuenta para el buen funcionamiento del equipo, a la hora de seleccionar el sitio de instalación, son las siguientes:

- Colocar la fuente de poder lo más alto posible con respecto al tanque de reacción evitando la posibilidad de someterle al derrame de líquidos.
- Conectar la fuente de poder correctamente. El sistema opera usando 110 o 220 voltios, y de 50 a 60 Hz. El voltaje y la frecuencia precisa han sido fijados en la fábrica y no son variables.

- Asegurar que el electrodo quede conectado correctamente. Positivo con positivo, negativo con negativo. El invertir la polaridad causará daños permanentes al equipo.
- La producción de cloro genera pequeñas cantidades de hidrógeno, por lo que se debe instalar el sistema en un sitio con ventilación adecuada.

El sitio para la instalación permanente del sistema debe ser seleccionado de acuerdo a las especificaciones y consideraciones de seguridad anteriormente mencionadas. El transformador requiere electricidad alterna de 110 V AC o 240 V AC como se comentó previamente. El voltaje es fijo y debe ser el mismo descrito en la etiqueta del transformador.

El sistema de generación no es inmune a los elementos. En particular, el transformador es electrónico y vulnerable a la humedad y al polvo. Además, el proceso de generación produce pequeñas cantidades de hidrógeno así como gases y un rocío que contiene cloro el cual debe ser ventilado a la atmósfera y manteniendo fuera del alcance del transformador. Se debe seleccionar un sitio que proteja al transformador de los elementos y que tenga buena ventilación para prevenir la acumulación del hidrógeno. Se debe colocar el transformador lo más alto y más alejado posible del electrodo como lo permita el cable de la conexión y separado por un tabique de la fuente de poder.

La producción de hipoclorito de sodio debe ser hecha solamente por personas debidamente entrenadas. Además se debe escoger un sitio que pueda permitir el acceso a aquellos que no estén conscientes de peligros, especialmente niños.

En la Figura 19 se muestra la instalación típica de un sistema de hipoclorito de sodio.

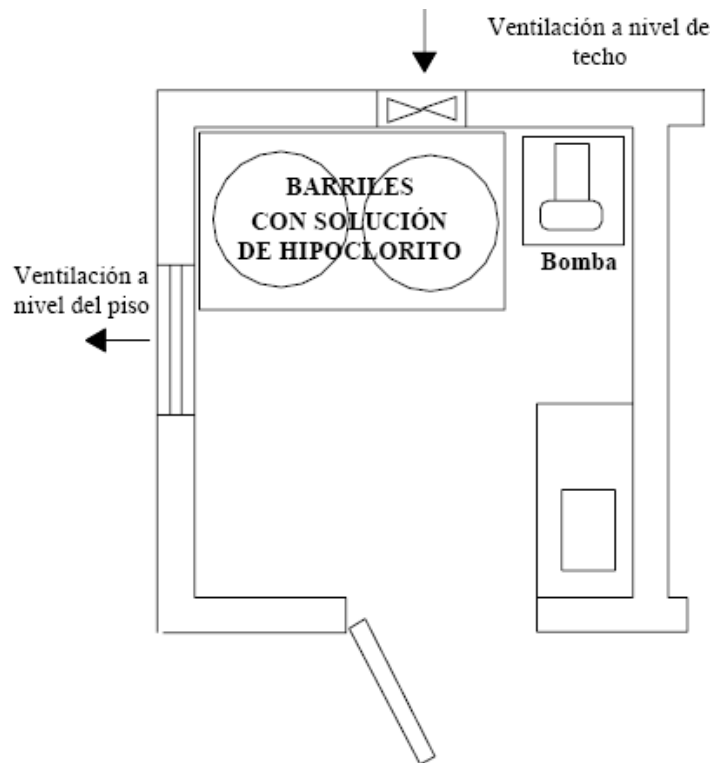


Figura 19: Caseta de cloración típica de un sistema de hipoclorito de sodio.

Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (5).

3.2.5 Mantenimiento del equipo

Minerales contenidos en el agua y en la sal se acumula en el electrodo. Esta acumulación debe ser removida periódicamente usando una solución de ácido. Si la acumulación de impurezas no es removida, baja la eficiencia del proceso y tanto el electrodo generador como la fuente de poder pueden sufrir daños.

El electrodo debe ser lavado después de cada 10 reacciones. El procedimiento para la limpieza de los electrodos es el siguiente:

1. Verificar que el reloj (timer) del rectificador/transformador esté en la posición "Off".
2. Desconectar el transformador/rectificador de la fuente de corriente CA.
3. Desconectar la celda del transformador/rectificador girando levemente el conector de la celda en dirección contraria a las manecillas del reloj, y dejándolo hacia fuera.

4. Lavar la celda con abundante agua limpia.
5. Remover la base/filtro color negro de la parte inferior de la celda.
6. Enroscar el tapón suministrado para lavado de celda a su parte inferior.
7. Agregar vinagre dentro de la celda a través de las ranuras de recirculación, hasta que la celda se llene (aproximadamente 750 mililitros).
8. Dejar la celda en reposo durante 30 minutos con el vinagre dentro de la celda.
9. Vaciar el contenido de la celda y rellenarla con más vinagre.
10. Dejar la celda en reposo durante otros 30 minutos con el vinagre dentro de la celda.
11. Vaciar la celda, remueva el tapón del fondo y lave la celda internamente con abundante agua limpia.
12. Inspeccionar los electrodos. Si aún se conservaran depósitos, repita los pasos 6 a 12.
13. Reinstalar la base/filtro color negro de la parte inferior de la celda.

Cabe destacar que nunca se debe mezclar la solución de vinagre o ácido con hipoclorito de sodio. Además nunca se debe usar ácido muriático a más del 5% para limpiar el electrodo y nunca se debe activar la fuente de poder mientras el electrodo esté en la solución de ácido.

3.2.6 Equipo de seguridad

Entre el equipo de protección para los ojos y el rostro se encuentran las gafas y un protector de cara completo.

Por su parte, para la protección de la piel se debe utilizar ropa protectora impermeable, incluyendo botas, guantes y/o delantal para evitar el contacto con la piel.

Si se excede el límite de exposición, y no hay disponibilidad de controles de ingeniería, se debe utilizar un respirador que cubra toda la cara para evitar daños respiratorios.

3.2.7 Medidas de seguridad

Entre las medidas de seguridad más importantes, a la hora de operar el equipo de hipoclorito de sodio, se encuentran las siguientes:

- No activar el transformador hasta haber sumergido el electrodo en la salmuera.
- No remover el electrodo de la salmuera sin haber desactivado el electrodo.
- No operar el electrodo más de lo recomendado. Esto solamente consume energía sin incrementar significativamente la cantidad de cloro generado.
- El agua para las salmuera debe estar libre de partículas visibles. Si es necesario se debe filtrar el agua con un filtro de tela.
- No fumar cerca del equipo.
- Asegurarse de que no exista contacto entre la solución de cloro y los ojos o con la piel.

Además, cabe recalcar que estos dispositivos son muy seguros porque producen hipoclorito de sodio de muy baja concentración y en cantidades relativamente pequeñas, que en su mayoría se utiliza de inmediato o en un corto plazo. A pesar del riesgo, es preciso tomar precauciones, en especial cuando se abre la celda electrolítica, ya que puede acumularse cloro gaseoso en ella.

3.3 Hipoclorito de Calcio en Pastillas

En el caso del hipoclorito de calcio, el cloro se hidroliza al entrar en contacto con el agua, y forma ácido hipocloroso (HOCl) de la siguiente forma:



Este sistema contribuye a la cloración del agua mediante cloradores diseñados para utilizar tabletas de hipoclorito de calcio, que permiten una liberación de este compuesto al 65% de cloro disponible, brindando así un sistema eficaz para la obtención de agua potable en cualquier cantidad.

Es importante considerar que este sistema permite una purificación óptima del agua, minimizando el desperdicio e incrementando el aprovechamiento en las zonas del país que más lo necesitan.

3.3.1 Funcionamiento del sistema

El sistema funciona de la siguiente manera: Un pequeño flujo paralelo de agua corre a través del clorador. Cuando el agua entra en contacto con las tabletas Accu-Tab en el clorador, éstas se erosionan a una velocidad determinada. Una vez que el agua está clorada, regresa a la tubería. El clorador se detiene automáticamente cuando el flujo de agua se cierra, garantizando que las tabletas permanecen secas cuando la unidad no está funcionando. Una válvula reguladora ubicada en la entrada permite un control preciso del cloro residual. Los sistemas de control manual o automático se encuentran disponibles de acuerdo a sus necesidades específicas de operación.

Los dosificadores que trabajan bajo el sistema por erosión utilizan tabletas de hipoclorito de calcio de alta concentración (HTH), las que se pueden obtener de distribuidores o pueden prepararse localmente comprimiendo mecánicamente polvo de hipoclorito de calcio. Este sistema ha encontrado un lugar importante en la desinfección de abastecimientos de agua para comunidades pequeñas y familiares. Los equipos son muy fáciles de manipular y mantener, además de ser baratos y duraderos. Las tabletas son más seguras que las soluciones de hipoclorito y el cloro gaseoso y son más fáciles de manejar y de almacenar.

Los dosificadores de erosión disuelven gradualmente las tabletas de hipoclorito a una tasa predeterminada mientras fluye una corriente de agua alrededor de ellas. Este mecanismo proporciona la dosificación necesaria de cloro para desinfectar el agua. A medida que las tabletas se van diluyendo, se reemplazan con otras nuevas que caen por gravedad en la cámara. La solución de cloro concentrada alimenta un tanque, un canal abierto o un reservorio, según sea el caso.

En la Figura 20 se muestra el esquema del sistema de hipoclorito de calcio.

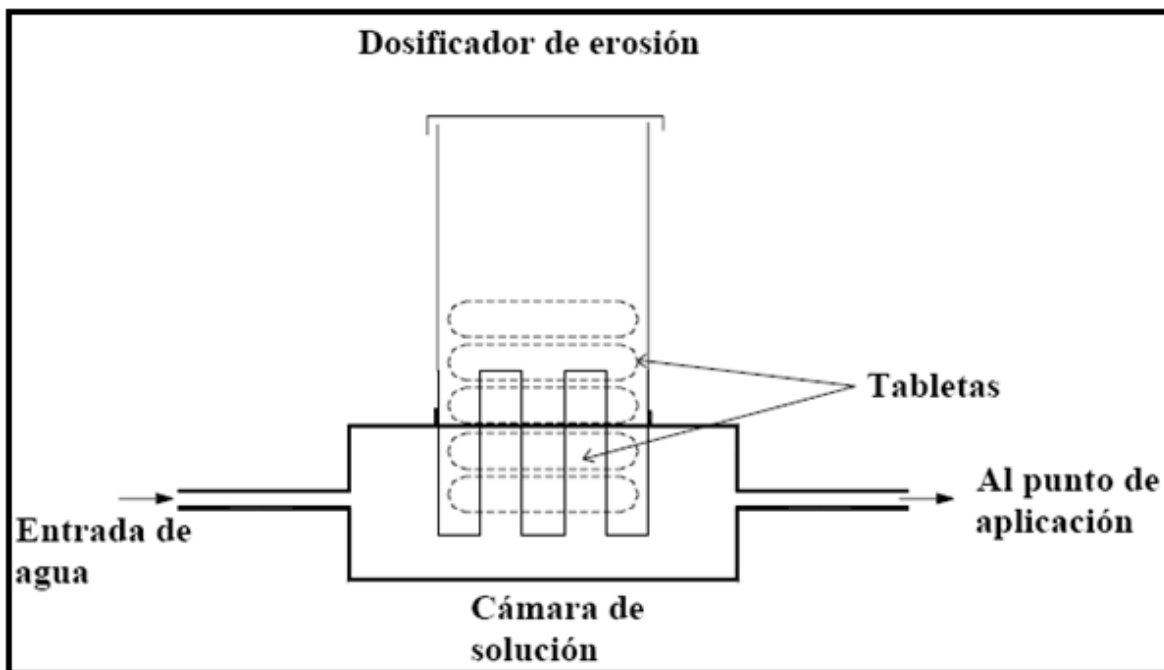


Figura 20: Esquema general de un dosificador de hipoclorito de calcio.

Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (5).

Los sistemas de hipoclorito de calcio no están diseñados para soportar alta presión, ya que esto haría que se llenaran completamente de agua y todas las tabletas se desintegrarían a un mismo tiempo. En lugar de esto, parte del agua es tratada **en un "by-pass" y solo entra** en contacto con las tabletas que se encuentran en el fondo del clorador, de manera que las tabletas que están más arriba se mantienen secas. Las tabletas de hipoclorito de calcio se erosionan paulatinamente de acuerdo a la cantidad de agua, se puede lograr una dosificación de cloro con alta precisión. El flujo de agua que sale del clorador, se dirige al flujo principal de agua no clorada o al depósito, brindando el nivel deseado de cloro residual para satisfacer los requerimientos operacionales y de saneamiento.

Existe otro sistema que funciona utilizando pastillas de hipoclorito de calcio. Éste se llama método de cámara húmeda. Los sistemas de dosificación mediante cámara húmeda tienen el mismo efecto, sin embargo con éstos se buscan disolver una serie de pastillas, que den como resultado la dosificación de cloro que se desea suministrar a todo lo largo de la red.

Las tabletas de hipoclorito de calcio, en ambos sistemas, son de tamaño pequeño por lo que son muy fáciles de conservar y manejar, bajo las condiciones de almacenaje correctas.

Este sistema es muy sencillo, ya que no necesita de refracciones. El manejo del sistema requiere capacitación mínima y en la mayoría de los casos de aplicación, no necesita de energía eléctrica para su funcionamiento.

Deben utilizarse tanques de disolución y medición, de fondo inclinado, en la preparación de la solución medidora, ya que el hipoclorito de calcio contiene cerca de un 10 por ciento de materiales no solubles. Estos se depositan en el fondo inclinado de los tanques, y después de un tiempo de asentamiento de unos 30 minutos, se obtiene una solución clara de hipoclorito de calcio, con la cual se puede llenar el tanque de suministro. Para su dosificación se prefieren bombas de diafragma, que son controladas por un sistema automático de medición y control.

A continuación, en la Figura 21, se muestra la presentación de las pastillas de hipoclorito de calcio y en la Figura 22 se muestra en equipo de hipoclorito de calcio.



Figura 21: Presentación de las pastillas de hipoclorito de calcio.

Fuente: Perroulo, J. (16).



Figura 22: Equipos de hipoclorito de calcio.

Fuente: Perroulo, J. (16).

Los desinfectantes sólidos cuentan con una ventaja de seguridad sobre los desinfectantes líquidos o gaseosos, ya que sus derrames y fugas son mucho más fáciles de contener y limpiar.

El hipoclorito de calcio contribuye al enturbiamiento del agua tratada o puede producir residuos de calcio en el alimentador. Puede también presentar peligro de fuego.

3.3.2 Dosificación del cloro

Para calcular teóricamente, el peso de cloro a aplicar a un volumen de agua para consumo humano, se utiliza la siguiente fórmula:

$$P_{\text{cloro}} = \frac{V_{\text{agua}} \times D_{\text{agua}}}{C_{\text{cloro}} \times 10}$$

Donde:

P cloro: cantidad de cloro que se agregará, expresado en gramos.

V agua: volumen de agua que se va a desinfectar, expresada en litros.

D agua: dosis de cloro a agregar en el agua a desinfectar, expresada en mg/l.

C cloro: concentración del producto de cloro indicado por el fabricante en porcentaje, en la fórmula hay que colocar solo el número 10. Este es un factor de conversión que siempre debe colocarse para que el resultado final dé en gramos de cloro.

Sin embargo, en la práctica se indicó que la dosificación de este tipo de sistema se realiza mediante pruebas en el sistema mediante la aplicación directa de cantidades crecientes de cloro hasta obtener la concentración residual requerida en el extremo de la red.

En situaciones de emergencia, una primera estimación de la cantidad de cloro que se debe aplicar se puede calcular con **un ensayo "rápido" de la demanda. Este método consiste en** introducir cantidades crecientes de cloro (por ejemplo, entre 1 y 10 mg/l) en muestras del agua a tratar. Al final de 30 minutos se mide, en cada muestra, la concentración de cloro residual. La dosis de cloro se determina por la muestra que contiene la concentración de cloro residual más próxima a la pretendida. No obstante, cuando se inicia el proceso de desinfección y el agua es enviada a la red de distribución, es necesario hacer un ajuste posterior de las concentraciones debido a que siempre existe la posibilidad de contaminación por infiltración en la red o por otros factores.

3.3.3 Operación y mantenimiento

Los dosificadores por erosión de tabletas son sencillos de operar. El equipo se calibra de manera sencilla pero no muy precisa por medio de un ajuste de la profundidad de inmersión de la columna de tabletas o de la velocidad o caudal que se hace pasar por la cámara de disolución. Una vez calibrado el equipo, si no hay grandes variaciones en el flujo, normalmente requieren de poca atención, excepto para cerciorarse de que el depósito esté lleno de tabletas para asegurar la dosificación continua. El mecanismo del dosificador de tabletas se debe inspeccionar con regularidad para detectar obstrucciones; se tendrá cuidado de limpiarlo bien, volver a ponerlo en la posición correcta y calibrarlo. La inspección y el relleno de tabletas dependerán de la instalación específica, de la dosificación de cloro y del volumen de agua tratada. Debido a la sencillez de operación del equipo, el personal se puede capacitar rápidamente.

