



## **Guía para la optimización de procesos de potabilización de agua para uso y consumo doméstico, dirigido a entes operadores en el país**

PROYECTO: “DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES QUE AFECTAN LA EFICIENCIA DE LA DESINFECCIÓN EN AGUAS SUPEFICIALES UTILIZADAS PARA CONSUMO HUMANO EN COSTA RICA”

## **Reseña de los autores**

Luis Guillermo Romero Esquivel

Profesor - Investigador del Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA)-ITCR

Macario Pino Gómez

Profesor – Investigador del Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA)-ITCR

Joaquín Jiménez Antillón

Profesor – Investigador del Centro de Investigación en Protección Ambiental (CIPA)-ITCR

Kenia Barrantes Jiménez

Profesora – Investigadora del Instituto de Investigaciones en Salud (INISA)-UCR

Luz María Chacón Jiménez

Profesora – Investigadora del Instituto de Investigaciones en Salud (INISA)-UCR

Diana Mora Campos

Profesora-Investigadora Laboratorio de Análisis Ambiental (LAA)-UNA

Alejandra Gamboa Jiménez

Profesora-Investigadora Laboratorio de Análisis Ambiental (LAA)-UNA

Basilio Silva Narváez

Profesor-Investigador Universidad Técnica Nacional

## Tabla de contenido

1.	Introducción .....	4
2	Organismos patógenos.....	5
2.1	Bacterias .....	5
2.2	Virus .....	5
2.3	Parásitos.....	6
3	Enfermedades hídricas.....	7
4	Contaminantes fisicoquímicos .....	7
5	Aspecto de Legislación .....	9
6	Proceso de potabilización .....	10
6.1	Mejoras en los sistemas de captación y tanques de quiebra gradientes.....	10
6.1.1	Captaciones superficiales .....	10
6.1.2	Captaciones tipo naciente .....	11
6.1.3	Tanques quiebra gradientes .....	12
6.2	Sistemas de tratamiento de agua .....	13
6.3	Desinfección.....	15
6.3.1	Importancia .....	15
6.3.2	Definición de desinfectante.....	16
6.3.3	Desinfección con cloro.....	16
6.3.4	Demanda de cloro .....	16
6.3.5	Aplicación de cloro .....	18
6.3.6	Punto de aplicación del cloro .....	21
6.3.7	Control de la cloración.....	22
6.3.8	Recomendaciones generales sobre los Sistema de desinfección .....	23
6.4	Tanques de almacenamiento y red de distribución.....	24
7	Bibliografía .....	27

# 1. Introducción

La gestión del recurso hídrico en nuestro país se da en gran parte a través de las Asociaciones Administradoras de los Sistemas de Acueductos y Alcantarillados, mejor conocidas como ASADAs. Existen más de 1 400 ASADAs en el país, las cuales abastecen a un 25,5 % de la población, equivalente a 1 125 200 personas, posicionándolas como el segundo ente operador del país; sin embargo, es responsabilidad del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) ejercer una acción de rectoría técnica eficiente y eficaz (AyA, 2016).

Las ASADAs en el país, trabajan bajo un esquema de delegación de la administración, acordado con el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, esto mediante un Convenio de Delegación de Administración, con el cual se centran en administrar los sistemas de acueducto y alcantarillado comunales.

Estas organizaciones se conforman por vecinas y vecinos de las comunidades, con el fin de hacer valer el derecho fundamental del acceso al agua potable, ligado estrechamente con la salud pública y la vida, presentes en la Constitución Política de Costa Rica; es por esto que la labor de estas organizaciones de realizar la gestión integrada del recurso hídrico y gobernanza del agua en nuestro país es fundamental.

El presente documento nace de la experiencia obtenida durante la evaluación de 20 sistemas de potabilización administrados en su mayoría por ASADAs en la provincia de Cartago y en la región Pacífico Central en los años 2018 y 2019. En dicho estudio se evaluó la calidad del agua cruda, los sistemas de tratamiento y/o desinfección y el sistema de distribución. Además, en 10 de los sistemas se aplicó la herramienta SERSA recomendada por el Ministerio de Salud de Costa Rica (MINSALUD). Dicha herramienta le permite a las ASADAs realizar el plan operativo del acueducto con el fin de establecer los riesgos de los componentes del sistema de abastecimiento de agua potable de su respectiva comunidad. (MINSALUD - MINAE, 2015) y (MINSALUD, 2019)

Con base en la experiencia adquirida, en la presente guía se pretende dar recomendaciones generales, con el fin de aportar ideas a los administradores de acueductos en la planificación y ejecuciones de acciones, que conlleven a que los sistemas de abastecimiento de agua sean cada día, más sostenibles y la calidad del agua producida sea segura y pueda cumplir con los siguientes factores: Cobertura, Calidad, Continuidad, Costo y Cultura hídrica – (CCCCC).

## 2 Organismos patógenos

Los organismos patógenos que contaminan las aguas se pueden dividir en los siguientes grupos:



### 2.1 Bacterias

Tanto en las fuentes de agua de carácter superficial como en las fuentes subterráneas, se pueden encontrar diversos tipos de bacterias. Algunas de estas, específicamente las nativas, pueden ser consideradas benéficas debido a que de ellas depende en su mayoría el proceso de autodepuración. No obstante, otras provienen de excretas animales y humanas y por tanto, contaminan el recurso hídrico.

Dentro de las bacterias, existen las denominadas bacterias patógenas, nombradas así debido a que infestan al huésped y producen sustancias nocivas que lo afectan y perjudican. De esta forma, el agua se convierte en el medio ideal para su transporte, dando con ello origen a las llamadas enfermedades hídricas (Comisión Nacional del agua, 2007).

Por otra parte, el grupo bacteriano que sirve de potencial bioindicador de calidad del agua es el de las bacterias coliformes. Estas corresponden a 10 % de los microorganismos intestinales humanos y animales, por lo que su presencia en el agua está asociada con contaminación fecal e indica tratamientos inadecuados o contaminación posterior del agua (Ríos, Agudelo y Gutiérrez, 2017).

### 2.2 Virus

Se han identificado diferentes especies virales en el agua, de las cuales cerca de 100 pueden infectar el tracto digestivo humano (Dioselina Peláez, 2016). De esta forma, “un gramo de heces humanas puede contener hasta 109 partículas infecciosas virales diferentes, independientemente de que el individuo presente alguna manifestación clínica de enfermedad” (Comisión Nacional del agua, 2007).

Son la principal causa de mortalidad en las enfermedades de transmisión hídrica. Cabe mencionar los virus de importancia como contaminantes de agua, los cuales incluyen: adenovirus, enterovirus (poliovirus y virus de la hepatitis A), reovirus y virus causantes de diarrea, especialmente rotavirus y virus tipo Norwalk. Además, el 87 % de enfermedades virales transmitidas por agua son causadas por el virus de la Hepatitis, Adenovirus y Rotavirus (Ríos-

Tobón S, 2017); (Comisión Nacional del Agua, 2007).

Por lo que respecta a las enfermedades virales como tal, estas se presentan abruptamente y presentan síntomas como: diarrea, náusea, vómito, fiebre baja, dolores abdominales, de cabeza y musculares, anorexia, y malestar general (Ríos, et al, 2007).

Cabe agregar que algunos virus, no pueden ser tratados por el proceso de cloración en la desinfección de las aguas (OMS, 2011).

### 2.3 Parásitos

Dentro de los parásitos patógenos transmitidos por el agua se encuentran dos grupos: protozoos o protozoarios y helmintos.

#### → Protozoarios:

Sus formas parasitarias, son en su mayoría retenidos en el proceso de filtración de los sistemas de tratamiento, no obstante, los denominados ooquistes son resistentes a la cloración. Estos organismos son causantes de enfermedades diarreicas en las especies que parasitan. Cabe agregar que los protozoos patógenos más encontrados en aguas contaminadas son: *Giardia intestinalis*, *Entamoeba histolytica*, *Balantidium coli*, *Toxoplasma gondii*, *Blastocystis* spp., *Enterocytozoon bieneusi*, *Encephalitozoon intestinalis*, *Cryptosporidium* spp. y algunas otras especies de coccidias como *Cystoisospora belli* y *Cyclospora cayetanensis* (Ríos, et al, 2017).

Es importante mencionar que la desinfección con cloro del agua potable tiene limitaciones contra los patógenos protozoarios, en particular *Cryptosporidium*. (OMS, 2011).

#### → Helmintos:

Son gusanos parásitos intestinales dentro de los que se destacan como contaminantes del agua son: *Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, *Hymenolepis diminuta*, *H. nana*, *Toxocara* spp y *Taenia solium*. “La mayoría no se multiplican dentro de su huésped, por lo que la severidad de su infección está asociada con una continua reinfección por ingestión de dichos parásitos. Debido a esto, la intensidad de la manifestación clínica generalmente es el resultado de cargas acumulativas de gusanos llevados por varios años como producto de infecciones repetidas” (Comisión Nacional del agua, 2007). Esto se diferencia de las infecciones causadas por virus, bacterias y protozoarios; ya que estas causan una infección severa por días, después de haber ingerido una sola dosis infectante.

Por otra parte, estos organismos son altamente resistentes a los cambios de pH, humedad y temperatura en el ambiente externo y, por tanto, son causantes de altas tasas de morbilidad por consumo de aguas contaminadas (Ríos, et al, 2017).

### 3 Enfermedades hídricas

A continuación, se muestra la Tabla 1 con los principales síntomas y reservorios de las principales enfermedades hídricas.

**Tabla 1. Principales enfermedades hídricas, síntomas y reservorio**

Enfermedad	Agente	Principales Síntomas	Reservorio
Salmonelosis	Bacteria	Dolores abdominales, fiebre, diarreas, náuseas, vómitos.	Animales domésticos, personas enfermas
Hepatitis	Virus	Fiebre, náuseas, anorexia, malestar general.	Ser humano
Disenterías	Protozoarios	Diarrea, fiebre, vómito, cólico.	Ser humano y animales domésticos
Giardiasis	Protozoario	Asintomático, asociado con diarreas.	Ser humano
Cólera	Bacteria	Fiebre, diarreas, malestar abdominal, vómitos.	Ser humano y animales domésticos
Fiebre tifoidea	Bacteria	Fiebre, malestar general, anorexia, pulso lento.	Ser humano

Fuente: OPS, 2007.

Es importante destacar que la desinfección con cloro del agua potable tiene limitaciones contra los patógenos protozoarios, en particular *Cryptosporidium* y algunos virus. A su vez, la eficacia de la desinfección también puede ser insatisfactoria contra patógenos dentro de flóculos o partículas, que los protegen de la acción de los desinfectantes. De la misma manera, altos niveles de turbidez pueden proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimular el crecimiento de bacterias y aumentar la demanda de cloro. (OMS, 2011)

### 4 Contaminantes fisicoquímicos

El agua también puede verse afectada por contaminantes de origen fisicoquímico. Estos pueden ocasionar efectos estéticos en el agua y otros que pueden ocasionar efectos adversos a la salud de las personas.

Dentro del primer grupo se encuentran olor y sabor que se pueden derivar de la presencia de sustancias químicas como hidrocarburos y por actividad microbiológica, por ejemplo, el olor a tierra mojada de la sustancia geosmin producida por muchos microorganismos. El color y turbiedad provocados, por ejemplo, por materia orgánica disuelta y por sólidos/sustancias

suspendidas respectivamente. También, en el agua puede haber un alto grado de sales como el cloruro de sodio o sulfatos que además de impartir sabor al agua puede limitar el uso en las actividades industriales. De manera semejante el alto contenido de dureza ( calcio y magnesio) puede provocar la formación de solidos en las cañerías. Finalmente, el alto contenido de hierro y manganeso en el agua puede impartir coloración rojiza o negra, respectivamente y teñir la ropa al lavarla, entre otros efectos.

En el caso de contaminantes nocivos para la salud de las personas se pueden clasificar en orgánicos e inorgánicos. En el primer grupo se encuentran los de origen natural: por ejemplo, derivados de las plantas, algas, microorganismos, etc. En general, este grupo por si solo no presenta problemas a la salud, aunque, como mencionado anteriormente, pueden contribuir con olor y color. Sin embargo, pueden reaccionar con los agentes desinfectantes y generar subproductos de desinfección potencialmente cancerígenos. Por ejemplo, la reacción de la materia orgánica natural con el cloro puede producir trihalometanos y ácidos halo acéticos, ambos regulados por sus efectos nocivos a la salud. Otro grupo de compuestos orgánicos de interés son los producidos por el hombre y usados en actividades domésticas, comerciales e industriales. En dicho grupo se incluyen los pesticidas, plaguicidas, componentes de la gasolina y el diésel, disolventes y contaminantes emergentes como los productos farmacéuticos y perfluorocarbonados.

En el caso de las sustancias inorgánicas la mayoría son de origen natural, principalmente en el suelo y subsuelo alrededor de una fuente de agua o un pozo. Algunas sustancias como el arsénico y el plomo son reconocidos carcinógenos. Otras sustancias inorgánicas son importantes en la nutrición de las personas a bajas concentraciones, sin embargo, presentan efectos nocivos a altas concentraciones. Algunos ejemplos de estas últimas son de cobre, manganeso, cromo, selenio, zinc, etc. Finalmente, algunas de las sustancias inorgánicas pueden ser originadas por actividades del ser humano, por ejemplo, la presencia de nitratos y nitritos en fuentes de agua ha sido asociada con actividades agrícolas cercanas a las fuentes de captación.

## 5 Aspecto de Legislación

Existe una amplia legislación ambiental, nacional como internacional, que busca proteger el recurso hídrico y garantizar el consumo de agua de buena calidad. A continuación, se enlistan algunas de las principales normas y decretos relacionados con el tema.

Primeramente, en la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Una oportunidad para América Latina y el Caribe, se enumeran acciones con el fin de contribuir con el objetivo de desarrollo sostenible No.6: Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento”, con énfasis al componente del suministro de agua segura a las comunidades rurales de Costa Rica.

[https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf)

Por su parte, en el año 2016 se estableció la Política Nacional de Agua Potable de Costa Rica 2017 – 2030. En dicho documento el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), como ente con rectoría técnica en abastecimiento de agua potable y saneamiento de Costa Rica define los ejes, objetivos, alcances y lineamientos en la prestación del servicio de abastecimiento de agua potable para la población del país.

<https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/AyA%20Pol%C3%ADtica%20Nacional%20de%20Agua%20Potable%20de%20Costa%20Rica%202017-2030.pdf>

De gran importancia es el Reglamento para la Calidad del Agua Potable que establece los parámetros fisicoquímicos y frecuencia de muestreo para el agua de consumo humano.