En cuanto a la seguridad, en general, las tabletas de hipoclorito son más fáciles y seguras de manejar y almacenar que otros compuestos de cloro; sin embargo, es necesario observar precauciones de seguridad mínimas. Es importante no usar tabletas destinadas a piscinas porque suelen contener isocianurato, un compuesto químico no recomendable para el consumo humano prolongado.

3.3.4 Equipo de Seguridad

El sistema de hipoclorito de calcio es una excelente alternativa, en cuanto a utilización de equipo de seguridad se refiere, ya que no hay necesidad de utilizar equipos de dosificación de alto costo ni de correr riesgos. Para el manejo de este sistema solo se requieren guantes de caucho y lentes de seguridad. Este equipo se muestra en la Figura 23.



Figura 23: Equipo de seguridad necesario para la operación del sistema de pastillas de hipoclorito de calcio.

Fuente: Perroulo, J. (16).

3.4 Hipoclorito de Calcio en Forma Granular

En el caso del hipoclorito de calcio, el cloro se hidroliza al entrar en contacto con el agua, y forma ácido hipocloroso (HOCl) de la siguiente forma:



3.4.1 Funcionamiento del sistema

Los dosificadores de hipoclorito de calcio se fabrican para grandes o pequeños caudales. Los primeros son dosificadores volumétricos o gravimétricos, que dejan caer una cantidad medida (en volumen o en peso) en un pequeño tanque de disolución (siempre con agitación) donde se disuelve para ser luego dosificado en el punto de aplicación. El uso de estos equipos no es popular, ya que cuando se requiere tratar grandes caudales se prefiere el uso del cloro gas. Para tratar pequeños caudales (típicos de medianas y

pequeñas comunidades) se utilizan equipos que funcionan por medio de la erosión de tabletas o que suministran directamente el hipoclorito de calcio sólido en forma de píldoras.

La concentración de cloro activo en estas presentaciones es entre 65% y 70%, a comparación del hipoclorito de calcio en polvo que solo alcanza 33%, los que se pueden obtener en el mercado bajo diferentes marcas. Sin embargo, hay que tener cuidado de que sean apropiadas para la desinfección de agua para consumo humano y que no contengan sustancias como los cianuratos. Los cianuratos de sodio, que liberan también cloro al ser disueltos en el agua, solo deben usarse en situaciones de emergencia, ya que no existe evidencia suficiente de su inocuidad cuando son utilizadas de forma prolongada. En la Figura 24 se muestra el hipoclorito de calcio granulado.



Figura 24: Hipoclorito de calcio granulado.

3.4.2 Dosificación del cloro

Para calcular, teóricamente, el peso de cloro en forma granulada a aplicar a un volumen de agua para consumo humano, se utiliza la siguiente fórmula:

$$P_{\text{cloro}} = \frac{V_{\text{agua}} \times D_{\text{agua}}}{C_{\text{cloro}} \times 10}$$

Donde:

P cloro: cantidad de cloro que se agregará, expresado en gramos.

V agua: volumen de agua que se va a desinfectar, expresada en litros.

D agua: dosis de cloro a agregar en el agua a desinfectar, expresada en mg/l.

C cloro: concentración del producto de cloro indicado por el fabricante en porcentaje, en la fórmula hay que colocar solo el número 10. Este es un factor de conversión que siempre debe colocarse para que el resultado final dé en gramos de cloro.

Sin embargo, en la práctica pasa exactamente lo mismo que con el hipoclorito de calcio en pastillas, es decir, la dosificación se realiza mediante pruebas en el sistema mediante la aplicación directa de cantidades crecientes de cloro hasta obtener la concentración residual requerida en el extremo de la red.

3.4.3 Equipo de seguridad

El equipo de protección personal necesario para la aplicación de esta tecnología es el siguiente: gafas de seguridad, botas, guantes de caucho y máscaras con filtro.

3.4.4 Caseta de cloración

Una instalación bien diseñada debe proteger los productos químicos contra la luz solar, así como proporcionar condiciones para manejar y mezclar fácilmente las soluciones químicas. También debe estar bien ventilada y evitar temperaturas y humedad muy altas. La instalación se debe diseñar de manera que se facilite la operación y el mantenimiento y se reduzca al mínimo los riesgos potenciales del cloro. Se recomienda tener un cuarto separado para almacenar el hipoclorito debido a su naturaleza corrosiva y reactiva. En la Figura 25 se muestra el diagrama de una instalación típica de cloración con hipoclorito de calcio.

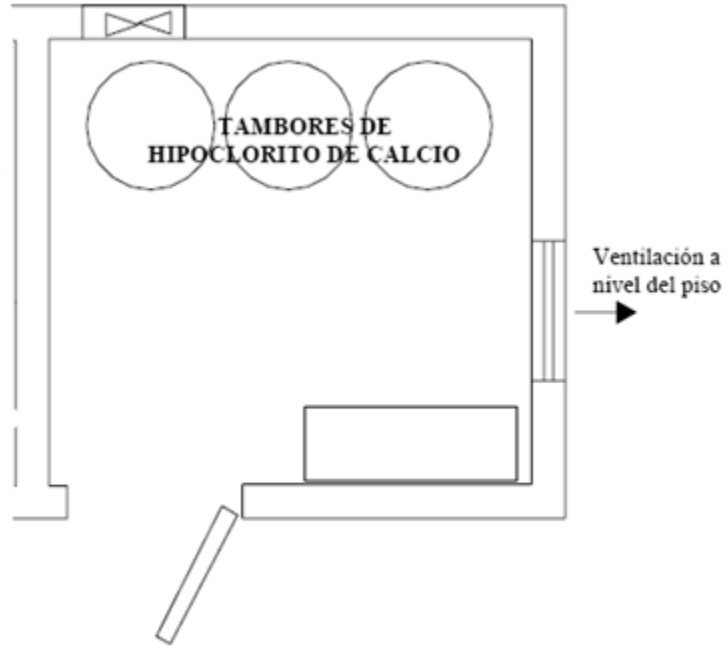


Figura 25: Instalación típica de un sistema de hipoclorito de calcio granular.

Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (5).

Capítulo IV

Parámetros de evaluación de las principales tecnologías utilizadas en Costa Rica para la

Capítulo 4. Parámetros de evaluación de las principales tecnologías utilizadas en Costa Rica para la desinfección del agua

4.1 Cloro gas

Para encontrar los parámetros de evaluación de esta tecnología se visitaron las siguientes plantas de tratamiento para agua potable:

- Planta Alta de Tres Ríos.
- Planta de Alajuelita.
- Planta de Guadalupe.
- Planta de San Antonio de Escazú.

4.1.1 Facilidad de operación de las tecnologías

- Instalación del equipo, caseta de cloración y funcionamiento del sistema

Las cuatro plantas antes mencionadas funcionan mediante el método de cloración por solución al vacío la cual, como se mencionó en el capítulo anterior, consiste en disolver el gas en un pequeño flujo de agua, y luego inyectar la solución dentro del agua a desinfectar. En general, en las cuatro plantas se pudo observar que existe un diseño adecuado de la caseta donde se encuentra instalado el equipo de cloración.

Tanto en la planta de Tres Ríos como la de Guadalupe, que tienen caudales de entrada de 2250 l/s y 300 l/s respectivamente, se observó que el sistema de cloración se divide en pre-cloración y en post-cloración. Además se cuenta con un sistema alterno de cloración en caso de alguna emergencia. La pre-cloración se realiza con el fin de dar un acondicionamiento al agua para que las etapas posteriores sean más eficaces y eficientes. La pre-cloración consiste en añadir el agente generador de formas activas de cloro a la entrada de la planta depuradora. Favorece la coagulación y elimina sustancias inorgánicas reductoras. Además elimina algas en las instalaciones y elimina microorganismos formadores de limo en los filtros de arena. Esta pre-cloración se realiza utilizando cilindros de 68 kg. Estos cilindros se mantienen en posición vertical y sujetos adecuadamente mediante cadenas. En la Figura 26 y en la Figura 27 se muestran los cilindros utilizados para la pre-cloración, en las plantas antes mencionadas.



Figura 26: Sistema de pre-cloración y cilindros utilizados en la Planta Alta de Tres Ríos.



Figura 27: Sistema de pre-cloración y cilindros utilizados en la Planta de Guadalupe.

En éstas dos plantas la post-cloración se realiza por medio de cilindros de 908 kg. Estos cilindros permanecen en posición horizontal y colocados en bases que impiden el desplazamientos de éstos. Los cilindros utilizados en la post-cloración se muestran en la Figura 28 y en la Figura 29.



Figura 28: Sistema de post-cloración de Planta Alta de Tres Ríos.



Figura 29: Sistema de post-cloración de la Planta de Guadalupe.

El sistema de cloración alterno se utiliza solo en casos de emergencia, en los cuales por alguna causa de fuerza mayor no permita la utilización del sistema de post-cloración. En la

Figura 30 se muestran las tuberías que realizan la dosificación de los tres sistemas antes mencionados.



Figura 30: Tuberías para la dosificación del cloro.

En cuanto a la Planta de Alajuelita y la Planta de San Antonio de Escazú, que tienen caudales mucho menores de entrada, de 15 l/s y 69 l/s respectivamente, la cloración se realiza por medio de los cilindros de 68 kg. Los sistemas utilizados en dichas plantas se muestran a continuación en la Figura 31 y la Figura 32.



Figura 31: Sistema de cloración utilizado en la Planta de Alajuelita.



Figura 32: Sistema de cloración utilizado en la Planta de San Antonio de Escazú.

En general, en todas las plantas se cuenta con ventilación apropiada que provee aire fresco para las operaciones normales y además por la posibilidad de una fuga. Además se observó que en todas las plantas la ventilación es prioridad en el nivel de piso, ya que de existir una fuga de cloro gas se tenderá a acumular a nivel del piso porque, como se mencionó anteriormente, el cloro es más pesado que el aire. Además existen entradas elevadas para que se forme una corriente de aire adecuada. En la Figura 33 se pueden observar tanto la ventilación inferior como la superior existentes en las casetas de cloración.



Figura 33: Entradas de aire, en las casetas de cloración, para una adecuada ventilación.

Cabe destacar que tanto en las plantas más grandes, la Planta Alta de Tres Ríos y la Planta de Guadalupe, poseen ventiladores que se encienden y apagan desde un lugar seguro.

En todas las plantas de potabilización visitadas, que utilizan cloro gas, la operación es realizada mediante tres turnos: diurno, mixto y nocturno. Por lo general, las plantas son manejadas por cuatro operadores, con algunos otros auxiliares. Esto con el fin de que por

cada turno de trabajo se encuentren dos operadores en la planta, y así de esta manera, siempre se encuentren dos operadores por una posible emergencia en caso de fuga. Según se indicó en cada planta los pedidos de los cilindros se realizan por semana, y siempre mantiene una cantidad de 5 cilindros almacenados, para ser utilizados. Todas las plantas hacen sus pedidos a la Bodega de Guadalupe.

- Equipos y medidas de seguridad.

En las plantas visitadas, que utilizan cloro gas, se pudo observar que en todas poseen máscaras para protección personal en casos de escapes. En dos de las plantas se utilizan **máscaras tipo "canister"** mientras que en las otras dos poseen máscaras más sencillas. Los dos tipos de máscaras se pueden observar en la Figura 34.



Figura 34: Máscaras existentes en las plantas de cloro gas.

Además se pudo observar la presencia de extintores para utilizar en caso de que exista la presencia de fuego y unos aparatos llamados respiradores, que funcionan como un método de alarma en caso de una fuga de gas. Éstos detectan una fuga de cloro gas, ya que se encuentran ubicados en niveles bajos, y emiten una alarma en la oficina del operador. En la Figura 35 se observa tanto la existencia de extintores en las plantas, como la ubicación de los respiradores.



Figura 35: Presencia de extintores y respiradores en las plantas de cloro gas.

Cabe recalcar que en las casetas de cloración no se observó la presencia de guantes ni de kimonos que es recomendado poseer, en los sistemas que utilizan cloro gas.

En todas las plantas se encuentra señalización adecuada que indica el peligro que puede presentar el cloro gas. En la Figura 36 se muestra parte de la señalización de peligro existente en las plantas de cloro gas.



Figura 36: Señalización del peligro presentado por el cloro gaseoso.

Otra medida de seguridad encontrada en las plantas grandes, es decir Planta Alta de Tres Ríos y la Planta de Guadalupe, es que los cilindros de 908 kg tiene etiquetas en las que se especifican algunas medidas de seguridad y la identificación del cilindro, como una medida de trazabilidad, en caso de que ocurra algún problema con dicho cilindro. Esto se puede observar en la Figura 37.

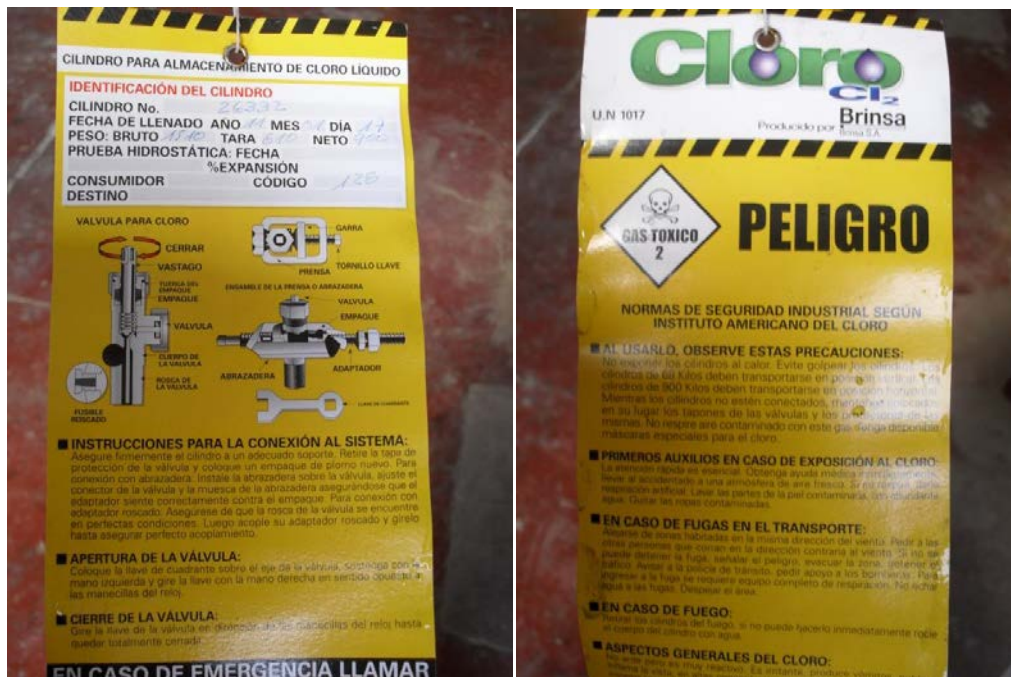


Figura 37: Etiquetas de los cilindros de cloro, donde se indica la identificación y algunas medidas de seguridad.

- Capacitación del personal.

En general, los operadores asisten a charlas de seguridad ocupacional. La mayoría de los operadores ha trabajado en las plantas más grandes, donde reciben la capacitación correspondiente de los más experimentados. Una vez que los operadores de las plantas más grandes tienen suficiente experiencia, son trasladados a las plantas más pequeñas como encargados de dichas plantas.

- Complejidad del sistema.

En general, el sistema de cloro gas presenta complejidad, en el sentido que se debe manejar con mucho cuidado por los peligros que presenta para la salud. Los operadores deben estar muy seguros de lo que están haciendo y conocer cómo es que funciona el sistema. Además deben tener la capacitación necesaria para poder reparar el sistema en casos de emergencia y saber cuál es la manera correcta de actuar.

4.1.2 Disponibilidad de químicos y elementos requeridos por la tecnología

- Químicos

En cuanto a la disponibilidad de químicos, el operador especificó que nunca se tiene problema y que el proveedor de los cilindros de gas es Transmerquim. En cuanto a los repuestos y partes del sistema tampoco existen problemas de disponibilidad, ya que Coprodesa se encarga de suplir a las planta de tratamiento que utilizan cloro gas.

- Repuestos para el equipo

En el caso de las plantas operadas con cloro gaseoso, no se presenta el problema de repuestos para el equipo, ya que el AyA cuenta con una Sección de Desinfección encargada de dar el mantenimiento necesario para el buen funcionamiento de los sistemas de cloración. Por lo tanto, en las plantas no se deben preocupar por conseguir repuestos o realizar el mantenimiento, ya que esta sección es la encargada de dichas tareas. Cabe destacar que el proveedor de los repuestos para este sistema es Coprodesa.