[https://www.imprentanacional.go.cr/pub/2019/01/22/ALCA15\\_22\\_01\\_2019.pdf](https://www.imprentanacional.go.cr/pub/2019/01/22/ALCA15_22_01_2019.pdf)

El Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA), como ente rector en materia de servicios de abastecimiento de agua potable y saneamiento y sistemas pluviales, publicó la Norma técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de agua potable, de Saneamiento y Pluvial.

<https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/Norma%20dise%C3%B1o%20y%20construccion%20sistemas%20agua,%20saneamiento%20y%20pluvial.pdf>

Finalmente, mediante la Directriz No 032-S Ministerio de Salud Costa Rica. DAJ-CB-1729-2018 se propone la implementación de los Planes de Seguridad del Agua –PSA- dirigida a operadores y/o administradores de acueductos en el país.

[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=87850&nValor3=114555&strTipM=TC](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=87850&nValor3=114555&strTipM=TC)

## 6 Proceso de potabilización

A partir de los resultados obtenidos en la aplicación de la herramienta SERSA en varios acueductos en la zona de Cartago y zona del Pacífico Central, se propone un plan de mejoras para cada componente de un acueducto rural típico. Se da especial énfasis al proceso de desinfección por ser la etapa principal en la potabilización. En la implementación de las mejoras sugeridas es necesario que la ASADA mediante sus figuras administrativas y operativas, realicen una valoración, de cada una de las mejoras planteadas y en lo posible se prioricen y se realice el respectivo plan de ejecución según recursos técnicos, económicos que disponga la ASADA.

### 6.1 Mejoras en los sistemas de captación y tanques de quiebra gradientes

#### 6.1.1 Captaciones superficiales

A partir de los resultados de la aplicación del instrumento SERSA, se detectaron una serie de factores de riesgo críticos y con mayor incidencia presentados en las captaciones superficiales. Para que las estructuras hidráulicas y civiles de las captaciones superficiales sean menos vulnerables a los riesgos detectados se recomiendan las acciones:

- Instalación de sistemas de cerramiento perimetral de protección (cercas con mallas metálicas o alambre de metálico con púas con un mínimo de seis cuerdas), para impedir el acceso libre de personas y/o animales a estas estructuras (Figura 1).
- Mantener vigilancia de las actividades (agrícolas, ganadería y/o industriales) aguas arriba de la captación.
- Mantener vigilancia si aproximadamente a 200 metros a la redonda de la captación existen letrinas, animales, viviendas, basura.
- Realizar limpieza de las rejas para el retiro de hojas, piedras y palos (Figura 1)..



Figura 1. Condiciones apropiadas de las captaciones tipo superficial.

#### 6.1.2 Captaciones tipo naciente

En el caso de las nacientes, al aplicar el instrumento SERSA, se detectaron una serie de factores de riesgo críticos y de alta incidencia. Para que las estructuras hidráulicas y civiles de las captaciones superficiales sean menos vulnerables a los riesgos detectados se recomiendan las acciones:

- Instalación cobertura de concreto, con canales perimetrales para desviar las aguas de escorrentía de las tapas de las estructuras de las nacientes (Figura 2).
- Instalación de un sistema de protección (cercas con mallas o alambre metálicos con púas con un mínimo de seis cuerdas), para impedir el acceso libre de personas y/o animales (Figura 2).
- Mantener vigilancia de las actividades (agrícolas, ganadería y/o industriales) aguas arriba de la captación.
- Mantener vigilancia si aproximadamente a 200 metros a la redonda de la captación existen letrinas, animales, viviendas, basura.



Foto 1. Se posee cobertura en concreto, las tapas bien construidas y seguras, posee el canal por el costado superior para desviar las aguas de escorrentía.



Foto 2. Ejemplo como debe estar el cerramiento perimetral, para evitar el ingreso libre de personas y animales.

Figura 2. Condiciones apropiadas de las captaciones tipo naciente.

### 6.1.3 Tanques quiebra gradientes

En el caso de los tanques quiebra gradientes, al aplicar el instrumento SERSA, se detectaron una serie de factores de riesgo críticos y de alta incidencia. Para que las estructuras hidráulicas y civiles de las captaciones superficiales sean menos vulnerables a los riesgos detectados se recomiendan las siguientes acciones:

- Realizar revisiones más periódicas (como mínimo cada mes) y establecer realizar limpiezas más frecuentes de estas estructuras.
- Mantener vigilancia de alguna fuente de contaminación alrededor del tanque como letrinas, animales, viviendas, basura, actividad agrícola o industrial.
- Instalar cerramiento perimetral como protección e impedir el acceso libre de personas y/o animales (Figura 3).
- Construir el borde de cemento alrededor del tanque de al menos 0,80 metros, para proteger la estructura de fallas en el piso (Figura 3).



Foto 1. Los tanques quiebra gradientes deben disponer un sistema de seguridad de la tapa, revisados y hacer limpiezas al menos cada mes. Disponer de una distancia prudente de viviendas y tener su cerramiento perimetral.



Foto 2. La estructura de los tanques quiebra gradiente debe estar debidamente pintada y limpia. LA tapa con seguro. Disponer borde de cemento alrededor del tanque de al menos 0,80 metros. En este caso se recomienda disponer de una malla perimetral para garantizar seguridad.

Figura 3. Condiciones recomendadas de los quiebra gradientes.

## 6.2 Sistemas de tratamiento de agua

El agua cruda, sea cual sea su origen, necesita de algún tipo de tratamiento, como mínimo cloración. La aplicación de algún tipo de tratamiento depende de la calidad del agua cruda. Así, en el caso de aguas superficiales el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales (MINAE, MINSALUD , 2007) establece con base en una serie de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos la necesidad o no de un tratamiento. En la tabla 2 se enumeran algunos de los parámetros normados y en la tabla 3 se enlista, cuando aplica, el tipo de tratamiento recomendado para cada Clase de agua.

La información suministrada en ambas tablas se debe considerar con cautela y en todo momento se debe contar con un amplio periodo de monitoreo de la calidad del agua a utilizar, evaluar otros parámetros recomendados en el reglamento mencionado y contar con la asesoría de un profesional experto en el tema. Los sistemas de tratamiento son caros y por tanto, antes de implementarlos, se necesita manejar la información apropiada. En la Figura 4 se muestran dos ejemplos de sistemas de tratamiento.

Tabla 2: Algunos parámetros de calidad de agua superficial para la clasificación de la calidad del agua cruda de fuentes de tipo superficial (MINAE, MINSALUD , 2007)

<b>Parámetro</b>	<b>Clase 1</b>	<b>Clase 2</b>	<b>Clase 3</b>	<b>Clase 4</b>	<b>Clase 5</b>
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	< 20	20 – 1 000	1 000 – 2 000	2 000 – 5 000	> 5 000
Color aparente (U Pt-Co)	2,5 – 10	10 – 100	(1)	(1)	(1)
pH	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5	6,0 – 9,0	5,5 – 9,5	5,5 – 9,5
Temperatura (°C)	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)
Turbiedad (UNT)	< 25	25 - < 100	100 - 300	(1)	(1)

Nota: para la lista completa revisar el Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales (MINSALUD y MINAE, 2007)

Tabla 3: Tratamiento requerido según la clase a la que pertenece el agua cruda empleada para uso y consumo humano (MINAE, MINSALUD , 2007) .