- Personal capacitado para reparaciones

En las plantas que utilizan cloro gas, los operadores están capacitados para atender fallas leves en el sistema, por ejemplo una fuga de cloro. Sin embargo, si se trata de algo mayor o si el fallo leve empeora, el operador debe comunicarlo inmediatamente a sus superiores. Además como se mencionó anteriormente, existe una Sección de Desinfección del AyA, que se encarga de realizar las reparaciones correspondientes al sistema.

4.1.3 Peligrosidad por la manipulación de los químicos

Los factores que influyen en la determinación de la peligrosidad en lo que se refiere a la manipulación del cloro gas son los siguientes:

- Sus propiedades físico-químicas

Propiedades químicas

El cloro, gaseoso o líquido, no es explosivo o inflamable; sin embargo, como el oxígeno, es un oxidante y es capaz de contribuir para la combustión de ciertas sustancias. Muchos productos químicos orgánicos reaccionan rápidamente con el cloro, y a veces, con violencia.

Por lo general, el cloro forma compuestos con una valencia de -1 pero puede combinarse con una valencia de +1,+2,+3,+4,+5 ó +7.

Las reacciones químicas del cloro con distintos elementos y compuestos se mencionarán más adelante.

Propiedades físicas

Las siguientes propiedades **físicas son para el cloro puro. Cuando se habla de "Condiciones estándares" quiere decir a 0°C y una presión absoluta de 101,325 kPa.** En el Cuadro 12 se resumen algunas propiedades físicas del cloro puro.

Cuadro 12: Propiedades físicas del cloro puro.

Propiedad	Valor
Punto de evaporación	33,97°C
Densidad crítica	573,0 kg/m ³
Presión crítica	7977 kPa
Temperatura crítica	143,5°C
Volumen crítico	0,001745m ³ /kilo
Gas en condiciones estándares	3,213kg/m ³
Punto de congelación	-100,98°C
Calor latente de vaporización	288,1kJ/kg

Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (3).

- Sus propiedades toxicológicas

Toxicidad Aguda

En concentración cercana al umbral del olfato, el cloro gaseoso, después de diversas horas de exposición, causará una ligera irritación en los ojos y en la membrana mucosa de las vías respiratorias. A medida en que aumenta la concentración, aumenta el efecto de la irritación en los ojos. Además aparece el mecanismo de la tos y la irritación en las vías respiratorias superior e inferior, con la correspondiente dificultad para respirar. A medida que aumenta la duración de la exposición y/o de la concentración, el individuo afectado podría tornarse aprehensivo y nervioso, con tos seguida por irritación en la garganta, estornudos e incluso salivación. En niveles más elevados, ocurren vómitos asociados a la dificultad para respirar. En casos extremos, la dificultad para respirar podrá avanzar al punto de causar muerte por asfixia. Una persona expuesta, con una condición médica cardiovascular preexistente, podrá sufrir una reacción exagerada.

Toxicidad Crónica

La mayoría de los estudios no indican una conexión significativa entre efectos adversos a la salud y una exposición crónica a bajas concentraciones de cloro. Un estudio finlandés, de 1983, mostró un aumento efectivo de las toses crónicas y una tendencia a la

hipersecreción de la mucosa entre los trabajadores. Sin embargo, estos trabajadores no mostraron anormalidad en la función pulmonar, en test o por radiografía del tórax.

En diciembre de 1993, El Instituto de Toxicología de la Industria Química emitió un informe sobre un estudio en la inhalación crónica del cloro, por ratones y lauchas. Los ratones y las lauchas fueron expuestos al gas de cloro a 0,4, 1,0 ó 2,5 ppm por hasta 6 horas por día y 3-5 días por semana, hasta 2 años. No hubo ninguna evidencia de cáncer. La exposición al cloro, en todos los niveles, produjo lesiones nasales. Sin embargo, como los roedores son obligatoriamente respiradores nasales, no quedó claro cómo se deberían interpretar estos resultados con relación a los humanos.

- Sus efectos sobre la salud humana

El cloro gaseoso, como se mencionó anteriormente, es principalmente un irritante de las vías respiratorias. Suficientemente concentrado, el gas irrita las membranas mucosas, las vías respiratorias y los ojos. En casos extremos, la dificultad de respirar podrá aumentar hasta el punto en que ocurrirá la muerte por colapso de las vías respiratorias o falencia pulmonar. El olor característico y penetrante del cloro gaseoso por lo general indica su presencia en el aire. Además, a altas concentraciones, es visible como un gas amarillo verdoso. El cloro líquido en contacto con la piel u ojos causará quemaduras químicas y/o úlceras por congelamiento.

Las reacciones fisiológicas para diferentes concentraciones de cloro se muestran en el Cuadro 13.

Cuadro 13: Reacciones fisiológicas para distintas concentraciones de cloro.

Reacción fisiológica	Ppm
Leve irritación después de algunas horas de exposición	1.00
Olor perceptible	3.50
Cantidad máxima que puede ser respirada en una hora sin efectos serios	4.00
Irritación de la garganta después de corta exposición	15.0
Tos	30.2
Cantidad peligrosa en intervalo de ½ a 1 hora	40.0
Cantidad fatal después de algunas respiraciones profundas	1000.0

Fuente: Díaz, J & Portocarrero, L. (7).

La Conferencia Americana de Higienista Industriales Gubernamentales (ACGIH) estableció un valor umbral tiempo-peso medio (TWA) de exposición al cloro de 0,5 ppm. El TWA se basa en una hora normal de trabajo de 8 horas/día y 50 horas/semana. ACGIH estableció un valor umbral límite para el límite de exposición a corto plazo (STEL) de 1ppm para la exposición de cloro. El STEL se define como una exposición TWA de 15 minutos. En 1994, el Instituto Nacional de Seguridad Laboral y Salud redujo su concentración tipo **“Inmediatamente Peligrosa para la Vida o Salud (IDLH)” para 10 ppm.**

- Sus efectos sobre el medio ambiente

El cloro se disuelve cuando se mezcla con el agua. También puede escaparse del agua e incorporarse al aire bajo ciertas condiciones. La mayoría de las emisiones de cloro al medio ambiente son al aire y a las aguas superficiales. Una vez en el aire o en el agua, el cloro reacciona con otros compuestos químicos. Se combina con material inorgánico en el agua para formar sales de cloro, y con materia orgánica para formar compuestos orgánicos clorinados.

Debido a su reactividad no es probable que el cloro se mueva a través del suelo y se incorpore a las aguas subterráneas.

El cloro causa manchas desteñidas en las hojas de las plantas debido al ataque a la clorofila de las mismas. Las hojas son más susceptibles de sufrir lesiones causadas por el cloro. Generalmente, la planta en sí no se destruye, aunque su crecimiento o fructificación sufren un atraso.

El “Registro de Efectos Tóxicos de Substancias Químicas” de 1980, del Instituto de Seguridad y Salud Laboral de los Estados Unidos, relaciona la siguiente inhalación: LC50s (concentración de cloro del aire letal al 50% de la población de test, del animal determinado, expuesto más allá del espacio de tiempo especificado). Esto se muestra en el Cuadro 14.

Cuadro 14: Comparación de concentraciones letales para diferentes especies.

Especie	Concentración letal de cloro
Humano	840ppm/30minutos
Ratón	293ppm/60minutos
Laucha	137ppm/60minutos

Fuente: Díaz, J & Portocarrero, L. (7).

La menor concentración de cloro en el aire (diferente de LC50), que ya fue registrada como habiendo sido causadora de muerte en humanos o animales, fue de 500ppm/5minutos.

El cloro es solo ligeramente soluble en agua y habría poca absorción de una nube de cloro gaseoso. Muchas formas de vida acuática son afectadas adversamente por concentraciones de cloro muy inferiores a 0,1ppm. El cloro es clasificado como un contaminante marino.

- Su reactividad química

A continuación se mencionan las reacciones químicas del cloro con diferentes elementos y compuestos químicos:

Reacciones con el agua

El cloro es solo ligeramente soluble en agua. Cuando reacciona con agua pura, se forma una débil solución de ácidos clorhídricos e hipoclorosos. Hidrato de cloro ($\text{Cl}_2 - 8\text{H}_2\text{O}$) puede cristalizar por debajo de los 9,6°C a la presión atmosférica y temperaturas más elevadas a una presión mayor.

Reacción con metales

El ritmo de reacción del cloro seco con la mayoría de los metales aumenta rápidamente por encima de una temperatura que sea características para el metal. Por debajo de los 250 °F (121 °C), hierro, cobre, acero, plomo, níquel, platino, plata y tantalio son resistentes al cloro seco, gas o líquido. A la temperatura ambiente, el cloro seco, gas o líquido, reacciona con aluminio, arsénico, oro, mercurio, selenio, telurio y estaño. El cloro seco

reacciona violentamente con titanio. A ciertas temperaturas, el sodio y el potasio arden si se les expone al cloro gas. El acero al carbono sufre combustión a aproximadamente 251°C dependiendo de su forma física. El cloro húmedo es muy corrosivo para la mayoría de los metales comunes, principalmente debido a los ácidos clorhídrico e hipocloroso formados por la hidrólisis. El platino, la plata, el tantalio y el titanio son resistentes.

Reacción con otros elementos

El cloro se une, bajo condiciones específicas, con la mayoría de los elementos; esas reacciones pueden ser extremadamente rápidas. En su punto de evaporación, el cloro reacciona con el azufre. El mismo no reacciona directamente con el oxígeno o el nitrógeno; los óxidos y compuestos del nitrógeno son bien conocidos pero solo se podrán preparar por métodos indirectos. Las mezclas de hidrógeno y cloro podrán reaccionar violentamente. Los límites de combustión dependen de la temperatura, presión y concentración. Entre 21°C y 27°C los límites de combustión van del 3% al 93% por volumen de hidrógeno. La combustión podrá ser iniciada por la luz solar directa, otras fuentes o luz ultravioleta, electricidad estática o un fuerte impacto.

Reacción con compuestos inorgánicos

La preparación de blanqueadores de sodio y cal (hipoclorito de sodio e hipoclorito de calcio) son reacciones típicas del cloro con los hidróxidos de metales alcalinos y metales alcalinotérreos; los hipocloritos formados son poderosos agentes oxidantes. Debido a su gran afinidad con el hidrógeno, el cloro retira el hidrógeno de algunos compuestos, tales como en la reacción con el sulfuro de hidrógeno para formar ácido clorhídrico y azufre. El cloro, como el ión hipocloroso, reacciona con los iones del amoníaco para formar varias mezclas de cloraminas. A un bajo pH, la cloramina predominante formada es tricloruro de nitrógeno explosivo (NCl_3).

Reacciones con compuestos orgánicos

El cloro reacciona con muchos compuestos orgánicos para formar derivados clorados. Frecuentemente, el cloruro de hidrógeno se forma como subproducto de la reacción. Algunas reacciones podrán ser extremadamente violentas, especialmente aquellas con

hidrocarburos, alcoholes y éteres. Se deberán seguir métodos adecuados al hacer reaccionar materiales orgánicos y cloro, ya sea en el laboratorio o en industriales.

4.1.4 Costos de aplicación de las tecnologías

El costo de este equipo varía según el tamaño de los cilindros utilizados. Es decir el costo para las plantas grandes es de aproximadamente ₡820 000 y para las plantas pequeñas es de aproximadamente ₡330 000.

4.1.5 Efectividad de la aplicación según pruebas de laboratorio (Cloro residual y coliformes fecales)

Las pruebas para demostrar la efectividad de la aplicación de la tecnología son las de cloro residual y de coliformes fecales. Ambos resultados se muestran en el Cuadro 15 y Cuadro 16.

- Prueba de cloro residual

Esta prueba se realiza cada hora del día, en todas las plantas potabilizadoras.

Cuadro 15: Resultados de laboratorio del cloro residual de las plantas que utilizan cloro gaseoso para la desinfección del agua.

Planta	Cloro Residual(mg/L) Tanque de Almacenamiento
Planta Alta de Tres Ríos	0,96
Planta de Guadalupe	0,90
Planta de Alajuelita	0,73
Planta de San Antonio de Escazú	0,62

Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas.

- Coliformes fecales

Cuadro 16: Resultados de laboratorio de coliformes fecales de las plantas que utilizan cloro gas para la desinfección del agua.

Planta	Coliformes fecales * 100 mL⁻¹ Tanque de almacenamiento
Planta Alta de Tres Ríos	Negativo
Planta de Guadalupe	Negativo
Planta de Alajuelita	Negativo
Planta de San Antonio de Escazú	Negativo

Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas.

4.2 Hipoclorito de Sodio

Para encontrar los parámetros de evaluación de esta tecnología se visitaron los siguientes sistemas de cloración:

- Santa Cruz de Turrialba.
- Tobosi Parte Alta.
- Tobosi Parte Baja.
- Quebradilla de Cartago.

4.2.1 Facilidad de operación de las tecnologías

- Instalación

Este sistema, como se mencionó anteriormente, es un proceso electrolítico simple, que se realiza disolviendo sal en agua, cuya cantidad varía según el modelo y el equipo utilizado. La celda se sumerge en la solución de salmuera, y una corriente eléctrica suministrada por un transformador se aplica a la celda durante un periodo, de acuerdo al volumen de la solución de salmuera. El transformador suministra corriente directa a las celdas causando la disociación de la sal (NaCl) y el agua (H₂O) con la consiguiente formación de cloro disponible. Los equipos utilizados, en las distintas plantas visitadas de hipoclorito de sodio, para este proceso se muestran en la Figura 38, Figura 39, Figura 40 y Figura 41.



Figura 38: Planta de hipoclorito de sodio de Santa Cruz de Turrialba.



Figura 39: Equipo de hipoclorito de sodio utilizado en la Parte Alta de Tobosi.

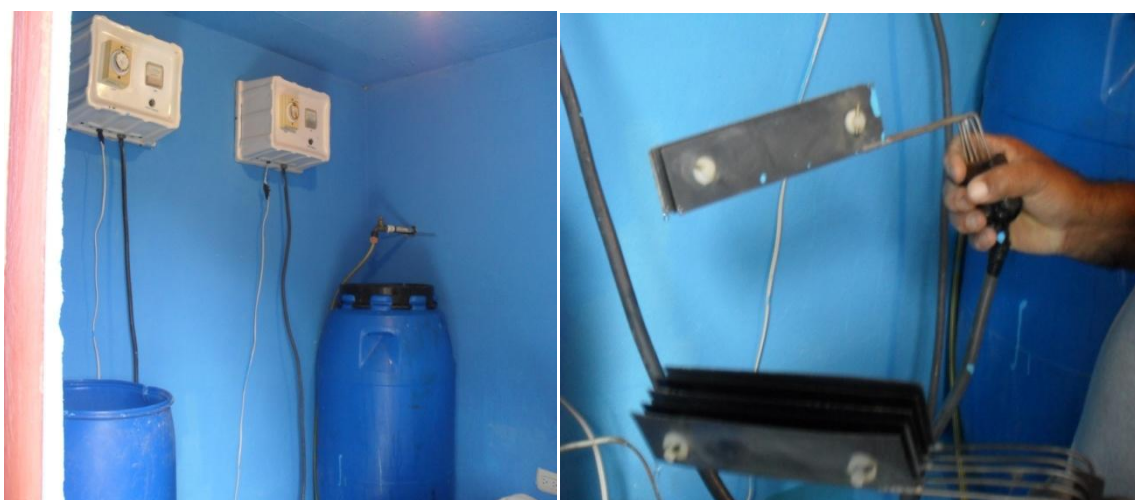


Figura 40: Equipo de hipoclorito de sodio utilizado en la Parte Baja de Tobosi.



Figura 41: Equipo utilizado en Quebradilla de Cartago.

El sistema de Cloración de Santa Cruz tiene un caudal de entrada de 5 L/s. El sistema de Quebradilla en el Sector Alto tiene una entrada de agua de 4 L/s. El sistema de Quebradilla en el Sector Sur tiene una entrada de agua de 2,6 L/s y el sistema de Tobosi tiene una entrada de agua 7,5 L/s.

Para la obtención del cloro, para esta tecnología, se requiere de aproximadamente 7 kilos de sal mezclados con 400 litros de agua. De esta manera, al realizar la electrólisis se obtiene el cloro con la concentración requerida.

En general, las instalaciones y las casetas de cloración de esta tecnología se encuentran bien diseñadas. Casi todas presentan buenas condiciones de ventilación, son frescas y secas. Sin embargo, cabe recalcar, que en algunos casos han tenido que proteger las casetas y los espacios destinados para la ventilación por motivos de vandalismo en dichas casetas. Esto porque al estar en lugares un poco alejados de los centros de los pueblos, la gente se aprovecha y comenten todo tipo de actos de vandalismo. Por tal motivo han tenido que sellar totalmente las casetas presentando un peligro para los operadores.

Todas las casetas se encuentran construidas en block, haciendo que la temperatura dentro de ellas no sea muy elevada. Los recipientes, por lo tanto se encuentran protegidos de la luz solar y de fuentes térmicas. El piso es impermeable. En las Figuras 42 y 43 se muestran algunas casetas de cloración de este tipo de tecnología.