<b>Uso</b>	<b>Clase 1</b>	<b>Clase 2</b>	<b>Clase 3</b>	<b>Clase 4</b>	<b>Clase 5</b>
Abastecimiento de agua para uso y consumo humano	Tratamiento simple con desinfección	Tratamiento convencional	Tratamiento avanzado	No utilizable	No utilizable

Considerando la experiencia adquirida mediante la aplicación del instrumento SERSA, se detectaron una serie de factores de riesgo críticos y de alta incidencia. Para que las estructuras hidráulicas y civiles de las captaciones superficiales sean menos vulnerables a los riesgos detectados se recomiendan las siguientes acciones:

- Disponer de un sistema de cerramiento perimetral de protección de esta estructura que impida el acceso de personas y animales.
- Disponer de un laboratorio para atender como mínimo la realización de los parámetros N1 según la normatividad vigente sobre la calidad del agua potable.
- Establecer un programa de capacitación del personal operativo de la planta.
- Establecer un mecanismo para medir el caudal de agua que ingresa y sale de la planta.
- Llevar un historial tanto de los parámetros de calidad del agua cruda y tratada en las diferentes etapas como de los parámetros hidráulicos medidos.
- Disponer en la planta de bitácora donde se anoten las actividades realizadas durante cada jornada de la cuadrilla de operadores.



Foto 1. Planta de potabilización de agua de tecnología Filtración Múltiples Etapas FiME. Sistema muy apropiado para poblaciones pequeñas, no se requiere el uso de compuestos químicos para la coagulación.



Foto 2. Planta convencional de potabilización de agua, haciendo uso de las operaciones unitarias de Coagulación, Floculación, Sedimentación, Filtración y desinfección.

Figura 4: Condiciones de sistemas de potabilización de agua para consumo doméstico.

## 6.3 Desinfección

### 6.3.1 Importancia

La importancia de la desinfección sanitaria radica en que esta juega un papel incuestionable en el acceso a agua potable segura, la cual es esencial para la salud y un derecho humano básico. A su vez “se ha demostrado que las inversiones en abastecimiento de agua y saneamiento pueden generar un beneficio económico neto, ya que las reducciones en los efectos adversos para la salud y los costos de la salud superan los costos de llevar a cabo las intervenciones” (OPS, 2007).

Actualmente, se tiene conocimiento de que los principales contaminantes biológicos del agua son microorganismos patógenos de origen fecal. Los mismos provienen de desechos humanos y generalmente, ocasionan enfermedades del aparato intestinal como: fiebre tifoidea, paratifoidea, disentería, helmintiasis y cólera, entre muchas otras. A su vez, son responsables de numerosas muertes al año en países con escasos recursos sanitarios. Cabe destacar que su ruta de infección más común la ingestión (Comisión Nacional del agua, 2007).

### 6.3.2 Definición de desinfectante

Elemento químico que se utiliza para 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 tratar.

Según Susan Mora (2011) y la Comisión Nacional de Agua (2007), para que un desinfectante se pueda considerar idóneo, debe satisfacer ciertos criterios generales, dentro de los cuales se pueden mencionar los siguientes:

- Debe poder destruir o inactivar, dentro de un tiempo dado, los 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 realizarlo en campo y en laboratorio.
- El desinfectante debe ser fiable para usarse dentro del rango de condiciones que podrían encontrarse en el abastecimiento de agua.
- El desinfectante debe ser razonablemente seguro a la hora de manejarlo, transportarlo y almacenarlo, aplicando las normas de seguridad adecuadas.
- El desinfectante debe tener un costo razonable.
- El desinfectante debe contrarrestar la posible contaminación en líneas de conducción y tanques de almacenamiento.
- El desinfectante no debe reaccionar con los compuestos presentes en el agua para producir sustancias tóxicas.

### 6.3.3 Desinfección con cloro

Proceso que consiste en eliminar los microorganismos patógenos que pueden estar presentes en el agua, mediante el uso de equipos o sustancias químicas. En esta guía nos centraremos en la cloración, dado que es el sistema más ampliamente utilizado en el país y que posee la ventaja de dejar un residual para mantener la desinfección del agua.

### 6.3.4 Demanda de cloro

Según la Comisión Nacional de Agua en (2007), para establecer una dosificación óptima, se debe considerar la cantidad de cloro que consumen las sustancias reductoras la cual se define como demanda de cloro. La demanda de cloro, de forma cuantitativa representa la cantidad de cloro que se agrega menos la que se conserva al término de la reacción (cloro residual) y se mide

en mg/l, o en partes por millón. El tiempo de reacción generalmente se fija en 30 minutos. En general y dependiendo de la cantidad de cloro que se dosifique, la reacción puede provocar los siguientes resultados:

- Que el cloro adicionado sea suficiente para oxidar las sustancias presentes en el agua y no quede residual para actuar como desinfectante.
- Que el cloro adicionado sea suficiente para reaccionar con los compuestos reductores para formar compuestos orgánicos de cloro los cuales tienen poca o ninguna acción desinfectante pudiendo, además, provocar sabores u olores indeseables.
- Que el cloro que se dosifique sea el suficiente para reaccionar con todas las sustancias reductoras y quede, además, una cantidad como cloro libre residual y lleve a cabo la desinfección del agua.

Es así como, la demanda de cloro es la cantidad mínima necesaria de cloro activo para eliminar los organismos patógenos del agua en el nivel deseado después de que el cloro haya reaccionado con las sustancias presentes. Por lo tanto, se debe cumplir con el tercer caso mencionado anteriormente.

Para evitar que lo anterior no se logre y para contar con la certeza de que la dosificación es adecuada, se debe efectuar una curva de demanda de cloro (Figura 5), la cual se crea de manera experimental a partir de una representación gráfica de las interacciones del cloro con otras especies presentes en el agua (Baltodano, 2017).

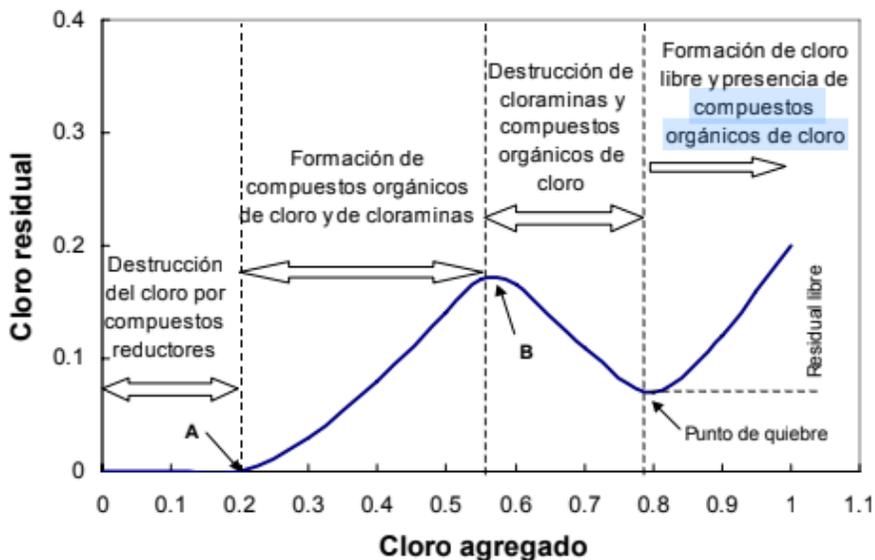


Figura 5. Curva de demanda de cloro.

En efecto, conforme el cloro es añadido va a reaccionar con las sustancias disueltas o suspendidas en el agua. En el punto A reacciona con la materia oxidable (compuestos reductores, como el manganeso, el hierro, los nitritos y el ácido sulfhídrico) y todo se reduce a ión cloro. Posteriormente de haber cubierto esta demanda, entre el punto A y B el cloro continúa reaccionando con sustancias orgánicas y amoníaco; formándose compuestos orgánicos clorados y cloraminas, que tienen poco efecto desinfectante en comparación con el cloro residual libre. Seguidamente, entre el punto B y el punto de quiebre, algunas de las cloraminas se convierten a tricloruro de nitrógeno ( $\text{NCl}_3$ ), las cloraminas restantes son oxidadas a óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) y nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) y el cloro se reduce a ión cloro. Si se adiciona más cloro, la mayoría de las cloraminas se oxidarán. Dicho de otra manera, el cloro residual formado hasta el momento va a reaccionar con los compuestos clorados y las cloraminas, por lo que estas disminuyen y una vez que son oxidadas, se alcanza el denominado punto de quiebre, en donde la mayor parte del cloro agregado ya habrá reaccionado y queda un exceso como cloro libre, disponible para eliminar microorganismos patógenos y otras impurezas presentes en el agua, garantizando que la misma sea segura para el consumo humano. (Comisión Nacional de Agua, 2007, Baltodano, 2017).

### 6.3.5 Aplicación de cloro

El cloro se puede aplicar mediante cloro gas, disolución de hipoclorito de sodio o calcio y sólido por medio de pastillas. El primero es más utilizado para poblaciones superiores a los 5000 habitantes. En esta guía nos centraremos en los dos primeros que son los más utilizados en ASADAS y poblaciones menores a 5000 personas.

#### 6.3.5.1 Uso de cloro líquido

El cloro líquido se puede aplicar mediante disoluciones de hipoclorito de sodio concentrado o bien se puede generar *in situ* mediante hidrólisis de cloruro de sodio. En ambos casos se utiliza una bomba dosificadora para suministrar la dosis adecuada.

Las disoluciones de hipoclorito de sodio usualmente se aplican mediante sistemas como el mostrado en la Figura 6. Los mismos están conformados por un reservorio de hipoclorito de sodio, protegido de la luz solar (para evitar su degradación) y una bomba dosificadora, que se ajusta para agregar la cantidad de cloro necesaria en el tanque de mezcla o almacenamiento.

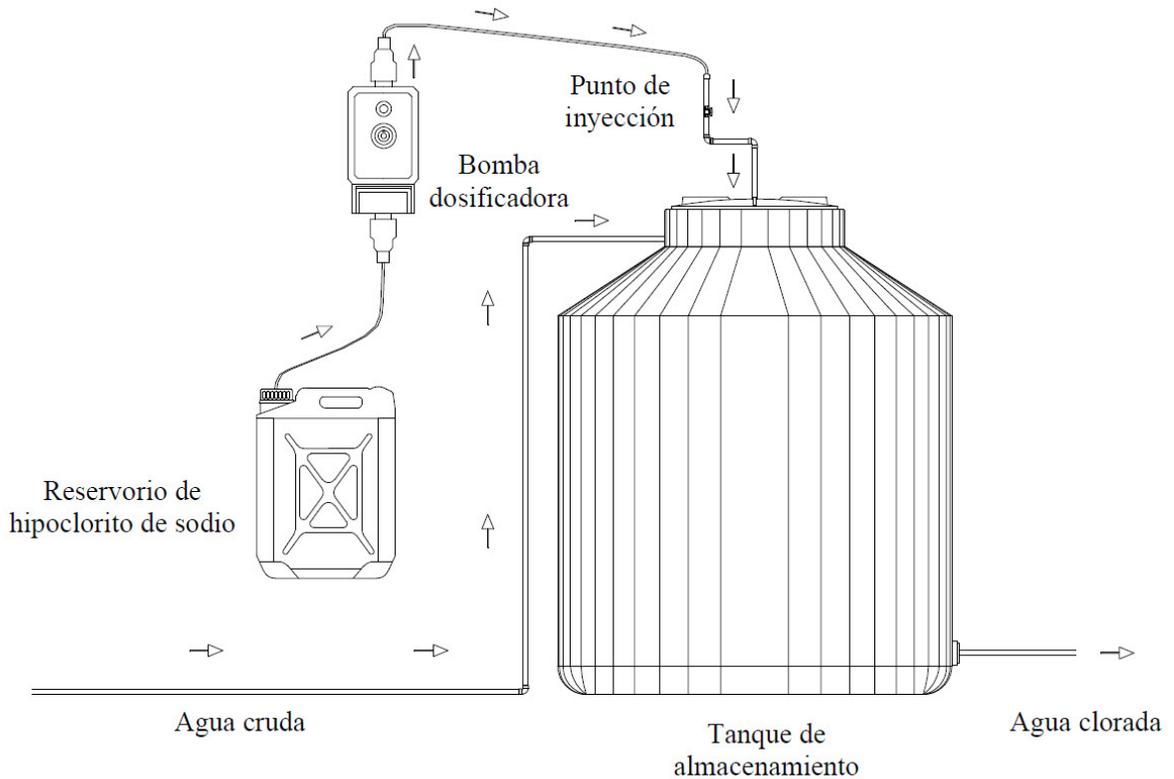


Figura 6. Sistema de desinfección con hipoclorito de sodio

La generación de cloro mediante hidrólisis consiste en hacer electrólisis de una disolución de cloruro sódico o sal común en agua (salmuera). El generador es una célula de electrólisis que contiene dos electrodos, un ánodo (+) y un cátodo (-), donde se introduce la salmuera (Gratacós, 2014), que posteriormente, mediante la aplicación de un potencial eléctrico genera cloro (Figura 7). La disolución de cloro seguidamente será inyectada mediante una bomba dosificadora en el tanque de mezcla o de almacenamiento del agua.

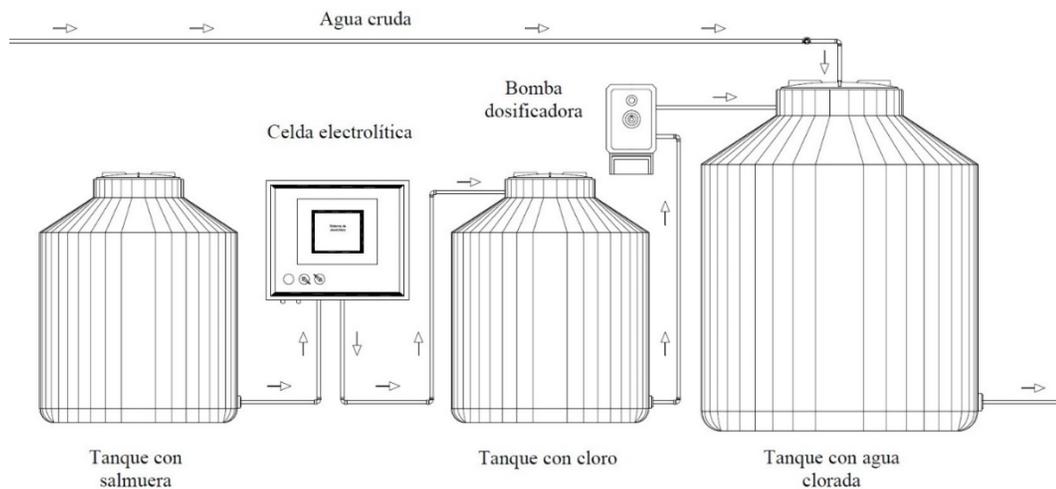


Figura 7. Sistema de desinfección con electrólisis

### 6.3.5.2 Uso de cloro sólido

El cloro puede aplicarse en forma sólida utilizando hipoclorito de calcio y ácido tricloroisocianúrico. En general se puede aplicar usando cloradores de cámara seca y de cámara húmeda.