Figura 42: Caseta de cloración de Santa Cruz de Turrialba.



Figura 43: Caseta de cloración de la Parte Alta de Tobosi.

Cabe recalcar que en este sistema hay que separar los componentes susceptibles a la corrosión, ya que el ambiente inmediato a las unidades de producción suelen ser muy corrosivos.

En estos acueductos se trabaja solamente en horario diurno, y por lo general se encuentran trabajando tres operadores a tiempo completo. Sin embargo, por lo menos uno de los operadores está contratado con disponibilidad, por si se presenta un problema en el sistema fuera de los horarios de trabajo.

- Equipos y medidas de seguridad.

Utilizar los elementos de protección así sea muy corta la exposición o la actividad que se realice con la sustancia, es una medida de seguridad muy importante. En el caso de las plantas visitadas que utilizan esta tecnología, en general, no se utiliza ningún equipo de seguridad.

En ninguno de los sistemas, contaban con gafas protectoras contra productos químicos, y la ropa utilizada por los operadores no era la indicada, para evitar el paso del hipoclorito a través de ella. Tampoco se cuenta con máscaras ni respiradores, por alguna eventual emergencia.

- Especificaciones del fabricante

Este sistema realmente no tiene fabricante, más bien es el AyA el encargado de la instalación, ya que por lo general estos sistemas son donados a las ASADAS (Asociación Administradora de Acueductos Comunes).

- Capacitación del personal

En realidad, en esta tecnología no se cuenta con capacitación del personal que operan los sistemas. Es decir, cuando el AyA llegó a instalar el sistema le dio una explicación sobre el sistema y sobre las cantidades de cloro a dosificar. Sin embargo, en las ASADAS muchas veces se cambia de personal, siendo el operador antiguo el que le da la capacitación al nuevo operador. Por lo tanto, se puede decir que en esta tecnología falta que se dé una capacitación adecuada y constante para que los operadores puedan realizar un trabajo más eficiente.

- Complejidad del sistema.

Este sistema no presenta un nivel de complejidad muy alto. Con una capacitación adecuada, en cuanto al funcionamiento y mantenimiento del equipo, este sistema funciona de manera sencilla.

4.2.2 Disponibilidad de químicos y elementos requeridos por la tecnología

- Equipos

Como se mencionó anteriormente el equipo necesario para operar esta tecnología es el siguiente: una celda electrolítica, un transformador, un tanque de preparación de la salmuera, un tanque de almacenamiento del hipoclorito y un recipiente para medir la sal.

Estos equipos no presentan problemas de disponibilidad, ya que se pueden conseguir fácilmente en el mercado nacional. En Costa Rica las principales marcas de equipo de hipoclorito de sodio son las siguientes: Sanilec, EasyClor y AquaClor.

- Químicos

Este equipo no requiere de químicos para ser operada. Es decir, solo se requiere sal común, agua y electricidad. Para el mantenimiento solamente se requiere vinagre blanco.

- Repuestos para el equipo

En general, la única parte que requiere ser reemplazada muy frecuentemente, según los operadores, es la celda electrolítica. Dicha celda se funde muy frecuentemente, haciendo que el equipo no se pueda utilizar. Sin embargo, una de las causas que se pueden observar en las visitas de campo, por la que pueden estar fallando las celdas electrolíticas, es la falta de conocimiento sobre el mantenimiento que se les debe dar. Esto se realiza lavando la celda con vinagre, cada 10 periodos de uso.

- Personal capacitado para reparaciones.

Este punto resulta fundamental, ya que según lo que se comentó en las visitas de campo, es que una vez que el equipo falla, por lo general se tienen dos opciones. La primera es que lo que falle sea la celda electrolítica con lo cual, llaman a un muchacho que se dedica a repararlas. La segunda opción es que no sea la celda, y si es así prácticamente deben adquirir el equipo nuevo, ya que no existe, según dicen los operadores, gente capacitada para reparar el equipo.

4.2.3 Peligrosidad por la manipulación de los químicos

- Sus propiedades físico-químicas

Las propiedades físicas y químicas más importantes del hipoclorito de sodio se encuentran enumeradas en el Cuadro 17.

Cuadro 17: Principales propiedades químicas y físicas del hipoclorito de sodio.

Propiedad	Valor
Apariencia, olor y estado físico	Líquido de dulzaino dulzaino desagradable y color verdoso pálido
Gravedad específica (agua=1)	1,07 – 1,14
Punto de ebullición (°C)	40
Punto de fusión (°C)	-6
Densidad relativa del vapor (aire=1)	N.R
Presión de vapor (mm Hg)	17,5 °C / 20 °C
Viscosidad	N.R
Ph	9-10
Solubilidad	El sólido se disuelve en agua fría; en agua caliente descompone.

Fuente: Díaz, J & Portocarrero, L. (7).

- Sus propiedades toxicológicas

El hipoclorito de sodio en concentración del 5% es altamente tóxico, los vapores provocan edema pulmonar y el líquido podría perforar el estómago o esófago. En una concentración del 0,5% causa irritaciones moderadas y severas, después de un día. Una solución al 3,5% aplicada a la piel por 15-30 minutos causa severo daño a 0,5 ml de solución pura fue corrosivo al aplicarse a la piel.

El hipoclorito de sodio causa mutaciones en estudios de corto tiempo usando células de bacterias.

- Sus efectos sobre la salud humana

Entre los efectos sobre la salud que presenta el hipoclorito de sodio se encuentran los siguientes: irritación de los ojos, la nariz y la garganta; una alta concentración del vapor produce quemaduras, edema pulmonar y de laringe, tos y disnea; además produce quemaduras en la boca, náuseas, vómito. El hipoclorito de sodio puede llegar a producir colapso circulatorio, delirio, coma y posible perforación de esófago y estómago. En la piel puede causar quemaduras dependiendo de la concentración de la solución. El contacto con los ojos puede causar severa irritación y daño, especialmente a concentraciones mayores. Además puede causar efectos crónicos tales como: dermatitis, eczema, este producto es sensibilizador para muchas personas.

- Sus efectos sobre el medio ambiente

El hipoclorito de sodio es perjudicial para la vida acuática. Hay que evitar que éste entre a corrientes de agua.

- Su reactividad química

El hipoclorito de sodio se descompone lentamente en contacto con el aire. La exposición a la luz solar acelera la descomposición. Por lo tanto se debe evitar la luz y el calor.

El hipoclorito de sodio es fuertemente oxidante. Reacciona con ácidos, compuestos ferrosos y orgánicos. Además emite vapores tóxicos de cloro cuando se calienta hasta la descomposición.

4.2.4 Costos de aplicación de las tecnologías

El costo de este equipo varía de acuerdo a su capacidad de producción. Es decir, el costo de un equipo que produce 2 lb de cloro es aproximadamente ₡2 500 000, un equipo que produce 6lb tiene un costo aproximado de ₡4 000 000, un equipo que produce 12lb tiene un costo de aproximadamente ₡6 000 000 y el equipo de más producción tiene un costo aproximado de ₡9 000 000.

4.2.5 Efectividad de la aplicación según pruebas de laboratorio (Cloro residual y coliformes fecales)

- Prueba de cloro residual

El resumen de los resultados de cloro residual de los diferentes sistemas visitados de hipoclorito de sodio se muestra en el Cuadro 18.

Cuadro 18: Resultados de laboratorio del cloro residual de las plantas que utilizan cloro gaseoso para la desinfección del agua.

Planta	Cloro Residual (mg/L) Tanque de almacenamiento	Cloro Residual(mg/L) Red
Santa Cruz de Turrialba	0,20	0,20
Quebradilla Sector Alto	0,30	0,28
Quebradilla Sector Sur	0,67	0,69
Tobosi de Cartago	0,85	0,68

Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas.

- Coliformes fecales

El resumen de los resultados de coliformes fecales de los diferentes sistemas visitados de hipoclorito de sodio se muestra en el Cuadro 19.

Cuadro 19: Resultados de laboratorio de coliformes fecales de las plantas que utilizan cloro gas para la desinfección del agua.

Planta	Coliformes fecales * 100 mL⁻¹ Tanque de almacenamiento	Coliformes fecales * 100 mL⁻¹ Red
Santa Cruz de Turrialba	Negativo	Negativo
Quebradilla Sector Alto	Negativo	Negativo
Quebradilla Sector Sur	Negativo	Negativo
Tobosi de Cartago	Negativo	Negativo

Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas.

4.3 Hipoclorito de Calcio en Pastillas

Para encontrar los parámetros de evaluación de esta tecnología se visitaron los siguientes sistemas:

- Carme Lyra de Turrialba.
- Buenos Aires de Juan Viñas.
- Calle El Carmen de la Suiza de Turrialba.
- Tucurrique.

4.3.1 Facilidad de operación de las tecnologías

- Instalación

Esta tecnología solamente requiere de una caseta pequeña para que el equipo quede instalado correctamente. En dicha caseta se encuentra la tubería de entrada, el clorador, la tubería de salida, un flujómetro y ciertas válvulas. Como se mencionó anteriormente, existen dos tipos de cloradores que utilizan las pastillas de hipoclorito de calcio, las cuales son de cámara húmeda y por desgaste. Dichos equipos se muestran a continuación, en las Figuras 44 y 45, mediante fotografías tomadas a los sistemas visitados.



Figura 44: Sistema de hipoclorito de calcio, por desgaste, utilizado en Buenos Aires de Juan Viñas.



Figura 45: Sistema de hipoclorito de calcio, de cámara húmeda, utilizado en Carmen Lyra de Turrialba.

En general, para este sistema las casetas se encuentran bien construidas, por como se dijo anteriormente, no requieren requisitos complejos.

En cuanto a la dosificación se refiere, como se mencionó en la parte de la teoría, para este sistema la dosis que se debe aplicar de cloro, solo se conoce mediante pruebas graduales, en las cuales se llegue a una dosificación cuando en la red se tiene una cantidad de cloro residual de entre 0,3 y 0,6 ppm. Sin embargo, para tener una idea de la cantidad requerida de pastillas se le consultó a cada uno de los operadores la cantidad que utilizan. Por ejemplo en los sistemas de desgaste de pastillas como el de Buenos Aires de Juan Viñas colocan 14 pastillas cada 17 días; en El Carmen de la Suiza de Turrialba y en el acueducto de Tuquerrique dosifican 7 pastillas cada 7 días. En el acueducto de Carmen Lyra de Turrialba, que es un sistema de cámara húmeda dosifican 20 pastillas cada 4 días.

En general, en todos los sistemas visitados de este tipo, los operadores manifestaron que los equipos tienen bastante tiempo de instalados, y que ninguno ha presentado problemas. Recalcan el buen funcionamiento y que lo único que tienen que estar es atentos con el flujómetro que de vez en cuando ya que éste se obstruye, pero que es muy fácil de limpiar. En algunos acueductos, antes de utilizar este equipo han trabajado con sistemas de hipoclorito de sodio, sin embargo éstos, según los operadores, no han presentado un buen funcionamiento y han tenido que incurrir en muchos gastos, por lo que han reemplazado el equipo por uno de hipoclorito de calcio. En otros casos, es el

único factible ya que no se cuenta con la posibilidad de llevar electricidad al sitio donde se encuentra el clorador.

En cuanto a la seguridad, en los cuatro sistemas de cloración, tienen disponibles guantes y mascarillas simples. Sin embargo, según los operadores no utilizan dicho equipo, ya que no lo consideran necesario para manipular las pastillas y no creen que presente ningún riesgo para su salud.

Para esta tecnología solamente se requiere de uno o dos operadores. Éstos trabajadores están contratados en horario diurno. Además ellos son contratados con disponibilidad, por si en algún momento son requeridos para la solución de algún problema en el acueducto.

- Especificaciones del fabricante

Entre las especificaciones del fabricante para el uso del equipo se encuentran usar solamente las tabletas de la misma marca del equipo. Además se recomienda no mezclar con productos químicos ya que puede causar una explosión o fuego. Además el fabricante indica que el clorador no está diseñado para mantener una presión mayor de 254 mm Hg y que no se debe exponer el clorador al vacío. No se debe utilizar el clorador con agua que tenga un pH inferior de 6. Además el fabricante indica que se puede producir cloro gas.

Estas especificaciones se encuentran establecidas tanto en el clorador como en las cubetas de las pastillas. A continuación, en la Figura 46, se muestran dichas especificaciones.

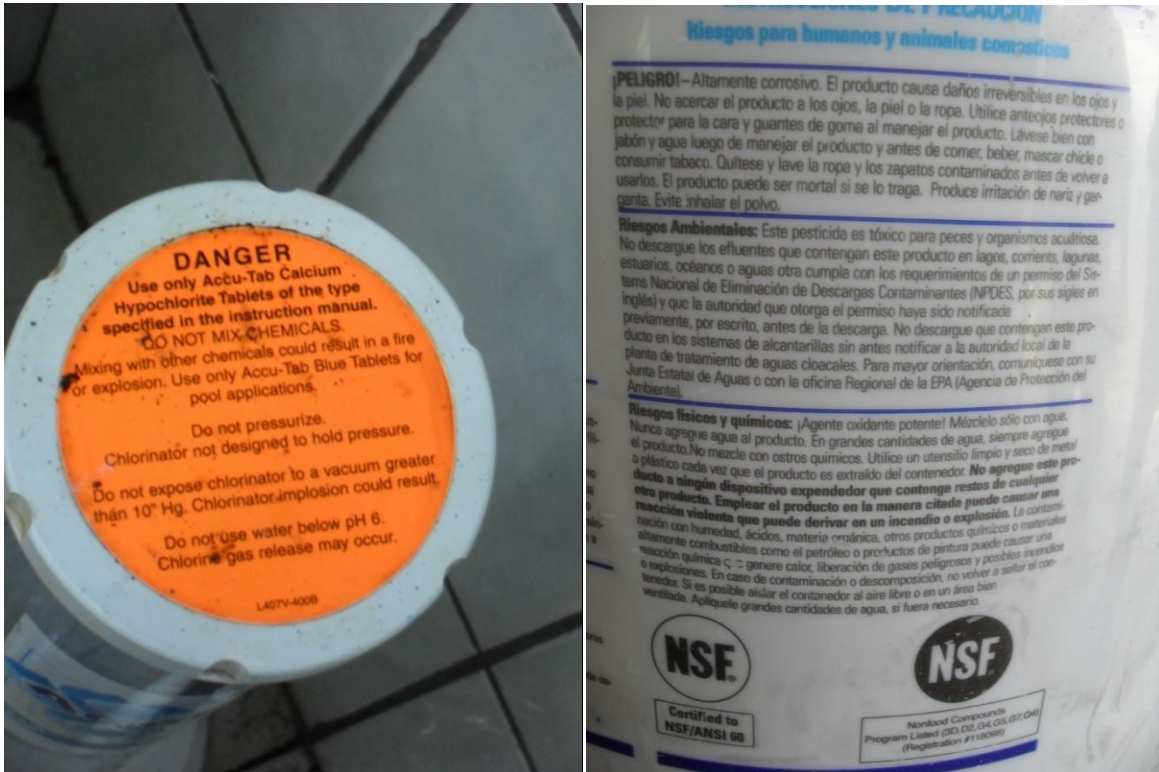


Figura 46: Especificaciones dadas por el fabricante para las pastillas de hipoclorito de calcio.

- Capacitación del personal

En esta tecnología la capacitación es realmente sencilla, ya que el equipo se calibra de forma sencilla. Cabe recalcar que aunque se calibra de forma sencilla no es muy precisa. Una vez calibrado y si no hay variaciones importantes de flujo, normalmente requieren poca atención. Al personal se le indica la cantidad de pastillas que se deben aplicar y por cuánto tiempo.

- Complejidad del sistema

El sistema presenta un nivel de complejidad muy bajo. Esto porque el sistema es muy sencillo de utilizar y está compuesto simplemente por el clorador y un flujómetro que indica la dosificación a utilizar.

4.3.2 Disponibilidad de químicos y elementos requeridos por la tecnología

- Equipos

El equipo requerido para utilizar esta tecnología, se encuentra disponible en el país. Se sabe que estos equipos se pueden encontrar en Font y en el Colono. Por lo tanto, no hay problema de disponibilidad de equipos. En Costa Rica las marcas utilizadas para este tipo de tecnología son Accutab y OxyChem.

- Químicos

Al igual que el equipo, las pastillas de hipoclorito de calcio, requeridas para la operación del equipo se encuentran disponibles en el país y no se presenta ningún problema a la hora de conseguir dichas pastillas. Las pastillas se pueden adquirir en algunos establecimientos como lo son El Colono, Font y Decomar. Las pastillas requeridas para el funcionamiento de este sistema se muestran en la Figura 47.



Figura 47: Pastillas de hipoclorito de calcio utilizadas en los sistemas de hipoclorito de calcio en nuestro país.

- Repuestos para el equipo

En general, este tipo de sistema no necesita de repuestos. Según los operadores, el equipo nunca presenta problemas. Lo que presenta problemas, de vez en cuando, es el flujómetro. Sin embargo, con solo que se limpie, éste vuelve a funcionar correctamente.