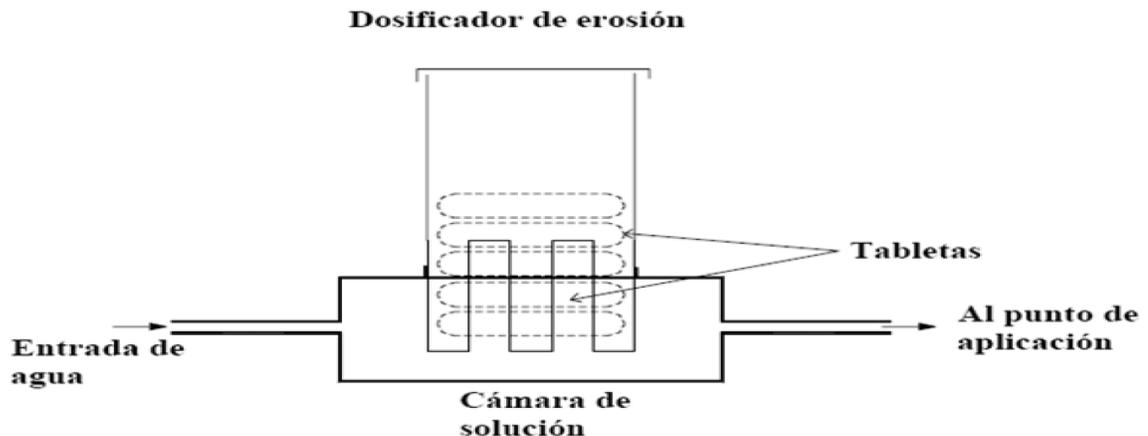


Figura 8 Clorador de cámara seca (Mora-Castro, 2011)

Las tabletas de hipoclorito de calcio son utilizadas en cloradores de cámara seca (figura 2,3), donde la entrada y salida del agua están casi al mismo nivel, haciendo que solo se humedezca la tableta que tiene contacto con el agua. Este sistema, desgasta las tabletas en la parte inferior, dejando secas las de arriba (conforme se gastan, se reponen por gravedad), no funcionan con alta presión, porque inundaría la recámara, se mojarían completamente y las desintegraría, la dosis depende del caudal de cloración (Mora-Castro, 2011). La marca de hipoclorito de calcio más familiar es la Accu-Tab, de la compañía norteamericana PPG Industries, Inc, que también ofrecen equipos de cloración (Betcher, 2004).

Otra alternativa para desinfectar el agua potable, que es poco conocida, es el ácido tricloroisocianúrico, porque se utiliza principalmente para agua de piscinas (Pinto Gabriel, 2003).. Este caso la tableta se encuentra completamente sumergida en la recámara del clorador, por eso son llamados clorador de cámara húmeda (Figura 8). El clorador de cámara húmeda (Figura 8) cuenta con una llave de chorro que junto al flujómetro, permiten la regulación de agua cruda, esta atravesará la cámara de solución subiendo hasta la salida, lo que obliga al contacto entre el agua cruda y las tabletas Control de la cloración:

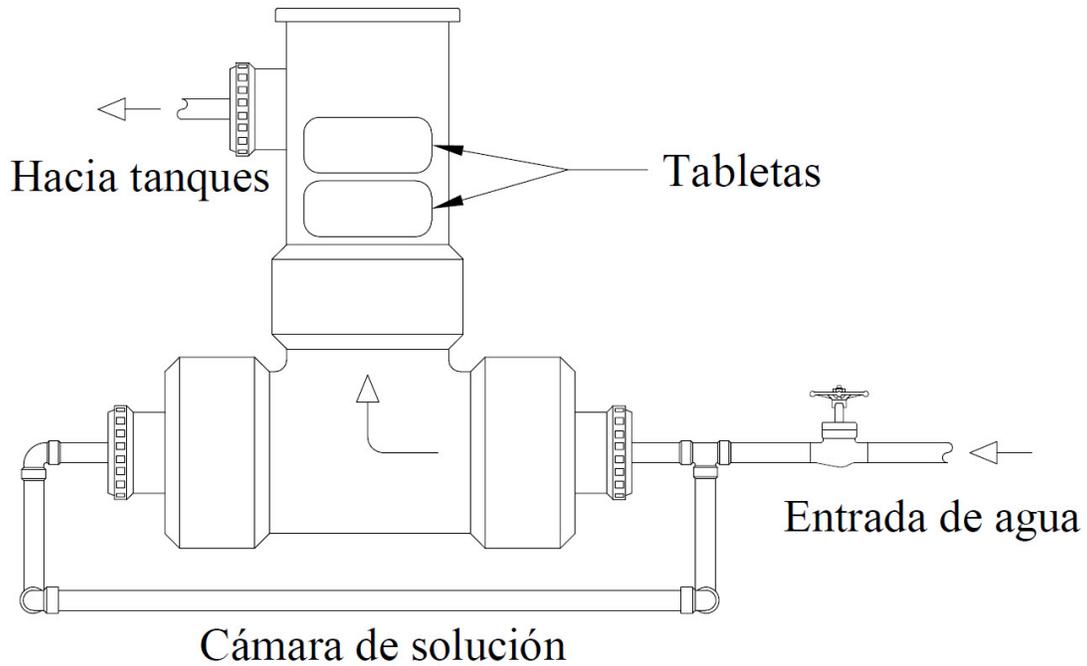


Figura 9 Clorador de cámara húmeda

### 6.3.6 Punto de aplicación del cloro

Tan importante es la forma de aplicación del cloro como el punto en que se realiza. Un punto apropiado es aquel en el que se garantice una buena mezcla entre el agua cruda y el cloro aplicado. Así, se recomienda la instalación de un tanque de mezcla (Figura 10 y 11) en el cual se reúne el agua cruda y se coloca el sistema de cloración, en dicha figura es un clorador en pastilla. Posteriormente, el agua ya clorada pasará a los tanques de almacenamiento donde se debe garantizar al menos 30 minutos de contacto para garantizar una buena desinfección y la demanda de cloro requerida.



Figura 10: Cloración en el tanque de mezcla previo a los tanques de almacenamiento.