- Personal capacitado para reparaciones

Como se mencionó anteriormente, el equipo no presenta problemas de reparaciones, por lo que no se requiere de mucha capacitación para operar el equipo. En general, los operadores se encargan de mantener la cantidad de pastillas requeridas para la desinfección de agua.

4.3.3 Peligrosidad por la manipulación de los químicos

- Sus propiedades físico-químicas

Las propiedades físicas y químicas del hipoclorito de calcio, más importantes se enumeran en el Cuadro 20.

Cuadro 20: Propiedades físicas y químicas del hipoclorito de calcio.

Propiedad	Valor
Apariencia, olor y estado físico	Polvo blanco cristalino, con fuerte olor a cloro como resultado de su descomposición
Gravedad específica (agua=1)	2,35 / 20°C
Punto de ebullición (°C)	N.R
Punto de fusión (°C)	100
Densidad relativa del vapor (aire=1)	6,9
Presión de vapor (mm Hg)	N.A
Viscosidad (cp)	N.A
Ph	11,5 (solución al 5%)
Solubilidad	Soluble en agua fría e insoluble en alcohol

Fuente: Díaz, J & Portocarrero, L (7).

- Sus propiedades toxicológicas

El hipoclorito de calcio tiene un límite crónico en animales de 100 ppm. Tiene un límite umbral de olor (detección) de 0,06 ppm. Este producto ha sido clasificado como no

cancerígeno. Se ha investigado el producto por efectos de tipo mutagénico de acuerdo a estudios con animales de laboratorio. Cabe recalcar que no hay información disponible sobre embriotoxicidad, efectos reproductivos ni mutagenicidad.

- Sus efectos sobre la salud humana

El hipoclorito de calcio es extremadamente destructivo para los tejidos de las membranas mucosas y el tracto respiratorio superior. Los síntomas pueden ser sensación quemante, tos, jadeo, laringitis, falta de respiración, dolor de cabeza, náuseas y vómitos. La inhalación puede ser fatal como resultado de inflamación espasmódica, y edema de laringe y bronquios, neumonía química y edema pulmonar.

En caso de ingestión, se puede percibir la sensación de comezón en la garganta y la boca. Puede provocar severas quemaduras al aparato digestivo, dolores abdominales, náuseas, vómito, diarrea y podría llegar hasta causar la muerte.

En cuanto al contacto con la piel, puede causar síntomas de enrojecimiento, dolor y quemaduras severas.

El contacto con los ojos puede causar visión borrosa, enrojecimiento, dolor y severas quemaduras tisulares.

Entre los efectos crónicos que puede causar el hipoclorito de calcio se encuentran la inflamación del sistema respiratorio e irritación de la piel tras el contacto prolongado o repetido con el producto.

- Sus efectos sobre el medio ambiente

Este pesticida es tóxico para peces y organismos acuáticos. No debe descargarse efluentes que contengan este producto en lagos, corrientes, lagunas, estuarios u océanos.

No existe información disponible referente sobre otros efectos al medio ambiente, bioacumulación en los seres vivos, demanda de oxígeno, biodegradabilidad y persistencia en el ambiente.

- Su reactividad química

El hipoclorito de calcio es estable bajo condiciones normales de almacenamiento y manipulación. Térmicamente es inestable. Se descompone violentamente al exponerse al calor (177°C) o luz.

Es sumamente necesario evitar el calor, las llamas, la luz, las fuentes de ignición y el polvo.

El hipoclorito de calcio es incompatible con la humedad, con materiales combustibles, con materiales orgánicos, con ácidos fuertes, con las aminas, con el amoníaco y con los alcoholes. Además reacciona con agentes reductores, explota con aminas primarias, con carbono, con óxido de hierro, con fenol y con azufre. Igualmente, corroe el hierro, el níquel, el aluminio y otros metales.

Cuando el hipoclorito de calcio se calienta hasta la descomposición puede liberar oxígeno, cloro y monóxido de cloro.

4.3.4 Costos de aplicación de las tecnologías

- Costos de los equipos

El costo de este equipo varía desde ₡650 000 hasta ₡3 000 000, según el lugar donde se adquiera. Para la operación de este sistema solamente se requiere adquirir las cubetas de pastillas, que tienen un costo aproximado de ₡107 000 con 100 pastillas.

4.3.5 Efectividad de la aplicación según pruebas de laboratorio (Cloro residual y coliformes fecales)

- Prueba de cloro residual

Las pruebas de cloro residual para este sistema, según las plantas visitadas, las realizan tanto en los tanques como en la red 1 o 2 veces a la semana. Dichas pruebas son realizadas con el colorímetro por el operador.

El resultado de las pruebas de cloro residual para cada una de las comunidades visitadas se encuentra en el Cuadro 21.

Cuadro 21: Resultados de laboratorio del cloro residual de las plantas que utilizan hipoclorito de calcio en pastillas para la desinfección del agua.

Planta	Cloro Residual (mg/L)	
	Tanque de Almacenamiento	Red
Carme Lyra de Turrialba	0,13	0,00
Buenos Aires de Juan Viñas	0,80	0,80
Calle El Carmen de la Suiza de Turrialba	0,34	0,21
Tucurrique	0,12	0,31

Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas.

- Coliformes fecales

Los resultados de laboratorio para el agua de cada uno de los sistemas de hipoclorito de calcio visitados se resumen en el Cuadro 22.

Cuadro 22: Resultados de laboratorio de coliformes fecales de las plantas que utilizan hipoclorito de calcio en pastillas para la desinfección del agua.

Planta	Coliformes fecales *	NMP
	100 mL⁻¹	E.Coli 44,5°C
Carme Lyra de Turrialba	14	14
Buenos Aires de Juan Viñas	Negativo	---
Calle El Carmen de la Suiza de Turrialba	Negativo	---
Tucurrique	Negativo	---

Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas.

4.4 Hipoclorito de Calcio en Forma Granular

Para encontrar los parámetros de evaluación de esta tecnología se visitaron los siguientes sistemas:

- Orosi de Cartago.
- Bermejo de Cartago (El Común).
- Bermejo de Cartago (La Cementera).
- La Flor de Paraíso de Cartago.

4.4.1 Facilidad de operación de las tecnologías

- Instalación y caseta de cloración

Este sistema no requiere una gran caseta de cloración. Nada más se requiere espacio para uno o dos estañones en los cuales se realiza la mezcla del hipoclorito de calcio granulado y el agua. A continuación, en la Figura 48 y Figura 49, se muestran algunos de los sistemas visitados.



Figura 48: Equipo de hipoclorito de calcio granulado de Bermejo de Quebradilla.



Figura 49: Equipo de hipoclorito de calcio granulado en Orosi de Cartago.

En el caso del Acueducto de Orosi, la caseta fue construida porque anteriormente se utilizaba el equipo de hipoclorito de sodio. Sin embargo, lo dejaron de utilizar por el alto costo de mantenimiento que les representaba, ya que muy frecuentemente la celda se fundía o fallaba el sistema en general.

Como se mencionó en la teoría, la dosificación de este tipo de sistema se realiza mediante pruebas graduales en aumento de la cantidad de cloro, hasta lograr que en la red se tenga de 0,3 a 0,6 ppm de cloro residual. Para tener una idea, en el sistema de Orosi se dosifica aproximadamente 17 ml/s de hipoclorito de calcio. En el caso de los dos sistemas de hipoclorito de calcio granulado de Bermejo de Cartago, se realiza una dosificación de hipoclorito de 5 ml/min. En el caso de la Flor de Paraíso, se dosifica una cantidad de 10ml/min.

Aunque para esta tecnología se necesitan gafas, máscaras con filtro para polvo, ropa de protección especial, botas y guantes de caucho, ningún operador de los sistemas visitados, utiliza equipo de protección personal. Y aunque, cabe recalcar, que el olor del hipoclorito de calcio es sumamente fuerte ellos insisten en que las mascarillas son muy incómodas y que no son necesarias, y que de vez en cuando lo que utilizan es un pañuelo húmedo como protección.

En este tipo de tecnología los acueductos tienen uno o dos operadores a tiempo completo, en horario diurno.

- Capacitación del personal.

La capacitación que se da al operador es dada por funcionarios del AyA, y consta de temas de operación y mantenimiento. Sin embargo, no hay una capacitación constante, solamente una capacitación inicial.

- Complejidad del sistema.

Este sistema no presenta nivel de complejidad, ya que solamente consiste en mezclar el hipoclorito de calcio granulado con el agua en la dosis requerida.

4.4.2 Disponibilidad de químicos y elementos requeridos por la tecnología

- Equipos.

Este sistema consta solamente de uno o dos estañones para mezclar y una tubería para realizar el goteo al tanque de almacenamiento.

- Químicos.

El único químico requerido para la operación de este sistema es el hipoclorito de calcio granulado. Este se adquiere en cubetas y según lo indicado por los operadores, no existe problemas de disponibilidad de este químico. Por lo general, el distribuidor de este químico es la Corporación DH Sistemas S.A. El hipoclorito de calcio granulado se muestra en la Figura 50.



Figura 50: Presentación del hipoclorito de calcio granulado.

- Repuestos para el equipo.

Este equipo no requiere repuestos.

- Personal capacitado para reparaciones.

Este equipo no requiere personal capacitado para reparaciones, solamente se requiere personal para mantenimiento.

4.4.3 Peligrosidad por la manipulación de los químicos

- Sus propiedades físico-químicas

Las propiedades físicas y químicas del hipoclorito de calcio se muestran en el Cuadro 23.

Cuadro23: Propiedades físicas y químicas del hipoclorito de calcio.

Propiedad	Valor
Apariencia, olor y estado físico	Polvo blanco cristalino, con fuerte olor a cloro como resultado de su descomposición
Gravedad específica (agua=1)	2,35 / 20°C
Punto de ebullición (°C)	N.R
Punto de fusión (°C)	100
Densidad relativa del vapor (aire=1)	6,9
Presión de vapor (mm Hg)	N.A
Viscosidad (cp)	N.A
Ph	11,5 (solución al 5%)
Solubilidad	Soluble en agua fría e insoluble en alcohol

Fuente: Díaz, J & Portocarrero, L (7).

- Sus propiedades toxicológicas

El hipoclorito de calcio tiene un límite crónico en animales de 100 ppm. Tiene un límite umbral de olor (detección) de 0,06 ppm. Este producto ha sido clasificado como no cancerígeno. Se ha investigado el producto por efectos de tipo mutagénico de acuerdo a estudios con animales de laboratorio. Cabe recalcar que no hay información disponible sobre embriotoxicidad, efectos reproductivos ni mutagenicidad.

- Sus efectos sobre la salud humana

El hipoclorito de calcio es extremadamente destructivo para los tejidos de las membranas mucosas y el tracto respiratorio superior. Los síntomas pueden ser sensación quemante, tos, jadeo, laringitis, falta de respiración, dolor de cabeza, náuseas y vómitos. La inhalación puede ser fatal como resultado de inflamación espasmódica, y edema de laringe y bronquios, neumonía química y edema pulmonar.

En caso de ingestión, se puede percibir la sensación de comezón en la garganta y la boca. Puede provocar severas quemaduras al aparato digestivo, dolores abdominales, náuseas, vómito, diarrea y podría llegar hasta causar la muerte.

En cuanto al contacto con la piel, puede causar síntomas de enrojecimiento, dolor y quemaduras severas.

El contacto con los ojos puede causar visión borrosa, enrojecimiento, dolor y severas quemaduras tisulares.

Entre los efectos crónicos que puede causar el hipoclorito de calcio se encuentran la inflamación del sistema respiratorio e irritación de la piel tras el contacto prolongado o repetido con el producto.

- Sus efectos sobre el medio ambiente

No existe información disponible referente a efectos al medio ambiente, bioacumulación en los seres vivos, demanda de oxígeno, biodegradabilidad y persistencia en el ambiente. Sin embargo el hipoclorito de calcio es considerado como tóxico para los peces.

- Su reactividad química

El hipoclorito de calcio es estable bajo condiciones normales de almacenamiento y manipulación. Térmicamente es inestable. Se descompone violentamente al exponerse al calor (177°C) o luz.

Es sumamente necesario evitar el calor, las llamas, la luz, las fuentes de ignición y el polvo.

El hipoclorito de calcio es incompatible con la humedad, con materiales combustibles, con materiales orgánicos, con ácidos fuertes, con las aminas, con el amoníaco y con los alcoholes. Además reacciona con agentes reductores, explota con aminas primarias, con carbono, con óxido de hierro, con fenol y con azufre. Igualmente, corroe el hierro, el níquel, el aluminio y otros metales.

Cuando el hipoclorito de calcio se calienta hasta la descomposición puede liberar oxígeno, cloro y monóxido de cloro.

4.4.4 Costos de aplicación de las tecnologías

- Costos de los equipos

El costo de este equipo es simplemente el costo de los estañones, el cual es de aproximadamente ₡40 000. El costo de operación consiste en el costo del hipoclorito de

calcio granulado. El costo de una cubeta de 45 kg es de aproximadamente ₡85 000 y se adquiere una cubeta cada 22 días aproximadamente.

4.4.5 Efectividad de la aplicación según pruebas de laboratorio (Cloro residual y coliformes fecales)

- Prueba de cloro residual

Las pruebas de cloro residual para esta tecnología, las hacen mediante un colorímetro, tanto en el tanque como en la red, cada semana o cada quince días. Los resultados de cloro residual para los sistemas visitados se muestran a continuación, en el Cuadro 24.

Cuadro 24: Resultados de laboratorio del cloro residual de las plantas que utilizan hipoclorito de calcio en forma granular para la desinfección del agua.

Planta	Cloro Residual (mg/L) Tanque Almacenamiento	Cloro Residual (mg/L) Red
Orosi de Cartago	0,60	0,40
Bermejo de Cartago (El Común)	0,52	0,46
Bermejo de Cartago (La Cementera)	0,39	0,20
La Flor de Paraíso de Cartago	0,94	0,90

Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas.

- Coliformes fecales

Los resultados de laboratorio de coliformes fecales, para este sistema, se muestran en el Cuadro 25.

Cuadro 25: Resultados de laboratorio de coliformes fecales de las plantas que utilizan hipoclorito de calcio en forma granular para la desinfección del agua.

Planta	Coliformes fecales * 100 mL⁻¹ Tanque de Almacenamiento	NMP E.Coli 44,5°C
Orosi de Cartago	Negativo	---
Bermejo de Cartago (El Común)	2,2	2,2
Bermejo de Cartago (La cementera)	3,6	3,6
La Flor de Paraíso de Cartago	Negativo	---

Fuente: Laboratorio Nacional de Aguas.

4.5 Cuadro resumen de los parámetros analizados para cada tecnología

En el cuadro 25 se resumen los resultados obtenidos de los parámetros analizados para cada una de las tecnologías, con el fin de que la información encontrada quede mejor sintetizada y se dé un mayor entendimiento de dichos resultados.

Cuadro 25: Cuadro resumen de los parámetros evaluados para cada tecnología.

Parámetro	Cloro Gas		Hipoclorito de Sodio		Hipoclorito de Calcio en Pastillas		Hipoclorito de Calcio Granular	
Facilidad de Operación	Complejo		Intermedio		Fácil		Fácil	
Disponibilidad de Químicos	Buena disponibilidad		Buena disponibilidad		Buena disponibilidad		Buena disponibilidad	
Peligrosidad	Presenta peligro		No presenta peligro		No presenta peligro		No presenta peligro	
Costo del Equipo	¢330 000 a ¢820 000*		¢2 500 000 a ¢9 000 000**		¢650 000 a ¢3 000 000***		Aproximadamente ¢100 000****	
Cloro Residual (mg/L)	Tres Ríos	0,96	Santa Cruz Turrialba	0,20	Carmen Lyra de Turrialba	0,13	Orosi	0,60
	Guadalupe	0,90	Quebradilla Alto	0,30	Buenos Aires de Juan Viñas	0,80	Bermejo Alto	0,52
	Alajuelita	0,73	Quebradilla Sur	0,67	El Carmen de la Suiza	0,34	Bermejo Bajo	0,39
	Escazú	0,62	Tobosi	0,85	Tucurrique de Pejibaye	0,12	La Flor de Paraíso	0,94
	Promedio	0,80	Promedio	0,51	Promedio	0,35	Promedio	0,61
Coliformes Fecales *100 mL⁻¹	Tres Ríos	---	Santa Cruz Turrialba	---	Carmen Lyra de Turrialba	14,0	Orosi	---
	Guadalupe	---	Quebradilla Alto	---	Buenos Aires de Juan Viñas	---	Bermejo Alto	2,20
	Alajuelita	---	Quebradilla Sur	---	El Carmen de la Suiza	---	Bermejo Bajo	3,60
	Escazú	---	Tobosi	---	Tucurrique de Pejibaye	---	La Flor de Paraíso	---

*Costo de los cilindros requeridos por mes.