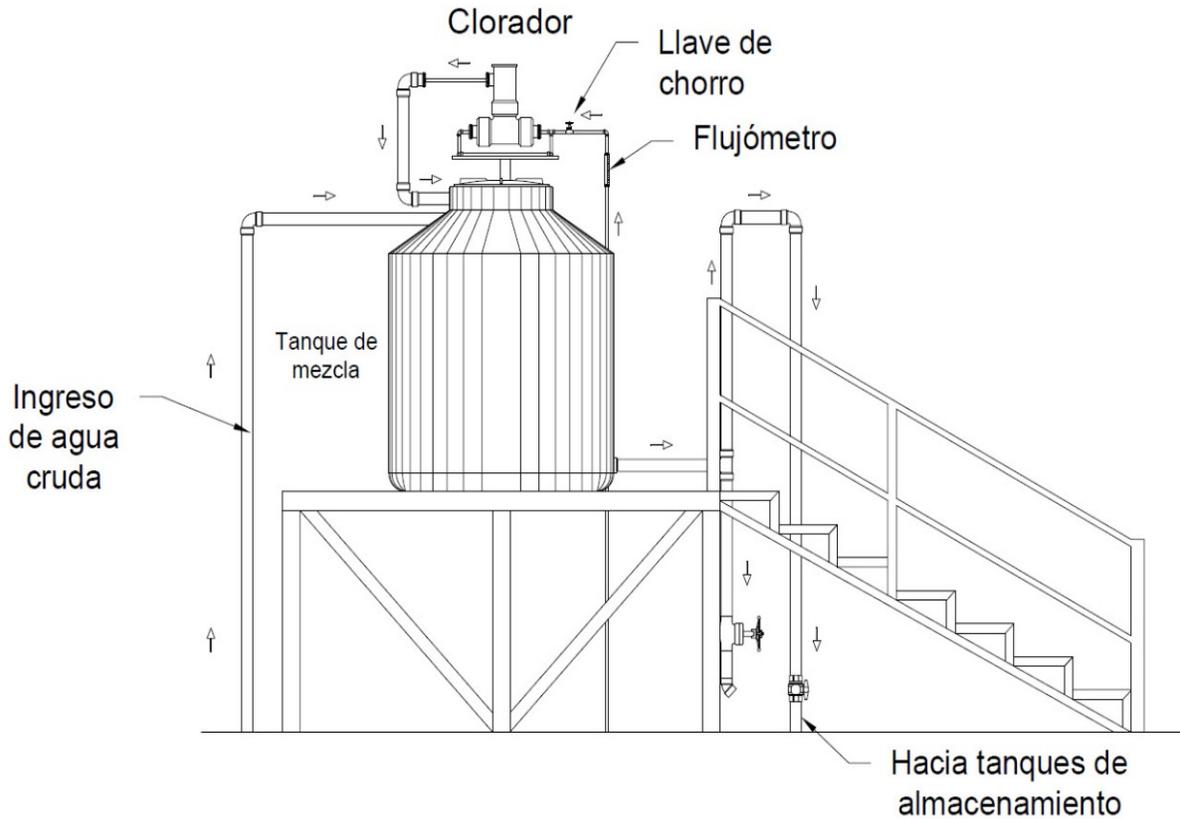


Figura 11 Detalle del tanque de mezcla.

### 6.3.7 Control de la cloración

Las técnicas para medir cloro pueden clasificarse en métodos para el cloro total y métodos para las formas libres y combinadas. algunos métodos son el de la ortotolidina, yodométrico, valoración amperométrica y DPD.

A pesar de la gran variedad de métodos existentes para la medición del cloro en sus diferentes formas (libre o combinado), en Costa Rica, el que se utiliza en gran medida, es el DPD, ya que es el que mejor se adapta a las condiciones, tanto económicas, como operativas, al permitir mediciones rápidas en campo. También el método permite determinar el cloro combinado, haciendo una diferencia entre el cloro total y el cloro libre.

Dada la preocupación por la contaminación del agua, se han implementado la detección en tiempo real como por ejemplo, el uso de electrodos de potencial de oxidación-reducción (ORP). El ORP mide las propiedades oxidantes del desinfectante mediante un sensor con electrodo metálico, generalmente platino y un electrodo de referencia estándar. Las mediciones de ORP

utilizadas en desinfección del agua, con valores por encima de 650 mV, han demostrado ser efectivas para la eliminación de gran cantidad de microorganismos patógenos en un lapso de tiempo entre (10 y 30) segundos.

En la Figura 12 muestra una posible configuración en la que se emplea la desinfección asistida por ORP, que consta de un sensor, una bomba dosificadora que provee hipoclorito de sodio al sistema, un panel de control interconectado con el sensor y la bomba. El cloro aplicado se junta con el agua cruda en el tanque de almacenamiento. Una ventaja de este sistema es que la bomba dosificadora puede ser controlada según las lecturas de ORP, así, si el ORP baja de 650 mV la bomba se activa y se suministra más cloro según se requiera.

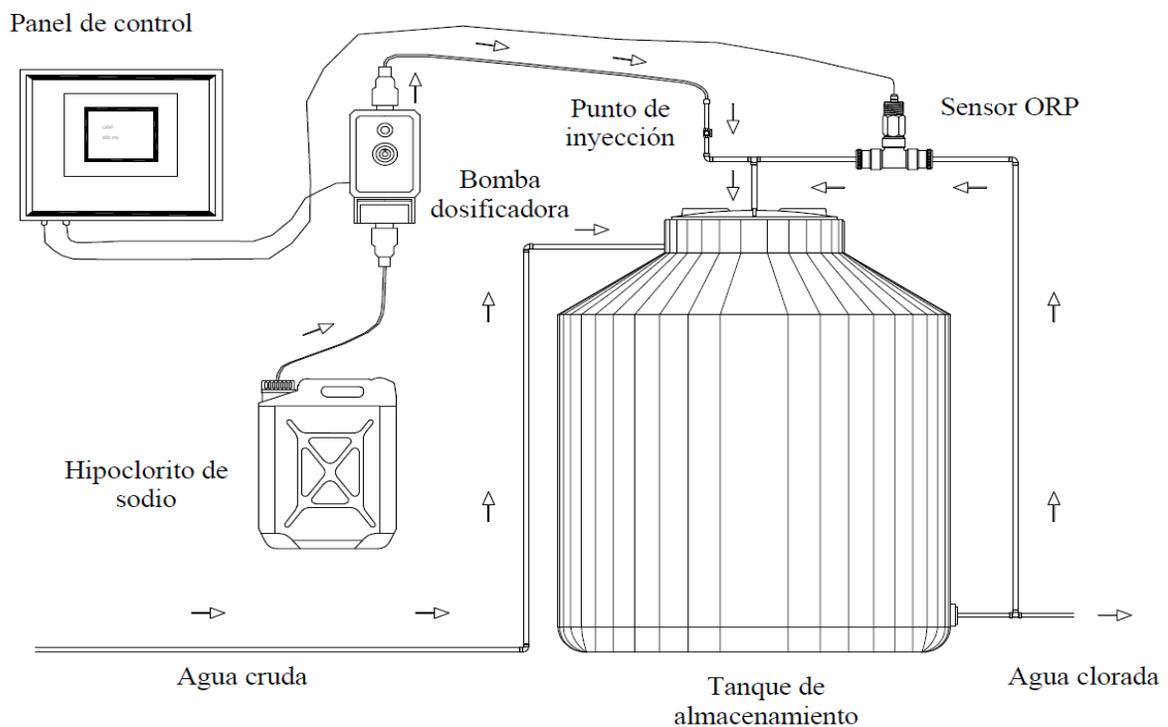


Figura 12 Configuración aplicada al caso de estudio

#### 6.3.8 Recomendaciones generales sobre los Sistema de desinfección

En la aplicación del instrumento SERSA, se presentan los factores de riesgo más críticos y con mayor incidencia presentados en el sistema de desinfección, para lo cual se recomiendan acciones que las ASADAs pueden realizar en estas estructuras hidráulicas y civiles, con el fin que sean menos vulnerables a los riesgos. Ver Figura 12 condiciones de los sistemas de desinfección.