***Dependiendo del lugar donde se adquiera.

** Dependiendo de la capacidad del equipo.

****Costo por mes.

4.6 Comparación entre las ventajas y desventajas cada una de las tecnologías

Se ha preparado el Cuadro 26 para facilitar la comparación de los dosificadores de cloro que se han descrito anteriormente. En dicho cuadro se resumen las ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas.

Cuadro 26: Comparación de las ventajas y desventajas de cada una de las tecnologías utilizadas para la desinfección del agua.

Tecnología	Ventajas	Desventajas
Cloro Gas	<p>Tecnología generaliza en el mundo. Producción de cloro gaseoso en casi todos los países. Es un producto químico barato. Este sistema no produce incrustaciones en las tuberías. El cloro gas no presenta problemas de estabilidad. No presenta problemas de disponibilidad de químicos ni elementos requeridos. No hay problema de disponibilidad de repuestos para el equipo. Esta tecnología es la que presenta mayor efectividad de acuerdo con las pruebas de laboratorio, del agua de las plantas potabilizadoras visitadas. En el caso de las cuatro plantas se cumple tanto con los valores de cloro residual requeridos y con la ausencia de coliformes fecales.</p>	<p>Instalación costosa para pueblos muy pequeños. Necesita un equipo auxiliar. El personal necesita capacitación especial. Si no es operado adecuadamente puede ser peligroso debido a que el gas es venenoso y a que posee un alto contenido de cloro. No es recomendado para sistemas que traten caudales menores de 500 m³/día. Para su operación se requiere de energía eléctrica. Los cilindros de cloro gas no son seguros de almacenar y de manejar. El transporte es sumamente complicado y especializado por los riesgos y la naturaleza de los cilindros. Además la dosificación del cloro gaseoso es muy cara y especializada. Esta tecnología es la que requiere mayor número de operadores. La instalación y la caseta de cloración es la más compleja de las tecnologías. Esta tecnología presenta peligro de manipulación, ya que el cloro presenta propiedades toxicológicas que producen efectos tanto en la salud como en el medio ambiente. Requiere más equipos y medidas de seguridad que los demás sistemas. Esta es la tecnología que presenta un costo operación y mantenimiento.</p>
Hipoclorito de Sodio	<p>No requiere transporte de productos clorados, ya que la sal común básicamente se consigue en todos los sitios. Se produce in</p>	<p>Requiere de agua blanda para que no se acumule depósitos en los electrodos. El personal debe capacitarse en su operación y mantenimiento. El costo es de intermedio a elevado para un sistema</p>

Cuadro 26: Comparación de las ventajas y desventajas de cada una de las tecnologías utilizadas para la desinfección del agua
(Continuación).

Tecnología	Ventajas	Desventajas
Hipoclorito de Sodio (Cont.)	<p>situ. Sumamente confiable. Muy popular. Sencillo de operar. El hipoclorito de sodio no presenta alto contenido de cloro. No produce incrustaciones en las tuberías. No presenta ningún problema de estabilidad ya que debido a que su concentración es tan baja, su estabilidad es muy alta. Por lo tanto, su estabilidad es absoluta. El hipoclorito de sodio es muy manejable ya que el equipo es muy robusto y protegido. La dosificación es muy sencilla de realizar, y los elementos requeridos son comunes y baratos. Esta tecnología no presenta problemas de disponibilidad de equipos ni químicos requeridos para funcionar. Además los repuestos se pueden conseguir en el mercado nacional. Esta tecnología cumple con el requerimiento de ausencia de coliformes fecales.</p>	<p>rural. Requiere de energía eléctrica para funcionar. Si no se da el mantenimiento adecuado a la celda, tiende a fundirse muy fácilmente. Presenta posibles problemas de derrames. La instalación y funcionamiento de este sistema presenta una complejidad intermedia, es decir, no es tan compleja como la de cloro gas, ni tan simple como la de hipoclorito de calcio. El costo de este sistema tanto en operación como en mantenimiento es mayor al costo del sistema de hipoclorito de calcio, tanto en la forma granular como en pastillas. En el caso de la evaluación de la efectividad de esta tecnología, mediante las pruebas de laboratorio, se tiene que de los cuatro sistemas visitados solamente dos cumplen con el cloro residual requerido para que cumpla con la norma.</p>

Cuadro26: Comparación de las ventajas y desventajas de cada una de las tecnologías utilizadas para la desinfección del agua
(Continuación).

Tecnología	Ventajas	Desventajas
Hipoclorito de Calcio Pastillas	<p>Sumamente sencillo. Ideal para pequeñas comunidades. Una de las mejores soluciones para dosificación a la entrada de un tanque. No necesita energía eléctrica. El hipoclorito de calcio no posee un alto contenido de cloro. Esta tecnología tiene mucha facilidad de uso. Las pastillas tienen larga vida en almacenamiento. Con esta tecnología no existe posibilidad de derrame. La instalación y el funcionamiento de este sistema son muy sencillos, por lo que no se tienen requerimientos especiales. No se requiere capacitación especial para los operadores ya que el nivel de complejidad del sistema es muy bajo. No se presenta problema con la disponibilidad de equipos ni de químicos. No requiere repuestos ni personal capacitado para reparaciones.</p>	<p>Esta tecnología tiene un costo inicial alto. El equipo de hipoclorito de calcio en pastillas tiene un costo muy elevado. Se presentan algunos errores en la dosificación. Necesita tabletas, de las cuales existen pocos fabricantes. Se pueden producir incrustaciones en las tuberías. Se requiere de transporte especializado para esta tecnología. Se puede presentar inestabilidad, por lo que se requiere almacenamiento especial del hipoclorito de calcio. La dosificación del hipoclorito de calcio es un poco complicada debido a ser un elemento sólido. En cuanto a la efectividad de cloración, de esta tecnología, deja mucho que desear ya que de los cuatro sistemas analizados solamente uno cumple con la cantidad de cloro residual que debe estar presente tanto en el tanque de almacenamiento como en la red. En cuanto a la prueba de coliformes fecales, fue la única tecnología en la que el resultado no fue de ausencia de coliformes fecales.</p>

Cuadro 26: Comparación de las ventajas y desventajas de cada una de las tecnologías utilizadas para la desinfección del agua (Continuación).

Tecnología	Ventajas	Desventajas
Hipoclorito de Calcio Granular	<p>Este sistema es sumamente sencillo. Presenta bajo costo por ser un sistema que solo requiere el hipoclorito de calcio y agua. La instalación y la caseta de cloración son sumamente sencillas. Este sistema no presenta nivel de complejidad. No se presenta disponibilidad de químicos para este sistema. No necesita equipo ni repuestos. Además no se requiere personal capacitado para reparaciones. En los sistemas visitados se tiene que esta tecnología cumple con los valores requeridos de cloro residual tanto en la red como en el tanque de almacenamiento.</p>	<p>La dosificación de este sistema es sumamente complicada y la dosis que debe ser aplicada no se conoce exactamente. Se requieren muchas pruebas para conocer la cantidad de cloro que se debe aplicar para tener el cloro residual requerido en el tanque y en la red. El hipoclorito de calcio es concentrado por lo que los operadores deben tener mucho cuidado, y utilizar el equipo de protección para velar por su salud. El costo de operación y mantenimiento es intermedio. En cuanto a la efectividad, esta tecnología presenta problemas ya que de los cuatro sistemas, dos presentan coliformes fecales.</p>

Capítulo V

Conclusiones y recomendaciones

Capítulo 5. Conclusiones y Recomendaciones

5.1 Conclusiones

Para uso real en nuestro país se concluye del uso de los sistemas de desinfección analizados, considerando su complejidad, disponibilidad de equipos y elementos requeridos, peligrosidad, costos de los equipos y efectividad de la aplicación, lo siguiente:

- Las tecnologías que presentan una mayor complejidad en su operación son la de cloro gaseoso y la de hipoclorito de sodio, mientras que las dos tecnologías que presentan una menor complejidad son las dos de hipoclorito de calcio.
- La tecnología que requiere de mayor capacitación del personal, en cuanto a operación del sistema, es la de cloro gas mientras que la que requieren menor capacitación del personal son las de hipoclorito de calcio.
- Ninguna tecnología presenta problemas de disponibilidad de químicos ni de equipos, sin embargo el cloro gaseoso y el hipoclorito de calcio no son producidos en nuestro país, por lo que se requiere su importación. Además no existe tampoco problema en cuanto a la disponibilidad de repuestos para los equipos de cloración.
- La tecnología que presenta mayor peligrosidad, en cuanto a manipulación de químicos se refiere, es la de cloro gas, ya que por su alta concentración de cloro puede presentar un riesgo para el ser humano y el ambiente. El caso contrario es el del hipoclorito de sodio, ya que por encontrarse en concentraciones pequeñas es muy seguro e inofensivo para el ser humano.
- El equipo que presenta un mayor costo es el de cloro gas, sin embargo es el que reúne todas las características necesarias para sistemas con gran cantidad de población y que por lo tanto se requieran tratar mayores caudales.
- Para poblaciones rurales, los sistemas indicados son el hipoclorito de calcio en tabletas y el de hipoclorito de sodio. Aquí se presenta una disyuntiva, ya que el

hipoclorito de calcio requiere de una mayor inversión inicial, mientras que el hipoclorito de sodio presenta un mayor costo de operación, ya que utiliza electricidad.

- El sistema de hipoclorito de calcio en forma granular no es muy indicado para clorar agua para consumo humano, más bien debería utilizarse únicamente para situaciones de emergencia o para el lavado de tanques de las plantas, ya que en este momento no se tiene un conocimiento adecuado de la dosificación de este químico y éste presenta un alto contenido de cloro, por lo tanto podría resultar perjudicial para la comunidad abastecida.
- En la actualidad se requiere de una mayor capacitación a los operadores de los acueductos rurales, ya que no están bien informados sobre el uso correcto de las tecnologías, aunque los sistemas de cloración no presenten un alto grado de complejidad.
- El sistema que presenta una mayor efectividad en cuanto a cloro residual y ausencia de coliformes fecales es la de cloro gas. En las tecnologías utilizadas en sistemas rurales no se presenta una efectividad al cien por ciento, lo cual no es nada bueno.
- En situaciones de emergencia y desastre las tecnologías de desinfección adecuadas son el hipoclorito de calcio en tabletas y el hipoclorito de sodio.

Por todo lo anteriormente mencionado se concluye que para plantas de tratamiento grandes, es decir que abastecen grandes poblaciones, la tecnología adecuada es la de cloro gas, mientras que para comunidades rurales, que cuentan con una pequeña población, las tecnologías adecuadas son las de hipoclorito de sodio e hipoclorito de calcio en tabletas. El hipoclorito de calcio en forma granular no es recomendado como sistema de desinfección ya que en nuestro país no se tiene apropiado sobre esta tecnología. Sin embargo, cabe recalcar que la manera idónea de seleccionar un sistema de desinfección

es realizar un estudio de las condiciones existentes en el lugar que se desea instalar, y de esta manera escoger la mejor opción para dichas condiciones.

5.2 Recomendaciones

Debido a la complejidad en la toma de decisiones para el uso de cada uno de las tecnologías de desinfección estudiadas, se ha realizado una serie de recomendaciones en base a distintos parámetros que permitirían una fácil elección de la tecnología a utilizar.

Distinguiendo por el tipo de sistema a usar en flujo continuo, en situaciones de emergencia y desastre, y para pequeñas comunidades, tenemos que:

- Para plantas de tratamiento grandes y de ciudades económicamente fuertes, es recomendable utilizar cloro gas para la desinfección del agua, pues se necesita accesibilidad de repuestos y mantenimientos con personal capacitado, ya que este tipo de desinfección es restrictivo para países en desarrollo por el alto costo para su puesta en operación a gran escala y el requerimiento de proveedores externos especializados, paradójicamente es muy simple se equipo básico pero de gran complejidad dependiendo del grado de seguridad buscado, por el peligro que representa su manipulación.
- Para plantas de tratamiento pequeñas los sistemas de desinfección más recomendados son los de hipoclorito de calcio en pastillas y los de hipoclorito de sodio, debido a la fácil importación de materia prima, sencilla manipulación del producto y requerimiento de personal capacitado para la operación y mantenimiento. Es por esta razón que son muy versátiles y aplicables para pequeñas comunidades.
- En situaciones de emergencia y de desastre el sistema de desinfección adecuado es el de hipoclorito de calcio en tabletas, por su facilidad de operación, manejo y adquisición. La seguridad que presenta y el poco entrenamiento para su aplicación lo convierten en un desinfectante ideal.

- Se recomienda además el uso del cloro, del hipoclorito de calcio y del hipoclorito de sodio, si el agua no contiene materiales orgánicos o contaminantes capaces de formar compuestos que den mal sabor al agua.

Las anteriores recomendaciones son en cuanto a la escogencia de una tecnología determinada sobre las otras. Sin embargo, como se observó a través de las visitas de campo, en nuestro país existen deficiencias en las tecnologías utilizadas para la desinfección del agua en acueductos rurales.

Algunas recomendaciones, en cuanto a la aplicación de las tecnologías de desinfección que se está dando actualmente en nuestro país, se encuentran las siguientes:

- Dar capacitaciones completas, bien estructuradas y periódicas a los operadores de los acueductos rurales sobre las tecnologías que ellos están operando.
- El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados debería dar mayor motivación y apoyo a los acueductos rurales, ya que éstos prácticamente se encuentran operando solos, sin ningún tipo de guía y sin embargo, muchos de estos acueductos tienen muchas ganas de superarse y desempeñar mejor sus labores, siendo esto casi imposible por la poca información con la que trabajan.
- Se debería realizar un mejor manejo de la Bodega del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, en lo que se refiere a equipos para la desinfección del agua para comunidades rurales, ya que poseen numerosos materiales que podrían ser mejor aprovechados tanto en los sistemas ya instalados, como en las comunidades que aún no cuentan con sistema de desinfección.
- Las comunidades rurales deberían tomar conciencia del costo que representa cada equipo de desinfección y que si por alguna razón se saca de uso, debería devolverse al AyA, ya sea para su arreglo o para que se utilice en otra comunidad.

Referencias bibliográficas


1. Organización Panamericana de la Salud. (1995). *Guías para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección del agua para consumo humano en pequeños pueblos y comunidades rurales en América Latina y el Caribe: Manual de desinfección*. Washington D.C.
2. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA). (1999). *Control de calidad del agua para el consumo humano en los acueductos operados por el AyA*. San José, Costa Rica.
3. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2004). *Manual del Cloro*. San José, Costa Rica.
4. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (1997). *Instructivo de Plantas de Tratamiento de Filtración Rápida*. San José, Costa Rica.
5. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (2000). *Curso sobre desinfección*. San José, Costa Rica.
6. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados. (1993). *Normas de seguridad para el almacenamiento y uso del gas cloro*. San José, Costa Rica.
7. Díaz, J & Portocarrero, L. (2002). *Manual de manejo seguro del cloro*. Colombia: Litotamara Ltda.
8. Montiel, A. (1996). *La desinfección del agua*. Organización Mundial de la Salud (OMS). Francia.
9. Rodríguez, F. (2003). *Proceso de potabilización del agua e influencia del tratamiento de ozonificación*. Madrid: Día de Santos.
10. Arboleda, J. (2000). *Teoría y práctica de la purificación del agua*. Colombia: McGram-Hill Interamericana.

11. Quirós, R. (1969). *Consideraciones sobre desinfección de aguas*. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
12. Cordero, L. (2008). *Sustitución del cloro por quelatos en el tratamiento de agua potable*. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
13. Ramírez, J. (2000). *Evaluación hidráulica y sanitaria de la Planta Potabilizadora de San Ignacio de Acosta*. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
14. Moya, L. (1980). *Evaluación de técnicas de potabilización de agua en las zonas rurales de Costa Rica*. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
15. Moreira, M. (1999). *Diagnóstico operativo de la Planta Potabilizadora de Los Ángeles de San Rafael de Heredia*. Proyecto de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Civil, Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
16. Perruolo, J. (2009). *Metodología para la selección de un sistema de desinfección con cloro*. Extraído el 15 de abril, 2010, de <http://www.monografias.com/trabajos/cloracion>.
17. Roeske, W., Müller, C., & Günzbur, J. (2004). *Desinfección de agua potable con cloro y dióxido de carbono*. Extraído el 15 de abril, 2010, de http://www.educapalimentos.org/site/archivos/articulos_interes.

Anexos

Anexos

Anexo 1. Análisis de laboratorio de cloro residual y coliformes fecales para cada uno de los sistemas visitados.

 Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados Laboratorio Nacional de Aguas						
Análisis Microbiológico						
Sistema: PLANTA ALTA-TRES RÍOS			Solicitado por: GRAN AREA METROPOLITANA		Recolección: 25/04/2011	
Canton: CURRIDABAT			Recolectado por: RAFAEL SOLÍS		Conclusión análisis: 11	
Provincia: SAN JOSÉ		Localización: 1-01-01	Número reporte: 84524		Emisión reporte: 28/04/2011	
PUNTO DE MUESTREO	HORA MUESTREO	CLORO RESIDUAL mg/L	COLIFORMES * 100 ml ⁻¹		IDENTIFICACION COLIFORMES	NMP E. coli 44.5° C
			TOTALES	FECALES		
Red: CIFRESES (CURRIDABAT) Sra. Yadella Contreras(g)	15:15	0,96				
1- Orden: D1979-11. 2- Reporte de campo: a) queja porque el usuario reporta que el agua tiene problemas de olor, color y sabor; b) en el momento de recolectar el agua no presenta ni olor, color y sabor.						
(g): Queja						
PROFESIONAL RESPONSABLE			AREA MICROBIOLOGIA			

"Vigilamos la calidad del agua por su salud"



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
Laboratorio Nacional de Aguas

Análisis Microbiológico

Sistema: PLANTA ALAJUELITA		Solicitado por: GRAN AREA METROPOLITANA		Recolección: 08/04/2011		
Canton: ALAJUELITA		Recolectado por: ROBERTO FONSECA CHANTO		Conclusión análisis: 09/04/2011		
Provincia: SAN JOSÉ	Localización: 1-01-01	Número reporte: 84412		Emisión reporte: 15/04/2011		
PUNTO DE MUESTREO	HORA MUESTREO	CLORO RESIDUAL mg/L	COLIFORMES * 100 ml ⁻¹		IDENTIFICACION COLIFORMES	NMP E. coli 44.5° C
			TOTALES	FECALES		
Red: ALAJUELITA Bar la Confeza	10:00	0,48			Negativo	
CALLE EL ALTO (ALAJUELITA) Centro Médico Vida y Salud	10:15	0,73			Negativo	
PIEDRAS DEL FUEGO Gra. Olga Chinchilla Ch.	10:40	0,48			Negativo	
<p>1- Orden: 01831-11.</p> <p>2- Criterio de evaluación: Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto Ejecutivo No. 32327-S. Sistemas clorados: Valor recomendado y valor máximo admisible: negativo por coliformes fecales y E.coli. Sistemas no clorados: Valor recomendado y valor máximo admisible: negativo por E.coli.</p> <p>3- En este análisis puntual el agua cumple los criterios microbiológicos establecidos para aguas de consumo humano.</p>						
PROFESIONAL RESPONSABLE			AREA MICROBIOLOGIA			

"Vigilamos la calidad del agua por su salud"



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
Laboratorio Nacional de Aguas

Análisis Microbiológico

Sistema: PLANTA DE GUADALUPE		Solicitado por: GRAN AREA METROPOLITANA		Recolección: 14/04/2011		
Canton: GOICOECHEA		Recolectado por: RODRIGO ARRONIS		Conclusión análisis: 18/04/2011		
Provincia: SAN JOSÉ	Localización: 1-01-01	Número reporte: 84474		Emisión reporte: 28/04/2011		
PUNTO DE MUESTREO	HORA MUESTREO	CLORO RESIDUAL mg/L	COLIFORMES * 100 ml ⁻¹		IDENTIFICACION COLIFORMES	NMP E. coli 44.5° C
			TOTALES	FECALES		
CRUDA	8:00			2400		
MEZCLA DE SEDIMENTADORES	11:25			Negativo		
MEZCLA DE FILTROS	11:37			Negativo		
CLORDA	11:45	0,90		Negativo		
1- Orden: 01902-11; ID: 02584-11; ID: 02585-11; ID: 02586-11; ID: 02587-11. 2- Reporte de campo: a) caudal: 270 L/s; b) dosis de sulfato de aluminio: 30 mg/L; c) cloro: 1.2 mg/L; d) operador: señor German Artavia.						
PROFESIONAL RESPONSABLE			AREA MICROBIOLOGIA			

"Vigilamos la calidad del agua por su salud"



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
Laboratorio Nacional de Aguas

Análisis Microbiológico

Sistema: SAN ANTONIO DE ESCAZÚ	Solicitado por: REGION AREA METROPOLITANA	Recolección: 14/04/2011
Canton: ESCAZÚ	Recolectado por: HECTOR SALAZAR	Conclusión análisis: 18/04/2011
Provincia: SAN JOSÉ	Número reporte: 84472	Emisión reporte: 28/04/2011

PUNTO DE MUESTREO	HORA MUESTREO	CLORO RESIDUAL mg/L	COLIFORMES * 100 ml ⁻¹		IDENTIFICACION COLIFORMES	NMP E. coli 44.5° C
			TOTALES	FECALES		
PLANTA DE TRATAMIENTO: CRUDA	7:45			93		
PLANTA DE TRATAMIENTO: SEDIMENTADA	8:30			3.6		
PLANTA DE TRATAMIENTO: FILTRADA	8:40			23		
CLORADA: TANQUE TECHADO	8:50	0.62		Negativo		

1- Orden: 01903-11; ID: 02601-11; ID: 02602-11; ID: 02603-11; ID: 02604-11.

2- Reporte de campo: a) caudal: 69 L/s; b) dosis de sulfato de aluminio: 10 mg/L; c) dosis de cloro: 1,0 mg/L; d) sedimentador 1 en lavado; e) operador señor Benito Ortega R.

PROFESIONAL RESPONSABLE	AREA MICROBIOLOGIA
-------------------------	--------------------

"Vigilamos la calidad del agua por su salud"



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
Laboratorio Nacional de Aguas

Análisis Microbiológico

Sistema: BUENOS AIRES DE JUAN VIÑAS		Solicitado por: DIVISION DE ACUEDUCTOS		Recolección: 10/08/2010		
Canton: JIMÉNEZ		Recolectado por: GUSTAVO BRENEZ		Conclusión análisis: 14/08/2010		
Provincia: CARTAGO	Localización: 3-04-01	Número reporte: 87068		Emisión reporte: 22/08/2010		
PUNTO DE MUESTREO	HORA MUESTREO	CLORO RESIDUAL mg/L	COLIFORMES * 100 ml-1		IDENTIFICACION COLIFORMES	NMP E. coli 44.5° C
			TOTALES	FECALES		
NACIENTE 1 (FINCA HACIENDA JUAN VIÑAS)	11:15			3.6		3.6
NACIENTE 2 (FINCA HACIENDA JUAN VIÑAS)	11:45			Negativo		
NACIENTE 3 (FINCA HACIENDA JUAN VIÑAS)	12:30			Negativo		
TANQUE DISTRIBUCIÓN METÁLICO SAN	13:20	0,80		Negativo		
TANQUE DISTRIBUCIÓN METÁLICO	13:45	0,76		Negativo		
TANQUE DISTRIBUCIÓN METÁLICO	13:50	0,73		Negativo		
Red:						
RED 1						
Sra. Ana Ortiz Jiménez	14:15	0,80		Negativo		
RED 2						
Fuente pública	14:25	0,80		Negativo		
RED 3						
Sr. Juan Melendez Delgado	14:37	0,71		Negativo		
RED 3						
Sr. Juan Melendez Delgado	14:38	0,71		Negativo		
<p>1- Orden: 0980-10. 2- Reporte de campo: a) comunidad participante en el Programa Sello de Calidad Sanitaria; b) nacientes y tanques se encuentran en muy buenas condiciones; c) día de verano. 3- Criterio de evaluación: Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto Ejecutivo No. 32327-S. Sistemas clorados: Valor recomendado y valor máximo admisible: negativo por coliformes fecales y E.coli. Sistemas no clorados: Valor recomendado y valor máximo admisible: negativo por E.coli. 4- En este análisis puntual el agua cumple los criterios microbiológicos establecidos para consumo humano excepto en la naciente 1 Finca Hacienda Juan Viñas.</p>						
PROFESIONAL RESPONSABLE			AREA MICROBIOLOGIA			

"Vigilamos la calidad del agua por su salud"



Análisis Microbiológico

Sistema: QUEBRADILLA DE CARTAGO		Solicitado por: DIVISION DE ACUEDUCTOS		Recolección: 19/11/2010		
Canton: CARTAGO		Recolectado por: GUSTAVO BRENES		Conclusión análisis: 19/11/2010		
Provincia: CARTAGO	Localización: 3-01-11	Número reporte: 81788		Emisión reporte: 23/11/2010		
PUNTO DE MUESTREO	HORA MUESTREO	CLORO RESIDUAL mg/L	COLIFORMES * 100 ml-1		IDENTIFICACION COLIFORMES	NMP E.coli 44.5° C
			TOTALES	FECALIS		
NACIENTE 10	9:15	0,00		Negativo		
NACIENTE 17	10:00	0,00		3,6		Negativo
TANQUE DE ALMACENAMIENTO	10:15	0,40		Negativo		
Red: RED 1 Sta. Olga Trejos Brenes	10:35	0,39		Negativo		
TANQUE FRENTE A LA ESCUELA	11:00	0,20		Negativo		
Red: RED 2 Escuela Alto de Quebradilla	11:10	0,35		Negativo		
RED 3 Escuela Quebradilla	12:35	0,25		Negativo		
RED 3 Escuela Quebradilla	12:36	0,25		Negativo		
RED 4 SBAS	12:44	0,27		Negativo		
<p>1- Orden: 05254-10. 2- Reporte de campo: a) comunidad participante en el Programa Sello de Calidad Sanitaria; b) las nacientes se encuentran en muy buenas condiciones sanitarias; las nacientes que no se muestrearon están fuera de operación por el momento; c) los tanques se encuentran en buenas condiciones sanitarias; d) día de verano. 3- Criterio de evaluación: Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto Ejecutivo No. 32327-S. Sistemas clorados: Valor recomendado y valor máximo admisible: negativo por coliformes fecales y E.coli. Sistemas no clorados: Valor recomendado y valor máximo admisible: negativo por E.coli. 4- En este análisis puntual el agua cumple los criterios microbiológicos establecidos para aguas de consumo humano. 5- Se recomienda mantener un residual mínimo de 0,3 mg/L de cloro en los puntos más distales de la red de distribución.</p>						
PROFESIONAL RESPONSABLE			AREA MICROBIOLOGIA			

"Vigilamos la calidad del agua por su salud"



Análisis Microbiológico

Sistema: QUEBRADILLA DE CARTAGO: SECTOR SUR		Solicitado por: DIVISION DE ACUEDUCTOS		Recolección: 09/03/2010		
Canton: CARTAGO		Recolectado por: RAFAEL SOLÍS		Conclusión análisis: 10/03/2010		
Provincia: CARTAGO	Localización: 3-01-11	Número reporte: 87001		Emisión reporte: 12/03/2010		
PUNTO DE MUESTREO	HORA MUESTREO	CLORO RESIDUAL mg/L	COLIFORMES * 100 ml ⁻¹		IDENTIFICACION COLIFORMES	NMP E. coli 44.5° C
			TOTALES	FECALES		
F 1 NACIENTE RODRIGO ALFARO	8:30			Negativo		
F 4 NACIENTE OSCAR CAMPOS	9:30			Negativo		
F 5 NACIENTE OSCAR CAMPOS	10:00			150		100
NACIENTE EL YAS	11:00			Negativo		
F 6 NACIENTE FELO VARGAS	11:30			Negativo		
TANQUE 1 (FELO VARGAS)	11:50	0,96		Negativo		
TANQUE 2 FERNANDO PIEDRA	12:10	0,67		Negativo		
Red:						
RED 1 Sr. Gerardo Tenorio	12:40	0,69		Negativo		
RED 2 Colegio Fernando Volio	12:55	0,70		Negativo		
RED 3 Sr. Fabio Quesada	13:10	0,75		Negativo		
<p>1- Orden: 0905-10. 2- Reporte de campo: las nacientes faltantes están secas. 3- Criterio de evaluación: Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto Ejecutivo No. 32327-S. Sistemas clorados: Valor recomendado y valor máximo admisible: negativo por coliformes fecales y E.coli. Sistemas no clorados: Valor recomendado y valor máximo admisible: negativo por E.coli. 4- En este análisis puntual el agua cumple los criterios microbiológicos establecidos para consumo humano excepto en la naciente Óscar Campos.</p>						
PROFESIONAL RESPONSABLE			AREA MICROBIOLOGIA			

"Vigilamos la calidad del agua por su salud"



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
Laboratorio Nacional de Aguas

Análisis Microbiológico

Sistema: TOBOSÍ DE EL GUARCO: SECTOR NORTE Y SUR	Solicitado por: DIVISION DE ACUEDUCTOS	Recolección: 23/08/2010	
Canton: GUARCO	Recolectado por: ROBERTO FONSEGA CHANTO	Conclusión análisis: 28/08/2010	
Provincia: CARTAGO	Localización: 3-08-03	Número reporte: 80843	Emisión reporte: 07/10/2010

PUNTO DE MUESTREO	HORA MUESTREO	CLORO RESIDUAL mg/L	COLIFORMES * 100 mL		IDENTIFICACION COLIFORMES	NMP E. coli 44.5° C
			TOTALES	FECALIS		
QUEBRADA ANTONIO VARGAS En la captación	8:45			93		43
QUEBRADA CARMEN PIEDRA En la captación	11:00			73		73
NACIENTE PIUSA 2 En tanque de reunión	12:00			Negativo		

- 1- Orden: 04355-10.
- 2- Reporte de campo: a) día soleado; b) la quebrada Antonio Vargas está fuera de uso.
- 3- Criterio de evaluación: Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto Ejecutivo No. 32327-S. Sistemas clorados: Valor recomendado y valor máximo admisible: negativo por coliformes fecales y E.coli. Sistemas no clorados: Valor recomendado y valor máximo admisible: negativo por E.coli.
- 4- En este análisis puntual el agua no cumple los criterios microbiológicos establecidos para consumo humano.

PROFESIONAL RESPONSABLE	AREA MICROBIOLOGIA
-------------------------	--------------------

"Vigilamos la calidad del agua por su salud"



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
Laboratorio Nacional de Aguas

Análisis Microbiológico

Sistema: CARMEN LYRA DE TURRIALBA		Solicitado por: DIVISION DE ACUEDUCTOS		Recolección: 13/11/2008		
Canton: TURRIALBA		Recolectado por: GUSTAVO BRENEZ		Conclusión análisis: 18/11/2008		
Provincia: CARTAGO	Localización: 3-06-01	Número reporte: 86113		Emisión reporte: 20/11/2008		
PUNTO DE MUESTREO	HORA MUESTREO	CLORO RESIDUAL mg/L	COLIFORMES * 100 ml ⁻¹		IDENTIFICACION COLIFORMES	NMP E. coli 44.5° C
			TOTALES	FECALES		
NACIENTE 2	8:30			43		43
NACIENTE 1	9:45			150		93
TANQUE DE ALMACENAMIENTO	10:30	0,13		14		14
Red:						
RED 1 Escuela Carmen Lyra	11:00	0,00		18		18
RED 2 Sr. Edgar Marín Castillo	11:20	0,03		17		17
RED 3 Oficina del Acueducto	11:40	0,09		23		23
<p>1- Orden: 04833-08. 2- Reporte de campo: a) acueducto clorado; b) día con lluvia. 3- Criterio de evaluación: Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto Ejecutivo No. 32327-S. Sistemas clorados: Valor recomendado y valor máximo admisible: negativo por coliformes fecales y E.coli. Sistemas no clorados: Valor recomendado y valor máximo admisible: negativo por E.coli. 4- En este análisis puntual el agua no cumple los criterios microbiológicos establecidos para aguas de consumo humano. 5- Se recomienda mantener un residual mínimo de 0,3 mg/L de cloro en los puntos más distales de la red de distribución. 6- La densidad de coliformes detectada pone de manifiesto la necesidad de comunicar a los usuarios que deben hervir el agua antes de consumirla hasta tanto no</p>						
PROFESIONAL RESPONSABLE			AREA MICROBIOLOGIA			

"Vigilamos la calidad del agua por su salud"



Análisis Microbiológico

Sistema: LA FLOR ABAJO DE SANTIAGO		Solicitado por: DIVISION DE ACUEDUCTOS		Recolección: 11/03/2010		
Canton: PARAISO		Recolectado por: GUSTAVO BRENEB		Conclusión análisis: 15/03/2010		
Provincia: CARTAGO		Localización: 9-02-02		Número reporte: 87082		
				Emisión reporte: 22/03/2010		
PUNTO DE MUESTREO	HORA MUESTREO	CLORO RESIDUAL mg/L	COLIFORMES * 100 ml ⁻¹		IDENTIFICACION COLIFORMES	NMP E. coli 44.5° C
			TOTALES	FECALES		
NACIENTE LA FLOR	10:45				Negativo	
TANQUE LA FLOR	11:25	0,92			3	
Red:						
RED 1						
Sra. Elizabeth Anaya Zam	12:05	0,91			Negativo	
RED 2						
Sra. Roxana Madriz Cerdas	12:15	0,90			Negativo	
RED 3						
Sr. José Madriz Castillo	12:25	0,88			Negativo	
RED 3						
Sr. José Madriz Castillo	12:26	0,88			Negativo	

1- Orden: 0993-10.
2- Reporte de campo: a) comunidad participante en el Programa Sello de Calidad Sanitaria; b) la naciente y el tanque se encuentran en buenas condiciones sanitarias; c) día de verano.