- Se debe disponer del equipo necesario requerido para el personal operativo y la desinfección utilizada y así evitar accidentes en la manipulación de productos químicos como es el cloro.
- Se debe disponer de un sistema de aforo/medición del caudal que ingresa al tanque dado que es el sitio donde se realiza la aplicación de la solución de cloro.
- El equipo de cloración debe disponer de aforo medidor o un de caudal para poder establecer el caudal de la solución de cloro a ser aplicada.
- Según sea el equipo y sistema para la aplicación de la solución de cloro se debe tener conocimiento de la concentración de la solución aplicada de cloro.
- Disponer de los equipos para tener los registros de la concentración y del caudal de la solución de cloro preparada y aplicada

Otras acciones que se deben llevar para tener una buena operación de la desinfección y poder obtener información del funcionamiento de esta estructura hidráulica se recomienda lo siguiente.

- Realizar actividades mediante las cuales se programen capacitaciones para el personal que realiza la cloración.
- Se debe establecer el protocolo de llevar bitácora para registrar todos los procesos y actividades que se realizan en la desinfección, como por ejemplo llevar la cantidad de cloro que se gasta semanal por mes.
- Realizar acciones para que el personal que opera el sistema de cloración tenga la capacitación que garantice que la operación y mantenimiento del equipo de desinfección, se realiza bien y el agua cumple los requerimientos de ley.
- Dotar del equipo necesario para la protección del personal que realiza las labores de desinfección del agua en un acueducto

#### 6.4 Tanques de almacenamiento y red de distribución

A partir de los resultados de la aplicación del instrumento SERSA, se detectaron una serie de factores de riesgo críticos y con mayor incidencia presentados en los tanques de almacenamiento y la red de distribución. Para que las estructuras hidráulicas y civiles de las captaciones superficiales sean menos vulnerables a los riesgos detectados se recomiendan las acciones que se detallan a continuación.

Tanques de almacenamiento con riesgo bajo se recomiendan las siguientes acciones:

- Los tanques de almacenamiento deben cumplir que el nivel del agua, esto es, no debe estar por debajo de 1/4 de la capacidad del tanque, con el fin, de poder atender la demanda en el caso de emergencias.
- Es necesaria la instalación de un sistema de cerramiento perimetral (Figura 13), para impedir el acceso libre de personas y/o animales a estas estructuras y garantizar que no se den acciones que pueda contaminar el agua en los tanques.



Foto 1. Clorador de construcción casero. No se posee caseta de cloración, no se dispone de caudalímetro de medición de la solución de cloro aplicada.



Foto 2. Clorador comercial y patentado, el cual posee su respectivo caudalímetro de medición de la solución de cloro aplicada.



Foto 3. El sistema de cloración debe ubicarse en un sitio que disponga con ventilación e iluminación natural. El sistema de cloración deben disponer de un caudalímetro para medir el flujo de la solución de cloro aplicada al caudal debidamente medido del agua cruda de ser desinfectada



Foto 4. Dotación de equipo de protección del personal que realiza la operación de la desinfección en un acueducto. El lugar donde se localice el clorador debe ser con ventilación e iluminación natural.

Figura 13 . Condiciones de los sistemas de cloración.

Tanques de almacenamiento con riesgo intermedio se recomiendan las siguientes acciones:

- Realizar revisiones semestrales para establecer el estado de estas estructuras en lo referente a las paredes del tanque tanto exteriores como internas. Se debe establecer acciones de mantenimiento según sea el caso, en los tanques de concreto o metálicos.

Finalmente, para tener una buena operación y obtener información del funcionamiento de estas estructuras hidráulicas se recomienda lo siguiente:

- Llevar registros de los caudales de ingreso a los tanques para establecer las variaciones del caudal con respecto a cambios climáticos. Esta actividad se debe realizar día a día, todo tanque debe tener un sistema de poder aforar el ingreso de agua.
- Valorar las pérdidas de agua en las tuberías de conducción, quiebra gradientes y otras estructuras de conducción del agua desde las captaciones hasta los tanques de almacenamiento. En las captaciones se deben instalar sistemas de aforo para establecer los caudales captados y así poder establecer las pérdidas entre las captaciones y los tanques de almacenamiento.
- Determinar tiempos de retención hidráulica – TRH- en los tanques según los caudales de entrada y salida.
- Medir el volumen ( $m^3$ ) que sale de los tanques, con el fin de realizar balances con los datos de la facturación y establecer las pérdidas en redes de conducción y distribución.
- Determinar el gasto de agua de la comunidad vía facturación para establecer la variación de los consumos en litros por habitante por día; consumos según el tipo de abonado (residencial, empresarial, institucional y otros).
- Valorar las pérdidas en tanques de almacenamiento bien sea por fugas y/o reboses.



Foto 1. Los muros de los tanques deben ser revisados tanto a su interior como al exterior para establecer la existencia de fugas. Además, se debe tener un borde de cemento alrededor del tanque de un metro de ancho como mínimo.



Foto 2. Los muros, la cubierta y el borde deben estar debidamente construidos y realizar mantenimientos periódicos.



Foto 1. Los tanques de concreto deben disponer de cerramiento perimetral de protección.



Foto 2. Los tanques de PVC deben disponer de cerramiento perimetral de protección.

Figura 14 . Condiciones de los tanques de almacenamiento

## 7 Bibliografía

- AyA. (2016). *Política Nacional de Agua Potable de Costa Rica 2017 - 2030*. San José: AyA.
- Baltodano, O. D. (02 de marzo de 2017). Herramienta para la mejora de la gestión físico-sanitaria de 10 ASADAS de la región Pacífico Central de Costa Rica. Heredia, Heredia, Costa Rica.
- Comisión Nacional del Agua. (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Dioselina Peláez, B. L. (2016). Presencia de virus entéricos en. *Biomédica* , 36(Supl.2):169-78.
- Gratacós, J. M. (2014). Generadores de cloro por electrólisis de salmuera con tecnología de célula con membrana. *TECNOAQUA*, 108-114.
- Kelly-Coto (2021). "Evaluación de la calidad del agua en acueductos de las provincias de Alajuela, Cartago y Puntarenas mediante el monitoreo de parámetros del nivel primero, materia orgánica natural y trihalometanos". *Tesis de Licenciatura en Ingeniería Ambiental. Instituto Tecnológico de Costa Rica*
- MINAE, MINSALUD . (2007). *Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales*. San José: Gaceta .
- MINSALUD - MINAE. (01 de Setiembre de 2015). ALCANCE DIGITAL N° 69. San José, Costa Rica, setiembre del 2015. *REGLAMENTO PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE*. San José, San José, Costa Rica: Gaceta.
- MINSALUD. (22 de Enero de 2019). Alcance No 15 Directo N° 41499. *REGLAMENTO PARA LA CALIDAD DEL AGUA POTABLE*. San José, San José, Costa Rica : Gaceta .
- OMS. (2011). *Guías para la calidad del agua de consumo humano* . Lima .
- OPS. (2006). *Guías para la calidad del agua potable* . Ediciones de la OMS, Organización Mundial de la Salud.
- Pinto Gabriel, R. B. (2003). Uso de cloroisocianuratos para la desinfección del agua: aplicación de diversos temas de química general. *Revista de educación química*.
- Ríos-Tobón S, A.-C. R.-B. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Rev. Fac. Nac. Salud Pública*, 236-247.
- Vargas-Portuguez (2021). Evaluación de tecnologías de cloración mediante sistemas de pastillas y cloro líquido controlado con ORP en agua para consumo humano. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Ambiental. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