3- Criterio de evaluación: Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto Ejecutivo No. 32327-S. Sistemas clorados: Valor recomendado y valor máximo admisible: negativo por coliformes fecales y E.coli. Sistemas no clorados: Valor recomendado y valor máximo admisible: negativo por E.coli.
4- En este análisis puntual el agua cumple los criterios microbiológicos establecidos para consumo humano excepto en el tanque La Flor.

PROFESIONAL RESPONSABLE	AREA MICROBIOLOGIA
-------------------------	--------------------

"Vigilamos la calidad del agua por su salud"



Análisis Microbiológico

Sistema: BERMEJO DE QUEBRADILLA DE CARTAGO: NACIENTE LA CEMENTERA		Solicitado por: DIVISION DE ACUEDUCTOS		Recolección: 27/11/2010		
Canton: CARTAGO		Recolectado por: GERMAN SALAZAR		Conclusión análisis: 01/12/2010		
Provincia: CARTAGO		Localización: 3-01-11		Número reporte: 82081		
				Emisión reporte: 03/12/2010		
PUNTO DE MUESTREO	HORA MUESTREO	CLORO RESIDUAL mg/L	COLIFORMES * 100 ml ⁻¹		IDENTIFICACION COLIFORMES	NMP E. coli 44.5° C
			TOTALES	FECALES		
NACIENTE LA CEMENTERA						
T. ALMACENAMIENTO LA CEMENTERA	11:20			Negativo		
	11:45	0,39		3,6		3,6
Red:						
RED 1						
Sr. Carlos Quezada	12:05	0,20		5,1		5,1
RED 2						
Abastecedor Vio	12:20	0,17		2,2		2,2
RED 3						
Sr. William Alfaro	12:35	0,20		Negativo		
RED 4						
Sr. Federico Arias	12:50	0,16		1,1		1,1
<p>1- Orden: 05530-10. 2- Reporte de campo: a) la captación de la naciente esta tapada con unos pedazos de lata de zinc y la tapa del tanque está sin candados; b) el acueducto actualmente es clorado; c) el pozo está permanentemente fuera de operación. 3- Criterio de evaluación: Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto Ejecutivo No. 32327-S. Sistemas clorados: Valor recomendado y valor máximo admisible: negativo por coliformes fecales y E.coli. Sistemas no clorados: Valor recomendado y valor máximo admisible: negativo por E.coli. 4- En este análisis puntual el agua no cumple los criterios microbiológicos establecidos para aguas de consumo humano, excepto la naciente.</p>						
PROFESIONAL RESPONSABLE			AREA MICROBIOLOGIA			

"Vigilamos la calidad del agua por su salud"



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
Laboratorio Nacional de Aguas

Análisis Microbiológico

Sistema: CALLE EL CARMEN DE LA SUIZA DE TURRIALBA		Solicitado por: DIVISION DE ACUEDUCTOS		Recolección: 12/08/2008		
Canton: TURRIALBA		Recolectado por: GUSTAVO BRENES		Conclusión análisis: 15/08/2008		
Provincia: CARTAGO	Localización: 3-06-02	Número reporte: 84008		Emisión reporte: 28/08/2008		
PUNTO DE MUESTREO	HORA MUESTREO	CLORO RESIDUAL mg/L	COLIFORMES * 100 ml ⁻¹		IDENTIFICACION COLIFORMES	NMP E. coli 44.5° C
			TOTALES	FECALES		
NACIENTE LOS MORA Entrada al tanque	9:00				Negativo	
NACIENTE DELGADA Entrada al tanque	9:15				Negativo	
TANQUE LOS MORA	9:25	0,34			Negativo	
Red:						
RED 1 Sr. Carlos Gutiérrez Salazar(R)	9:45	0,39		27		
RED 2 Sra. Clara Vargas Benavides	9:55	0,21			Negativo	
RED 3 Sr. Róger Álvarez Arce	10:07	0,28			Negativo	
<p>1- Orden: 03824-09.</p> <p>2- Reporte de campo: a) los tanques se encuentran en buenas condiciones y le hace falta de protección y rótulo; b) sistema de cloro con clorid.</p> <p>3- Criterio de evaluación: Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto Ejecutivo No. 32327-S. Sistemas clorados: Valor recomendado y valor máximo admisible: negativo por coliformes fecales y E.coli. Sistemas no clorados: Valor recomendado y valor máximo admisible: negativo por E.coli.</p> <p>4- En este análisis puntual el agua cumple los criterios microbiológicos establecidos para consumo humano excepto en la casa del Sr. Carlos Gutiérrez Salazar, punto que será remuestreado.</p> <p>(R): Punto a remuestrear</p>						
PROFESIONAL RESPONSABLE			AREA MICROBIOLOGIA			

"Vigilamos la calidad del agua por su salud"



Análisis Microbiológico

Sistema: SANTA CRUZ DE TURRIALBA		Solicitado por: DIVISION DE ACUEDUCTOS		Recolección: 16/01/2010		
Canton: TURRIALBA		Recolectado por: GERMAN SALAZAR		Conclusión análisis: 19/01/2010		
Provincia: CARTAGO	Localización: 9-06-04	Número reporte: 88214		Emisión reporte: 22/01/2010		
PUNTO DE MUESTREO	HORA MUESTREO	CLORO RESIDUAL mg/L	COLIFORMES * 100 ml ⁻¹		IDENTIFICACION COLIFORMES	NMP E. coli 44.5° C
			TOTALES	FECALES		
NACIENTE EL CARAGRA	8:45				Negativo	
NACIENTE CEDRO	9:30				Negativo	
NACIENTE EL TIRRA	10:15				3.6	3.6
TANQUE DE DISTRIBUCIÓN EL PATAL	10:45	0,20			Negativo	
TANQUE LA CRUZ	11:05	0,21			Negativo	
TANQUE SAN RAFAEL	11:25	0,17			Negativo	
TANQUE VERBENA NORTE	11:50	0,18			Negativo	
Red:						
VERBENA NORTE Sr. Uziel Mora	12:10	0,20			Negativo	
SAN RAFAEL Rancho La Cabafia	12:30	0,21			Negativo	
EL CARMEN Menesero La Plaza	12:50	0,39			Negativo	
SANTA CRUZ Chicharonera Los J/Tabos	1:10	0,33			Negativo	
<p>1- Orden 0157-10. 2- Reporte de campo: a) acueducto clorado; b) las nacientes Caragra, El Cedro y El Tirra, tienen un sabor amargo e irrita la vista, c) día soleado.</p> <p>2- Criterio de evaluación: Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto Ejecutivo No. 32327-8. Sistemas clorados: Valor recomendado y valor máximo admisible: negativo por coliformes fecales y E.coli. Sistemas no clorados: Valor recomendado y valor máximo admisible: negativo por E.coli.</p> <p>3- En este análisis puntual el agua cumple los criterios microbiológicos establecidos para consumo humano excepto en la naciente El Tirra.</p> <p>4- Se recomienda mantener un residual mínimo de 0,3 mg/L de cloro en los puntos más distales de la red de distribución.</p>						
PROFESIONAL RESPONSABLE			AREA MICROBIOLOGIA			

"Vigilamos la calidad del agua por su salud"



Análisis Microbiológico

Sistema: TUCURRIQUE DE JIMÉNEZ: SECTOR RADIO RUMBO		Solicitado por: DIVISION DE ACUEDUCTOS		Recolección: 28/08/2010		
Canton: JIMÉNEZ		Recolectado por: GUSTAVO BRENEB		Conclusión análisis: 01/09/2010		
Provincia: CARTAGO	Localización: 3-04-02	Número reporte: 80248		Emisión reporte: 03/08/2010		
PUNTO DE MUESTREO	HORA MUESTREO	CLORO RESIDUAL mg/L	COLIFORMES * 100 ml ⁻¹		IDENTIFICACION COLIFORMES	NMP E. coli 44.5° C
			TOTALES	FECALES		
NACIENTE F 2	11:40			43		15
TANQUE DE DISTRIBUCIÓN VIEJO	11:50	0,11		12		12
NACIENTE F 2 A	12:03	0,00		39		3,8
TANQUE DE DISTRIBUCIÓN BALI	12:12	0,55		Negativo		
Red:						
RED 1 Sr. Mario Solano Canajal	12:35	0,21		Negativo		
RED 2 Sr. Gerardo Anaya Portugal	12:45	0,03		Negativo		
RED 3 Sr. Carlos Solano Anaya	12:53	0,09		Negativo		
RED 4 Sr. Adrián Torres Rojas	13:02	0,05		Negativo		
<p>1- Orden: 03885-10. 2- Reporte de campo: a) nacientes y tanques se encuentran en buenas condiciones; b) día de verano. 3- Criterio de evaluación: Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto Ejecutivo No. 32327-8. Sistemas clorados: Valor recomendado y valor máximo admisible: negativo por coliformes fecales y E.coli. Sistemas no clorados: Valor recomendado y valor máximo admisible: negativo por E.coli. 4- En este análisis puntual el agua cumple los criterios microbiológicos establecidos para consumo humano excepto en la naciente F2, nacientes F2A y tanque Viejo. 5- Se recomienda mantener un residual mínimo de 0,3 mg/L de cloro en los puntos más distales de la red de distribución.</p>						
PROFESIONAL RESPONSABLE			AREA MICROBIOLOGIA			

"Vigilamos la calidad del agua por su salud"



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
Laboratorio Nacional de Aguas

Análisis Microbiológico

Sistema: LA FLOR ARRIBA DE SANTIAGO		Solicitado por: DIVISION DE ACUEDUCTOS		Recolección: 12/03/2010		
Canton: PARAISO		Recolectado por: GUSTAVO BRENEB		Conclusión análisis: 15/03/2010		
Provincia: CARTAGO	Localización: 3-02-02	Número reporte: 87099		Emisión reporte: 22/03/2010		
PUNTO DE MUESTREO	HORA MUESTREO	CLORO RESIDUAL mg/L	COLIFORMES * 100 ml ⁻¹		IDENTIFICACION COLIFORMES	NMP E. coli 44.5° C
			TOTALES	FECALES		
NACIENTE EL YAS	9:50				Negativo	
TANQUE DE ALMACENAMIENTO	10:40	0,94			Negativo	
Red: RED 1 Sr. Leonardo Núñez Redondo	11:10	0,20			Negativo	
RED 2 Señala Juan Evangelista Gojo	11:20	0,90			Negativo	
RED 2 Señala Juan Evangelista Gojo	11:21	0,90			Negativo	
RED 3 Oficina del Acueducto	11:35	0,90			Negativo	
1- Orden: 1015-10 2- Reporte de campo: a) la naciente y el tanque se encuentra en buenas condiciones; b) día de verano. 3- Criterio de evaluación: Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto Ejecutivo No. 32327-S. Sistemas clorados: Valor recomendado y valor máximo admisible: negativo por coliformes fecales y E.coli. Sistemas no clorados: Valor recomendado y valor máximo admisible: negativo por E.coli. 4- En este análisis puntual el agua cumple los criterios microbiológicos establecidos para aguas de consumo humano.						
PROFESIONAL RESPONSABLE			AREA MICROBIOLOGIA			

"Vigilamos la calidad del agua por su salud"



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
Laboratorio Nacional de Aguas

Análisis Microbiológico

Sistema: QUEBRADILLA DE CARTAGO: SECTOR ALTO		Solicitado por: DIVISION DE ACUEDUCTOS		Recolección: 18/11/2010		
Canton: CARTAGO		Recolectado por: GUSTAVO BRENEB		Conclusión análisis: 18/11/2010		
Provincia: CARTAGO	Localización: 9-01-11	Número reporte: 81784		Emisión reporte: 23/11/2010		
PUNTO DE MUESTREO	HORA MUESTREO	CLORO RESIDUAL mg/L	COLIFORMES * 100 ml ⁻¹		IDENTIFICACION COLIFORMES	NMP E. coli 44.5° C
			TOTALES	FECALIS		
NACIENTE 6 Antes del tanque	11:40	0,00			Negativo	
TANQUE CUESTA BLANCA	11:45	0,30			Negativo	
Red:						
RED 1 Sra. Naira Trejos Montero	12:00	0,28			Negativo	
RED 2 Sr. Manuel Trejos Inoa	12:08	0,25			Negativo	
RED 3 Sr. Andrés Trejos Inoa	12:15	0,27			Negativo	
RED 4 Sra. Flory Inoa Hernández	12:22	0,30			Negativo	
<p>1- Orden: 05265-10</p> <p>2- Reporte de campo: a) comunidad participante en el Programa Sello de Calidad Sanitaria; b) el tanque se encuentra en buenas condiciones sanitarias; c) día de verano.</p> <p>3- Criterio de evaluación: Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto Ejecutivo No. 32327-S. Sistemas clorados: Valor recomendado y valor máximo admisible: negativo por coliformes fecales y E.coli. Sistemas no clorados: Valor recomendado y valor máximo admisible: negativo por E.coli.</p> <p>4- En este análisis puntual el agua cumple los criterios microbiológicos establecidos para aguas de consumo humano.</p> <p>5- Se recomienda mantener un residual mínimo de 0,3 mg/L de cloro en los puntos más distales de la red de distribución.</p>						
PROFESIONAL RESPONSABLE			AREA MICROBIOLOGIA			

"Vigilamos la calidad del agua por su salud"



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
Laboratorio Nacional de Aguas

Análisis Microbiológico

Sistema: BERMEJO DE QUEBRADILLA DE CARTAGO: SISTEMA EL COMÚN		Solicitado por: DIVISION DE ACUEDUCTOS		Recolección: 14/07/2007		
Canton: CARTAGO		Recolectado por: GERMAN SALAZAR		Conclusión análisis: 17/07/2007		
Provincia: CARTAGO	Localización: 3-01-11	Número reporte: 70782		Emisión reporte: 17/07/2007		
PUNTO DE MUESTREO	HORA MUESTREO	CLORO RESIDUAL mg/L	COLIFORMES * 100 ml ⁻¹		IDENTIFICACION COLIFORMES	NMP E. coli 44.5° C
			TOTALES	FECALES		
NACIENTE EL COMUN 1	8:00			Negativo		
NACIENTE EL COMUN 2	8:30			9.1		3.8
TANQUE DE ALMACENAMIENTO	9:00			150		150
Red:						
RED 1 Sr. Rafael Quesada B.	9:20			43		43
RED 2 Sr. Edwin Quesada Alfaro	9:30			75		75
RED 3 Sr. Hector Quesada	9:40			23		23
1- Orden: 02943-07. 2- Reporte de campo: a) este sistema es abastecido por tres nacientes; b) la Naciente Victor Arias está fuera de operación. 3- Criterio de evaluación: Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto Ejecutivo No. 32327-S. Sistemas clorados: Valor recomendado y valor máximo admisible: negativo por coliformes fecales y E.coli. Sistemas no clorados: Valor recomendado y valor máximo admisible: negativo por E.coli. 4- Xg red; CF = 42 NMP/100 mL. 5- En este análisis puntual únicamente el agua de la Naciente El Común 1 cumple los criterios microbiológicos para consumo humano.						
PROFESIONAL RESPONSABLE			AREA MICROBIOLOGIA			

"Vigilamos la calidad del agua por su salud"



Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
Laboratorio Nacional de Aguas

Análisis Microbiológico

Sistema: TOBOSI DE EL GUARCO: SECTOR NORTE Y SUR		Solicitado por: DIVISION DE ACUEDUCTOS		Recolección: 08/03/2010		
Canton: GUARCO		Recolectado por: ROBERTO FONSECA CHANTO		Conclusión análisis: 10/03/2010		
Provincia: CARTAGO	Localización: 3-08-03	Número reporte: 88898		Emisión reporte: 12/03/2010		
PUNTO DE MUESTREO	HORA MUESTREO	CLORO RESIDUAL mg/L	COLIFORMES * 100 ml-1		IDENTIFICACION COLIFORMES	NMP E. coli 44.5° C
			TOTALES	FECALES		
Red: M DE NTE CARMEN PIEDRA Y ANTONIO Entrada al tanque Curié 1	8:45			23		23
TANQUE DE ALMACENAMIENTO CURIETI 1 Dentro del tanque	9:00	0,85		Negativo		
Red: BARRIO LA CRUZ Fam. Jiménez Sánchez	9:15	0,85		Negativo		
CORAZÓN DE JESÚS Sr. Jorge Chacón A.	9:28	0,68		Negativo		
FÁTIMA Sr. Marín Rodríguez	9:40	0,66		Negativo		
<p>1- Orden: 0803-10. 2- Reporte de campo: a) comunidad participante en el Programa Sello de Calidad Sanitaria; b) día nublado. 3- Criterio de evaluación: Reglamento para la Calidad del Agua Potable, Decreto Ejecutivo No. 32327-S. Sistemas clorados: Valor recomendado y valor máximo admisible: negativo por coliformes fecales y E.coli. Sistemas no clorados: Valor recomendado y valor máximo admisible: negativo por E.coli. 4- En este análisis puntual el agua, una vez que se somete al proceso de desinfección, cumple los criterios microbiológicos establecidos para aguas de consumo humano.</p>						
PROFESIONAL RESPONSABLE			AREA MICROBIOLOGIA			

"Vigilamos la calidad del agua por su salud"